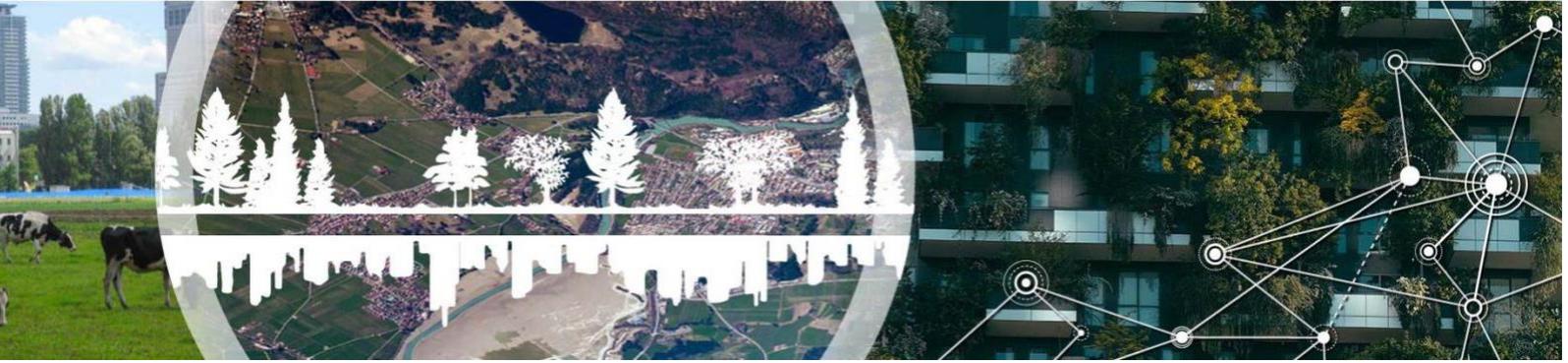




Métaprogramme BETTER

Bioéconomie pour les territoires urbains





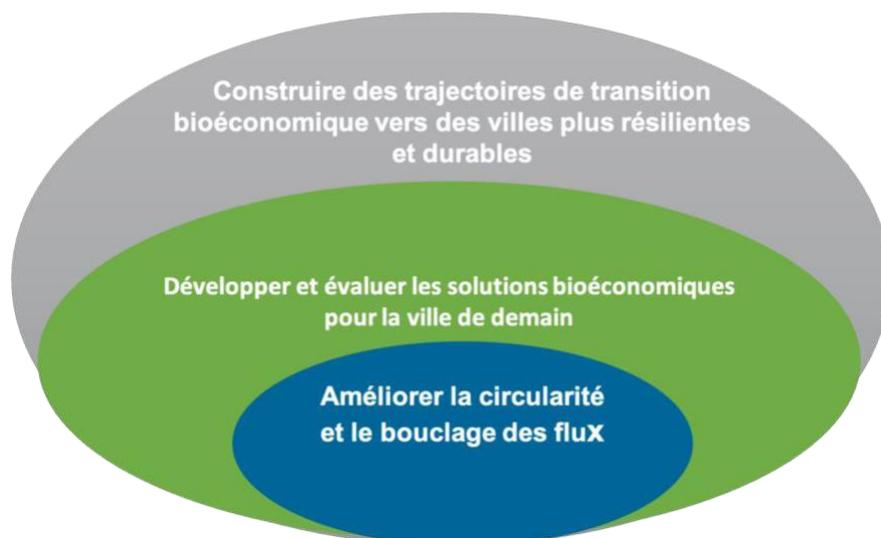
Qu'est-ce qu'un métaprogramme INRAE ?

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

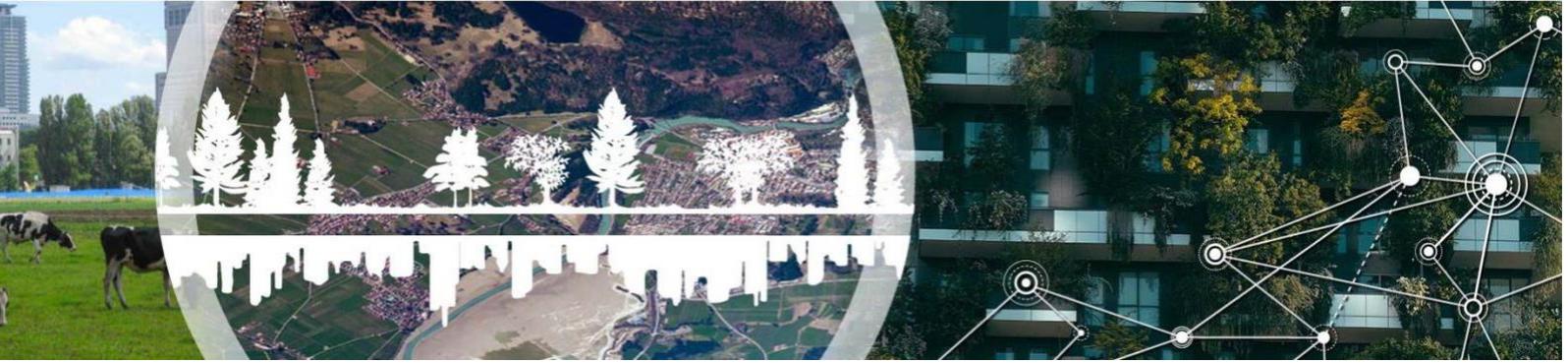
La bioéconomie à INRAE

INRAE a finalisé en 2020 un rapport de réflexion prospective interdisciplinaire sur la bioéconomie (Axelos *et al.*, 2020)¹. La bioéconomie y 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, et 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

Métaprogramme Bioéconomie pour les territoires urbains (BETTER)



¹ M. A.V. Axelos, L. Bamière, F. Colin, J.-Y. Dourmad, M. Duru, S. Gillot, B. Kurek, J.-D. Mathias, J. Méry, M. O'Donohue, S. Recous, V. Requillart, J.-P. Steyer, A. Thomas, S. Thoyer, H. de Vries, J. Wohlfahrt. – Réflexion prospective interdisciplinaire bioéconomie - Rapport de synthèse INRAE 2020, 70 pp. (<https://hal.inrae.fr/hal-02866076>) DOI 10.15454/x30b-qd69



Bioéconomie pour les territoires urbains BETTER

Directrice : Sophie Thoyer (UMR CEE-M, Département INRAE ECOSOCIO)

Directeur adjoint : Jean-Philippe Steyer (UR LBE, Département INRAE TRANSFORM)

Cheffe de projet : Pascale Sarni-Manchado (UMR SPO, Département TRANSFORM)

Comité de pilotage : (par ordre alphabétique) Joel Aubin (SAS, PHASE), Christine Aubry (SADAPT, ACT), Sami Bouarfa (UMR G-Eau, AQUA), Véronique Broussolle (UMR SQPOV, MICA), Sylvain Cauria (UMR BETA, ECOSOCIO), Fabrice Foucher (UR IRHS, BAP), Sylvie Gillot (UR REVERSAAL, TRANSFORM) Stéphane Guilbert (UMR IATE, Supagro, TRANSFORM), Bernard Kurek (UMR FARE, TRANSFORM), Isabelle Maillat (INE, DG), Jean-Denis Mathias (UR LISC, NUMM), , Christophe Schwartz (UR Sols et Environnement, Unv Lorraine, AGROENV), Anne Tremier (UR OPAALE, Transform), Julie Wohlfahrt (UR ASTER, ACT)

Notre site internet : <https://www6.inrae.fr/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.

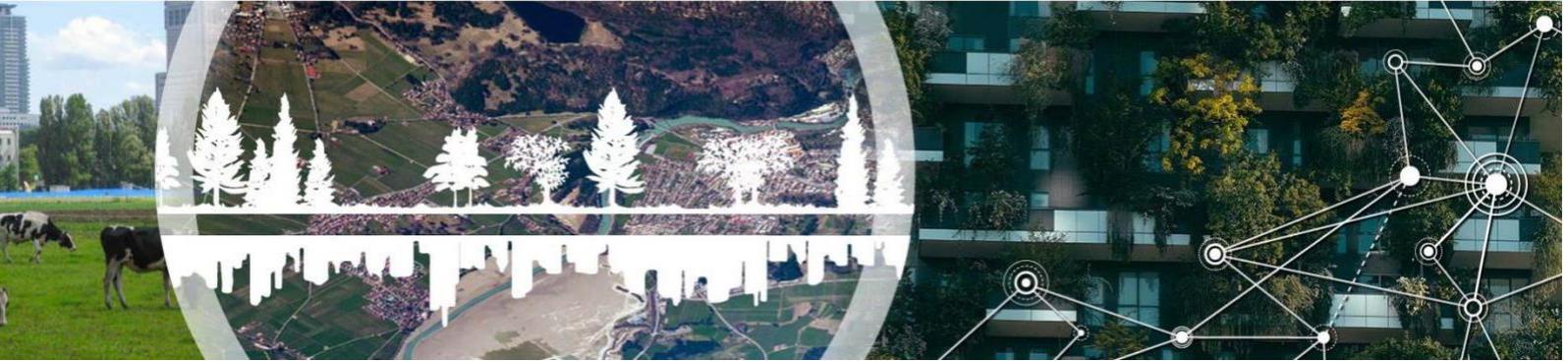
INRAE mène des recherches sur les problématiques des villes principalement à travers trois points d'entrée thématiques : 1) l'agriculture urbaine et périurbaine, en lien avec la végétalisation des villes, les circuits courts, et plus récemment les systèmes alimentaires urbains 2) les eaux résiduaires et les biodéchets en ville 3) 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, la méthanisation, la réutilisation des eaux usées traitées ;
- 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 80 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 enjeux

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 de 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.

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

Les questionnements scientifiques sont :

- 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 ?

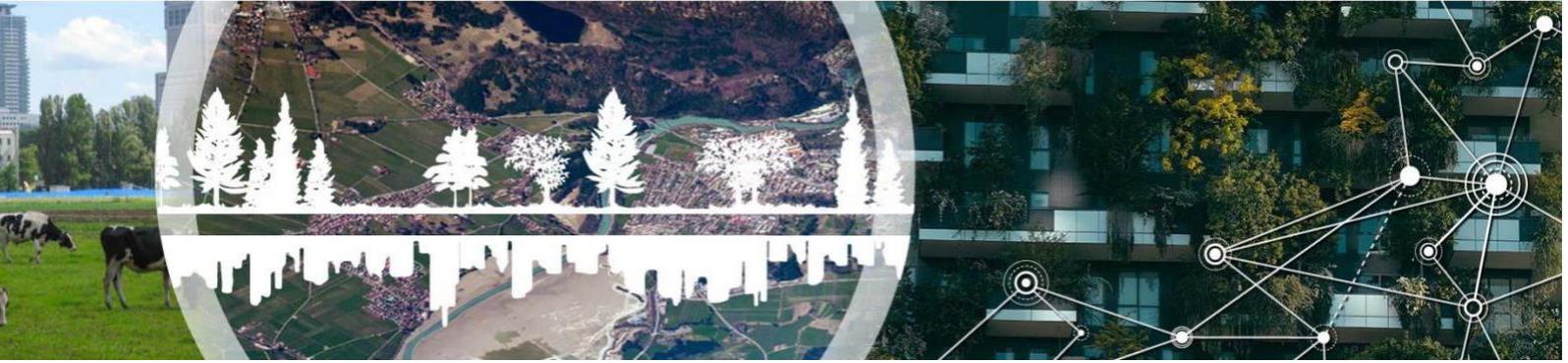
Cela suppose :

- 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 pétro-sourcés 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 centrant sur les réponses à apporter aux défis urbains de demain.



Trois Axes de programmation

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.

Diagnostiquer le métabolisme urbain et périurbain.

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 résiduaire, 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 résiduaire issus des territoires urbains.

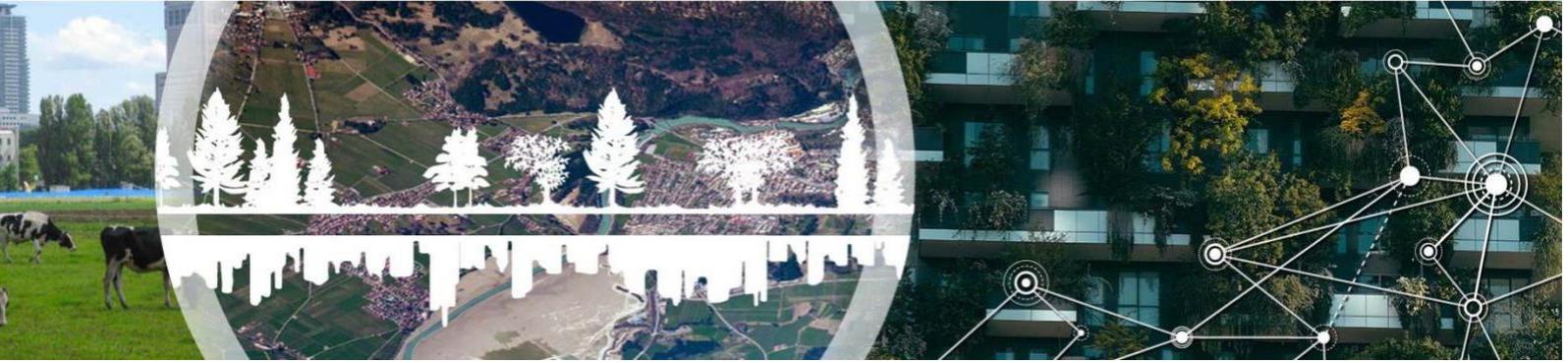
Comment organiser l'ingénierie reverse pour collecter, trier et rassembler les produits résiduaire en fonction des besoins de matières premières secondaires ? Les différentes formes de collecte et de valorisation, par exemple en comparant les systèmes centralisés avec des solutions locales innovantes 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 ?**



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 (1) l'analyse de la demande future ; (2) les solutions technologiques, organisationnelles et institutionnelles pour le déploiement d'une économie urbaine biosourcée ; (3) 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 pétrosourcées. 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 bénéfiques globaux ou l'inverse.

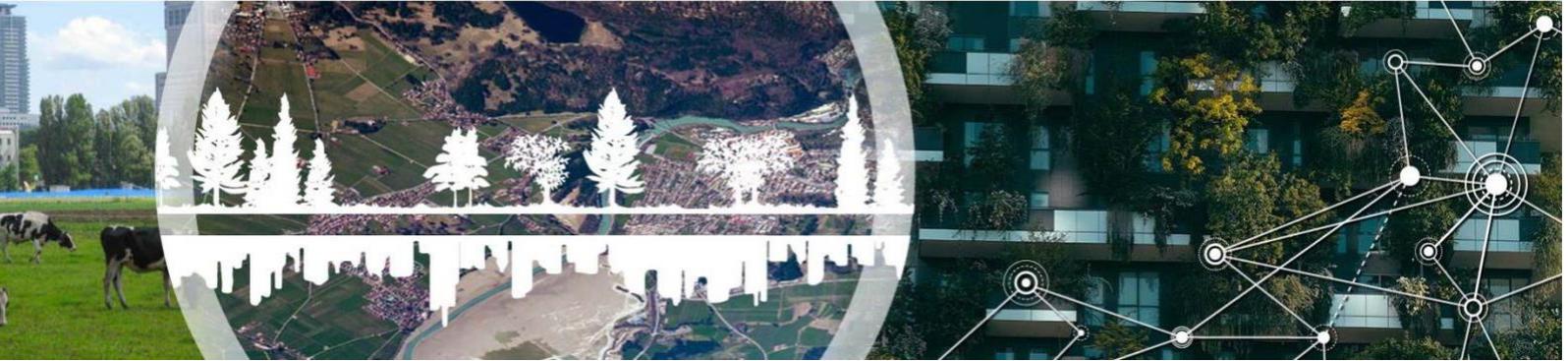
Raisonner et évaluer la coexistence et la complémentarité des flux locaux et globaux

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.

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 – péri-urbain – rural. Le potentiel transformant des approches participatives (par exemple pour co-construire des solutions opérationnelles acceptées et partagées) sera à évaluer.

BETTER, les outils

Un appel à manifestation d'intérêt annuel pour le financement (AMI)

- de consortia interdisciplinaires

Les consortia (durée 18 mois – 10 000 euros) 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.

- de projets exploratoires

Les projets exploratoires (2 ans – 50 000 euros) 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

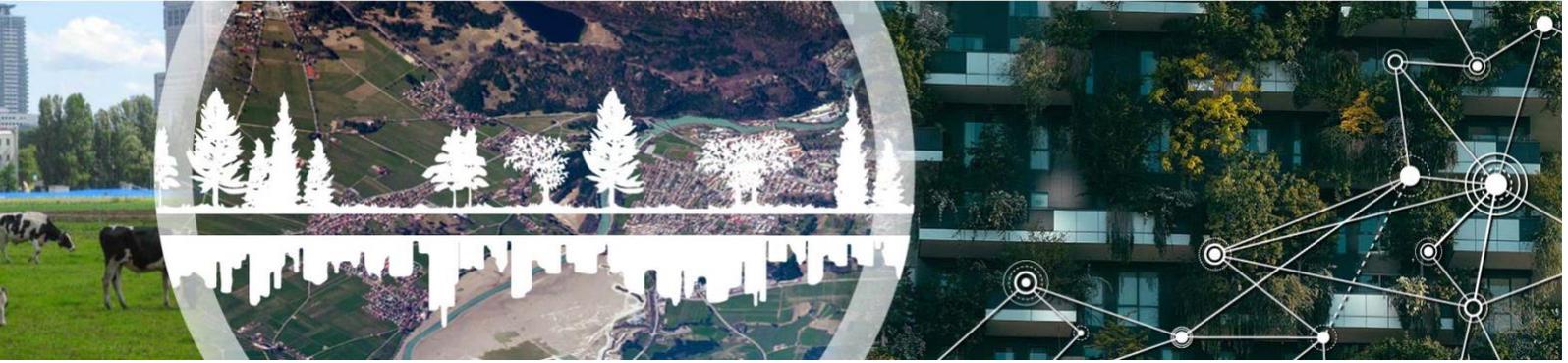
- d'un projet emblématique

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

Des séminaires, des rencontres, un site internet, une liste de diffusion ...

Pour nous contacter better@inrae.fr <https://www6.inrae.fr/better>



Les actions financées

Le métaprogramme INRAE BETTER soutient une recherche interdisciplinaire définie par la stratégie scientifique des métaprogrammes INRAE via le financement des divers projets, de type consortium-réseau ou projet exploratoire par exemple.

Depuis 2020, 7 consortia et 5 projets exploratoires ont été lauréats des 3 appels à manifestation d'intérêt émis par BETTER.

7 consortia et 5 projets exploratoires

A retrouver sous forme de fiche résumée à la fin de ce document

Consortia

CIRCUTEBIO

L'ambition de ce consortium est d'étudier dans quelle mesure le déploiement de l'EC 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

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. C'est autour de l'évaluation bénéfice-risque globale que se focalise ce consortium pluridisciplinaire qui a abordé en amont du développement de cette filière à très fort potentiel, 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

MOSAIC ambitionne de faire dialoguer ces 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

Ce consortium souhaite investiguer 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

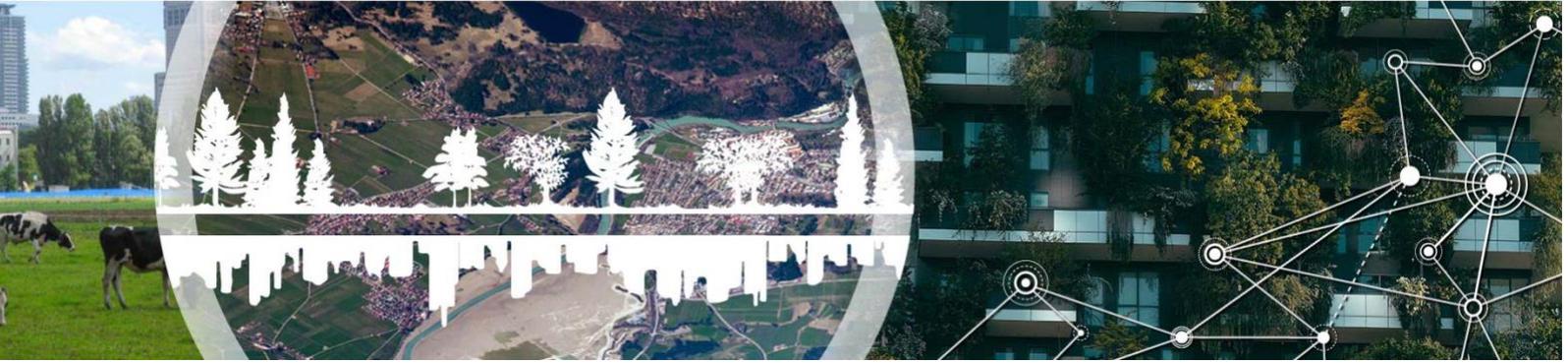
L'alimentation joue un rôle déterminant pour les flux de matières et d'énergie d'un territoire urbain. Le consortium POPCORN, en lien avec les travaux de métabolisme urbain, vise de caractériser la population d'un territoire et sa consommation alimentaire de façon à faire le lien avec les flux de matières en amont de la production agricole et les flux en aval vers la restitution des déchets et des émissions.

REBUS

Le consortium RÉBUS 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

La réutilisation des eaux usées traitées (ou "REUSE"), au cœur du nexus eau-énergie-matière-environnement est un levier majeur pour accompagner la mutation du territoire urbain, notamment en raison du nombre de leviers disponibles pour jouer sur sa gestion, son traitement ou comme objet d'aménagement urbain. Nous proposons de mener une réflexion spécifique au sein du consortium REUSEINCITIES.



Projets exploratoires

CARIBOU

CARIBOU s'intéresse aux 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 sont majoritairement produits en zones urbaine et périurbaine. Il vise en premier lieu à mieux caractériser les flux de ces RIP et surtout leur spécificité territoriale.

EDIFICE

La gestion actuelle de déchets maraîchers produits en périphérie de Nantes est coûteuse, génératrice de tensions (odeurs, stockages), de pollutions et elle contribue peu à la bioéconomie du territoire. Le but d'EDIFICE sera de développer 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.

FLY4WASTE

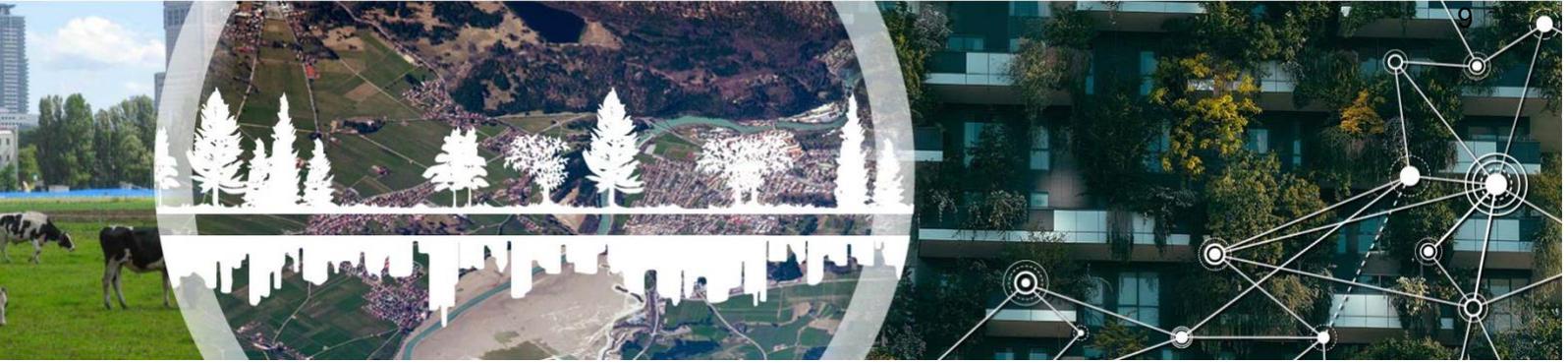
Faisant suite au consortium INSECT4CITY, le projet FLY4WASTE s'appuie sur la réflexion menée par les membres de ce consortium et sur le réseau ainsi constitué pour démarrer des recherches interdisciplinaires sur deux ans qui incluront aussi une thèse. Le projet aura pour objectif d'évaluer en parallèle les bénéfices et les risques du recyclage par entomoconversion de différents types de substrats et notamment de biodéchets.

NEWLINK

Pour lutter contre le gaspillage alimentaire dans la restauration collective, la loi EGalim (2018) soumet les grands établissements à une obligation de s'engager dans une politique de partenariat de dons avec des associations d'aide alimentaire. NEWLINK vise à analyser et à optimiser la redistribution d'invendus de repas de la restauration collective vers des associations. Un état des lieux sera 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 sera réalisée afin d'appuyer des stratégies d'optimisation. A terme, un outil d'aide à la décision pour la collecte et redistribution des invendus de repas pourrait être proposé.

TEVALU

La valorisation des urines qui sont des produits riches en nutriments utiles pour la production agricole s'inscrit 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. TEVALU propose 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 de cycle de vie. De plus, une analyse quantitative des gisements d'urine et des débouchés potentiels des fertilisants issus de l'urine sera réalisée sur la métropole toulousaine ainsi qu'une analyse des attentes en termes de qualité et de volonté à payer.



12 projets et 3 axes de programmation

Ces 12 projets se répartissent dans les 3 axes de programmation de notre document directeur, certains se positionnant dans plus d'une des propositions thématiques de BETTER (tableaux 1 & 2).

Tableau 1: Répartition des consortia au sein des axes de programmation de BETTER en nuances du noir à gris clair en fonction de sa contribution à l'axe (le plus foncé possède la contribution la plus marquée)

		PeriUrbanWastEng	Mosaic	INSECT4CITY	Circutebio	REBUS	REUSEinCITIES	POPCORN
La circularité des flux et le bouclage des cycles biogéochimiques	Diagnostiquer le métabolisme urbain et périurbain	Dark Grey	Dark Grey	White	White	White	Light Grey	Black
	Repenser le recyclage et la valorisation des produits résiduels issus des territoires urbains	White	Light Grey	Dark Grey	Light Grey	Black	Black	White
	Intensifier et ré-organiser les flux de nutriments ville-ville et ville-campagne	White	Black	Light Grey	Light Grey	Light Grey	White	Dark Grey
	Proposer des solutions pour maîtriser le devenir des contaminants	White	White	Light Grey	White	White	Light Grey	White
Réussir la durabilité et la résilience de la ville de demain par la bioéconomie	Les évolutions des demandes et les attentes pour les produits biosourcés	White	White	White	White	White	White	White
	Intégrer la production, la transformation, l'usage, le recyclage et la fin de vie des produits biosourcés dès leur conception	White	White	White	White	Dark Grey	White	White
	Raisonner et évaluer la coexistence et la complémentarité des flux locaux et globaux	Light Grey	Dark Grey	Light Grey	Light Grey	White	White	Light Grey
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	Black	Dark Grey	White	Dark Grey	White	White	Light Grey
	Établir des méthodologies d'évaluation des trajectoires de transition	White	Light Grey	White	Light Grey	White	White	White
	Analyser la gouvernance des transitions bioéconomiques des villes et des territoires	White	Dark Grey	White	Black	White	White	White
Se nourrir avec et par la ville		White	White	Light Grey	White	White	Light Grey	Dark Grey
Valoriser l'eau et les déchets des villes		Black	Light Grey	Dark Grey	White	Black	Black	White
Décarboner la ville		White	White	White	White	Light Grey	White	White
Le métabolisme des villes		Dark Grey	Dark Grey	White	Light Grey	Light Grey	White	Black
Transformer la ville pour demain		White	White	White	Dark Grey	White	Dark Grey	White

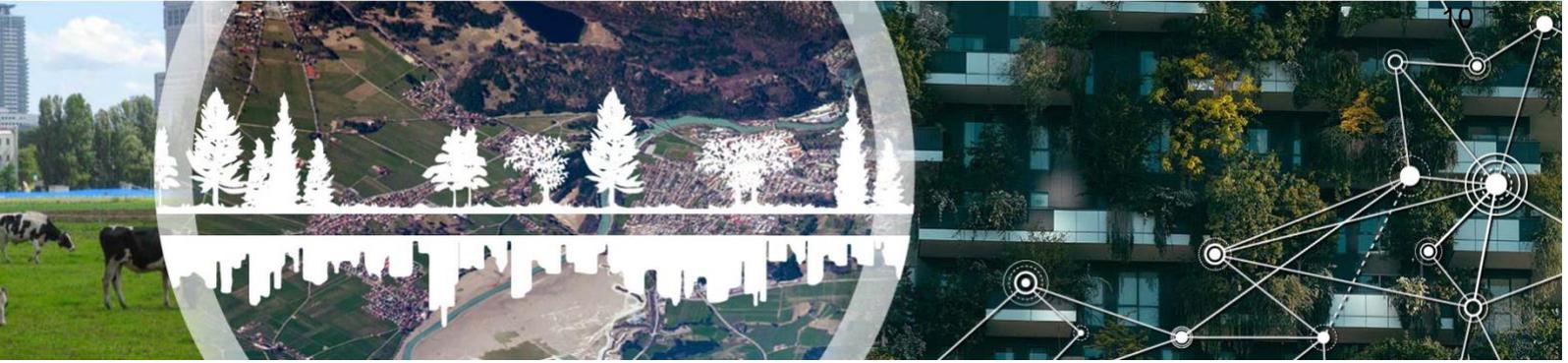
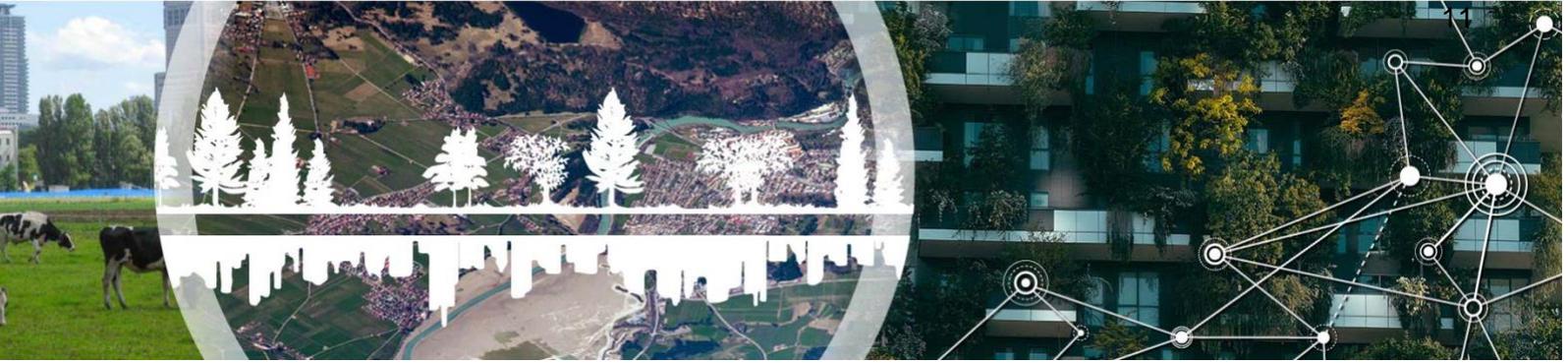


Tableau 2: Répartition des projets exploratoires au sein des axes de programmation de BETTER en nuances du noir à gris clair en fonction de sa contribution à l'axe (le plus foncé possède la contribution la plus marquée)

		2021	2022			
		TEVALU	FLY4WASTE	NEWLINK	CARIBOU	EDIFICE
La circularité des flux et le bouclage des cycles biogéochimiques	Diagnostiquer le métabolisme urbain et périurbain					
	Repenser le recyclage et la valorisation des produits résiduels issus des territoires urbains					
	Intensifier et ré-organiser les flux de nutriments ville-ville et ville-campagne					
	Proposer des solutions pour maîtriser le devenir des contaminants					
Réussir la durabilité et la résilience de la ville de demain par la bioéconomie	Les évolutions des demandes et les attentes pour les produits biosourcés					
	Intégrer la production, la transformation, l'usage, le recyclage et la fin de vie des produits biosourcés dès leur conception					
	Raisonner et évaluer la coexistence et la complémentarité des flux locaux et globaux					
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					
	Établir des méthodologies d'évaluation des trajectoires de transition					
	Analyser la gouvernance des transitions bioéconomiques des villes et des territoires					
Se nourrir avec et par la ville						
Valoriser l'eau et les déchets des villes						
Décarboner la ville						
Le métabolisme des villes						
Transformer la ville pour demain						



Les 12 projets en fiches

Consortia

CIRCUTEBIO
INSECT4CITY
MOSAIC
PERIURBANWASTEENG
POPCORN
REBUS
REUSEINCITIES

Projets exploratoires

CARIBOU
EDIFICE
FLY4WASTE
NEWLINK
TEVALU



Coordination

- Clarisse CAZALS, UR ETTIS ECOSOCIO
- clarisse.cazals@inrae.fr

Mots-Clés

- Economie circulaire
- Ville
- Flux
- Déchet
- Bioéconomie
- Zone urbaine/périurbain
- Modèles

Départements INRAE

- AQUA
- ECOSOCIO
- MATHNUM
- TRANSFORM



Les modèles d'économie CIRCULAIRE dans les TERRITOIRES urbains : quelles transitions vers la BIOÉCONOMIE ?

Contexte et enjeux

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.

Objectifs

Dans ce contexte politique, l'ambition de CircuTeBio est d'étudier dans quelle mesure le déploiement de l'EC 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. Comment ces différents modèles contribuent-ils à la requalification des déchets en ressources, à l'intégration des ressources secondaires dans les processus productifs et à une redéfinition des relations entre systèmes urbains et espaces ruraux ? Après avoir constitué des marchés à conquérir, les villes peuvent-elles devenir de grandes pourvoyeuses de ressources secondaires ? Il s'agira alors d'identifier les différentes composantes techniques, économiques, sociales et politiques qui contribuent à la diversité de ces modèles d'économie circulaire. La question se pose aussi de la possible coexistence de ces différents modèles : se traduira-t-elle par la confrontation, la concurrence ou la porosité, voire l'hybridation, entre ceux-ci ?

Le projet cible les déchets produits par les villes, qu'ils soient ménagers ou issus de certaines activités économiques comme de la construction bois, et porte une attention particulière aux biodéchets.

Un hiatus entre, d'une part, des modèles qui priorisent la sécurité environnementale assurée par des infrastructures de grande taille et, d'autre part, une demande sociale pour des projets réversibles, participatifs et ancrés dans les territoires est déjà perceptible. Le projet aura pour objectif d'appréhender, aux échelles mésoéconomiques (systèmes sociotechniques), les trajectoires de changement possibles et leurs effets qui découlent de ces divergences.

Pour atteindre cet objectif les chercheurs du consortium mobilisent leurs compétences disciplinaires pour construire une démarche interdisciplinaire. L'enjeu de ce nouveau consortium est de croiser les regards et les compétences disciplinaires pour identifier, dans les systèmes urbains, les différentes modèles de « filières » déchets et interroger leur coexistence et leur porosité.

Partenaires

Partenaires INRAE

Le consortium est constitué de personnes issues de disciplines, d'unités de recherche et de départements INRAE différents intéressées à mieux faire dialoguer leurs recherches et capables d'identifier des partenaires futurs.

Département INRAE	Unités	Expertises et contributions
AQUA	UR ETBX	Sociologie, politique des déchets en ville
ECOSOCIO	UR ETBX	Economie institutionnelle des filières bioéconomiques Sociologue, justice environnementale Science politique, économie politique de la forêt Géographe, analyse des systèmes socio-techniques Economie, analyse des réseaux
MATHNUM	UR LISC	Simulation des systèmes sociaux
TRANSFORM	UMR OPAALE	Optimisation technique, environnementale et spatiale des filières de valorisation des biomasses résiduelles

Partenaires non-INRAE

Organisation	Equipe	Expertises et contributions
URCA	Regard	Economie Bioéconomie Sociologie
NEOMA BS	Chaire de Bioéconomie Industrielle	Economie Transition studies

Université Paris 8	Ladyss	Économie bioéconomie
--------------------	--------	----------------------





INSECT4CIT
Y

CONSORTIUM
2020



Coordination

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

Mots-Clés

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

Départements INRAE

- ALIMH
- AGROECOSYSTEM
- ECOSOCIO
- MATHNUM
- MICA
- PHASE
- SA
- TRANSFORM

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

Contexte et enjeux

L'élevage d'insectes (entomoculture) est envisagé comme un moyen écologique de recycler des déchets ou résidus organiques ainsi que de valoriser des coproduits agro-industriels (entomoconversion). Plusieurs pays comme les Pays-Bas s'y intéressent depuis quelques années et l'envisagent comme une solution crédible pour la production d'aliments pour les animaux et même pour l'homme. En France, plusieurs entreprises (Ynsect, Agronutris, Nextalim, Mutatec, Innovafeed, Invers ...) se sont lancées dans la production d'insectes de masse à plus ou moins grande échelle selon l'entreprise, l'insecte et les substrats. Dans un monde de plus en plus citadin, un des enjeux clés aujourd'hui est le recyclage par entomoconversion des biodéchets ou résidus organiques en milieu urbain et péri-urbain (start-up BioMiMetiC) avec les questions spécifiques qu'il pose en termes d'hétérogénéité des substrats, de maîtrise des risques sanitaires, de conséquences environnementales, économiques et sociétales (acceptabilité, nuisances...).

Objectifs

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, en termes d'hétérogénéité des biodéchets, de maîtrise des risques sanitaires, de contraintes réglementaires et sociétales. C'est autour de cette évaluation bénéfice-risque globale que se focalise ce consortium transdisciplinaire qui rassemble notamment à ce jour huit départements INRAE. Il abordera, en amont du développement de cette filière à très fort potentiel, toutes les questions que peuvent se poser le grand public, le législateur ainsi que les producteurs d'insectes quant à ce moyen de valoriser les biodéchets. Ce consortium focalise ses réflexions sur les potentialités de l'entomoconversion en termes de valorisation des biodéchets/résidus organiques en milieu urbain et péri-urbain avec toutes les spécificités que cela comporte.



Il s'agit en particulier de lever les verrous qui pourraient freiner la mise en oeuvre de l'entomoconversion dans une approche de bioéconomie circulaire.

Partenaires

Partenaires INRAE

Département INRAE	Unités	Expertises et contributions
AGROECOSYSTEM	UMR ITAP	Impacts économiques et sociaux de l'entomoculture
ALIMH	UMR C2VN UMR CSGA	Nutrition, bio-accumulation de micronutriments à valeur santé Acceptabilité sensorielle, défauts organoleptiques
ECOSOCIO	UMR SMART-LERECO	Acceptabilité sociétale, évaluation économique
MATHNUM	UR LISC	Acceptabilité sociétale, impact social des innovations
MICA	UMR MICALIS UR LBE UMR SECALIM	Santé des insectes et sécurité microbiologique en entomoculture Ecologie microbienne Sécurité microbiologique, évaluation bénéfice-risque de santé/alimentation
PHASE	UMR BOA UMR SAS	Zootéchnie, nutrition animale, protéines d'insecte en nutrition animale Impacts environnementaux de l'entomoculture, rôle de l'élevage dans la bioéconomie circulaire
SA	UMR ISP	Interactions pathogènes humains et animaux/insectes
TRANSFORM	UR QuaPA UMR IATE UMR SAYFOOD	Sécurité chimique Évaluations multi-acteurs/critères, analyse bénéfices-risques Procédés de transformation des insectes

Partenaires Non-INRAE

Institution/organisme	Unités	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





PeriUrbanWasteEng

CONSORTIUM
2020



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

Contexte et enjeux

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.

Objectifs

La réduction des déchets peut s'envisager « à la source », en limitant les pertes et gaspillages, mais aussi dans une logique de circularité des flux, en favorisant l'utilisation de certains déchets comme matières premières pour d'autres usages. Ainsi notre consortium souhaite investiguer la question de l'ingénierie des déchets en appliquant la logique de circularité des flux tant pour la réduction que pour la valorisation de ces déchets. La maille territoriale semble être une échelle pertinente pour conduire un tel travail, avec un périmètre d'action délimité. Nous proposons donc de délimiter ce projet au territoire du plateau de Saclay et de la plaine de Versailles. La question de recherche traitée par notre réseau est : Vers une ingénierie des déchets agricoles et alimentaires sur un territoire périurbain à urbanisation croissante: comment les transformer (ou pas) pour quelle diversité d'usages ?

Répondre à une telle problématique suppose de poser un diagnostic de la situation actuelle et de comprendre les attentes des acteurs et des consommateurs. Sur cette base nous cherchons à explorer les potentialités combinant à la fois une meilleure valorisation

Coordination

- Caroline Pénicaud,
caroline.penicaud@inrae.fr
- Violaine Athes,
violaine.athes-dutour@inrae.fr
UMR SayFood

Mots-Clés

- Flux
- Territoire
- Biodéchets
- Bioéconomie
- Economie circulaire
- Zone urbaine/périurbaine

Départements INRAE

- [ACT](#)
- [AGROECOSYSTEM](#)
- [ECOSOCIO](#)
- [TRANSFORM](#)



des déchets (idée de valorisation en cascade et pas uniquement sur les solutions classiques à faible valeur ajoutée) et une réduction des volumes de déchets (donc des impacts associés). En ce sens, il s'agit de promouvoir des business models performants économiquement et au plan écologique, tout en tenant compte de l'organisation du système (acteurs, institutions, processus, relations entre les différentes composantes du système, étendue du système, ses limites et interactions avec l'extérieur).

Les objectifs de ce projet sont de :

- **Construire une vision partagée de l'organisation actuelle de la gestion des déchets et des enjeux territoriaux associés. Il s'agit de réaliser**
 - un état des lieux des données disponibles (via des projets existants, les acteurs de terrain....) nous renseignant sur la typologie des déchets agricoles et alimentaires, leur localisation et usages sur le territoire du plateau de Saclay et de la plaine de Versailles ;
 - une synthèse de ces données pour quantifier les flux et appréhender l'organisation actuelle des systèmes et les enjeux territoriaux associés ;
 - un bilan des attentes des acteurs, dont les consommateurs, sur la problématique de gestion des déchets.

- **Définir des questions de recherches interdisciplinaires communes en réponse à ces enjeux, débouchant sur le montage de projets collaboratifs.**
 - Pour cela, nous avons prévu d'organiser des ateliers de conception innovante basés sur la méthodologie KCP, qui a déjà fait ses preuves pour aider à faire émerger des questions de recherche interdisciplinaires originales (Brun et al. 2021)¹

Partenaires

Partenaires INRAE

Département INRAE	Unités	Expertises et contributions
AGROECOSYSTEM	UMR AGRONOMIE	Agronomie, Innovations couplées
	UMR ECOSYS	Agronomie, sciences du sol, effets du retour au sol des Produits Résiduaire Organiques (parcelle et territoire)
ACT	UMR SADAPT	Gouvernance territoriale de l'économie circulaire Socio-économie de l'environnement Sociologie du droit Métabolisme urbain, analyse des flux matière, diagnostic déchets alimentaires
	UMR LISIS	Scénarisation des usages
ECOSOCIO	UMR ALISS	Sciences de gestion (modèles de régulation, action publique, attentes conso / acteurs, prospective)

¹ <https://hal.inrae.fr/hal-02266900>



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

*Liberté
Égalité
Fraternité*

INRAE

TRANSFORM	UMR SayFood UR PROSE	Procédés et bioprocédés de transformation (aliments / bioproduits), Ecoconception Génie des procédés – reterritorialisation des transformations alimentaires, Ecoconception Ingénierie sensorielle, sciences des consommateurs, gaspillage alimentaire Biotechnologies environnementales, gestion et valorisation déchets
-----------	-----------------------------	--





POPCORN

CONSORTIUM
2020



Réseau de recherche sur la POPulation et sa COnsommation alimentaire dans les territoires uRbainS

Contexte et enjeux

Les villes sont des acteurs majeurs du métabolisme alimentaire. Les milieux urbains constituent en effet le cadre de vie de la majorité de la population mondiale, phénomène qui devrait se renforcer à l'avenir. 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. L'alimentation joue un rôle déterminant pour les flux de matières et d'énergie d'un territoire urbain. 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 et concernent tout à la fois 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.).

Ces travaux nécessitent de définir précisément qui mange dans les territoires, sous quelles formes et dans quelles conditions, car ces éléments conditionnent et déterminent les flux amont et aval. La caractérisation de la "population qui mange" est donc un préalable indispensable à de nombreux questionnements en lien avec les travaux de bioéconomie dans le domaine alimentaire

Coordination

- Caroline Petit, UMR SADAPT
caroline.petit@inrae.fr
- Barbara Redlingshöfer, UMR SAC
barbara.redlingshoefer@inrae.fr

Mots-Clés

- Consommation alimentaire
- Métabolisme territorial
- Bases de données
- Diagnostic
- Modes de vie
- Bioéconomie
- Zone urbain/périurbaine

Départements INRAE

- ACT
- AGROECOSYSTEM
- ECOSOCIO
- MATHNUM
- TRANSFORM



Objectifs

Le consortium POPCORN s'intéresse à deux angles morts des travaux précités. 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.

Au cours du projet POPCORN, notre ambition est ainsi de travailler sur ces deux dimensions complémentaires, la population qui mange et sa consommation alimentaire, et la transformation des matières alimentaires, 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, secteurs souvent traités de façon isolée. Ainsi, ce projet vise à créer un réseau de recherche qui s'attachera à appréhender de manière globale la population qui mange dans les études de métabolisme alimentaire urbain. En cela, le projet visera à proposer des ressources mobilisables comme préalable à d'autres travaux s'intéressant à la bioéconomie urbaine par des approches métaboliques, en terme de consommation alimentaire (par ex territoires d'approvisionnement; production agricole) et aussi en aval de la consommation (génération de déchets, pertes, gestion des co-produits).

Partenaires

Partenaires INRAE

Le consortium est constitué de personnes issues de disciplines, d'unités de recherche et de départements INRAE différents intéressées à mieux faire dialoguer leurs recherches et capables d'identifier des partenaires futurs.

Département INRAE	Unités	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	USC1CMH Centre Maurice Halbwachs	Sociologie de l'alimentation
MATHNUM	UR TSCF	Systèmes d'information
TRANSFORM	UMR SAYFOOD	Bioingénierie, ingénierie environnementale, évaluation environnementale, approche systémique (déchets et coproduits)

Au-delà du dialogue inter-départements, les travaux de MOSAIC peuvent intégrer également des liens avec des chercheurs hors-INRAE.

Métaprogramme

BETTER



CONSORTIUM
2020

Coordination

- Christian Duquennoi,
UMR PROSE
christian.duquennoi@inrae.fr
- Sandrine Costa, UMR MoISA
sandrine.costa@inrae.fr

Mots-Clés

- Déchets
- Sous-produits organiques
- Matières organiques résiduaires
- Bioraffinerie
- Territoire
- Zone urbaine/périurbaine
- Soutenabilité
- Ville

Départements INRAE

- [ACT](#)
- [AGROECOSYSTEM](#)
- [ECOSOCIO](#)
- [TRANSFORM](#)

Bioéconomie pour les territoires urbains



RéBUS

Réseau de recherche pour une Bioraffinerie Urbaine Soutenable

Contexte et enjeux

La ville et son territoire péri-urbain sont une véritable mine de déchets organiques. Organisée pendant plus d'un siècle autour des procédés « end-of-pipe » (incinération et stockage), la gestion des matières organiques résiduaires (déchets, coproduits et sous-produits) s'oriente désormais vers la valorisation et la contribution à une bioéconomie circulaire. Deux grandes stratégies de valorisation de la biomasse résiduaire sont techniquement possibles : la valorisation énergétique, et la valorisation matière. La bioraffinerie, concept développé dès les années 2000 comme une alternative crédible à la raffinerie pétro-sourcée, permet cette double valorisation (matière et énergie) par des procédés dits « en cascade ». Le concept de bioraffinerie a été étendu dans les années 2010 à la valorisation de la biomasse résiduaire (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 résiduaires.

Il s'agit aussi de penser en permanence « déchet de demain », c'est-à-dire concevoir les systèmes en tenant compte des probables évolutions de quantité et de composition des déchets, résultant de nouvelles trajectoires de consommation. 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.

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 innovante et ne fait pour l'instant pas encore l'objet de publications.

Objectifs

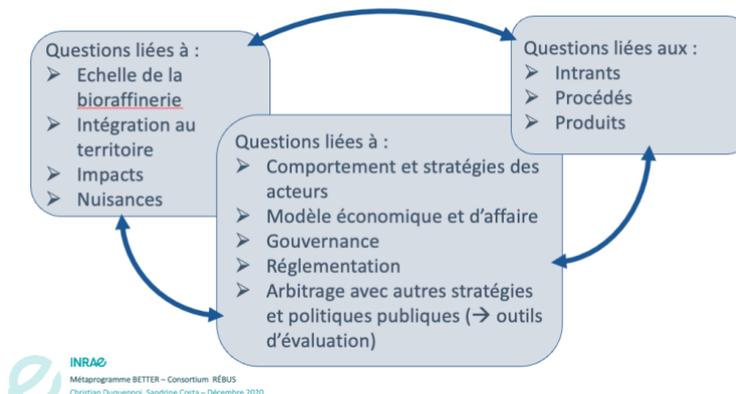
Le consortium RéBUS est constitué autour de la question des enjeux et de la soutenabilité du concept de bioraffinerie environnementale urbaine, c'est-à-dire une bioraffinerie sourcée en matières organiques résiduaires urbaines (biodéchets et sous-produits, par exemple de l'agriculture urbaine) et dont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

RéBUS a pour objectifs de « semer la graine » d'une réflexion interdisciplinaire autour du concept de bioraffinerie environnementale urbaine, en s'appuyant sur la diversité



thématique et disciplinaire des chercheurs INRAE, et ainsi identifier les verrous associés au concept afin de préfigurer de potentiels projets de recherche interdisciplinaires croisant les dimensions technologique, environnementale, économique et sociale du développement durable.

➤ Verrous scientifiques envisagés



Les questions scientifiques que génère un tel concept sont très nombreuses et variées : depuis l'adaptation technique des procédés existants et l'innovation technologique jusqu'à la pertinence sociétale en passant par l'identification des intrants et des extrants. Se posent également des questions de comportement des différents acteurs impliqués, de gouvernance, de modèle économique et d'affaire, d'arbitrage avec d'autres stratégies et politiques publiques, de réglementation, de taille et d'intégration des installations dans le territoire, d'impacts, de nuisances, d'interaction avec l'agriculture urbaine (en intrants aussi bien qu'en extrants de la raffinerie). En outre, les questions d'arbitrage avec d'autres stratégies et politiques publiques soulèvent la question de l'évaluation et des outils à développer pour cette évaluation. En particulier, la nécessité d'une prise en compte simultanée des enjeux économiques, sociaux et de contribution aux flux de ressources souligne l'intérêt des approches d'économie écologique. C'est donc un concept où l'interdisciplinarité est incontournable.

Partenaires

Partenaires INRAE

Le consortium RÉBUS est constitué de personnes issues de disciplines, d'unités de recherche et de départements INRAE différents intéressés à mieux faire dialoguer leurs recherches et capables d'identifier des partenaires futurs.

Département INRAE	Unités	Expertises et contributions
ACT	UMR SAD-APT UMR LAE	<p>Agronomie des territoires, relations ville/campagne, transition agricole, métabolisme agri-alimentaire, système alimentaire urbain, aspects éco-socio-économiques des installations de valorisation des biomasses résiduelles.</p> <p>Bioéconomie, transition énergétique et écologique des territoires</p>



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

Au-delà du dialogue inter-départements, les travaux de RéBUS intègrent également des liens avec des chercheurs hors-INRAE en particulier de l'Institut Paul Bocuse.





REUSEINCITIES

CONSORTIUM
2020-2022



**Réseau INRAE pour la réutilisation des
eaux usées traitées dans les villes**

Coordination

- Harmand Jérôme, UR LBE
jerome.harmand@inrae.fr
- Molle Pascal, UR REVERSAAL
pascal.molle@inrae.fr
- Nivala Jaime, UR REVERSAAL
jaimenivama@inrae.fr
- Sperandio Mathieu, UMR TB
sperandi@insa-toulouse.fr

Mots-Clés

- Flux d'eau
- Petit cycle de l'eau
- Appui aux politiques
publiques
- Bioéconomie
- Zone urbaine/périurbaine

Départements INRAE

- ACT
- AGROECOSYSTEM
- AQUA
- MATHNUM
- MICA
- TRANSFORM

Contexte et enjeux

La gestion et la "REUSE" des eaux urbaines (réutilisation des eaux usées traitées) ne peut se réduire au traitement de l'eau et à son recyclage au sein d'une industrie ou à son utilisation en irrigation pour l'agriculture : son insertion dans l'écosystème urbain nécessite de repenser l'ensemble du petit cycle de l'eau, depuis l'identification de toutes les ressources disponibles sur un territoire à la caractérisation de tous les usages et de leurs contraintes associées en passant par l'ensemble des systèmes socio-techniques permettant de la traiter, de la transporter, de la stocker et de la (re)distribuer. La ville de demain va concentrer une grande majorité de la population, donc de la production d'eaux usées, alors que le métabolisme urbain actuel mobilise des zones de production parfois à sa périphérie, mais le plus souvent en zone rurale loin de la ville. Si l'accompagnement au développement de fermes urbaines afin de rendre la ville plus résiliente face au changement global (relocalisation de la production et réintroduction de la verdure) est séduisante, elle sera limitée. La réutilisation des eaux usées traitées est un levier majeur pour faire face aux enjeux liés aux changements actuels. Son positionnement au cœur du nexus eau-énergie-matière-environnement en fait une composante essentielle de la bioéconomie en territoire urbain.

Objectifs

Le consortium ReuseInCities s'attache à aborder cette vision systémique, posée sous contraintes règlementaires, socio-économique, sanitaire et environnementale que le réseau souhaite porter. Elle est indissociable à la fois du territoire impliqué, qu'il conviendra de caractériser en termes de potentiel pour la mise en œuvre d'une gestion nouvelle des flux d'eau et/ou de nutriments associés, comme des acteurs de la zone considérée qu'il faudra mobiliser pour co-construire les conditions de faisabilité de l'économie circulaire de l'eau sur leur territoire. Il est nécessaire de faire émerger des stratégies de boucles locales (ou circuits dits "courts"), conçues pour favoriser les synergies entre les ouvrages de productions (stations de traitement, industries légères), et des usages urbains, conventionnels ou émergents, pour lesquels l'utilisation d'eau



potable pourrait être substituée par celle d'eaux non conventionnelles (nettoyage des rues, des réseaux, des voitures, l'arrosage des espaces verts ...).

Aborder cette problématique ne peut se faire que dans une approche intégrée impliquant de nombreuses disciplines présentes dans différents départements d'INRAE. Elles vont de l'agronomie et des sciences du sol, aux sciences humaines et sociales, en passant par l'écologie, les sciences de l'environnement, le génie des procédés, l'économie de l'eau, sans oublier les sciences du numériques ...

Partenaires

Partenaires INRAE

Le consortium ReuseInCities implique des personnes issues de disciplines, d'unités de recherche et de départements INRAE différents intéressés à faire dialoguer leurs recherches pour répondre aux défis sociétaux et scientifiques de la ville de demain.

Département INRAE	Unités	Expertises et contributions
ACT	UMR TETIS	Géographie, environnement, urbain, sustainability, modélisation occupation du sol & cycles hydrologiques
AGROECOSYSTEM	UR LBE UMR CEREGE UMR EMMAH	Modélisation et contrôle des bioprocédés et des écosystèmes microbiens, micropolluants, pathogènes, risques sanitaires Physico-Chimie - Génie des Procédés - Traitement de eaux - Transfert de contaminants dans le cycle d'usage de l'eau - impact sur la qualité et perméabilité des sols Quantification bioaérosols, aspersion, irrigation, modélisation du transport et évaluation des risques
AQUA	UMR G-EAU UR RIVERLY	Technologies d'irrigation, durabilité technique des systèmes d'irrigation, nutriments, risques de salinisation des sols, risques sanitaires, approches participatives, gouvernances des projets de REUSE EcoHydrologie Urbaine – flux eaux et substances
MATHNUM	UMR LISC UMR MISTEA	Systèmes complexes, systèmes dynamique, modélisation Modélisation et commande de bioprocédés, optimisation et viabilité pour l'aide à la décision, modélisation des cultures
MICA	UR LBE	Modélisation et contrôle des bioprocédés et des écosystèmes microbiens
TRANSFORM	UR REVERSAAL UMR TBI UR OPAALE	Génie des procédés et ingénierie de la concertation, solutions fondées sur la nature pour le traitement des eaux urbaines, gestion décentralisées des eaux urbaines pour la résilience des villes et l'économie circulaire de l'eau Procédés biologiques et membranaires, séparation à la source, écoconception et modélisation, qualité d'eau/usage Microbiologie sanitaire, procédés de valorisation des nutriments et REUSE, interactions avec la valorisation énergétique

Partenaires INRAE

Non INRAE	Expertises et contributions
ENPC (France)	Enjeux urbains de la REUSE

ENGEES (École Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg)/ CNRS	Ingénierie écologique, génie des procédés, infrastructures écologiques urbaines pour la gestion de l'eau, technologies membranaires de réutilisation
INSA Lyon (France)	T Gestion à la source des eaux pluviales urbaines
OFB (Office français de la biodiversité) (France)	Stratégie publique
International Union for Conservation of Nature (Suisse)	Renaturation des villes





CARIBOU

Projet exploratoire
2022



Coordination

- Tiphaine LUCAS
UR OPAALE
tiphaine.lucas@inrae.fr

Mots-Clés

- Rebus et invendus de Pain (RIP) à l'alimentation humaine y est forte (« food first »), et souvent justifiée comme minimisant aussi l'empreinte environnementale des produits [1,2].
- Pain
- Perte
- Valorisation
- Flux
- Conflit d'usages
- Bioéconomie

Départements INRAE

- [ACT](#)
- [MICA](#)
- [TRANSFORM](#)

CirculARlty of the Bakery prOdUction

Contexte et enjeux

Les pertes et gaspillages alimentaires en France ont été estimés à 20-30% de la production [1,2]. Ces pertes se distribuent tout le long de la chaîne qui s'étale de la production à la consommation, avec 35% cumulés aux étapes de transformation et de distribution tous types de produits alimentaires confondus [3]. La loi Garot 2016 a introduit une obligation de diminution progressive de la quantité de pertes et d'invendus alimentaires et une obligation de leur valorisation selon une hiérarchie privilégiant en premier lieu l'alimentation humaine (prévention du gaspillage, don aux associations caritatives, ré-emploi dans la fabrication de produits alimentaires, sur place ou non), puis l'alimentation animale, avant le compostage ou la production d'énergie. On peut constater que la priorité aussi l'empreinte environnementale des produits [1,2].

La filière de panification utilise 36% des farines de blé produites sur le territoire français et non exportées [4]. La production artisanale et la production industrielle y représentent 57% et 33% des parts respectivement. Les volumes des pertes et invendus de pain (RIP) ont fait l'objet de peu d'études le long de la filière ; il existe une estimation sur la base de données nationales [4] et une étude reposant sur des enquêtes de terrain en boulangerie artisanale et de GMS, à l'échelle nationale (17 enquêtes) réalisée par l'ADEME [3]. Selon [4], les RIP représentent de l'ordre de 500 000 et 270 000 t en transformation industrielle et en distribution respectivement (120 000 et 150 000 t issues des boulangeries artisanales et de la grande distribution resp.). D'un côté, le flux issu de la distribution s'explique par la durée de fraîcheur limitée du pain, dépassant difficilement la journée pour les produits vendus en frais et les trois semaines pour les pains dits de longue conservation. D'un autre côté, le flux des RIP à l'échelle industrielle reste le plus important du fait des quantités produites et malgré des processus déjà très optimisés (de l'ordre de 0,5% de pertes pour un gros site de production visité près de Rennes Métropole [5]). Une gestion durable des RIP s'inscrit plutôt dans un contexte local, et il existe à notre connaissance pas de documentation sur la répartition locale de ces flux.



Objectifs

CARIBOU réunit à la fois des sciences SHS et de l'évaluation environnementale et des technologies pour accompagner le développement de ces filières de valorisation. Notre objectif général est de mener des recherches qui accompagnent le développement de la circularité de la filière de panification d'un point de vue socio-économique, organisationnel et technologique, et qui éclairent, voire interrogent, aussi la hiérarchie réglementaire des usages des RIP. Il vise en premier lieu à mieux caractériser les flux de ces RIP et surtout leur spécificité territoriale. Cette étape est cruciale pour poser les questions de recherche les plus pertinentes dans le cadre d'une future recherche-action. CARIBOU ambitionne une réflexion sur le modèle économique le plus approprié, pour permettre la coexistence de plusieurs usages, en particulier ceux à forte fonction sociale (don aux associations caritatives, synergies locales créatrice de lien sur le territoire). Enfin, CARIBOU s'inscrit dans la lignée du questionnement de la hiérarchie des usages, telle préconisée par la réglementation en vigueur (loi GAROT 2016), et part du besoin de contextualiser les usages avant d'en définir une hiérarchie. A ce titre, le projet propose aussi d'explorer des valorisations nouvelles, de priorité intermédiaire dans la hiérarchie réglementaire. L'objectif est d'en tester les conditions premières de faisabilité pour en poursuivre éventuellement le développement dans un futur autre projet.

Trois actions de recherche ont été définies pour le projet CARIBOU :

(a) asseoir l'estimation des gisements de RIP disponibles, et en connaître les déterminants, de manière à mieux piloter leur éventuel futur changement (voir point c).

La production BVP –et donc la génération de RIP, sont concentrées sur les territoires urbain (boulangeries artisanales ou de supérettes) et périurbain (GMS, ateliers de moyenne taille alimentant la restauration collective urbaine : écoles, hôpitaux, Ehpad, prisons...). Même les grands sites de production BVP, dédiés majoritairement à l'export, sont situés en première couronne des grandes villes, à moins de 10 km (Château Blanc près de Lille, Jacquet près de Clermont-Ferrand, Bridor ou van de Moertel près de Rennes...). Les flux des RIP, qui restent à bien cartographier, semblent à la fois centrés sur la ville (don, ré-emploi sur le site de production) et tournés vers la campagne (farine pour animaux d'élevage). Dès lors, une meilleure identification des gisements et un diagnostic plus fin de leurs destinations dans cette potentielle logique ville-campagne apparaissent comme essentiels pour construire le métabolisme urbain et périurbain de ces RIP. Cet objectif contribue à l'axe 1.1 du MP BETTER.

(b) explorer la faisabilité de voies de valorisation innovantes.

Nous avons choisi d'explorer la faisabilité de deux voies de valorisation innovantes :

- une première contribuant à l'autonomie en protéines des territoires d'élevage. Le flux de RIP ciblé est l'invendu de GMS qui transite de la périphérie des villes vers les campagnes (élevages). Il s'agira d'évaluer la faisabilité d'optimiser la valeur nutritionnelle du RIP par un procédé inspiré de transformation « naturelle » de la matière organique par les champignons [6]. Cette tâche fait écho à l'axe 1.2. du MP BETTER, même si elle ne concerne pas à proprement parler des produits résiduaux, mais une matière propre à l'alimentation.

- une deuxième vise à étudier les voies de valorisation des flux de RIP et les déchets associés (RIP rendus impropres à la consommation). Il s'agira d'identifier la faisabilité et les conditions d'obtention de molécules d'intérêt (plate-forme ou bio-active) sur la base de procédés biologiques (fermentation notamment). L'échelle de la solution pourra être locale ou centralisée sera conditionnée aux résultats obtenus en (a). Cette tâche contribue à l'axe 2.2 du MP BETTER.

(c) préparer la construction de schémas d'organisation future des filières potentielles de valorisation des RIP, à la fois respectant voire facilitant la fonction sociale (dons,

synergies locales) et répondant aux besoins des territoires sur lesquels les RIP sont produits.

[1] Guilbert, S., Redlingshöfer, B., Fuentes, C., Gracieux, M. (2016). Systèmes alimentaires urbains : comment réduire les pertes et gaspillages ? Rapport INRA, 89 pages. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01743979>

[2] Redlingshöfer, B., Barles, S., Weisz, H. (2020). Are waste hierarchies effective in reducing environmental impacts from food waste? A systematic review for OECD countries. *Resources, Conservation & Recycling*, 156, 104723. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104723>

[3] INCOME Consulting - AK2C (2016). Pertes et gaspillages alimentaires : l'état des lieux et leur gestion par étapes de la chaîne alimentaire. Rapport commandité par l'ADEME, 164 pages.

[4] Juin, H. (2015). Les pertes alimentaires dans la filière Céréales. *Innovations Agronomiques* 48: 79-96.

[5] Roy, C. (2021). Quelles valorisations alimentaires et non alimentaires des rebuts de la filière pain ? Enquêtes et analyses des déterminants territoriaux de mise en oeuvre. Mémoire de fin d'études d'ingénieur d'AGROCAMPUS OUEST, spécialité Gestion de l'Environnement, spécialisation Agriculture Durable et Développement Territorial (ADT), 120 pages.

[6] Haroon, S., Vinthan, A., Negron, L., Das, S., Berenjian, A. (2017). Biotechnological Approaches for Production of High Value Compounds from Bread Waste. *American Journal of Biochemistry and Biotechnology*. 12 (2): 102.109. <https://doi.org/10.3844/ajbbsp>



Ce projet répond aux enjeux de INRAE 2030 inscrits dans l'axe 1 et dans l'axe 2 du [métaprogramme BETTER](#) pour l'amélioration de la circularité des flux et la réussite de la durabilité et la résilience de la ville de demain par la bioéconomie [Pour en savoir plus](#)

Partenaires

Partenaires INRAE

Le projet CARIBOU implique des personnes issues de disciplines, d'unités de recherche et de départements INRAE différents intéressées à faire dialoguer leurs recherches pour répondre aux défis sociétaux et scientifiques de la ville de demain.

Participants CARIBOU	Département INRAE	Unités	Contributions
Tiphaine LUCAS Maja MUSSE	TRANSFORM	UR OPAALE	<u>Coordinateur</u> Génie de procédés, appliqué au développement de la structure alvéolaire des produits panifiés
Lynda AISSANI Pierre THIRIET Marie-Line DAUMER Craig FAULDS	TRANSFORM	UR OPAALE UMR BBF	<u>E</u> valuation environnementale, Analyse du cycle de vie, Filières territorialisées de gestion des déchets organiques Modélisation spatiale Analyse des flux RIP et déchets, analyse interdisciplinaire du métabolisme territorial Génie des Procédés, appliqué à la valorisation des déchets (effluents d'élevage, boues de stations d'épuration par le passé) par voie biologique Enzymologie microbienne, appliquée à la valorisation des déchets agro-industriels Analyse des fibres
Barbara REDLINGSHÖFER	ACT	UMR SADAPT	<u>E</u> cologie territoriale, estimation de flux à partir d'enquêtes ou d'analyse de base de données, analyse interdisciplinaire du métabolisme territorial
FAVEL Anne	MICA	UMR BBF	Aide à la sélection des souches et à la croissance fongique

Métaprogramme
BETTER

Bioéconomie pour les territoires
urbains



Projet exploratoire
2022



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

Contexte et enjeux

Coordination

- Kamal Kansou
UR BIA
kamal.kansou@inrae.fr

Mots-Clés

- Scénario
- Evaluation de scénario
- What if
- Valorisation
- Bioéconomie

Départements INRAE

- [ACT](#)
- [AGROECOSYSTEME](#)
- [TRANSFORM](#)

Les bioraffineries sont souvent présentées comme des éléments majeurs de la bioéconomie pour accompagner la transition écologique et énergétique des territoires. Les revues scientifiques montrent que la conception de bioraffinerie est guidée principalement par des approches de recherche opérationnelle (optimisation) et de génie industrielle chimique ou de bioprocédés. Les travaux se concentrent généralement sur le processus de bioraffinerie, l'unité de production ou la chaîne d'approvisionnement, et évaluent des performances technico-économiques (coût, profit, consommation d'énergie, consommation d'eau,...) et des indicateurs environnementaux ayant un impact global que l'on retrouve dans les ACV (réchauffement climatique, eutrophisation, acidification...). Parallèlement il existe assez peu de bioraffineries opérationnelles, et leur diversité est réduite comme nous avons pu le constater à l'occasion d'un travail récent (Ait Sair et al., 2021). De la même manière, la production de biocarburant « cellulosique » peine à prendre de l'ampleur, malgré les importants progrès technologiques notamment sur la biocatalyse (Dale, 2018). Des travaux de différentes disciplines ont relié le faible développement des bioraffineries à une intégration inadéquate à la bioéconomie du territoire, ce qui se traduit, par exemple, par une faible implication des agriculteurs au projet (Dale, 2018 ; Gobert, 2018 ; Wohlfahrt et al, 2019).

L'enjeu est donc une meilleure prise en compte des spécificités et des problématiques d'un territoire lors de l'évaluation d'un projet de bioraffinerie. Le défi scientifique est associé au faible nombre de travaux portant sur ce problème fortement interdisciplinaire et donc à un manque de méthodologies disponibles pour réaliser ce type d'évaluation.

Objectifs

L'objectif du projet EDIFICE consiste à développer une méthode et des outils pour l'analyse de scénarios « What if », qui permettraient de répondre à la question :



« Et si cette biomasse était traitée dans ce type de bioraffinerie, quelles seraient les conséquences sur la durabilité du territoire ? »

Le projet vise également à développer une application à un cas d'étude concret permettant de démontrer la pertinence de la méthode.

L'approche choisie consistera à travailler sur la production maraichère dans la région péri-urbaine de Nantes. Compte tenu de la complexité des systèmes de production le projet EDIFICE se concentrera sur les développements méthodologiques et des outils au détriment de l'exhaustivité des types de biomasses maraichères, des types de bioraffinerie et des voies de valorisation possibles. Ainsi le cas d'étude concernera spécifiquement la gestion des déchets de tomate ou concombre produits sous serre.

EDIFICE suivra une approche intégrée et interdisciplinaire d'analyse de scénarios, associant des travaux expérimentaux et de modélisation ainsi que des actions pour associer des acteurs du secteur de la production et des preneurs de décision.

Ait Sair, A., Kansou, K., Michaud, F., & Cathala, B. (2021). Multicriteria Definition of Small-Scale Biorefineries Based on a Statistical Classification. *Sustainability*, 13(13). <https://doi.org/10.3390/su13137310>

Dale, B. (2018). Time to Rethink Cellulosic Biofuels? *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 12(1), 5–7. <https://doi.org/10.1002/bbb.1856>

Gobert, J. (2018). La bioraffinerie : mythe structurant d'une infrastructure clé de la transition écologique, *Tracés. Revue de Sciences humaines* [En ligne], 35 | 2018. DOI : <https://doi.org/10.4000/traces.8259>

Wohlfahrt, J., Ferchaud, F., Gabrielle, B., Godard, C., Kurek, B., Loyce, C., & Therond, O. (2019). Characteristics of bioeconomy systems and sustainability issues at the territorial scale. A review. *Journal of Cleaner Production*, 232, 898–909. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.385>

Ce projet répond aux enjeux de INRAE 2030 inscrits dans l'axe 3 du [métaprogramme BETTER](#) pour comprendre, évaluer et accompagner les transitions bioéconomiques dans les territoires urbains et leurs zones d'influence et d'impact. [Pour en savoir plus](#)

Partenaires INRAE

Partenaires

Le projet EDIFICE implique des personnes issues de disciplines, d'unités de recherche et de départements INRAE différents intéressées à faire dialoguer leurs recherches pour répondre aux défis sociétaux et scientifiques de la ville de demain.

Participants EDIFICE	Département INRAE	Unités	Contributions
Kamal Kansou	TRANSFORM	UR BIA	<u>Coordinateur</u> Analyse du territoire nantais, modélisation conceptuelle, évaluation multicritère, approche participative avec les parties prenantes
Julie Wohlfahrt Olivier Théron	ACT AGROECOSYSTEME	UMR LAE	<u>Co-Coordinateurs</u> Choix des indicateurs, modélisation et Analyse de scénarios de systèmes bioéconomiques territoriaux plateforme MAELIA

Alain Riaublanc Adeline Boire Bernard Cathala	TRANSFORM	UR BIA	Procédés de transformation de la biomasse, extraction et caractérisation de la fraction protéique Caractérisation de la biomasse lignocellulosique, Procédés de transformation de la biomasse
---	-----------	--------	--



FLY4WASTE

PROJET EXPLORATOIRE
2022



Coordination

- Christelle Planche, UR QuaPA
christelle.planche@inrae.fr

Mots-Clés

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

Départements INRAE

- ALIMH
- AGROECOSYSTEM
- MICA
- TRANSFORM

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

Contexte et enjeux

Certaines espèces d'insectes comme la mouche soldat noire (*Hermetia illucens*, communément appelée BSF pour black soldier fly) ont la capacité de croître sur des substrats organiques très variés pouvant aller du co-produit « noble » (son de blé) à des déchets comme le lisier de porc (Singh & Kumari, 2019). Cette capacité est aujourd'hui envisagée comme un moyen écologique de recycler certains biodéchets. Sachant que la production totale de déchets dans le monde devrait atteindre 3,4 milliards de tonnes par an d'ici 2050 (Kaza et al., 2018), l'entomoconversion offre donc une solution complémentaire intéressante aux solutions déjà existantes (i.e. compostage, microméthanisation, incinération) pour répondre à cet enjeu majeur. L'entomoconversion est par ailleurs un moyen de valoriser des biodéchets puisque les larves d'insectes peuvent, par exemple, être transformées en farines très riches en protéines à destination de l'alimentation animale. Ces larves sont également très riches en composés ayant des propriétés antimicrobiennes (acide laurique, peptides) et en lipides qui peuvent servir de nutriments énergétiques ou être convertis en biocarburant. Les larves peuvent également contenir des concentrations importantes de certains micronutriments (minéraux, éléments traces et vitamines) ce qui augmente leur valeur nutritionnelle en nutrition animale et humaine. Enfin, lors de leur élevage, les larves produisent un fumier (frass) pouvant servir d'engrais naturel, et de la chitine, à la base du chitosan utilisé dans diverses industries (Cammack et al., 2021). L'élevage d'insectes (entomoculture) est envisagé comme un moyen écologique de recycler des déchets ou résidus organiques ainsi que de valoriser des coproduits agro-industriels (entomoconversion). Dans ce contexte, ce projet a pour ambition d'éprouver le concept de bioéconomie circulaire en ayant comme objectif d'évaluer conjointement certains bénéfices mais aussi certains risques potentiels de l'entomoconversion pour valoriser les biodéchets issus des zones urbaines et péri-urbaines.



Objectifs

La mouche soldat noire est exploitée pour recycler des coproduits et résidus de qualité alimentaire en une gamme de produits d'ores et déjà commercialisés. FLY4WASTE a pour principale ambition d'évaluer dans quelle mesure cet insecte pourrait, si la réglementation l'autorisait, être exploité plus largement pour le recyclage de flux urbains et péri-urbains de biodéchets dans une optique de bioéconomie circulaire. La principale question de recherche sera 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 sont potentiellement très variés, aussi ce projet intégrera 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.

En vue d'une mise en œuvre effective de l'entomoconversion pour recycler des biodéchets urbains et péri-urbains, il sera nécessaire à terme d'élargir encore l'évaluation bénéfice-risque à d'autres dimensions en impliquant différents partenaires dans ce projet interdisciplinaire en particulier sur des aspects :

- Acceptabilité sociétale
- Utilisation des produits de l'entomoconversion en alimentation animale
- Sélection génétique de l'insecte
- Optimisation des procédés d'entomoconversion ou des procédés de transformation des produits dérivés.
- Impact environnemental

Ce projet répond aux enjeux de INRAE 2030 inscrits majoritairement dans l'axe 1 du métaprogramme BETTER « circularité des flux et le bouclage des cycles biogéochimiques », il contribue aussi aux axes 2 et 3 pour l'amélioration de la circularité des flux et la réussite de la durabilité et la résilience de la ville de demain par la bioéconomie.

Cammack, J. A., Miranda, C. D., Jordan, H. R., & Tomberlin, J. K. (2021). Upcycling of manure with insects: current and future prospects. *Journal of Insects as Food and Feed*, 1-16.

Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). *What a waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050*. World Bank Publications.

Singh, A., & Kumari, K. (2019). An inclusive approach for organic waste treatment and valorisation using Black Soldier Fly larvae: A review. *Journal of environmental management*, 251, 109569.

Partenaires

Partenaires INRAE

	Département INRAE	Unités	Expertises et contributions
PLANCHE Christelle ENGEL Erwan	TRANSFORM	UR QuaPA	<u>Coordinatrice</u> ; Sécurité chimique du biodéchet au produit de l'entomoconversion (transfert, bioaccumulation et bioamplification de contaminants) Sécurité chimique du biodéchet au produit de l'entomoconversion (transfert, bioaccumulation et bioamplification de contaminants)
MACOMBE Catherine	AGROECOSYSTEM	UMR ITAP	Evaluation économique et sociale de l'entomoconversion des biodéchets
BOREL Patrick	ALIMH	UMR C2VN	Nutrition, bio-accumulation de micronutriments à valeur santé
NIELSEN-LEROUX Christina	MICA	UMR MICALIS	Sécurité microbiologique des biodéchets et des insectes. Entomoconversion et réduction des pathogènes +/- sporulés

POQUET Isabelle SANCHIS Vincent CHATEAU Alice PONCET Sandrine BROUSSOLLE Véronique	MICA	UMR SQPOV	Sécurité microbiologique des produits de l'entomoconversion. Adaptation des bactéries Gram+ sporulées
THOMOPOULOS Rallou	TRANSFORM	UMR IATE	Analyse bénéfices-risques ; analyse multicritère & multiacteurs; argumentation & décision

Partenaires Non-INRAE

	Institution/organisme	Expertises et contributions
SABATIER Damien	Société BioMiMetiC (FRANCE)	Entomoconversion ; Élevage des insectes sur les biodéchets
GORRIA Morgane	Société PAPREC (FRANCE)	Fourniture de différentes catégories de biodéchets



NEWLINK

PROJET EXPLORATOIRE
2022



Coordination

- Hong-Minh Hoang
UR FRISE
hong-minh.hoang@inrae.fr
- Barbara Redlingshöfer
UMR SADAPT
barbara.redlingshofer@inrae.fr

Mots-Clés

- Gaspillage alimentaire
- Don alimentaire
- Chaîne du froid
- Optimisation multicritère
- Territorialisation
- Système alimentaire urbain
- Perte
- Valorisation
- Bioéconomie

Départements INRAE

- [ACT](#)
- [MICA](#)
- [TRANSFORM](#)

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

Contexte et enjeux

Dans une étude menée par l'ADEME sur le gaspillage alimentaire en restauration collective en France, il est rapporté que pour un restaurant servant 500 convives en moyenne 200 jours sur une année, le gaspillage représente entre 15 et 20 tonnes par an, soit en termes de budget, entre 30 000 et 40 000 euros par an de produits jetés (ADEME 2016). Pour lutter contre le gaspillage alimentaire dans la restauration collective, la loi EGalim (Article 88 > Art. L. 541-15-3 du code de l'environnement et ordonnance 2019-1069 du 21 octobre 2019) soumet les établissements qui servent plus de 3000 repas par 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 s'intègre dans une démarche éthique et sociale (solidarité aux plus démunis, lutte contre la précarité alimentaire) mais revêt également des enjeux environnementaux (réduction des impacts CO₂...) et économiques (limitation des coûts). Cependant, cette politique implique de nouvelles étapes (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 et environnementale des produits ramassés par les associations jusqu'à leur consommation. Par ailleurs, il serait judicieux d'analyser les impacts de ces nouvelles étapes sur la logistique et les acteurs impliqués.

Des travaux ont souligné la nécessité de prendre en compte les conditions sociales et techniques en ville dans le choix de gestion des flux et de réduction du gaspillage, sans compromettre la qualité sanitaire des denrées éventuellement redistribuées et consommées (Guilbert et al. 2016). Alors que de nombreux travaux analysent l'approvisionnement des villes ou l'ensemble du système urbain, très peu étudient l'aval et

38



le devenir de l'achat : consommation, pertes, gaspillages et déchets associés, leur origine et leur devenir. L'approche du métabolisme urbain, entendu comme l'ensemble des flux de matières et d'énergie mis en jeu par les sociétés humaines, permet de reconnecter approvisionnement et restitution de matières dans l'analyse de territoires urbains (Barles, 2017). L'approche permet de mieux cerner les questions pour anticiper, stimuler et accompagner la prévention et la valorisation des pertes et des gaspillages et, par-là, l'optimisation de l'utilisation des ressources et des matières premières. Ainsi, il est possible d'explorer la contribution de stratégies de réduction du gaspillage et de valorisation de denrées alimentaires écartées sinon gaspillées à la transformation du métabolisme des territoires, dans une perspective de durabilité.

Objectifs

NEWLINK réunit des compétences de divers champs disciplinaires, du génie des procédés et l'informatique aux sciences humaines et sociales. Il réunit un ensemble d'acteurs académiques et professionnels. L'objectif global du projet est d'optimiser la redistribution d'inventus 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 au moment de leur consommation (Duret *et al.* 2018). Plusieurs questions ont été soulevées :

- Q1 : Comment fonctionne ce maillon entre la restauration collective et les associations d'aide alimentaire ? acteurs impliqués, contraintes liées à la mise en œuvre, identification et traçabilité des produits ramassés, leur DLC, produits les plus concernés, durée de chaque étape, équipements (frigorifiques et autres) et personnel, points critiques qui pourraient détériorer la qualité des produits en cours des procédés et empêcher leur redistribution et leur consommation ?
- Q2 : Quels sont les bénéfices (solidarité : aspects économique et social, réduction du gaspillage et de l'impact environnemental lié au gaspillage) et coûts (économiques et environnementaux associés à ce nouveau maillon dus à la mobilisation des personnels et des équipements) dans un territoire donné ? Existe-t-il des solutions pour pérenniser le modèle économique de ce nouveau maillon, augmenter les bénéfices et/ou réduire les coûts tout en respectant la qualité des produits ?
- Q3 : Comment les résultats de l'analyse coût-bénéfice vont-ils être modifiés avec l'optimisation de la redistribution des inventus de repas dans un territoire donné et compte tenu de la présence de structures de donateurs et de receveurs ? Quel est le potentiel d'extension ? Doit-on envisager un seuil d'extension à atteindre ou au contraire à ne pas dépasser de façon à bénéficier d'un rapport coût-bénéfice favorable ? Comment l'évolution du marché de la redistribution pourrait-il influencer ces développements ?

Guilbert, S., Redlingshöfer, B., Fuentes, C., Gracieux, M. (2016). Systèmes alimentaires urbains : comment réduire les pertes et gaspillages ? Rapport INRA, 89 pages. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01743979>

ADEME (2016). Réduire le gaspillage alimentaire en restauration collective.

Barles, S. (2017). Écologie Territoriale Et Métabolisme Urbain : Quelques Enjeux De La Transition Socioécologique. *Revue d'Économie Régionale & Urbaine*, Décembr(5), 819. <https://doi.org/10.3917/reru.175.0819>

Duret, S., Hoang, H.-M., Derens-Bertheau, E., Delahaye, A., Laguerre, O., Guillier, L. (2018). "Combining Quantitative Risk Assessment of Human Health, Food Waste, and Energy Consumption: The Next Step in the Development of the Food Cold Chain?" *Risk analysis : an official publication of the Society for Risk Analysis*. doi:10.1111/risa.13199

Ce projet répond aux enjeux de INRAE 2030 inscrits dans l'axe 1 et dans l'axe 3 du [métaprogramme BETTER](#) pour l'amélioration de la circularité des flux et construire les trajectoires de transition bioéconomique pour la ville de demain par la bioéconomie [Pour en savoir plus](#)

Partenaires

Partenaires INRAE

Le projet NEWLINK implique des personnes issues de disciplines, d'unités de recherche et de départements INRAE différents intéressés à faire dialoguer leurs recherches pour répondre aux défis sociétaux et scientifiques de la ville de demain.

Participants NEWLINK	Département INRAE	Unités	Contributions
Hoang Hong-Minh Delahaye Anthony Fournaison Laurence Ndoye Fatou-Toutie Evelyne Derens Bertheau Duret Steven	TRANSFORM	UR FRISE	<u>Coordinateur</u> Analyse multicritère, impact énergétique et environnemental des équipements frigorifiques, chaîne du froid, qualité des aliments
Redlingshöfer Barbara Petit Caroline	ACT	UMR SADAPT	<u>Ecologie territoriale</u> , estimation de flux à partir d'enquêtes ou d'analyse de base de données, analyse interdisciplinaire du métabolisme territorial
Guillou Sandrine Boué Géraldine Strubbia Sofia	MICA	UMR SECALIM	Qualité sanitaire des aliments, durée de vie microbiologique Microbiologie prévisionnelle Evaluation risques – bénéfiques / multicritères



Coordination

- Mathieu Sperandio
mathieu.sperandio@insa-toulouse
- Mathilde Besson
UMR TBI
- Arnaud Reynaud
UMR TSE-R

Mots-Clés

- Récupération
- Urine
- Zone urbaine
- Valorisation
- Bioéconomie
- Fertilisants

Départements INRAE

- [AGROECOSYSTEM](#)
- [ECOSOCIO](#)
- [TRANSFORM](#)

Territoire avec VALorisation des Urines

Contexte et enjeux

La séparation des urines présente un intérêt certain pour augmenter la circularité des nutriments notamment de l'azote et du phosphore puisqu'elle contient 86 % de l'azote excrété par personne et 60 % du phosphore. A l'échelle d'un territoire comme l'Île-de-France les excréta humains représentent 22 % des apports en azote et 13 % des apports en phosphore par les engrais synthétiques permettant de produire l'intégralité des besoins alimentaires des habitants (comprenant aussi les importations). De plus, la production d'engrais azotés est fortement consommatrice de ressources fossiles puisque le procédé Haber-Bosch repose sur une forte consommation de gaz naturel.

Les gains environnementaux à attendre de la mise en place d'une valorisation territoriale de l'urine peuvent être importants. 1/ réduction de l'utilisation des ressources fossiles puisque la production d'engrais azotés repose sur le procédé Haber-Bosch (forte consommation de gaz naturel); 2/ réduction de l'impact sur le changement climatique grâce à une diminution de la production conventionnelle d'engrais et la réduction des émissions directes de gaz à effet de serre par le traitement de l'azote sur les stations d'épuration.

Objectifs

Ce projet a pour ambition d'étudier la valorisation territoriale de l'urine via un traitement innovant extractif pour une utilisation agricole et les impacts sur les services d'assainissement de la mise en place d'une telle filière. Il a pour objectifs d'apporter des réponses aux défis posés par la mise en place de la séparation à la source des urines en évaluant la

- faisabilité technique de la production d'un ou plusieurs fertilisants issus d'urine et leur impact environnemental. Ainsi une caractérisation physico-chimique du produit sera réalisée pour déterminer le potentiel des fertilisants produits et orienter leur utilisation. Les données de fonctionnement du pilote de production seront aussi



utilisées pour qualifier la filière de traitement au regard de ses performances environnementales ;

- faisabilité territoriale de la séparation des urines au regard des gisements et des utilisations. Un état des lieux des niches d'utilisation des produits sera fait sur un territoire d'étude. Les gisements d'urines seront aussi cartographiés ;
- durabilité économique de la valorisation territoriale de l'urine pour une utilisation agricole. Il est proposé de réaliser une analyse économique intégrant la valeur économique associée aux aménités environnementales et aux externalités positives de la récupération des urines.

Il est attendu à la fin de ce projet une meilleure connaissance des produits issus des traitements innovants de l'urine tant sur les aspects sanitaires que sur les aspects économiques, et sur la potentialité de mise en place de filière par l'analyse territoriale des gisements et besoins, ainsi que par l'analyse économique.

Ce projet répond aux enjeux de INRAE 2030 inscrits dans l'axe 1 du métaprogramme BETTER pour l'amélioration de la circularité des flux et notamment des nutriments dont la du cycle géochimique est à l'heure actuelle vue comme une des limites planétaires dépassée. De plus, l'utilisation des urines produites en ville en agriculture dans les zones permet de recréer une circularité territoriale. L'analyse territoriale et du modèle s'intègre dans l'axe du 3 de BETTER pour évaluer ces transitions bioéconomiques et leurs impacts sur le système actuel.

[Pour en savoirplus](#)

Partenaires

Partenaires INRAE et non-INRAE

Le projet TEVALU implique des personnes issues de disciplines, d'unités de recherche et de départements INRAE différents intéressées à faire dialoguer leurs recherches pour répondre aux défis sociétaux et scientifiques de la ville de demain.

Participants TEVALU	Département INRAE	Unités	Contributions
Mathieu Spérandio Mathilde Besson	TRANSFORM	UMR TBI	<u>Coordinateurs</u> Traitement de l'urine et récupération des nutriments
Arnaud Reynaud	ECOSOCIO	UMR TSE-R	<u>Co-Coordinateur</u> Economie de l'environnement et de l'eau, Monétarisation des impacts environnementaux
Florent Levavasseur Sabine Houot	AGROECOSYSTEM	UMR ECOSYS	<u>Partenaires</u> Analyse des pratiques culturelles d'insertion des urines dans la fertilisation des cultures
	non-INRAE		
Sylvaine Berger	SOLAGRO (BE)		Territorialisation en économie circulaire et en agroécologie. Analyse des usages des produits issus des urines



Métaprogramme BETTER
Bioéconomie pour les territoires urbains
better@inrae.fr

Rejoignez-nous:

OW'@DIm
inrae.fr

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



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

*Liberté
Égalité
Fraternité*

INRAE