Rapport de stage - TN09 - Génie Urbain

Développement d'un Modèle Territorial Équilibré Multi-Échelle pour l'Amélioration du Bien-Être Urbain : Projet BEST

02/09/2024 - 14/02/2025

Yicong LI

Tuteur: Maxime HACHETTE

Suiveur: Selma BAATI

Laboratoire: Avenues - EA 7284

Centre Pierre Guillaumat 2

rue du docteur Schweitzer, CS 60319

60203 Compiègne Cedex France

Remerciements

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué au succès de mon stage et m'ont aidé lors de la rédaction de ce rapport.

Tout d'abord, je tiens à exprimer ma reconnaissance envers **Nathalie Molines** pour avoir pris le temps de répondre à mon mail et pour son aide précieuse.

Je remercie également **Selma BAATI**, ma suiveuse, pour son soutien constant et ses conseils avisés qui ont été d'une grande aide dans la préparation de ma soutenance.

Un immense merci à **Maxime Hachette**, mon tuteur, pour son encadrement patient et son accompagnement bienveillant tout au long de ces six mois de stage. Son expertise et sa disponibilité ont joué un rôle essentiel dans l'avancement de mon travail et ma compréhension des systèmes territoriaux.

Enfin, je souhaite exprimer ma gratitude à toute l'équipe du **laboratoire Avenue** pour m'avoir accueilli dans un environnement de travail agréable et enrichissant. Leur bienveillance et leur esprit collaboratif ont rendu cette expérience particulièrement précieuse.

Résumé

Le projet de recherche BEST vise à établir un cadre théorique robuste pour analyser et optimiser l'"équilibre" des systèmes territoriaux. Il met en avant une approche multidisciplinaire combinant modélisation, prospective et analyse multi-échelle afin de permettre une évaluation continue, une simulation efficace et un soutien à la prise de décision. En s'appuyant sur des indicateurs clés identifiés dans le cadre du projet BEST, l'auteur a conçu un algorithme d'aide à la décision applicable aux systèmes urbains. Ce rapport a été rédigé dans le cadre de l'UV TN09 à l'Université de Technologie de Compiègne (UTC).

Mots-clés: Système territorial, Bien-être, Équilibre territorial, Multi-échelle, Gouvernance, Dynamique urbaine, Développement durable, Modélisation spatiale

Abstract

The BEST research project aims to establish a robust theoretical framework for analyzing and optimizing the "balance" of territorial systems. It emphasizes a multidisciplinary approach combining modeling, foresight, and multi-scale analysis to enable continuous evaluation, effective simulation, and decision-making support. Based on key indicators identified within the BEST project, the author has developed a decision-support algorithm applicable to urban systems. This report was written as part of the UV TN09 at the Université de Technologie de Compiègne (UTC).

Keywords: Territorial system, Well-being, Territorial balance, Multi-scale, Governance, Urban dynamics, Sustainable development, Spatial modeling

Table des matières

Remerciements 2

Résumé 3

Abstract 3

Table des matières 4

Liste des tableaux 6

Liste des figures 7

Liste des sigles et abréviations 8

1 Introduction 9

1.1 Équipe Avenues 9

1.2 Cadre du stage 10

1.3 Ma mission 10

1.4 Planning du stage 11

2 Problématique 11

3 Méthodologie 12

3.1 Revue de Littérature 12

3.2 Étude des Indicateurs du Bien-Être et du Système Territorial 14

3.3 Développement du Modèle Conceptuel 14

4 Résultat 15

4.1 Système Territorial 16

4.1.1 Définition et Perspectives sur le Système 16
4.1.2 Définition et Approche Multi-Échelle sur le Système Territorial 17
4.1.3 Le Modèle de Sensibilité 18
4.1.4 Indicateurs 19
4.2 Bien-être 20
4.2.1 Définitions et Perspectives sur le Bien-être 20
4.2.2 Indicateur 21
4.2.3 corrélations entre les indicateurs 22
4.3 Équilibre 24
4.3.1 Perspectives Théoriques sur l'Équilibre 24
4.3.2 Application de l'Équilibre au Projet BEST 24
5 Conclusion 26
6 Références bibliographiques 27
7 Annexes 28
7.1 Indicateur du bien-être 28
7.2 Indicateur du système territoriale 29
7.3 Python pour l'Analyse des Corrélations des Indicateurs 35

Liste des tableaux

Numéros	Titre
1-1	*Planning du stage*
2-1	*Cadre Dimensionnel des Indicateurs*

Liste des figures

Numéros	Titre
1-1	La diversité des appartenances disciplinaires des enseignants-chercheurs
3-1	Organigramme PRISMA de la revue de littérature sur le système territorial
4-1	Niveaux des systèmes territoriaux
4-2	Procédure du modèle de sensibilité
4-3	Better Life Index de France
4-4	La carte thermique des corrélations des indicateurs

Liste des sigles et abréviations

Sigles et Abréviations	Signification
GU	Génie Urbain
SM	Sensitivity Model
PRISMA	Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses
PSR	Pressure-State-Response
OCDE	Organisation for Economic Co-operation and Development

1 Introduction

1.1 Équipe Avenues

L'unité de recherche **Avenues**, créée en **2006** à l'**UTC**, a été labellisée **équipe d'accueil EA 7284** en **2011**. Elle rassemble des **enseignants-chercheurs du département Génie Urbain (GU)** et adopte une approche **pluridisciplinaire**, intégrant **urbanisme, transport, hydrologie, génie civil et gestion d'actifs**. Initialement axée sur la **construction pédagogique**, la structuration de la recherche a pris forme à partir de **2006**, avec une reconnaissance par l'**AERES** en **2011**.

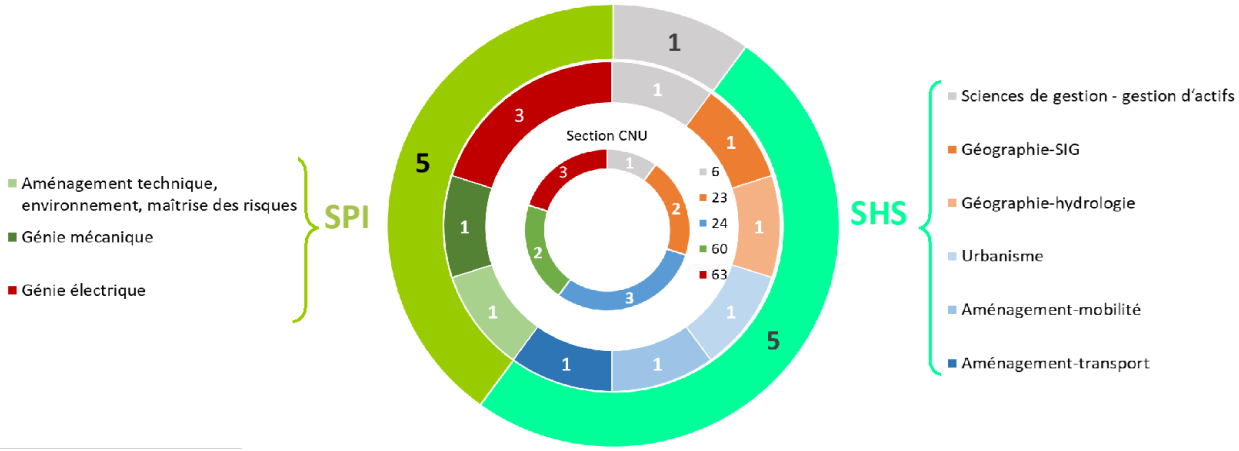


***Figure 1-1** La diversité des appartenances disciplinaires des enseignants-chercheurs*

L'équipe du projet BEST est principalement composée de moi-même et du professeur Maxime Hachette. En septembre, une autre stagiaire, Justine, a travaillé avec nous sur le recensement des occupants des systèmes territoriaux, l'organisation des composantes du bien-être et la création d'un questionnaire sur le bien-être. Après mon départ, un autre stagiaire, Fredy, prendra le relais.

1.2 Cadre du stage

Le projet de recherche « BEST » vise à élaborer un cadre théorique solide pour appréhender la notion « d'équilibre » et son application aux systèmes territoriaux, en mettant l'accent sur la modélisation et la perspective de développement d'un outil de représentation multiscalaire, évaluation continue, simulation et aide à la décision. Adoptant une approche interdisciplinaire, le projet s'attache à explorer les notions de « système » et « système territorial », ainsi qu'à identifier et analyser les interactions complexes entre les composantes du système territorial. L'objectif est également de se familiariser avec la notion d'équilibre pour proposer et étudier la pertinence d'un concept « d'équilibre territorial dynamique », en mettant en avant le bien-être des occupants du territoire. L'approche cherche également à élaborer un modèle théorique robuste, qui, à une étape ultérieure, sera mis en œuvre dans le développement de l'outil envisagé, sous la forme d'une application web modulable et évolutive.

1.3 Ma mission

Pendant mon stage, j'ai mené une étude approfondie sur les concepts de « système territorial », « bien-être » et « équilibre », dans le but de structurer ces notions et de développer un modèle dynamique de système territorial. Mon objectif principal était d'élaborer trois revues de littérature distinctes, chacune explorant les définitions, théories et modèles issus de diverses sources. J'ai également travaillé sur des tableaux d'indicateurs permettant l'évaluation des systèmes territoriaux et du bien-être, incluant leurs sources de données et méthodes de calcul.

De plus, ayant une formation en Génie informatique en Chine, j'ai effectué une analyse exploratoire des interconnexions entre ces indicateurs afin de mieux comprendre leurs interactions. J'espère que ces revues et analyses contribueront à la construction d'un modèle global du système territorial, qui pourra servir à la structuration des entretiens avec des experts et potentiellement être utilisé par les occupants.

1.4 Planning du stage

Durée	Tâche	Description
02/09/2024 - 31/10/2024	Revue de littérature du système territorial	Définition et collecte des sources
16/09/2024 - 11/10/2024	Enquête sur le bien-être	Assistance à Justine pour la conception et l'analyse du questionnaire
14/10/2024 - 31/10/2024	Étude de la dynamique urbaine	Analyse des modèles de dynamique urbaine
01/11/2024 - 21/12/2024	Revue de littérature sur le bien-être	Définition et collecte des sources
01/12/2024 - 21/12/2024	Étude des indicateurs du bien-être et du système territorial	Recherche de méthodes de calcul, sources de données et visualisation des corrélations
06/01/2025 - 14/02/2025	Revue de littérature sur l'équilibre	Définition et collecte des sources

***Table 1-1** Planning du stage*

2 Problématique

Les territoires en croissance font face à des défis majeurs : transports saturés, inégalités territoriales, urbanisation incontrôlée et coût élevé du logement. Ces problématiques accentuent la nécessité d'un **modèle intégré de système territorial**, capable d'articuler logement, transports, environnement et économie. Ce modèle doit être **multi-échelle** afin de s'adapter aux spécificités locales et régionales et d'optimiser les stratégies d'aménagement.

Le **projet BEST** vise à construire un cadre analytique robuste pour analyser ces dynamiques territoriales. Grâce à des outils de **simulation et d'aide à la décision**, il cherche à maximiser le bien-être des habitants et à favoriser une planification équilibrée

du territoire. La recherche initiale a exploré les définitions des concepts clés, les modèles existants et les moyens d'atteindre un équilibre durable, posant ainsi les bases d'un cadre conceptuel structurant.

3 Méthodologie

La méthodologie adoptée pour ce projet repose sur une approche en plusieurs phases, combinant **revue de littérature**, **modélisation conceptuelle**, et **analyse exploratoire des indicateurs territoriaux et de bien-être**. L'objectif est de construire un modèle intégratif et multi-échelle en s'appuyant sur des bases théoriques solides et des données quantitatives.

3.1 Revue de Littérature

Pour assurer la rigueur méthodologique de notre revue de littérature, nous avons suivi l'approche **PRISMA** (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), une méthode largement utilisée pour structurer les revues systématiques et garantir la transparence et la reproductibilité du processus de sélection des articles. Nous avons consulté les bases de données académiques **Scopus, Google Scholar et PROSPERO**, qui offrent une couverture étendue des publications scientifiques en urbanisme, bien-être et systèmes territoriaux. La sélection des articles a été limitée aux **dix dernières années** afin de garantir l'actualité et la pertinence des recherches. Nous avons choisi de ne retenir que les publications en **français et anglais**, afin d'éviter les biais liés à la traduction et d'assurer une meilleure compréhension des concepts.

Une première étape de filtrage a permis d'éliminer les **doublons** et de consolider les références pour éviter toute surestimation des résultats. Ensuite, nous avons procédé à une **analyse approfondie** à l'aide d'une grille d'évaluation pour examiner la méthodologie, la pertinence et la contribution des études retenues. Au total, **560**

articles ont été analysés : **360 sur le système territorial, 120 sur le bien-être et 80 sur l'équilibre territorial**. Pour faciliter la gestion des sources et organiser notre bibliographie, nous avons utilisé **Zotero**, un outil qui nous a permis de classifier, annoter et suivre efficacement les références croisées. Grâce à cet outil, nous avons assuré une mise à jour dynamique de notre base documentaire et généré automatiquement les citations selon les normes académiques.

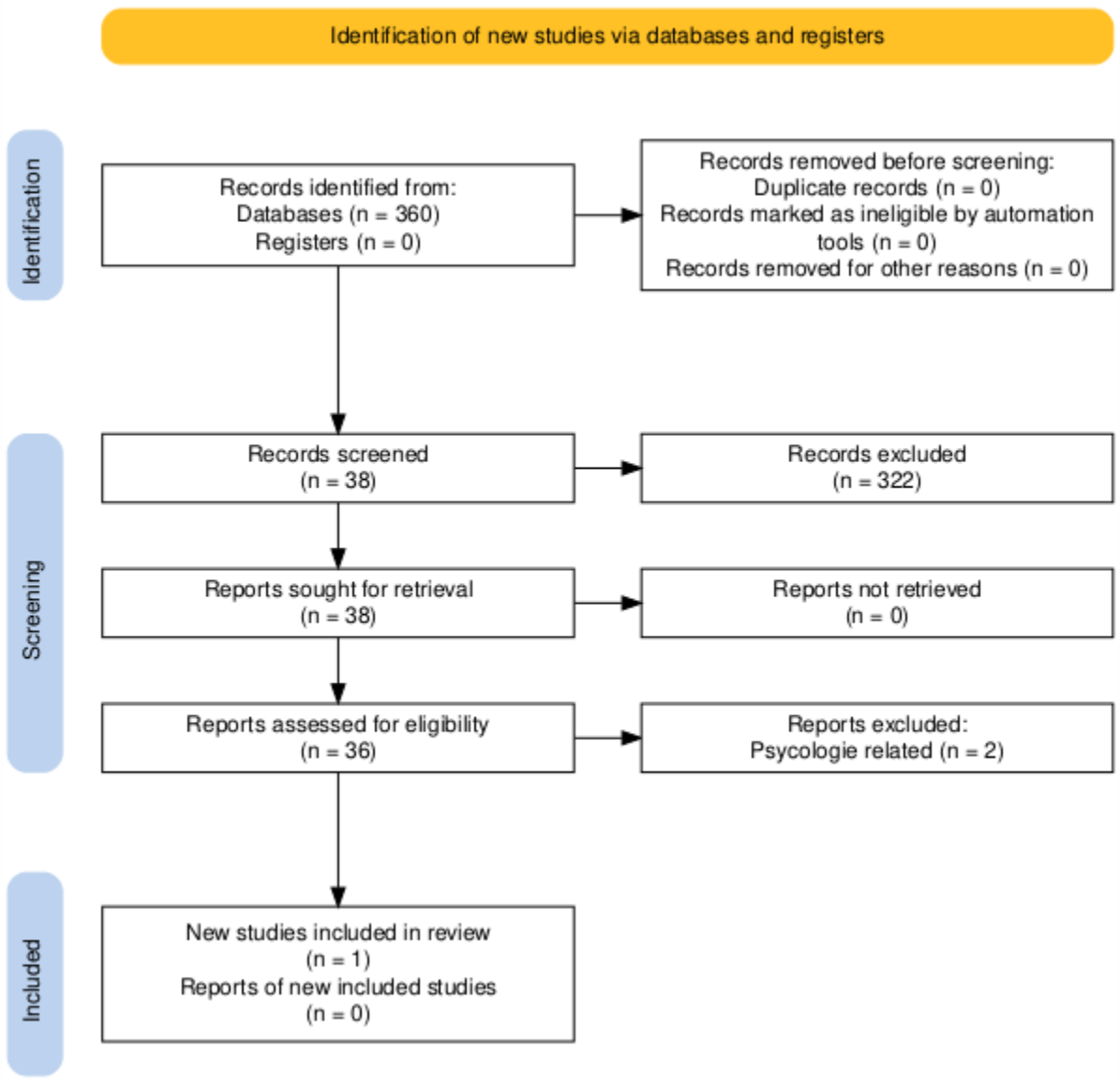


***Figure 3-1** : Organigramme PRISMA de la revue de littérature sur le système territorial*

3.2 Étude des Indicateurs du Bien-Être et du Système Territorial

Une analyse approfondie des indicateurs territoriaux et du bien-être a été menée afin d'identifier leurs méthodes de calcul et leurs interdépendances. À partir de données issues de l'OCDE, de l'INSEE et d'autres bases officielles, les indicateurs ont été traités via **Jupyter Notebook et Excel**. Après une phase de collecte, de nettoyage et d'harmonisation des données, une analyse exploratoire a permis de calculer des statistiques descriptives et d'identifier les principales tendances.

Les corrélations entre les indicateurs ont été analysées et visualisées à l'aide de **Pandas, Matplotlib et Seaborn**, produisant des **heatmaps** facilitant l'interprétation des résultats. Cette approche a permis de détecter des relations significatives et de formuler des hypothèses sur l'impact des dimensions du bien-être. Ces résultats ont contribué à la construction d'un **cadre théorique et d'un outil d'aide à la décision**, optimisant l'évaluation et la gestion des politiques territoriales.

3.3 Développement du Modèle Conceptuel

Sur la base des résultats obtenus, un cadre conceptuel a été élaboré afin de structurer les interactions entre les sous-systèmes territoriaux et d'analyser les dynamiques complexes qui les relient. Ce modèle permet d'évaluer l'impact des politiques urbaines sur le bien-être des habitants et d'adopter une approche multi-échelle, adaptable à différents contextes territoriaux. Pour affiner cette méthodologie, l'utilisation de **Vensim** a permis de modéliser les dynamiques systémiques et de simuler l'évolution des indicateurs territoriaux. Cet outil facilite l'exploration des interrelations entre différentes variables et aide à anticiper les effets des politiques d'aménagement.

En complément, **ArcGIS** a été mobilisé pour la cartographie et l'analyse spatiale, offrant une visualisation précise des dynamiques territoriales et permettant d'identifier les interactions spatiales critiques. La combinaison de ces outils a renforcé la

compréhension des **équilibres territoriaux**, en intégrant à la fois les dimensions **spatiales et dynamiques** des systèmes urbains. Cette approche méthodologique robuste constitue un levier essentiel pour orienter la prise de décision et favoriser une gestion territoriale optimisée

4 Résultat

Les résultats du projet BEST approfondissent la compréhension des dynamiques territoriales en intégrant les notions de système territorial, bien-être et équilibre. Grâce à une approche **multi-échelle et interdisciplinaire**, les interrelations complexes entre ces composantes ont été explorées à l'aide d'**outils de modélisation, d'analyse spatiale et de simulation**. L'identification des défis majeurs et des leviers d'action a permis d'évaluer les déséquilibres existants à travers des **indicateurs quantitatifs et qualitatifs** et de proposer des solutions adaptées pour améliorer le bien-être urbain.

4.1 Système Territorial

4.1.1 Définition et Perspectives sur le Système

Le concept de système est omniprésent dans de nombreux domaines, tels que la biologie, l'informatique et l'urbanisme. En 1968, Ludwig von Bertalanffy a proposé la théorie générale des systèmes, mettant en avant le rôle central de l'émergence dans la structuration des systèmes. Toutefois, la définition d'un système varie selon les perspectives philosophiques : le constructivisme le considère comme une construction mentale permettant de mieux gérer la complexité, tandis que le réalisme l'envisage comme une entité existant indépendamment de l'observateur, avec des structures et des mécanismes objectifs. Pour concilier ces visions, Dori et al. (2020) définissent un système comme :

"Un système est un agencement de parties ou d'éléments qui, ensemble, manifestent un comportement ou une signification que les constituants individuels ne possèdent pas."

L'analyse d'un système repose sur plusieurs caractéristiques essentielles. **L'émergence et la finalité** lui permettent d'atteindre un objectif dépassant la somme de ses parties, comme un ensemble de cellules formant un organe fonctionnel. **Les frontières du système** définissent ses entrées, sorties et interactions avec l'environnement, à l'image d'un système informatique séparant matériel, logiciel et utilisateurs. **Les sous-systèmes et leurs interconnexions** assurent la cohésion, comme le moteur et le carburant dans une voiture. **Les mécanismes de rétroaction** influencent la stabilité du système, avec une rétroaction positive amplifiant un phénomène et une rétroaction négative le régulant. Enfin, **la dynamique temporelle** reflète l'évolution des systèmes en réponse aux stimuli internes et externes, qu'il s'agisse d'un écosystème ou d'un réseau de transport urbain.

4.1.2 Définition et Approche Multi-Échelle sur le Système Territorial

L'idée d'un système territorial intégré n'est pas nouvelle. Dès 1969, Jay W. Forrester a introduit la théorie des **Urban Dynamics**, qui modélise les villes comme des systèmes dynamiques fermés où les rétroactions internes gouvernent leur évolution. Son modèle met en évidence trois sous-systèmes majeurs : les entreprises, qui génèrent des emplois et stimulent l'économie locale ; le logement, qui régule l'occupation spatiale et l'attractivité de la ville ; et la population, qui influence la demande de services et l'évolution des infrastructures. Dans cette approche, une ville est perçue comme un système fermé, où l'environnement extérieur est considéré comme infini. La croissance et le déclin urbains sont donc le résultat d'interactions internes, sans prise en compte des influences externes.

Dans une perspective plus récente, les systèmes territoriaux sont généralement décrits comme des systèmes **ouverts et multi-échelles**, en interaction constante avec leur environnement. Ils sont structurés selon différents niveaux : le niveau local, où les interactions sociales et économiques sont immédiates ; l'intercommunalité, qui régule les infrastructures et les services partagés ; le niveau régional et national, où les politiques publiques influencent la gouvernance territoriale ; et le niveau supranational, qui définit des cadres réglementaires et des stratégies globales. Dans un système territorial unifié, les limites spatiales et administratives sont flexibles et interdépendantes, chaque niveau présentant ses propres défis, comme la gouvernance locale, les inégalités économiques ou la gestion des ressources naturelles.

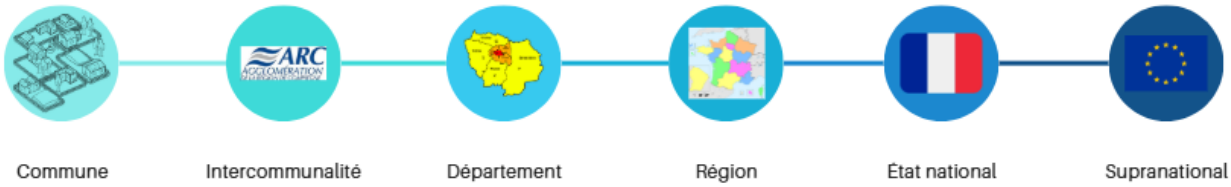


Figure 4-1 Niveaux des systèmes territoriaux

4.1.3 Le Modèle de Sensibilité

Dans un cadre **PSR (Pressure-State-Response)**, les systèmes d'indicateurs permettent d'évaluer les dynamiques territoriales, mais les approches classiques ne prennent pas toujours en compte les interconnexions entre variables ni les interdépendances systémiques. Pour pallier ces limites, le **Modèle de Sensibilité** a été introduit afin d'analyser et simuler ces interactions. Il repose sur trois grandes phases et neuf étapes opérationnelles, allant de la description du système et l'identification des variables influentes à l'analyse des relations causales et la modélisation des interdépendances. À travers des scénarios et des simulations dynamiques, ce modèle permet d'évaluer l'impact des politiques territoriales en s'appuyant sur une approche cybernétique, intégrant les boucles de rétroaction positives et négatives pour ajuster les décisions publiques.

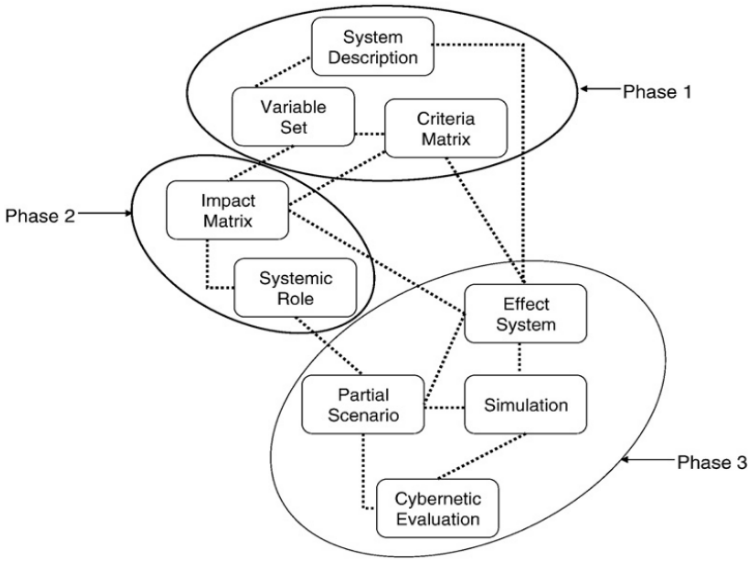


***Figure 4-2** Procédure du modèle de sensibilité*

4.1.4 Indicateurs

Les indicateurs des systèmes territoriaux sont des outils statistiques essentiels permettant de capturer et de mesurer divers aspects du développement durable de manière claire, quantifiable et communicable. Ils facilitent le suivi continu et la prise de décision éclairée en matière de politique publique et de gestion territoriale. Selon **Agenda 21**, un total de **134 indicateurs** a été identifié pour évaluer la durabilité urbaine au sein d'un système territorial. Afin d'analyser ces indicateurs de manière exhaustive, un **cadre dimensionnel** a été développé, les classant en critères de durabilité clés tels que les dimensions économiques, sociales, environnementales et institutionnelles. Ce cadre permet une évaluation multifactorielle des dynamiques territoriales, favorisant une meilleure conception des politiques et une planification à long terme tout en répondant aux défis locaux et régionaux.

Une liste détaillée des **indicateurs utilisés dans le cadre de l'évaluation du système territorial** est disponible en **annexes**.

Dimensional Framework	Category of Sustainability
Economic Framework	• Productivity • Growth • Development • Consumption • Infrastructure, equipment • Transportation • Housing
Social Framework	• Demographics • Education • Health • Combating poverty • Urban and Regional Development • Equality
Environmental Framework	• Global Climate Change • Air pollution • Soil pollution • Water pollution • Other types of pollution • Biodiversity

	• Integrity of ecosystems • Energy consumption • Water consumption • Raw materials consumption • Other intermediate goods • Environmental quality • Urban reforestation and green spaces
Institutional Framework	• Policies and decision-making • Environmental management • National legal instruments • International legal instruments Information and statistics • Science and investigation for sustainable development

Table 4.2 *Cadre Dimensionnel des Indicateurs*

4.2 Bien-être

Le concept de **bien-être** est multidimensionnel et a évolué au fil du temps en fonction des approches philosophiques, économiques et sociologiques. Il englobe à la fois des aspects **objectifs et subjectifs**, reliant la satisfaction individuelle aux conditions de vie matérielles et aux dynamiques sociétales.

4.2.1 Définitions et Perspectives sur le Bien-être

Le bien-être peut être défini de différentes manières selon les disciplines et les contextes d'analyse. Dans une approche **économique**, il est souvent mesuré par des indicateurs quantitatifs comme le **PIB par habitant, le taux d'emploi ou les niveaux de consommation**. Cette vision, bien que largement utilisée, est critiquée pour sa capacité limitée à refléter la qualité de vie réelle des individus.

D'un point de vue **philosophique et psychologique**, le bien-être est souvent lié à des notions telles que **l'eudémonisme et l'hédonisme**. L'eudémonisme, issu de la philosophie aristotélicienne, associe le bien-être à l'accomplissement personnel et à la recherche de sens dans la vie. L'hédonisme, en revanche, le définit comme la maximisation du plaisir et la minimisation de la souffrance.

Dans une perspective **sociologique**, le bien-être est également influencé par la cohésion sociale, les relations interpersonnelles et la participation citoyenne. Des études montrent que des sociétés caractérisées par une **forte confiance sociale et un accès équitable aux ressources** présentent des niveaux de bien-être plus élevés.

4.2.2 Indicateurs

Les **indicateurs de bien-être** sont des outils essentiels pour évaluer la qualité de vie. Ils se répartissent en trois catégories principales. Les **indicateurs objectifs** sont basés sur des données mesurables telles que la richesse économique, les statistiques de santé et le niveau d'éducation. Les **indicateurs subjectifs**, quant à eux, reposent sur des enquêtes et des auto-évaluations permettant d'analyser la satisfaction, le bonheur et l'état psychologique des individus. Enfin, les **indicateurs composites**, comme l'**Indice de Développement Humain (IDH)** et l'**OCDE Better Life Index (BLI)**, combinent ces deux approches pour intégrer plusieurs dimensions du bien-être et offrir une vision plus globale.

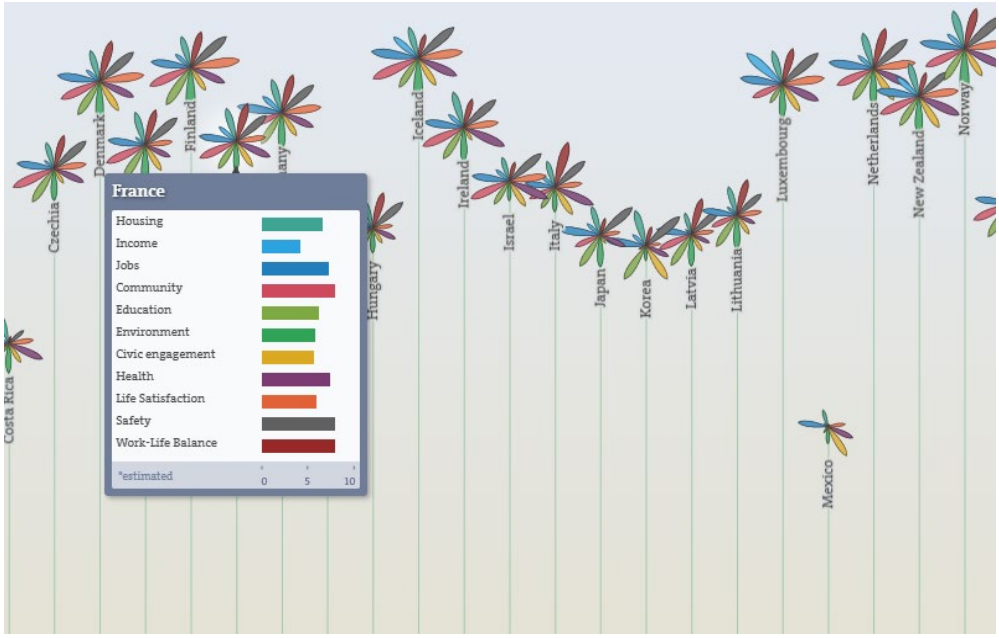


Figure 4-3 Better Life Index de France

Les **indicateurs de bien-être** définis par l'**OCDE** couvrent plusieurs dimensions essentielles telles que le logement, le revenu, l'emploi, la communauté, l'éducation, l'environnement, l'engagement civique, la santé, la satisfaction de vie, la sécurité et l'équilibre entre vie professionnelle et personnelle. Ces indicateurs se divisent en deux catégories : **les indicateurs subjectifs et les indicateurs objectifs**.

Les **indicateurs subjectifs** sont basés sur la perception des individus et recueillis via des enquêtes. Par exemple, **"Feeling safe walking alone at night"** mesure la sécurité perçue par les habitants. Il repose sur une **évaluation basée sur des enquêtes**, où les répondants attribuent une note de **0 à 10** pour exprimer leur sentiment de sécurité lorsqu'ils marchent seuls la nuit.

À l'inverse, les **indicateurs objectifs** reposent sur des données mesurables et quantifiables. Par exemple, **"Life expectancy"** est un indicateur objectif de la santé qui mesure l'**espérance de vie à la naissance**, calculée à partir des statistiques nationales de mortalité et de natalité. Ce type d'indicateur offre une évaluation fiable des conditions de vie, indépendamment des perceptions individuelles.

En combinant ces deux approches, l'OCDE propose une vision complète du bien-être, intégrant à la fois les **conditions de vie réelles** et la **perception des habitants**. Une liste détaillée des **indicateurs utilisés dans le cadre de l'évaluation du bien-être** est disponible en **annexes**.

4.2.3 corrélations entre les indicateurs

L'analyse des **corrélations entre les indicateurs**, réalisée à l'aide de **Jupyter Notebook**, a permis de visualiser les relations entre différentes variables à travers une **carte thermique**. Cette approche renforce la crédibilité des résultats en révélant des tendances conformes aux attentes.

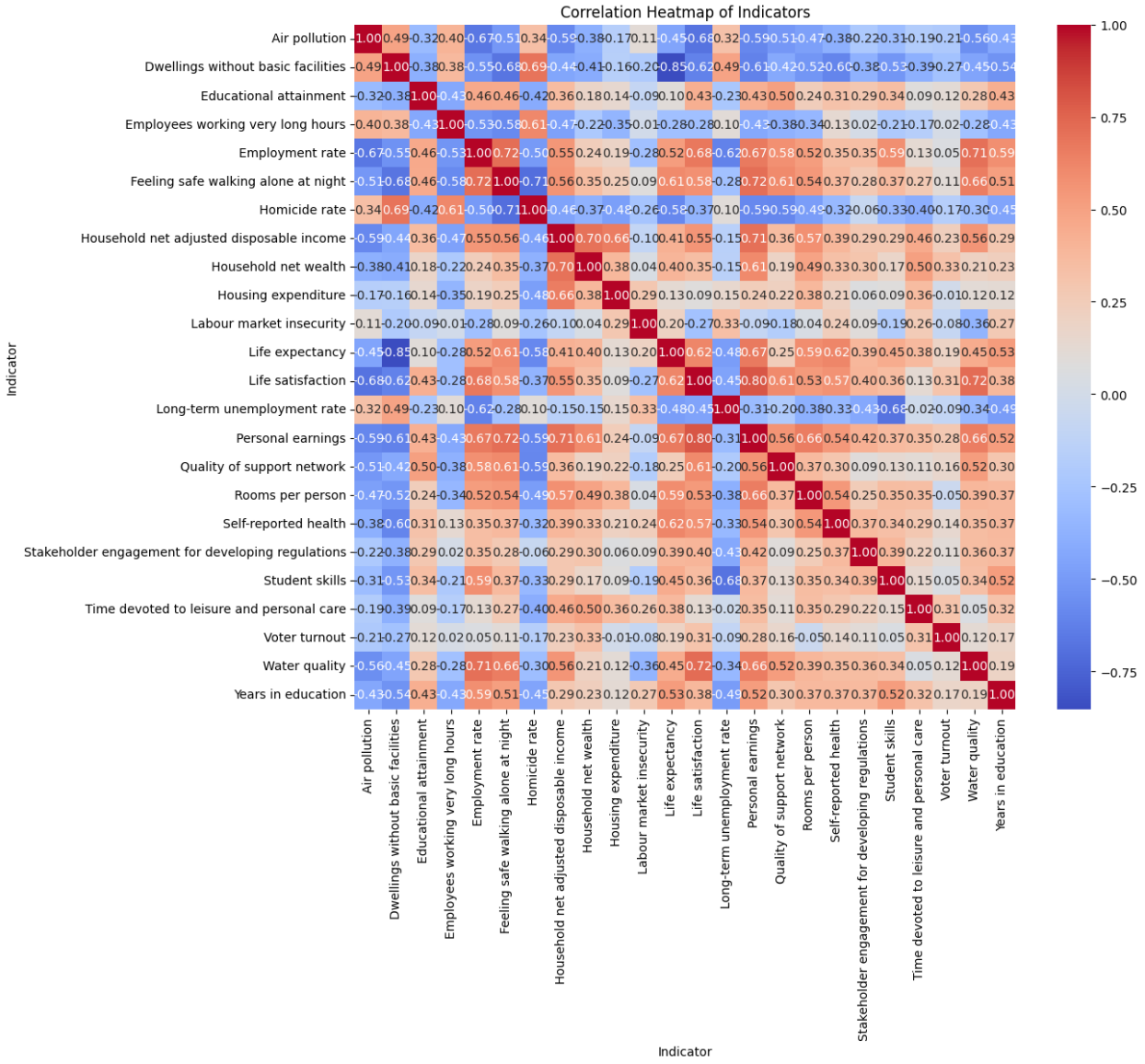


Figure 4-4 *La carte thermique des corrélations des indicateurs*

Par exemple, le **taux de chômage** présente une **corrélation négative de 68 %** avec le **niveau de compétence**, ce qui reflète la relation évidente entre la qualification des individus et leur employabilité. De même, les **revenus personnels** affichent une **corrélation positive de 80 %** avec la **satisfaction de vie**, ce qui confirme que le bien-être perçu est souvent influencé par la stabilité financière.

Ces analyses ont permis d'identifier les **interdépendances clés entre les indicateurs**, offrant ainsi un cadre plus précis pour évaluer les dynamiques territoriales et orienter les décisions d'aménagement et de gouvernance.

4.3 Équilibre

L'**équilibre territorial** est une notion essentielle dans la gestion des systèmes urbains et régionaux. Il ne se limite pas à une répartition homogène des ressources, mais repose sur une dynamique d'adaptation entre les dimensions **économique, sociale, environnementale et institutionnelle**. L'objectif est d'assurer une **croissance harmonieuse des territoires** tout en garantissant un niveau de bien-être optimal pour les habitants.

4.3.1 Perspectives Théoriques sur l'Équilibre

Différentes approches permettent de conceptualiser l'équilibre territorial. Les modèles de **dynamique des systèmes**, comme la **System Dynamics (SD)** de Forrester, offrent une vision des interactions entre les sous-systèmes urbains et territoriaux. D'autres approches, comme la **Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA)** et les cadres d'analyse **DPSIR (Driver-Pressure-State-Impact-Response)**, permettent d'évaluer les pressions exercées sur les territoires et d'anticiper les déséquilibres possibles.

L'équilibre territorial ne signifie pas une stabilité rigide, mais une **capacité d'adaptation aux transformations économiques, démographiques et climatiques**. L'**urban resilience**, qui s'appuie sur une gouvernance flexible et des stratégies d'adaptation territoriale, est un facteur clé dans le maintien d'un équilibre durable.

4.3.2 Application de l'Équilibre au Projet BEST

Dans le cadre du projet **BEST**, l'équilibre territorial a été analysé à travers des indicateurs quantitatifs et qualitatifs, intégrant **les dimensions socio-économiques,**

environnementales et institutionnelles. L'utilisation d'**outils de simulation comme Vensim et ArcGIS** a permis de modéliser les interactions entre les sous-systèmes urbains et de tester différents scénarios d'évolution territoriale.

Les analyses ont permis d'identifier des **facteurs influençant l'équilibre des territoires**, tels que la répartition des infrastructures, l'accessibilité aux services, la qualité de l'environnement et la gouvernance locale. Une approche multi-échelle a été adoptée pour évaluer comment les politiques d'aménagement peuvent favoriser un développement équilibré, en minimisant les déséquilibres spatiaux et les inégalités socio-économiques.

L'objectif du projet est de fournir un **cadre d'aide à la décision**, intégrant des indicateurs pertinents pour anticiper les déséquilibres et proposer des stratégies adaptées à chaque contexte territorial. Cette approche permettra aux décideurs d'**optimiser les politiques d'aménagement et d'améliorer la résilience urbaine**, garantissant ainsi un équilibre territorial dynamique et durable.

5 Conclusion

Les résultats obtenus dans cette étude ont permis d'approfondir la compréhension des dynamiques territoriales et de leur impact sur le bien-être des occupants. L'intégration d'outils comme **Vensim, ArcGIS et Jupyter Notebook** a facilité la modélisation et l'analyse des interactions complexes au sein des systèmes territoriaux. En identifiant les facteurs clés influençant l'**équilibre territorial**, cette recherche ouvre la voie à l'élaboration d'un **outil d'aide à la décision** permettant d'optimiser l'aménagement des territoires et d'anticiper les évolutions futures. Le cadre méthodologique développé dans le projet **BEST** pourra être appliqué à d'autres contextes territoriaux pour améliorer la gouvernance urbaine et promouvoir un développement durable.

Ce stage a été une expérience enrichissante, tant sur le plan académique que personnel. J'ai appris à mener une **revue de littérature**, à rechercher et comparer des articles, ainsi qu'à utiliser des outils comme **Zotero** pour structurer mes références. Au-delà des compétences techniques, j'ai développé une meilleure capacité à **travailler en équipe** et à **communiquer dans un environnement international**, ce qui m'a permis de gagner en confiance, notamment dans l'usage de langues étrangères. Plus que l'apprentissage de méthodes spécifiques, ce stage m'a surtout fait prendre conscience de **l'immensité des connaissances à acquérir**. Comme le dit un proverbe chinois : *"书到用时方恨少"* (C'est lorsqu'on a besoin du savoir qu'on regrette de ne pas avoir assez appris). Si, au début de mon stage, j'avais des attentes précises sur mes réalisations, j'ai rapidement été confronté à des défis inattendus qui m'ont appris à être plus humble et à adopter une attitude d'apprentissage continu. Cette prise de conscience me motive à approfondir encore mes compétences et à rester curieux face aux défis à venir.

6 Références bibliographiques

1. Banathy, B. A. (1997). Information, evolution, and change. *Systems Practice*, *10*(1), 59–84. https://doi.org/10.1007/bf02557851
2. Von Bertalanffy, L. (1972). The History and Status of General Systems Theory. *Academy of Management Journal, 15*(4), 407–426. https://doi.org/10.2307/255139
3. Dori, D., Sillitto, H., Griego, R. M., McKinney, D., Arnold, E. P., Godfrey, P., Martin, J., Jackson, S., & Krob, D. (2020). System Definition, System Worldviews, and Systemness Characteristics. *IEEE Systems Journal*, *14*(2), 1538–1548. https://doi.org/10.1109/jsyst.2019.2904116
4. Sillitto, H., Dori, D., Griego, R. M., Jackson, S., Krob, D., Godfrey, P., Arnold, E., Martin, J., & McKinney, D. (2017). Defining "System": a Comprehensive Approach. *INCOSE International Symposium*, *27*(1), 170–186. https://doi.org/10.1002/j.2334-5837.2017.00352.x
5. Forrester, J. W. (1969). *Urban Dynamics*. https://openlibrary.org/books/OL27093887M/Urban_dynamics
6. Huang, S., Yeh, C., Budd, W. W., & Chen, L. (2008). A Sensitivity Model (SM) approach to analyze urban development in Taiwan based on sustainability indicators. *Environmental Impact Assessment Review*, *29*(2), 116–125. https://doi.org/10.1016/j.eiar.2008.03.003
7. Index, O. B. L. (2012). OECD better life index. URL: https://www. oecdbetterlifeindex. org/#/11111111111 (date of access: 08.07. 2020).
8. OECD (2013). OECD Guidelines on Measuring Subjective Well-being.
9. Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2001). On Happiness and Human Potentials: A Review of Research on Hedonic and Eudaimonic Well-being.
10. OECD (2024). Measuring Eudaimonic Components of Subjective Well-being.
11. Klasen, S. (2018). Human Development Indices and Indicators: A Critical Evaluation
12. Canesi, R., & Marella, G. (2023). Towards European Transitions: Indicators for the Development of Marginal Urban Regions.
13. Panaro, S., Poli, G., Botte, M., Sacco, S., & Cerreta, M. (2023). Assessing the sustainability of the city-port transformations: Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) for alternatives portfolio selection. *Valori E Valutazioni*, *32*, 91–105. https://doi.org/10.48264/vvsiev-20233208
14. Tan, Y., Jiao, L., Shuai, C., & Shen, L. (2018). A system dynamics model for simulating urban sustainability performance: A China case study. *Journal of Cleaner Production*, *199*, 1107–1115. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.154

7 Annexes

7.1 Indicateur du bien-être

Categories	Indicators	Source	Definition	Calculation Method
Housing	Housing expenditure	https://www.insee.fr/	The proportion of household income spent on housing-related costs.	ratio to housing costs on households gross adjusted disposable income (Housing costs / Household gross adjusted disposable income) * 100.
	Dwellings with basic facilities	https://www.insee.fr/	Percentage of households with access to essential facilities like indoor flushing toilets.	(Number of households with basic facilities / Total households) * 100.
	Rooms per person	https://www.insee.fr/	Average number of rooms available per individual in a dwelling.	Total number of rooms / Total number of household members.
Income	Household net wealth	https://www.insee.fr/	The average value of a household's financial assets minus liabilities.	average total value of a household's financial assets(savings, stocks) minus their liabilities(loans)
	Household net adjusted disposable income	https://www.insee.fr/	average amount of money that a household earns per year, after taxes	Gross income - Taxes + Transfers received.
Jobs	Job security	https://travail-emploi.gouv.fr/	expected loss of earnings when someone becomes unemployed	(Average earnings before unemployment - Earnings during unemployment) / Average earnings before unemployment.
	Personal earnings	https://www.insee.fr/	average annual earnings per full-time employee	Total earnings of full-time employees / Total number of full-time employees.
	Long-term unemployment rate	https://travail-emploi.gouv.fr/	Percentage of individuals aged 15–64 unemployed for over a year	(Number of long-term unemployed individuals / Total labor force) * 100
	Employment rate	https://travail-emploi.gouv.fr/	percentage of people, aged 15 to 64, currently in a paid job	(Number of employed individuals / Total population aged 15–64) * 100
Community	Quality of support network	https://www.insee.fr/	percentage of people, aged 15 to 64, currently in a paid job	Survey-based assessment of social support
Education	Years in education	https://www.education.gouv.fr/	average duration of formal education from 5 year old until the age of 39	Sum of total years of formal education completed / Total individuals.
	Student skills	https://www.oecd.org/pisa/	average performance of students, according to PISA(Programme for International Student Assessment)	Aggregated scores from PISA tests.
	Educational attainment	https://www.education.gouv.fr/	percentage of people, aged 25 to 64, having at least an upper-secondary degree	(Number of individuals with upper-secondary degree / Total population aged 25–64) * 100.
Environment	Water quality	https://www.eaufrance.fr/	percentage of people reporting to be satisfied with the quality of water	Survey responses indicating satisfaction with water quality
	Air pollution	https://www.atmo-france.org/	Average concentration of particulate matter (PM2.5) in the air.	Measured in µg/m³ using air quality monitoring stations
Civic Engagement	Stakeholder engagement for developing regulations	https://www.ecologie.gouv.fr/	the simple average of two composite indicators (covering respectively primary laws and subordinate regulations)	Composite index based on primary and subordinate regulations
	Voter turnout	https://www.interieur.gouv.fr/	percentage of registered voters who voted during recent elections	(Number of voters / Total registered voters) * 100.
Health	Self-reported health	https://www.santepubliquefrance.fr/	percentage of people reporting their health to be “good or very good”	Survey-based assessment of health status.
	Life expectancy	https://www.insee.fr/	average number of years a person can expect to live	Life tables from demographic data
Life Satisfaction	Life satisfaction	https://www.insee.fr/	average self-evaluation of life satisfaction, on a scale from 0 to 10	Survey responses aggregated to compute an average score.
Safety	Homicide rate	https://www.interieur.gouv.fr/	average number of reported homicides per 100000 people	(Number of homicides / Total population) * 100,000
	Feeling safe walking alone at night	https://www.insee.fr/	percentage of people who report feeling safe walking alone at night	Survey-based assessment of perceived safety.

Work-Life Balance	Time devoted to leisure and personal care	https://www.insee.fr/	average numbers of hours per day spent on leisure and personal care, including sleeping and eating	Time-use surveys.
	Employees working very long hours	https://travail-emploi.gouv.fr/	Percentage of employees working 50+ hours per week on average	(Number of employees working 50+ hours / Total employees) * 100

7.2 Indicateur du système territoriale

Categories	Indicators	Source	Definition
1. Productivity	Gross Domestic Product	General economy - France - FRENCH ECONOMY DASHBOARD	GDP represents the total monetary value of all goods and services produced within a country's borders in a specific time period.
	Net Domestic Product adjusted environmentally for each inhabitant	https://www.insee.fr	GDP adjusted for environmental degradation and resource depletion.
	Annual consumption of energy per inhabitant	https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/	This indicator measures the total amount of energy consumed annually divided by the population, reflecting average energy use per person.
	Fossil Fuel Reserves	https://www.brgm.fr	Estimates of the quantities of fossil fuels (coal, oil, natural gas) that are recoverable under existing economic and operational conditions.
2. Growth	Expenditure on research and experimentation in Sustainable Development	https://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr	Total spending on research and experimental development activities focused on sustainable development.
3. Consumption	Consumption of fossil fuels	https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/chiffres-cles-de-lenergie-edition-2024	The total amount of energy consumed from non-renewable sources such as coal, oil, and natural gas.
	Consumption of Renewable Energy	https://www.ademe.fr/	Energy derived from sources like solar, wind, and biomass.
	Goods from environmentally clean capital	https://www.ademe.fr/	Goods produced using environmentally friendly practices.
4. Infrastructure, Services and Urban Equipment	Energy networks	https://www.rte-france.com/	Infrastructure for energy generation, transmission, and distribution.
	Potable water networks	https://www.ofb.gouv.fr/	Systems for distributing safe drinking water.
	Sewage and drainage	https://www.eaufrance.fr	Infrastructure for wastewater and rainwater management.
	Residual water treatment	https://www.eaufrance.fr/	Processes for treating wastewater to remove contaminants.
	Hospitals	https://solidarites-sante.gouv.fr/	Health facilities providing medical care.
	Schools	https://www.education.gouv.fr/	Educational institutions for primary, secondary, and higher education.
	Workplaces	https://travail-emploi.gouv.fr/	Locations designated for employment activities.
	Recreation sites	https://www.culture.gouv.fr/	Areas for leisure and recreational activities.
	Markets	https://www.cci.fr/	Spaces for selling goods, often local and sustainable products.
	Social Security or Health Care buildings	https://solidarites-sante.gouv.fr/	Facilities for public welfare and health services.
	Firehouses	https://www.interieur.gouv.fr/	Facilities housing firefighting equipment and personnel.
	Parks and gardens	https://www.ecologie.gouv.fr/	Urban green spaces for public recreation.

5. Transportation	Train Infrastructure	https://www.sncf-reseau.com/	The physical and operational components supporting rail transportation.
	Train Tracks	https://www.sncf-reseau.com/	Railway tracks used for train operations.
	Subway Tracks	https://www.ratp.fr/	Underground railway tracks for urban transit systems.
	Light Rail Tracks	https://www.ratp.fr/	Tracks for light rail systems typically used for shorter distances in urban areas.
	Trolley Lines	https://www.transports-urbains.fr/	Overhead electric lines for trolleybus operations.
	Bus Lines	https://www.transports-urbains.fr/	Routes designated for bus services
	Bicycles	https://www.velo-territoires.org/	Number of bicycles available for personal or shared use in urban areas
	Motorbikes	https://www.data.gouv.fr/	Two-wheeled motorized vehicles used for transportation.
	Private Cars	https://www.data.gouv.fr/	Passenger vehicles owned by individuals or households.
	Density of passenger per vehicle	https://www.transports-urbains.fr/	Average number of passengers per vehicle during operation.
	Highways, roads or streets per 1000 inhabitants	https://www.data.gouv.fr/	Length of transportation infrastructure relative to the population.
	Density of taxis	https://www.data.gouv.fr/	Number of taxis per square kilometer or per 1,000 inhabitants.
	Number of roads, highways or streets per type of transportation	https://www.data.gouv.fr/	Count of roads categorized by transportation mode.
	Density of pedestrian areas	https://www.ecologie.gouv.fr/	Total area dedicated to pedestrian use relative to urban area.
	Bike paths	https://www.velo-territoires.org/	Dedicated paths for bicycle use.
	Density of restricted traffic zones	https://www.ecologie.gouv.fr/	Urban areas with restricted access for motorized vehicles.
	Number of parking spaces and paid parking lots	https://www.data.gouv.fr/	Total number of designated parking spaces requiring payment
	Number of parking spaces and free parking	https://www.data.gouv.fr/	Total number of parking spaces available for free.
	Number of parking spaces and free parking lots close to public transportation	https://www.data.gouv.fr/	Free parking spaces located near public transportation hubs
	Public transportation for passengers	https://www.transports-urbains.fr/	Urban transportation systems designed for passenger use.
6. Education	School population	https://www.education.gouv.fr/statistiques	Total number of students enrolled in primary, secondary, and higher education
	Study programs in higher education directly related to sustainability	https://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/	Number or percentage of higher education programs focused on sustainability topics.
7. Housing	Access to housing	https://www.data.gouv.fr/	The percentage of the population with access to adequate housing.
	Availability of housing	https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/	The supply of housing units available in the market, including vacant units.
	Quality of housing	https://www.anah.fr/ Agence nationale de l'habitant, I don't know why ican't open this link right now	Evaluation of housing standards, including infrastructure, space, and amenities.
	Type of housing	https://www.insee.fr/	Classification of housing by structure, such as single-family homes, apartments, or multi-family units.
	Cost of housing	https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/	Average or median price of housing, including purchase and rental costs.
	Family homes	https://www.insee.fr/	Number of homes primarily designed and used by families.

	Rental properties	https://www.anah.fr/ Agence nationale de l'habitant, I don't know why ican't open this link right now	Number of housing units available for rent.
	Percentage of financed housing	https://www.anah.fr/ Agence nationale de l'habitant, I don't know why ican't open this link right now	Proportion of housing units purchased with financial loans or subsidies.
	Vacant housing	https://www.insee.fr/	Housing units not currently occupied.
	Abandoned housing	https://www.anah.fr/ Agence nationale de l'habitant, I don't know why ican't open this link right now	Housing units left unoccupied and in disrepair for an extended period.
	Condition of the housing	https://www.anah.fr/ Agence nationale de l'habitant, I don't know why ican't open this link right now	Assessment of the physical state and habitability of housing units.
	Ecological housing	https://www.ademe.fr/	Homes built or retrofitted with sustainable and energy-efficient practices.
	Partially ecological housing	https://www.ademe.fr/	Homes incorporating some sustainable features without full compliance with ecological standards.
	Housing without running water	https://www.insee.fr/	Homes lacking access to piped and potable water.
	Housing without electricity	https://www.insee.fr/	Homes lacking electrical connections.
	Housing without sewage and drainage	https://www.insee.fr/	Homes not connected to sewage or drainage systems.
8. Demographics	Area of the city	https://www.insee.fr/	Total surface area of a city, including all administrative boundaries.
	Population density	https://www.insee.fr/	Number of people per unit area of the city.
	Number of homes	https://www.insee.fr/	Total number of residential housing units in the city
	Growth rate of the urban population	https://www.insee.fr/	Annual rate of population increase or decrease in the city.
	Life expectancy	https://www.insee.fr/	Average number of years a person is expected to live, based on current mortality rates.
	Loss of life in natural disasters	https://www.ecologie.gouv.fr/	Number of deaths caused by natural disasters such as floods, earthquakes, or storms.
	Immigration (as part of the management, provision and organization of the urban population in cities) (Chen, 2009).	https://www.insee.fr/	Movement of people into the city from other regions or countries.
9. Health	Exposure to heavy metals in urban areas	https://www.georisques.gouv.fr/	Level of exposure to heavy metals (e.g., lead, mercury) in the urban environment.
	Exposure to NO2 in urban areas	https://www.atmo-france.org/	Concentration of nitrogen dioxide in urban air.
	Exposure to CO2 in urban areas	https://www.atmo-france.org/	Level of carbon dioxide concentration in the city's atmosphere.
	Exposure to Volatile Organic Substances in urban areas	https://www.atmo-france.org/	Concentration of volatile organic compounds (VOCs) in urban air.
	Exposure to urban noise	https://www.bruitparif.fr/	Average sound level in urban areas, expressed in decibels (dB).
	Deaths due to violence and delinquency	https://www.interieur.gouv.fr/	Number of fatalities caused by criminal acts or interpersonal violence.
	Deaths due to traffic accidents	https://www.onisr.securite-routiere.gouv.fr/	Number of fatalities resulting from road traffic incidents.
	Number of sidewalk food stands	https://www.data.gouv.fr/	Total number of licensed or unlicensed food stands operating on city sidewalks.
	Diseases caused by fecal matter	https://www.santepubliquefrance.fr/	Cases of diseases linked to exposure to human or animal fecal matter, such as diarrhea.
	Diseases caused by drinking contaminated water	https://www.santepubliquefrance.fr/	Cases of diseases linked to unsafe drinking water, such as cholera or dysentery.
10. Combating poverty	Minimum wage	https://www.service-public.fr/particuliers/vosdroits/F2300	The legally mandated lowest hourly wage that employers must pay workers.

	Groceries and food	https://www.insee.fr/	Average cost of basic food items and groceries in urban or rural areas.
	Dignified housing	https://www.anah.fr/ Agence nationale de l'habitant, I don't know why ican't open this link right now	Housing that meets basic standards for safety, space, and sanitation.
	Paid work	https://travail-emploi.gouv.fr/	Employment where workers receive monetary compensation.
11. Regional Development	Farming	https://www.agriculture.gouv.fr/	Agricultural activities including crop production and livestock rearing
	Agriculture	https://www.agriculture.gouv.fr/	Broader sector encompassing crop production, farming, and agro-industry
	Fishing	https://www.agriculture.gouv.fr/	Activities related to the harvesting of fish and other aquatic resources.
	Livestock	https://www.agriculture.gouv.fr/	Rearing of animals for meat, dairy, and other products.
	Extractive industries	https://www.brgm.fr/	Industries involved in the extraction of natural resources like minerals, oil, and gas.
	Heavy industries	https://www.insee.fr/	Industries focused on large-scale production, such as steel manufacturing and shipbuilding.
	Commerce	https://www.insee.fr/	The activity of buying and selling goods and services.
	Sources of employment	https://www.insee.fr/	Sectors or industries providing jobs for the population.
	Justice in the distribution of wealth	https://www.insee.fr/	Fair distribution of income and resources among the population.
	Justice in the exposure of polluting agents	https://www.georisques.gouv.fr/	Equitable exposure to environmental pollutants across different social groups.
	Justice in the distribution of potable water	https://www.eaufrance.fr/	Equal access to safe drinking water for all segments of the population
12. Equality	Socio-economic segregation	https://www.insee.fr/	Degree of separation between different socio-economic groups within an urban area.
13. Global Climate Change	Greenhouse gases (CO_2) caused by transportation	https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/	Total CO_2 emissions generated by vehicles and transportation systems.
	Greenhouse gases (CO_2) caused by industry	Greenhouse gas production per capita - France - FRENCH ECONOMY DASHBOARD	Total CO_2 emissions produced by industrial activities.
	The measuring of local and global warming	https://www.meteofrance.com/	Assessment of temperature changes at local and global scales over time.
14. Generation of waste	Generation of municipal solid waste	https://www.ademe.fr/	Total amount of solid waste generated by households and businesses in a city.
	Generation of dangerous waste	https://www.ademe.fr/	Total amount of hazardous waste generated, including toxic and flammable materials.
	Recycling and use of waste	Territory dynamics - France - FRENCH ECONOMY DASHBOARD - FRENCH ECONOMY DASHBOARD	Percentage or quantity of waste materials reused or processed into new products
15. Air Pollution	Emissions from other pollutants	https://www.atmo-france.org/	Release of pollutants into the air from non-transportation sources like industry.
	Air quality in urban zones	https://www.atmo-france.org/	Measure of pollutant concentrations in urban air, including PM2.5, PM10, NO_2, and O_3.
	Monitoring air pollution	https://www.atmo-france.org/	Continuous assessment of pollutant levels in the atmosphere.
	Number of days vehicles do not circulate	https://www.ecologie.gouv.fr/	Days when vehicular traffic is restricted to reduce pollution levels.
	Acidification of gases from transportation	https://www.atmo-france.org/	Emissions of acidifying gases like SO_2 and NO_x from vehicles.
	Quality of Compound Volatile Organic Material from transportation	https://www.atmo-france.org/	Concentration of volatile organic compounds (VOCs) released by vehicles
	Heavy metals in the atmosphere around transportation	https://www.atmo-france.org/	Concentration of heavy metals like lead or cadmium in air near transportation hubs.

16. Soil Pollution	Changes in the use of soil	https://www.geoportail.gouv.fr/	Alterations in land use patterns, such as conversion from agricultural to urban use.
	Solid residual deposits	https://www.ademe.fr/	Total amount of solid waste left after treatment processes.
	Dangerous residual deposits	https://www.ademe.fr/	Hazardous waste materials requiring special handling and disposal.
	Sediments with toxic substances	https://www.eaufrance.fr/	Sediment deposits contaminated with toxic chemicals.
	Erosion and desertification	https://www.ecologie.gouv.fr/	Degradation of land caused by water, wind, and human activity, leading to loss of soil fertility.
	Land-fills	https://www.ademe.fr/	Areas designated for the disposal of waste materials.
	Area of protected forest	https://www.onf.fr/	Land area designated as protected to conserve forest ecosystems.
	Area of protected urban soil at risk of a change in use	https://www.ecologie.gouv.fr/	Urban land designated for protection due to its ecological or cultural value.
17. Water (Contamination and Consumption)	Monthly precipitation	https://www.meteofrance.com/	Total rainfall measured in millimeters during a calendar month.
	Annual water extraction	https://www.eaufrance.fr/	Total volume of water extracted from natural sources for various uses.
	Concentration of fecal particles in freshwater	https://www.eaufrance.fr/	Level of fecal contamination in freshwater sources, indicating water quality.
	Biochemical demand for oxygen in bodies of water	https://www.eaufrance.fr/	Amount of oxygen required by microorganisms to decompose organic matter in water.
	Consumption of water per inhabitant	https://www.eaufrance.fr/	Average volume of water consumed by an individual annually
	Consumption of residential water per inhabitant	https://www.eaufrance.fr/	Volume of water used per person for residential purposes annually
	Consumption of water per area(industrial, residential, commercial, agricultural and other services)	https://www.eaufrance.fr/	Volume of water consumed per sector in specific areas.
	Quantity of water wasted from its origin to its destination	https://www.eaufrance.fr/	Volume of water lost due to leaks or inefficiencies in the distribution network.
	Quantity of treated water	https://www.eaufrance.fr/	Volume of water treated to meet safety and quality standards.
	Population with access to treated water	https://www.eaufrance.fr/	Percentage of the population supplied with treated and safe drinking water.
	Quantity of rain water wasted and going to drains	https://www.eaufrance.fr/	Volume of rainwater not reused and directed to drainage systems.
	Polluted water	https://www.eaufrance.fr/	Volume of water classified as polluted based on chemical, physical, and biological criteria.
18. Other types of contamination	Light pollution	https://www.bruitparif.fr/	Excessive artificial light affecting the natural environment and human health.
	Vibration pollution	https://www.bruitparif.fr/	Environmental disturbances caused by vibrations, typically from transportation and industry.
	Sound pollution	https://www.bruitparif.fr/	Unwanted or harmful levels of noise in the environment.
	Smell pollution	https://www.ademe.fr/	Presence of unpleasant or harmful odors in the environment.
19. Biodiversity	Modification of biological diversity	https://www.ofb.gouv.fr/	Changes in the variety and abundance of living organisms in a given area.
20. Integrity of Ecosystems	Modification of ecosystems	https://www.ofb.gouv.fr/	Alterations in the structure and function of ecosystems due to natural or human activities.
21. Energy Consumption	Consumption by area	https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/	Total energy or material consumption per specific area (e.g., urban, residential, industrial).

	Consumption of electricity	https://www.rte-france.com/	Total electricity usage within a specified period.
	Butane gas/ Carbon gas/ Natural gas	https://www.grdf.fr/	Volume of butane, carbon dioxide, or natural gas consumed.
	Diesel/ Gasoline	https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/	Total diesel and gasoline used for transportation or industrial purposes
	Wood burning	https://www.ademe.fr/	Volume of wood used as fuel for heating or energy production.
	Other intermediate goods	https://www.insee.fr/	Materials or goods consumed as inputs in production processes.
	Consumption of renewable energy	https://www.ademe.fr/	Energy consumed from renewable sources such as solar, wind, or hydropower.
	Consumption of alternate energies (photovoltaic, wind power, geothermal power, hydrogen power)	https://www.ademe.fr/	Total consumption of non-traditional renewable energy sources
22. Consumption of Raw Materials	Consumption of renewable raw materials	https://www.ademe.fr/	Materials derived from renewable resources used in production.
	Consumption of non-renewable raw materials	https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/	Materials derived from finite resources such as minerals or fossil fuels.
	With recycled content	https://www.ademe.fr/	Products containing a percentage of recycled materials
	Recycled	https://www.ademe.fr/	Total amount of waste materials processed and reused.
	Materials composed of a ceramic base	https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/	Products primarily made from ceramic materials.
	Materials composed of a metallic base	https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/	Products primarily made from metals.
	Materials composed of a polymer base	https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/	Products primarily made from polymer materials, including plastics.
	Natural materials	https://www.ademe.fr/	Materials sourced directly from nature without significant processing.
	Synthetic materials	https://www.ademe.fr/	Materials created through chemical processes, not directly from natural sources.
23. Quality of the environment	Quality of the biotic resources	https://www.ofb.gouv.fr/	The health and sustainability of living organisms within an ecosystem
	Quality of abiotic resources	https://www.ofb.gouv.fr/	The condition of non-living components of an ecosystem, such as soil, water, and air.
	Quality of the landscape	https://www.ecologie.gouv.fr/	The aesthetic and ecological value of natural and urban landscapes.
	Quality of the socio-cultural and urban environment	https://www.culture.gouv.fr/	The overall livability of urban areas, including cultural heritage, community well-being, and infrastructure.
24. Urban Reforestation and Green Spaces	Reforested areas in urban zones	https://www.ofb.gouv.fr/	Areas within cities where trees have been planted to restore vegetation
	Creation of green spaces and gardens	https://www.ecologie.gouv.fr/	Development of parks, gardens, and other recreational green spaces in urban areas.
25. Changes in the use of soil	urban and rural soil	https://www.geoportail.gouv.fr/	The condition and usage of soils in urban and rural areas.
26. Policies and decision- making	Evaluation of the laws about environmental impact	https://www.legifrance.gouv.fr/	Assessment of the effectiveness and implementation of environmental laws.
27. Environmental Management	The group of evaluators of environmental impact	https://www.ecologie.gouv.fr/	A team of professionals responsible for assessing environmental impact.
28. Consumption of other intermediate goods	Various materials and combustibles	https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/	Types of materials and fuels used in industrial and domestic settings.
29. National Legal Instruments	Creation and updating of urban regulations and sustainable architecture	https://www.ecologie.gouv.fr/	Development and revision of laws to promote sustainable urban planning and architecture.
30. International Legal Instruments	Revision of international norms	https://www.iso.org/	Updates to international environmental and urban development standards.

	Use of international methodologies for a decrease in environmental impact	https://www.ademe.fr/	Adoption of globally recognized methods to reduce ecological damage.
	Available environmental information	https://www.ecologie.gouv.fr/	Accessibility and availability of environmental data to the public.
31. Information and statistics	Number of times urban architectural information about the environment is offered	https://www.citechaillot.fr/	Frequency of information sessions or materials provided on sustainable architecture.
32. Science and research for sustainable development	Number of scientists employed in the research of sustainable development	https://www.cnrs.fr/	Total number of researchers working on sustainable development projects.

7.3 Python pour l'Analyse des Corrélations des Indicateurs

```
#Filter original data
columns_of_interest = ["Country", "Indicator", "OBS_VALUE"]
filtered_data = data[columns_of_interest]
pivot_table = filtered_data.pivot_table(
    index="Country", columns="Indicator", values="OBS_VALUE"
)
# fill NA value with 0
pivot_table = pivot_table.fillna(0)
pivot_table.index
# calculate correlation
correlation_matrix = pivot_table.corr()
# draw heatmap
plt.figure(figsize=(12, 10))
sns.heatmap(correlation_matrix, annot=True, fmt=".2f", cmap="coolwarm")
plt.title("Correlation Heatmap of Indicators")
plt.show()
```