



Métaprogramme BETTER

Bioéconomie pour les territoires urbains





Bioéconomie pour les territoires urbains (BETTER)

Directrice : Sophie Thoyer (CEE-M, ECOSOCIO)

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

Comité de Pilotage (par ordre alphabétique) : J Joel Aubin (SAS, PHASE), Christine Aubry (SADAPT, ACT), Sami Bouarfa (G-Eau, AQUA), Véronique Broussolle (SQPOV, MICA), Sylvain Caurla (BETA, ECOSOCIO), Fabrice Foucher (IRHS, BAP), Sylvie Gillot (REVERSAAL, TRANSFORM) Stéphane Guilbert (IATE, Supagro, TRANSFORM), Bernard Kurek (FARE, TRANSFORM), Jean-Denis Mathias (LISC, MATHNUM), Christophe Schwartz (LSE, Univ Lorraine, AGROECOSYSTEM), Anne Tremier (OPAAL, TRANSFORM), Julie Wohlfahrt (LAE, ACT)

Qu'est-ce qu'un Métaprogramme INRAE ?

Les métaprogrammes constituent 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.

L'ambition des métaprogrammes est de :

- développer une recherche interdisciplinaire, et repousser les frontières de la science pour répondre aux grands enjeux sociétaux et/ou scientifiques;
- construire de nouvelles communautés scientifiques et les accompagner sur ces sujets ;
- accroître la visibilité des recherches de l'institut aux niveaux national, européen et international et développer leur impact.

Chaque métaprogramme se base sur un document fondateur fixant les orientations scientifiques. Durant 5 à 8 années, le soutien financier alloué par INRAE permet de développer des actions interdisciplinaires comme des animations scientifiques, la constitution de réseaux scientifiques, ainsi que la conduite de projets de recherche interdisciplinaires et le financement de thèses.

1 Enjeux

1.1 Enjeux sociétaux : comment gérer les villes de demain et leur impact

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 actuellement¹. La tendance à l'urbanisation de nos sociétés, au Nord comme au Sud, qui se traduit par une densification de l'habitat et des activités, 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. Avec le changement climatique, les villes seront soumises à des pressions et des risques croissants, comme les disponibilités en eau potable, la gestion des événements climatiques extrêmes, voire même, à plus long terme, des risques de ruptures d'approvisionnement alimentaire ou énergétique. Ces enjeux sont très présents dans les réflexions de la communauté internationale² et à l'échelle de l'Union européenne. La crise sanitaire a aussi montré l'importance de travailler sur ces questions.

Enfin, les villes sont les principaux territoires émetteurs de gaz à effet de serre³ et sont donc attendues pour contribuer aux objectifs des accords de Paris sur le climat. La France a ainsi encouragé le rôle des collectivités locales dans la transition énergétique et écologique, notamment via les plans climat air énergie territoriaux (PCAET).

Un nombre croissant de villes dans le monde, comme Paris, se sont engagées à la neutralité carbone d'ici 2050 et repensent l'intégralité de leur aménagement et de leur politique sous cet angle⁴, tout en devant tenir compte des attentes des citoyens et des habitants des territoires autour des villes qui réclament l'amélioration équitable de leur cadre et qualité de vie. Elles construisent un éventail de solutions reposant, entre autres, sur plus de circularité et de recyclage des déchets urbains et des eaux usées, sur la réduction de la demande énergétique et le recours croissant à des énergies renouvelables comme le biogaz, sur l'évolution de leur architecture, de leurs plans d'urbanisme et d'extension urbaine pour faciliter les mobilités et mieux tirer parti des écosystèmes urbains et des matériaux issus de la biomasse. Elles s'investissent aussi sur les enjeux de consommation et de production alimentaire, par exemple à travers des projets alimentaires territoriaux, pour diminuer leur empreinte environnementale et améliorer le bien-être des habitants⁵.

Une large gamme de ces réponses relève de la bioéconomie et de l'économie circulaire, et s'inscrit dans les stratégies européennes et françaises correspondantes. L'objet de ce métaprogramme sera donc 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.

Les territoires urbains sont amenés à se transformer très profondément et de manière systémique pour répondre à ces défis majeurs. Ces transformations concerneront aussi les espaces péri-urbains, soumis aux multiples pressions des villes. Mais l'aire d'influence directe des grandes villes et des métropoles s'étend souvent très largement au-delà de leur périurbain, dans les zones agricoles et rurales qui contribuent à leur approvisionnement (ce qu'on appelle souvent l'hinterland des villes) et qui subissent leurs impacts, par exemple en terme de pollution, de concurrence sur la disponibilité en eau, ou d'espace pour accueillir les résidus urbains.

¹ United Nations, 2018, World urbanization prospects 2018, department of Economic and Social Affairs

² Voir the New Urban Agenda adopté par la conférence Habitat III de l'ONU en 2016

³ Une étude de WWF (2018) estime que les territoires urbains français sont responsables de 67% des émissions nationales de GES (émissions directes du territoire des villes, et émissions indirectes liées à la production d'énergie pour les villes). Les autres émissions induites générées par la consommation « portée » non énergétique ne sont pas comprises dans ce calcul.

⁴ Voir par exemple l'étude d'Egis/Elioth pour Paris (2018) « Paris change d'ère : vers la neutralité carbone en 2050 », <http://paris2050.elioth.com/>

⁵ Voir ainsi les initiatives du Pacte de Milan sur l'alimentation durable des villes, la *sustainable cities platform* pour l'UE signée en 2016, le plan Villes durables et le label Ecoquartiers en France

La dynamique démographique des villes, l'évolution de leurs modes de consommation et de transport, les choix faits en matière de gestion des déchets, d'eau, d'énergie, influencent en retour le devenir des systèmes sylvo-agricoles, des écosystèmes naturels et la dynamique socio-économique de ces territoires.

Les besoins de connaissances et d'innovations sont donc massifs, car il faut pouvoir innover, proposer et évaluer des solutions qui répondent aux contraintes spécifiques des territoires urbains⁶ et qui intègrent les problématiques des territoires sous influence directe ou indirecte des choix faits par les zones urbaines.

1.2 Enjeux scientifiques : apporter des solutions bioéconomiques pour les territoires urbains de demain

INRAE finalise en 2020 un rapport de réflexion prospective interdisciplinaire sur la bioéconomie. 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. Ce rapport identifie les futurs fronts de science et de technologies que INRAE devrait porter, et propose, entre autres, d'analyser les enjeux territoriaux de la bioéconomie.

Dans ce cadre, et compte tenu des enjeux sociétaux décrits plus haut, le défi scientifique pour INRAE est d'apporter des réponses aux questionnements suivants: **en quoi le déploiement de la bioéconomie au sein des villes et entre les villes et les campagnes peut-il contribuer à rendre les villes plus durables et quelles sont les conditions de transition ?**

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.

Ces problématiques ne se posent pas de la même manière pour des pôles urbains de taille conséquente ou pour des unités urbaines de petite taille situées dans des zones rurales. Parce que l'ambition du métaprogramme est d'analyser comment les dynamiques urbaines interagissent avec les territoires, nous choisissons de nous concentrer plutôt sur les villes grandes et moyennes (plus de 20 000 habitants), et sur les grandes aires urbaines qui posent des défis spécifiques, notamment du fait de la taille de leurs centres urbains et de l'étendue et la fragmentation de leurs zones d'influence (parfois à l'échelle mondiale). Notre ambition est aussi d'ouvrir la réflexion à une large diversité de situations urbaines, de par leur géographie, leur dynamique démographique et économique, leur morphologie, pour lesquelles les défis énoncés plus haut peuvent se décliner de façon très différente et appeler des solutions contrastées: par exemple, les villes prospères et en croissance versus les villes en décroissance, les villes très concentrées versus les villes caractérisées par un fort étalement urbain. Le métaprogramme pourra inclure ponctuellement des travaux sur des villes non européennes, notamment les mégapoles dans les pays du Sud, lorsque les défis qu'elles posent permettront d'aborder des fronts de science importants.

⁶ Notamment, la densité démographique qui accentue l'exposition aux pollutions, la rareté du foncier et l'existence d'infrastructures lourdes qui limitent les options de (ré)aménagement ; la complexité de la logistique des flux d'approvisionnement, la densité de ces flux ainsi que celle des déplacements humains

1.3 Enjeux d'interdisciplinarité

Travailler sur la transition bioéconomique des territoires urbains exige une approche systémique alliant les disciplines bio-technologiques 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. Il s'agit donc de construire 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.

2 Axes de programmation

Trois axes de travail sont proposés pour structurer les recherches mais compte-tenu du caractère systémique des enjeux scientifiques à relever, un même projet d'animation ou de recherche pourra concerner plusieurs de ces axes.

2.1 La circularité des flux et le bouclage des cycles biogéochimiques

Les villes sont perçues aujourd'hui comme 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. Par exemple, seulement 4% de l'azote et 41% du phosphore présents dans les eaux usées de la région parisienne sont actuellement recyclés alors que les besoins en engrais azotés de l'agriculture francilienne pourraient être couverts par les excréments de l'agglomération parisienne.

Comment passer d'une logique où les « déchets » doivent être éliminés souvent avec un coût financier et environnemental, à une logique où ils s'intègrent dans des cycles limitant les gaspillages, réduisant les déchets ultimes et conduisant à des co-produits valorisables, sources de revenu et contribuant à l'équilibre des écosystèmes ? Cela suppose de répondre à des enjeux scientifiques sur (1) notre capacité à mesurer et caractériser les flux de matière, d'eau et de nutriments entrant et sortant des territoires urbains mais aussi circulant dans ces territoires et les interdépendances avec les autres territoires (2) proposer des solutions sur la réduction des déchets et sur le recyclage et la valorisation des produits résiduels organiques en ville (3) repenser l'organisation des flux d'eau et de nutriments (carbone, azote et phosphore) en ville et avec les sphères péri-urbaines et rurales (4) résoudre le défi du devenir des contaminants et de l'innocuité sanitaire des résidus.

2.1.1 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 (Fernandez-Mena, Nesme et Pellerin, 2016) mais ces analyses méritent d'être affinées pour inclure non seulement les flux entrants et sortants mais aussi sous quelles formes sont stockés les nutriments carbone, azote, phosphore (boues résiduelles, déchets alimentaires, déchets verts), leur variabilité spatio-temporelle, leur hétérogénéité et leurs caractéristiques. L'analyse métabolique classique doit aussi être complétée par une analyse des contaminants entrants et sortants. Ces diagnostics nécessitent un travail sur les bases de données existantes ou à construire et les systèmes d'informations à faire évoluer y compris pour assurer la traçabilité (en mobilisant le numérique et le spatial, mais aussi la participation citoyenne).

2.1.2 Repenser le recyclage et la valorisation des produits résiduels issus des territoires urbains. L'enjeu structurant est d'identifier les meilleures options ainsi que le potentiel de solution très innovantes, voire en rupture (par exemple la collecte d'urine) pour organiser la valorisation des produits résiduels organiques et minéraux tout en contribuant à une économie urbaine plus solidaire, moins polluante et la plus saine possible. Comment organiser l'ingénierie reverse pour collecter, trier et rassembler les produits résiduels en fonction

des besoins de matières premières secondaires ? Il sera nécessaire d'évaluer 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. 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 (Jarousseau et al, 2016). 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.

2.1.3 Intensifier et ré-organiser les flux de nutriments ville-ville et ville-campagne. Il s'agit d'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. Cela pose une série de défis scientifiques qui ne sont aujourd'hui que partiellement couverts (Kampelmann et de Muynck, dans POUR 2019): 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 ?

2.1.4 Proposer des solutions pour maîtriser le devenir des contaminants : L'étude du devenir des contaminants biotiques (virus et microorganismes, agents pathogènes,) et abiotiques (polluants organiques persistants, résidus pharmaceutiques et phyto-pharmaceutiques, métaux lourds, micro- et nano- plastiques, particules fines atmosphériques) dans les systèmes de recyclage ou de traitement des co-produits, des déchets organiques et des eaux usées constitue un enjeu sanitaire prioritaire. La stabilité chimique de ces contaminants ou polluants et le caractère apolaire des contaminants organiques et des plastiques laissent en effet présager une bio-accumulation et bio-amplification au travers des réseaux trophiques et des cycles biogéochimiques. L'identification de ces contaminants et des flux correspondants, 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 ? Ces questions seront à analyser en lien avec la façon dont les normes sanitaires d'épandage et les cahiers des charges des labels agricoles freinent et orientent l'utilisation des résidus, ainsi que les enjeux de perception des risques liés à leurs usages, et les éventuels dispositifs de remédiation et d'assurance à mettre en place.

2.2 Réussir la durabilité et la résilience de la ville de demain par la bioéconomie

Une des voies de réponse pour réduire l'impact environnemental des villes, et 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.

2.2.1 Les évolutions des demandes et les attentes pour les produits biosourcés. Il sera essentiel d'étudier en quoi 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 bien sûr, mais aussi les matériaux de construction (le bois, les hybrides organiques/minéraux, les plastiques biosourcés, les biopolymères), le mix bioénergétique en ville, et les solutions fondées sur la nature se substituant à des technologies pétrosourcées⁷. 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.

2.2.2 Intégrer la production, la transformation, l'usage, le recyclage et la fin de vie des produits biosourcés dès leur conception, notamment dans le cadre contraint des besoins urbains. Il faudra 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 urbains⁸ : changement d'échelle des process 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.

2.2.3 Raisonner et évaluer la coexistence et la complémentarité des flux locaux et globaux. La tendance actuelle est celle d'une relocalisation de la production alimentaire⁹ et d'une demande de reconnexion entre producteurs et consommateurs. Un certain nombre de villes choisissent de miser sur une plus grande autonomie d'approvisionnement alimentaire¹⁰ 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. Les questions à aborder dans ce cadre sont d'abord celles de 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. L'évaluation de ces choix nécessite de construire un cadre multicritère permettant de mesurer les compromis entre différents objectifs parfois incompatibles et de pouvoir intégrer différentes échelles d'évaluation.

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

La question de comment les transformations nécessaires des villes et des territoires qui interagissent avec elles vont s'opérer est cruciale: peut-on planifier la transition bioéconomique des villes, existe-il des trajectoires de transformation plus désirables que d'autres, quels rôles les politiques publiques peuvent-elles jouer?

Cela suppose (1) de se doter d'outils de scénarisation et de modélisation des trajectoires de transition bioéconomique ; (2) de mettre au point des méthodologies d'évaluation des trajectoires de transition ; (3) d'analyser la gouvernance des transitions urbaines et de leurs territoires d'influence

2.3.1 Construire des outils de scénarisation et de modélisation des trajectoires de transition bioéconomique des villes et de leurs territoires d'influence : de même que le GIEC construit des scénarios socio-économiques partagés pour représenter divers profils de stratégie d'évolution et d'adaptation au changement climatique à l'échelle du monde, un enjeu est de scénariser et modéliser, en travail interdisciplinaire, les transitions bioéconomiques des villes dans une perspective d'évolution de leur métabolisme vers le zéro

⁷ Par exemple la présence d'arbres en ville pour réduire les îlots de chaleur plutôt que des ombrières en toile ou en plastique
⁸ Par exemple le chauffage bois entraîne l'émission de particules fines, l'utilisation du bois matériau suppose une durée de vie moindre que le béton et l'acier et exige, pour certains usages, des traitements potentiellement impactant pour la santé humaine, l'usage des énergies et matériaux biosourcés peut imposer des contraintes spécifiques (densité du stockage, construction de nouveaux réseaux de distribution de chaleur ou de carburants, etc.).

⁹ Voir les conclusions du colloque « Reterritorialisation de l'alimentation » organisé par INRAE, le 28/11/2019 à Paris

¹⁰ Voir ainsi la publication (2020) à destination des collectivités locale de l'association Les Greniers d'abondance « Vers la résilience alimentaire : faire face aux menaces globales à l'échelle des territoires », <https://resiliencealimentaire.org/>

émission nette en 2050 (Hunt and Watkiss, 2011). Notre proposition est d'engager très rapidement ce travail, en constituant un groupe pluridisciplinaire qui pourra ainsi constituer la base de la communauté scientifique que nous souhaitons créer. Une première étape serait de construire quelques scénarios de transition, en nous appuyant sur des scénarios existants comme « Systèmes alimentaires urbains : comment réduire les pertes et gaspillages » de S. Guilbert et al (2016) et en élargissant la réflexion au bouclage des cycles et au recours aux produits et services biosourcés. Une deuxième étape serait de monter un modèle simplifié d'un territoire urbain virtuel sur lequel pourrait être testé quantitativement l'impact des différents scénarios envisagés sur quelques variables clé comme le bilan métabolique, les flux de contaminants, les coûts pour les ménages et les finances locales, l'occupation des sols dans les territoires périurbains et ruraux etc. Cet exercice de modélisation servirait avant tout comme outil 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. Selon le succès de cette méthode, ce modèle pourrait ensuite être développé pour constituer la base d'une plateforme adaptable à différents contextes et pouvant être mobilisée aussi comme outil d'aide à la décision et à la concertation.

2.3.2 Établir des méthodologies d'évaluation des trajectoires de transition : au-delà du seul périmètre de la ville, il faudra 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.

2.3.3 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. Les enjeux de recherche porteront notamment sur la compréhension des freins et des leviers à la transition des villes vers des solutions bioéconomiques dont il faudra explorer toute la diversité (y compris des trajectoires de réduction de la consommation et de décroissance, obéissant à des paradigmes socio-économiques différents) : 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. Les espaces de type living labs sont un moyen d'opérer ces transitions autour de l'innovation en situation réelle. Il sera envisageable de s'appuyer sur les territoires d'innovation (TI de Dijon sur systèmes alimentaires durables de 2030), TI de Rennes « Terres de sources » sur la protection de l'eau, TI Occit@Num sur l'agroécologie numérique en Occitanie). Le potentiel transformant de ces approches participatives (par exemple pour co-construire des solutions opérationnelles acceptées et partagées) sera à évaluer.

3 Plus-values et complémentarités du métaprogramme

3.1 Un domaine nouveau mais légitime

Le domaine de l'urbain n'est pas complètement nouveau pour INRAE mais ce n'est pas son terrain habituel, plutôt investi aujourd'hui par des instituts comme l'IFSTTAR (intégré à l'Université Gustave Eiffel) sur le génie urbain et les mobilités, le Cerema sur l'aménagement et l'urbanisme, ou de gros laboratoires de recherches urbaines, notamment en géographie et architecture.

Mais la question du développement de la bioéconomie pour les territoires urbains n'est pas saisie par ces instituts dans sa globalité : on y trouve des gros programmes sur la nature en ville, sur les éco-quartiers, sur la ville productive (incluant la réflexion sur l'agriculture urbaine), sur la gestion des déchets urbains et sur la promotion de la circularité en ville. Mais, les travaux sur l'articulation avec les territoires péri-urbains et les enjeux sylvo-agricoles et environnementaux des zones d'influence des villes, et sur la dimension bioéconomique et alimentaire des territoires urbains, sont moins nombreux.

INRAE est légitime pour investir sur ce domaine. En effet, INRAE connaît les problématiques des villes principalement à travers trois points d'entrée thématiques : 1) l'agriculture urbaine et périurbaine, la

végétalisation des villes, les circuits courts, et plus récemment les systèmes alimentaires urbains 2) les eaux résiduaires urbaines, les biodéchets en ville 3) les articulations entre dynamiques urbaines et dynamiques 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'originalité sera d'intégrer à partir des problématiques transversales posées par l'avenir des territoires urbains:

- les connaissances sur les flux de nutriment, les pratiques d'amendement et de fertilisation, les risques sanitaires associés, la qualité des sols urbains (AGROENV, ACT, AQUA)
- les compétences sur le métabolisme des territoires, l'écologie des territoires, les systèmes agri-alimentaires territorialisés (ACT, AGROENV)
- les compétences en modélisation et évaluation de la durabilité environnementale des territoires et les technologies d'acquisition de données (y compris la télédétection), et le traitement de données massives, (NUMM, AGROENV, ACT)
- les compétences sur les bioprocédés, la transformation agro-alimentaire, l'éco-conception, la méthanisation, la réutilisation des eaux usées traitées (TRANSFORM, AQUA et AGROENV)
- 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...) (ACT, ECOSOCIO, AQUA)

3.2 Estimation des disciplines et départements concernés

Une évaluation relativement grossière des forces aujourd'hui en présence sur ce sujet conduit à environ 120 chercheurs dans un premier cercle et 200 dans un deuxième cercle, principalement au sein des départements Transform, EcoSocio, Terra, Agro-Env, Numm 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 très dispersés.

Un point important à souligner est que, même si les termes urbain et bioéconomie sont présents dans les Schémas Stratégiques de la plupart de ces départements, il existe encore trop peu de recherches qui partent des contraintes des territoires urbains pour intégrer de manière systémique et intégrée les questions posées par l'approvisionnement des villes¹¹, la gestion des déchets, de l'eau et des nutriments en ville, en lien avec des objectifs d'atténuation climatique, de durabilité environnementale et sociale. Un des objectifs de ce métaprogramme sera donc de construire des démarches interdisciplinaires sur l'avenir bioéconomique des villes et de leurs territoires d'influence, tout en s'appuyant sur les travaux disciplinaires menés au sein des départements (par exemple les techniques de traitement des eaux usées, la mobilisation des digestats pour la fertilisation des sols, les évolutions des régimes alimentaires).

3.3 Interfaces avec les autres métaprogrammes et thématiques prioritaires

Ce métaprogramme de par son entrée sur territoires et bioéconomie, touche évidemment à des questions transversales, elles-mêmes présentes, de façon différente, dans d'autres métaprogrammes et thématiques en réflexion. Le tableau ci-dessous indique les points d'attention et les clarifications que nous souhaitons apporter sur les questions d'interface.

MP	Interface
Stratégie territorialisée d'adaptation et d'atténuation des systèmes agri-alimentaires et	C'est le MP avec lequel nous avons le plus d'interface, notamment leurs axe 1 (conception et évaluation de systèmes agri-alimentaires durables..) et axe 2 (accompagnement des transitions). -sur Axe 1 : BETTER traitera des problématiques liées à la gestion des villes futures (y compris les besoins d'adaptation et les engagements d'atténuation) et des conséquences des dynamiques impulsées par les villes pour les systèmes agri-alimentaires et forestiers.

¹¹ On peut citer sur ce sujet l'école-chercheur « Systèmes alimentaires et villes » que le SAD a organisé en 2019

forestiers face au changement climatique CLIMAE	Le MP sur adaptation et atténuation sera plus orienté sur la conception de nouveaux systèmes agri-alimentaires et forestiers susceptibles de mieux s'adapter au CC et de contribuer à la réduction des GES. -sur Axe 2 : Des complémentarités pourront être trouvées sur l'analyse des politiques publiques susceptibles de faciliter les trajectoires de transformation, et sur les outils et méthodologies permettant d'évaluer (voire d'accompagner) ces trajectoires.
Services écosystémiques et biodiversité BIOSEFAIR	Des synergies sont envisagées sur : -les bouquets de services rendus par la biodiversité en ville, et la façon de les mobiliser pour des solutions fondées sur la nature qui permettent de substituer du carbone renouvelable à du carbone fossile dans la gestion urbaine -le suivi de l'impact de la transition bioéconomique des villes sur la biodiversité, notamment dans les espaces d'interface comme le péri-urbain
Changement d'échelle de l'agriculture biologique METABIO	Dans un scénario d'agriculture biologique majoritaire, BETTER et METABIO peuvent contribuer sur : -Quel potentiel des produits résiduels organiques et minéraux issus des villes et de la réutilisation des eaux urbaines traitées comme intrant dans l'agriculture biologique (normes, acceptabilité, cahier des charges) et dans le bouclage des cycles? -Quel devenir des produits certifiés bio dans la bioéconomie des villes (notamment les produits non alimentaires)
Biologie numérique pour comprendre et prédire le vivant DIGIT-BIO	La réflexion sur cette thématique n'est pas finalisée mais des interfaces seront à clarifier sur les technologies numériques de traçabilité pour les produits bioéconomiques, et sur la télédétection/imagerie spatiale pour l'évaluation, le suivi et la modélisation des flux. Les outils du numérique pourront aussi être mobilisés dans des projets sur les smart cities afin de faciliter les collectes et les recyclages des déchets (villes comme terrain d'application de Digigral).
Systèmes alimentaires et santé humaine SYALSA	Le MP BETTER ne travaillera pas directement sur les déterminants de l'évolution des régimes alimentaires. En revanche, il pourra analyser en quoi l'évolution des régimes alimentaires et des modes de consommation en milieu urbain va affecter la nature, le volume et la localisation des déchets produits par les villes, et comment les attitudes de consommateurs citoyens face au recyclage et à la réutilisation dans l'alimentation peuvent amplifier la circularité.

4 Ambitions

4.1 Percées scientifiques potentielles

Le métaprogramme devra permettre à terme de :

- Lever des verrous technologiques, organisationnels, institutionnels et sociaux liés au développement de la bioéconomie pour les territoires urbains;
- Permettre la conception et la mise en œuvre de systèmes bioéconomiques durables répondant aux contraintes des territoires urbains et compétitifs par rapport aux filières liées aux ressources fossiles et équitables pour l'ensemble des territoires;
- Fournir, en lien avec d'autres MP qui se heurtent aux mêmes verrous, des méthodologies fiables et robustes d'évaluation de la durabilité de ces systèmes et des trajectoires de transition;
- Proposer des outils d'appui à la politique publique et d'accompagnement des transitions pour le déploiement de systèmes bioéconomiques durables et résilients

4.2 Impacts environnementaux, sanitaires, sociaux visés (selon les dimensions d'impact ASIRPA)



4.3 Enjeux de positionnement national, européen et international

L'enjeu pour INRAE est de s'affirmer comme un institut de recherche contribuant à la réduction de l'empreinte environnementale des villes et à l'amélioration de leur durabilité, en travaillant sur les dynamiques conjointes des territoires urbains, péri-urbains et ruraux. C'est sa capacité à se positionner sur les interfaces ville-campagne, biomasse pour l'alimentation et le non-alimentaire, recyclage et bouclage des cycles biogéochimiques qui lui donnera une spécificité que d'autres institutions de recherche spécialisées sur les enjeux urbains n'ont pas.

A l'échelle européenne, notre positionnement pourra être renforcé par notre participation au SCAR Bioeconomy Strategic Working group¹² et Food Systems, notre coordination de l'infrastructure de recherche IBISBA-EU, et différents projets européens, en cours ou déposés, dans le cadre d'appels européens comme H2020 SC5 2018 (Demonstrating systemic urban development for circular et regenerative cities) ou H2020-CE-FNR-17-2020 (Pilot circular bio-based cities – sustainable production of bio-based products from urban biowaste and wastewater). L'objectif à terme sera de porter davantage de projets européens et de nous insérer dans le partenariat européen

¹² <https://www.scar-swg-sbgb.eu/> Standing committee for Agricultural Research et Bioeconomy Strategic working group

programmé sur «sustainable, smart and inclusive cities ».

4.4 Analyse des atouts et limites de l'institut (Inra-Irstea) dans le domaine du MP

La fusion INRA-IRSTEA permet de renforcer nos capacités de recherche, d'une part sur la question du traitement des déchets et de l'eau, et d'autre part sur les conditions de déploiement de la bioéconomie territoriale et les conséquences de l'usage des bioressources sur les agro-écosystèmes. Même si les territoires urbains n'étaient pas l'image de marque des ex-INRA et ex-IRSTEA, la création d'INRAE est l'occasion d'investir davantage sur les problématiques des villes.

La communauté scientifique sur ces questions est encore dispersée et fonctionne peu en interdisciplinarité. Mais les initiatives passées ou en cours (sur le gaspillage en ville, sur les systèmes alimentaires urbains, sur la gestion des déchets urbains) montrent que le potentiel et l'envie de s'emparer de ces questions sont présents.

La section 3.1 a fait le point sur les disciplines et compétences sur lesquelles INRAE peut compter. Il nous faudra en revanche trouver les partenariats utiles pour pallier à l'insuffisance ou l'absence de disciplines qui seront importantes pour ce métaprogramme, notamment urbanisme et architecture, logistique, droit, géographie urbaine, et psychologie sociale.

5 Principaux partenaires potentiels et modalités de collaboration

Pour mener à bien cette ambition, INRAE devra construire de nouveaux partenariats et en consolider d'autres, à la fois pour renforcer certaines disciplines et parce que d'autres institutions ont déjà des acquis sur lesquels il nous faut nous appuyer.

Nous devons ainsi renforcer les collaborations existantes avec des UMR phare dans ces domaines comme Géographie-Cités¹³ sur les dynamiques urbaines, Metis¹⁴ sur le métabolisme urbain, Steep¹⁵ sur la modélisation des transitions, le Cired¹⁶ sur l'adaptation et la contribution des villes à l'atténuation du changement climatique, l'Université Gustave Eiffel¹⁷ (nouvel établissement qui réunit notamment l'ex-IFSTTAR, et des écoles d'urbanisme), notamment dans le cadre du Labex Futurs urbains, le pôle universitaire de Reims/Neoma BS (European Center of biotechnology and bioeconomy) et la nouvelle EUR Bioeco de Toulouse.

Deux Grands Enjeux Transversaux (GET) d'Allenvi peuvent aussi nous aider à faire le lien avec d'autres instituts de l'Alliance : Territoires en transition (animé par S. Thoyer) et Villes Durables (animé par Nacima Baron et Antoine Frémont).

Nous avons aujourd'hui des conventions cadre de partenariats (héritées de ex-Inra ou ex-Irstea) avec un certain nombre d'Instituts bien positionnés sur la thématique du métaprogramme. Le MP pourra contribuer à faire vivre ces projets de coopération dans le cadre de groupes thématiques conjoints amenés à évoluer: c'est le cas avec le CEREMA¹⁸, notamment sur les thématiques déchets et villes durables, IGN¹⁹ sur les données de référence et

¹³ <https://www.ehess.fr/fr/geographie-cite> avec une équipe PARIS ayant comme objet d'étude la ville et les systèmes urbains et les dynamiques territoriales

¹⁴ <https://www.metis.upmc.fr/>

¹⁵ <https://team.inria.fr/steep/>

¹⁶ <http://www.centre-cired.fr/>

¹⁷ <https://www.univ-gustave-eiffel.fr/> et IFSTTAR Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux. IFSTTAR était un institut de recherche conduisant des travaux de recherche finalisée et d'expertise dans les domaines des transports, des infrastructures, des risques naturels et de la ville.

¹⁸ Centre d'Etudes et d'Expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement <https://www.cerema.fr/fr>.

¹⁹ Institut National de l'information Géographique et forestière (<http://www.ign.fr/>): les domaines prioritaires de coopération (accord cadre signé avec Irstea en 2018) sont aujourd'hui beaucoup tournés sur la caractérisation des milieux naturels, la

les outils d'observation géographiques pour la gestion des territoires, IFP-EN²⁰ sur les énergies et mobilités en ville et les bioénergies, et l'ADEME sur la bioéconomie dans les territoires.

Les enjeux de durabilité des villes sont aussi très présents dans divers groupes et think-tanks avec lesquels des chercheurs d'INRAE collaborent comme I4CE²¹, l'IDDRI (sur l'assainissement et le numérique dans les villes en développement et sur la transition énergétique en France) ou des Fondations issues du secteur privé (La Fabrique de la Cité par exemple).

Nous pourrions aussi réfléchir à la façon dont notre métaprogramme pourra aussi s'appuyer sur des conventions et partenariats avec le secteur privé (par exemple Veolia et Suez sur gestion de l'eau et des déchets au service d'une agriculture durable, le pôle IAR de la bioéconomie).

Les priorités de partenariat avec les Universités européennes leader dans le champ de la bioéconomie (Université de Bologne, Université d'Aarhus) sont encore à creuser.

6 Gouvernance

La gouvernance du métaprogramme se conformera aux recommandations du document de principes et bonnes pratiques des MP : une co-direction par une économiste (CDA ECOSOCIO) et un spécialiste des bioprocédés (CDA TRANSFORM, un comité de pilotage pluri-départemental pour l'animation et les arbitrages, et un comité scientifique international à constituer.

Le comité de pilotage favorisera les modes d'animation et les pratiques de recherche minimisant notre impact carbone et s'efforcera de tenir un bilan carbone des activités relatives au MP.

7 Critères de succès et indicateurs

Parmi les critères de succès, les plus importants sont listés ci-dessous (indicateurs entre parenthèse):

A l'horizon de deux ans :

- La capacité du MP à construire puis à animer une communauté scientifique interne et interdisciplinaire sur transition bioéconomique des villes (contribution des chercheurs INRAE à l'exercice de scénarisation et de modélisation, participation des chercheurs INRAE aux activités d'animation du MP, nombre et pertinence des projets déposés en réponse aux appels à projets coordonnés par le MP)
- La capacité du MP à monter ou consolider des partenariats avec les instituts et organisations déjà présents sur les enjeux urbains et à les faire vivre par des animations croisées et des financements de démarrage (nombre de participations des agents INRAE dans des rencontres scientifiques sur les thématiques du MP, nombre de non-INRAE participant à des animations du MP ouvertes aux extérieurs, nombre de projets déposés proposant une collaboration externe, nombre d'appel d'offre sur la thématique lancés conjointement avec des partenaires, ou de cofinancements obtenus).
- La notoriété du MP auprès de partenaires externes français non académiques, par exemple les ministères, les collectivités, le monde socio-professionnel (nombre de sollicitations de la cellule du MP par ces partenaires, participation des membres de la cellule de suivi à des événements organisés par ces partenaires)

A plus long terme : après la phase critique des deux premières années, on pourra évaluer la performance du MP à travers les critères plus classiques :

- La capacité à produire des résultats scientifiques (publications scientifiques, coordination de numéros

construction de systèmes d'information pour la gestion des milieux et des territoires, et sur les méthodes afférentes aux données spatiales

²⁰ Institut Français du Pétrole et Energies Nouvelles <https://www.ifpenergiesnouvelles.fr/>

²¹ https://www.i4ce.org/go_project/club-vitecc-projet/

- spéciaux, financements obtenus sur cette thématique auprès de l'ANR, de l'Europe...)
- L'insertion d'INRAE dans les réseaux académiques structurés sur les thématiques du MP, y compris à l'international (projets européens, co-publications)
- L'implication des chercheurs INRAE dans l'appui à la politique publique et l'expertise sur les enjeux de villes durables et bioéconomie (nombre de contrats dans l'accompagnement de projets de territoires urbains, nombre de publications non académiques)
- La visibilité et le poids d'INRAE sur ces thématiques en France et à l'international (interventions dans les médias, participation à des instances nationales et européennes sur les villes durables).

Références :

Bognon S., Barles S., Billen G. et Garnier J., 2018, Approvisionnement alimentaire parisien du XVIIIe au XXIème siècle : les flux et leur gouvernance. Récit d'une trajectoire socioécologique, *Natures Sciences Sociétés* Vol 26 No 1, pp 17-32

Chelleri L., Waters, Lazabal M. Minucci G., Resilience trade-offs: addressing multiple scales and temporal aspects of urban resilience, *Environment & Urbanization* Vol 27(1): 181–198.

Fernandez-Mena, H., Nesme, T., Pellerin, S. 2016. Towards an Agro-Industrial Ecology: a review of nutrient flow modelling and assessment tools in agro-food chains at the local scale. *Science of the Total Environment*, 543, 467-479

Guilbert S., Redlingshofer B., Fuentes C., Gracieux M. (2016) Systèmes alimentaires urbains: comment réduire les pertes et gaspillages?, Rapport de recherche INRA 88 pages, hal-01743979

Hunt, A., Watkiss, P. Climate change impacts and adaptation in cities: a review of the literature. *Climatic Change* **104**, 13–49 (2011).

Jarrousseau, H., Houot S., Paillat J-M, et Saint-Macary H. (eds), 2016, Le recyclage des déchets organiques, 261 pages, Editions QUAE

Kampelmann S. and de Muynck S., 2019, Les implications d'une circularisation des métabolismes territoriaux – une revue de littérature, *Revue POUR*, 4 (236), 153-173

POUR, No236, Juillet 2019 « Les relations ville-campagne à l'heure de l'économie circulaire » 180 pages

WWF(2018), Vers des métropoles françaises alignées avec l'Accord de Paris, étude réalisée avec EcoAct, 107 pages, https://www.wwf.fr/sites/default/files/doc-2018-07/20180731_Etude-defi-climatique-villes.pdf



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

Rejoignez-nous :



inrae.fr

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



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

INRAE