

**Master « Economie du développement »
parcours « Développement durable »**

RAPPORT DE STAGE

**CONSTRUCTION D'INDICATEURS DE SUIVI DE LA
CAPACITE DE PRODUCTION DE BIOMASSE DES
TERRITOIRES URBAINS**

INRAE

Institution d'accueil : INRAE, UR LISC

Rapport de stage réalisé par : Charli GARBAL

Tuteurs : Jean-Denis MATHIAS et Nicolas
DUMOULIN

Année universitaire : 2024 - 2025

Enseignante référente : Sonia SCHWARTZ

Rapport non confidentiel

REMERCIEMENTS

Je tiens en premier lieu à remercier mes encadrants de stage, Nicolas Dumoulin et Jean-Denis Mathias. Leur suivi, leur patience, leur bienveillance et leurs précieux conseils m'ont permis de progresser. Je leur suis très reconnaissant pour le temps qu'ils m'ont consacré.

Je tiens également à remercier toute l'équipe du LISC, que ce soit les permanents, les doctorants et les autres stagiaires, pour leur accueil chaleureux au sein de l'équipe. Leur ouverture et leur convivialité m'ont aidé à me sentir bien dans l'équipe. Je remercie tout le monde de m'avoir partagé leur travail de recherche, et d'avoir répondu ensuite à mes questions, issues de ma curiosité. Et je remercie Christinel Louzolo, avec qui j'ai partagé le bureau que j'ai occupé.

Je remercie enfin les responsables et le personnel de l'Ecole d'Economie de l'Université Clermont-Auvergne qui m'ont permis de réaliser ce stage. Je remercie particulièrement Sonia Schwartz qui a été mon enseignante référente pendant mon stage, mais également Pascale Motel-Combes et le personnel administratif de l'école.

TABLE DES MATIERES

Remerciements	1
Introduction.....	3
I. Développer la bioéconomie urbaine	4
1) Bioéconomie.....	4
2) Bioéconomie urbaine	4
3) Création de SONAR.....	5
II. Les contours d'un indicateur	6
1) Description d'un indicateur	6
2) Qualités d'un indicateur	7
III. Construction des indicateurs de production de biomasse.....	9
1) Etat des lieux des bases de données recensées sur SONAR.....	10
2) Création des indicateurs.....	11
Conclusion	13
Enseignements et valeur ajoutée pour mon projet professionnel	15
Bibliographie	16
Table des illustrations.....	17
Annexe : sélection d'indicateurs développés.....	18

INTRODUCTION

Nos sociétés font face à une série de défis tels que le changement climatique ou l'amenuisement des ressources. L'objectif fixé par les Accords de Paris est de limiter le réchauffement du climat à 1,5 °C. Mais ces objectifs se heurtent souvent aux aspirations des pays dits du « Sud » à se développer, et rencontrent des résistances de la part des populations du « Nord » ne souhaitant pas changer leurs modes de vie.

Les villes représentent un sujet majeur à ce problème. D'ici 2050, environ 70% de la population mondiale devrait vivre en ville [1, p. 6]. En outre, dans les flux de ressources, les villes se comportent plutôt comme des puits, important les ressources qu'elles consomment sans en produire, et générant une quantité importante de déchets [2], [3]. Ainsi, l'enjeu est de faire évoluer les villes d'un modèle « consommation, disposition » à un modèle circulaire. Le but est également de mener les villes à produire leurs propres ressources.

La bioéconomie urbaine est mise en avant pour contrer ces défis. La bioéconomie est définie par l'INRAE comme une économie circulaire, se reposant sur l'utilisation et la valorisation de ressources provenant du vivant, en particulier la biomasse [4], [5]. Celle-ci permettrait de réduire le flux de déchets générés par les villes. De plus, la valorisation de la biomasse permettrait de substituer des ressources carbonées provenant des énergies fossiles par des ressources provenant de la biomasse, permettant ainsi de limiter la quantité de carbone dans l'atmosphère. Le carbone fonctionne comme un cycle, stocké dans les arbres puis relâché lorsque ces derniers meurent, et la combustion de ressources fossiles carbonées ajoute du carbone en plus dans le cycle. Il est aujourd'hui possible de produire du carburant ou de la matière plastique à partir de la biomasse.

Mon stage s'inscrit dans le cadre du métaprogramme¹ BETTER² au sein de l'INRAE³. BETTER rassemble des chercheurs de plusieurs disciplines, dans le but de développer la bioéconomie urbaine [5]. BETTER a été créé par des chercheurs de l'INRAE. L'INRAE est un institut de recherche spécialisé dans les problématiques agricoles et environnementales, né en 2020 de la fusion de l'INRA (Institut National de la Recherche Agronomique) et de l'IRSTEA (Institut National de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture) [6]. L'INRAE est composé de 14 départements de recherche, représentant une discipline, et comporte 18 centres. J'ai effectué mon stage au sein du LISC⁴ dans le centre de Clermont-Auvergne-Rhône-Alpes, situé sur le site des Cézeaux dans la commune d'Aubière. Le LISC est un laboratoire appartenant au département MathNum, et est spécialisé dans la modélisation de systèmes dynamiques appliqués à la gestion de systèmes socio-écologiques.

Le but de mon stage est de construire des indicateurs permettant de suivre la capacité de production de biomasse des territoires urbains. Je me suis servi de la plateforme SONAR⁵, créée dans

¹ « 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 » (En ligne : [Métaprogrammes : l'interdisciplinarité pour relever nos défis | INRAE](#))

² BioÉconomie des TERRitoires urbains

³ Institut National pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement

⁴ Laboratoire d'Ingénierie des Systèmes Complexes

⁵ Synthèse des dOnnées bioéconomiques et iNdicateurs de trAnsitions des territoires uRbains

le cadre du métaprogramme BETTER, qui recense les bases de données utiles pour suivre les dynamiques d'offres et de demandes en bioressources dans les territoires urbains. Ma problématique est donc « comment construire des indicateurs, permettant de suivre les capacités de production de biomasse des territoires urbains, et leurs évolutions, à partir des données recensées sur la plateforme SONAR ». Les difficultés rencontrées pendant mon stage sont le manque de données présentes sur SONAR et leur hétérogénéité.

I. DEVELOPPER LA BIOECONOMIE URBAINE

Mon stage s'inscrit dans le cadre de recherche sur la bioéconomie urbaine. Les enjeux du changement climatique, de la raréfaction des ressources fossiles et la croissance démographique dans les territoires urbains poussent à chercher de nouveaux moyens de produire, et la bioéconomie urbaine peut représenter une solution intéressante.

1) BIOECONOMIE

Plusieurs définitions de *bioéconomie* existent. Le point fondamental est que la bioéconomie repose sur l'utilisation des processus du vivant dans les processus de production [4], [7], [8], [9].

Trois visions de la bioéconomie cohabitent [9]. La vision *biotechnologique* est centrée sur l'innovation et l'utilisation de technologies basées sur le vivant. L'usage d'organismes génétiquement modifiés, d'enzymes ou de bactéries pour la production de biopolymères ou bien les vaccins ARN en sont des illustrations [8], [9].

Ensuite, la vision *bioressource* se concentre sur la valorisation de la biomasse et son utilisation comme une ressource pouvant substituer les ressources fossiles telles que le pétrole. La production de bioplastique ou de biocarburant en sont des applications [9].

Enfin la vision *bioécologique* met en avant la protection de l'environnement et l'aspect durable de la bioéconomie. Là où les deux visions précédentes ne priorisaient pas l'aspect écologique (même si celui-ci en était une des composantes), en permettant par exemple la production intensive de biomasse au détriment de la biodiversité, la vision bioécologique elle conditionne la production à un respect de l'environnement [9]. C'est une vision forte de la renouvelabilité (*strong sustainability*).

On peut trouver sur le site internet de l'INRAE la définition suivante de *bioéconomie*: elle est décrite 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 » [5]. En outre, une autre page définit la bioéconomie comme « l'économie des bioressources » [4]. Ainsi l'INRAE a une vision bioécologique et bioressources de la bioéconomie. Je me suis reposé sur la définition de l'INRAE lors de mon stage.

2) BIOECONOMIE URBAINE

Dû à la croissance démographique, plus de la moitié de la population devrait vivre en ville d'ici 2050 [1, p. 10]. La bioéconomie urbaine est une solution pour transformer les territoires urbains de consommateurs nets en producteurs de ressource [2], [3].

Pour l'instant, la bioéconomie urbaine a fait l'objet d'un nombre limité d'études. Néanmoins à partir de la littérature on peut la définir comme un système économique, dans les zones urbaines et périurbaines, articulé autour d'infrastructures vertes, de l'agriculture urbaine et de la valorisation des biodéchets, et favorisant une bio-symbiose urbaine (c'est-à-dire la coopération des acteurs et des composants de la bioéconomie urbaine, qui traditionnellement ne coopèrent pas, afin qu'ils partagent leurs ressources pour être plus compétitifs ensemble) [3].



Figure 1 Illustration de la bioéconomie urbaine

3) CREATION DE SONAR

SONAR est une plateforme recensant les bases de données existantes sur la bioéconomie urbaine. Elle a été créée dans le cadre du métaprogramme BETTER. BETTER est un métaprogramme de l'INRAE visant à promouvoir la transition bioéconomique des territoires urbains en France. L'objectif affiché est le développement d'une économie circulaire et la valorisation des déchets, d'atteindre la durabilité et la résilience des villes, et de construire les trajectoires de transition bioéconomique pour atteindre les objectifs précédents [2].

Parmi les critères de succès du métaprogramme il y a sa capacité à construire et animer une communauté scientifique interdisciplinaire, à monter ou consolider des partenariats et sa notoriété auprès de partenaires externes (ministères, collectivités, etc), sa capacité à produire des résultats scientifiques et l'implication des chercheurs INRAE dans l'appui à la politique publique. Ces critères demandent la disponibilité des données afin de produire des publications scientifiques et suivre le développement de la bioéconomie urbaine. Cependant, les données concernant les bioressources, notamment la biomasse, sont très hétérogènes et parfois peu partagées dans la communauté scientifique [10]. Dans l'optique de faciliter le suivi et l'étude des dynamiques de l'offre et de la demande en bioressources, SONAR a été créée pour répertorier les bases de données utiles pour analyser les transitions bioéconomiques des territoires urbains en France [11].



Figure 2 Capture d'écran du catalogue de données de SONAR

Comme illustré sur la figure 2, sur la page web du catalogue de SONAR, il y a la liste des bases de données recensées. Lorsque l'on clique sur une des bases affichées, le site affiche les informations sur la base et un lien pour y accéder. On peut également choisir d'afficher les bases selon un thème, ou un mot clé.

Le but de mon stage m'a amené dans un premier lieu à étudier les bases de données répertoriées sur SONAR, et à faire un inventaire des variables présentes dans ces bases de données, pour ensuite construire des indicateurs qui permettront de connaître l'évolution de la capacité de production de biomasse dans les territoires urbains. Ces indicateurs seront utiles dans le développement de la bioéconomie urbaine en permettant un suivi de l'évolution de la capacité de la production de la biomasse.

II. LES CONTOURS D'UN INDICATEUR

Pour atteindre le but affiché par le méta programme BETTER, qui est de rendre les villes plus durables et plus résilientes grâce à la bioéconomie urbaine, il est nécessaire de connaître le potentiel de production des produits biosourcés (particulièrement la biomasse), et de pouvoir évaluer la dynamique de ce potentiel. Le but principal de mon stage est de développer des indicateurs permettant d'évaluer l'évolution des capacités de la production de biomasse dans les territoires urbains en utilisant les données disponibles dans les bases recensées par SONAR. Il faut pour cela définir la notion d'indicateur et leurs caractéristiques, à partir de la bibliographie existante sur le sujet, et ensuite connaître les données présentes sur SONAR car les indicateurs qui seront développés seront calculés à partir des données de SONAR.

1) DESCRIPTION D'UN INDICATEUR

Le but de mon stage est de développer des indicateurs qui permettraient d'évaluer l'évolution de la capacité de production de biomasse dans les territoires urbains. Il faut pour cela comprendre ce qui définit un indicateur et quelles formes celui-ci peut prendre, et quelles sont les qualités qu'un indicateur doit avoir.

L'institut Eurostat définit un indicateur comme « une mesure synthétique liée à un enjeu ou un phénomène clé, dérivée d'une série de faits observés. Les indicateurs peuvent être utilisés pour révéler des positions relatives ou montrer une évolution positive ou négative »[12].

Un indicateur est calculé à partir de données statistiques. L'indicateur se différencie d'une variable quelconque par le fait que ce premier répond à une question posée, déterminée dans un certain contexte. Il faut donc définir l'enjeu ou le sujet lié à notre indicateur. Par exemple, si nous voulons mesurer la variation de la production économique dans un pays nous pourrions calculer le PIB corrigé de la variation des prix. Un indicateur peut également être calculé à partir d'autres indicateurs.

Un indicateur peut être soit descriptif, soit de performance (ou normatif). Un indicateur descriptif est un indicateur informant sur l'état actuel d'un phénomène ou sur son évolution, alors qu'un indicateur de performance doit permettre de mesurer si une situation évolue positivement ou non par rapport à un objectif fixé. Un indicateur peut appartenir aux deux catégories. Par exemple l'espérance de vie peut être considérée comme un indicateur descriptif, lorsque l'on veut par exemple comparer deux pays entre eux, mais peut devenir un indicateur normatif si celui-ci est lié à une politique de développement, où l'objectif serait d'atteindre 70 ans.

Les indicateurs sont également très utiles pour communiquer une information à un public large, car ils permettent de résumer un ensemble de données observées en un chiffre synthétique pour les indicateurs quantitatifs, ou une note pour les indicateurs qualitatifs. Par exemple, l'Index de Développement Humain (IDH) combine l'espérance de vie des individus d'un pays (comme indicateur sur le niveau sanitaire et l'accès aux besoins de première nécessité), le niveau d'alphabétisation (comme indicateur sur le niveau d'éducation) et le PIB par habitant (comme indicateur de la richesse des habitants). Ces trois indicateurs sont ensuite résumés en une moyenne géométrique comprise entre 0 et 1, donnant ainsi une vision claire et synthétique sur le niveau de développement humain.

Cependant, certains phénomènes ne peuvent pas être mesurés directement. Une des raisons est qu'il serait trop cher ou trop complexe de le faire. Par exemple recenser toutes les populations animales dans un territoire est trop compliqué et coûteux. Une autre raison est que le sujet étudié est vaste et comprend plusieurs phénomènes, comme l'étude des inégalités de genre qui peut s'exprimer de plusieurs façons. Pour contourner cette difficulté, on peut utiliser des mesures indirectes, autrement dit des variables de substitutions (proxy), pour évaluer un phénomène. Par exemple, pour étudier les inégalités de genre, on peut mesurer la part des femmes parmi les élus. On peut également utiliser l'intensité lumineuse pour estimer le niveau de développement d'un territoire et la qualité de ses services publics [13]. Ainsi, il faut s'assurer que le proxy utilisé pour calculer l'indicateur est statistiquement lié avec le phénomène, notamment en comparant l'indicateur calculé avec d'autres indicateurs mesurant les mêmes phénomènes. Par exemple, en supposant que l'on souhaite savoir si la part des femmes parmi les élus est un bon indicateur des inégalités de genre, on peut le comparer avec les indicateurs d'inégalités salariales, de la part des femmes actives dans la population féminine, etc.

2) QUALITES D'UN INDICATEUR

Plusieurs critères sont définis par Eurostat pour évaluer la qualité d'un indicateur : sa pertinence, son utilité, sa validité méthodologique et sa mesurabilité [12]. Il y a aussi une famille de critères en plus pour les ensembles d'indicateurs.

a) Pertinence et utilité d'un indicateur

La pertinence d'un indicateur signifie que celui-ci doit bien mesurer le phénomène qu'il vise à décrire. Dans le cas d'un indicateur de performance, celui-ci doit être clairement lié aux objectifs qu'il est censé mesurer.

Pour qu'un indicateur soit utile à ceux qui l'utilisent, celui-ci doit respecter plusieurs choses : premièrement l'indicateur doit être sensible aux changements, et dans le cas d'un indicateur de performance, il doit refléter les changements de politiques ou les décisions. Autrement dit, l'indicateur doit pouvoir permettre de constater un changement ou une variation lorsqu'il y en a. Par exemple, dans le cas où on souhaiterait mesurer la vitalité économique d'un pays à partir du taux de chômage. Si la production baisse drastiquement, dans le cas d'une crise notamment, et si on observe que le chômage augmente en concomitance, on peut estimer que l'indicateur pourrait bien permettre de constater un changement.

Deuxièmement, l'indicateur doit permettre les comparaisons et d'observer des tendances. Prenons l'exemple du PIB. Le PIB nominal n'est pas un bon indicateur pour observer des tendances de production dans un pays car il n'est pas corrigé de la variation des prix. De plus, pour effectuer des comparaisons entre deux pays, celui-ci doit être ajusté en parité pouvoir d'achat ou selon le taux de change réel avant de pouvoir être utilisé pour des comparaisons. Et en rapporte en plus le PIB par le nombre d'habitants si l'on veut comparer les niveaux de prospérité du pays.

Les données doivent en outre être disponibles rapidement après l'année étudiée. Cela signifie que les données relatives à une année n , doivent être accessibles pas longtemps après la fin de celle-ci. Or les données ne sont pas toujours accessibles immédiatement car il faut du temps à l'administration statistique pour récolter les données et les compiler. Le délai maximum acceptable dépend de l'usage de l'indicateur. Si par exemple l'objectif de l'indicateur est d'évaluer l'efficacité d'une politique en cours, il est préférable que le délai ne soit pas trop long.

Enfin, l'indicateur doit être clair et facilement compréhensible pour ceux envers qui il est destiné (politiques, population, professionnels...).

b) Validité méthodologique

La validité méthodologique repose principalement sur deux choses : l'indicateur doit être robuste statistiquement, et doit se reposer sur une classification, une définition ou des standards déjà existants et reconnus, avec une méthodologie disponible et bien documentée.

Un indicateur est statistiquement valide s'il mesure correctement ce que l'on cherche à déterminer. Par exemple, prenons le cas où nous utilisons l'IMC moyen dans le but d'évaluer les risques cardiovasculaires dans une population. Il est nécessaire que l'IMC soit significativement statistiquement corrélé avec le risque d'infarctus, pour qu'il puisse être utilisé en tant qu'indicateur.

L'indicateur doit en outre être robuste, dans le sens qu'il ne doit pas être sensible aux valeurs extrêmes, aux erreurs minimales, aux biais et aux bruits. Imaginons que l'on veut évaluer le bonheur moyen à partir d'un questionnaire, celui-ci doit être construit de telle sorte à ne pas biaiser le sujet interrogé. L'indicateur doit être stable dans différentes conditions et ne doit pas être facilement manipulable : les sujets de l'étude peuvent se sentir malheureux parce qu'il pleuvait le jour du questionnaire, ou bien ils peuvent répondre en étant influencés par ce qu'ils pensent être une bonne réponse. Autrement dit, la façon dont ont été collectées les données doit être méthodologiquement juste.

De plus l'indicateur doit pouvoir être calculé à partir de variables reposant sur des définitions et des classifications établies et reconnues. La méthodologie doit être en outre disponible, documentée et partagée, notamment pour pouvoir faire des comparaisons lorsque l'indicateur est calculé par plusieurs instituts statistiques différents. Le PIB, par exemple, repose sur une définition

comptable de la valeur ajoutée. Cependant, les différents instituts de statistique nationaux n'appliquent pas toujours la même méthode pour corriger le PIB de l'inflation, ce qui rend les comparaisons internationales plus délicates. Il est préférable d'utiliser une méthode harmonisée (celle du FMI par exemple).

c) Mesurabilité

L'indicateur doit être calculé à partir de données mesurables à moindre coût, collectées à intervalles régulière et suivant des procédures rigoureuses.

Pour que l'indicateur puisse être calculé à moindre coût, il faut que les données soient déjà préexistantes, comme celles collectées par les instituts de statistique ou les administrations publiques (revenus des taxes, etc.). Elles doivent être collectées régulièrement, ou qu'un mécanisme de collecte régulier soit mis en place. Enfin, les données doivent être collectées de façon rigoureuse, en évitant par exemple les doubles comptages, et en s'appuyant sur une méthodologie claire.

Ainsi un indicateur est une mesure synthétique représentant une ou plusieurs séries de faits. Celui-ci doit être pertinent, c'est-à-dire qu'il doit mesurer le phénomène qu'il cherche à décrire, il doit être valide statistiquement et méthodologiquement, c'est-à-dire robuste et se reposant sur des normes reconnues, et il doit enfin pouvoir être calculé à moindre coût avec des données disponibles. Ces critères sont utilisés pour construire les indicateurs de capacité de production de biomasse.

III. CONSTRUCTION DES INDICATEURS DE PRODUCTION DE BIOMASSE

La mission du stage est de produire des indicateurs de suivi de la capacité de production de la biomasse dans les territoires urbains en France. Pour ce faire, je dois utiliser majoritairement les bases de données présentes dans la plateforme SONAR. SONAR est une plateforme qui comprend un catalogue qui recense les bases de données liées à la bioéconomie urbaine en France. Comme illustré sur la figure 3, ma démarche a été d'explorer SONAR avant de produire des indicateurs sur la capacité de production de biomasse, avec les données disponibles. Je prévois ensuite d'effectuer une évaluation qualitative des indicateurs que j'ai pu produire.

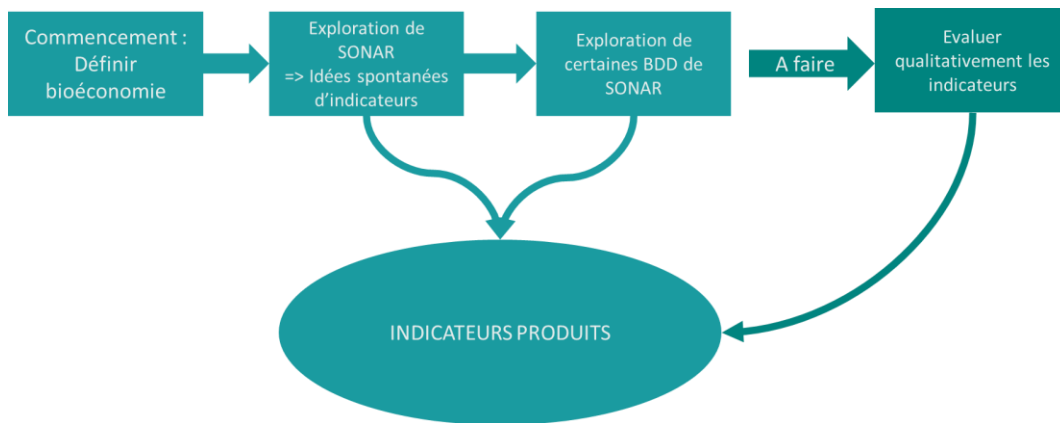


Figure 3 Cheminement dans la construction des indicateurs

1) ETAT DES LIEUX DES BASES DE DONNEES RECENSEES SUR SONAR

SONAR est une plateforme qui contient une méta base de données, c'est-à-dire une base de données qui recense d'autres bases de données. SONAR a été créée dans le but de rassembler les données concernant la bioéconomie urbaine, qui étaient auparavant dispersées et très peu partagées. SONAR a pour but de faciliter la recherche dans la bioéconomie urbaine.

SONAR classe actuellement 74 bases, par thème (déchets, énergie, agriculture, alimentation, méthanisation et bâtiment) et par mot-clé (biodéchets, biogaz, déchets alimentaires, composteurs...). Les thèmes sont affichés sur la page d'accueil du site de SONAR comme illustré sur la figure 4. 41 bases concernent le thème des déchets (55% des bases). 9 bases concernent l'agriculture (12%) et 7 l'alimentation (10%). Je n'ai pas étudié les bases concernant l'énergie, la méthanisation et le bâtiment car ce sont des bases qui ne concernent pas la production de biomasse mais l'usage de celle-ci.



Figure 4 Capture d'écran de la page d'accueil de SONAR : vue sur les thèmes

Les collectivités territoriales représentent une grande partie des sources répertoriées dans SONAR. Le catalogue de SONAR comprend des bases régionales, mais aussi de nombreuses bases venant des métropoles ou de regroupement de villes (Grand Paris Seine Ouest, Lille Métropole...) et des bases gouvernementales tels que SINOE (l'observatoire de la gestion des déchets ménagers et assimilés). D'autres données viennent de travaux de recherches, comme celles fournies par l'INSA Toulouse et la Norsk Institutt for Bioøkonomi.

Les bases de données recensent plusieurs types de variables. Certaines bases recensent les tonnages de biodéchets, que ce soit les déchets alimentaires ou bien les déchets verts. Cependant, certaines bases, notamment de celles SINOE, recensent l'agrégat des déchets comme les Ordures

Ménagères et Assimilées (OMA). SONAR recense également des bases répertoriant les sites de collecte et de stockage de biodéchets comme les déchèteries ou les plateformes de compostage. Les bases recensant les pourcentages de foyers possédants des composteurs individuels sont aussi répertoriées dans le catalogue de SONAR pour certaines régions (en l'occurrence la Bretagne). Enfin, d'autres bases de données recensent les projets agricoles urbains, les surfaces vertes, les parcelles agricoles ou le nombre d'arbres gérés par la métropole.

2) CREATION DES INDICATEURS

Mon travail pendant mon stage a été de parcourir les bases de données présentes sur SONAR pour produire des indicateurs qui permettraient de connaître l'évolution de la capacité de production de biomasse dans les territoires urbains.

Afin de connaître la nature des indicateurs et les informations utiles sur les données permettant de les calculer, j'ai caractérisé les indicateurs développés avec les attributs suivants :

- **Le nom de l'indicateur**
- **Le niveau de désagrégation (ou l'échelle géographique)** : régionale, nationale, EPCI, géoréférencée (coordonnées)...
- **La périodicité** : annuelle, mensuelle, mis à jour (données en temps réel ou actualisé régulièrement) ...
- **L'unité** : tonne / habitant, unité / habitant...
- **Variables nécessaires** : variables nécessaires pour calculer l'indicateur
- **Période couverte** : période couverte par les données nécessaires pour calculer l'indicateur
- **Le territoire couvert** : Bretagne, France, Bordeaux Métropole...
- **Formule** : formule pour calculer l'indicateur à partir des variables nécessaires
- **Sources de données utilisées** : nom des bases de données dont les données sont utilisées pour calculer l'indicateur
- **Structures responsables de la collecte des données** : organisation publiant les données utiles pour calculer l'indicateur. Ex : ADEME, SINOE...

Vous trouverez en annexe page 18 un tableau qui présente une sélection d'indicateurs caractérisés avec ces attributs.

L'enjeu lié à ces indicateurs est le besoin de substituer les ressources fossiles par des ressources décarbonées, tout en limitant l'empreinte carbone de l'activité économique des villes [14]. La biomasse peut être une ressource pouvant substituer les ressources fossiles : celle-ci peut être convertie en bio-carburant, en bioplastique... Connaître l'évolution de la capacité de production de biomasse permettrait de planifier la transition d'une économie fondée sur les ressources fossiles vers une fondée sur les ressources biosourcées. Les indicateurs doivent donc évaluer la capacité de la biomasse à répondre aux besoins matériels et énergétiques de la population.

a) Indicateurs sur les structures et les équipements de collecte de la biomasse

La biomasse, pour être valorisée, doit d'abord être collectée. Des infrastructures adéquates sont donc nécessaires pour effectuer la transition d'une économie qui se repose sur l'exploitation des ressources fossiles à une qui se fonde sur la biomasse. SONAR contient des bases répertoriant les

coordonnées des infrastructures de collecte de biodéchets, leurs capacités, ou bien la distribution des équipements de collecte.

Parmi les indicateurs produits, certains traitent de l'accès aux ménages d'un composteur. Parmi ces indicateurs on trouve le *Pourcentage de foyers possédant un composteur individuel* et le *Nombre de plateformes de compostage par habitant*⁶. Ces deux indicateurs informent sur les possibilités d'amélioration dans le développement de la bioéconomie urbaine. Par exemple un territoire dont la distribution de composteurs individuelles n'étant que de 50% indique des améliorations à faire dans la diffusion des composteurs individuelles. Cependant, seulement une seule base recense la proportion de foyers possédant un composteur individuel, et cette base ne couvre seulement que la région Bretagne.

D'autres bases de données donnent les capacités annuelles maximales des plateformes de compostage présentes sur le territoire. Un des indicateurs développés à partir de cette donnée est la *Capacité annuelle maximale des plateformes de compostage par habitant*. Cet indicateur informe sur la capacité à collecter la masse de déchets générée par un habitant en moyenne. Cependant, les données qui ont été recensées ne concernent que la région Île de France, ce qui limite l'usage de cet indicateur. Toutefois, SONAR recense d'autres bases qui recensent l'existence et les coordonnées des infrastructures de collecte de biodéchets telles que les plateformes de compostage. Cela permet de calculer des indicateurs comme le *Nombre de plateformes de compostage par habitant*. Cependant, les données recensées sont très limitées. Premièrement, elles manquent de précision. Par exemple, les bases n'indiquent pas toutes les capacités annuelles de stockage de ces plateformes. Mais de plus, la zone géographique couverte est restreinte. Les données ne sont fournies que par quelques métropoles comme Rennes Métropole, Grand Paris Seine Ouest ou bien Bordeaux Métropole. Cela rend les comparaisons géographiques, ou une prospective à l'échelle nationale, difficiles.

b) Tonnage de biodéchet par habitant

Les indicateurs en tonne par habitant permettent d'étudier la performance de production, c'est-à-dire quelle quantité de biomasse est produite pour un habitant, et également les capacités à répondre aux besoins matériels et énergétiques de la population. Parmi ces indicateurs on retrouve le *Tonnage de déchets alimentaires par habitant*, le *Tonnage de déchets verts par habitant* et la *Variation de biodéchets par habitant*. Cependant, le développement de ces indicateurs est limité par les contraintes des bases de données.

Premièrement, les données sont très hétérogènes, c'est-à-dire que les quantités mesurées ne sont pas de même nature. Par exemple, une base de données affiche les tonnages de déchets alimentaires produits par l'industrie de la restauration mais une autre donne les tonnages de biodéchets produits par les écoles. Il y a également des bases dans SONAR qui indiquent la masse de déchets verts produite, mais certaines donnent des quantités agrégées aux ordures ménagères résiduelles (OMR).

De plus, la majorité des bases couvrent seulement un territoire restreint comme une métropole ou une région (uniquement 32% des bases répertoriées concernant le sujet de la production de biomasse couvrent tout le territoire français). En outre, seulement 32% des bases sont à une échelle permettant de distinguer les territoires urbains (l'échelle d'une EPCI ou communale), empêchant ainsi

⁶ Le tableau avec les caractéristiques des indicateurs est disponible en annexe.

les comparaisons entre eux. Ces difficultés, couplées avec l'hétérogénéité des données décrite plus haut, font que les indicateurs ne permettent pas des comparaisons entre les territoires.

Enfin, certaines bases de données ne sont pas mises à jour. Par exemple, la base de données *Tonnage des déchets organiques issus de la distribution et du commerce de détail par EPCI en Bretagne* ne couvre que l'année 2016 uniquement, et ne permet donc pas de rendre compte des variations de la production de la biomasse.

Toutefois, les bases de données des observatoires régionaux de la gestion des déchets (tel que l'ORDEC pour la région Auvergne Rhône-Alpes), fournissent des données complètes, à l'échelle des EPCI et mises à jour, sur la production de déchets verts et de déchets alimentaires. De plus, SONAR répertorie une base cartographique répertoriant les espaces verts. Par conséquent, une piste à explorer est d'étudier la possibilité de développer un modèle estimant la quantité de biomasse produite en rapport à la surface des espaces verts dans les territoires urbains.

Pour conclure, l'hétérogénéité et le manque de précision des données sont une difficulté dans le développement des indicateurs. Ces problèmes sont notamment dus à des différences de périodes couvertes, d'échelles géographiques, mais également de nature même des variables. Toutefois, certaines bases répertoriées dans SONAR semblent prometteuses car elles fournissent des données complètes et pour tout le territoire national. Les données présentes sur ces bases peuvent potentiellement être utilisées pour calculer des indicateurs qui permettraient de comparer les différentes dynamiques des capacités de production de biomasse dans les territoires urbains.

CONCLUSION

La bioéconomie urbaine pourrait permettre de réduire l'utilisation de ressources fossiles et carbonées. Elle pourrait en outre permettre aux villes d'être plus autonomes et résilientes. Le métaprogramme BETTER a donc été créé dans le but de développer la bioéconomie urbaine en France.

Cependant, les spécialistes de la bioéconomie urbaine sont confrontés à la difficulté d'accéder à des données qui permettraient de suivre l'évolution de la production et l'usage des ressources biologiques comme la biomasse.

Ainsi, la base de données SONAR a pour but de faciliter la recherche et le suivi de la production et de l'utilisation de la biomasse dans les territoires urbains en France. Elle recense des données qui étaient auparavant dispersées et peu partagées entre les chercheurs.

Le but de mon stage est de développer des indicateurs permettant de suivre la capacité de production de biomasse des territoires urbains. J'ai commencé par explorer les bases de données recensées par SONAR pour faire un état des lieux des variables potentiellement utiles pour la création des indicateurs. Deux familles d'indicateurs ont été développées, une qui concerne les infrastructures et les équipements de collecte des biodéchets, et une autre la masse de biodéchets produite.

Cependant, beaucoup de données manquent encore dans le catalogue de SONAR, ce qui complique le développement de ces indicateurs. Les données dans les différentes bases ne couvrent

pas les mêmes territoires, n'ont pas la même échelle géographique, ne couvrent pas les mêmes périodes, et les variables ne sont pas de même nature. Cela empêche de comparer les dynamiques entre les différents territoires urbains, et pendant différentes périodes. Ainsi, il serait judicieux d'évaluer qualitativement les indicateurs développés pour informer les usagers sur comment ces indicateurs peuvent être utilisés.

De plus, certaines bases manquent dans SONAR, comme celles des observatoires régionaux des déchets et de l'économie circulaire (seule celle de la région Auvergne-Rhône-Alpes est répertoriée sur SONAR).

Toutefois, certaines données existent pour tout le territoire comme les surfaces d'espaces verts. Il serait donc intéressant de modéliser la production de déchets verts, en fonction des surfaces vertes présentes sur le territoire. De plus, les chercheurs appartenant au métaprogramme BETTER seront invités à terme à publier leurs données sur la plateforme SONAR, ce qui étoffera le catalogue.

La suite de mon stage consiste donc à compléter SONAR par les données existantes mais pas encore répertoriées dans le catalogue (notamment les bases des observatoires régionaux des déchets), à étudier la possibilité de développer un modèle qui estimerait la production de déchets verts en fonction des surfaces existantes dans les territoires urbains, à classer qualitativement tous les indicateurs, et enfin à calculer les valeurs des indicateurs développés pour chaque territoire.

ENSEIGNEMENTS ET VALEUR AJOUTEE POUR MON PROJET PROFESSIONNEL

J'ai beaucoup apprécié cette expérience au sein de l'INRAE. En effet, j'ai travaillé dans un climat convivial et de confiance.

J'ai beaucoup appris pendant ce stage sur la bioéconomie, le concept d'un indicateur, mais également sur la recherche scientifique et le quotidien d'un chercheur.

Tout d'abord, mon stage m'a permis d'approfondir mes connaissances sur la bioéconomie. Ce sujet est très intéressant et m'a ouvert les yeux sur l'existence de ressources alternatives aux ressources fossiles. Mon sujet de stage, qui porte plus particulièrement sur la bioéconomie urbaine, m'a fait réfléchir sur l'importance des territoires urbains. La bioéconomie urbaine pourrait, selon moi, bouleverser les flux et les échanges commerciaux entre les territoires, les villes produisant leurs propres ressources. De plus, la bioéconomie pourrait ouvrir la voie à une économie circulaire, dans laquelle on ne jetterait plus les déchets ou les résidus biologiques, mais où ceux-ci seraient valorisés.

De plus, mon stage m'a permis de me sensibiliser sur les qualités d'un indicateur. Avoir dû les définir m'a fait prendre conscience du fait que les indicateurs sont créés en fonction des enjeux et des objectifs que souhaitent atteindre les utilisateurs de cet indicateur. J'ai appris en outre lors de mon stage comment créer méthodiquement un indicateur statistique, et quelles sont les critères à prendre en compte.

J'ai pu également me familiariser avec de nouveaux logiciels notamment QGIS largement utilisé dans le domaine de la géomatique. J'ai pu apprendre à manipuler des données spécialisées et effectuer des analyses territoriales.

Enfin, mon expérience au sein du LISC m'a offert une véritable immersion dans le monde de la recherche. Les membres de l'équipe du laboratoire étaient très ouverts, et me partageaient volontiers leurs expériences et leur quotidien. Mon expérience a renforcé mon envie de m'orienter vers la recherche.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] U. N. D. of E. and S. Affairs, *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision*. United Nations, 2019. doi: 10.18356/b9e995fe-en.
- [2] S. Thoyer, « Bioéconomie pour les territoires urbains (BETTER) ».
- [3] N.-H. N. Yang et A. Yang, « Urban bioeconomy: Uncovering its components, impacts and the Urban Bio-Symbiosis », *Clean. Prod. Lett.*, vol. 3, déc. 2022, doi: 10.1016/j.clpl.2022.100015.
- [4] « Bioéconomie | INRAE ». Consulté le: 16 mai 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.inrae.fr/bioeconomie>
- [5] PMS, « Le métaprogramme BETTER - Métaprogramme BETTER ». Consulté le: 16 mai 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://better.hub.inrae.fr/presentation/le-metaprogramme-better>
- [6] « INRAE Missions et Organisations ». INRAE, 2024. Consulté le: 25 juillet 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.inrae.fr/sites/default/files/pdf/Presentation-INRAE2024-FrBdefPlanches.pdf>
- [7] « La Bioéconomie - Bioeconomy For Change - B4C », Bioeconomy For Change. Consulté le: 16 mai 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.bioeconomyforchange.eu/>
- [8] OECD, *La bioéconomie à l'horizon 2030: Quel programme d'action ?*, 1st ed. Paris: Organization for Economic Cooperation & Development, 2009.
- [9] M. M. Bugge, T. Hansen, et A. Klitkou, « What Is the Bioeconomy? A Review of the Literature », *Sustainability*, vol. 8, n° 7, Art. n° 7, juill. 2016, doi: 10.3390/su8070691.
- [10] PMS, « Parcours SONAR (2024) - Métaprogramme BETTER ». Consulté le: 16 juillet 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://better.hub.inrae.fr/rubriques-verticales2/nos-actions/projets-exploratoires/parcours-sonar-2024>
- [11] S. Thoyer, J.-D. Mathias, et J.-P. Steyer, « Synthèse des données bioéconomiques et indicateurs de transitions des territoires urbains ». INRAE, 2024. Consulté le: 24 juillet 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://better.hub.inrae.fr/content/download/4216/41628?version=2>
- [12] European Commission. Statistical Office of the European Union., *Towards a harmonised methodology for statistical indicators. Part 1, Indicator typologies and terminologies : 2014 edition*. LU: Publications Office, 2014. Consulté le: 30 juin 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://data.europa.eu/doi/10.2785/56118>
- [13] Q. Zhang, L. Liu, X. Yang, Z. Sun, et Y. Ban, « Nighttime light development index: a new evaluation method for China's construction land utilization level », *Humanit. Soc. Sci. Commun.*, vol. 12, n° 1, p. 369, mars 2025, doi: 10.1057/s41599-025-04626-0.
- [14] M. Axelos et Al., « Réflexion prospective interdisciplinaire bioéconomie - Rapport de synthèse, 70 pp », 2020, doi: 10.15454/X30B-QD69.

La figure 1 a été générée par IA. Illustration de la bioéconomie urbaine avec des parcs, des espaces verts et des bâtiments couverts de végétation. Générée par Le Chat, Mistral AI.

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 Illustration de la bioéconomie urbaine	5
Figure 2 Capture d'écran du catalogue de données de SONAR	6
Figure 3 Cheminement dans la construction des indicateurs	10
Figure 4 Capture d'écran de la page d'accueil de SONAR : vue sur les thèmes	10

ANNEXE : SELECTION D'INDICATEURS DEVELOPPES

Nom de l'indicateur	Niveau de désagrégation	Unité de mesure	Périodicité	Périodes couvertes	Variables nécessaires	Formule	Territoires couverts	Sources de données utilisées	Structures responsables de la collecte des données
<i>Pourcentage de foyers possédant un composteur individuel</i>	EPCI	%	Annuelle	2014			Bretagne	Pourcentage de foyers équipés d'un composteur individuel ou collectif en Bretagne	ORDB
<i>Nombre de plateformes de compostage par habitant</i>	Géolocalisé	Unité/habitant	Annuelle	- 2016-2021 - Mis à jour	- Nombre de plateforme de compostage - Nombre d'habitant	A / B - A = Nombre de plateforme de compostage - B = Nombre d'habitant	Île de France et Pays de la Loire	- Plateforme de compostage d'île de France - Plateformes de compostage en Pays de la Loire - Les résultats des recensements de la population	- ORDIF - SINOE - INSEE
<i>Capacité annuelle maximale des plateformes de</i>	Géolocalisé	Tonne/habitant	Annuelle	2016-2021	- Somme des capacités des plateformes de compostage	A / B - A = Somme des capacités des plateformes de compostage	Île de France	- Plateforme de compostage d'île de France	- ORDIF - INSEE

<i>compostage par habitant</i>					présentes sur le territoire - Nombre d'habitant	présentes sur le territoire - B = Nombre d'habitant		- Recensement de la population	
<i>Tonnage de déchets alimentaires par habitant</i>	- Déparlement - EPCI	Tonne / habitant	Annuelle	Mis à jour	- Masse de déchets alimentaires collectés - Nombre d'habitant	A / B - A = Masse de déchets alimentaires collectés - B = Nombre d'habitant	France	- SINOE® - Performance de collecte OMA par type de déchet et par département - Tableaux de données - Quantités de DMA collectées par catégorie de déchets - Epci	- SINOE - ORDEC
<i>Tonnage de déchets verts par habitant</i>	EPCI	Tonne / habitant	Annuelle	Mis à jour	- Tonnage de déchets verts - Nombre d'habitant	A / B - A = Tonnage de déchets verts - B = Nombre d'habitant	Auvergne -Rhône-Alpes	Tableaux de données - Quantités de DMA collectées par catégorie de déchets - Epci	- ORDEC
<i>Variation de biodéchets par habitant</i>	EPCI	- Tonne / habitant - %	Annuelle	Mis à jour	- Tonnage de déchets verts par habitant pour l'année n - Tonnage de déchets verts par habitant	$(A_{n+1} - A_n) / A_n$ - A_n = Tonnage de déchets verts par habitant pour l'année n		Tableaux de données - Quantités de DMA collectées par catégorie de déchets - Epci	- ORDEC

					pour l'année n + 1				
--	--	--	--	--	--------------------------	--	--	--	--