

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
École Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme
Le Moudjahid Hocine Aït Ahmed
Laboratoire Ville, Urbanisme et Développement Durable (VUDD)

epau



THÈSE DE DOCTORAT EN SCIENCES

Option : Urbanisme et Ville Durable

Mazia CHAKER épouse AISSI

**Modélisation d'une Symbiose Urbaine Bas Carbone "SU_r-BC"
dans une perspective d'atténuation des émissions de GES
à l'échelle locale à Alger**

Thèse dirigée par Mme la Professeure Ewa BEREZOWSKA-AZZAG

Soutenue publiquement le 17/01/2023

Membres de jury :

M^{me}. DJJAR Kahina Amal	Professeure	EPAU, Alger	Présidente
M. SEMMAR Djaffar	Professeur	Université de Blida	Examineur
M. ATHAMENA Khaled	Maître de conférences A	EPAU, Alger	Examineur
M. RAHAL Farid	Maître de conférences A	Université d'Oran	Examineur
M. BOUKARTA Soufiane	Maître de conférences A	Université de Blida	Examineur
M^{me}. BEREZOWSKA AZZAG Ewa	Professeure	EPAU, Alger	Directrice de thèse

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

" الْحَمْدُ لِلَّهِ الَّذِي هَدَانَا لِهَذَا وَمَا كُنَّا لِنَهْتَدِيَ لَوْلَا أَنْ هَدَانَا اللَّهُ " الأعراف 43

" رَبِّ أَوْزِعْنِي أَنْ أَشْكُرَ نِعْمَتَكَ الَّتِي أَنْعَمْتَ عَلَيَّ وَعَلَىٰ وَالِدَيَّ وَأَنْ أَعْمَلَ صَالِحًا تَرْضَاهُ
وَأُدْخِلْنِي بِرَحْمَتِكَ فِي عِبَادِكَ الصَّالِحِينَ " النمل 19

Remerciements

Cette thèse est le fruit d'un long travail que j'ai eu la chance de pratiquer en étant submergée de soutien, d'encouragements et d'affection de nombreuses personnes que je désire toutes remercier.

J'exprime tout d'abord ma grande gratitude à ALLAH, le Tout Puissant, de m'avoir donnée le courage, la force et la patience pour mener à bien ce travail.

Mes remerciements les plus sincères vont naturellement à Professeure Ewa BEREZOWSKA-AZZAG, ma directrice de thèse, que je ne remercierai jamais assez pour sa disponibilité et son soutien tout au long de la réalisation de cette recherche. D'un grand conseil et d'une écoute toujours attentive et précieuse, elle m'a accordée sa pleine confiance pour mener un travail de qualité. Son œil critique m'a toujours orienté dans le bon sens. Qu'elle trouve dans ces mots ma grande gratitude et mes remerciements les plus profonds.

Je tiens aussi à remercier les personnes qui m'ont accueilli pendant mon stage doctoral en Belgique particulièrement Professeure Daniela Perrotti de l'Université de Catholique de Louvain, sans oublier l'équipe de la faculté d'Architecture, d'ingénierie architecturale et d'urbanisme de Tournai. Je remercie également toutes les personnes qui m'ont ouvert l'accès aux données nécessaires à la recherche, notamment de l'AND, de la SDA d'Alger et du Ministère de l'Environnement.

Mes remerciements vont également à l'ensemble des membres de Jury, pour avoir accepté d'examiner ce travail de thèse.

Je profite également pour remercier ma famille, particulièrement mon mari qui m'a soutenue et encouragée durant toute la période de ce travail- sans sa patience et sa compréhension, cette recherche n'aurait pas abouti. Mes pensées vont aussi à mes chers parents qui ont veillé sur moi depuis toujours et qui m'ont soutenue sans faille. Enfin, je ne peux ne pas remercier mes chers enfants Mohamed Salah, Rofia et surtout Ines et Ranya, mes grandes filles, qui suivaient de près et avec intérêt l'avancement de mon travail.

Résumé

Face à l'urgence du réchauffement climatique qui préoccupe la communauté internationale, l'Algérie se trouve confrontée à la recherche de solutions pour relever le défi de résilience climatique. Elle s'engage à réduire ses émissions de GES d'ici 2030 de 7 %, par rapport à l'état actuel. Un tel engagement, pris à l'échelle nationale par le Plan National Climat (PNC), requiert notamment la mise en place de nouveaux outils de planification urbaine à l'échelle urbaine locale. Les villes, étant à l'origine des CC, elles doivent non seulement s'adapter à leurs impacts, mais aussi exploiter toutes leurs potentialités pour mettre en place des stratégies d'atténuation. En Algérie, l'enjeu consiste essentiellement à réduire les émissions de CO₂ issus des ressources fossiles, lesquelles constituent 99,97 % de l'énergie destinée aux activités urbaines.

L'intérêt, largement prouvé dans la littérature scientifique, que présente la stratégie de Symbiose Industrielle (SI) dans l'optimisation d'énergie et des matériaux vierges, nous a conduits à **explorer les performances d'un tel potentiel pour le besoin d'une planification urbaine opérationnelle, orientée sur la réduction des émissions de CO₂**. La Symbiose Urbaine (SU_r) recouvre les possibilités de boucler les flux métaboliques non pas seulement à l'échelle des parcs industriels, mais aussi à l'échelle urbaine locale, de commune ou du quartier. Comparée à la SI, cette stratégie n'a pas encore fait ses preuves dans les applications opérationnelles. En s'inscrivant dans cette optique, la présente thèse propose **une démarche pour développer un modèle d'évaluation des performances de la Symbiose Urbaine, en termes d'atténuation des émissions de CO₂ à l'échelle locale**. Le modèle proposé a été développé par référence aux explications des modèles théoriques et expériences pratiques décrivant des projets symbiotiques, sa construction repose sur **la méthode et les outils de la modélisation systémique**. Ce modèle est appliqué par la suite dans le contexte local d'Alger, sur le cas d'El Harrach-Oued Smar. Un territoire doté d'un potentiel urbain et productif important pour la réalisation des liens symbiotiques, et qui est aussi soumis à une forte circulation des flux métaboliques, une forte demande d'énergie et subit une pression sur les ressources naturelles et l'environnement.

Les résultats obtenus mettent en évidence le potentiel de gains considérable en matière d'optimisation d'Énergie et d'atténuation des émissions de CO₂ et relèvent l'intérêt des solutions efficaces favorisées par le bouclage des flux métaboliques Déchets-Énergie entre les différentes activités urbaines dans le cadre le plus large des projets urbains, qui dépasse le cadre de la SI limité aux zones industrielles. Cela ouvre la perspective vers une application plus large de la stratégie aux autres villes algérienne au niveau national, ce qui pourrait permettre d'atteindre l'objectif de 7 %, voire plus. La vérification des possibilités d'intégration des solutions de la SU_r dans le système de planification urbaine locale en Algérie relève les transformations nécessaires et les leviers d'action permettant l'évolution de la politique de planification en vigueur vers une politique décentralisée qui s'inscrit dans le cadre global d'une stratégie nationale pour le développement des projets urbains symbiotiques locaux.

Mots Clés :

Système Urbain Symbiotique ; Symbiose Urbaine Bas Carbone ; Réduction des émissions de CO₂ ; Optimisation d'énergie ; Flux métaboliques Déchets-Énergie ; Planification urbaine locale.

ملخص

نظرا للضرف المناخي الطارئ للاحتباس الحراري الذي يشغل المجتمع الدولي ، تتوجه الجزائر للبحث عن حلول لمواجهة تحدي مرونة المناخ. ولقد تعهدت بتقليل انبعاث الغازات المسببة لهذا الاحتباس بحلول عام 2030 بنسبة 7 ٪ ، مقارنة بالحالة الحالية. هذا الالتزام الذي، اتخذ في اطار الخطة الوطنية للمناخ (PNC) ، يتطلب انشاء أدوات جديدة للتخطيط الحضري على نطاق محلي. كون المدن في صميم اشكالية تغير المناخ ، فيجب عليها ليس فقط ان تتكيف مع تأثيراتها ، ولكن أيضا تستغل كل إمكاناتها لتنفيذ استراتيجيات للتخفيف من حدتها. في الجزائر ، تكمن القضية بشكل أساسي في الحد من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من الموارد الأحفورية ، والتي تشكل 99.97 ٪ من الطاقة المخصصة للأنشطة الحضرية.

إن الأهمية ، المثبتة على نطاق واسع في الأدبيات العلمية ، لاستراتيجية التعايش (التكافل) الصناعي في تحسين الطاقة والمواد الأولية ، قادتنا إلى استكشاف نجاعة مثل هذه الإمكانيات لتلبية الحاجة في تخطيط حضري عملي موجه إلى الحد من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون. يغطي التعايش الحضري إمكانيات غلق التدفقات الأيضية ليس فقط على نطاق المناطق الصناعية ، ولكن أيضا على نطاق حضري محلي أو بلدية أو حي. مقارنة بالتعايش الصناعي ، لم تثبت هذه الاستراتيجية نفسها بعد في التطبيقات العملية. من خلال هذا المنظور ، تقترح هذه الأطروحة نهجًا لتطوير نموذج تقييم للتعايش الحضري ، من حيث تقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون على المستوى المحلي. تم تطوير النموذج المقترح بالرجوع إلى تفسيرات النماذج النظرية والخبرات العملية التي تصف المشاريع التكافلية ، ويستند بنائه على الطريقة وأدوات النمذجة النظامية. ثم يتم تطبيق هذا النموذج في النطاق المحلي للجزائر العاصمة على مستوى الحراش-واد السمار. منطقة ذات إمكانيات حضرية وإنتاجية مهمة لتحقيق الروابط التكافلية ، والتي تخضع أيضًا لتداول عالٍ من التدفقات الأيضية ، وارتفاع الطلب على الطاقة ، كم تخضع المنطقة للضغط على الموارد الطبيعية والبيئة.

النتائج التي تم الحصول عليها تسلط الضوء على إمكانية تحقيق مكاسب كبيرة من حيث تحسين الطاقة وتخفيف انبعاثات ثاني أكسيد الكربون كما تبين أهمية الطول الفعالة الناتجة عن إغلاق التدفقات الأيضية نفايات طاقة بين الأنشطة الحضرية المختلفة في الإطار أوسع للمشاريع الحضرية ، والتي تتجاوز الإطار المحدود لاستراتيجية التكافل الصناعي الذي يقتصر على المناطق الصناعية. هذه النتائج تفتح المنظور لتطبيق أوسع للاستراتيجية على المدن الجزائرية الأخرى على المستوى الوطني ، مما قد يجعل من الممكن تحقيق هدف 7 ٪ أو أكثر. كما ان عملية التحقق من إمكانيات دمج حلول استراتيجية التكافل الحضري في نظام التخطيط الحضري المحلي في الجزائر تبين التحولات اللازمة و الإجراءات التي تسمح بتطور سياسة التخطيط المعمول بها نحو سياسة لا مركزية مندرجة ضمن الإطار العام لاستراتيجية وطنية من أجل تطوير مشاريع حضرية تكافلية محلية.

الكلمات الرئيسية

النظام الحضري التكافلي ؛ التكافل الحضري منخفض الكربون ؛ الحد من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون ؛ تحسين الطاقة ؛ التدفقات الأيضية نفايات-طاقة ؛ التخطيط الحضري المحلي.

Abstract

Confronted with the global warming urgency that worries the international community, Algeria has to find solutions to meet the challenge of climate resilience. It is committed to reducing its GHG emissions by 2030 by 7% compared to the current state. Such a commitment, made at the national level through the National Climate Plan (NCP), requires, in particular, the implementation of new urban planning tools at the local urban level. Cities, being at the root of CC, must not only adapt to their impacts but also exploit all their potential to implement mitigation strategies. In Algeria, the challenge is mainly to reduce CO₂ emissions from fossil resources, which constitute 99.97% of the energy for urban activities.

The interest widely proven, in the scientific literature, of the Industrial Symbiosis (IS) strategy in optimizing energy and virgin materials led us **to explore the performance of such a potential for the operational urban planning needs focused on reducing CO₂ emissions**. Urban Symbiosis (UrS) covers possibilities for looping metabolic flows not just at the industrial parks scale but at the local urban, municipal, or neighborhood scale. Compared to IS, this strategy has not yet proven itself in operational applications. This thesis proposes an approach to develop an evaluation model of the Urban Symbiosis performance in terms of CO₂ mitigation at the local scale. The proposed model was developed by reference to explanations of theoretical models and practical experiences describing symbiotic projects using **the system modeling method and tools**. The model is then applied in the local context of Algiers to the case of El Harrach-Oued Smar. A territory with a significant urban and productive potential for implementing symbiotic links, which undergoes high metabolic flow circulation, high energy demand, and pressure on natural resources and the environment.

The obtained results highlight the potential of the considerable gains in energy optimization and CO₂ emissions mitigation and point out the interest in efficient solutions promoted by looping Waste-Energy metabolic flows between different urban activities in the broadest framework of urban projects extending beyond the IS framework limited to industrial areas. That opens the prospect toward a broader application of this strategy to other Algerian cities at the national level, which could help reach the 7% target or even more. The assessment of the UrS integration into the Algerian local urban planning system reveals the necessary transformations and action levers. That entails an evolution of the current planning policy towards a decentralized policy that fits into the global framework of a national strategy for developing local symbiotic urban projects.

Keywords:

Symbiotic Urban System; Low Carbon Urban Symbiosis; CO₂ emissions reduction; Energy optimization; Waste-Energy metabolic flows; Local urban planning.

Table des Matières

Résumé

ملخص

Abstract

Liste des Figures iii

Liste des Tableaux vi

Liste des abréviations viii

Liste des Unités de mesure x

Introduction générale 1

1. Motivations et contexte de la recherche 1

2. Problématique de la recherche 5

3. Hypothèses de la recherche 6

4. Choix du territoire d'étude 7

5. Objectif et méthodologie de recherche 8

6. Structuration de la thèse 12

Première Partie : Modalités d'atténuation du CC à l'échelle urbaine locale par la stratégie de Symbiose Urbaine : analyse et modélisation 14

Introduction de la Première partie 15

Chapitre 1 : La stratégie de Symbiose Urbaine (SU) comme outil d'atténuation du Changement Climatique (CC) à l'échelle urbaine locale 16

1.1. Le contexte global et local du CC : enjeux et perspectives..... 16

1.1.1 Le système climatique : changements observés et leurs causes..... 16

1.1.2 Développement des villes et CC..... 20

1.1.3 Les enjeux climatiques dans le contexte algérien 29

1.2. Cadre conceptuel de la stratégie de Symbiose Urbaine..... 33

1.2.1 Le concept de Symbiose Urbaine "SU_r" : revue de la littérature 33

1.2.2 Revue des recherches académiques sur les concepts de SI/SUR 37

1.2.3 Performances des SI et SUR en termes d'atténuation des émissions de CO₂ à l'échelle locale 41

1.3. Synthèse et conclusion du Chapitre 1 53

Chapitre 2 : Modélisation d'un Système Urbain Symbiotique performant en termes d'atténuation des émissions de CO₂ à l'échelle urbaine locale 56

2.1. Approche méthodologique de la modélisation systémique 56

2.1.1 L'approche systémique..... 56

2.1.2 La modélisation systémique : une méthode de représentation des systèmes..... 62

2.1.3 Les outils méthodologiques de la modélisation systémique 70

2.2. Modélisation d'un Système Urbain Symbiotique Bas Carbone..... 78

2.2.1 Définition des éléments du Système Urbain Symbiotique 79

2.2.2 Construction du modèle urbain symbiotique 85

2.2.3 Choix des flux métaboliques potentiels pour un développement symbiotique bas carbone..... 91

2.2.4 Représentation du modèle conceptuel "SU-BC" à appliquer dans le contexte local d'Alger..... 102

2.3. Synthèse et conclusion du Chapitre 2 103

Conclusion de la Première Partie 106

Deuxième Partie : Modalités d'application du modèle "SU_r-BC" dans le contexte local d'Alger	108
<i>Introduction de la Deuxième Partie</i>	109
<i>Chapitre 3 : Simulation et évaluation du modèle "SU_r-BC" dans le contexte local d'Alger</i>	110
3.1. Identification et description du système territorial local d'étude	110
3.1.1 Situation du territoire local d'EH-OS	110
3.1.2 Organisation spatio-fonctionnelle du territoire d'étude	111
3.1.3 Perspectives d'évolution et but du système	113
3.2. Exploration des performances symbiotiques du système urbain local EH-OS	116
3.2.1 Collecte des données pour le système local d'étude d'EH-OS	116
3.2.2 Évaluation des performances symbiotiques du système urbain EH-OS	119
3.2.3 Application de la méthode	127
3.3. Synthèse et conclusion du Chapitre 3	149
<i>Chapitre 4 : Conditions d'intégration du projet symbiotique "SU_r-BC" dans le système de planification urbaine locale à Alger</i>	152
4.1. Identification des conditions-cadre pour la planification du projet symbiotique d'EH-OS	152
4.1.1 Orientations stratégiques pour la planification du projet : une intégration à quatre dimensions	152
4.1.2 Stratégies et politiques pour le développement de SUR : revue des expériences internationales	155
4.1.3 Proposition d'un système optimal de planification par la "SU _r -BC"	160
4.2. Identification des conditions de planification urbaine locale à Alger	170
4.2.1 Contexte de planification locale en Algérie : évolution et structure	170
4.2.2 Analyse des possibilités de prise en charge du projet SU _r -BC dans le système de planification en vigueur à Alger	178
4.2.3 Intégration du MU dans le système de planification urbaine locale d'Alger	191
4.3. Synthèse et conclusion du chapitre 4	204
<i>Conclusion de la Deuxième Partie</i>	205
Conclusion générale	206
1. Retour sur la démarche et les résultats de la recherche	206
2. Limites, contraintes et utilité de la recherche	209
3. Perspectives futures	210
Bibliographie	212
Annexes... ..	226
Annexe 1 : Inventaire des actions d'atténuation du CC prévues dans le cadre du PNC	227
Annexe 2 : Complément d'informations relatives à la démarche de modélisation du système urbain symbiotique	231
Annexe 3 : Complément des résultats d'application du modèle SU_r-BC dans le territoire local d'EH-OS ...	236
Annexe 4 : Complément des résultats d'analyse des conditions d'intégration du projet "SU_r-BC" dans le système de planification locale à Alger	242

Liste des Figures

Figure 1 : Émissions totales de GES dans le monde	2
Figure 2 : Les villes face au CC : vulnérabilité des grandes villes	3
Figure 3 : Démarche méthodologique proposée selon l'objectif de la recherche	10
Figure 4 : Méthodologie de recherche adoptée	11
Figure 1. 1 : Synthèse des changements observés dans le système climatique	18
Figure 1. 2 : Évolution des températures moyennes de l'atmosphère et de l'océan	18
Figure 1. 3 : Répartition des GES par type	20
Figure 1. 4 : Origine des émissions de CO2 cumulées dans l'atmosphère	20
Figure 1. 5. Influence du fonctionnement des activités urbaines sur les émissions de GES	21
Figure 1. 6 : Répartition des émissions entre activités productrices et consommatrices d'Énergie	23
Figure 1. 7 : Les émissions de GES mondiales issues de l'utilisation du flux d'Énergie nécessaire aux différentes activités	23
Figure 1. 8 : Consommation d'énergie dans le bâtiment selon le type d'usage	23
Figure 1. 9 : Évolutions futures des émissions de CO2 et des températures selon les prévisions du GIEC	25
Figure 1. 10 : Localisation des villes par taille et niveau d'exposition aux risques climatiques	26
Figure 1. 11 : Évolution de la température moyenne annuelle à Alger	30
Figure 1. 12 : Consommation d'Énergie en Algérie et émissions de CO2 liées	31
Figure 1. 13 : Évolution de la consommation d'Énergie et des émissions de CO2 en Algérie	31
Figure 1. 14 : La symbiose dans les écosystèmes naturels	36
Figure 1. 15 : Les dix principaux pays étudiés en termes de Symbiose Industrielle dans 286 articles universitaires publiés entre 1995 et 2014	38
Figure 1. 16 : Les différents cadres théoriques des SI/SUR	40
Figure 1. 17 : Localisation des projets choisis pour l'analyse des performances de SI/SUR dans l'atténuation des émissions de CO2 à l'échelle locale	42
Figure 1. 18 : La SI de Kalundborg	43
Figure 1. 19 : La SUR du quartier de Hammarby Sjöstad	44
Figure 1. 20 : Suivi des réductions majeures des charges environnementales à Hammarby Sjöstad	45
Figure 1. 21 : Localisation et Plan de développement du projet 22@Barcelona	46
Figure 1. 22 : Principal district productif de la province de Tarente	47
Figure 1. 23 : Principaux liens symbiotiques existants et proposés pour le district de Tarent	47
Figure 1. 24 : Réseau symbiotique de matière dans l'éco-ville de Kawasaki	48
Figure 1. 25 : Localisation des parcs industriels d'Ulsan	49
Figure 1. 26 : Réseaux symbiotiques de récupération d'Énergie à Ulsan (Kim et al., 2018)	50
Figure 1. 27 : La SUR de Guiyang	51
Figure 1. 28 : Échanges symbiotiques à Guayama - Porto Rico	52

Figure 2. 1 : Caractéristiques de base d'un système	64
Figure 2. 2 : Organisation en niveaux hiérarchiques.....	67
Figure 2. 3 : Éléments de la modélisation systémique	68
Figure 2. 4 : Processus de modélisation en quatre étapes	70
Figure 2. 5 : La triangulation systémique.....	71
Figure 2. 6 : Matrice d'analyse structurelle	74
Figure 2. 7 : Exemple de relation d'influence indirecte entre deux variables.....	75
Figure 2. 8 : Plan d'influence –dépendance	76
Figure 2. 9 : Schéma des relations possibles entre les variables du système	76
Figure 2. 10 : Démarche de construction des scénarios.....	78
Figure 2. 11 : Principe de fonctionnement du Système Urbain selon son CMU : cycle linéaire/ cycle circulaire.....	80
Figure 2. 12 : Définition des éléments du système urbain spatio-fonctionnel selon le modèle systémique	85
Figure 2. 13 : Principe de représentation des relations causales liées au cycle des flux métaboliques	86
Figure 2. 14 : Solutions possibles pour la valorisation des flux d'eaux.....	87
Figure 2. 15 : Fonctionnement cyclique des flux d'eau et ses implications sur l'optimisation du système urbain symbiotique en comparaison à un système linéaire.	88
Figure 2. 16 : Gains en énergie et en émission de CO2 pouvant être issus de la valorisation des différents flux déchets solides : [a-b] / Famille des flux DO, [c-d] / Famille des flux DI, et [e-f] Famille des flux DOI.	89
Figure 2. 17 : Liens symbiotiques pour la valorisation d'un vecteur énergétique.....	90
Figure 2. 18 : Principe de remplissage de la matrice structurelle	95
Figure 2. 19 : Résultats du traitement de la matrice structurelle sur MICMAC	98
Figure 2. 20 : Exemple de relation indirecte dans le Système Urbain Symbiotique	99
Figure 2. 21 : Plan influence dépendance du Système Urbain Symbiotique avec le Programme MICMAC.....	100
Figure 2. 22 : Classement des variables selon leurs influences avec le programme MICMAC.....	101
Figure 2. 23 : Modèle fonctionnel proposé pour l'optimisation du système urbain basé sur un métabolisme cyclique	103
Figure 3. 1 : Situation et frontières du périmètre d'EH-OS : [a] Frontières naturelles et administratives dans le contexte d'Alger, [b] Limites spatio-fonctionnelles.....	111
Figure 3. 2 : Organisation spatio-fonctionnelle du périmètre urbain d'EH-OS	112
Figure 3. 3 : Orientations stratégiques du PDAU d'Alger pour l'évolution du périmètre d'étude	114
Figure 3. 4 : Diagramme hypothétique de l'influence d'une action planifiée d'une "SU _r -BC" sur l'évolution des émissions de CO2	114
Figure 3. 5 : Répartition de la consommation d'Énergie par type d'activité au niveau du système d'étude	118
Figure 3. 6 : Répartition des quantités de déchets ménagers et assimilés DMA par type de flux au niveau du territoire local d'El Harrach-Oued Smar.....	118
Figure 3. 7 : Procédés de valorisation des déchets solides dans le système EH-OS selon l'inventaire	119
Figure 3. 8 : Espace morphologique des scénarios symbiotiques possibles selon le processus des flux Input-Output	120
Figure 3. 9 : Indices et indicateurs d'évaluation des scénarios symbiotiques d'optimisation	121
Figure 3. 10 : Méthode d'évaluation de l'Indice de Performance Symbiotique (IPS)	127
Figure 3. 11 : Présentation graphique et description des scénarios symbiotiques (j1, j2, j3, j4).....	130
Figure 3. 12 : Présentation graphique du scénario symbiotique (j5)	131

Figure 3. 13 : Résultats de quantification des gains pour chaque scénario	133
Figure 3. 14 : Résultats de la simulation de l'analyse morphologique.....	133
Figure 3. 15 : Proposition d'un Schéma de Symbiose Urbaine Bas Carbone cartographié au niveau du territoire local EH-OS selon le scénario j5.....	136
Figure 3. 16 : Foncier récupéré pour l'Intégration des installations techniques et des activités urbaines nécessaires au projet SU _r -BC par référence à l'étude « Qualification de l'usage du sol » du PDAU [Figure. 3.A]..	138
Figure 3. 17 : Circuit et matériel nécessaire pour un réseau décentralisé	139
Figure 3. 18: Localisation des éléments et des composantes de la Symbiose Urbaine sur le territoire local d'EH-OS	144
Figure 3. 19: Plan proposé pour l'aménagement du réseau de collecte et de transport des déchets et de la matière secondaire.....	145
Figure 3. 20: Plan proposé pour l'aménagement du réseau de distribution de l'Énergie renouvelable récupérée ..	146
Figure 3. 21: Plan proposé pour l'aménagement des couloirs vers dans le cadre de la proposition du PDAU 2016	147
Figure 3. 22 : Intégration possible d'un plan local PL-SUr dans le PDAU d'Alger	149
Figure 4. 1 : Les quatre(4) dimensions d'intégration d'une "SU _r -BC" dans la planification urbaine	153
Figure 4. 2 : Création de boucles courtes de valorisation d'énergies et de matières à différentes échelles urbaines	154
Figure 4. 3 : Système centralisé/décentralisé de collecte et de tri de déchets.....	154
Figure 4. 4 : Éléments de présentation des expériences étudiés	156
Figure 4. 5: Cadres stratégique de la planification par la "SU _r -BC"	160
Figure 4. 6. Mécanisme de planification par la "SU _r -BC" à différents niveaux stratégiques.....	162
Figure 4. 7 : Proposition d'un système optimal de planification des projets de "SU _r -BC" à l'échelle urbaine locale	168
Figure 4. 8 : Définition des conditions-cadre et des outils stratégiques pour la planification des projets de "SU _r -BC" à l'échelle urbaine locale (scénario optimal)	169
Figure 4. 9 : Trois (3) axes de mise en œuvre du projet symbiotique d'EH-OS.....	178
Figure 4. 10 : Répartition des communes de la Wilaya d'Alger par EPICs de collecte des déchets.....	189
Figure 4. 11 : Répartition des Enterprise de valorisation des déchets par commune	190
Figure 4. 12 : Échelle d'évaluation du système de planification locale d'Alger.....	192
Figure 4. 13 : Évaluation globale du système de planification locale à Alger avec la grille SEPO.....	194
Figure 4. 14 : Leviers d'action pour l'évolution du système de planification urbaine local vers un le scénario optimal favorable à l'intégration des projets symbiotiques à Alger	202
Figure 4. 15 : Intégration des projets urbains symbiotiques dans le système d'outils de planification à Alger selon la proposition de Pr. Berezowska-Azzag (2016b)	203
Figures annexes	
Figure 2. A : Opérationnalisation du modèle conceptuel en indicateurs quantifiables	232
Figure 2. B : Structuration hiérarchique des indicateurs construits dans le cadre du modèle conceptuel proposé.	232
Figure 2. C : Composantes de la grille SEPO	233
Figure 2. D : Exploitation de la grille SEPO pour le développement d'une stratégie d'action future).....	234
Figure 2. E : Exemple d'une grille d'auto évaluation à 5 points	235
Figure 3.A : Carte de qualification d'usage du sol du périmètre d'EH-OS (PDAU, 2016)	238
Figure 3.B : Carte de la Voirie et des Réseaux Divers du périmètre d'EH-OS (PDAU, 2016).....	239
Figure 3.C : Carte de la structure écologique du périmètre d'EH-OS (PDAU, 2016).....	240
Figure 3.D : Cartes des risques majeurs dans le périmètre d'EH-OS : [a] Risques naturels ; [b] Risques technologiques	241

Liste des Tableaux

Tableau 1. 1 : Actions climatiques locales dans le cadre du PNC.....	32
Tableau 1. 2 : Éléments clés de différence entre SI/SUr.....	36
Tableau 1. 3 : Implications des SUr/SI sur la consommation d'énergie et les émissions de CO2.....	53
Tableau 2. 1 : Comparaison des approches analytique et systémique	57
Tableau 2. 2 : Vocabulaire de description des flux métaboliques.....	81
Tableau 2. 3 : Définition des composantes statiques du système.....	82
Tableau 2. 4 : Nomenclature de définition des flux Inputs	83
Tableau 2. 5 : Nomenclature de définition des flux Outputs	84
Tableau 2. 6 : Possibilités de valorisation potentielles des flux d'eau (à partir de la revue de littérature).....	92
Tableau 2. 7 : Possibilités de valorisation potentielles des flux de déchets (à partir de la revue de littérature)	93
Tableau 2. 8 : Liste des variables du système	94
Tableau 2. 9 : Résultats du traitement de la matrice structurelle sur Excel.....	97
Tableau 2. 10 : Variables clés du modèle urbain symbiotique bas carbone « SU _r -BC ».....	101
Tableau 3. 1 : Catégories des déchets solides en Algérie.....	115
Tableau 3. 2 : Ratios utilisés pour le calcul des gains en énergie et en émissions de CO2.....	126
Tableau 3. 3 : Description des éléments clés de la Symbiose urbaine d'EH-OS.....	129
Tableau 3. 4 : Résultats de l'évaluation des gains et de l'estimation de l'IPS pour chaque scénario	132
Tableau 3. 5 : Synthèses des actions de planification proposées pour la concrétisation du projet SU _r -BC dans le territoire d'EH-OS.....	143
Tableau 3. 6 : Indices de gains selon les données du territoire d'étude.....	150
Tableau 3. 7 : Indices de récupération d'énergie et des émissions évitées conséquentes	151
Tableau 3. 8 : Comparaison des gains de la SUr d'EH-OS aux exemples internationaux.....	151
Tableau 4. 1 : Synthèse de la lecture comparative des politiques de planification de SUr sous la grille AMC.....	159
Tableau 4. 2 : Parcours de prise en charge des questions environnementales en Algérie.....	171
Tableau 4. 3 : Parcours de prise en charge des questions environnementales en Algérie (période 1974-1993)	175
Tableau 4. 4 : Critères et indicateurs d'évaluation des conditions de planification par la SUr à Alger.....	193
Tableau 4. 5 : Analyse SEPO du système de planification locale en vigueur à Alger	195
Tableau 4. 6 : Évaluation des capacités du système de planification urbaine à Alger en termes d'intégration des projets symbiotiques, par référence au système optimal de planification par la SUr.	199
Tableau 4. 7 : Système d'outils de planification spatiale en Algérie.....	203

Tableaux annexes

Tableau 1. A : Actions d'adaptation à court terme (2020-2025).....	227
Tableau 1. B : Actions d'adaptation à moyen terme (2020-2035).....	228
Tableau 1. C : Actions d'atténuation des émissions de GES et de renforcement des puits de carbone dans les domaines de l'Industrie, des Déchets et de l'Énergie.....	229
Tableau 1. D : Actions d'atténuation des émissions de GES et de renforcement des puits de carbone dans les domaines de : forêts, Transport, des Collectivités locales , Bâtiment et Habitat, Tourisme	230
Tableau 3.A: Résultats comparatifs de quantification du potentiel d'Énergie Optimisée et des gains associés pour tous les scénarios	236
Tableau 3.B: Résultats de quantification du potentiel des Émissions de CO2 Réduites (EmRej) et des gains associées pour tous les scénarios.....	237
Tableau 4. A : Outils de planification territoriale et environnementale mis en place pendant la période (2000-202)	255

Liste des abréviations

ACV	Analyse du Cycle de Vie
ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (France)
AFM	Analyse des Flux de Matières
AFME	Analyse des Flux de Matières et d'Énergie
AIE	Agence Internationale d'Énergie
ALFEL	Algérienne des Fonderies d'El-Harrach
AMC	Analyse Multicritère
AND	Agence Nationale des Déchets
APRUE	Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Énergie
BM	Banque Mondiale
CC	Changement Climatique
CCNUCC	Convention Cadre des Nations Unies pour le Changement Climatique
CET	Centre d'Enfouissement Technique
CMU	Cycle Métabolique Urbain
CO₂	Dioxyde de Carbone
CPDN	Contribution Prévue Déterminée au niveau National
CV	Cycle de Vie
DD	Développement Durable
DEEE	Déchets d'Équipements Électriques et Électroniques
DIS	Déchets Industriels Spéciaux
DISD	Déchets Industriels Spéciaux Dangereux
DMA	Déchets Ménagers et Assimilés
DSI	Déchets Solides Inorganiques
DSO	Déchets Solides Organiques
DSOI	Déchets Solides Organiques- Inorganiques
ECFERAL	Entreprise de Chaudronnerie et de Ferblanterie d'Alger (El Harrach)
EDEVAL	Établissement de Développement des Espaces Verts d'Alger
EH-OS	El Harrach-Oued Smar
EI	Écologie Industrielle
FNME	Fond National pour la Maitrise d'Énergie
FNME	Fond National de Maitrise d'Énergie
GES	Gaz à Effet de Serre
GIEC	Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat
GIZ	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (Société pour la coopération internationale allemande)
INPV	Institut National de La Protection des Végétaux
IPS	Indice de Performance Symbiotique
MATE	Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement.

MHUV	Ministère de l'Habitat, de l'Urbanisme et de la Ville
MICMAC	Matrice d'Impacts Croisés Multiplication-Appliquée à un Classement
MU	Métabolisme Urbain
OCDE	Organisation de Coopération et de Développement Économique
ONS	Office Nationale des Statistiques
ONU	Organisation des Nations Unies
PAC	Plan d'Aménagement Côtier
PAM	Plan d'Action pour la Méditerranée
PATW	Plan d'Aménagement du Territoire de Wilaya
PAVN	Plan d'Aménagement de la Ville Nouvelle
PDAU	Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme
PDREE	Programme de Développement des Énergies Renouvelables et de l'Efficacité Énergétique
PGDDM	Plan de Gestion des Déchets Dangereux de la Méditerranée
PNAGDES	Plan National de Gestion des Déchets Spéciaux
PNC	Plan National Climat
PNUE	Programme des Nations Unies pour l'Environnement
POS	Plan d'Occupation du Sol
PPO	Planification par objectifs
PPS	Planification par scénarios
PU	Projet Urbain
PUD	Plan d'Urbanisme Directeur
RG	Rejets Gazeux
RGPH	Recensement Général de la Population et de l'Habitat
RL	Rejets Liquides
SAEPT	Schémas d'Aménagement des Espaces de Programmation Territoriale
SDA	Société de Distribution d'électricité et du gaz d'Alger
SDAAM	Schéma Directeur d'Aménagement de l'Aire Métropolitaine
SDCTDS	Schéma Directeur de Collecte et Traitement des Déchets Solides des 57 Communes de la Wilaya d'Alger
SDGDI	Schéma Directeur de La Gestion des Déchets Industriels de la Wilaya d'Alger
SDRU	Schéma Directeur de Résilience Urbaine
SEPO	Succès, Échecs, Potentialités, Obstacles
SI	Symbiose Industrielle
SIG	Système d'Information Géographique
SNAT	Schéma National d'Aménagement du Territoire
SONELGAZ	Société Algérienne de l'Électricité et du Gaz
SSU	Sous-Système Urbain
SUr	Symbiose Urbaine
SU.-BC	Symbiose Urbaine Bas Carbone
VRD	Voirie et Réseaux Divers
ZI	Zone Industrielle

Liste des Unités de Mesure

J	Joule
PJ	Pétajoule : $1PJ = 10^{15}J$
tep	tonne équivalent pétrole
kWh	Kilowattheure
teqCO2	tonne équivalent CO2
°C	Degré Celsius
hab./km²	Nombre d'habitants/surface en km ²
th	thermie

Introduction générale

1. Motivations et contexte de la recherche

Depuis les années 2000, l'accélération du réchauffement climatique préoccupe la communauté internationale. Avec l'augmentation de la température moyenne mondiale¹ et l'accumulation des Gaz à Effet de Serre (**GES**²) dans l'atmosphère, des bouleversements dangereux ont transformé le climat à un rythme jamais vu par le passé (GIEC-GTI, 2013 ; GIEC-GTI³, 2021). En effet, chaque élévation d'un degré de la température perturbe le système climatique et accroît le risque des événements les plus destructeurs : températures extrêmes, fonte des glaciers, montée du niveau des mers, sécheresse, fréquence et intensité accrues des vagues de chaleur et des précipitations, fortes pluies, vents violents, baisse de fertilité des terres, etc. En conséquence, les impacts sur notre environnement, nos économies et notre sécurité, qui deviennent importants et de plus en plus irréversibles (OCDE, 2008 ; GIEC-GT III, 2014 ; GIEC-GT II, 2022), nécessitent une action coordonnée pour relever les défis de résilience tant socio-économique, qu'environnementale et territoriale.

Les villes, principaux centres d'activités de production et de consommation, sont au cœur des évolutions climatiques. Depuis l'époque préindustrielle, l'urbanisation a connu un développement accéléré, associée à une croissance économique et démographique sans précédent. Notons que les villes concentrent aujourd'hui plus de 56 % de la population mondiale (Banque Mondiale, 2021) et environ 75 % de l'activité économique (Suzuki et al., 2010).

Ce développement des ensembles urbains, aussi ample que rapide, a induit un fonctionnement linéaire de leur **Métabolisme Urbain (MU)** responsable d'une forte consommation des ressources naturelles (énergie, matière première, eau, sol) et par conséquent d'importants rejets liquides, solides et gazeux (Chaker, 2015). Ce fonctionnement a par conséquent largement contribué à l'augmentation des **émissions de GES**, avec une hausse de plus en plus rapide ces dernières décennies (GIEC-RS, 2014 ; GIEC-GTI, 2021).

Sachant que l'énergie est la principale source de ces émissions [**Figure 1**] et que, en réponse aux besoins croissants des populations en termes de produits de consommation, cette énergie est utilisée en forte quantité par les activités urbaines productrices et consommatrices de ressources

¹ La température moyenne mondiale (terre et océans) a augmenté jusqu'à 0,85 °C entre 1880 et 2012 (GIEC-GTI, 2013). Le réchauffement observé jusqu'en 2010-2019 est de 1,06 [0,88 à 1,21] °C (GIEC-GTI, 2021).

² Le GES est le principal contributeur au **CC**, il est constitué principalement de CO₂, méthane, de protoxyde d'azote et de gaz fluorés. Son émission a largement augmenté entre 1970 et 2010 (GIEC-GT III, 2014) et entre 2011 et 2019 (GIEC-GTI, 2021).

³ Les nouveaux rapports du GIEC-GTI 2021, GIEC-GTII 2022 sont indiqués selon la version en anglais, par IPCC-WGI, IPCC-WGII.

(agricole, industrielle, de transport, les bâtiments commerciaux et résidentiels) (UN HABITAT, 2011 ; Suzuki et al. 2010), il convient de noter que :

- (i) **La production de la matière première** exige de multiples transformations dévoreuses en énergie avant de pouvoir l'utiliser (Chauveau, 2009). Les produits agricoles sont, aussi, associés à la consommation de l'énergie, du fait de la mécanisation très poussée (tracteurs, moissonneuses, trapeuses...) de leur production (Sciama, 2010) ;
- (ii) **L'exploitation du sol pour l'urbanisation** ainsi que l'étalement urbain avec de faibles densités, sont associés à des niveaux de consommation énergétique très élevés, compte tenu de leurs impacts sur l'usage intensif de la voiture et sur le chauffage des bâtiments (UN HABITAT, 2011) ;
- (iii) **L'approvisionnement en eau**, son stockage et sa distribution consomment aussi d'importantes quantités d'énergie (Massard, 2011).

En revanche, les rejets conséquents sont aussi responsables des émissions de GES, d'autant plus que le traitement de ces rejets est aussi dépendant de l'Énergie. Il s'agit notamment des rejets suivants :

- (i) **Les rejets liés à la production agricole** qui entraînent l'émission du protoxyde d'azote⁴ (Sciama, 2010) ;
- (ii) **Les rejets liés aux flux de déchets** qui sont responsables d'environ 3 %⁵ des émissions totales de GES (UN-HABITAT, 2011).

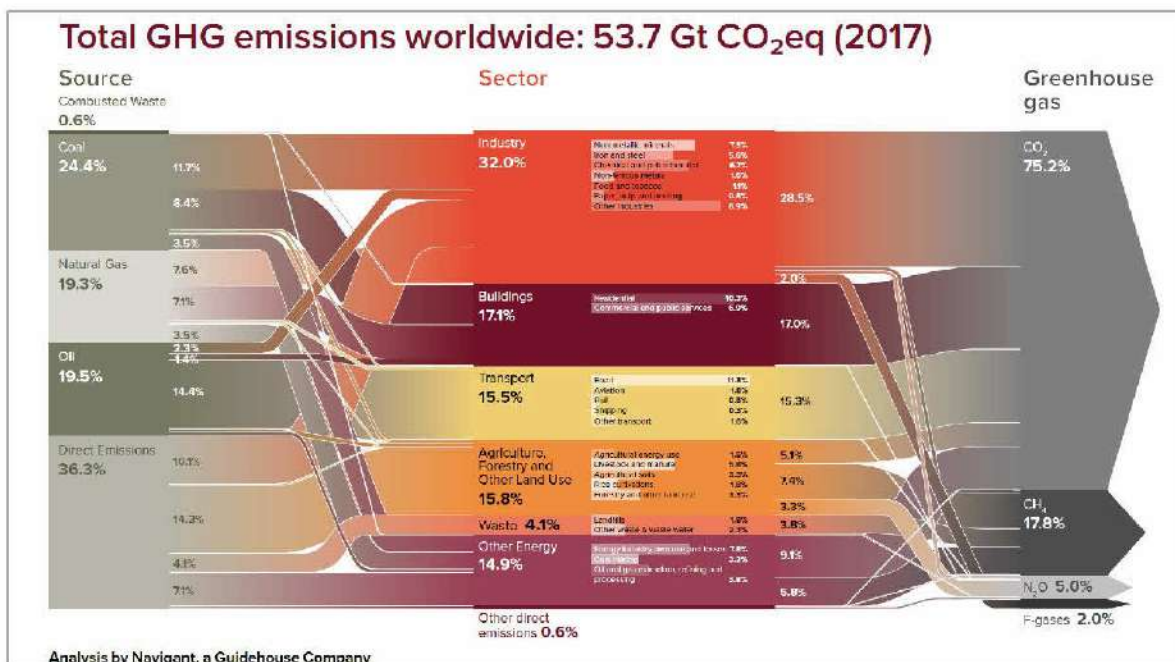


Figure 1 : Émissions totales de GES dans le monde (Navigant & ASN Bank, 2017)

Avec le développement des villes, leur fonctionnement métabolique linéaire risque d'augmenter les émissions de GES pour les prochaines décennies. Notons que la consommation d'énergie a augmenté en 2018 à un rythme presque deux fois supérieur au taux de croissance moyen depuis

⁴ Issu de la consommation de grandes quantités de pesticides et des engrais

⁵ Dont le méthane issu des sites d'enfouissement et des eaux usées représente environ 90 % de ces émissions.

2010 (IEA, 2019). Si rien n'est fait, l'augmentation des émissions mondiales de GES devrait se poursuivre et la température de la planète pourrait enregistrer une hausse allant jusqu'à 4,8 °C d'ici 2100, selon les prévisions du GIEC (GIEC-RS, 2014).

Sous ces effets, les menaces du CC vont s'intensifier avec des implications profondes sur les villes, leurs structures physiques et le fonctionnement de leurs activités. La dégradation des bâtiments, destruction des infrastructures et des réseaux divers (routiers, d'assainissement, d'approvisionnement en eau et en énergie, de transport), affectera les services urbains les plus fondamentaux et se répercutera sur les besoins de base des sociétés et des économies locales notamment liés à l'approvisionnement en ressources naturelles (UN HABITAT, 2011). **Et ce sont donc les villes à leur tour qui vont en subir les conséquences [Figure 2].**

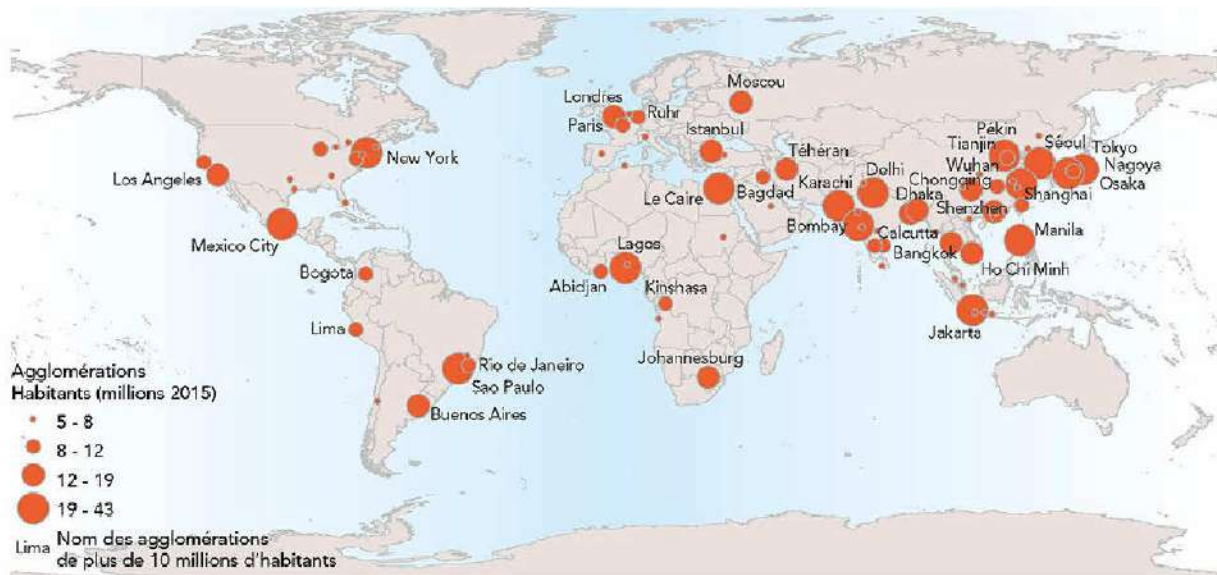


Figure 2 : Les villes face au CC : vulnérabilité des grandes villes (Source : IRD, <https://books.openedition.org/irdeditions/29442>)

Confrontés à la fois à ces risques et aux coûts de l'inaction, les pays œuvrent à l'adoption d'un cadre d'action international pour parvenir à un accord sur la nécessité de lutter contre le CC, ce qui s'est traduit par l'adoption de la Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques CCNUCC en 1992⁶ et la promotion de ses différentes conférences internationales sur le climat. Deux stratégies qui font l'objet d'un large consensus au sein de la communauté internationale pour faire face au danger du CC, l'adaptation et l'atténuation (GIEC-RS, 2014), avec une priorité absolue accordée à la réduction des émissions de GES, traduite dans les accords et engagements internationaux, principalement dans l'accord de Paris qui s'est fixé pour objectif de parvenir à une limitation du réchauffement mondial entre 1,5 °C et 2 °C d'ici 2100 (CCNUCC, 2015).

⁶ Adopté au cours du *Sommet de la Terre* de Rio de Janeiro.

Dans ce contexte, ce sont aussi les villes qui offrent toutes les potentialités économiques, sociales et environnementales pour la mise en œuvre et l'accomplissement d'un tel objectif (Lorrain, Halpern et Chevauché, 2018). En effet, sans l'action locale, les gouvernements seront incapables de respecter leurs engagements (UN HABITAT, 2011). Chose qui a été déclarée par la CCNUCC et reconnue par l'ensemble de ses participants notamment lors de la COP 21 et l'Accord de Paris. En ce sens, plusieurs pays sont parvenus à un consensus pour concevoir des programmes d'action nationaux et locaux en réponse au CC, à l'exemple du Royaume-Uni, l'Allemagne et le Canada. Les pays en développement restent cependant très en retard sur ces sujets (UN HABITAT, 2011 ; UN-HABITAT, 2015), y compris l'Algérie qui est au centre de notre intérêt dans le cadre de cette recherche.

L'Algérie n'est pas à l'abri des bouleversements climatiques, elle figure même parmi les pays les plus vulnérables aux effets du dérèglement climatique, qui menacent de compromettre son développement économique et social. Conscients de ce danger, les autorités centrales algériennes ont manifesté leur volonté d'instaurer les assises d'un nouveau modèle de développement durable du pays depuis son adhésion à la CCNUCC en 1992 à la suite du sommet de Rio, puis sa participation au Sommet de Johannesburg en 2002. Dès lors, plusieurs politiques stratégiques ont été mises en place dans plusieurs domaines de la gestion du développement et d'aménagement du territoire national, de la préservation des ressources naturelles et de l'atténuation du Changement Climatique, telles que documentées dans divers outils de planification stratégique (PNAE-DD, 2002 ; SNAT, 2010 ; CPDN, 2015 ; PNC, 2019) et plusieurs lois relatives à l'eau, l'énergie, la gestion des déchets, les espaces verts urbains, les finances locales, la gouvernance locale, etc., ont été mises en place.

En 2015, lors de la COP 21, l'Algérie a participé à l'effort global contre le CC et s'est engagée à réduire ses émissions de GES de 7 % d'ici 2030 par rapport à l'état actuel (CPDN, 2015). Un engagement qui a été formulé à l'issue d'une large consultation lors de la Conférence Nationale de Concertation sur le Climat le 28 juillet 2015, et qui a réuni les collectivités locales, associations économiques, socioprofessionnelles, environnementales, ainsi que les acteurs institutionnels et socio-économiques (Berezowska-Azzag, 2016a ; CPDN, 2015). Cependant, sa mise en œuvre opérationnelle reste freinée par les approches sectorielles en vigueur et par l'insuffisance des textes d'application réglementaires. Les outils mis en œuvre tant pour la planification environnementale, que territoriale et d'aménagement, ne sont intégrés dans aucun cadre stratégique territorial qui fixerait les objectifs de maîtrise des émissions en rapport avec les caractéristiques climatiques, les biocapacités et les émissions de carbone.

Tout cela incite à la recherche de nouveaux outils de planification et de gestion permettant la concrétisation de l'objectif national à l'échelle locale. Le principal enjeu en Algérie consiste à réduire les émissions de CO₂ issues de l'énergie destinée aux villes. Cette énergie représente aujourd'hui 74,57% de l'énergie totale consommée et contribue à l'émission de 59,4 % des émissions totales de CO₂ du pays (APRU, 2019).

La revue de littérature scientifique internationale montre que la recherche a souvent mis l'accent sur les performances de la stratégie de Symbiose Industrielle (SI) pour l'optimisation de la consommation d'énergie et des matériaux vierges en zones d'activités productives. En revanche,

⁷ 99,97 % de cette énergie est produite à partir de sources fossiles : gaz et pétrole (APRU, 2017).

la Symbiose Urbaine (SU_r), un concept élargi de la SI qui recouvre les possibilités de boucler les flux métaboliques non pas seulement à l'échelle des parcs industriels, mais aussi à l'échelle urbaine locale, de commune ou du quartier, n'a pas encore fait ses preuves dans les applications opérationnelles (Lorrain et al., 2018). La SU_r cherche à réutiliser les rejets urbains et industriels (solides, liquides, gazeux) comme ressources secondaires (matière, eau secondaire ou source d'énergie) pour diverses activités urbaines : industrielles, agricoles, résidentielles, de transport (Erkman, 2004 ; Van Berkel et al, 2009a ; Vernay, 2013 ; Lufkin et al., 2016 ; Mulder, 2016). Plus encore, cette stratégie offre un cadre de coordination intersectorielle pouvant faciliter sa mise en place à l'échelle urbaine locale pour être à même de répondre aux politiques stratégiques du pays.

2. Problématique de la recherche

À l'instar de tous les pays du monde, l'Algérie se trouve confrontée aux défis de résilience climatique dans un contexte d'accroissement important des besoins et des attentes de sa population en termes de développement économique et social. Elle doit d'une part atténuer ses émissions de CO₂ et d'autre part s'adapter pour faire face aux défis de la raréfaction des ressources naturelles, de la sécurité alimentaire et des risques majeurs (CPDN, 2015).

En effet, les répercussions de ces risques seront particulièrement graves sur les villes côtières, qui concentrent, à elles seules, 37 % de la population nationale (CDER, 2015). À mesure qu'elles se développent, leur demande en énergie et les émissions conséquentes augmentent. En conséquence, ces villes seront davantage exposées aux risques d'élévation du niveau de mer, de fortes précipitations, d'inondations, etc. (UN HABITAT, 2011).

Dans ce contexte, la ville d'Alger, la plus grande du pays, capitale économique et politique qui concentre la population et l'activité économique les plus importantes à l'échelle nationale (Berezowska-Azzag et al., 2015), compte parmi les villes côtières les plus vulnérables au CC en Algérie. En raison de sa forte dynamique de développement, Alger est responsable d'un fonctionnement linéaire du MU qui augmente de plus en plus sa vulnérabilité aux CC qu'elle n'est pas, à ce jour, préparée à affronter. La seule expérience élaborée, à ce jour à l'échelle d'Alger, porte sur l'étude de la vulnérabilité et l'adaptation au Changement Climatique⁸ lancée en 2012 par le Ministère de l'Aménagement du territoire, de l'Environnement et de la ville (MATEV, 2013). Cette étude reste cependant insuffisante du fait qu'elle se limite seulement à l'étude de la vulnérabilité d'Alger aux risques naturels. Or, l'élément fondamental de réponse aux CC demeure dans la mise en place d'une stratégie d'atténuation permettant de répondre à l'objectif national pour la concrétisation de son engagement à réduire ses émissions de GES.

Pour relever ce défi au niveau du territoire d'Alger, l'enjeu consiste à atténuer les émissions de CO₂ induites par la consommation des ressources fossiles, qui représentent 99,97 % de l'énergie totale produite⁹ (APRU, 2017).

⁸ Lancée dans le cadre du programme « villes et changement climatique » du Centre pour l'Intégration en Méditerranée (CMI) , co-piloté par la Banque Mondiale et la Caisse des Dépôts et Consignation (CDC), et qui a pour but de favoriser l'adaptation des villes d'Afrique du Nord aux changements climatiques et aux risques naturels.

⁹ La production d'énergie à partir des sources renouvelables représente seulement 0.03% du bilan de production national (APRU, 2017).

Dans cette visée, l'intérêt que présente la stratégie de Symbioses Urbaine dans l'optimisation de la consommation d'énergie et des matériaux vierges via la valorisation des rejets, nous a conduits à explorer les performances d'un tel potentiel dans le contexte local d'Alger. Cette stratégie recèle des potentialités pour le bouclage des flux métaboliques, notamment par la valorisation des flux de déchets solides qui sont en augmentation croissante dans le contexte du territoire de la wilaya d'Alger¹⁰(AND, 2017). Notons que la valorisation des déchets constitue aujourd'hui l'un des défis majeurs à Alger. Des investissements considérables ont été réalisés ces dernières années, cependant la gestion des déchets est encore loin d'être efficiente. Malgré les efforts, le taux de valorisation des déchets ne représente que 7 %, l'élimination dans les décharges et les CET reste la solution privilégiée pour le traitement de la majorité de déchets. Par ailleurs, avec le manque d'infrastructures et de procédés efficaces, les collectivités locales éprouvent encore beaucoup de difficultés pour la collecte, le transport et le recyclage (GIZ, 2014).

Par ailleurs, par ses liens symbiotiques la SUR a le potentiel de créer des complémentarités entre différentes activités urbaines locales en tirant parti de la proximité (Chertow, 2000). Dans ce cadre, une telle stratégie recèle non pas seulement le potentiel de redéfinir la programmation des activités urbaines et leur organisation sur un territoire local, mais aussi de contribuer au changement des méthodes de planification et d'aménagement urbain dans l'avenir, dans l'objectif de réduction des émissions de carbone. Cependant, à ce jour, il existe peu d'études sur les performances des Symbioses Urbaines locales et encore moins sur leur prise en charge dans la planification urbaine.

En nous inscrivant dans cette visée, nous trouvons qu'il serait important de comprendre :

Comment la prise en charge du Cycle Métabolique Urbain à l'échelle urbaine locale pourrait-elle avoir des effets sur l'atténuation du CC ?

Quelles sont les différentes actions à mettre en œuvre à l'échelle locale à Alger pour réaliser des Symbioses Urbaines et comment ces actions peuvent-elles se combiner pour aboutir à la plus grande efficacité possible, en termes d'atténuation des émissions de CO₂ ?

La réponse à ces questions pourrait contribuer à l'élaboration d'une nouvelle stratégie d'atténuation du CC et orienter la réflexion des spécialistes et des décideurs, sur de nouveaux outils de planification urbaine locale pouvant faciliter la concrétisation de l'engagement national à l'échelle locale.

3. Hypothèses de la recherche

Pour répondre à notre problématique, nous formulons les deux postulats suivants :

Hypothèse 1 : Nous supposons que l'optimisation des différents flux métaboliques d'une ville par la stratégie de Symbiose Urbaine contribue directement à améliorer son bilan carbone.

Si les liens symbiotiques contribuent à améliorer les bilans d'émission de CO₂, alors, la construction d'un modèle de Symbiose Urbaine Bas Carbone "SU_r-BC" basé sur les flux de déchets solides permettrait d'entreprendre l'atténuation de ces émissions à l'échelle locale à Alger

¹⁰ Une augmentation qui est proportionnelle à la courbe démographique.

par l'évaluation du gain en termes des émissions évitées. C'est une hypothèse à caractère scientifique, qui demande à être vérifiée par une simulation concrète.

Hypothèse 2 : Elle est scindée en deux suppositions complémentaires, l'une à caractère scientifique, l'autre à caractère opérationnel.

2.1. La simulation des possibilités d'atténuation offertes par le modèle dans un contexte local algérois pourrait contribuer à vérifier la capacité du modèle à évaluer leurs performances.

2.2. Nous supposons ensuite que les résultats de l'évaluation pourraient être intégrés dans les outils de planification urbaine locaux, au service d'une politique locale orientée vers la transition énergétique et la résilience urbaine climatique.

Nous allons, au cours de la recherche, tenter de vérifier la véracité de ces affirmations.

4. Choix du territoire d'étude

Pour explorer le potentiel symbiotique à l'échelle locale à Alger, nous avons trouvé dans le territoire local intercommunal El Harrach-Oued Smar (EH-OS) de la métropole d'Alger, un cas d'étude représentatif pour notre recherche. C'est un territoire doté d'un potentiel urbain et productif important constitué d'une grande variété d'activités industrielles, d'habitat, d'infrastructures de transport et des équipements urbains majeurs permettant de réaliser des liens symbiotiques.

Par ailleurs, par une étude ciblée effectuée en 2014 au sein du laboratoire VUDD, ce territoire a été en même temps identifié comme étant très défaillant en matière de planification et de gestion du Métabolisme Urbain (Chaker, 2015)¹¹. C'est un système qui est soumis à une forte circulation des flux métaboliques (inputs et outputs), responsable d'une forte demande en énergie et exerçant une pression sur les ressources naturelles (énergie, matière, eau) et l'environnement (pollution par les rejets solides, liquides et gazeux), et cela en dépit de son important potentiel d'activités, favorable à la mise en place d'une Symbiose Urbaine locale.

¹¹ Le diagnostic effectué dans le cadre de cette étude portait sur les 57 communes du territoire de la Wilaya d'Alger. Il visait l'évaluation de l'équilibre du métabolisme urbain via l'identification des communes les plus dynamiques, du point de vue du développement urbain local et des communes qui se caractérisent le plus par un cycle linéaire des flux métaboliques (Input-Output), du point de vue de consommation des ressources naturelles (eau, énergie, sol), de pollution par les rejets (solides, liquides et gazeux) et des moyens mis en place pour l'optimisation. Pour chacune de 57 communes d'Alger, l'évaluation se déclinait en 08 critères, 16 paramètres de mesure et 30 indicateurs. Elle est basée sur une méthode de benchmarking interne (comparaison avec les valeurs moyennes de l'ensemble des communes algéroises). Les résultats ont permis de mettre en évidence le déséquilibre de la balance entre les problèmes métaboliques au niveau du territoire local intercommunal d'El Harrach-Oued Smar avec une forte consommation d'énergie et la génération de grandes quantités de déchets, la pollution de Oued El Harrach par les rejets urbains et industriels, et une planification/gestion défaillante du métabolisme urbain notamment l'insuffisance des moyens financiers, humains et matériels alloués à la gestion des rejets, absence des infrastructures de traitement de proximité, manque des entreprises de valorisation, absence de programmes pour des projets de traitement et de valorisation, ainsi que le manque du foncier destiné à cet usage. L'étude a été présentée et discutée à Montréal, dans le cadre du colloque international CIRAI 2016, International Reference Centre for the Life Cycle of Products, Process and Services, 13&14 Octobre 2016 (Voir Chaker-Aissi M., Berezowska-Azzag E., 2016, "The industrial ecology approach applied to the local context in Algiers for a responsible planning and management of urban metabolism").

5. Objectif et méthodologie de recherche

Le principal objectif de notre recherche consiste à **développer un modèle d'évaluation** des performances de la Symbiose Urbaine SUR en termes d'atténuation des émissions de CO₂ à l'échelle locale et de **l'appliquer dans le contexte local d'Alger** pour en vérifier la faisabilité. Cela nous permet de contribuer à la compréhension des performances de la stratégie de SUR et l'importance de son intégration dans la planification urbaine au service d'une politique locale orientée vers la résilience climatique et la transition énergétique.

Compte tenu de cet objectif, et en réponse aux hypothèses formulées, nous proposons une démarche méthodologique qui s'articule autour des quatre étapes [Figure 3]:

1. **Comprendre** les performances de la stratégie de Symbiose Urbaine en matière d'atténuation des émissions de carbone à l'échelle locale.
2. **Construire un modèle théorique opérationnel** de Symbiose Urbaine multi flux visant à fournir les orientations et les actions nécessaires permettant l'atténuation des émissions de carbone au niveau du territoire local intercommunal d'El Harrach - Oued Smar (EH-OS) à Alger.
3. **Simuler et évaluer** les différents scénarios possibles de bouclage des flux, à mettre en place au niveau du territoire d'étude.
4. **Discuter la validité du modèle**, en vue de déterminer les conditions de sa mise en place à l'échelle locale à Alger, pour **enfin proposer de le corriger** via le fil d'une action locale qui fixe les moyens, les outils, les programmes et les étapes permettant de parvenir à concrétiser la stratégie d'atténuation du CC au niveau des villes.

Selon l'objectif et les étapes définies, cette démarche s'insère dans le cadre de recherches de nature descriptive-compréhensive et exploratoire qui nécessite d'une part une étude théorique et d'autre part une étude empirique.

Le développement méthodologique proposé [Figure 4] repose donc sur un raisonnement abductif, qui part de théories, c.-à-d. des concepts tirés de la littérature et d'un état initial (un état des lieux), obtenu à partir du cas d'étude, pour arriver à conceptualiser un outil valide pouvant être testé et vérifié dans des situations similaires (Thietart et al., 2014).

Dans ce cadre nous procédons par une revue de la littérature qui nous permet d'appréhender d'une part le danger du CC dans son contexte global et local, et d'autre part le concept de Symbiose Urbaine (SUR), son évolution et le développement des recherches dans son domaine. Cette étude sera appuyée par un *Benchmarking* d'expériences internationales de SI et SUR tirés de la littérature, afin d'étudier les performances des Symbioses Industrielles et Urbaines en termes d'atténuation des émissions de CO₂. Cela nous permet de comprendre les principes clés du concept et de rassembler toutes les informations et les données nécessaires nous permettant par la suite la construction d'un modèle symbiotique bas carbone à l'échelle urbaine locale. Par ailleurs, la revue du cadre méthodologique du concept nous permet de nous rendre compte des méthodes de quantification et d'évaluation des performances de SUR. Cependant, la présentation décomposée et séparée des données demeure insuffisante pour cerner toutes les relations en jeu et la complexité de leurs interactions dans une vision globale - ce qui nous oblige à faire appel à une approche systémique.

L'**approche systémique** est nécessaire notamment pour la connaissance du système urbain symbiotique et la compréhension de son organisation spatiale et fonctionnelle. Cette approche prend forme avec **la modélisation systémique** qui offre le cadre méthodologique et les outils nécessaires nous permettant de représenter le modèle et d'analyser les mécanismes de son évolution vers la finalité recherchée. Le langage graphique via les schémas systémiques nous permet de dessiner le meilleur agencement possible des éléments du système et expliquer les relations causales entre eux. L'analyse structurelle influence/dépendance, à l'aide des Programmes EXCEL et MICMAC, est utilisée dans ce cadre pour réduire la complexité du système. Elle nous permet de classer les variables du système selon leur importance (motrices et dépendantes), et nous conduit à l'identification des variables clés et la représentation du modèle symbiotique simplifié qui fera l'objet d'application dans le contexte local d'Alger.

L'étude empirique repose sur la collecte et la construction de la base de données nécessaire à l'analyse du système d'étude choisi à Alger et l'inventaire des éléments-clés permettant la planification d'une SU_r dans son périmètre. Pour ce faire, une enquête portant sur les flux métaboliques (déchets, énergie) a été élaborée auprès de la Société de Distribution d'électricité et du gaz d'Alger (SDA) et de l'Agence Nationale des Déchets (AND) durant l'année 2017. Cette enquête nous a permis de collecter et d'analyser les données chiffrées (sur Excel) portant sur la consommation finale d'énergie fossile (gaz et électricité) et des quantités et composants de déchets urbains produits au niveau du périmètre d'étude durant l'année 2016. L'enquête a permis également la collecte et l'analyse de documents et rapports divers (AND, 2017 ; SONELGAZ, 2015 ; GIZ, 2014 ; SDGDII, 2010 ; SDCTDSU, 2008). Des informations complémentaires ont été également obtenues à partir des interviews effectuées avec les services de la SDA et de l'AND durant la même période.

Les éléments du modèle construit en amont nous servent de support pour l'identification des liens symbiotiques potentiels et la planification d'un système urbain symbiotique pour le périmètre d'étude. Les ratios et valeurs de référence nécessaires à l'évaluation des performances symbiotiques du système, ainsi qu'à l'estimation du potentiel d'énergie optimisée et des émissions de CO₂ réduites en aval sont définis par référence aux modèles théoriques et expériences pratiques étudiés dans les étapes précédentes.

L'étape suivante consiste à appliquer les résultats obtenus précédemment à la vérification de la validité opérationnelle du modèle. En première étape, la méthode des scénarios nous aide à simuler le modèle proposé dans le territoire d'EH-OS et déterminer les différents scénarios d'optimisation possibles. Une méthode d'évaluation basée sur la quantification des flux a été proposée pour l'évaluation de chacun des scénarios en combinant les trois méthodes : Analyse Flux de Matière (AFM), Analyse Cycle de Vie (ACV) et Empreinte Carbone (EC). L'option qui présente le meilleur résultat est alors désignée et un plan cartographié de Symbiose Urbaine est proposé pour une prise en charge éventuelle par les outils d'urbanisme dont la nature reste à définir.

La validité du modèle sera par la suite vérifiée par une évaluation des conditions de planification locale en vigueur, via les méthodes SEPO d'auto-évaluation. Cette étape repose sur l'identification et la comparaison de la tendance de planification actuelle (Scénario tendanciel) à un scénario idéal souhaité (Scénario optimal).

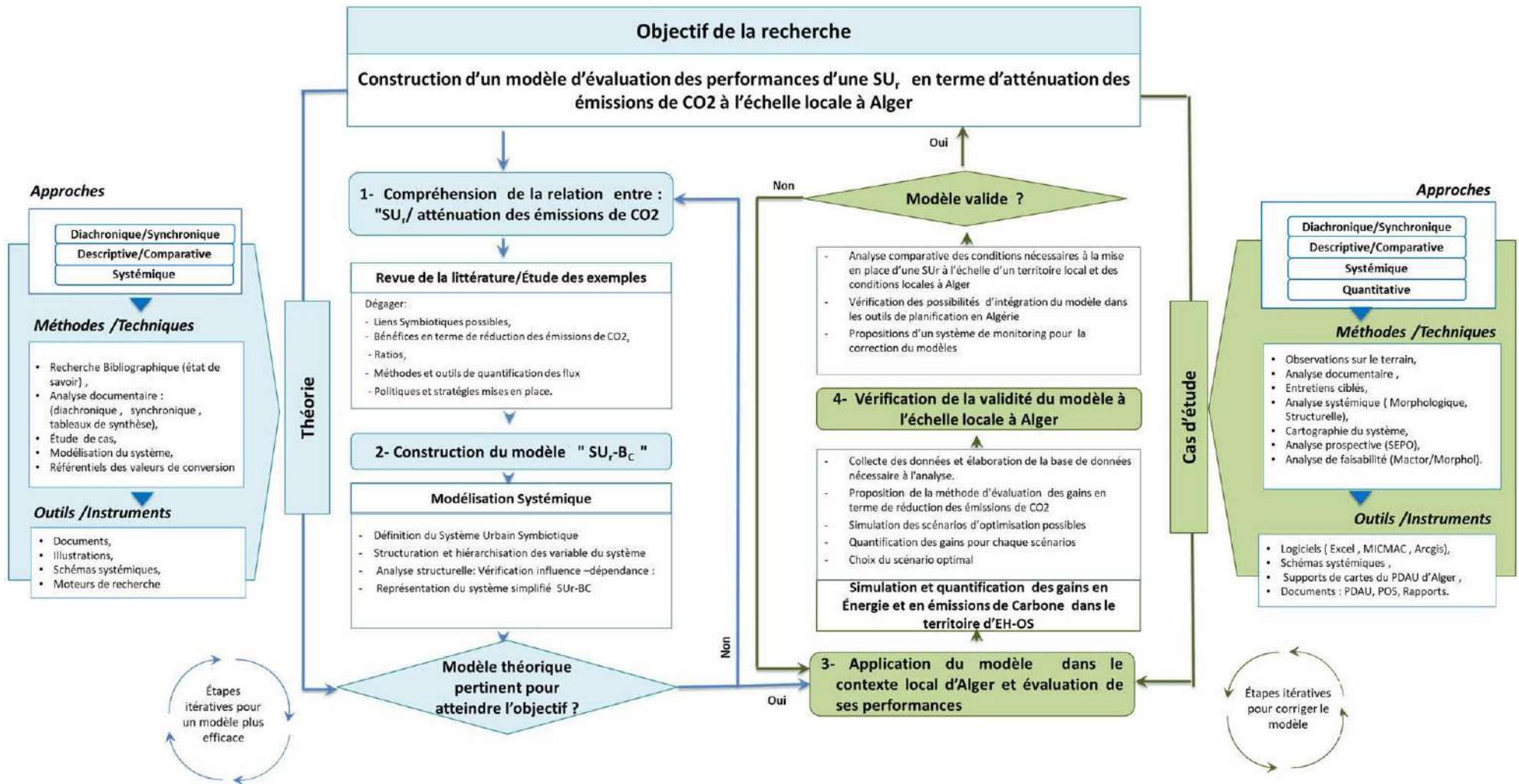


Figure 3 : Démarche méthodologique proposée selon l'objectif de la recherche (Réalisé par M.Chaker)

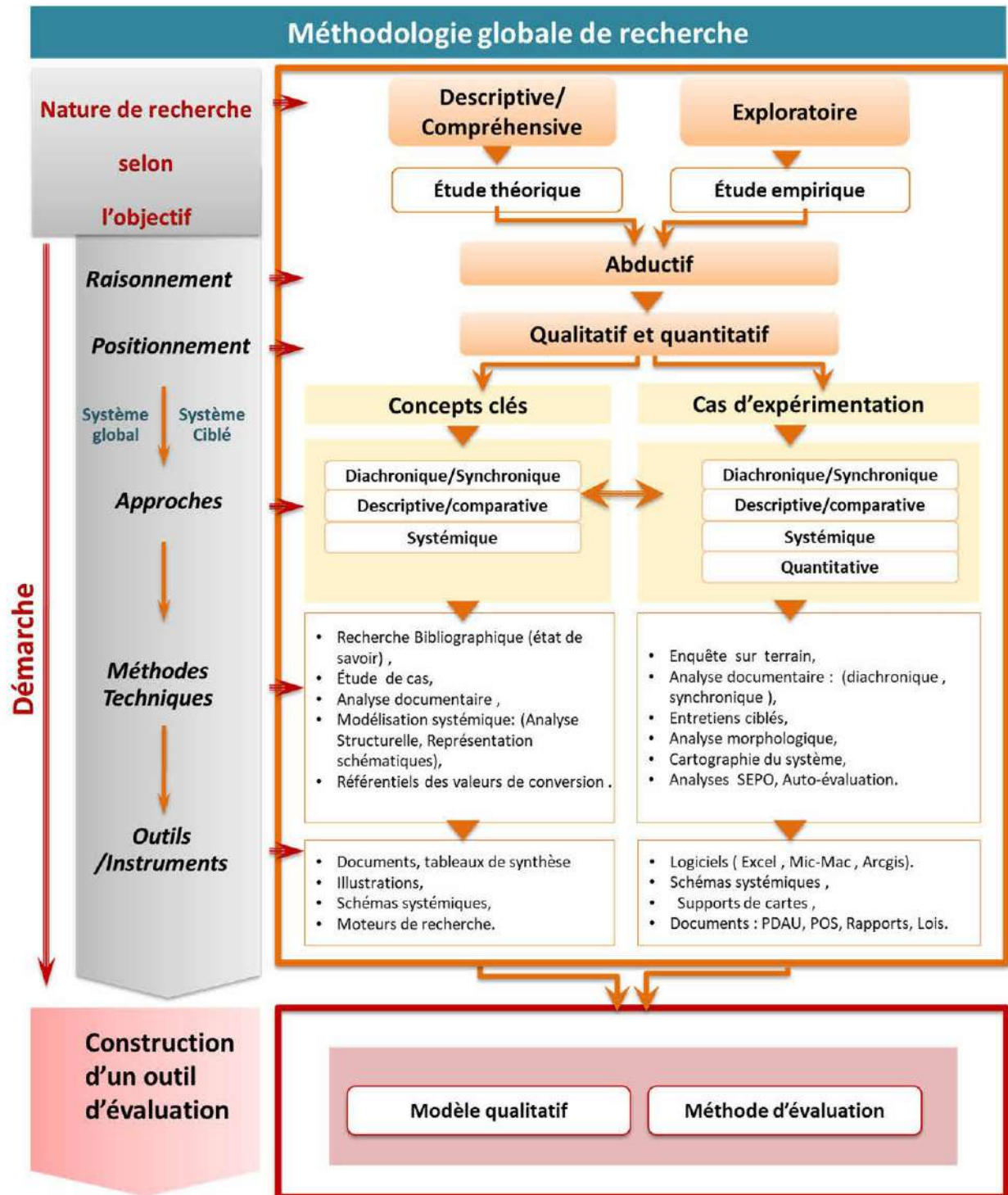


Figure 4 : Méthodologie de recherche adoptée (Réalisé par M.Chaker)

6. Structuration de la thèse

La thèse est structurée en deux parties, dont chacune comprend deux chapitres. **La première partie, théorique et méthodologique**, est consacrée à la compréhension des modalités permettant l'atténuation des effets du CC à l'échelle urbaine locale par la stratégie de SUr.

Dans le premier chapitre, la section 1.1 expose le danger du CC dans son contexte global et local et souligne l'importance de la contribution des villes à ces changements et des effets qu'elles pourraient subir en conséquence. Cette lecture relève la priorité accordée, dans la politique mondiale, à la stratégie d'atténuation pour la lutte contre le CC, notamment par la réduction des émissions de CO₂. L'accent est notamment mis sur le rôle que pourraient jouer les villes dans la mise en œuvre des stratégies et des politiques nationales et internationales. Nous avons enfin survolé la situation climatique en Algérie et les enjeux auxquelles elle est confrontée pour contribuer à l'effort global contre le CC, ce qui relève le manque d'outils stratégiques locaux permettant la mise en œuvre de la stratégie nationale d'atténuation du CC.

La section 1.2 passe en revue le cadre conceptuel, méthodologique et pratique du concept de SI/SU_r, retrace son évolution et l'évolution de la recherche dans son domaine. L'étude du concept de SUr a permis de relever les éléments clés le caractérisant et les principales méthodes de quantification des flux métaboliques. À travers l'étude des expériences internationales de projets symbiotiques portant sur différents flux, nous avons pu démontrer le potentiel considérable de cette stratégie en termes d'optimisation d'énergie et d'atténuation des émissions de CO₂. **Cela nous permet de valider la première partie de l'hypothèse (1) qui stipule que l'optimisation des différents flux métaboliques d'une ville par la stratégie de SUr contribue directement à améliorer son bilan carbone.**

Le deuxième chapitre propose la construction d'un modèle urbain symbiotique bas carbone "SU_r-BC". Pour ce faire, il présente dans **la section 2.1** le cadre méthodologique de la modélisation systémique en commençant par une présentation de l'approche systémique, ses concepts et ses principes théoriques généraux. L'accent sera mis par la suite sur la définition de la modélisation systémique et la description de ses règles générales, ses éléments clés, ses étapes et les principaux outils méthodologiques de son élaboration. Cette lecture fait ressortir les éléments et les outils de référence autour desquels se construit notre démarche de modélisation du système urbain symbiotique, entamée dans **la section 2.2** du chapitre 2. Cette section procède par la définition des éléments du système urbain symbiotique, puis l'analyse des liens entre eux et de leur effet sur l'atténuation des émissions de CO₂. Cette analyse fait ressortir les flux de déchets solides comme flux potentiels pertinents dans les liens symbiotiques, dont la valorisation permet d'atteindre l'objectif d'optimisation d'énergie et d'atténuation des émissions de CO₂. **Cela nous permet de justifier notre choix des flux de déchets pour la simulation du modèle dans le contexte d'Alger et valider la deuxième partie de l'hypothèse (1).** À partir de ces résultats, un modèle symbiotique performant simplifié basé sur un processus métabolique cyclique des flux déchets-énergies est conçu. La validité de ce modèle fera l'objet d'une vérification dans le territoire local d'EH-OS à Alger.

La deuxième partie, empirique et de vérification opérationnelle, porte sur la compréhension des modalités permettant l'application du modèle dans le contexte local d'Alger.

Le troisième chapitre vise la vérification des performances du modèle urbain symbiotique conçu au niveau du territoire d'EH-OS. Cette vérification passe par l'identification et la description du système territorial d'étude exposée dans **la 1^{ère} section**, par référence au modèle théorique. Dans cette section nous avons dégagé les principales activités du territoire d'EH-OS, déterminé leur répartition spatiale et relevé les orientations stratégiques prévues pour son évolution future dans le cadre du PDAU, ce qui nous a permis de passer à l'exploration du potentiel symbiotique de ce territoire, prévue dans **la 2^{ème} section**. Cette section procède en trois étapes en commençant (i) par l'inventaire des données nécessaires à l'évaluation, collectées à partir d'une enquête liée aux flux d'énergie et de déchets au niveau du système d'étude, puis (ii) la construction des scénarios symbiotiques d'optimisation les plus probables pour le système EH-OS en s'appuyant sur l'analyse morphologique et les méthodes AFM, ACV et EC . Enfin, (iii) la proposition d'une méthode d'évaluation quantitative des scénarios possibles afin d'estimer les gains en consommation d'énergie et en émissions de CO₂ pour chacune des options.

Les résultats de cette étude ont permis de mettre en évidence le potentiel symbiotique du territoire d'étude et d'identifier le scénario optimal qui pourra être traduit à l'échelle spatiale, en termes d'aménagement, par la proposition d'un Plan Local de Symbiose Urbaine Bas Carbone. **Et c'est ainsi que nous confirmons la première partie de l'hypothèse (2), liée à la simulation des possibilités d'atténuation offertes par le modèle et l'évaluation de leurs performances sur le territoire d'EH-OS.**

Le quatrième chapitre vise la vérification des possibilités d'intégration des résultats dans la planification urbaine locale à Alger. Pour ce faire, dans une **1^{ère} section** il passe en revue des conditions-cadres permettant la modification du système de planification et le développement des projets symbiotiques à l'échelle locale et la modélisation d'un système de planification optimal (théorique) capable de prendre en charge les projets "SU_r-BC" à l'échelle locale.

La 2^{ème} section porte sur l'analyse des conditions de planification urbaine à Alger puis l'évaluation, en comparaison avec le modèle (théorique), les capacités du système de planification en vigueur dans la prise en charge et le développement de la "SU_r-BC" du territoire intercommunal d'EH-OS. Les résultats de cette étude relèvent la nécessité d'une évolution de système de planification en Algérie et mettent en lumière les leviers d'action d'une politique nationale et locale, favorable à la mise en place et le développement des projets symbiotiques à l'échelle locale, **ce qui nous permet de vérifier la deuxième partie de l'Hypothèse (2).**

Première Partie :

Modalités d'atténuation du CC à l'échelle urbaine locale par la stratégie de Symbiose Urbaine : analyse et modélisation

Introduction de la Première partie

Avec la prise de conscience des réalités alarmantes sur le danger planétaire du CC et de ses impacts sur les ressources, l'environnement, l'économie et la sécurité des populations (GIEC, 2007 ; GIEC-GTI, 2013), un large consensus se dégage au sein de la communauté internationale sur la nécessité d'atténuer ses effets et de s'adapter à ses risques (GIEC-RS, 2014 ; CCNUCC, 2015). Cependant, si le problème est posé à l'échelle **globale** en termes de bilans et chiffres, l'action concrète contre le CC peut sembler lointaine et il n'est pas évident de convaincre les humains d'y agir (Lorrain, 2018).

Alors que si le danger du CC est posé du point de vue **"local"** en considérant, d'une part, les besoins énormes des villes en ressources naturelles lesquelles dépendent directement ou indirectement de combustibles fossiles ayant un impact sur le climat et, d'autre part, les nombreux risques auxquels sont exposées ces villes en l'absence de ces ressources, la connaissance du phénomène se précise puisqu'il est question **d'émissions et de ressources naturelles locales** (Lorrain et al., 2018). Les villes sont alors au cœur des évolutions climatiques : elles constituent, à la fois, les principaux contributeurs et les maillons les plus vulnérables. Elles offrent en même temps, toutes les potentialités pour mettre en place des stratégies au profit de l'atténuation de leurs effets (UN Habitat, 2011 ; Berezowska-Azzag, 2016a ; Lorrain, 2018). Dans cette perspective, les villes sont appelées à mettre en œuvre des solutions qui favorisent l'atténuation de leurs émissions de GES, mais aussi l'optimisation de leurs ressources naturelles locales (Velenturf & Jensen, 2016).

L'un des défis consiste à **boucler les flux** métaboliques urbains en valorisant les rejets comme ressources (Girardet, 2010). Dans cette visée, la stratégie de Symbiose Urbaine "SUR" pourrait apporter une contribution significative à une utilisation plus efficace des ressources et à une innovation accrue pour relever le défi de **résilience climatique** (H.Dong et al., 2014 ; Kusch, 2015 ; L. Dong et al., 2016).

Nous nous attachons dans cette partie à étudier les mécanismes permettant l'atténuation du CC par la stratégie de Symbiose Urbaine (SUR) à l'échelle locale. À travers le premier chapitre, nous allons d'abord appréhender le problème du CC dans son contexte global et local, pour ensuite présenter le cadre conceptuel de la stratégie de SUR et analyser ses performances en termes d'optimisation d'énergie et d'atténuation des émissions de CO₂. Dans le deuxième chapitre, nous nous arrêtons sur les méthodes de la modélisation systémique en vue de construire un modèle symbiotique urbain bas carbone "SU_r-BC" qui nous servira par la suite de référence dans l'évaluation du contexte local d'Alger.

Cette partie constitue une contribution à la compréhension du fonctionnement des Symbioses Urbaines et de leur intérêt dans l'élaboration de stratégies d'atténuation du CC à l'échelle locale.

Chapitre 1 : La stratégie de Symbiose Urbaine (SU_r) comme outil d'atténuation du Changement Climatique (CC) à l'échelle urbaine locale

Ce chapitre a pour objectif d'étudier les performances potentielles de la stratégie de SU_r en termes d'atténuation des effets du CC à l'échelle urbaine locale. Il s'attache dans une **première section (1.1)** à décrire le problème global du CC d'un point de vue local, en commençant par une présentation des changements observés dans le système climatique global ; nous nous arrêtons ensuite sur la manière dont les villes contribuent à ces changements, les effets qu'elles pourraient subir et le rôle qu'elle pourrait jouer dans la mise en œuvre des stratégies et politiques d'action pour y faire face ; pour enfin exposer la situation climatique et les actions mises en œuvre dans le contexte algérien.

Dans sa **deuxième section (2.1)**, ce chapitre passe en revue la littérature relative au concept de SU_r, des recherches académiques dans ce domaine et se termine par une analyse des expériences internationales de projets industriels et urbains symbiotiques ayant prouvé leur performance en termes d'atténuation des émissions de CO₂.

1.1. Le contexte global et local du CC : enjeux et perspectives

1.1.1 Le système climatique : changements observés et leurs causes

Le changement climatique (CC) est la « *variation de l'état du climat qu'on peut déceler (par exemple à l'aide de tests statistiques) par des modifications de la moyenne et/ou de la variabilité de ses propriétés et qui persiste pendant une longue période, généralement des décennies ou plus* » (GIEC-GTII, 2014, p.5). Ce changement s'est manifesté à l'échelle du globe par des phénomènes climatiques et météorologiques divers que nous allons présenter dans les paragraphes qui suivent.

1.1.1.1 Phénomènes climatiques et météorologiques observés

La **figure [1.1]** résume les principaux changements observés par le Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'évolution du Climat (GIEC), dont :

- **Hausse des températures moyennes de l'atmosphère et de l'océan**

C'est au travers de l'évolution des températures moyennes que les preuves du changement climatique sont les plus évidentes. La température moyenne mondiale (terre et océans) a augmenté de 0,85 °C entre 1880 et 2012 (GIEC-GTI, 2013 ; leclimatchange.fr) [**Figure 1.2**]. Selon le GIEC-GTI (2021), chacune des quatre dernières décennies a été successivement plus chaude que toutes les décennies précédentes depuis 1850. Entre 2011-2020, la température à la surface du globe était supérieure de 1,09 [0,95 à 1,20] °C à celle de 1850-1900 (GIEC-GTI, 2021). Par ailleurs, le réchauffement des océans représente le plus grand changement dans le contenu énergétique de la terre : les océans ont absorbé 90 % de l'énergie accumulée sur Terre entre 1971 et 2010. Le réchauffement le plus marquant a lieu en surface (75 premiers mètres) : +0,11 °C par décennies, entre 1971 et 2010, soit +0,44 °C en moins de 40 ans (leclimatchange.fr).

Ainsi, des changements concernant de nombreux phénomènes météorologiques et climatiques extrêmes ont été observés depuis environ 1950. Il a été relevé notamment (GIEC-GTI, 2013) :

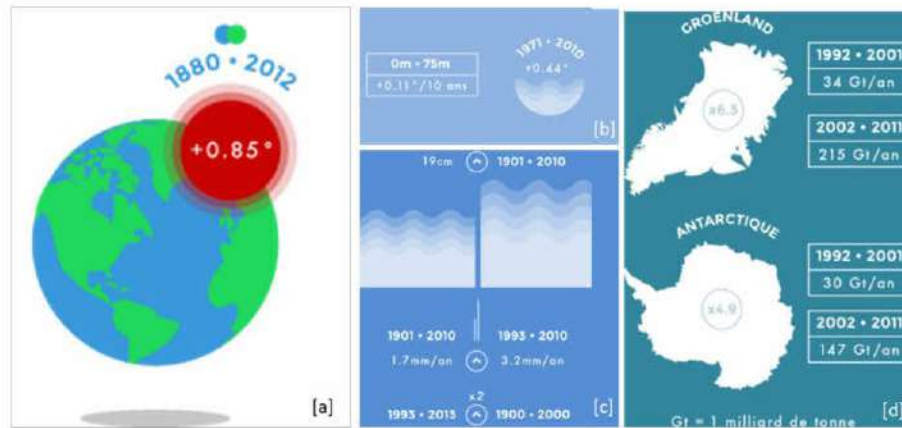
- Une diminution dans le nombre de journées et de nuits froides et une augmentation dans le nombre de journées et de nuits chaudes à l'échelle du globe ;
- Une augmentation de la fréquence des vagues de chaleur sur une grande partie de l'Europe, de l'Asie et de l'Australie ;
- Une augmentation du nombre d'épisodes de précipitations abondantes, plutôt que leur diminution, dans certaines régions continentales ;
- Une augmentation de la fréquence ou l'intensité des épisodes de fortes précipitations en Amérique du Nord et en Europe.

- **Fonte massive de la neige et de la glace**

Au cours des deux dernières décennies, la masse des nappes glaciaires du Groenland et de l'Antarctique a diminué, les glaciers de presque toutes les régions du globe ont continué à se réduire et l'étendue de la banquise arctique et celle du manteau neigeux de l'hémisphère Nord au printemps ont continué à diminuer (GIEC-GTI, 2013).

- **Élévation du niveau moyen de la mer**

Depuis le milieu du XIX^e siècle, le rythme d'élévation du niveau moyen des mers est supérieur au rythme moyen des deux derniers millénaires. Entre 1901 et 2010, le niveau moyen des mers à l'échelle du globe s'est élevé de 0,19 m [de 0,17 à 0,21 m] (GIEC-GTI, 2013).



[a] Hausse des températures moyennes de l'atmosphère et [b] de l'océan ; [c] élévation du niveau moyen de la mer ; [d] fonte des glaciers (Source : leclimatchange.fr)

Figure 1. 1 : Synthèse des changements observés dans le système climatique

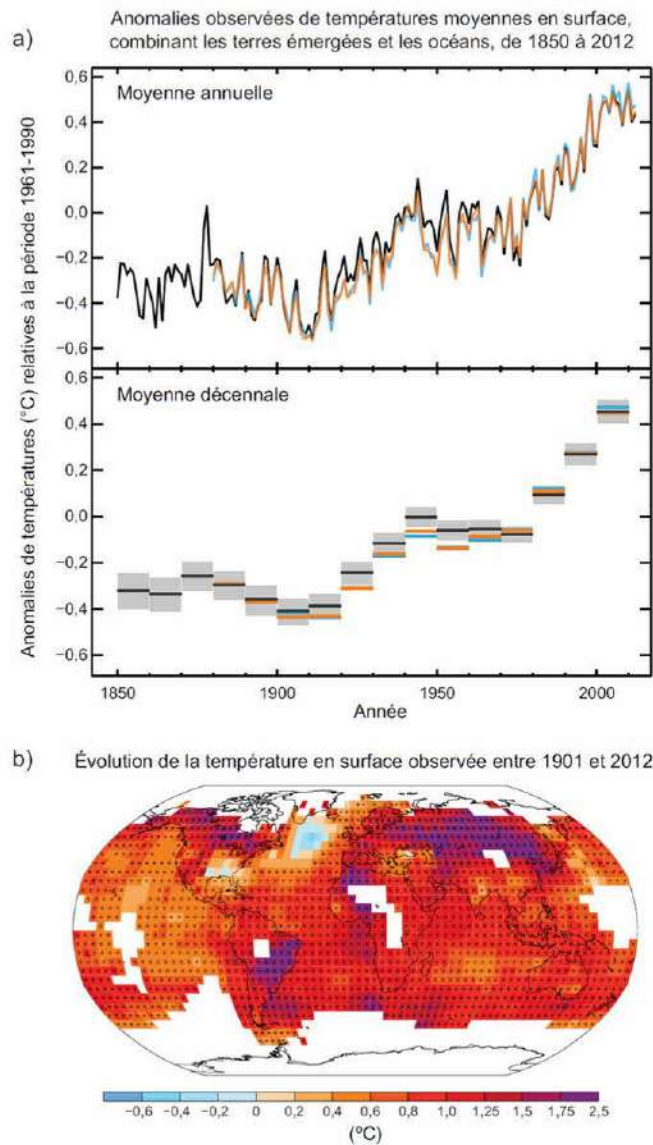


Figure 1. 2 : Évolution des températures moyennes de l'atmosphère et de l'océan
(Source : GIEC-GT I, 2013)

1.1.1.2 Principales causes du CC

Selon la CCNUCC (1992), les changements du climat sont attribuables à l'activité humaine¹². L'homme par ses activités est responsable de l'essentiel de l'élévation de la température moyenne du globe, une relation qui a été clairement établie dans le 4^e rapport du GIEC (2007), et dont l'explication a été enchaînée dans ses travaux (GIEC-GTI, 2013 ; GTII, 2014 ; GTIII, 2014 ; GIEC-SP, 2018 ; GTI, 2021 ; GTII, 2022)¹³. par rapport à des indicateurs et des facteurs déterminants, dont :

- **Hausse des concentrations des GES :**

L'élévation de la température moyenne, observée depuis le milieu du XX^e siècle, est due à la concentration de GES anthropiques, qui ont augmenté depuis l'époque préindustrielle, essentiellement en raison de la croissance économique et démographique (GIEC-RS, 2014). En effet, le développement industriel, depuis le XIX^e, s'est traduit par l'émission des gaz de dioxyde de carbone (CO₂), de méthane (CH₄) et de protoxyde d'azote (N₂O), rejetés dans l'atmosphère en quantités différentes¹⁴ [Figure 1.3].

- **Accumulation des émissions de CO₂ dans l'atmosphère :**

76 % de ces émissions, actuellement plus élevées que jamais, sont des émissions de CO₂, principal GES anthropique (GIEC-GTIII, 2014), dont la concentration a augmenté de 40 % depuis l'époque préindustrielle (GIEC-GT I, 2013). Cette augmentation s'explique principalement par rapport à deux facteurs [Figure 1.4] :

- En premier lieu, l'utilisation de combustibles fossiles pour l'approvisionnement et la production d'énergie nécessaire aux activités humaines de production et de consommation (GIEC-GTIII, 2014 ; UN-HABITAT, 2011).
- En second lieu, par les émissions dues à la déforestation, aux changements d'utilisation des sols, la combustion de la biomasse (feux de forêt et brûlage agricole), qui sont à l'origine de la dégradation des forêts et des terres autrefois couvertes de végétation et en conséquence de la réduction de leur potentiel d'absorption de CO₂ (GIEC-GTIII, 2014 ; UN-HABITAT, 2011). Cela fait que 30 % des émissions de CO₂ sont absorbées par l'océan, ce qui a entraîné l'acidification de ses eaux et la réduction de sa capacité d'absorption (GIEC-GT I, 2013 ; GIEC-RS, 2014).

En somme, l'accumulation des émissions de dioxyde de carbone dans l'atmosphère, associée à la réduction de la capacité des océans et de la végétation à les absorber ayant amoindri la capacité naturelle de la Terre à restaurer l'équilibre du cycle du carbone, ce qui explique directement les

¹² Dans son article premier relatif à la définition du CC.

¹³ Il convient de mentionner ici que depuis le cinquième rapport du GIEC **publié entre 2013 et 2014 (en plusieurs parties)**, un rapport spécial a été publié par le GIEC en 2018 et que **le sixième rapport** vient d'être publié par le GIEC en deux parties la 1^{ère} en août 2021 et la 2^{ème} en février 2022 (<https://www.ipcc.ch/reports/>). Ces derniers confirment la majorité des constats déjà établis précédemment, en alertant sur l'accélération inquiétante des phénomènes catastrophiques.

¹⁴ En 2010, les émissions totales de GES ont atteint 49 milliards de tonnes équivalent CO₂, constituées de : 76 % de dioxyde de carbone, 16 % de méthane (CH₄), 6,2 % de protoxyde d'azote (N₂O), 2 % de gaz fluorés.

changements que l'on constate actuellement partout dans le monde au niveau des températures moyennes (UN-HABITAT, 2011 ; GIEC, 2015).

Aujourd'hui, toute une série d'activités humaines, contribuant directement à l'utilisation d'énergie et aux émissions de CO₂, est associée aux villes et à leur fonctionnement (UN-HABITAT, 2011) où la proportion des émissions de CO₂ générées se situe entre 71 et 76 %, due à une consommation d'énergie qui atteint les 67 à 76 % de l'énergie totale (GIEC-GTIII, 2014). Or, c'est dans les villes que les effets du CC seront le plus ressentis dans l'avenir, du fait de la concentration des enjeux (Berezowska-Azzag, 2016a).

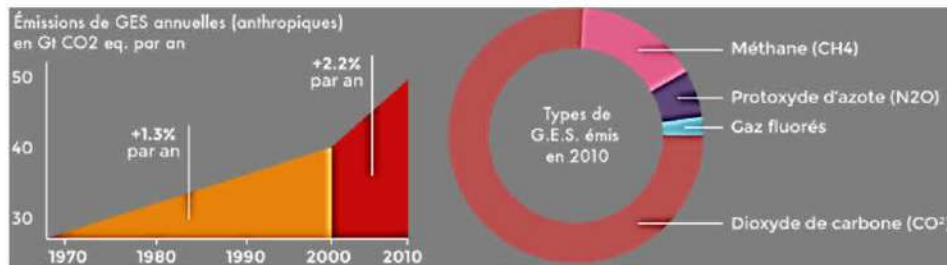


Figure 1. 3 : Répartition des GES par type (<https://leclimatchange.fr/>)

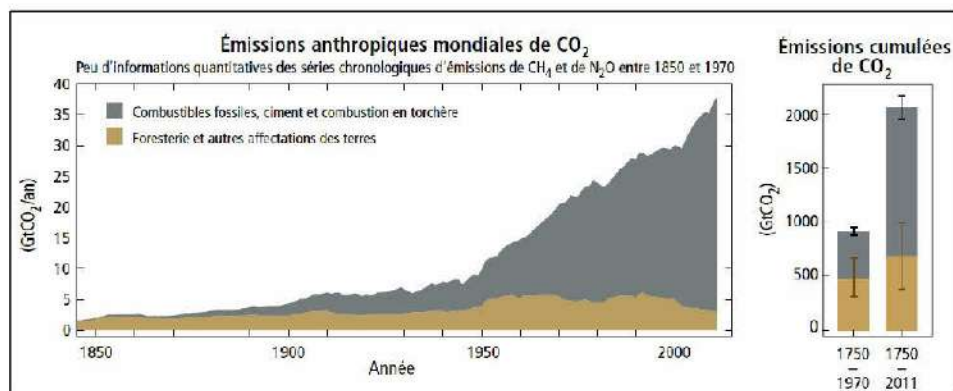


Figure 1. 4 : Origine des émissions de CO₂ cumulées dans l'atmosphère (GIEC-RS, 2014)

Pour comprendre l'importance des villes dans les évolutions climatiques, il est essentiel à plusieurs titres d'étudier l'influence mutuelle des zones urbaines et du CC.

1.1.2 Développement des villes et CC

Depuis la publication du quatrième rapport du GIEC (2007), il y a eu une reconnaissance croissante de l'importance et le rôle des villes dans le CC (GIEC-GTIII, 2014 ; GIEC-SP, 2018 ; GIEC-GTI-2021, GIEC-GTII, 2022). En fait, c'est un grand changement, car au départ les villes n'étaient pas prises en considération. Le débat international, emmené par les climatologues et le GIEC, s'est concentré sur le réchauffement climatique en termes de bilans et chiffres. Avec une telle entrée, l'action concrète peut sembler lointaine et il n'est pas évident de convaincre les humains pour agir contre le CC (Lorrain, 2018).

Par ailleurs, en posant le problème du point de vue **local** et en considérant le **fonctionnement métabolique des villes** et ses effets directs ou indirects sur le CC dont les impacts se répercuteront sur les villes elles-mêmes, le phénomène sera plus visible et concret et les solutions se trouvent aussi locales, encrées dans les territoires (Lorrain et al., 2018).

1.1.2.1 Contribution des villes au CC

Les centres urbains ont principalement deux types d'effets sur le CC : les effets liés au fonctionnement des activités urbaines, et les effets liés à leur dynamique évolutive d'urbanisation.

- **Contribution des activités urbaines au CC**

Pour répondre aux besoins des sociétés urbaines actuelles (en produits, biens et services finaux de consommation), les activités urbaines induisent un fonctionnement linéaire du cycle métabolique urbain avec des prélèvements énormes en ressources naturelles, et par conséquent des rejets dans l'environnement. En effet, ce fonctionnement est largement dépendant de **l'utilisation de l'énergie globale**, qui comprend : d'une part, l'énergie utilisée pour l'approvisionnement en eau (pompage d'eau), la production de la nourriture, des biens et produits de consommation, la production de l'électricité (pour l'éclairage, les appareils électriques, la climatisation...) ou de combustibles (pour le chauffage, la préparation des repas, le transport...); et d'autre part, le traitement des déchets solides et des eaux usées (UN-HABITAT, 2011) [Figure 1.5].

Les émissions massives de CO₂, induites en conséquence, sont principalement dues à l'utilisation de sources fossiles, et cela durant l'ensemble du cycle de vie du flux d'énergie. Cela comprend le **prélèvement** des ressources énergétiques primaires (pétrole, gaz et charbon), leur **transformation** (en électricité, gaz, charbon, carburant) puis leur **consommation finale** dans les zones urbaines par différentes activités : résidentielles, commerciales, de transport, industrielles, agricoles ainsi que dans le traitement des déchets (GIEC-GTIII, 2014 ; UN-HABITAT, 2011).

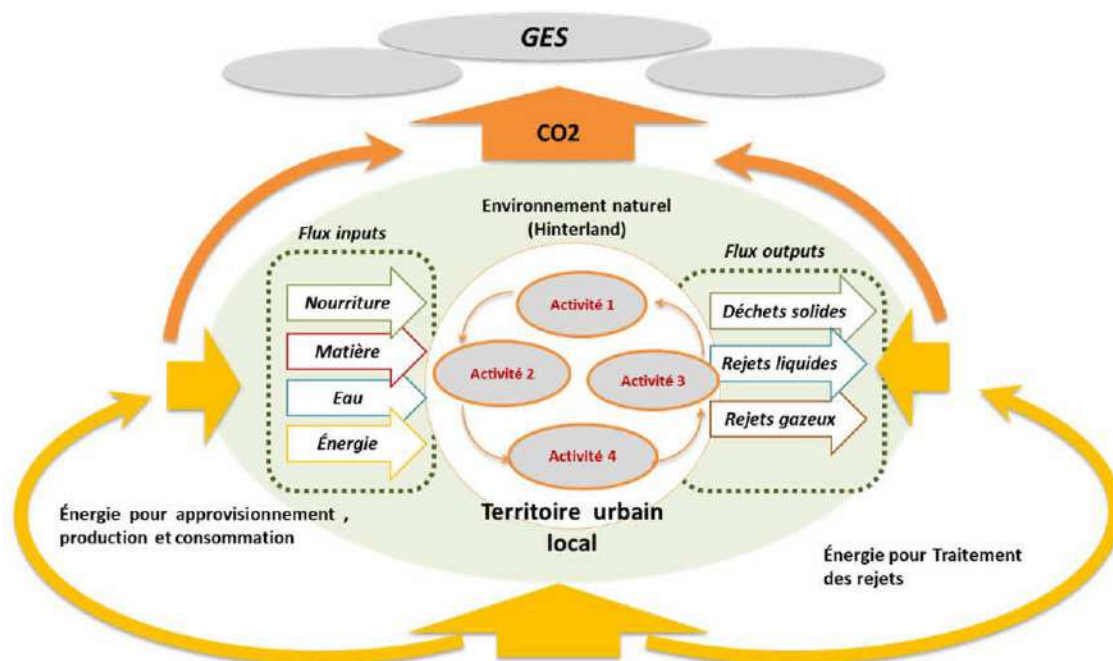


Figure 1. 5. Influence du fonctionnement des activités urbaines sur les émissions de GES (Chaker, 2021)

Si on attribue les émissions liées à l'utilisation d'énergie aux activités qui la consomment en fin de cycle, la responsabilité des activités urbaines sera comme suit [figure 1.6 ; 1.7] :

L'industrie : les activités industrielles permettent de produire tous les produits et biens de consommation (par exemple, les voitures, les équipements agricoles, les engrais, les textiles, etc.). À l'échelle internationale, ces activités sont responsables de la consommation de 28 % d'énergie et l'émission de 31 % des émissions totales de GES¹⁵. Ces émissions proviennent essentiellement de l'extraction et la transformation de la matière première organique et inorganique, c'est-à-dire de la conversion des ressources naturelles (minerais, pétrole, biomasse)¹⁶ en produits dans les secteurs de la fabrication et de la construction (GIEC-GT III, 2014).

L'agriculture : au niveau mondial, 24 % des émissions de GES sont dues aux activités en lien avec l'agriculture et l'économie forestière (GIEC-GTIII, 2014).

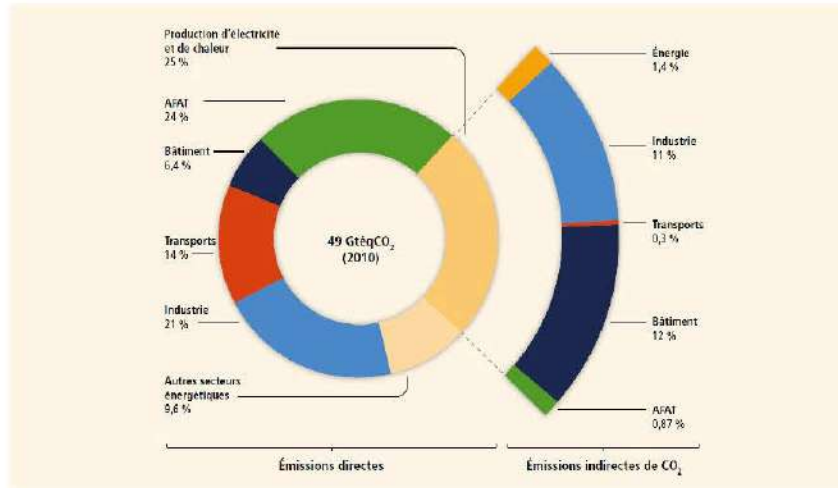
Le Bâtiment englobe les activités résidentielles, commerciales, de services et d'équipements publics. L'énergie consommée par ces activités est étroitement liée aux besoins en éclairage, appareils électroménagers, chauffage, climatisation, préparation des repas, eau chaude, etc. [Figure 1.6]. Cette énergie représente 32 % de la consommation totale en énergie et elle est responsable de l'émission de 19 % des émissions de GES mondiales [Figure 1.8] (GIEC-GTIII, 2014).

Le transport : les zones urbaines dépendent énormément de toute sorte d'activités de transport pour les mouvements internes et externes des personnes et des marchandises (UN-HABITAT, 2011). Cette activité est responsable de l'émission d'environ 23 % des émissions totales de CO₂ liées à l'énergie et de 14 % des émissions totales de GES, principalement dues aux véhicules routiers¹⁷. Sa consommation d'énergie a atteint les 28 % de l'énergie totale, dont 40 % sont consommés dans le transport urbain (IEA, 2013 ; GIEC-GTIII, 2014).

¹⁵ Ces émissions sont actuellement supérieures aux émissions provenant du bâtiment ou des transports (GIEC-GTIII, 2014)

¹⁶ De nombreuses activités industrielles consomment énormément d'énergie, notamment la production de fer et d'acier, de minéraux non métalliques (principalement du ciment), de métaux non ferreux (en particulier l'aluminium), de produits chimiques, plastiques, et d'engrais, le raffinage du pétrole, la production de ciment et la production de pâte à papier et de papier, la transformation des aliments et les textiles (GIEC-GT III, 2014 ; UN-HABITAT, 2011).

¹⁷ 80 % de l'augmentation des émissions de GES issues des transports sont dues aux véhicules routiers (GIEC-GT III, 2014).



L'arc agrandi sur la droite indique la répartition des émissions indirectes de CO2 découlant de la production d'électricité et de chaleur entre les activités qui consomment l'énergie finale (GIEC-GT III, 2014).

Figure 1. 6 : Répartition des émissions entre activités productrices et consommatrices d'Énergie (Source : GIEC-GTIII, 2014).

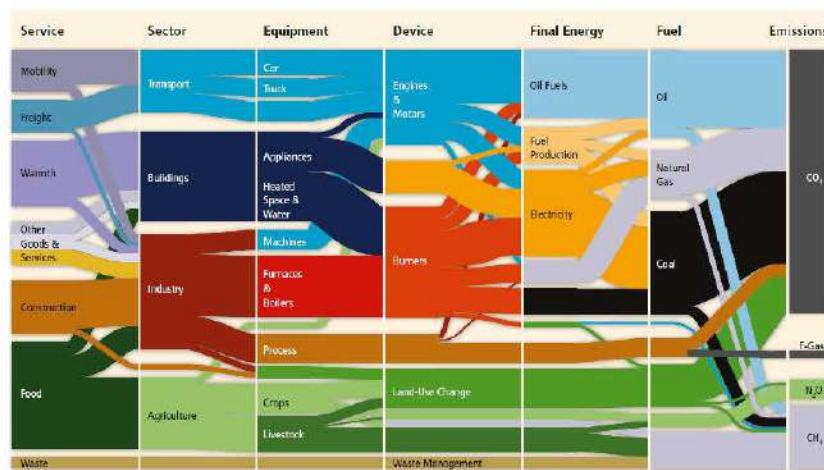


Figure 1. 7 : Les émissions de GES mondiales issues de l'utilisation du flux d'Énergie nécessaire aux différentes activités (Source : GIEC-GTIII, 2014)

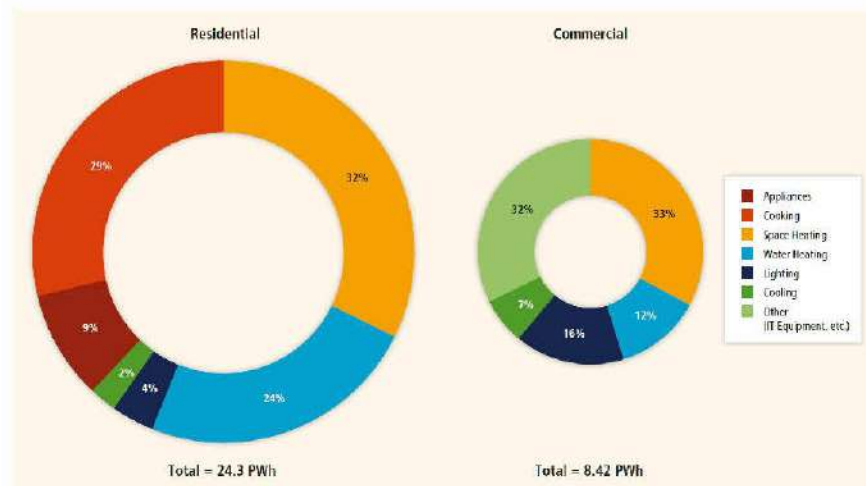


Figure 1. 8 : Consommation d'énergie dans le bâtiment selon le type d'usage (GIEC-GTII, 2014)

- **Dynamique urbaine et évolutions climatiques**

L'urbanisation des villes est une tendance mondiale à laquelle est associée une croissance de la population et de l'activité urbaine, et donc une croissance de la consommation d'énergie et des émissions de CO₂ (GIEC-GTIII, 2014) :

Tout d'abord la pression démographique : selon la Banque Mondiale (2021)¹⁸, la population vivant en zones urbaines a atteint en 2020 les 56 % de la population mondiale et les prévisions à la hausse sont maintenues pour les décennies à venir (Lorrain et al., 2018). Selon le *World's Urbanization Prospects 2018*, environ 70 % de la population mondiale sera urbaine à l'horizon 2050 (UN-DESA, 2019).

Un tel rythme d'accroissement est à l'origine de l'expansion des métropoles, l'émergence de nouvelles, moyennes et petites villes suscitant divers nouveaux besoins (en nourriture, logement, bien de consommation, sol agricole et urbain, etc.) et donc l'émergence de différents types d'activités urbaines, qui exerceront une pression sur les ressources naturelles et des impacts massifs sur l'émission des GES (Lorrain et al., 2018 ; UN-HABITAT, 2011).

La croissance économique : l'urbanisation a favorisé la croissance des économies nationales. En moyenne, environ 75 % de la production économique mondiale se déroule dans les villes, et dans les pays en développement, cette part augmente rapidement (Suzuki et al., 2010). En revanche, ces zones urbaines sont devenues des centres de richesse et de consommation. Par ailleurs, le mode de vie de leurs populations étroitement lié à la consommation et aux transports génère une empreinte carbone considérable (UN-HABITAT, 2011).

En somme, les croissances économique et démographique continuent d'être les moteurs les plus importants de l'augmentation de la consommation d'énergie et des émissions de CO₂ connexes. Ces dernières pourraient doubler, voire tripler, d'ici le milieu du siècle en raison de plusieurs tendances clés : la migration vers les villes, l'évolution de la taille des ménages, l'augmentation des niveaux de richesse, l'amélioration de l'accès à des services énergétiques modernes et à un habitat décent, les changements de mode de vie dans le monde entier (GIEC-GTIII, 2014).

Si ces émissions se poursuivent, elles provoqueront un réchauffement supplémentaire et une modification durable de toutes les composantes du système climatique (GIEC-RS, 2014). Selon les scientifiques, un dépassement de 2°C par rapport aux niveaux préindustriels risque de conduire à des phénomènes en chaîne incontrôlables, ce qui augmentera la probabilité de conséquences graves, généralisées et irréversibles pour les populations et les écosystèmes [**Figure. 1.9**] (GIEC-RS, 2014 ; Lorrain, 2018).

Dans ce contexte, il convient d'attirer l'attention sur les responsabilités en termes d'émissions qui ne sont pas du tout réparties de façon homogène entre les villes des pays développés et moins développés. Une partie considérable des populations urbaines des pays les moins développés et des pays à faibles revenus génèrent de très faibles niveaux de GES compte tenu de leur utilisation limitée de combustibles fossiles et d'électricité et de leur consommation modérée de biens et de services. Selon UN-HABITAT (2011), les 82 % de la population vivant dans les pays en voie de

¹⁸ [https:// donnees.banquemondiale.org](https://donnees.banquemondiale.org)

développement génèrent 53 % des émissions mondiales de CO₂, alors que les 18 % qui vivent dans les pays développés sont responsables de 47 % des émissions (UN-HABITAT, 2011).

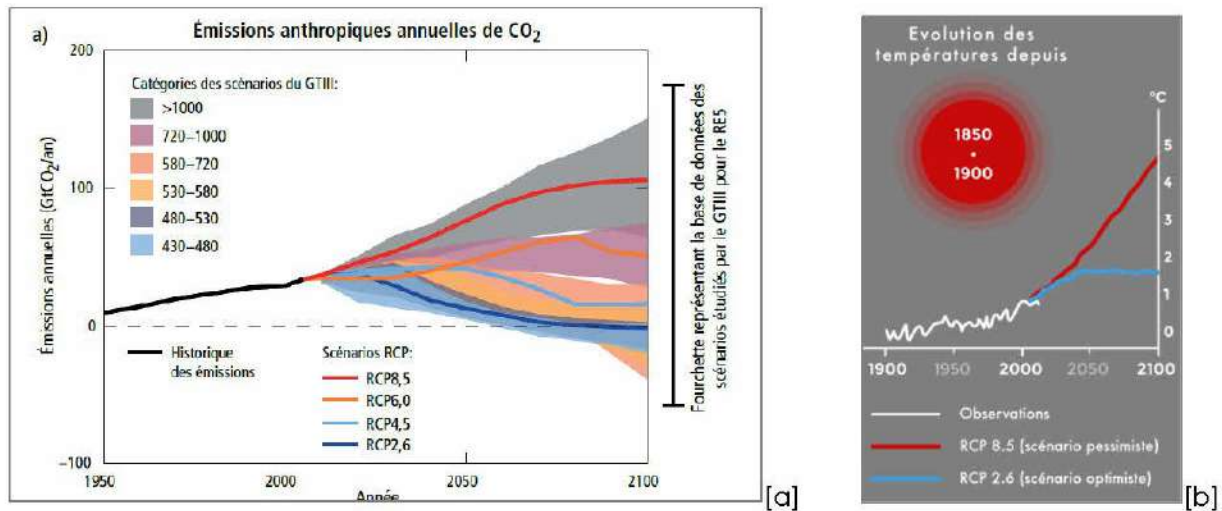


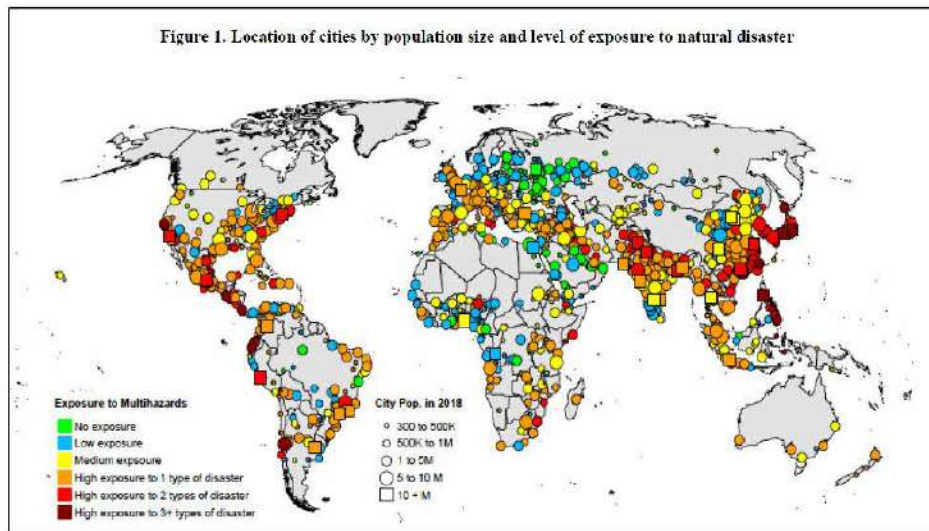
Figure 1. 9 : Évolutions futures des émissions de CO₂ et des températures selon les prévisions du GIEC (Sources : [a] GIEC-RS, 2014 ; [b] leclimatchange.fr/)

Cependant, partout où les zones urbaines croissent rapidement sans jamais tenir compte de la pression actuelle et à venir, ce développement fait peser sur le changement climatique et de très nombreuses populations pourraient se trouver dans une position extrêmement vulnérable face à de nombreux risques de perturbation et de dégradation (UN Habitat, 2011).

1.1.2.2 Menaces du CC et leurs implications sur les villes

Du fait de leur rapide progression, les menaces du CC vont s'intensifier avec des implications profondes sur les villes [Figure 1.10]. Ces menaces ne se limitent pas aux seuls phénomènes physiques immédiatement observés (comme la montée du niveau des eaux ou les phénomènes climatiques extrêmes), mais plutôt aux risques de catastrophes naturelles qui s'en suivent et qui deviennent de plus en plus fréquents et violents, notamment (UN Habitat, 2011) :

- **Les inondations**, qui font partie des catastrophes naturelles les plus coûteuses et les plus destructrices, or leur fréquence et leur gravité ne cessent d'augmenter dans de nombreuses régions du globe sous l'effet de l'intensification des précipitations ;
- **La sécheresse** : aujourd'hui, 1 % des terres émergées sont frappées par des conditions de sécheresse extrêmes. D'ici à 2100, ce chiffre pourrait passer à 30 % ;
- **L'intensification du phénomène d'îlot thermique urbain** : ce phénomène peut entraîner une augmentation de 1-3 °C de la température de l'air par rapport aux zones entourant la ville, ce qui rend les vagues de chaleur plus intenses dans les villes ;
- **Les phénomènes d'érosion littorale et d'intrusion saline**, qui pourraient détruire de nombreuses constructions et rendre certaines régions inhabitables ;
- **La subsidence ou affaissement de la surface de la croûte terrestre**, un phénomène dont l'évolution semble lente, mais sa progression pourrait atteindre jusqu'à 1 m tous les dix ans.



Les menaces illustrées correspondent aux risques : d'inondations, de sécheresses, de glissements de terrains et de cyclones.

Figure 1. 10 : Localisation des villes par taille et niveau d'exposition aux risques climatiques
(Source : UN-DESA, 2019)

Ces phénomènes ont des implications directes sur la structure physique des villes et leurs activités, dont dégradation des bâtiments, destruction des infrastructures et des réseaux divers (routiers, d'assainissement, d'approvisionnement en eau et en énergie, de transport), ce qui affecte les moyens de subsistance de la vie urbaine (UN Habitat, 2011). En conséquence, les villes pourraient se retrouver dans la difficulté à assurer les services de base les plus fondamentaux de leurs habitants, notamment liés à l'approvisionnement en ressources naturelles.

La demande en énergie pourrait augmenter sous les effets cumulés de l'accroissement de la population urbaine, du changement des conditions météorologiques locales, du phénomène d'îlot thermique urbain et de la croissance économique. Alors que sa production et sa distribution pourraient être paralysées par de nombreuses dégradations et interférences causées par la multiplication et l'intensification des tempêtes et des inondations (UN Habitat, 2011).

La demande en eau dans les villes devrait également augmenter sous l'effet de la hausse des températures, de la multiplication des vagues de chaleur intense et de l'accroissement de la population. En revanche, sa disponibilité, son traitement et sa distribution pourraient également être affectés sous l'effet combiné de l'augmentation des températures, du dérèglement des précipitations, de la raréfaction des cours d'eau, de l'abaissement des niveaux phréatiques, et dans les régions côtières, de l'intrusion saline dans les rivières et les nappes phréatiques. Ce qui augmente le stress hydrique des villes (Ibid.).

Ces implications sont encore plus importantes dans les pays en voie de développement, et ce sont les pays qui ne se trouvent pas dotés en ressources naturelles, qui se trouvent les plus exposés aux nombreux risques (UN Habitat, 2011 ; Lorrain, 2018) qui menacent la vie de leurs populations et leurs sécurités alimentaires (GIEC-RS, 2014). Les économies locales pourraient en être bouleversées et les populations pourraient se voir déposséder de leurs biens et de leurs moyens de subsistance, ce qui pourrait entraîner des mouvements migratoires massifs (UN Habitat, 2011).

Cependant, malgré tous les risques du CC, les villes offrent également de nombreuses opportunités pour concevoir, face à ces risques, des stratégies pour y faire face (UN Habitat, 2011).

1.1.2.3 Place des villes dans les stratégies d'action contre le CC

Depuis l'adoption par la communauté internationale de la Convention Cadre des Nations Unies pour les Changements Climatiques (CCNUCC) en 1992¹⁹, ainsi que de l'accord de Paris lors de la COP21 en 2015, il y a eu une mobilisation croissante pour la lutte contre le CC, et cela à tous les niveaux d'action nationaux, régionaux et locaux. Dans ce cadre, les villes ont une place et un rôle important à jouer dans la mise en œuvre des stratégies, des politiques et des actions en faveur du climat.

- **Principales stratégies**

Deux stratégies qui font l'objet d'un large consensus se dégagent au sein de la communauté internationale pour faire face au danger du CC, l'adaptation et l'atténuation (GIEC-RS, 2014) :

L'adaptation : « est la démarche d'ajustement au climat actuel ou attendu, ainsi qu'à ses conséquences de manière à en réduire ou à en éviter les effets préjudiciables et à en exploiter les effets bénéfiques » (GIEC-RS, 2014, p.84).

L'atténuation : « est la démarche consistant à réduire les émissions de GES ou à renforcer l'absorption de ces gaz par des puits afin de limiter le changement climatique à venir » (Ibid., p. p.84).

Selon le GIEC, ces deux stratégies complémentaires permettent de réduire et de maîtriser les risques liés aux changements climatiques : « en limitant fortement les émissions au cours des prochaines décennies, on pourrait réduire les risques climatiques au XXI^e siècle et au-delà, améliorer les perspectives d'adaptation et privilégier des profils d'évolution favorisant la résilience face au changement climatique dans l'optique du développement durable » (Ibid., p.84).

- **Politiques et actions clés**

L'atténuation comme stratégie prioritaire pour faire face au CC suppose la réduction des émissions de GES. On lui accorde la priorité absolue dans l'agenda de la politique mondiale de lutte contre le CC (CCNUCC, 2015). Cette priorité se traduit dans les accords et engagements internationaux, principalement avec :

- **La CCNUCC**, qui vise fondamentalement à stabiliser les concentrations de GES à un niveau qui empêcherait toute interférence de l'homme sur le système climatique. Cet objectif de réduction des émissions s'articule autour de normes explicites et implicites, aujourd'hui devenues fondamentales dans le régime climatique international : dont figurent le principe de "responsabilités communes, mais différenciées et de capacités respectives" et le "principe de précaution" selon lequel les pays sont tenus d'anticiper, de prévenir ou de minimiser les causes du changement climatique et d'en atténuer les effets négatifs (UN-HABITAT, 2011 ; CCNUCC, 1992).
- **Le protocole de Kyoto**, entré en vigueur le 16 février 2005, engage les pays développés à réduire leurs émissions globales de GES d'au moins 5 % par rapport aux niveaux de 1990, sur la période s'étalant entre 2008 et 2012 (UN-HABITAT, 2011).

¹⁹ Adopté au cours du Sommet de la Terre de Rio de Janeiro.

- **L'Accord de Paris** conclu en décembre 2015, s'engage à contenir le réchauffement climatique en dessous de 2 °C et de poursuivre l'effort pour limiter l'élévation de température à 1,5 °C par rapport à la période préindustrielle, à l'horizon 2050 (Berezowska-Azzag, 2016a ; unfccc.int, 2021).

La réduction des émissions de CO₂ est un élément clé d'atténuation. La relation entre les concentrations des émissions de CO₂ (principal GES) et l'augmentation observée de la température moyenne mondiale a été clairement établie dans les rapports du GIEC (2007 ; GTI, 2013 ; GTII, 2014 ; GTI, 2021). En effet, la croissance toujours plus rapide des émissions de carbone dans l'atmosphère constitue la plus grande perturbation anthropique du système climatique de la Terre. C'est pourquoi l'atténuation du réchauffement climatique par la réduction des émissions de carbone se trouve en tête des priorités dans les stratégies d'ingénierie climatique (Cusack et al., 2014 ; Fang & Heijungs, 2015). Le défi d'atténuation consiste donc, à réduire les émissions de CO₂ liées à l'utilisation de l'énergie fossile.

- **Mécanismes et niveaux stratégiques d'action**

Les réponses aux défis posés par le CC surviennent dans un cadre international qui modèle toutes les actions et décisions liées au changement climatique. Ce cadre est constitué par l'ensemble des accords internationaux négociés par les gouvernements, mais aussi des mécanismes, des instruments et des acteurs qui régissent et inspirent les actions à différentes échelles nationales, régionales et locales (UN-HABITAT, 2011).

À l'échelle internationale, le principal cadre institutionnalisé orienté sur le traitement du CC est la CCNUCC, avec une participation quasiment universelle des pays (leclimatchange.fr). La mise en œuvre effective des objectifs et des principes de cette convention est promue à l'aide des Conférences des Parties COP, organe de décision suprême de la Convention, qui prend la forme d'une suite de conférences organisées chaque année depuis la COP1 de Berlin en 1995 à la COP26 de Glasgow en 2021. Les parties sont tenues de réaliser un inventaire régulier de leurs émissions de GES en se basant sur l'année 1990 comme année de référence. Sur la base de ces inventaires, la COP évalue les effets des mesures prises par les Parties et les progrès accomplis dans la réalisation de l'objectif ultime de la Convention (unfccc.int, 2021 ; UN-HABITAT, 2011). Les principales décisions de la COP se sont finalement traduites par des engagements, formellement contraignants, notamment avec le protocole de Kyoto (COP 3) et l'accord de Paris (COP 21) (UN-HABITAT, 2011 ; CCNUCC, 2015).

À l'échelle nationale des pays, « ce sont les gouvernements nationaux qui ont avant tout la responsabilité de signer les accords internationaux, de réduire les émissions de GES et de réagir en cas de catastrophes climatiques » (UN-HABITAT, 2011, p.9). Malgré le fait que certains pays, comme les États-Unis et la Chine, soutiennent très peu les politiques climatiques internationales, ils ont néanmoins établi des politiques nationales relativement fortes sur la question. D'autres pays, comme le Royaume-Uni et l'Allemagne, sont d'ardents partisans des politiques internationales liées au climat et ont à leur actif toute une série de propositions en vue de réduire les émissions sur le long terme (UN-HABITAT, 2011).

À l'échelle locale, les villes figurent parmi les nombreuses parties prenantes sur les questions du CC qui sont en train de devenir des moteurs de changement (Lorrain, 2018), leur rôle est déterminant dans la mise en œuvre et l'accomplissement des engagements pris dans le contexte

international (UN-HABITAT, 2011). Ce rôle s'est progressivement affirmé depuis la conférence des Nations unies à Rio en 1992 et les premières initiatives en faveur du développement urbain durable comme les Agendas 21 (Lorrain et al., 2018)

- **Importance et rôle des villes dans l'action climatique**

Les villes émergent comme une échelle privilégiée pour repenser les relations entre économie, social et environnement. Elles constituent un moteur de la croissance économique mondiale, et à ce titre, un formidable espace de concentration de ressources et de capacités d'innovation. Son échelle d'intervention est de plus en plus considérée comme stratégique pour l'expérimentation et l'innovation de modèles et de stratégies multi-acteurs, multiniveaux et multisectorielles. Dans ce contexte, Lorrain et al. (2018) considèrent la ville comme un acteur clé de la scène internationale.

Le rôle des autorités locales est déterminant dans l'accomplissement des engagements internationaux et la mise en œuvre de solutions locales d'atténuation ou d'adaptation. Elles ont un intérêt à agir au profit de la durabilité et la résilience de leurs villes. Ainsi par exemple, selon Lorrain (2018), les villes de Vancouver, Copenhague, Singapour ou encore Stockholm comptent parmi les exemples à suivre. Cependant, les autorités locales seront incapables d'agir sans le soutien des gouvernements nationaux, notamment sur le plan législatif, financier et institutionnel (UN-HABITAT, 2011).

À ce titre, il convient de noter le retard des pays en développement sur ces sujets par rapport aux pays développés qui sont aujourd'hui de plus en plus nombreux à concevoir des programmes d'action nationaux et locaux en réponse au CC (UN-HABITAT, 2011 ; UN-HABITAT, 2015).

Dans ce cadre, notre intérêt se focalise particulièrement sur notre pays l'Algérie afin de comprendre la situation et le défi auquel il est confronté pour face à ce problème mondial.

1.1.3 Les enjeux climatiques dans le contexte algérien

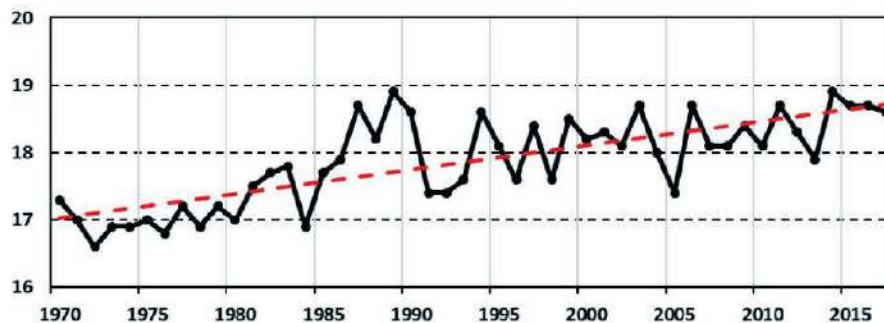
Bien que sa contribution historique en matière d'accumulation des GES soit limitée, l'Algérie est particulièrement vulnérable aux effets multiples du CC, qui menacent de compromettre son développement économique et social (CPDN-Algérie, 2015).

1.1.3.1 Menaces du CC en Algérie

L'analyse de l'évolution climatique récente montre que les effets du Changement Climatique sont désormais perceptibles dans la région du Maghreb et plus spécifiquement en Algérie. En effet, la hausse de température enregistrée au Maghreb varie entre 1,5 et 2 °C selon les régions, soit plus du double que la hausse moyenne planétaire (0,74 °C). La figure [1.11] illustre l'augmentation de la température des stations d'Alger (PNC, 2019). Ces évolutions ont eu, par conséquent, des effets négatifs sur les services écologiques des écosystèmes naturels et l'affaiblissement de leur résilience, parmi lesquels on peut citer notamment (PNC, 2019 ; CPDN-Algérie, 2015) :

- **Baisse des précipitations et perturbation de leur cycle**, la pluviométrie a baissé de plus de 30 % au cours de ces dernières décennies (CPDN, 2015), en plus de l'irrégularité spatiale et temporelle des pluies (PNC, 2019).

- **Augmentation de la fréquence des événements climatiques extrêmes** : pluie diluvienne²⁰, sécheresse, vagues de chaleur, feux de forêt, submersions marines, etc. ;
- **Stress hydrique et raréfaction des ressources naturelles** dues à l'augmentation substantielle de la température, l'évaporation accrue et la diminution des précipitations, ce qui constitue une menace constante pour les sols, l'agriculture, la recharge des nappes, l'écoulement superficiel, l'envasement et le remplissage des barrages-réservoirs ;
- **Dégradation du couvert végétal et des sols**, se traduisant par une érosion plus forte. En effet, plus de 50 millions d'hectares connaissent actuellement un niveau de dégradation très avancé. Cette situation est le résultat direct de l'appauvrissement des sols et de la diminution des ressources hydriques. De plus, les caractéristiques du sol pénalisent lourdement l'Algérie en matière de séquestration de carbone par rapport aux pays disposant d'un large couvert végétal ;
- **Élévation du niveau de la mer** qui semble 3 à 4 fois plus rapide, comparativement à la moyenne mondiale qui est de 1.5-2 mm/an, ce qui perturbe les zones côtières et les milieux marins et accentue leur vulnérabilité.



Le graphe basé sur les données quotidiennes de température indique une augmentation de la température de plus de 1,5 °C au cours de cette période

Figure 1. 11 : Évolution de la température moyenne annuelle à Alger (PNC, 2019)

1.1.3.2 Effets des villes sur les émissions de CO₂ en Algérie

Avec leur développement rapide, les ensembles urbains sont devenus les plus grands consommateurs d'énergie²¹ et émetteurs de dioxyde de carbone en Algérie (APRU, 2019). Notons que 99,97 % de l'énergie destinée aux activités urbaines est issue de sources fossiles (gaz et pétrole) (APRU, 2017), dont le secteur de l'habitat qui consomme la grande partie (43 %), le transport (33 %) et les activités industrielles (22 %) [Figure 1.12] (APRUE, 2019).

En effet, la demande en énergie et les émissions liées sont en constante évolution [Figure 1.13], en raison de plusieurs facteurs : d'abord la croissance démographique conjuguée avec l'accroissement accéléré du processus d'urbanisation et par conséquent des besoins divers de la

²⁰ Le pays est constamment confronté à ce phénomène. De nombreuses régions ont connu des épisodes tragiques qui ont engendré d'importantes pertes en vies humaines et des dégâts matériels considérables. On peut citer à titre d'exemple le cas des inondations qui ont frappé la ville d'Alger en 2001 (la commune de Bab El Oued), causant la mort de 715 personnes, en plus de 115 disparus et de milliers de sinistrés (CPDN, 2015). Bien d'autres événements de ce type se répètent de plus en plus souvent, le dernier en date étant les pluies diluviennes à Alger et dans d'autres villes du pays en novembre 2021.

²¹ Ils contribuent à la consommation de 74,5 % de l'énergie totale et à la génération de 59,4 % des émissions totales de CO₂ du pays.

population urbaine (en produits, biens et services) (CPDN-Algérie, 2015). Il convient de noter que le processus d'urbanisation en Algérie a atteint son pic avec un taux d'accroissement qui dépasse aujourd'hui les 73.7 % de la population nationale (BM, données Algérie 2020). 85 % de cette population se concentre dans la partie nord du pays (CPDN-Algérie, 2015) et cette concentration est aussi un facteur d'aggravation des dangers climatiques.

L'Algérie se trouve donc confrontée aux défis de résilience climatique dans un contexte d'accroissement important des besoins et des attentes de sa population en termes de développement économique et social. Elle doit d'une part atténuer ses émissions de CO₂ et d'autre part s'adapter pour faire face aux défis de la raréfaction des ressources naturelles, la sécurité alimentaire, la résilience de ses écosystèmes et des risques majeurs (CPDN, 2015). À cet effet, des stratégies de développement appropriées et des modèles d'évaluation sont nécessaires pour permettre des transitions durables (Ohnishi et al., 2017).

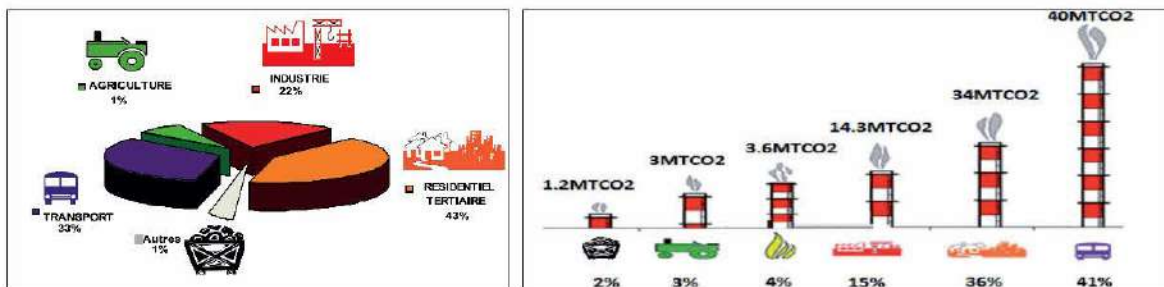


Figure 1. 12 : Consommation d'Énergie en Algérie et émissions de CO2 liées (APRUE, 2019) :
[a] Consommation d'Énergie finale/ type d'activité ; [b] Émissions de CO2 liées à la consommation d'Énergie finale

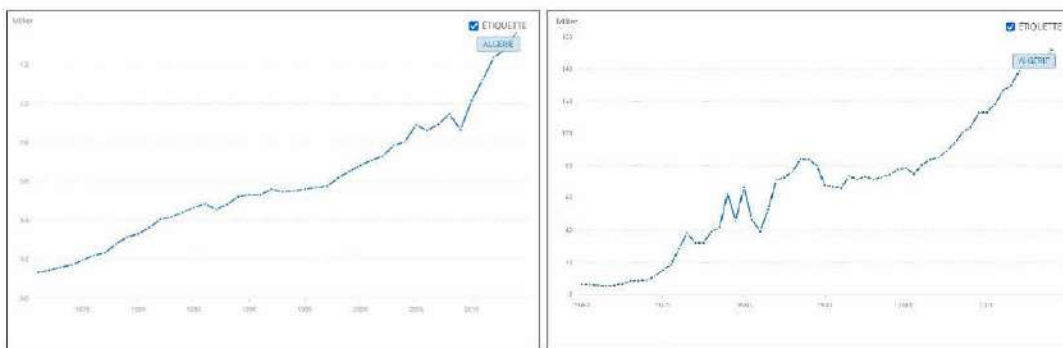


Figure 1. 13 : Évolution de la consommation d'Énergie et des émissions de CO2 en Algérie entre la période 1960-2018 (Source : BM, 2021) : [a] Évolution de la Consommation d'électricité (kWh par habitant) [b] Évolution des émissions de CO₂ (kt)

1.1.3.3 Stratégie et politique nationale mise en place

À la suite de l'Accord de Paris sur les CC, pour participer à l'effort global l'Algérie s'est engagée²² à réduire ses émissions de GES d'ici 2030 de 7 % avec ses propres moyens, voire 22 % avec un soutien financier et technologique international (PNC, 2019 ; CPDN, 2015). Cette contribution concerne principalement six secteurs clés : l'énergie, l'industrie, les transports, l'agriculture et les forêts, le bâtiment et l'environnement. Elle a été initialement adoptée par le Conseil Interministériel le 3 septembre 2015, à l'issue d'une large consultation intersectorielle avec la

²² Dans sa Contribution Prévues Déterminées au niveau National (CPDN-Algérie)

participation de la société civile lors de la Conférence Nationale de Concertation sur le Climat du 28 juillet 2015 (collectivités locales, associations économiques, socioprofessionnelles, environnementales, acteurs institutionnels et socio-économiques) (Berezowska-Azzag, 2016a) pour être engagée sur la période 2021-2030 (CPDN, 2015).

Selon le document de la CPDN (2015), les premières propositions de la stratégie se focalisaient principalement sur les mesures d'atténuation. Les mesures d'adaptation n'étaient que sommairement évoquées (Berezowska-Azzag, 2016a). Un peu plus tard, cette stratégie a été formalisée dans les instruments spécifiques de planification, principalement le Plan National Climat PNC (2019)²³ qui a pour objectif la mise en œuvre des actions d'atténuation et d'adaptation. Le PNC définit les projets et les actions à mettre en œuvre sur la période 2020-2035 selon des échéances (à court et moyen termes). Son plan d'action est composé de trois volets : le premier concerne l'adaptation socio-économique de l'Algérie aux CC, le second vise l'atténuation des émissions de GES et le troisième volet porte sur les actions transversales visant la gouvernance des CC, le financement, la sensibilisation, la communication, la formation, le renforcement des capacités et la recherche-développement (PNC, 2019).

Parmi ses 64 actions d'adaptation planifiées à court et moyen terme, cinq (5) visent le renforcement de la résilience urbaine face au CC, et sont prévues dans le domaine lié à la vulnérabilité des collectivités locales [Tableau 1.1].

Thématiques	Actions (ACT)		Pilote
8. Vulnérabilité des collectivités locales	ACT 30	Elaboration des plans locaux d'adaptation (pour trois wilayas pilotes : M'Sila, El Bayadh, Sidi Bel Abbès)	MEER
	ACT 31	Renforcement des capacités locales en gestion des risques de catastrophes couvrant les 48 wilayas	MICLAT
	ACT 32	Projet de mise en place d'un réseau de villes résilientes	MICLAT
	ACT 33	Aide à la formulation des plans directeurs de résilience urbaine à Chlef et Oran	MICLAT
	ACT 34	Elaboration d'une cartographie des catastrophes naturelles et de leurs impacts sur les infrastructures stratégiques routières, portuaires et aéroportuaires	MTPT
	ACT 35	Variabilité et projection climatique des vagues de chaleur sur les grandes villes du littoral	IHFR
	ACT 36	Etude de l'évolution de la sécheresse à l'ouest algérien à l'horizon -2050 2100	IHFR

Tableau 1. 1 :Actions climatiques locales dans le cadre du PNC (PNC, 2019)

Les autres actions concernent la gestion des risques (sur le littoral et la mer, risques d'inondation, d'érosion et de désertification) ; la protection des ressources en eau, l'agriculture, la biodiversité terrestre et marine ainsi que la protection de la santé humaine [Tableaux 1.A, 1.B en annexe 1].

En outre, le document prévoit 76 actions d'atténuation qui impliquent deux nouveaux domaines (les collectivités locales et le tourisme), en plus des six premiers initialement impliqués dans la proposition du CPDN [Tableaux 1.C, 1.D en Annexe 1]. Ainsi, le PNC met en évidence l'importance des zones urbaines locales et touristiques dans les actions d'atténuation. Cependant, les actions prévues restent inscrites dans un cadre national global, leur programmation est effectuée de manière ponctuelle, focalisée sur quelques régions du pays. En effet, une véritable mise en œuvre à l'échelle locale requiert le développement de nouveaux outils de planification locale. Dans ce sens, le PNC est ouvert à la recherche, dans les différents domaines, en vue de l'intégration de nouvelles actions pouvant avoir un impact sur l'atténuation du CC.

²³ Le PNC s'inscrit dans le cadre du plan quinquennal du PNAEDD

En s'inscrivant dans cette perspective, nous allons dans la section suivante aborder la stratégie de SUr et étudier ses performances en termes d'atténuation du CC.

1.2. Cadre conceptuel de la stratégie de Symbiose Urbaine

1.2.1 Le concept de Symbiose Urbaine "SU_r" : revue de la littérature

La *Symbiose Urbaine* (SU_r) est considérée comme une stratégie pratique pour le développement de villes durables (Ohnishi, Dong, Geng, Fujii, & Fujita, 2017; Van Berkel, Fujita, Hashimoto, & Geng, 2009b). Elle a été développée à l'origine dans le domaine de l'Écologie Industrielle (ÉI), comme un concept élargi de celui de *Symbiose Industrielle* (SI) (Van Berkel et al., 2009 b; H.Dong et al., 2014; L. Dong et al., 2016; Ohnishi et al., 2017).

Pour comprendre le concept de *Symbiose Urbaine*, il est nécessaire de revenir d'abord sur celui de *Symbiose Industrielle* (SI), la notion mère sur laquelle est fondé le concept de SU_r.

1.2.1.1 Du concept de SI au concept de SU_r : origines et définitions

- **Le concept de Symbiose Industrielle "SI"**

Le concept de "*Symbiose Industrielle*" trouve son origine dans le domaine de l'*Écologie Industrielle* (ÉI) (Boons, 2016; Erkman, 2004; Allenby et Graedel, 1993; Chertow & Lombardi, 2005), un champ de recherche scientifique qui, pour de nombreux chercheurs, vient apporter un contenu opérationnel au développement durable (Erkman, 2004). L'évolution du concept de SI, telle que reprise par Chertow et Park (2016), montre que son essor remonte à 1989, suite à la publication de l'article de R. Frosch et N. Gallopoulos "*Strategies for manufacturing*" (*Des stratégies industrielles viables*), qui vient deux ans après le rapport Brundtland (Adoue, 2007) en réponse aux conséquences du fonctionnement linéaire du système industriel actuel (Beaurain et Brulot, 2011).

La SI étant considérée comme une relation qui décrit les échanges locaux des ressources entre différentes entreprises (Chertow, 2000, 2007; Lifset & Graedel, 2002; Chertow and Lombardi, 2005; Jacobsen, 2006; Hashimoto et al., 2010; L. Dong et al., 2016). La définition la plus citée dans la littérature revient à Chertow (2000, p.313. trad.) qui explique le processus : « *la SI engage les entreprises traditionnellement séparées dans une approche collective visant à obtenir un avantage concurrentiel impliquant un échange physique de matériaux, d'énergie, d'eau et/ou de sous-produits. Les clés de réussite d'un tel processus sont la collaboration et les possibilités synergiques offertes par la proximité géographique* » (Chertow, 2000, 2007; Kurup, 2005; Jacobsen, 2006; Van Berkel, Fujita, Hashimoto et Geng, 2009a; H. Dong et al., 2014; Ohnishi et al., 2017)

Dans ce cadre, les entreprises recherchent, via l'établissement des accords de travail (Jensen et al., 2011), un bénéfice collectif supérieur au total des avantages individuels pouvant être obtenu en agissant seul (Chertow, 2000). Ces accords incluent, entre autres, la réutilisation directe d'un flux de déchet d'une entreprise comme matière première pour une autre, le retraitement innovant de sous-produits et le partage de l'énergie, de l'eau et/ou de la vapeur, ce qui conduit à une utilisation rationnelle des ressources (Jensen et al., 2011; Velenturf & Jensen, 2016).

Ainsi, la *SI* a été qualifiée comme « *un concept d'optimisation collective des ressources* » (Jacobsen, 2006, p. 240), qui consiste principalement à boucler les flux métaboliques via la création des réseaux d'échanges entre des activités industrielles (Chertow & Lombardi, 2005 ; Van Berkel et al., 2009a), dont la proximité et la diversité constituent des éléments clés (Lowe et Evans 1995 ; Chertow & Park, 2016).

Avec le développement de l'*ÉI*, au cours des trois dernières décennies la *SI* devient un sous-domaine de l'*EI* (Chertow & Park, 2016). Elle a été diffusée à travers le monde comme étant une stratégie environnementale (Ohnishi et al., 2017), dont l'objectif est de réduire l'impact écologique des processus industriels (Boons, Chertow, Park, Spekkink et Shi, 2017) et d'assurer une activité industrielle écologiquement durable (Chertow & Lombardi, 2005 ; Van Berkel et al., 2009a).

Dès lors, le concept de *SI* a connu un essor considérable, autant sur le plan théorique, valorisé par l'effort de recherche au sein des communautés scientifiques, que sur le plan pratique au service des décideurs politiques, des entreprises, des Organisations Non Gouvernementales (ONG) et autres acteurs œuvrant pour la mise en œuvre des *SI* sur le terrain (M. Chertow & Park, 2016 ; Boons et al., 2017). Il a été même identifié par l'OCDE comme un concept d'innovation systémique, essentiel pour la croissance verte à venir et inclus par la Commission Européenne en tant qu'élément de la feuille de route pour une Europe efficace dans l'utilisation des ressources (Lombardi & Laybourn, 2012 ; Kusch, 2015).

Plusieurs pays se sont engagés dans la mise en pratique de cette stratégie. À titre d'exemple, nous pouvons citer le Royaume-Uni avec le Projet National de Symbiose Industrielle (NISP) axé sur le recyclage régional des déchets ; la Corée du Sud avec le projet national (EIP) dans le cadre de la stratégie nationale de « croissance verte » ; la Chine, avec le projet national d'écologie industrielle (PEI) et le projet national d'économie circulaire ; l'Amérique du Nord, avec le projet de développement d'écosystème industriel et le programme de synergie de sous-produits. Mais c'est au Japon, avec le programme japonais d'éco-villes lancé en 1997, qu'émerge le concept de la *Symbiose Urbaine (SUR)* (L. Dong, 2016 ; Massard et al., 2014).

- **Le concept de Symbiose Urbaine "SUR"**

Le programme japonais "éco-villes" a élargi la portée des initiatives de *SI*, limitées à des sites spécifiques, pour promouvoir les interactions industrialo-urbaines à une échelle plus large, celle de "la ville" (Van Berkel et al., 2009 b ; Geng, Tsuyoshi & Chen, 2010). Le concept de la *SUR* a été défini par Van Berkel et ses collègues (2009 b, p.1545. trad.) comme « *l'utilisation de sous-produits (déchets) provenant de villes (ou de zones urbaines) comme matières premières alternatives ou sources d'énergie dans les activités industrielles* » (Van Berkel et al., 2009 b ; Geng et al., 2010 ; Chen, Fujita, Ohnishi, Fujii & Geng, 2012 ; H. Dong et al., 2014 ; L. Dong et al., 2016 ; Ohnishi et al., 2017).

De même, le concept de *SUR* a été introduit aux Pays-Bas comme une innovation visant à créer des systèmes urbains circulaires et un métabolisme des villes plus efficace (Vernay, 2013 ; Vernay & Mulder, 2016). Il a été défini comme « *une stratégie d'optimisation du système métabolique urbain en tirant parti de la proximité de diverses infrastructures pour des effets symbiotiques, réduisant ainsi la consommation de ressources et les émissions* » (Mulder, 2017, p.1. trad.). Cette approche renvoie aux initiatives visant à boucler les flux de matières et d'énergie au sein d'une

zone urbaine donnée (Vernay et Mulder, 2016). Elle se base sur les infrastructures urbaines dans la mise en œuvre de la SUr, en considérant la ville comme "un nœud infrastructurel" et "une échelle d'innovation importante" (Mulder, 2016, p.17).

En Suisse, Rey (2013) propose le concept de "ville symbiotique" au domaine de la planification urbaine en transposant les principes de l'EI. Son approche met l'accent sur les retombées économiques et socioculturelles d'un métabolisme urbain cyclique. Rey considère la ville symbiotique comme une stratégie d'optimisation qui «correspond à la promotion d'un système urbain de type "syntropique", c'est-à-dire un écosystème qui permet de perpétuer l'essor économique et socioculturel des villes et des agglomérations, mais dont le métabolisme circulaire utiliserait au mieux les ressources importées et limiterait au maximum la production de déchets» (Rey, 2013, p.4; Lufkin, Erkman, & Rey, 2016, p.3). De même, le concept de "quartier symbiotique" a été proposé pour développer de nouveaux principes de planification et de nouvelles stratégies énergétiques à une échelle spatiale réduite. Ce concept permet d'examiner les aspects du développement urbain et architectural, de l'autonomie locale en matière d'énergie et de ressources à l'échelle du quartier, en intégrant les questions liées aux bâtiments, aux infrastructures, à la mobilité, aux biens et aux services (Lufkin et al., 2016).

1.2.1.2 Éléments d'analogie et de différence entre les concepts de SI / SUr

Les deux concepts SI/SUr, sont une métaphore qui reprend l'idée des chaînes alimentaires appelées "symbioses"²⁴ dans les écosystèmes naturels, où la consommation d'énergie et de matériaux est optimisée et les déchets des uns deviennent ressources pour les autres [Figure 1.14] (Frosh et Galopolus, 1998 ; Chertow, 2000 ; Erkman, 2004 ; SOFIES, 2011).

Un écosystème industriel/urbain est donc l'espace dans lequel une *Symbiose Industrielle* ou *Urbaine* peut survenir, en favorisant des liens convaincants avec les systèmes naturels (Chertow & Park, 2016), où la proximité géographique, la diversité fonctionnelle, le bouclage des flux, les réseaux d'échanges et le partage des ressources et des infrastructures sont les principes essentiels de mise en œuvre. Néanmoins, certaines différences entre les SI et les SUr, émergent de la revue de la littérature sur trois éléments clés :

- **L'échelle du système** : étant donné que la proximité géographique est un élément bien reconnu pour la mise en œuvre d'une SI/SUr (Chertow, 2000), l'échelle urbaine locale est une échelle à la fois suffisamment large pour offrir des possibilités d'échange de la matière entre les acteurs et suffisamment petite pour permettre la communication et la collaboration (Sterr et Ott, 2004 ; Chertow & Park, 2016).
- **L'objectif et la portée de la symbiose** : la portée de la SI ne couvre que la dimension industrielle (Barle, 2010) par rapport à la SUr, qui peut optimiser la consommation des ressources à l'échelle la plus large de la ville (Vernay et Mulder, 2016) ;

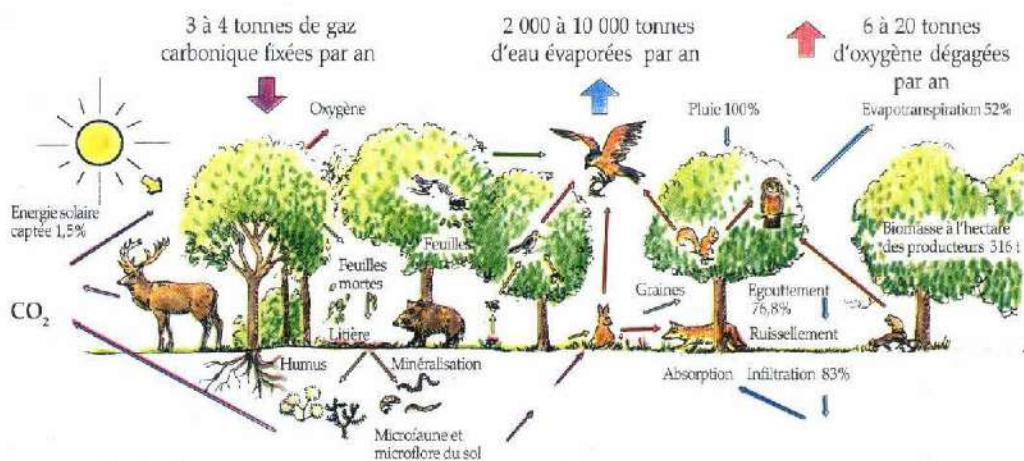
²⁴ La notion de *symbiose*, une notion dérivée de la biologie qui décrit les interactions étroites entre au moins deux espèces dans la nature, pour échanger des matériaux, de l'énergie ou des informations de manière mutuellement bénéfique (Chertow, 2000, p.314 ; Lifset & Graedel, 2002 ; SOFIES, 2011). Cette notion a été introduite pour la première fois en 1873, par le botaniste allemand H. A. De Bary, pour décrire les relations symbiotiques associant champignons et algues dans les lichens (Ehrenfeld & Chertow, 2002).

- **La diversité fonctionnelle** : en bouclant les flux métaboliques urbains, la *SU_r* permet de tirer parti non seulement de la proximité des industries co-localisées, mais aussi des échanges entre les différentes activités industrielles et urbaines, y compris les logements, les activités commerciales, industrielles et les infrastructures urbaines (Van Berkel et al., 2009 b ; Mulder, 2016). La diversité a une importance potentielle dans l'optimisation des ressources, l'amélioration de l'environnement, mais aussi dans l'efficacité économique et les avantages pour la communauté (Lowe et Evans 1995 ; Chertow & Park, 2016).

Pour résumer, les différences entre *SI* et *SU_r* sont comparées dans le **Tableau 1.2**.

	<i>SI</i>	<i>SU_r</i>
1. Échelle	Parc industriel	Ville
2. Objectif et portée	Optimiser le Métabolisme Industriel des Systèmes Industriels	Optimiser le Métabolisme Urbain des Systèmes Urbains
3. Diversité fonctionnelle	Inclut les activités industrielles	Inclut toutes les activités urbaines

Tableau 1. 2 : Éléments clés de différence entre *SI/SU_r*



Un écosystème industriel pourrait fonctionner comme un écosystème biologique : les végétaux synthétisent des substances qui alimentent les animaux herbivores, lesquels sont mangés par les animaux carnivores, dont les déchets et les cadavres servent de nourriture à d'autres organismes (Erkman, 20004).

Figure 1. 14 : La symbiose dans les écosystèmes naturels

(<https://lamaisondalaz.files.wordpress.com>)

1.2.1.3 Terminologies associées aux concepts de "*SI*" et "*SU_r*"

En dehors des différences entre *SI* et *SU_r*, nous avons constaté, à partir de notre recherche sur ces concepts, qu'il existe une diversité considérable des terminologies dérivées de la littérature connexe, ce qui risque de créer des ambiguïtés (Chertow et Park, 2016). Par exemple, les termes : "synergie des ressources"/"synergie de sous-produits"/"échange de sous-produits", "réseau de recyclage"/ "synergies régionales de ressources"/ "écosystème industriel"/"parcs éco-industriels" / "éco-villes", sont utilisés pour désigner des projets de *SI* ou des *SU_r* (Jacobsen, 2006 ; Van Berkel et al., 2009 b ; Chertow et Park, 2016 ; Boons et al., 2017).

Les chercheurs supposent que cette diversité des termes résulte des différences des priorités dans l'approche des projets symbiotiques, dans différentes régions du monde. En effet, lorsque les idées proviennent de différents milieux, traditions et cultures, les approches de développement de projets se diversifient et le contenu, les priorités et les terminologies varient de plus en plus (Chertow et Park, 2016 ; Maasard et al., 2014). Ces terminologies peuvent être qualifiées selon les priorités accordées en plusieurs catégories :

Terminologie conçue selon la portée ou l'échelle spatiale de la symbiose : les relations symbiotiques ont été désignées selon les échelles spatiales en allant de l'échelle régionale à celle des bâtiments et des infrastructures. Nous citons à titre d'exemple :

- La notion de "*synergie régionale des ressources*" utilisée pour désigner une *symbiose* a une portée plus large couvrant l'utilisation partagée d'infrastructures de services publics et d'industries qui ne sont pas situées à proximité immédiate (Van Beers et al., 2007) ;
- La notion de "*synergies de services publics*" utilisée pour désigner les infrastructures partagées, les services publics et les échanges d'eau et d'énergie (Van Beers et al., 2007) ;
- La notion d'"*éco-ville*" a été utilisée pour désigner des programmes visant à mettre en places des projets de *SUR* et *SI* à l'échelle de la ville (Van Berkel, 2009b ; Massard et al., 2014) ;
- Et pour désigner les relations interentreprises, la *SI* a été envisagée à partir des parcs éco-industriels, des écosystèmes industriels, des îlots de durabilité et des réseaux de recyclage industriel (Jacobsen, 2006).

Terminologie conçue selon les priorités politiques : les cadres politiques et institutionnels influencent également les actions initiées dans les différents pays ou régions (Chertow et Park, 2016). La notion d'"*économie circulaire*", par exemple, a été majoritairement portée par des partenariats publics-privés ayant favorisé son développement²⁵ et sa médiatisation dans différents pays du monde (Figuière et Chebbi, 2016).

Terminologie conçue selon le type de ressource secondaire : par exemple, le terme "*synergies de sous-produits*" est utilisé pour désigner les échanges de sous-produits entre les activités industrielles (Van Beers et al., 2007), où il s'agit des différents types de déchets solides (industriels et /ou municipaux), eau ou de vecteurs énergétiques (Chaleur/vapeur) (Boons et al., 2017).

En somme, toutes ces terminologies convergent vers des projets symbiotiques urbains ou industriels dont l'objectif est l'optimisation des ressources naturelles et la réduction des rejets.

1.2.2 Revue des recherches académiques sur les concepts de *SI/SUR*

Nous avons déjà vu, dans les paragraphes *supra*, l'essor considérable qu'a connus les concepts de *SI/SUR*, à travers le monde, depuis les premières recherches motivées par les métaphores de l'*EI* à une vision écosystémique plus large des systèmes industriels et urbains, intégrant l'ensemble des processus socio-économiques pour un développement symbiotique durable.

²⁵ Par le biais de recherches institutionnelles publiques (le ministère du Commerce extérieur et de l'Industrie au Japon, Union européenne, l'Institut de l'Économie Circulaire en France, etc.) ou privées (la Fondation Ellen McArthur est leader dans le domaine.

En tant qu'objets d'étude multi, inter et transdisciplinaires, ces concepts ont suscité l'intérêt des diverses communautés scientifiques, en passant par les acteurs politiques et économiques concernés directement par les projets de développement dans différents pays du monde (Chertow et Park, 2016). Cet essor a été largement favorisé par les recherches académiques qui ont évolué au cours des deux dernières décennies (L. Dong et al., 2016), en passant de l'introduction de concepts et la description d'études de cas spécifiques pour se plonger davantage dans l'analyse des mécanismes fonctionnels des projets symbiotiques et l'évaluation de leurs performances (Boons et al., 2014 ; Kusch, 2015). Cela a donné lieu à une multitude de travaux de recherche, dont les études de cas empiriques en constituent un volet important (Van Berkel et al., 2009 b)²⁶.

1.2.2.1 Les études de cas : un champ de recherche potentiel dans le domaine

Aujourd'hui, un nombre considérable d'études de cas figure dans la littérature portant sur différentes régions, d'Amérique du Nord, d'Europe, d'Asie et d'Australie (Chertow et Lombardi, 2005 ; Jacobsen, 2006 ; Van Berkel, 2009b ; Van Beers et al., 2007 ; Suzuki et al., 2010 ; Massard., 2011 ; Acebillo et al., 2012 ; H.Dong et al., 2014) ainsi que plusieurs d'autres [Figure 1.15]. Dans une enquête internationale sur les projets d'éco-innovation, Massard et ses collègues (2014) rapportent un nombre de 302 projets référencés par pays dont 168 ont fait l'objet d'études détaillées. Les cas étudiés concernent des symbioses industrielles ainsi que des symbioses urbaines constituées de zones mixtes d'habitation et d'activités économiques.

Il convient dans ce cadre de citer, la symbiose de Kalundborg au Danemark, le cas le plus ancien et le plus célèbre dans le monde qui a inspiré de nombreux projets ultérieurs et constitué une référence de base à plusieurs recherches dans le domaine.

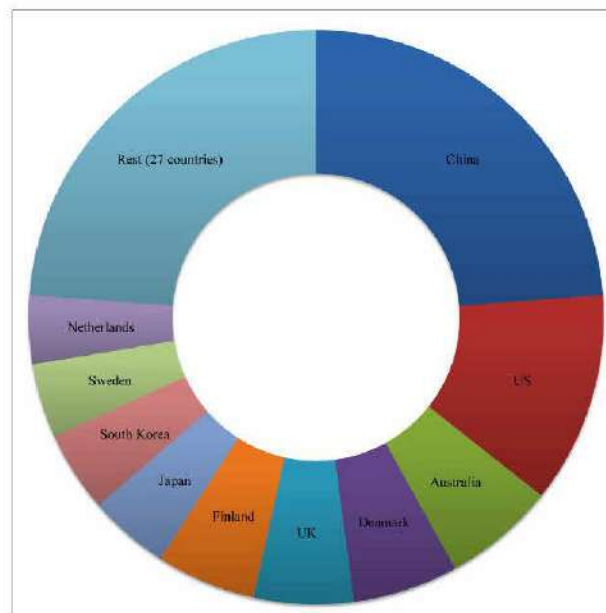


Figure 1. 15 : Les dix principaux pays étudiés en termes de Symbiose Industrielle dans 286 articles universitaires publiés entre 1995 et 2014 (Boons et al., 2017 d'après Chertow et Park 2016).

²⁶ En Algérie, un travail de recherche de Dakhia Karima, à l'École Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme, a aussi contribué à la vulgarisation de ces notions auprès des architectes-urbanistes.

1.2.2.2 Principaux outils méthodologiques développés

Sur le plan méthodologique, un effort considérable de recherche portant sur le développement de méthodes et d'outils permettant l'identification, la mise en œuvre et l'évaluation de symbioses potentielles (Van Berkel, 2009b). Parmi ces méthodes, l'Analyse des Flux de Matières (AFM), l'Analyse du Cycle de Vie (ACV) et l'Empreinte Carbone (EC) sont couramment utilisées (Ohnishi et al., 2017). Ces méthodes permettent de fournir aux planificateurs des informations quantitatives sur l'état de la ville étudiée et aider les décideurs politiques à identifier les questions clés de leur développement et préparer des stratégies appropriées (H.Dong et al., 2016).

- **Méthode d'Analyse de Flux de Matière et d'Énergie (AFME)**

L'AFME, outil d'aide à la décision largement utilisé dans la gestion des ressources, des déchets et de l'environnement. C'est une méthode d'évaluation de base qui permet de quantifier les flux de matières et d'Énergie et d'évaluer leur l'impact environnemental (Ohnishi et al., 2017). Basée sur la loi de la conservation de la matière, l'AFME permet de fournir un ensemble complet et cohérent d'informations sur tous les flux et stocks de matière et d'énergie au sein d'un système. En équilibrant les entrées et les sorties, les flux de déchets et les impacts environnementaux deviennent visibles, et leurs sources peuvent être identifiées. Les résultats d'une AFME peuvent être contrôlés par un simple bilan de matière comparant tous les inputs, stocks et outputs d'un processus (Brunner et Rechberger, 2004)

Dans le domaine des *SI/SUI*, l'AFME est utile pour identifier les caractéristiques d'un système industriel/urbain en révélant la quantité des flux métaboliques entrants et sortants et les échanges qu'ils permettent entre activités à l'intérieur de ce système. Elle est également appliquée pour détecter les relations physiques entre les éléments du système. De nombreuses études se sont focalisées sur la recherche des liens symbiotiques entre activités géographiquement proches (Chertow, 2007) et l'identification des échanges potentiels de matière et d'énergie à l'intérieur des systèmes industriels et urbains. Dans ce cadre, les schémas systémiques (ou diagrammes) constituent un outil essentiel pour la présentation des échanges physiques de flux de matière et d'énergie entre les activités d'un système (Ohnishi et al., 2017).

- **Méthode d'analyse Empreinte Carbone (EC)**

L'empreinte carbone (EC), un concept dérivé du concept d'empreinte écologique (EE) qui a été développé afin de répondre aux problèmes de CC. L'EC est définie comme étant "*une mesure de la quantité totale exclusive de dioxyde de carbone qui est directement et indirectement causée par une activité ou accumulée au cours de la vie d'un produit*" (Wiedmann et Minx, 2007, p.5).

La méthode EC permet de convertir différents matériaux et ressources en un équivalent d'émission de CO₂. En outre, elle est efficace pour évaluer les émissions de carbone du point de vue du cycle de vie, de sorte que des voies de développement à faible émission de carbone puissent être identifiées (H. Dong et al., 2016 ; Ohnishi et al., 2017). Les études sur l'empreinte carbone ont été réalisées à différentes échelles : des pays, des villes, des ménages, des entreprises ainsi que des processus de production et des produits. De nombreuses études ont été réalisées au niveau des régions et des villes (H. Dong et al., 2016).

- **Analyse Cycle de Vie (ACV)**

L'ACV est un outil couramment utilisé dans l'évaluation des liens symbiotiques (L. Dong et al., 2016). C'est une méthode qui permet d'estimer de manière exhaustive les effets d'un produit sur l'environnement, depuis la production des matières premières jusqu'à l'élimination finale des déchets, dont l'intérêt est de déterminer avec certitude la solution la moins dommageable. L'étude de l'ACV date de la fin des années 1960 et du début des années 1970. La première étude ACV reconnue est celle qui a permis de quantifier les besoins en ressources, les charges d'émissions et les flux de déchets de différents contenants de boissons pour la société Coca Cola en 1969. Depuis lors, l'ACV a été appliquée pour évaluer les impacts environnementaux potentiels de divers aspects liés au traitement et à l'élimination des déchets, tels que le recyclage des aliments, des déchets de verre, de papier, des bouteilles en PET et la valorisation énergétique des déchets (H. Dong et al., 2016). L'ACV est également très utilisée dans les études sur les symbioses industrielles et urbaines et l'évaluation de leurs avantages environnementaux, notamment la réduction des émissions de gaz à effet de serre et l'économie de combustibles fossiles (Chen et al, 2011 ; L. Dong et al., 2016 ; H. Dong et al., 2016).

Ces méthodes peuvent être utilisées de manière combinatoire selon l'objectif de l'étude. Par exemple H. Dong et ses collègues (2014) ont proposé un modèle d'évaluation de l'EC d'une SI/Ur basé sur une Analyse Cycle de Vie.

1.2.2.3 Avancées des études empiriques sur les SI/SUr

La recherche empirique sur les projets symbiotiques a évolué selon plusieurs frontières : de l'ingénierie et la modélisation des flux de ressources localisées, aux analyses basées sur différents cadres théoriques (écologiques, politiques, économiques et sociaux). **[Figure 1.16]** (Chertow et Park, 2016 ; Boons et al., 2017).

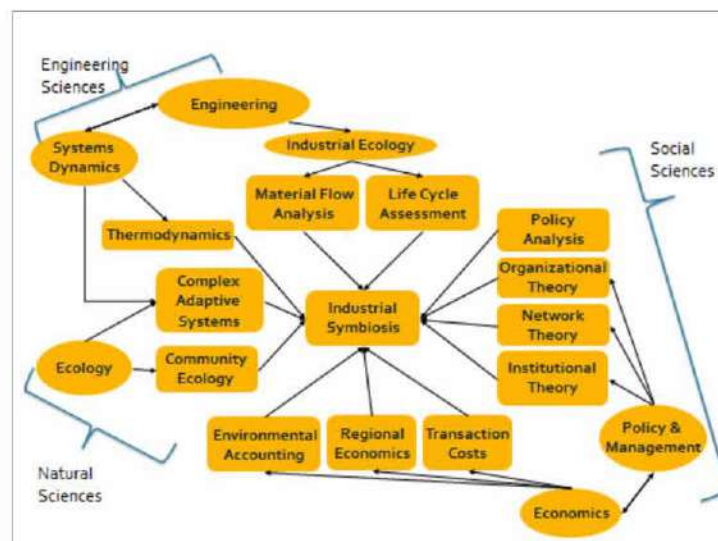


Figure 1. 16 : Les différents cadres théoriques des SI/SUr (Chertow et Park, 2016)

Plusieurs recherches se sont focalisées sur les descriptions qualitatives de *SI/SUr* pour l'identification des liens symbiotiques potentiels dans des écosystèmes industriels ou urbains-(Van Berkel et al., 2009 b ; Massard et al., 2011 ; Sofies, 2011 ; Jacobsen, 2006). Une grande partie des études s'est concentrée sur la modélisation et la quantification de la connectivité et de

l'intensité symbiotique²⁷, parmi lesquels plusieurs sont allées à l'évaluation des avantages économiques, environnementaux et sociaux de projets symbiotiques (Chertow et Lombardi, 2005 ; Kurup et al., 2005 ; Jacobsen, 2006 ; Van beers et al., 2007 ; Zhu et al., 2007 ; Park et al., 2008 ; Van Berkel et al., 2009 b). Par ailleurs, d'autres recherches ont fait état d'une évaluation comparative des instruments de planification et de politiques publiques (à l'exemple de Heeres et al., 2004 ; Van Leeuwen et al., 2003 ; Massard et al., 2014 ; Lorrain et al., 2018).

Avec la nécessité récente d'un développement bas carbone, les performances des *SI/SU*r en termes d'atténuation des émissions de CO₂ prennent de plus en plus d'intérêt dans la recherche dans le domaine. Malgré le peu d'études qui existent sur le sujet, des bénéfices environnementaux considérables ont été démontrés dans plusieurs projets pionniers, notamment de la Symbiose de Kalundborg au Danemark (Jacobsen, 2006 ; Chertow et Lombardi, 2005), des projets d'écovilles au Japon (Van Berkel et al., 2009a ; Dong et al., 2014), du modèle d'Hammarby à la Suède (Suzuki et al., 2010), et d'autres. Cependant, la plupart de ces études se concentrent davantage sur les *SI*, mais moins sur les *SU*r, pour ne pas dire une combinaison de *SI* et de *SU*r.

En faisant référence aux contributions scientifiques récentes qui existent dans la littérature, nous allons dans ce qui suit analyser le potentiel de réduction des émissions de CO₂ offert par les liens symbiotiques.

1.2.3 Performances des *SI* et *SU*r en termes d'atténuation des émissions de CO₂ à l'échelle locale

1.2.3.1 Analyse des exemples internationaux de projets de *SU*r/*SI*

Cette analyse vise à déterminer à travers des projets concrets, à quel point la réutilisation des matériaux, de l'énergie et de l'eau, stimulée par les liens symbiotiques entraîne de réelles réductions en termes de consommation d'énergie et d'émission de dioxyde de carbone.

Pour ce faire, nous avons choisi d'analyser huit (08) cas de projets symbiotiques industriels et urbains parmi les plus documentés de la littérature, menés dans différents pays d'Europe, d'Asie et d'Amérique. La carte dans la figure [Figure 1.17] présente la localisation des exemples choisis. L'analyse documentaire de ces projets a été principalement guidée par les critères suivants :

- Contexte d'émergence et objectif du projet ;
- Fonctionnement du projet : principaux flux et liens symbiotiques régissant le projet ;
- Implication du projet en termes de consommation d'énergie et d'émissions de CO₂.

²⁷ Généralement, en fonction du nombre de liens symbiotiques et du nombre d'acteurs impliqués.

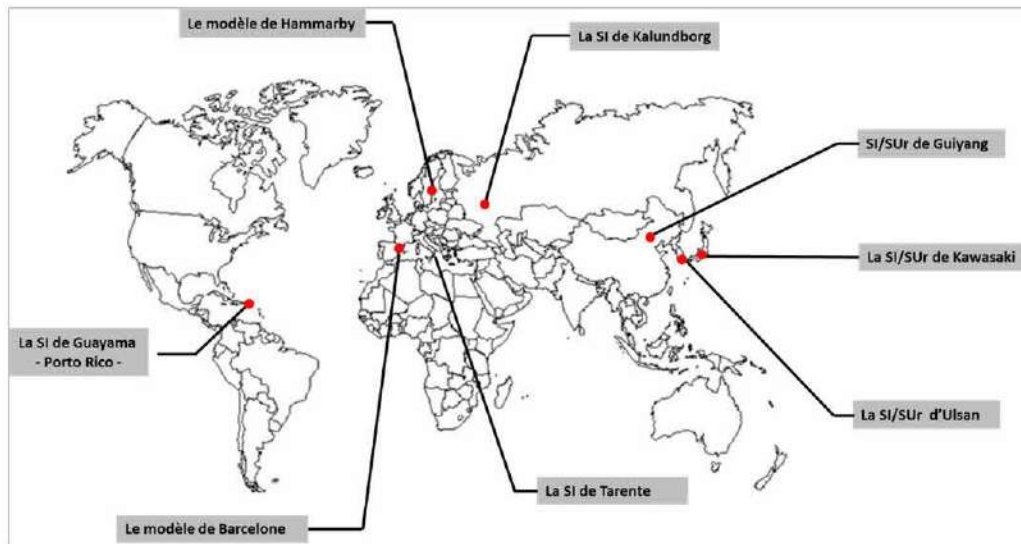


Figure 1. 17 : Localisation des projets choisis pour l'analyse des performances de SI/SUR dans l'atténuation des émissions de CO₂ à l'échelle locale

- **La Symbiose Industrielle de Kalundborg-Danemark**

La Symbiose Industrielle de Kalundborg constitue l'exemple le plus connu et le plus documenté au monde en matière de SI et d'éco-parcs industriels (Massard et al., 2014). Tout a commencé en 1961 à Kalundborg, avec le facteur "externe" de la rareté de l'eau. Cette ville industrialo-portuaire danoise (située au bord de la Mer à l'ouest de Copenhague) présente un important déficit en eau souterraine, dont les réserves ont progressivement diminué sur une période de 20 ans, à mesure que les industries locales consommatrices d'eau ont augmenté en taille et en consommation (Jacobsen, 2006 ; Massard et al., 2014).

En raison de ces évolutions, un certain nombre d'initiatives publiques/privées visant à économiser les eaux souterraines ont été lancées au cours des dernières décennies, ce qui a contribué à l'établissement de projets de symbioses eau/vapeur (Jacobsen, 2006 ; Massard et al., 2014), motivés par la recherche d'un approvisionnement en eau diversifié et de la possibilité d'optimiser l'efficacité énergétique et la sécurité d'approvisionnement pour des raisons économiques et opérationnelles (Jacobsen, 2006). Le premier projet de collaboration visait l'utilisation de l'eau de surface du lac voisin pour la raffinerie de pétrole en substitution de l'eau souterraine à réserves limitées. Puis les échanges ont commencé à être motivés par un effort mutuel de réduction des coûts en recherchant des utilisations rémunératrices pour les déchets. Petit à petit, les acteurs impliqués ont pris conscience du bénéfice économique mutuel favorisé par les échanges symbiotiques et de la réduction significative de l'impact environnemental induit par leurs activités industrielles (Massard et al., 2014). Aujourd'hui, le réseau symbiotique de Kalundborg compte une vingtaine de symbioses entre différents acteurs publiques et privées, parmi lesquels les plus grands producteurs du monde²⁸.

²⁸ *Novo Nordisk* : le plus grand producteur d'insuline du monde ; *Novozymes* : le plus grand producteur d'enzymes du monde ; *Kalundborg Forsyning A/S* : la plus grande station d'épuration d'Europe du Nord ; *Dong Energy* : la plus grande centrale électrique du Danemark ; *Statoil* : la plus grande raffinerie de pétrole de la région de la Baltique.

La figure 1.18 ci-dessous offre un aperçu des liens existants entre les principaux partenaires. Nous pouvons voir une importante cascade de valorisation des flux d'eau, la même eau à des températures différentes est utilisée comme eau de refroidissement, eau de réchauffement ou eau de rinçage par différentes entreprises. D'importants réseaux d'échanges sont établis pour la valorisation des déchets en matières secondaires, par exemple le flux de gypse qui va de la centrale électrique chez Gyproc, ou la biomasse issue de Novo Nordisk qui est donnée gratuitement aux agriculteurs de la région pour être utilisée comme fertilisants à la place d'engrais chimique. Ainsi, les réseaux d'échange mis en œuvre pour la valorisation énergétique de la biomasse et des rejets liquides et gazeux ont favorisé la transition de la production d'énergie depuis le charbon vers de nouvelles sources renouvelables propres. Par exemple, le flux de vapeur issu de la centrale électrique est livré aux partenaires de la symbiose pour des usages variés (chauffage, nettoyage, stérilisation et distillation), mais il est utilisé également dans la centrale elle-même pour produire de l'électricité. Le flux de chaleur est acheminé vers le réseau de chauffage urbain de la municipalité, il permet de chauffer la quasi-totalité des ménages de Kalundborg (Kalundborg Symbiosis, 2021, www.symbiosis.dk/en/).

En effet, des avantages environnementaux considérables ont été démontrés dans la SI de Kalundborg. Les gains en termes d'optimisation d'énergie et de réduction des émissions de CO₂ ont été estimés à **30 000 tonnes** de carburant fossile et de **130 000 tonnes** de CO₂ par an (Ehrenfeld & Chertow, 2002).



Figure 1. 18 : La SI de Kalundborg (Kalundborg Symbiosis, 2021, www.symbiosis.dk/en/)

- **Le modèle d'Hammarby-Suède**

Le quartier de Hammarby Sjöstad est situé au sud de la ville de Stockholm, capitale de la Suède, sur un ancien site industriel et portuaire au bord d'un lac [Figure 1.19a].

Ce quartier s'est lancé dans un projet de planification et de réaménagement urbain visant la préservation des ressources naturelles et la lutte contre les Changements Climatiques. Un modèle spécifique a été conçu, appelé communément "le modèle Hammarby" intégrant une "approche éco-cycle" basée sur des liens symbiotiques (Massard et al., 2014). Plusieurs programmes ont été mis en œuvre concernant : l'efficacité énergétique (réutilisation de la chaleur dans les eaux usées, chauffage urbain) et l'approvisionnement en énergies à partir de sources renouvelables (solaire, biomasse, déchets); la gestion de l'eau (récupération des eaux de pluie, réutilisation des eaux usées); la gestion des déchets (recyclage, valorisation énergétique des déchets), la construction (matériaux durables, isolation); la mobilité (transports en commun, covoiturage) [Figure 1.19 b] (Suzuki et al., 2010, Massard et al., 2014).

Le projet a permis de transformer le MU linéaire du quartier à un métabolisme entièrement cyclique. En conséquence, il a été enregistré une réduction de 30 à 40 % de l'impact environnemental global de la zone par rapport au référent (un quartier typique construit dans les années 1990) (Massard et al., 2014), dont une réduction de **28 à 42 %** de la consommation d'énergie non renouvelable et de **29 à 37 %** du potentiel de réchauffement global [Figure 1.20.] (Suzuki et al., 2010).

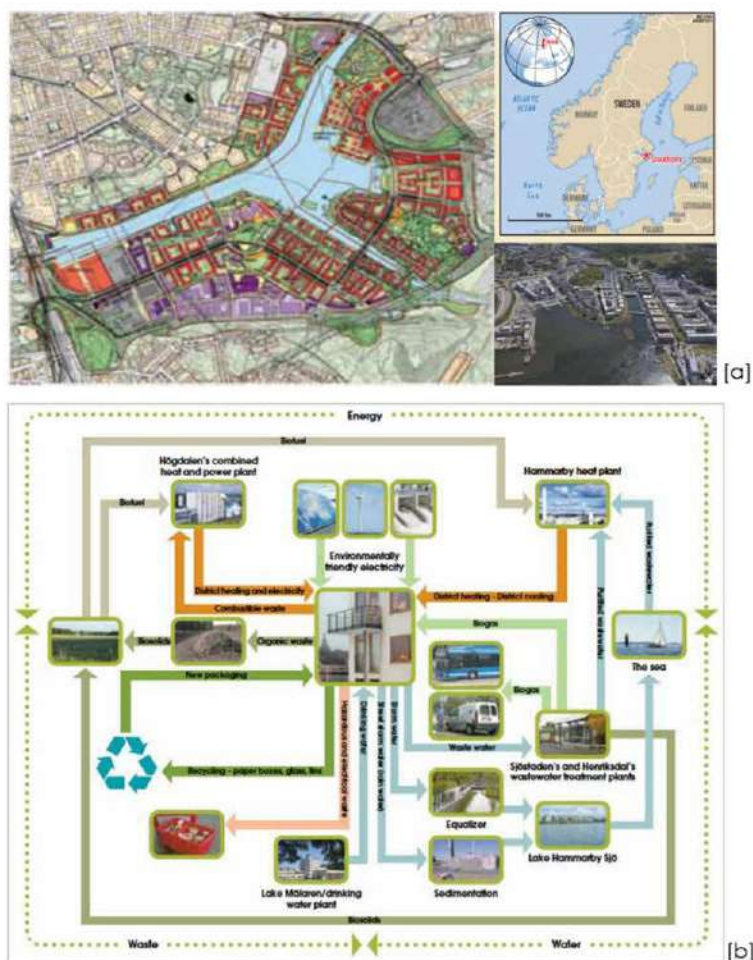


Figure 1. 19 : La Sûr du quartier de Hammarby Sjöstad (Suzuki et al., 2010)

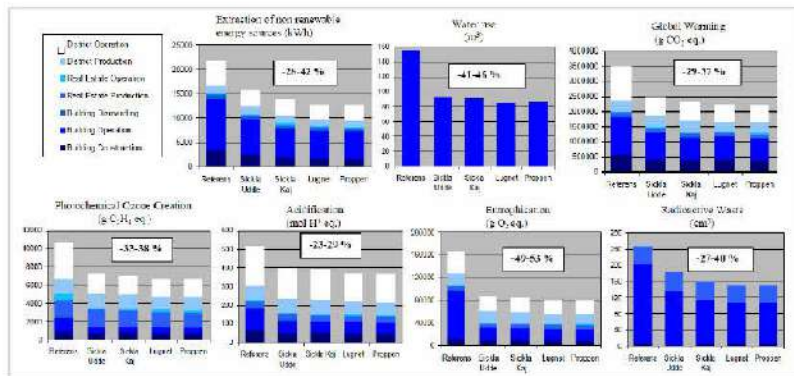


Figure 1. 20 : Suivi des réductions majeures des charges environnementales à Hammarby Sjöstad (Suzuki et al, 2010 d'après Grontmij AB.).

• **Le modèle Barcelonais "district 22@" : quartier de Poblenou -Espagne**

Le quartier Poblenou (nouveau village en catalan) est situé au bord de la mer Méditerranée sur la côte nord-est de la ville de Barcelone [Figure 1.21.a]. C'est un vaste quartier du district de Sant Martí qui abritait à l'origine la principale zone industrielle de Barcelone, En raison de la délocalisation des industries, cette zone est devenue obsolète (Acebillo, 2012).

En 2000, Barcelone se lance dans le projet 22@Barcelona²⁹ en vue de récupérer cette zone et la transformer en un nouveau quartier technologique, en attirant de nouvelles entreprises respectueuses de l'environnement. L'objectif du projet était de construire une nouvelle ville compacte où des entreprises innovantes collaborent avec des centres de recherche, de formation et de transfert de technologie, et cohabitent avec des logements, des équipements et des espaces verts. Le projet 22@Barcelona se concentre sur cinq pôles ou secteurs économiques à forte intensité de connaissances : TIC, médias, biomédical, énergie et design. Plus de 1500 entreprises se sont établies dans la zone entre 2000 et 2010 (Massard et al., 2014). Parmi les initiatives innovantes de ce projet, citons par exemple le nouveau système de climatisation publique centralisée dépassant de plus de 35% l'efficacité énergétique par rapport aux systèmes traditionnels ; le plan de mobilité planifié pour une utilisation majoritaire (70%) du transport public, à vélo ou à pied ; le système de recueil pneumatique sélectif de déchets, etc. (Ajuntament de Barcelona, 2006) [Figure 1.21.a-b].

En 2012, Barcelone inclut un plan d'action climatique dans sa stratégie de durabilité (Ajuntament de Barcelona, 2015). Ce nouveau plan se caractérise par de nouvelles initiatives, dont par exemple : un projet pilote de mosaïque de toits avec des installations qui combinent les énergies renouvelables avec des espaces agricoles, des espace verts et de collecte des eaux de pluie, adaptés à plusieurs types de bâtiments et d'utilisateurs ; des initiatives visant le prolongement de la durée de vie des matériaux et des produits via la création de nouveaux services (de récupération, réutilisation, réparation) et des espaces de dépôts tout en tirant profit de la technologie (sites web, application mobile). Une autre initiative est axée sur l'économie circulaire, qui a permis l'amélioration du tri des déchets grâce à la collecte en porte-à-porte et au système de dépôt, de remboursement et de retour (Ajuntament de Barcelona, 2015 ; Clarke & Ordonez-Ponce, 2017).

²⁹ dans le cadre de son plan de durabilité élaboré en 2002 et renouvelé en 2012

Grâce aux actions mises en œuvre, Barcelone est arrivée à réduire sa consommation d'énergie de **8 %** et ses émissions de CO₂ de **35 %** par habitant entre 1999 et 2014 (Ajuntament de Barcelona, 2018).



Figure 1. 21 : Localisation et Plan de développement du projet 22@Barcelona (a.2, a.3, b : Ajuntament de Barcelona, 2006 ; a.1 : en.wikipedia.org/wiki/Sant_Martí_(district))

- **La Symbiose Industrielle de Tarente - Italie**

La ville de Tarente est la capitale de la province de Tarente en Italie, située dans le sud de la région des Pouilles, sur la mer Ionienne. Elle se distingue par son district industriel.

Ce district, depuis 1990, a été déclaré comme zone à haut risque environnemental, en raison des fortes altérations des équilibres écologiques du sol, de l'eau et de l'air qui entourent le district et qui représentent un risque sérieux pour l'environnement et la santé de la population locale (Notarnicola, Tassielli, & Renzulli, 2016).

La **figure 1.22** illustre l'emplacement des plus grandes entreprises industrielles du district de Tarente, qui, en raison de leur grande capacité de production, sont d'une importance vitale pour l'économie, tant au niveau régional que national. Cependant, ces entreprises sont responsables de la production de 3,25 millions de tonnes de déchets solides et de sous-produits et d'une consommation d'énergie de plus de 182 PJ/an (Notarnicola et al., 2016).

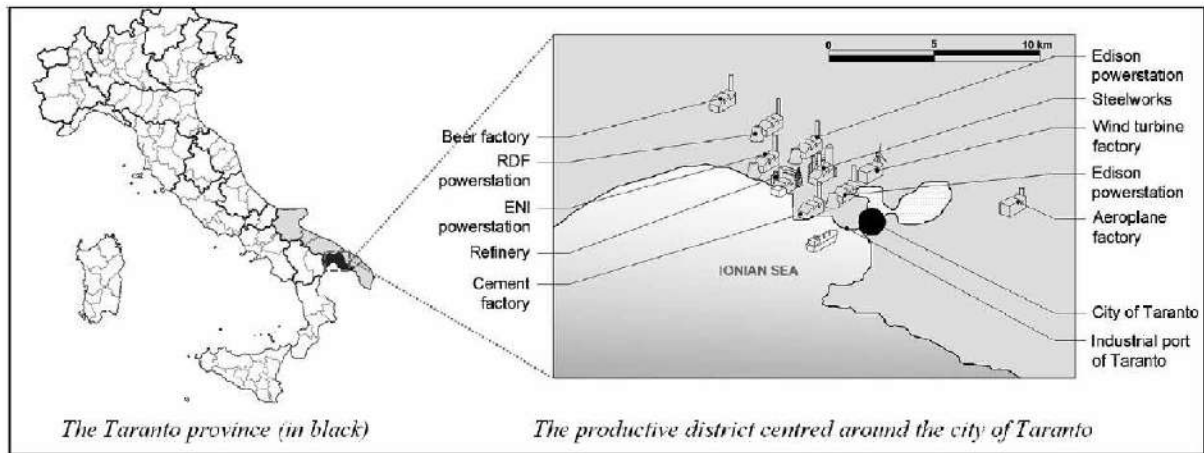


Figure 1. 22 : Principal district productif de la province de Tarente (Notarnicola et al., 2016)

Pour surmonter la crise environnementale et conduire le district vers un développement plus durable, un projet de SI a été proposé. La figure 1.23 résume les principaux liens existants et proposés, pour la valorisation des métaux et la récupération d'énergie, notamment entre l'aciérie, la raffinerie et les centrales électriques. D'autres échanges notables concernent la cimenterie qui utilise 15 % du total des scories de haut fourneau produites par l'aciérie d'Ilva ainsi que les déchets métalliques collectés dans toute la province. Des échanges ont également lieu dans l'industrie alimentaire, de même, les entreprises agricoles utilisent les eaux usées des moulins à l'huile d'olive comme engrais (Notarnicola et al., 2016).

En effet, la consommation d'énergie et les émissions de GES potentiellement évités grâce aux liens symbiotiques ont été estimés respectivement à **170 82 tep/an** et **1660,90 teq CO₂/an** (Ibid.).

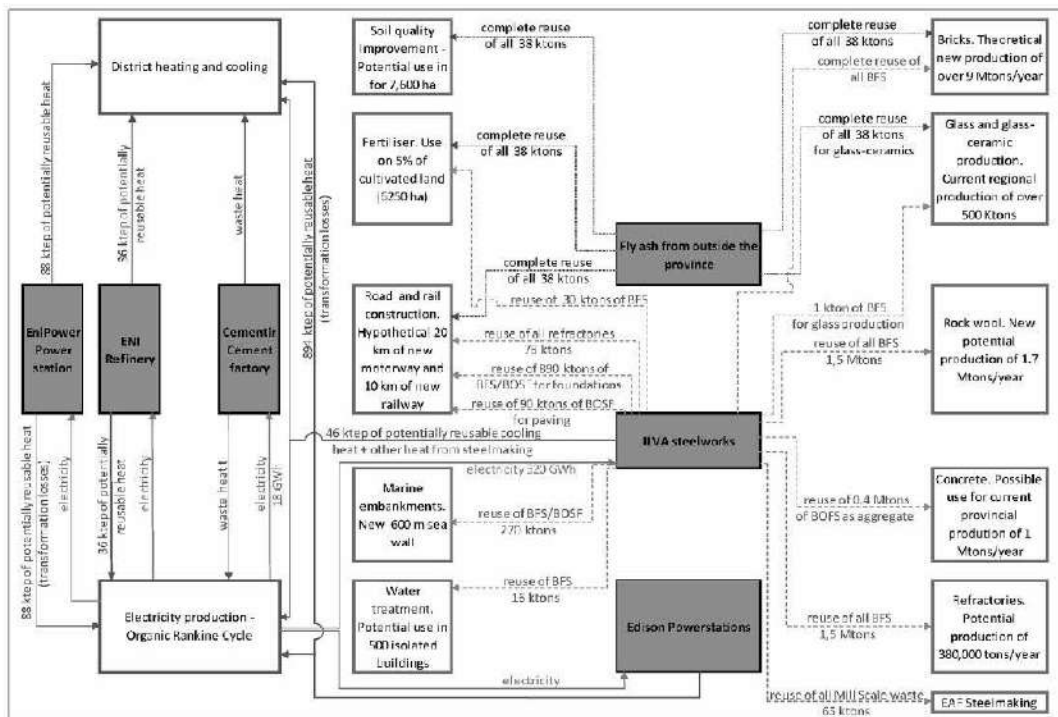


Figure 1. 23 : Principaux liens symbiotiques existants et proposés pour le district de Tarente (Notarnicola et al., 2016)

• **La symbiose Urbaine de Kawasaki au Japon**

La ville de Kawasaki appartient à la préfecture de Kanagawa, au Japon. Elle est située entre les deux plus grandes villes japonaises, Tokyo et Yokohama, comme le montre **la figure 1.17** supra. Historiquement, la ville de Kawasaki a été développée comme l'une des villes industrielles les plus productives avec 74 installations industrielles à Kawasaki, la plupart d'entre elles sont situées dans la zone côtière de la ville, en particulier les industries à forte consommation d'énergie, comme la sidérurgie, les produits chimiques et le ciment (H. Dong et al., 2014).

En 1997, un programme national d'éco-villes a été lancé visant d'une part la revitalisation des industries locales et d'autre part prolonger la durée de vie des sites d'enfouissement existants³⁰ via la création de *SUR*, à l'échelle locale (Ohnishi et al., 2017). À Kawasaki, l'objectif du projet était de revitaliser la zone portuaire et créer des *SUR*, permettant la réduction des impacts des activités industrielles sur l'environnement (Massard et al., 2014).

La figure 1.24 présente le réseau symbiotique local mis en place dans l'éco-ville de Kawasaki. Ce réseau permet la récupération des flux de déchets résidentiels, commerciaux et industriels produits dans la ville et leur recyclage en matériaux utilisables par les industries locales à forte intensité énergétique. Les entreprises concernées sont actives dans l'industrie du papier, du plastique, du métal et du ciment, d'appareils ménagers, l'industrie chimique ainsi que dans la collecte de déchets (H. Dong et al., 2014).

Le gain en émissions de carbone obtenu grâce à cette symbiose est d'environ **4,26 Mt CO₂e**. Parmi celles-ci, environ **21,98 %** correspondent à la réduction de l'utilisation directe de l'énergie, **14,94 %** à la réduction des processus industriels et **63,08 %** à la réduction de l'extraction des matériaux en amont (H. Dong et al., 2014).

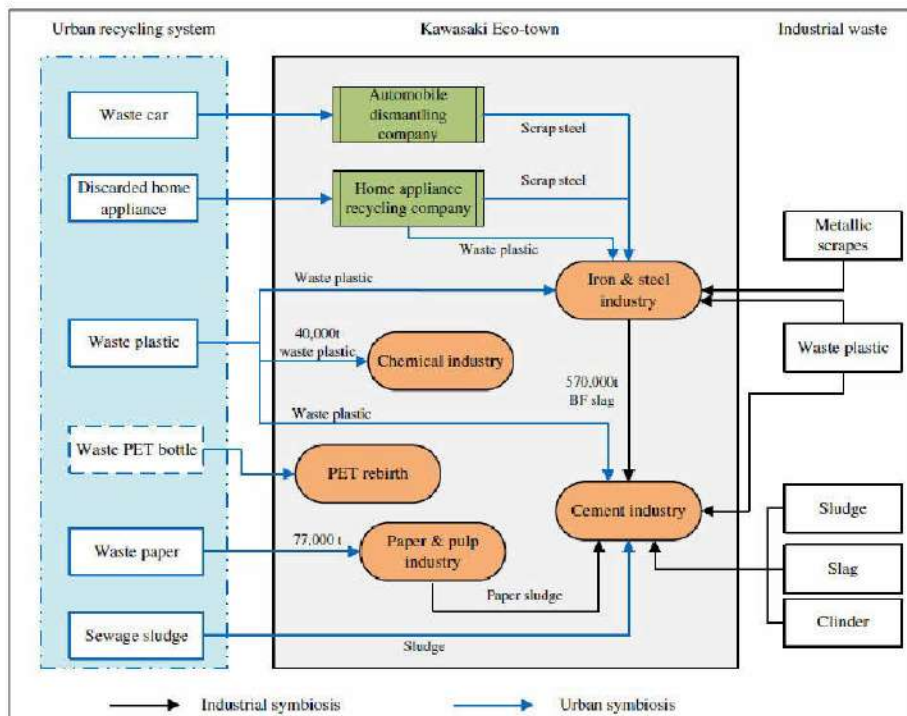


Figure 1. 24 : Réseau symbiotique de matière dans l'éco-ville de Kawasaki (H.Dong et al., 2014)

³⁰ Le Japon est confronté à une grave pénurie de sites d'enfouissement.

- **La symbiose Industrielle - Urbaine d'Ulsan - Corée du Sud**

Ulsan est une ville portuaire située dans le sud-est de la Corée du Sud, elle se caractérise par ses deux grands parcs industriels (*Mipo* et *Onsan*).



Figure 1. 25 : Localisation des parcs industriels d'Ulsan
(Kim et al., 2018)

Cette région a connu une forte pollution environnementale au cours des années 1980 (Massard et al., 2014). Son secteur industriel consomme énormément d'énergie, alors qu'un potentiel important de la chaleur résiduelle, provenant des processus industriels, est rejeté dans l'environnement, seulement une petite partie est récupérée (Kim et al., 2018).

En effet, avec la pénurie d'énergie et le CC mondial, le gouvernement coréen a imposé des politiques plus strictes pour renforcer les mesures d'économie et d'efficacité énergétiques dans tous les secteurs, ce qui a incité les entreprises à investir davantage pour améliorer leurs performances énergétiques et environnementales (Massard et al., 2014 ; Kim et al., 2018).

Avec l'initiative du projet symbiotique d'Ulsan, la ville a bénéficié de 14 réseaux de symbioses énergétiques de la chaleur de haute qualité impliquant différentes industries dans les parcs industriels *Onsan* et *Mipo* (pétrochimique, de construction automobile, construction navale, des métaux non ferreux, d'acier de métallurgie et d'industrie papetière) ainsi que la ville d'Ulsan. Ces réseaux symbiotiques portent principalement sur la récupération de la chaleur et de la vapeur produites à partir de la valorisation énergétique des déchets, des sous-produits et des eaux usées industrielles. Cette chaleur est acheminée vers le système urbain via un centre de gestion de la chaleur. Elle est utilisée pour le chauffage et le refroidissement des complexes d'appartements ou des bâtiments commerciaux. En revanche, les déchets municipaux combustibles sont envoyés dans une usine d'incinération et leur chaleur résiduelle est renvoyée au secteur industriel [Figure 1.26] (Kim et al., 2018).

Cette symbiose a permis de réduire la consommation d'énergie et les émissions de carbone des parcs industriels et de la ville avec des gains estimés respectivement à **136 333,4 tep/an** et **486 665,1 tCO₂/an** (Ibid.).

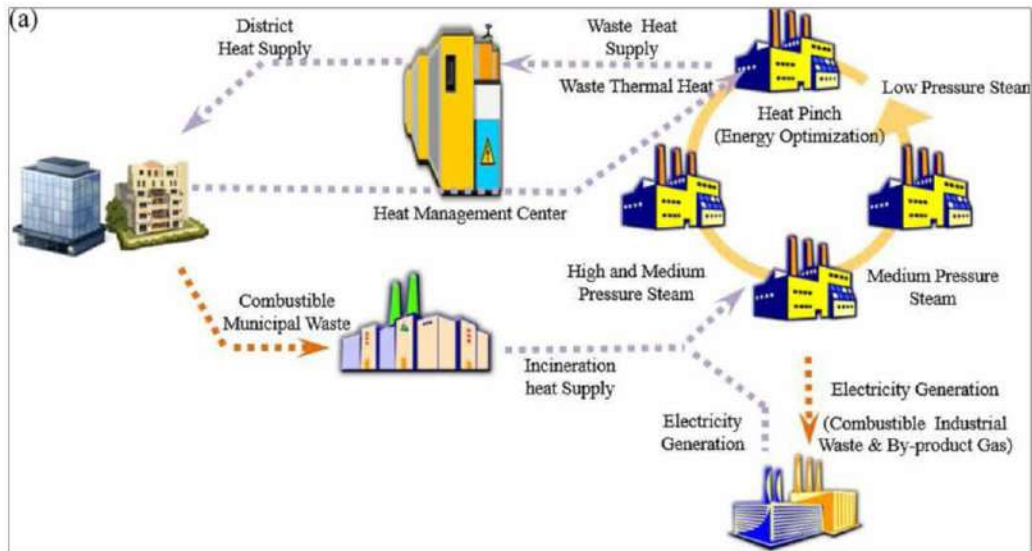


Figure 1. 26 : Réseaux symbiotiques de récupération d'Énergie à Ulsan (Kim et al., 2018)

- **La symbiose Urbaine de Guiyang -Chine**

Capitale de la province de Guizhou, la ville de Guiyang est située dans le sud-ouest de la Chine, **Figure 1.17**. C'est une ville industrielle dépendante des ressources naturelles. Guiyang est riche en charbon, en phosphate et en aluminium.

Cette richesse en ressources a favorisé le développement des industries, telles que les grandes centrales électriques au charbon, les grandes entreprises (sidérurgiques, de l'aluminium, les entreprises chimiques et les entreprises chimiques de phosphate (L.Dong et al., 2016). Ces industries contribuent à l'économie et à l'emploi local, cependant elles constituent également un défi pour la protection de l'environnement local. Les problèmes typiques sont les émissions de polluants lourds, les déchets solides volumineux et la dégradation écologique qui accompagnent l'industrie minière. Pour y faire face, le gouvernement local a mis en avant des stratégies de production plus propre et d'économie circulaire (basées sur la réduction, la réutilisation et le recyclage). Grâce à ses efforts, Guiyang a été sélectionnée, par la Commission Nationale du Développement et de la Réforme (CNDP) de la Chine, comme projet pilote national d'économie circulaire en 2005.

Une série d'initiatives en faveur de la gestion des déchets industriels et des déchets solides ménagers a été mise en œuvre. **La Figure 1.27** illustre le projet de *SUR*, proposé pour Guiyang dont les liens portent essentiellement sur (Fang et al., 2017) :

- **L'échange** de déchets solides industriels à partir des industries de sidérurgie, de l'aluminium, de l'industrie chimique du phosphate, des centrales électriques, de l'industrie du charbon vers l'industrie du ciment ;
- **Le recyclage** des déchets d'acier ;
- **La valorisation énergétique** des déchets solides municipaux en remplacement des combustibles fossiles (les pneus usagés et les déchets plastiques dans les fours de l'industrie sidérurgique) ;

- **Les réseaux énergétiques** : utilisation de la chaleur résiduelle entre les industries, et fourniture de chaleur résiduelle industrielle aux zones urbaines (par exemple, aux bâtiments commerciaux et résidentiels) et au secteur agricole (fourniture de la vapeur aux serres).

Les gains en consommation d'énergie fossile et en émissions de CO₂ issus de cette symbiose ont été estimés respectivement à **18 864 tep/an** et **49 046 t/an de CO₂** (Fang et al., 2017).

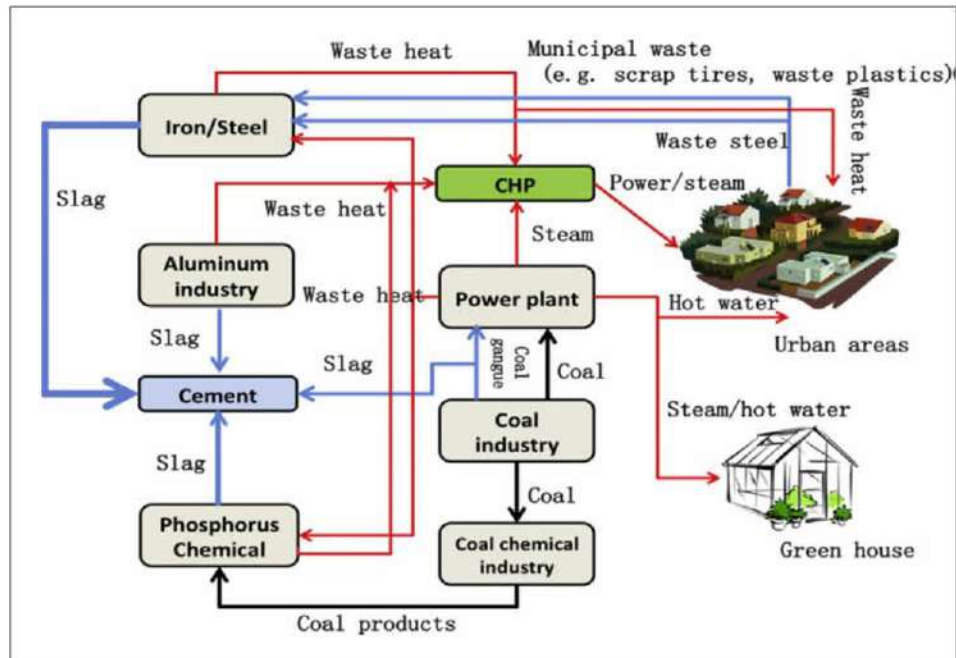


Figure 1. 27 : La SIU de Guiyang (Fang et al., 2017)

- **La symbiose de Guayama - Porto Rico - États-Unis**

Guayama est une ville située dans la plaine côtière sud de l'île Porto Rico (territoire non incorporé des États-Unis) [Figure 1.17]. Elle se distingue par son site industriel mixte qui regroupe un grand nombre des mêmes industries que Kalundborg : centrale électrique au charbon, des industries de produits pharmaceutiques, une raffinerie pétrochimique et divers fabricants de produits légers (Chertow & Lombardi, 2005 ; Chertow & Ashton, 2009).

Dans la région de Guayama, les ressources en eau constituent l'une des principales préoccupations environnementales et cela depuis le milieu du 20^e siècle. L'eau de surface souffre d'une infrastructure inefficace et d'une mauvaise qualité et les eaux souterraines ont été contaminées (par les rejets industriels) et surexploitées par l'agriculture et l'industrie, ce qui a entraîné l'empiètement de l'eau salée sur l'aquifère côtier (Chertow & Lombardi, 2005).

À partir de 2002, des symbioses industrielles commencent à se développer de manière spontanée lorsque les conditions réglementaires dues à la rareté de l'eau dans la région ont poussé une nouvelle centrale au charbon (*AES*) à utiliser les eaux usées municipales et à co-générer de la vapeur pour une raffinerie pétrochimique voisine (*Chevron-Phillips*) (Massard et al., 2014).

Mais ce n'était que le début. Quelques années plus tard, *AES* a commencé à commercialiser ses sous-produits de cendres auprès de décharges industrielles (pour stabiliser les déchets liquides) et de chantiers de construction (comme matériau d'agrégat) et est continuellement à la recherche d'opportunités de *SI*. L'expérience réussie de cette industrie d'ancrage a influencé d'autres entreprises et sensibilisé la région. Guayama est le site de diverses autres industries, notamment

pharmaceutiques, cosmétiques, mécaniques et d'emballage (Massard et al., 2014). La figure 1.28 présente les principaux échanges symbiotiques établis à Guayama.

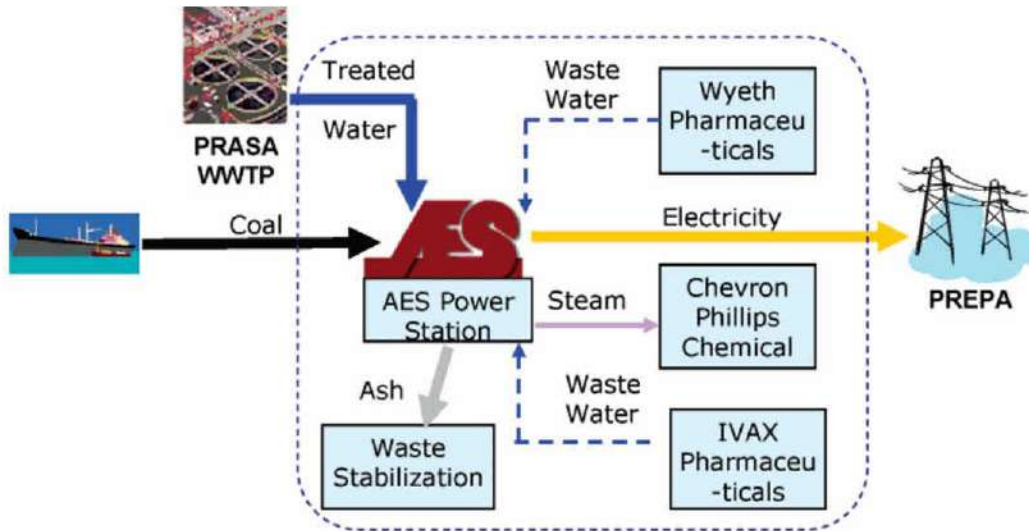


Figure 1. 28 : Échanges symbiotiques à Guayama - Porto Rico (Chertow & Lombardi, 2005)

Selon l'évaluation de cette symbiose, les avantages économiques et environnementaux s'avèrent importants avec la réduction de la consommation de 4 millions de gallons d'eau douce par jour via la valorisation des eaux usées, la réduction des émissions de dioxyde de soufre (SO₂), d'oxyde d'azote (NO_x) et des particules de moins de 10 mm (PM₁₀). Cependant, l'inconvénient se trouve dans l'augmentation des émissions de CO₂ de 38 % en raison du remplacement du pétrole par le charbon dans la production de la vapeur, dont il a été estimé que la production de 1000 livres (pounds) de vapeur par la combustion de mazout génère 195 livres de CO₂ contre 332 livres générées par la combustion du charbon (Chertow & Lombardi, 2005).

1.2.3.2 Synthèse et discussion des cas analysés

Les exemples analysés nous ont permis d'appréhender les différentes possibilités offertes par les SUI/SUI pour l'atténuation du CC aussi bien à l'échelle des parcs industriels qu'à l'échelle de la ville et cela via l'optimisation des différents flux métaboliques (eau, matière énergie).

Le tableau 1.3 ci-dessous résume les implications des échanges symbiotiques sur la réduction de consommation d'énergie et des émissions de CO₂. Les gains obtenus sont conséquents dans pratiquement toutes les expériences de SUI/SUI étudiées.

Nous avons vu également que ces gains sont issus à partir des différents types de flux, selon l'objectif de la symbiose : par exemple dans les cas des symbioses de Tarente et de Kawasaki, les échanges basés sur le recyclage des déchets en matière secondaire ont permis d'éviter les émissions liées à l'extraction et à l'enfouissement. Dans le cas d'Ulsan, la valorisation énergétique des déchets a permis de produire de nouvelles sources renouvelables (chaleur, vapeur, biogaz, électricité) et réduire en conséquence la consommation d'énergie fossile. Par ailleurs, les gains dans le cas de la SUI de Guiyang sont issus en même temps du recyclage et de valorisation énergétique des déchets. Alors que dans les symbioses de Kalundborg, Hammarby et Barcelone qui sont des projets de références, les gains obtenus sont issus des échanges symbiotiques basés sur la valorisation des flux d'eau, de déchets, mais aussi de l'énergie produite et récupérée à partir de ces processus.

La seule expérience qui a enregistré une augmentation dans les émissions de CO₂, c'est la *SI* de Guayama à Porto Rico, et cela est dû à la substitution du pétrole par le charbon (à fort facteur d'émission) dans sa production des ressources renouvelables (vapeur).

<i>SI/SUR</i>	Principaux Flux optimisés	Red. /Augm en consom d'énergie	Red /Augm en Émissions de CO ₂	Source
[1] La <i>SI</i> de Kalundborg	Eau/ Matière/ Énergie	↘ 30000 tonnes de carburant fossile/an	↘ 130 000 t/an	Ehrenfeld & Chertow (2002)
[2] Le modèle de Hammarby		↘ 28 à 42 %	-	Suzuki et al., 2010
[3] Le modèle de Barcelone		↘ 8%	↘ 35%	Ajuntament de Barcelona, 2018
[4] La <i>SI</i> de Tarente		↘ 170 82 tep/an	↘ 1660,90 t eq CO ₂ /an	Notarnicola et al. (2016)
[5] La <i>SUR</i> de Kawasaki	Déchets/ Énergie	-	4,26 Mt/an	Dong et al. (2014)
[6] La <i>SI/SUR</i> d'Ulsan		↘ 136 333,4 tep/an	↘ 486 665,1 t/an	Kim et al. (2018)
[7] La <i>SI/SUR</i> de Guiyang		↘ 18 864 tce/an	↘ 49046 t/an	Fang et al. (2017);
[8] La <i>SI</i> de Guayama – Porto Rico	Eau/ Énergie	-	↗ 38 %	(Chertow & Lombardi, 2005)

Tableau 1. 3 : Implications des *SUR/SI* sur la consommation d'énergie et les émissions de CO₂ à partir d'expériences internationales

En faisant référence à l'ensemble des cas étudiés, cette analyse nous permet de démontrer les performances de *SI/SUR* en matière d'optimisation d'énergie et d'atténuation des émissions de CO₂ dans l'air.

1.3. Synthèse et conclusion du Chapitre 1

Ce premier chapitre nous a permis de saisir le problème du Changement Climatique et étudier les possibilités de son atténuation offertes par la stratégie de *Symbiose Urbaine*.

Dans la 1^{ère} section, nous avons exposé les enjeux du CC dans leur dimension globale et locale, en soulignant l'importance de la contribution des villes à ces changements et des effets qu'elles pourraient subir en conséquence. Il s'agit des modifications observées dans l'état du système climatique depuis plusieurs décennies. Ces dernières ayant entraîné une hausse des températures moyennes atmosphériques et océaniques, la fonte des glaciers et l'élévation du niveau des mers ainsi qu'une variation dans la fréquence et l'intensité des précipitations. Cela est essentiellement dû à l'accumulation de GES constitués en grande partie des émissions de CO₂, liées à la consommation d'énergie nécessaire au fonctionnement des activités entropiques qui se déroulent principalement dans les villes, dont : l'habitat, l'industrie, l'agriculture et le transport. D'autant plus que le processus d'urbanisation, auquel est associée une croissance démographique et économique qui ne cesse d'augmenter, est aussi un facteur moteur de la croissance de la consommation d'énergie et des émissions de CO₂. Cette spirale accélère les émissions de GES et pourrait induire un réchauffement supplémentaire dans l'avenir. En effet, les risques de catastrophes naturelles que fait peser le Changement Climatique sur les villes ont des implications tangibles sur les structures urbaines physiques, les ressources naturelles locales et en conséquence

sur la sécurité des populations, leur stabilité économique et sociale et leur qualité de vie dans le monde entier, et cela malgré les disparités géographiques.

Nous avons également abordé les principales stratégies mises en place pour faire face au danger du CC. Cette lecture relève la priorité accordée à la stratégie d'atténuation par rapport à l'adaptation, dans l'agenda politique mondial, où la réduction des émissions de CO₂ se présente comme un élément clé d'atténuation. Ainsi, le rôle déterminant des villes dans la mise en œuvre d'un tel objectif s'affirme de plus en plus dans la scène internationale. Ces dernières émergent comme une échelle privilégiée pour repenser les relations entre économie, société et environnement, mais aussi pour l'expérimentation et l'innovation de modèles et de stratégies multi-acteurs, multiniveaux et multisectorielles, cependant l'action locale reste largement dépendante des stratégies nationales des pays. Dans ce cadre, nous avons survolé la situation climatique en Algérie et les enjeux auxquels est confrontée pour contribuer à l'effort global contre le CC. Bien que sa contribution en termes d'émissions de GES soit faible, les effets qu'elle pourrait subir pourraient être destructeurs. Cependant les programmes mis en place dans le cadre du PNC pour y faire face restent limités à l'échelle nationale, les actions mises en œuvre sont ponctuelles, focalisées sur quelques régions du pays. Alors qu'une véritable stratégie à l'échelle locale requiert le développement de nouveaux outils de planification locaux. L'avantage est que le PNC est ouvert à la recherche dans les différents domaines, au profit de l'atténuation du CC.

La 2^e section de ce chapitre nous a permis de comprendre le cadre conceptuel de la stratégie de *SU_r*, et mettre en évidence son potentiel considérable en termes d'optimisation d'énergie et d'atténuation des émissions de CO₂.

À travers la revue de la littérature, nous avons pu dégager les principaux éléments conceptuels, méthodologiques et pratiques du concept de *SU_r*. Ce dernier a été développé à l'origine dans le domaine de l'*ÉI* comme étant un concept élargi de celui de *SI*. Le concept de *SU_r* offre la possibilité de boucler les flux métaboliques non pas seulement à l'échelle des parcs industriels, mais aussi à l'échelle urbaine locale, de commune ou de quartier. En tirant parti de la proximité, la *SU_r* permet de valoriser les rejets en ressources via la création des réseaux d'échanges de matière, d'eau et d'énergie entre différentes activités urbaines. Ainsi l'échelle, la diversité des activités et la portée plus large des symbioses urbaines se dégagent comme des éléments clés de différence entre *SI/SU_r*. Par ailleurs, un large éventail de terminologies connexe se développe dans la littérature reflétant l'étendue et la diversité des contextes scientifiques, politiques et culturels des régions dans lesquels évoluent les symbioses urbaines et industrielles.

Les recherches dans ce domaine évoluent selon trois axes importants : le 1^{er} porte sur le développement des concepts depuis la métaphore de "*symbiose*" inspirée des analogies avec les écosystèmes naturels, à une vision écosystémique plus large des systèmes industriels et urbains, intégrant l'ensemble des processus socio-économiques pour un développement symbiotique urbain durable ; le 2^e axe porte sur l'évolution des outils d'analyse et d'évaluation, dont les méthodes de quantification AFM, ACV et EC, qui constituent des outils d'aide à la décision pour la gestion environnementale des ressources et des rejets. Enfin, le 3^e axe porte sur l'évolution des recherches empiriques, un axe potentiel dans le domaine ayant permis l'évaluation des performances environnementales et socio-économiques d'une grande partie des projets symbiotiques opérationnels. Cette lecture nous a permis de relever les contributions scientifiques les plus pertinentes portant sur l'étude des performances des *SI/SU_r* en matière d'atténuation du

CC dans différents projets pionniers. Cependant, la majorité de ces études se focalisent principalement sur l'évaluation des *SI*. Le peu de modèles urbains symbiotiques qui existent fait que les études sur leurs performances restent à leur début. À travers l'analyse de ces contributions, nous avons pu démontrer le potentiel important d'optimisation d'énergie et de réduction des émissions de CO₂, obtenu grâce aux liens symbiotiques, aussi bien à l'échelle des systèmes industriels qu'urbains. **Cela nous permet de valider la première partie de l'hypothèse (1) qui stipule que l'optimisation des différents flux métaboliques d'une ville par la stratégie de *SU_r* contribue directement à améliorer son bilan carbone.**

La *SU_r* pourrait donc constituer un outil potentiel pour l'atténuation du CC à l'échelle urbaine locale. Cependant, son application dans le contexte local en Algérie, passe par un effort de modélisation et d'évaluation. Pour commencer, la définition d'un modèle urbain symbiotique bas carbone sera au centre de notre prochain chapitre.

Chapitre 2 : Modélisation d'un Système Urbain Symbiotique performant en termes d'atténuation des émissions de CO₂ à l'échelle urbaine locale

Tel que nous l'avons vu dans le premier chapitre, la notion de *Symbiose Urbaine* repose sur une vision écosystémique, selon laquelle la ville est considérée comme un *système*, voir un *écosystème* spatial complexe. La représentation d'un tel *système* et l'évaluation de son comportement impliqueraient le développement d'une meilleure compréhension des outils méthodologiques permettant son appréhension.

Dans ce chapitre nous cherchons à construire un **modèle urbain symbiotique bas carbone "SU-BC"**. Pour ce faire, notre travail s'organise en deux sections. La première section (2.1) vise à définir le cadre méthodologique et les outils de référence autour desquels se construit notre démarche de modélisation systémique. Elle débute par une présentation de l'approche systémique, ses concepts et ses principes théoriques généraux. Elle définit ensuite la modélisation systémique et décrit les principes et les éléments de sa représentation ainsi que les étapes de son élaboration. Elle se termine enfin par une description de ses principaux outils méthodologiques.

La deuxième section (2.2) s'attache à définir les éléments de notre *système urbain symbiotique*, analyser ses performances en termes d'atténuation des émissions de CO₂ pour enfin représenter le modèle performant choisi que nous utilisons par la suite comme référence dans l'étude du contexte local d'Alger.

2.1. Approche méthodologique de la modélisation systémique

2.1.1 L'approche systémique

L'approche systémique est une approche qui regroupe les démarches théoriques, méthodologiques et pratiques relatives à l'étude de ce qui est reconnu comme trop complexe pour pouvoir être abordé de façon réductionniste (Donnadieu, Durand, Neel, Nunez, & Saint-Paul, L, 2003), ou présenté de manière fragmentée, isolée, non considérée dans sa totalité, sa complexité et sa dynamique (Lapointe, 1998).

Sa définition est souvent donnée en opposition à l'approche analytique classique basée sur une décomposition systématique des problèmes en autant d'unités élémentaires que possible, comme le présente le **tableau 2.1** (Lapointe, 1998 ; Repetti, 2004).

Approche analytique	Approche systémique
Ramène le système à ses éléments constitutifs les plus simples	Considère le système dans sa totalité, sa complexité et sa dynamique
Décompose et précise les détails	S'appuie sur la perception globale
Isole : se concentre sur les éléments	Relie : se concentre sur les interactions entre les éléments
Considère la nature des interactions	Considère les effets des interactions
Modifie une variable à la fois	Modifie des groupes de variables simultanément
Indépendante de la durée : les phénomènes considérés sont réversibles	Intègre la durée et l'irréversibilité
La validation des faits se réalise par la preuve expérimentale dans le cadre d'une théorie	La validation des faits se réalise par comparaison du fonctionnement du modèle avec la réalité
Approche efficace lorsque les interactions sont linéaires et faibles	Approche efficace lorsque les interactions sont non linéaires et fortes
Conduite disciplinaire	Conduite interdisciplinaire
Conduit à une action programmée dans son détail	Conduit à une action par objectifs
Connaissance des détails, buts mal définis	Connaissance des buts, détails flous

Tableau 2. 1 : Comparaison des approches analytique et systémique

(De Rosnay, 1979 ; Lapointe, 1998 ; Repetti, 2004)

Pour comprendre cette approche et saisir ses principes théoriques généraux, ses concepts de bases et ses outils méthodologiques, nous avons jugé utile de la situer dans son environnement temporel et présenter quelques mouvements ou théories qui ont préparé son avènement.

2.1.1.1 Émergence et évolution de l'approche

L'approche systémique est née aux États-Unis au début des années 50, elle a été connue et pratiquée en France depuis les années 70 (Donnadieu et al., 2003). Elle émerge de la conjugaison des théories développées au sein de plusieurs disciplines ³¹(Lapointe, 1998). Globalement, et sans rentrer plus dans les détails, l'émergence de l'approche trouve ses racines dans les mouvements précurseurs, particulièrement le structuralisme puis la cybernétique et la théorie de l'information qui ont précédé le développement de la théorie systémique et lui ont beaucoup apporté (Durand, 2017) :

- **Le structuralisme**

Né au début du 20^{ème} siècle dans le domaine des sciences humaines, le structuralisme est un mouvement qui s'est développé sous des formes multiples, son domaine d'élection est celui des sciences sociales³². Son dénominateur commun est la notion de *structure* qui fournit au chercheur une base qui manquait jusqu'alors. L'approche structuraliste (ou structurelle) permet en effet

³¹ Dont les contributions spéciales provenant de la biologie, des mathématiques, de la physique, de l'ingénierie et de la gestion. Il convient, à partir de ces domaines, de retenir les apports significatifs de V. Bertalanffy, N. Wiener, C. E. Shannon, W. Weaver, et J. W. Forrester (Lapointe, 1998).

³² Notamment de la linguistique, de l'anthropologie et de la psychologie (Durand, 2017)

d'obtenir à la fois une meilleure intelligibilité des phénomènes constatés et de bonnes possibilités de formalisation et donc de généralisation (Durand, 2017).

- **La cybernétique³³**

La théorie de la cybernétique ou théorie du contrôle est utilisée en 1948 par Norbert Wiener³⁴ (Durand, 2017). Elle vient marquer une rupture avec le structuralisme en s'intéressant aux *interactions* entre les éléments et non pas seulement aux éléments eux-mêmes (Desthieux, 2005).

Dans son étude sur les analogies entre le comportement des organismes vivants et celui des servomécanismes (Certu, 2007), Wiener propose une représentation des organismes vivants et des machines construites par l'homme et de leur fonctionnement mécanique en mettant l'accent sur l'objectif poursuivi par le système³⁵ : *la finalité* de la machine est de réaliser des opérations déterminées par avance (Durand, 2017). Il utilise plusieurs concepts, notamment celui de *boîte noire*, un concept qui permet d'ignorer le fonctionnement interne du système et de le considérer comme comportant des entrées et des sorties (Desthieux, 2005 ; Durand, 2017). Wiener et ses collègues arrivent à la conclusion que : « *pour contrôler une action finalisée (orientée vers un but), la circulation de l'information nécessaire à ce contrôle doit former une boucle fermée permettant d'évaluer les effets de ses actions et de s'adapter à une conduite future grâce aux performances passées* » (in De Rosnay, 1979, p.62 ; Lapointe, 1998, p.6).

Cette conclusion a permis de mettre en évidence l'existence de *boucles de rétroaction* dans les systèmes physiologiques et techniques (Certu, 2007). Nous n'avons plus affaire à une simple relation de cause à effet, mais à une relation plus complexe dans laquelle l'effet obtenu rétroagit sur la cause (Durand, 1979, p.40). En effet, ces concepts de *finalité* et de *boucle de rétroaction* que la cybernétique a fait émerger constituent des concepts majeurs de la systémique (Durand, 1979).

- **La théorie de l'information et de la communication**

La théorie de l'information et de la communication s'est développée par Shannon et Weaver³⁶ parallèlement à la cybernétique, à la même époque. Ces deux auteurs élaborent cette théorie en reconnaissant que l'information peut être traitée par une machine, une plante ou un animal. Ils dégagent alors le concept *d'information*, en considérant uniquement l'énergie qui circule dans une voie de communication (Lapointe, 1998).

Cette théorie présente la communication comme un processus responsable de la transmission d'informations, sous forme de messages, entre un émetteur et un récepteur par le biais d'un ou de plusieurs *réseaux* qui agissent comme support (Lapointe, 1998). Elle s'intéresse à la forme du message et l'efficacité de sa transmission (Durand, 2017).

³³ Le terme cybernétique signifie « l'action de manœuvrer un navire » et au sens figuré l'action de diriger, de gouverner (Durand, 2017).

³⁴ Dans son ouvrage fondateur de la discipline "*Cybernetics, or Control and Communication in the Animal and the Machine*" (« Cybernétique ou contrôle et communication dans l'animal et la machine »).

³⁵ Contrairement à la méthode cartésienne sur la cause.

³⁶ Dans leur ouvrage "*The Mathematical Theory of Communication*" (« La théorie mathématique de la communication ») paru en 1949.

• La Théorie générale des systèmes

C'est à partir des courants précédents qu'émerge *la théorie générale des systèmes*, son champ s'élargit progressivement notamment aux domaines des sciences humaines et sociales (Durand, 2017), pour constituer peu à peu la science des systèmes ou pensée systémique³⁷ (Certu, 2007). Cette évolution revient à l'inter-fécondation des idées entre différentes disciplines, mais aussi au rôle déterminant d'un certain nombre de chercheurs ayant contribué à l'élaboration d'une synthèse théorique de l'ensemble des lois qui semblent fonder la science des systèmes³⁸ (Certu, 2007).

Le premier à s'être attelé à cette tâche est Ludwig Von Bertalanffy qui, en 1968, rassemble ses différents travaux dans un ouvrage de synthèse intitulé *General System Theory*³⁹ (Certu, 2007 ; Lapointe, 1998 ; Durand, 2017). Dans cet ouvrage, l'auteur cherchait, à partir de son domaine⁴⁰, à construire une théorie générale qui permette d'aborder les êtres vivants en tant que systèmes et en faire une méta-discipline logico-mathématique ayant vocation de concerner toutes les sciences (Piroton, 2005). Il développe le concept de *système ouvert* qui prône une appréhension *globale* du système, insistant sur l'importance de la compréhension des *relations* entre les différents éléments et non comme préconisé par la pensée classique une saisie analytique des éléments du système (Certu, 2007 ; Lapointe, 1998). Von Bertalanffy veut tout à la fois transcender les spécialisations sectorielles qui caractérisent les sciences modernes et surmonter la confusion entre comprendre et découper en unités élémentaires (Piroton, 2005).

Approximativement à la même époque, Herbert Simon et Kenneth Boulding contribuent eux aussi à théoriser les principes développés dans le cadre de leurs travaux. La définition des concepts *d'arborescence* et de *niveaux d'organisation* constitue ainsi une première étape vers l'effort de construction d'une typologie des systèmes basés sur *l'organisation en niveaux hiérarchiques* (Certu, 2007).

Par ailleurs, dans une tentative de généralisation des différents travaux sur la systémique Jay Forrester, à partir de son domaine des sciences de l'ingénieur, aboutit à la création d'une nouvelle discipline, *la dynamique des systèmes* (Certu, 2007). Forrester était focalisé sur les questions stratégiques de gestion d'entreprise. Il considère l'entreprise en tant que système et tente, par *la simulation*, de prévoir son comportement. Il démontre, ainsi, que l'instabilité était due au système interne de l'entreprise et non à des raisons externes. Forrester dégage une technique de *modélisation* et met au point le langage *Dynamo* facilitant *la modélisation systémique*. Plus tard, il étend cette approche aux systèmes urbains (Lapointe, 1998). En fait, *la dynamique des systèmes* connaît un grand succès dans des domaines aussi variés que la biologie, l'environnement, ou la gestion grâce à son caractère opérationnel. Par ailleurs, les difficultés auxquelles elle se heurte par la suite, notamment en termes de quantification et de modélisation, induisent la différenciation de la systémique en deux courants (Certu, 2007):

D'un côté, la systémique de première génération (1ère systémique), en filiation directe avec la cybernétique, s'appuie sur des méthodes quantitatives et sur l'outil informatique pour, au-delà de la seule compréhension du système, tenter de prévoir son comportement (Certu, 2007).

³⁷ Connu également sous le vocable plus général de *systémique* (Durand, 2017).

³⁸ Parmi eux, H. Simon, H. von Foerster, J. Forrester, E. Morin, I. Prigogine, H. Atlan, J.L. Le Moigne..., etc.

³⁹ Traduit en français sous le titre "La théorie générale des systèmes".

⁴⁰ En tant que biologiste et psychologue.

La systémique de seconde génération (ou 2^{ème} systémique), appelée *System Thinking*, s'inscrit dans une perspective un peu différente par rapport à la démarche prospectiviste de la systémique de première génération. Il s'agit dans cette conception de mettre l'accent sur *l'intelligibilité* du comportement du système. Son but est de concevoir des modèles qualitatifs, de facture topologique par exemple, qui permettent d'entrer dans *l'intelligence* du phénomène et, éventuellement, d'en orienter l'action (Certu, 2007). Elle se base sur la propriété des systèmes ouverts (échange de matière, d'énergie et d'information), pour étudier l'évolution dynamique des systèmes vers une finalité souhaitée selon un mécanisme d'auto-organisation (Desthieux, 2005). Cette systémique de seconde génération a connu elle aussi un grand succès notamment au Mexique et en France. Il convient de citer Jean-Louis Le Moigne, qui a particulièrement contribué au développement et aux applications de la pensée systémique, ainsi que l'AFSCET (Association française de sciences des systèmes cybernétiques cognitifs et techniques) qui travaille en groupes d'études pluridisciplinaires sur la systémique (Certu, 2007).

L'évolution de la systémique a permis de mettre en évidence de nouveaux outils conceptuels, de nouvelles façons de définir la réalité pour faire face à la complexification des phénomènes avec lesquels nous devons composer (Lapointe, 1998). Sa démarche a déjà donné lieu à de nombreuses applications dans différents domaines (en biologie, en écologie, en économie, dans les thérapies familiales, le management des entreprises, l'urbanisme, l'aménagement du territoire, etc.) (Donnadieu, 2003).

2.1.1.2 Principes généraux de l'approche systémique

Selon Le Moigne (1977), la systémique se déploie selon quatre volets dont les buts seraient de :

- « développer la théorie explicative de l'univers considéré comme système ;
- modéliser la complexité ;
- rechercher les concepts, lois et modèles de même forme pouvant s'appliquer à différents ensembles ;
- conceptualiser des artefacts ou outils » (Le Moigne 1977 in Lapointe, 1998, p.4)

Ainsi, l'approche systémique permet de *décrire et comprendre* le fonctionnement des systèmes complexes, quels qu'ils soient, *de les modéliser*, mais aussi d'être capable de *s'y orienter* dans leur complexité et d'agir sur elle (Donnadieu et al., 2003 ; Lapointe, 1998 ; Piroton, 2005).

Sa démarche repose sur les principes théoriques généraux (tels que : vision globale, organisation, interaction, rétroaction, régulation, finalité, évolution, etc.) et les outils pratiques de la modélisation systémique avec lesquels elle prend forme (Donnadieu et al., 2003).

Sa mise en œuvre passe par un effort d'apprentissage conceptuel et pratique auquel doivent consentir tous ceux (chercheurs, décideurs professionnels et politiques, hommes d'action, mais aussi simples citoyens désireux de comprendre leur époque) qui ont l'ambition d'appréhender la complexité. Ainsi, l'approche systémique ouvre une voie originale et prometteuse à la recherche et à l'action (Donnadieu et al., 2003).

En résumé, l'approche systémique est l'application du concept de *système* à la définition et à la résolution de problèmes, ainsi qu'à la mise en œuvre de décisions et d'actions (Lapointe, 1998). Elle se présente comme l'alliance indissoluble d'un *savoir* et d'une *pratique* en combinant en permanence *connaissance* et *action* (Donnadieu et al., 2003).

Pour sa part, le concept de "système" constitue le socle sur lequel repose la systémique. Un aperçu de quelques citations de cette notion nous permet de bien saisir sa définition.

2.1.1.3 Le concept de système

Étymologiquement, le mot provient du grec *sustēma* qui signifie "ensemble cohérent" (Donnadieu et al., 2003). Plusieurs définitions peuvent être données à la notion de système :

- Pour Von Bertalanffy le système « *est un complexe d'éléments en interrelation mutuelle* » (in Durand, 2017, p.9 ; Lapointe, 1998, p.8).
- Pour Braichet, 1996, un système peut être défini comme « *un tout organisé de composantes en interactions* » (Braichet, 1996⁴¹ ; Repetti, 2004, p.28).
- Pour De Saussure le système est « *une totalité organisée, faite d'éléments solidaires ne pouvant être définies que les uns par rapport aux autres en fonction de leur place dans cette totalité* » (in Durand, 2017, p.9).

Ces trois définitions très voisines et complémentaires mettent l'accent sur les notions de : *totalité* (Objet ou organisme complexe), *relations* (interactions) et *structure* (organisation structurelle, composantes, éléments). Nous avons retenu, par ailleurs, deux autres définitions qui viennent compléter les définitions précédentes :

- Celle de De Rosnay « *ensemble d'éléments en interaction dynamique, organisés en fonction d'un but* » qui met l'accent sur la *finalité* ou le but poursuivi par le système (in Durand, 2017, p.10 ; Donnadieu et al., 2003, p.3).
- Celle de Le Moigne (1994) qui affirme de manière plus précise qu'un système (général) est « *un objet qui, dans son environnement, doté de finalité, exerce une activité et voit sa structure interne évoluer au fil du temps sans qu'il perde pourtant son identité unique* » (Le Moigne, 1994, p.61). Le Moigne vient résumer ce qui précède et rajouter les notions de *relation avec l'environnement*, *fonctionnement* (organisation fonctionnelle) et *d'évolution*. Sa définition semble être plus générale, compatible avec toutes les définitions usuelles du concept de système et rassemble les éléments de définition communément entendus (Le Moigne, 1994).

L'ensemble des définitions données ci-dessus soulignent plusieurs concepts ou principes de base, qui à l'image de la systémique, se chevauchent, se complètent et ont de fortes interactions.

En récapitulant ces concepts, pour les besoins de notre recherche nous pouvons définir un système comme étant :

Un ensemble complexe de sous-systèmes structurés en composantes et éléments qui interagissent entre eux selon un fonctionnement symbiotique. Cette organisation (structurelle/fonctionnelle) évolue dans son environnement à travers le temps selon un objectif spécifique.

⁴¹ <http://www.unine.ch/autogenesis/glossair.htm>.

Cette définition nous permet de caractériser le système comme étant un mode de représentation (ou *un modèle*) tel que qualifié par Le Moigne (1994)⁴². Dans ce cadre, la modélisation des systèmes se présente comme un outil fondamental de la systémique (Repetti, 2004, Desthieux, 2005), c'est le processus d'action qui conduit à la construction d'un *modèle* (Durand, 2017), lequel constitue la transcription abstraite du système étudié (Naimi-Ait Aoudia, 2016).

Dans notre cas de recherche, la notion de *Symbiose Urbaine* renvoie plutôt à la nature complexe des *systèmes urbains symbiotiques*. Une telle complexité se justifie principalement par la *diversité des interactions* entre les différents éléments et composantes urbaines et par le *cycle des flux métaboliques (Input-Output)* qui régit la dynamique des processus fonctionnels et leur relation avec l'environnement naturel. La description d'un tel système et sa représentation passe par une compréhension de la modélisation, outil d'analyse fondamental de la systémique (Repetti, 2005).

2.1.2 La modélisation systémique : une méthode de représentation des systèmes

La modélisation « *est d'abord un processus technique qui permet de représenter, dans un but de connaissance et d'action, un objet ou une situation, voire un événement réputés complexes* » (Donnadieu et al., 2003, p.9) Elle est considérée comme « *un art par lequel le modélisateur exprime sa vision de la réalité* » (ibid.). Son objectif est de fournir un support explicite à la *conception de modèles* de phénomènes perçus (concrets ou abstraits, tangibles ou intangibles) (Le Moigne, 1994).

Pour sa part, un modèle peut être défini comme « *une "formalisation" simplifiée permettant de rendre compte d'un ensemble constitué d'un grand nombre d'objets (au sens descriptif) ou de situations* » (Lorrain, 2002, p.200). Selon Piroton (2005, p.9), le modèle d'un système « *est une description, qu'elle soit mentale ou figurée, une représentation figurant les éléments constitutifs du système et de son fonctionnement* ». Il peut être utilisé dans tous les domaines scientifiques concernés par la complexité (Donnadieu et al., 2003).

Selon le but du modélisateur, un modèle pourrait servir de support pour différentes finalités : mieux formuler, identifier et comprendre un problème complexe, étudier le fonctionnement dynamique d'un système pour anticiper son comportement, ou encore simuler une stratégie d'action pour le faire évoluer (Desthieux, 2005 ; Piroton, 2005). Il permet donc de rendre intelligibles les phénomènes complexes perçus et conçus (Le Moigne, 1994). Cependant, le modèle repose « *sur quelques règles (des lois générales, des principes) communes établies sur la longue durée et capables d'évoluer tout en conservant des propriétés intrinsèques lorsque le modèle se trouve soumis à un choc perturbateur* » (Lorrain, 2002, p.200).

2.1.2.1 Règles générales de modélisation

Pour qu'un modèle soit opératoire et permette à l'utilisateur de s'orienter dans la complexité et d'agir efficacement sur elle, le modélisateur doit prendre en compte certains critères et respecter certaines règles de construction (Donnadieu et al., 2003). Dans ce cadre, la systémique fait appel à un certain nombre de concepts ou principes généraux permettant de définir le modèle, déterminer

⁴² Selon Le Moigne (1994, p.62), le mot système caractérisait un mode de représentation (un modèle, donc) général et pourtant spécifique (image d'enchevêtrements et de combinaisons multiples).

son organisation interne et son rapport avec son environnement. Ces principes peuvent être regroupés en quatre volets selon leurs objectifs de la manière suivante :

- Des règles liées à l'exercice intellectuel de modélisation (concernant le modélisateur) ;
- Des règles ou principes de base liés aux propriétés générales d'un système ;
- Des règles liées à son rapport avec son environnement ;
- Des règles liées à son organisation interne.

Ces règles seront abordées en détail dans les paragraphes qui suivent.

- **Des règles liées à l'exercice de modélisation**

La pertinence

Selon ce précepte « *tout objet se définit par rapport aux intentions implicites ou explicites du modélisateur [...]. Nos intentions se modifiant, la perception que nous avons de cet objet se modifie* » (Le Moigne, 1994, p.43). En ce sens, le modèle ne peut être dissocié de la subjectivité du modélisateur. Celui-ci projette sur le système étudié sa représentation de la réalité, son point de vue. Il traduit par-là les objectifs du projet qu'il conduit (Certu, 2007). Il convient de noter que la même réalité, perçue par deux modélisateurs différents, ne débouchera pas nécessairement sur le même modèle (Donnadieu et al., 2003). Dans le cadre de notre recherche, nos intentions de modélisation découlent de notre perception en tant qu'urbaniste qui se nourrit de l'observation du fonctionnement des villes et de leur métabolisme urbain, mais aussi des avancées théoriques et pratiques dans le domaine de la planification urbaine durable.

La téléologie : étude des finalités

Selon la définition de De Rosnay, précédemment citée, tout système poursuit une finalité qui lui est propre. La finalité décrit ce qui est attendu d'un système (Lapointe, 1998). En d'autres termes, c'est la finalité qui détermine le comportement du système (Certu, 2007), car elle lui indique un sens ou une direction vers laquelle il pourra tendre (Desthieux, 2005) et pour laquelle il mobilise les moyens et les ressources nécessaires (Le Moigne, 1994 ; Durand et Nunez, 2002).

D'après le précepte téléologique, la finalité est redevable au concepteur du système en question (Le Moigne, 1994 ; Piroton, 2005). Le modélisateur est censé tout d'abord se doter d'un objectif (un projet) identifiable par rapport auquel, il pourrait étudier le comportement de son système (Le Moigne, 1994). Autrement dit, il doit s'interroger sur le "*pourquoi faire*" avant de se demander "*comment ça marche ?*" (Donnadieu et al., 2003). Cette observation nous paraît essentielle pour notre démarche méthodologique, en ce sens qu'elle nous oblige à bien définir les objectifs de notre modèle dont le but est clairement identifié en intitulé de la thèse.

Par ailleurs, en plus de justifier l'existence d'un système, la finalité fournit au modélisateur les critères nécessaires pour choisir, mettre en place les structures et déclencher les fonctions lui permettant de réaliser ses objectifs. De plus, il peut utiliser ces mêmes critères pour en mesurer l'efficacité, c'est-à-dire comparer ses extrants par rapport aux objectifs qu'il vise (Lapointe, 1998).

- **Des règles liées aux propriétés générales des systèmes**

Le caractère général d'un système repose sur trois concepts de base reliés entre eux qu'on peut présenter comme suit :

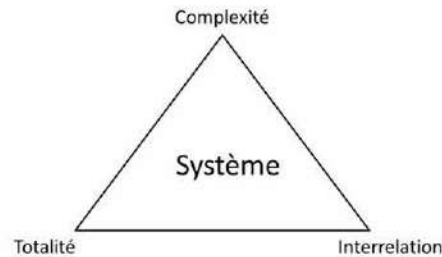


Figure 2. 1 : Caractéristiques de base d'un système (adapté de Donnadiou et al., 2003)

La complexité

Mélèze (1972) définit la notion de complexité comme étant « l'incapacité que l'on a de décrire tout le système et de déduire son comportement à partir de la connaissance des comportements de ses parties » (in Lapointe, 1998, p.13). Ce concept renvoie à toutes les difficultés de compréhension posées par l'appréhension d'une réalité complexe (Donnadiou et al., 2003).

Selon De Rosnay (1979), la complexité peut être attribuable aux facteurs suivants : (i) la grande variété des composants d'un système possédant des fonctions spécialisées ; (ii) la difficulté voire l'impossibilité de dénombrer de façon exhaustive les éléments qui le constituent (éléments organisés en niveaux hiérarchiques internes) ; (iii) et la grande variété des liaisons possibles entre eux (pour la plupart non linéaires) (De Rosnay, 1979).

La totalité (globalité)

C'est une propriété des systèmes complexes qui veut qu'on ne puisse vraiment les connaître sans les considérer dans leur ensemble (Donnadiou et al., 2003). Selon Von Bertalanffy (1968), un *complexe* formé de différents éléments interdépendants ne peut être réduit aux éléments isolés (In Repetti, 2004). Cette globalité exprime à la fois l'interdépendance des éléments du système et la cohérence de leur organisation d'ensemble (Donnadiou et al., 2003). La mise en œuvre opérationnelle de ce concept impliquerait l'appréhension de tous les aspects d'un problème à partir d'une vue globale avant d'approfondir les détails. Cette démarche requiert de nombreuses itérations et retours en arrière pour compléter ou corriger la vision antérieure (ibid.).

L'interrelation (ou l'interaction)

L'interaction est un concept fondamental de la systémique (Durand, 2017), il complète celui de globalité, car il s'intéresse à la complexité au niveau des relations entre les éléments du système pris deux à deux (A, B). Cette notion dépasse la simple *relation linéaire* de cause à effet (Donnadiou et al., 2003) (d'un élément A sur un élément B), pour comporter une double action de A sur B et de B sur A (Durand, 2017). C'est-à-dire une *relation circulaire* (Bertalanffy, 1968 in Desthieux, 2005) qui se traduit par un rapport d'échange ou d'influence/dépendance entre éléments et qui porte aussi bien sur des flux de matière, d'énergie et d'information (Donnadiou et al., 2003 ; Lapointe, 1998). Cette *relation circulaire* s'exprime également par la notion de *rétroaction* ou *feedback* (Desthieux, 2005).

- **Des règles liées au rapport avec l'environnement**

Un système se définit également par rapport à sa relation avec son environnement propre (Durand, 2017), il peut être *ouvert, fermé ou isolé* selon le degré d'échange et d'interaction qu'il entretient avec cet environnement [Major, 1999 in Desthieux, 2005]. Les systèmes urbains, par exemple, sont en interaction constante avec leur écosystème naturel qu'ils modifient et qui les modifie en retour. Ces notions sont très importantes dans le cas d'analyse systémique appliquée au métabolisme urbain, où l'échelle d'approche est conditionnée par la nature de lien input-output considéré.

Ouverture du système

Un *système* est *ouvert* lorsqu'il entretient en permanence des échanges avec son environnement (Durand, 2017 ; Pirotton, 2005). Ces échanges représentent *les entrées et les sorties* du système (Desthieux, 2005) à partir desquels le couple système-environnement maintient une relation permanente et une influence mutuelle (Lapointe, 1998) comme le souligne De Rosnay (1979) « *Les entrées résultent de l'influence de l'environnement sur le système et les sorties de l'action du système sur l'environnement* » (De Rosnay, 1979, p71). Dans ce cas, l'environnement correspond au cadre ou milieu avec lequel un système entretient des *interrelations* multiples (Durand, 2017).

En somme, *l'ouverture d'un système* soulève la question de la définition *des frontières (ou limites)* qui séparent *la totalité du complexe* d'éléments de son environnement avec lequel il *interagit* (Naimi-Ait Aoudia, 2016). Les frontières peuvent être de nature temporelle, spatiale, organisationnelle, juridique, etc.

Fermeture du système

À l'inverse, un système est fermé lorsqu'il est isolé de son environnement (Durand, 2017 ; Pirotton, 2005). Ce concept de *système fermé* ou *isolé* reste très théorique et restreint à des conditions expérimentales contrôlées en laboratoire. La plupart des systèmes réels (humains, organismes vivants) sont plus ou moins ouverts (Desthieux, 2005). Ils doivent cependant garder un certain degré de fermeture pour assurer leur maintien et leur identité et éviter d'être dissous dans cet environnement (Durand, 2017).

- **Des règles liées à l'organisation interne du système**

L'organisation c'est d'abord un agencement de relations entre les composants ou éléments du système, ce qui produit son unité (Le Moigne, 1994). Elle représente également *l'activité* du système (Le Moigne, 1994). De manière plus concrète, l'organisation comporte un aspect structurel et un aspect fonctionnel (Durand, 2017).

L'aspect structurel

La structure d'un système est l'organisation spatiale de ses composants. En général, elle représente la partie stable du système, qualifiée souvent *d'invariante* (Lapointe, 1998). L'organisation structurelle renvoie à une description *ontologique* du système, c'est-à-dire ce que le système *est* (Le Moigne, 1994). Dans cette visée, Durand (2017) indique le mode d'organisation modulaire, qui correspond à une organisation en *sous-systèmes* spécialisés (par exemple, le système

"entreprise" comprend les sous-systèmes de production, commercial, financier, de direction, etc.), qui eux-mêmes comportent un certain nombre de composantes et d'éléments (Durand, 2017).

L'aspect fonctionnel

Alors que l'organisation structurelle est *statique*, l'organisation fonctionnelle décrit un processus *dynamique* (Le Moigne, 1994). C'est le processus par lequel *les flux* de matière, d'énergie et d'information sont assemblés et mis en œuvre dans un jeu de relations linéaires ou circulaires (Durand, 2017 ; Repetti, 2005). Les relations circulaires impliquent une rétroaction qui peut être positive (lorsque l'effet diminue la cause, ou lorsque l'effet amplifie la cause et fait évoluer le système vers un nouvel état), ou négative (lorsque la combinaison des effets positifs et négatifs est régulatrice et mène à un point d'équilibre) (Repetti, 2005).

L'organisation fonctionnelle est surtout sensible à la finalité ou aux finalités du système. On cherche spontanément à répondre aux questions : que fait le système dans son environnement ? À quoi sert-il ? (Donnadieu et al., 2003). Cet aspect fonctionnel du système évolue plus rapidement que sa structure (Lapointe, 1998). Son aspect *dynamique* relève la notion de temps et renvoi au *caractère évolutif* du système tel que décrit par Miller (1971) « *les structures changent un instant lorsqu'elles fonctionnent, mais lorsque ce changement est si grand qu'il est nécessairement irréversible, un processus historique se développe, donnant naissance à une nouvelle structure* » (in Le Moigne 1994, p.55).

L'aspect évolutif

Le concept d'évolution constitue donc le troisième aspect fondamental (après la structure et l'activité) de la définition du Système général, qui selon Le Moigne (1994) se représente « *d'abord par ce qu'il est, mais par ce qu'il fait et ce qu'il subit, donc par ce qu'il devient* » (Le Moigne, 1994, p.93). En tant qu'il est perçu, le système se transforme dans le temps en accord avec son projet. Cette transformation est définie par une succession d'états ou d'images de la structure qui se déplacent dans le temps selon une trajectoire (Le Moigne, 1994). En effet, l'évolution du système vers un nouvel état ou une nouvelle organisation renvoie au concept d'*auto-organisation*.

Auto-organisation

L'auto-organisation ou autonomie de l'organisation est définie selon le Moigne comme la « *Propriété d'un système rendant compte de sa capacité à transformer et se transformer, et produire et se produire, et relier et se relier, et maintenir et se maintenir* » (Le Moigne, 1994, p.188). Ainsi, le système prend dans l'environnement ce qu'il lui est nécessaire pour ensuite s'autoproduire et jouir d'une certaine autonomie (Desthieux, 2005). Lorsque des perturbations extérieures productrices de tensions se présentent, elles peuvent faire évoluer le système de trois manières : (i) la perturbation est infime et le système retourne vers son état initial ; (ii) la perturbation est trop importante et le système évolue vers la régression ou la destruction ; (iii) le système évolue vers un nouveau stade d'organisation et une nouvelle stabilité. Puis le cycle recommence (Schwarz, 1994 in Desthieux, 2005).

Les systèmes **auto-organiseurs** sont donc des systèmes qui possèdent la double capacité à l'adaptabilité et au maintien de la cohérence interne en vue d'atteindre leur finalité.

En fait, cette capacité est loin d'être le fruit du hasard. Au contraire, elle repose en grande partie sur l'équilibre assuré par la complémentarité des rôles des boucles de rétroaction positive et négative (amplification et régulation) (Certu, 2007) qui sont articulées entre elles constituant *un réseau des chaînes de régulation* (Donnadieu et al., 2003).

En effet, *ces chaînes de régulation* relèvent généralement d'une *organisation en niveaux hiérarchiques* (Donnadieu et al., 2003), dont chaque niveau d'organisation supérieur englobe le niveau d'organisation inférieur et projette sur celui-ci sa finalité (Certu, 2007), laquelle se traduit dans le comportement du système. Par exemple, un être humain a toute une gamme de comportements adaptés à la nature et à l'intensité du défi qu'il doit relever, il réagit selon les situations de manières différentes et hiérarchisées : d'un simple acte réflexe où il réagit spontanément, à une décision nécessitant un raisonnement réfléchi, où de nouveaux circuits cérébraux interviennent (Durand, 2017).

Le Moigne (1994) propose une typologie des systèmes basée sur une structure en neuf niveaux d'organisation présentés par ordre de complexité croissante, en allant du premier niveau correspondant aux objets statiques et simples jusqu'aux niveaux de l'émergence de la décision et de l'imagination. Ces derniers correspondent aux niveaux d'auto-organisation et d'auto-finalisation, où le système imagine des solutions nouvelles et s'auto-organise pour mieux réaliser sa finalité (Le Moigne, 1994).

De manière plus simple, ces différents niveaux hiérarchiques peuvent être regroupés en deux grands niveaux d'action correspondant à une organisation constituée d'un **système de pilotage** et d'un **système opérant** [Figure. 2.2]. Le système de pilotage assure les processus de régulation (processus décisionnels, informationnels, de coordination, de conception, etc.), le système opérant (structuré, actif) assure le processus de transformation (Certu, 2007).

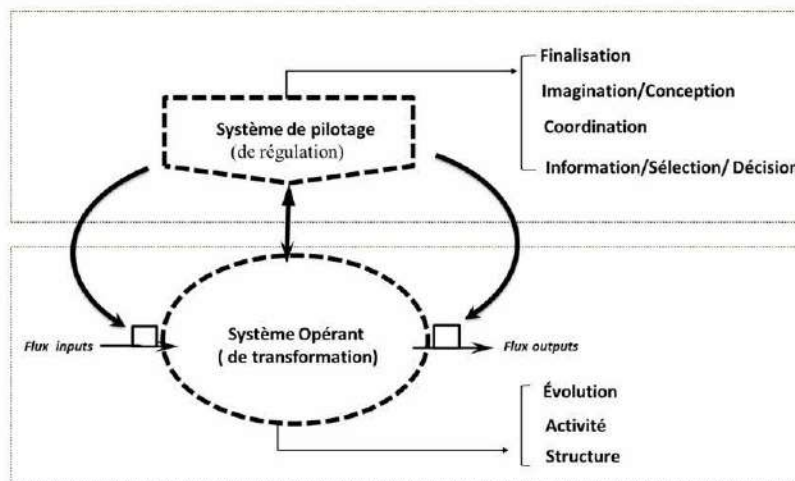


Figure 2. 2 : Organisation en niveaux hiérarchiques (adapté de Le Moigne, 1994)

Il est en effet possible d'« établir a priori une correspondance entre les niveaux du système et les projets ou les intentions du système de modélisation » (Le Moigne, 1990 in Desthieux, 2005, p.42).

En somme, ces règles sont fondamentales dans notre démarche de modélisation d'une SU_r-BC. Elles sont à la base de la définition de nos principes selon lesquels nous considérons la complexité

des interactions du *système urbain symbiotique* et son interrelation avec son environnement urbain et naturel. Notre système ne peut être fermé ou isolé, il a besoin de s'approvisionner de son "Hinterland" pour s'autoproduire et évoluer. L'enjeu est de rationaliser cet approvisionnement pour ne pas nuire à l'équilibre de l'écosystème naturel. **Nous considérons donc notre système urbain symbiotique comme un système "ouvert auto-organisé", qui est autonome par son organisation interne contrôlée et régulée à plusieurs niveaux.**

Le niveau retenu pour la modélisation correspond au niveau du « système opérant », dont les éléments seront présentés ci-dessous.

2.1.2.2 Éléments de la modélisation systémique

De ce qui précède, les principaux éléments à prendre en compte dans la représentation et l'organisation d'un modèle systémique se dégagent, dont (Le Moigne, 1994 ; Repetti, 2004, Desthieux, 2005) :

- *Ses limites*, la frontière qui le sépare de son environnement extérieur et qui autorise le passage de flux d'entrée (input) et de sortie (output) ;
- *Son organisation structurelle interne*, qui peut être complexe et composée de sous-systèmes, qui eux-mêmes comportent un certain nombre de composantes constituées d'éléments et de réseaux des relations entre eux ;
- *Son organisation fonctionnelle* qui est déterminée par un jeu de relations entre les différents éléments structurant le système. Ces relations portent des flux input et output de nature matérielle (énergie, matière) et/ou immatérielle (information, commande), elles peuvent être linéaires ou circulaires ;
- *Son évolution* : qui renvoie à la dynamique évolutive favorisant son adaptabilité et le maintien de sa cohérence ;
- *Sa finalité (objectif)* vers laquelle tend sa dynamique.

L'application du modèle systémique ainsi défini et représenté dans la [Figure.2.3] renvoie à la définition des éléments du système urbain d'étude représenté dans la [Figure 2.12].

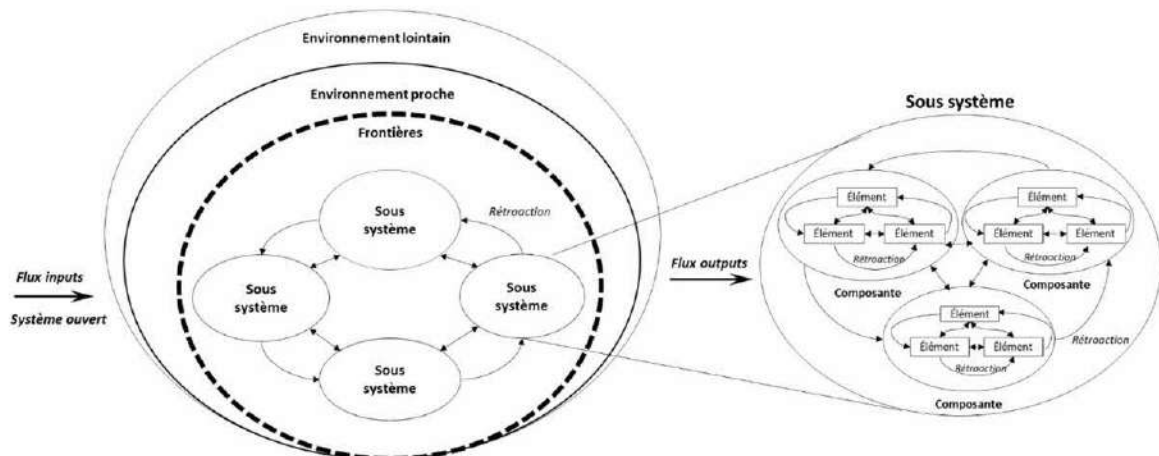


Figure 2.3 : Éléments de la modélisation systémique (Adapté de Repetti, 2004 ; Desthieux, 2005)

2.1.2.3 Étapes de modélisation

Le processus de modélisation systémique a été décrit par plusieurs chercheurs (Durand, 2017 ; Donnadiou et al., 2003 ; Durand et Nunez, 2002 ; Donnadiou et Karsky, 2002), qui ont tenté chacun à sa manière de définir une succession logique d'étapes couvrants des aspects variés de la modélisation [Figure 2.4]. Leurs propositions s'accordent sur un processus itératif de quatre étapes indispensables à toute modélisation. En synthétisant les différentes contributions, nous pouvons décrire ce processus comme suit :

La 1ère étape de définition vise à définir le champ de modélisation (Durand et Nunez, 2002). Il s'agit de fixer la finalité et délimiter les frontières du système à étudier, puis le situer dans son environnement et comprendre la nature et la raison des échanges qu'il entretient avec celui-ci.

Il s'agit également de comprendre l'organisation interne du système (structurelle/fonctionnelle) et dégager ses principales composantes et la nature des relations entre ces composants. Au terme de cette première étape, le modélisateur devra se forger une connaissance suffisante de son système, pour être en mesure de comprendre son évolution (Donnadiou et Karsky, 2002 ; Certu, 2007).

La 2ème étape de construction du modèle. Il s'agit, à partir des connaissances acquises au cours de la première étape « *de dessiner le modèle* » (Durand, 2017). C'est la phase de construction d'une représentation qui met en évidence l'organisation structurelle et fonctionnelle du système : *un modèle qualitatif* (Certu, 2007). Ce dernier fournit déjà des éléments importants qui permettent de mettre en évidence les propriétés du système et de formaliser des orientations pour l'amélioration de son comportement (Certu, 2007).

La 3ème étape de formalisation du modèle. Cette étape vise à déterminer le comportement du modèle en mettant l'accent sur son fonctionnement et sa dynamique d'évolution. Il s'agit d'abord de caractériser les différents éléments du système puis identifier les éléments clés permettant l'amélioration de son comportement. Dans ce cadre, trois catégories d'éléments sont à considérer : les invariants, les contraintes (internes ou externes), les variables (dont les changements peuvent advenir) (Durand, 2017). Au terme de cette troisième étape de formalisation, le modélisateur dispose d'un modèle simplifié qu'il pourrait rendre opérable par la quantification et surtout simulable par l'introduction de la variable temps (Certu, 2007 ; Donnadiou et al., 2003 ; Donnadiou et Karsky, 2002).

La 4ème étape : d'expérimentation, permet enfin d'utiliser le modèle théorique en le confrontant à des données existantes réelles pour en tirer des enseignements ou préparer des décisions (Durand, 2017 ; Donnadiou et Karsky, 2002). Cette phase de quantification et de simulation permet, en jouant sur les variables et les contraintes, d'analyser les dynamiques possibles, mettre en évidence des comportements imprévus, réaliser et étudier des scénarios et de prévoir les résultats de tel changement ou de telle décision à savoir les modifications de structure destinées à générer les comportements désirés (modification de la réalité) (Durand, 2017 ; Donnadiou et Karsky, 2002). Pour ce faire, deux voies peuvent être suivies : la quantification des relations par la formalisation mathématique et/ou la simulation par la recherche de toutes solutions raisonnablement imaginables (Durand, 20017).

Cette étape doit se terminer par un exercice de validation où il s'agit de vérifier si le modèle - théorique- auquel on est parvenu reflète suffisamment la réalité pour pouvoir être de quelque utilité pratique (Durand, 2017).

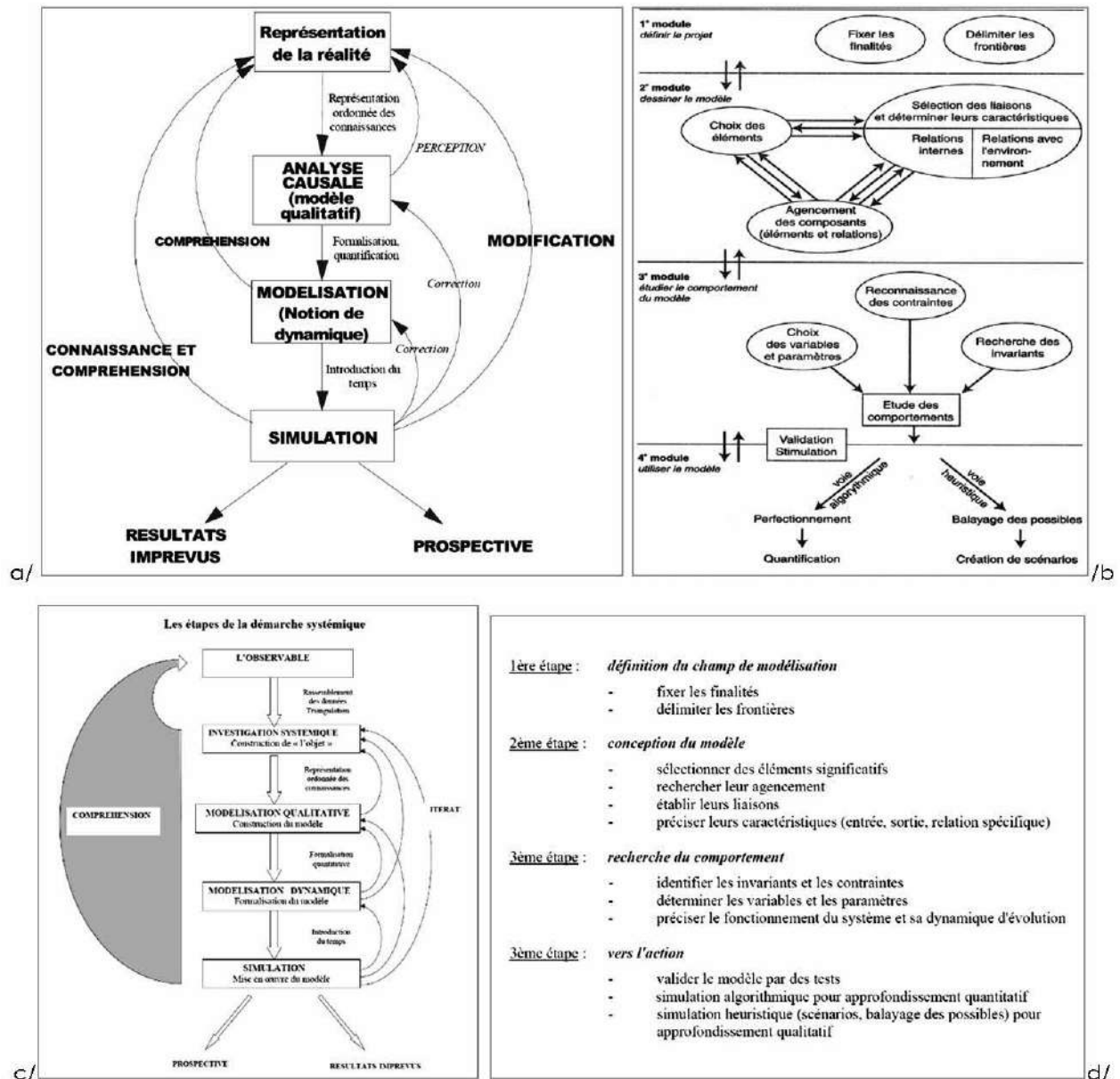


Figure 2.4 : Processus de modélisation en quatre étapes (d'après : a/ Donnadieu et Karsky, 2002 - b/ Durand, 2017 - c/ Donnadieu et al., 2003 - d/ Durand et Nuez, 2002)

Nous allons suivre ses étapes dans notre démarche de recherche.

2.1.3 Les outils méthodologiques de la modélisation systémique

Pour mettre en œuvre ses différentes étapes, la modélisation systémique dispose d'un certain nombre d'outils qu'on pourrait regrouper selon leurs objectifs comme suit :

2.1.3.1 Outils d'investigation et de compréhension du système

- **La triangulation**

Adaptée à la phase d'exploration d'un système complexe, la triangulation permet d'observer celui-ci et le décrire selon trois points de vue différents, mais indissociables, qui sont en rapport avec les trois aspects de son organisation (structurel, fonctionnel et évolutif), cités *supra*⁴³ (Donnadiou et al., 2003). La combinaison de ces aspects [Figure 2.5] favorise le déplacement d'un aspect à un autre selon un processus en hélice qui permet, à chaque passage, d'approfondir la compréhension du système (Donnadiou et al., 2003).

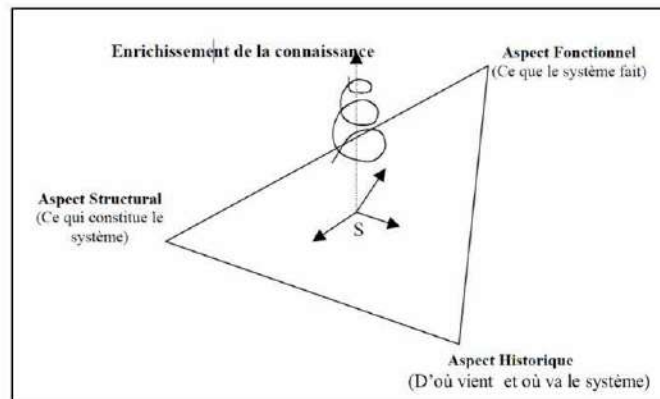


Figure 2. 5 : La triangulation systémique (Durand et Nunez, 2002)

Dans le domaine qui est le nôtre, cela doit nous conduire à examiner de près les systèmes urbains et les mécanismes de leur changement afin de pouvoir y agir par des dispositifs régulateurs si les tendances d'évolution ne sont pas favorables (Naimi-Ait Aoudia, 2016).

- **La causalité**

La causalité est utilisée dans la modélisation systémique non pas seulement pour étudier les *interactions* entre les éléments d'un système et comprendre son fonctionnement, mais aussi pour comprendre la dynamique permettant son évolution vers la finalité recherchée. Ladrière (1994) parle de la *causalité efficiente*, « celle où la cause, par son action, est productive d'un effet, avec de surcroît l'idée que la cause déterminante est libre, volontaire, auto-déterminée » (d'après Franck, 1994, p.249). Il montre que l'explication causale consiste moins à imputer une situation (ou un état) à une situation antérieure qu'à reconstituer la genèse du phénomène qui passe d'un état à l'autre (Ladrière, 1994). En d'autres termes, la cause explicative n'est pas recherchée dans l'état antécédent du système⁴⁴, mais dans la dynamique lui permettant d'atteindre son but⁴⁵.

Dans cette visée la cause peut constituer un point de départ d'un processus, qui en anticipant l'évolution du système détermine sa structure et son fonctionnement et le conduit vers sa finalité (Ladrière, 1994). En effet l'atteinte d'un tel but peut être considérée « comme une production et

⁴³ Voir sous-section 2.1.2.1

⁴⁴ Comme cela est le cas dans les analyses classiques de cause à effet, où la recherche de causes induit automatiquement la possibilité d'améliorer les effets attendus. Ce type d'analyse est utilisé en urbanisme notamment dans le processus de planification par objectifs PPO (Voir Berezowska-Azzag, 2012, Guide de Projet urbain, Volume 2).

⁴⁵ La dynamique du système s'étudie alors par l'analyse des scénarios d'évolution possibles, afin d'atteindre le but. En urbanisme, ce type d'analyse caractérise la planification par scénarios PPS.

les causes sont les dimensions selon lesquelles a lieu la genèse de l'œuvre » (Ladrière, 1994, p.251).

- **Les schémas systémiques (Graphes)**

Le schéma systémique est décrit comme un positionnement graphique *d'éléments*, ainsi qu'une représentation de leurs *relations* (PNUE, 1996). Il fournit une représentation picturale (Le Moigne, 1994) qui permet de saisir et positionner l'ensemble des éléments du système et représenter toutes leurs relations par des traits simples ou par des flèches (quand on veut indiquer le sens d'une relation) (PNUE, 1996). Ces relations peuvent être des relations de causalité, de dépendance, de simple corrélation, ou de covariance (ALEPH, 2004).

De plus, les schémas systémiques favorisent l'addition d'un ou de plusieurs éléments à la liste initiale du système. Cependant au-delà d'un certain nombre d'éléments et de relations, le schéma devient très compliqué. On gagne beaucoup alors à établir plutôt une succession de schémas systémiques, saisissant à tour de rôle des aspects différents, par regroupement de variables et/ou de relations (PNUE, 1996). Il convient également de mentionner que le schéma systémique pourrait constituer une base pour la construction d'une matrice d'analyse structurelle. Ainsi, grâce aux propriétés logiques dont il est doté, il facilite une écriture algorithmique, donc automatique, des équations d'état du système (Le Moigne, 1994).

2.1.3.2 Outils d'analyse du comportement du système

- **L'analyse structurelle**

L'analyse structurelle est l'un des outils les plus utilisés pour la connaissance du système (PNUE, 1996), elle poursuit deux objectifs complémentaires : se doter d'une représentation aussi exhaustive que possible du système étudié, et réduire sa complexité aux variables essentielles (Godet, 2007).

L'analyse structurelle consiste à mettre en relation les variables dans un tableau à double entrée (matrice d'analyse structurelle). Ainsi, elle permet d'identifier les éléments clés sur lesquels il faut agir pour conduire le système vers le but recherché (Godet, 2007). Sa démarche procède d'abord par le recensement des variables, ensuite le repérage des relations dans la matrice d'analyse structurelle, et enfin la recherche des variables clés, par exemple par la méthode MICMAC⁴⁶ et leur représentation sur le plan d'influence - dépendance (Ibid.).

Ainsi, l'analyse structurelle présente l'avantage d'être facile à manipuler, de se prêter fort bien à la généralisation, la comparaison et l'informatisation (Le Moigne, 1977, d'après Desthieux, 2005).

Le recensement des variables du système

À partir du moment où l'on commence à étudier le comportement du système, il convient de ne plus considérer les divers éléments comme uniformes. Il s'agit plutôt de chercher ce qui les caractérise individuellement, de définir leur rôle dans le comportement du système. Trois

⁴⁶ Il existe d'autres méthodes qui permettent de réaliser l'analyse matricielle pour hiérarchiser les variables (par exemple méthode statistique du logiciel SPSS, ou du logiciel Electre). Nous avons opté pour la méthode Micmac en raison de sa relative facilité d'usage pour les architectes-urbanistes.

catégories d'éléments doivent notamment être distinguées et considérées de manières différentes (Durand, 2017) :

- *Les invariants*, éléments stables du système, non susceptibles de transformation ;
- *Les contraintes*, internes ou externes du système qui limitent sa capacité d'adaptation ou de réaction à telle ou telle situation ;
- *Les variables*, enfin, dont les changements peuvent provenir soit d'événements aléatoires externes au système, soit de décision du modélisateur, comme meneur de jeu.

Les éléments "*variables*" restent les constituants essentiels de la description d'un système, auxquelles peuvent être associées un certain nombre de caractéristiques ou propriétés (PNUE, 1996). C'est à celles-ci qu'on doit s'appuyer pour faire évoluer le système vers la finalité recherchée.

Le recensement des variables consiste donc à identifier une liste exhaustive des variables, caractérisant le système étudié et son environnement (Godet, 2007). Ces "*variables*" peuvent prendre plusieurs valeurs distinctes, elles peuvent être qualitatives ou quantitatives, continues ou discontinues, etc. (PNUE, 1996). Ainsi, il est important de rappeler qu'une variable n'existe que par ses relations, c'est d'ailleurs la présence intuitive de certaines relations qui oriente le choix de telle ou telle variable au cours de l'établissement de la liste des variables (Godet, 2007).

Les variables qui se prêtent le plus aisément à la mesure sont appelés *indicateurs* et leur agrégation par groupes permet de construire des *indices* significatifs pour l'opérationnalisation du modèle, sa quantification et son évaluation (Boulanger, 2004) (voir Annexe 2.1).

Repérage des relations dans la matrice d'analyse structurelle

Chaque variable est en effet impliquée dans des liens qu'il faut pouvoir qualifier pour apprécier l'importance qu'elle joue dans la logique du système. Ces liens peuvent être repérés en mettant en relation les variables dans la matrice d'analyse structurelle (ALEPH, 2004).

Pour ce faire, on porte les variables en lignes et en colonnes, puis on remplit la matrice (sur un mode binaire) en répondant à la question : *y a-t-il une relation entre les deux variables (soit i, j) ?*, tel que présenté dans l'exemple dans la [Figure 2.6]. Le remplissage de la matrice peut se faire de deux manières :

- Soit en lignes, en notant l'influence de chaque variable de ligne sur toutes les autres variables de colonne ;
- Soit en colonnes, en notant pour quelles variables de colonne chaque variable de ligne est influencée.

Le coefficient a_{ij} prend ainsi la valeur « 1 » ou « 0 » selon qu'il y a une relation ou non entre les deux variables (PNUE, 1996 ; ALEPH, 2004, Godet, 2007). Les sommes en ligne et en colonne dans la matrice (Σ) représentent ainsi le nombre des relations dans lesquelles chaque variable est impliquée [Figure 2.6] et ont une signification importante. Pour une même variable, la somme en ligne (L) correspond à un **indicateur d'influence** (également appelé « indice de motricité ») et la somme en colonne (C) à un **indicateur de dépendance** (ALEPH, 2004).

Ainsi, les variables peuvent être classées dans l'ordre décroissant de leurs indicateurs d'influence et de dépendance (ALEPH, 2004), ce qui permet, par un simple examen de la matrice, de voir

quelles sont les variables qui ont la plus grande action directe. Cependant cela ne suffit pas à déceler les variables « cachées » qui ont parfois une grande influence sur le problème étudié (Godet, 2007).

Action De sur ⇔ D	Variable 1	Variable i	Variable j	Variable n	Σ
Variable 1							
.....							
Variable i				a _{ij}			L
Variable j			a _{ji}				
.....							
Variable n							
Σ			C				

Figure 2. 6 : Matrice d'analyse structurelle (ALEPH, 2004)

À ce titre, Michel Godet attire l'attention sur la prudence à garder dans l'évaluation de certaines variables. Il montre l'exemple d'un système de variables décomposable en deux sous-systèmes S1 et S2, qui seraient indépendants s'ils n'étaient liés par l'intermédiaire des variables a, b, c. En termes d'effets directs : – a est très dépendante du sous-système S1 ; – c domine le sous-système S2. En termes d'influences directes, on pourrait être conduit à négliger la variable b qui pourtant représente un élément essentiel de la structure du système puisque c'est le point de passage relationnel entre les deux sous-systèmes S1 et S2 [Figure 2.7.a] (PNUE, 1996 ; GODET, 2007).

En effet, outre les relations directes, il existe aussi des relations indirectes entre variables par des chaînes d'influence et des boucles de rétroaction. Une matrice courante comportant plusieurs dizaines de variables peut renfermer plusieurs millions d'interactions sous forme de chaînes et de boucles, qu'il est impossible à l'esprit humain de représenter et d'interpréter (Godet, 2007).

Dans ce cadre, le programme MICMAC constitue un outil utile pour la hiérarchisation et le choix des variables clés.

Choix des variables clés par la méthode MICMAC

Pour réduire la complexité du système et détecter les variables clés qu'il faudrait étudier en priorité, MICMAC⁴⁷, un programme de multiplication matricielle appliqué à la matrice structurelle, qui permet de réaliser l'ensemble des traitements d'une analyse structurelle et d'en éditer les résultats.

MICMAC a pour objet de repérer les variables les plus influentes et les plus dépendantes (les variables clés), en construisant une typologie des variables en classement direct et indirect (Godet, 2007). Sa méthode permet d'étudier la diffusion des impacts par les chemins et les boucles de rétroaction, et par conséquent de hiérarchiser les variables :

- Par ordre d'influence, en tenant compte du nombre de chemins et des boucles de longueur 1, 2, ..., n issus de chaque variable ;

⁴⁷ MICMAC : Matrice d'Impacts Croisés-Multiplication Appliquée à un Classement, un programme de multiplication matricielle conçu par Michel Godet pour le Laboratoire LIPSOR.

- Par ordre de dépendance, en tenant compte des chemins et des boucles de longueur 1, 2, ..., n, arrivant sur chaque variable.

Le principe de Micmac s'appuie sur les propriétés classiques des matrices booléennes.

Si la variable *i* influence directement la variable *k* et si *k* influence directement la variable *j* [figure 2.7.b], dans ce cas, tout changement affectant la variable *i* peut se répercuter sur la variable *j*. Il y a une relation indirecte entre *i* et *j*. Il existe dans la matrice d'analyse structurale de nombreuses relations indirectes du type *i* → *j* que le classement direct ne permet pas de prendre en considération (Godet, 2007).

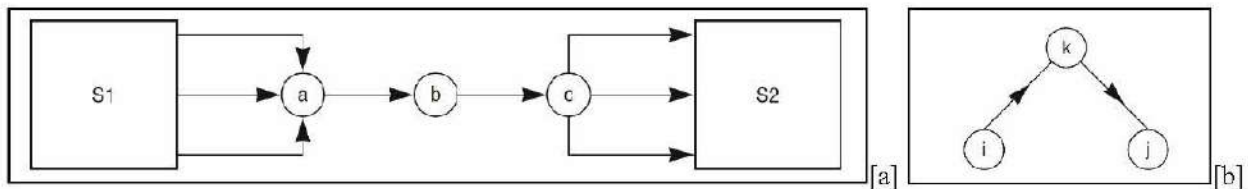


Figure 2. 7 : Exemple de relation d'influence indirecte entre deux variables (Godet, 2008)

Le plan influence-dépendance

Enfin, on peut tirer de ce classement des variables une représentation graphique. Les variables étant distribuées dans quatre zones réparties sur un plan influence/dépendance [Figure 2.8] (ALEPH, 2004 ; Godet, 2007), nous pouvons distinguer :

- *Les variables de la zone (1) : variables déterminantes (motrices), c'est les variables très influentes et peu dépendantes, qui conditionnent le reste du système. Elles constituent un levier d'action pour faire évoluer le système vers la finalité recherchée.*
- *Les variables de la zone (2) : variables à la fois très influentes et très dépendantes. Ce sont celles attachées aux enjeux du système puisqu'elles sont un levier (elles agissent sur les autres), mais sont également sensibles (dépendantes de l'évolution des autres variables).*
- *Les variables de la zone (3) : variables peu influentes et très dépendantes. Ce sont des variables résultats dont l'évolution s'explique par les variables des zones (1) et (2) ;*
- *Les variables de la zone (4) : variables peu influentes et peu dépendantes (proches de l'origine). Ces variables constituent des tendances lourdes ou des facteurs relativement déconnectés du système avec lequel elles n'ont que peu de liaisons, en raison de leur développement relativement autonome ; elles ne constituent pas des déterminants de l'avenir et peuvent être exclues de l'analyse.*

Godet (2007) en rajoute une 5^{ème} zone « du peloton » où il place les variables moyennement influentes et/ou dépendantes et dont le rôle ne peut pas être clairement déterminé à partir d'un classement direct.

Le schéma dans la [Figure 2.9] illustre un exemple simplifié des différents types de variables, dont : V1 et V5 sont des variables motrices, V2 est une variable relais, V3 et V4 variables dépendantes, et V6 est une variable autonome (ALEPH, 2004).

On voit en effet qu'en agissant sur V1, variable déterminante, on exerce une influence indirecte sur V3 et V4 par l'intermédiaire de V2. À l'inverse, les variables résultantes (expliquées) dont l'évolution est déterminée par les autres, comme V3 et V4, ne seront retenues que dans la mesure où leur sensibilité est forte, c'est-à-dire si elles risquent d'être fortement affectées par une action

sur une autre variable. Quant aux variables autonomes, comme V6, elles peuvent être négligées (ALEPH, 2004).

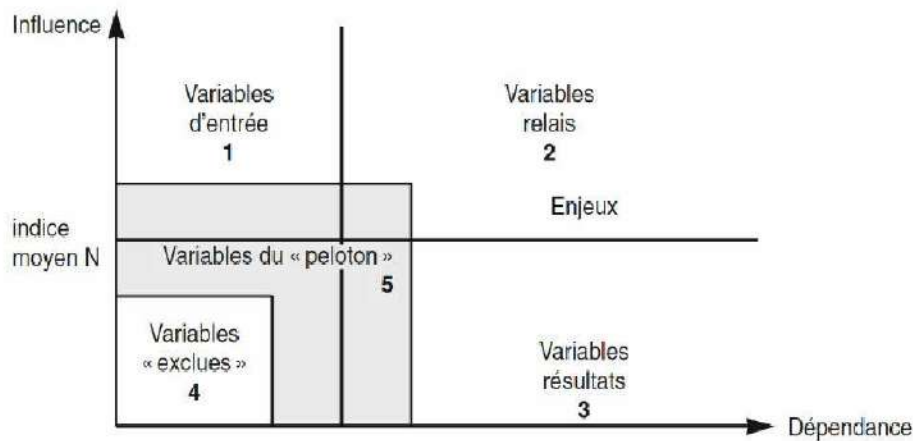


Figure 2. 8 : Plan d'influence –dépendance (Godet, 2007)

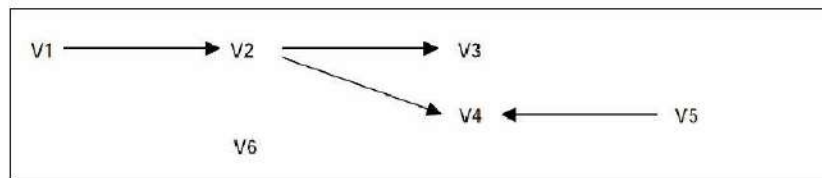


Figure 2. 9 : Schéma des relations possibles entre les variables du système (ALEPH, 2004)

Les variables les plus pertinentes seront retenues au titre d'indicateurs mesurables et abrégées en indicateurs synthétiques, puis en indices significatifs, pour l'évaluation du modèle dans l'étape d'expérimentation (simulation et quantification) (Voir Annexe 2.1).

2.1.3.3 Les outils de simulation

- **Formalisation mathématique**

La formalisation mathématique consiste à traduire par des formules mathématiques, les relations existantes entre les variables clés du système. Elle permet de rendre le modèle opérable par la quantification de ses relations en introduisant les données d'une situation existante (Certu, 2007 ; Durand, 2017).

- **La méthode des scénarios**

La méthode des scénarios vise la recherche de toutes les solutions raisonnablement imaginables en vue d'éclairer l'action présente (Durand, 2017 ; ALEPH, 2004). Un scénario décrit le cheminement logique d'une situation actuelle à un avenir supposé et/ou imaginé. En tant qu'outil d'éclairage de choix stratégiques, un scénario doit se doter des qualités fondamentales dont (ALEPH, 2004) :

- *Pertinence* : il répond bien à la question de départ ;
- *Cohérence* : il combine des hypothèses de manière logique pour donner une représentation cohérente du système ;
- *Vraisemblance* : une probabilité d'occurrence lui est associée ;

- *Importance* (pour l'action) : il est outil d'aide à la décision ;
- *Transparence* : il est lisible et justifié.

Ainsi, les scénarios peuvent être construits selon deux approches :

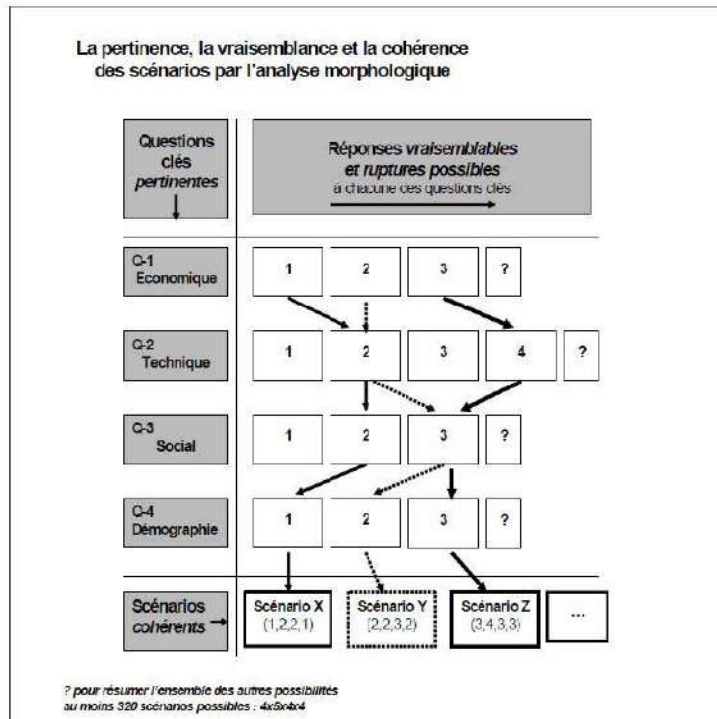
- **En fonction du positionnement du modélisateur par rapport au temps.** Le scénario *exploratoire* est ainsi construit par extrapolation des tendances passées et présentes (on part du passé pour imaginer le futur) tandis que le scénario *normatif* ou d'anticipation est construit de façon retro-projective, c'est-à-dire en partant d'une vision souhaitée ou au contraire redoutée du futur pour remonter vers le présent (ALEPH, 2004).
- **En fonction de la nature des hypothèses de départ faites sur l'évolution des variables clés.** Le scénario *tendanciel* correspond ainsi à une hypothèse globale de prolongement des tendances à l'œuvre et des dynamiques récemment enclenchées (« fil de l'eau ») tandis que le scénario *contrasté* renvoie à la notion de rupture par rapport au présent. Enfin, on parlera de scénario *de référence* pour qualifier celui ayant la probabilité d'occurrence la plus importante (Ibid.).

En fait, le choix de l'approche de construction des scénarios dépend de la fonction attribuée aux scénarios en tant qu'outils d'aide à la décision. Ces derniers peuvent être destinés à éclairer une *stratégie proactive* auquel cas sont mis en avant les scénarios souhaitables dans un sens qui permet au décideur d'envisager les moyens de parvenir à ce futur souhaitable. Comme ils peuvent également avoir une fonction d'alerte (*stratégie pré-active*) auquel cas ce sont plutôt les scénarios redoutés sur lesquels on insistera. Enfin dans tous les cas, les scénarios doivent informer le décideur sur les conséquences futures des décisions présentes, c'est-à-dire lui permettre d'anticiper, c'est leur fonction première (ALEPH, 2004).

Cependant, quelle que soit l'approche adoptée dans la construction des scénarios, la méthode des scénarios recouvre des pratiques assez homogènes. Un consensus existe en particulier sur la nature et l'enchaînement des étapes qui jalonnent la démarche de construction des scénarios [Figure 2.10]. Cette dernière, repose sur les résultats de l'analyse structurelle, et consiste essentiellement à (ALEPH, 2004) :

- Définir puis combiner des hypothèses sur les variables caractérisant le système (ou balayer le champ des possibles) afin de construire des scénarios,
- Communiquer les scénarios, c'est-à-dire décrire les cheminements logiques de la situation actuelle aux futurs les plus probables en langage clair. Et cela en vue d'éclairer le décideur sur les conséquences des choix à faire et lui faciliter leur appropriation.

À cet effet, et pour tirer le meilleur parti de cette méthode, il est important de bien délimiter le champ de son utilisation, déterminer son approche et préciser les questions auxquelles elle doit répondre.



Pour la construction de scénarios selon la méthode d'analyse morphologique, un système peut être décomposé en dimensions ou composantes (démographique, économique, technique, sociale ou organisationnelle, etc.), avec pour chacune de ces composantes un certain nombre d'états possibles (hypothèses ou configurations).

La combinaison qui associe par cohérence une configuration de chaque composante est le **cheminement morphologique** constituant un scénario.

L'**espace morphologique** définit très exactement l'éventail des futurs possibles (selon Godet et al., 2004) .

Figure 2. 10 : Exemple de démarche de construction des scénarios par l'analyse morphologique (Godet et al., 2004)

2.2. Modélisation d'un Système Urbain Symbiotique Bas Carbone

Basée sur la méthode et les outils de modélisation systémique (développés ci-dessus), cette partie vise la construction d'un modèle urbain symbiotique bas carbone "SU_r-BC". Pour ce faire, nous nous référons aux explications des modèles théoriques et des expériences pratiques consacrées à l'application du concept de « SU_r »⁴⁸, et nous retenons *l'approche écosystémique* comme cadre de référence dans la modélisation de notre système urbain.

Selon cette approche, la ville est un **écosystème intégré dans un système plus vaste** (Broto et al., 2012, p.852). Son fonctionnement repose sur **des relations symbiotiques** entre les différentes composantes (sociales, économiques et naturelles) qui forment une **unité spatio-fonctionnelle** favorable à l'échange des flux métaboliques (eau, matière, énergie,) dans le respect de l'environnement proche, celui de « Hinterland » et lointain de « l'écosystème naturel ». (Comité 21, 2011 -2012 ; Chertow, 2000).

La démarche adoptée pour la modélisation d'un tel système procède selon les étapes de la modélisation systémique, comme suit :

1. **Définition des éléments du modèle** : il s'agit là d'identifier le but et les frontières du modèle "SU_r-BC", puis de déterminer ses composantes spatiales et fonctionnelles. Cette étape prend forme avec une représentation graphique de l'organisation spatio-fonctionnelle du modèle.

⁴⁸ Étudiées dans le chapitre 1 /Section 1.2.

- 2. Construction du modèle**, où il s'agit d'analyser le cycle des flux métaboliques urbains (Input-Output) et de déterminer les relations symbiotiques potentielles permettant au système d'atteindre sa finalité. Cette étape repose sur la présentation graphique et tabulaire.

Les deux premières étapes reposent sur une recherche bibliographique consacrée à la définition des flux métaboliques et l'identification des liens symbiotiques potentiels.

- 3. Analyse du comportement du modèle** : une analyse structurelle (influence/dépendance) nous permet ensuite de déterminer le potentiel symbiotique de chaque flux, évaluer ses performances en termes d'atténuation des émissions de carbone, pour enfin dégager les éléments clés du modèle permettant son évolution vers la finalité recherchée. Cette étape débouche sur une représentation finalisée et simplifiée du modèle adapté à l'application et la simulation dans le contexte local à Alger.

Ce processus sera abordé en détail dans les paragraphes qui suivent.

2.2.1 Définition des éléments du Système Urbain Symbiotique

Pour définir les éléments de notre système urbain, nous avons adopté une approche matérielle et descriptive de la ville, en nous intéressant à sa dimension physique (spatiale et fonctionnelle), plus précisément à ses deux composantes : statique (*les éléments de sa structure*) et dynamique (*les flux métaboliques*), qui sont à la base de l'organisation de tout système urbain.

En fait, ce choix n'est pas neutre puisqu'il s'inscrit dans le cadre d'identification *du but et des frontières* du système qu'il convient de définir au préalable, avant d'appréhender son organisation interne.

2.2.1.1 But et frontières du modèle

Le but de notre modèle consiste à induire un fonctionnement urbain symbiotique capable d'optimiser le cycle métabolique urbain et d'atténuer ses impacts en termes d'émissions de CO₂ dans l'air. Par ce but, le système vise à répondre à une *question globale* liée à l'environnement naturel à partir d'une *approche locale de la SU_r*. Une question clé s'impose alors, celle de *l'échelle du système urbain*.

Étant donné que la proximité géographique est un élément bien reconnu pour la mise en œuvre d'une *Symbiose Urbaine* (Chertow & Park, 2016), *l'échelle urbaine locale*, d'un périmètre communal/ou intercommunal, se présente comme une échelle suffisamment large pour offrir des possibilités d'échange de la matière entre les acteurs et suffisamment petite pour permettre la communication et la collaboration entre les éléments du système (Sterr et Ott, 2004 ; Chertow & Park, 2016). C'est aussi une échelle qui permet d'atteindre une compréhension détaillée des territoires à prendre en compte dans l'application du modèle (PNUE, 1996).

Le Système Urbain Symbiotique est alors appréhendé comme étant un *périmètre spatio-fonctionnel local* inscrit dans son contexte régional proche et son environnement naturel le plus large (*écosystème naturel*). La modélisation d'un tel périmètre passe par l'identification de son organisation interne (structurelle et fonctionnelle).

2.2.1.2 Organisation du modèle

Pour identifier les éléments d'organisation, voire d'auto-organisation de notre modèle, nous retenons, rappelons-le, le niveau opérant du système urbain, et nous nous intéressons principalement au fonctionnement de son Métabolisme Urbain susceptible d'assurer le processus de transformation vers la finalité recherchée.

En effet, le fonctionnement de tout système urbain est régi par un *cycle métabolique CMU*, où chacune des activités consomme des ressources naturelles⁴⁹ "flux inputs" puis les transforme sous forme de rejets "flux outputs" pour une finalité donnée : un bien, un produit ou un service socio-économique (Baccini et Bruner, 2012).

Dans la plupart des villes du monde⁵⁰, les flux outputs concernés par notre approche⁵¹ sont évacués dans les réseaux techniques puis rejetés, en fin de cycle, dans l'environnement. Il en résulte un *cycle métabolique linéaire* [Figure 2.11.a] responsable d'impacts négatifs sur l'environnement (dont, épuisement des ressources naturelles, pollution et aggravation des effets du CC). Le Cycle Métabolique Urbain est donc déterminant pour le fonctionnement du système et pour son évolution. Ce cycle peut être optimisé via la mise en place de *Symbioses Urbaines* [Figure 2.11.b].

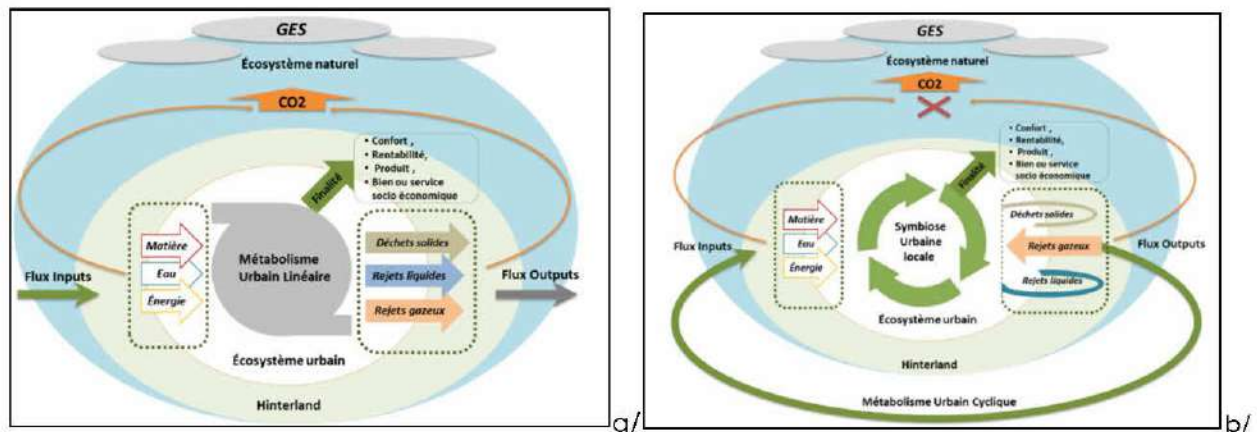


Figure 2.11 : Principe de fonctionnement du Système Urbain selon son CMU :
a/ cycle linéaire b/ cycle symbiotique circulaire

En effet, créer des liens symbiotiques entre les éléments du système urbain suppose que l'on puisse facilement les détecter. Cela impliquerait une définition détaillée de l'ensemble des éléments pouvant être impliqués dans ce processus. À cet effet, nous avons jugé important d'établir une nomenclature exhaustive basée sur une terminologie cohérente nous permettant de définir :

- d'une part, *l'ensemble des activités urbaines* : composantes et éléments d'organisation structurelle, susceptibles de créer des échanges symbiotiques entre eux pour boucler le cycle des flux métaboliques du système urbain ;

⁴⁹ Bien que la nature des inputs soit bien plus large (ressources naturelles, humaines, financières, informations), nous allons nous intéresser essentiellement aux flux matériels provenant de l'extraction à partir du hinterland du système.

⁵⁰ Où la tendance universelle d'approvisionnement en ressources naturelles et de traitement des rejets vise des services centralisés et des réseaux unitaires (Lorrain et al., 2018). Voir aussi la section 1.1 du chapitre.1 relative au métabolisme des villes.

⁵¹ Flux matériels (déchets solides et liquides, pollution atmosphérique, émissions de carbone, etc.).

- et d'autre part, *l'ensemble des flux métaboliques (Input-Output)*, éléments d'organisation fonctionnelle régissant le fonctionnement des activités urbaines.

- **Les éléments d'organisation structurelle du modèle "SU_r"**

La structure du système urbain est organisée en *quatre sous-systèmes* : Habitat, Activités, Espaces verts et ouverts, Infrastructures [Figure 2.12]. Chaque sous-système est constitué d'un certain nombre de *composantes (activités urbaines)* comportant des bâtiments ou des espaces interconnectés entre eux par les voies et les réseaux techniques divers qui véhiculent les flux métaboliques. La nomenclature dans le [Tableau 2.3] présente l'ensemble des sous-systèmes urbains et décrit leurs activités en détail selon leur organisation hiérarchique dans le système (sous système/ composantes, bâtiments fonctionnels les constituants/ et réseaux de relations). Le sous-système Habitat, par exemple, est présenté par rapport aux composantes de logement et des équipements d'accompagnement, lesquels sont constitués d'un ensemble de bâtiments fonctionnels de natures différentes (logements, services et commerces, éducation...) et d'espaces publics de proximité (places, jardins, squares).

- **Les éléments d'organisation fonctionnelle du modèle "SU_r"**

Le fonctionnement des activités urbaines est régi par le fonctionnement de leur cycle métabolique et de ses flux (Input et Output). Les flux Inputs, correspondent aux ressources naturelles primaires (eau, matière première, énergie) puisées des réservoirs naturels pour être utilisées dans la mise en œuvre des activités urbaines. Les flux Outputs constituent les rejets (gazeux, liquides et solides) produits après consommation et transformation des ressources primaires, pour être valorisés comme ressources secondaires au lieu d'être rejetés dans l'environnement. La nomenclature dans les Tableaux [2.4, 2.5] définit l'ensemble de ces flux métaboliques (Input/Output) et fournit une explication détaillée des différents produits les constituants. Ces derniers sont regroupés selon le type et la nature de flux en plusieurs familles. Chaque famille de flux englobe trois à quatre produits de différente nature.

Cette classification est effectuée à l'aide d'un vocabulaire cohérent et fermé (« bouclé »), nous permettant une description compatible du cycle métabolique des flux (FI/FO/FI') [Tableau 2.2] et leur classement hiérarchique selon les paramètres (type / nature/ source de flux). Le flux d'énergie par exemple peut être explicité par rapport à son type (Énergie), nature (fossile), et ses sources (carburant, gaz, électricité, etc.).

Flux Inputs (FI): Ressources Naturelles Primaires/ type	→	Flux Outputs (FO) : Rejets/ type	→	Flux Inputs (FI'): Ressources Secondaires / type
Eau	→	Rejet Liquide	→	Eau Secondaire
Matière Première	→	Déchet Solide	→	Matière Secondaire
Énergie Fossile	→	Rejet Gazeux	→	Vecteur Énergétique

Tableau 2. 2 : Vocabulaire de description des flux métaboliques

Les éléments spatio-fonctionnels ainsi définis sont représentés dans le schéma de la **figure [2.12]**. Cette étape est essentielle pour la compréhension du jeu complexe des relations qui régissent le fonctionnement du système urbain et la dynamique de son évolution.

Sous-systèmes	Composantes	Éléments	Réseaux de relations
1. Habitat	1.1. Logement	Individuel, semi-collectif, collectif ;	
	1.2. Équipements* d'accompagnement	<p>Équipements socioculturels publics fondamentaux de proximité :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Commerces et services ; - Éducation, culte, culture, médias, santé, sécurité, loisir ; - Espaces publics de proximité (places, jardins, squares) ; 	
2. Activités	2.1. Équipements structurants*	<p>Grands équipements portant des activités de :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Formation et recherche : Équipements de recherche et d'enseignement supérieur, de formation professionnelle, laboratoires ; - Culture, culte, information et communication : équipements culturels, religieux, de communication et d'échange ; - Protection : équipements de santé, de sécurité, de justice ; - Tourisme et loisirs : équipements touristiques, sportifs ; - Transport : aéroports, gares, stations urbaines, parking relais ; - Gestion et administration : sièges administratifs, institutions, immeubles des bureaux ; 	
	2.2. Industrie lourde et légère	Tout type d'industrie : agro-alimentaire, papetière, textile, plastique, chimique et des métaux.	
	2.3. Agriculture**	Tout type de culture.	
	2.4. Transport	<ul style="list-style-type: none"> - Transport individuel ; - Transport en commun ; - Transport logistique (approvisionnement et déchets) ; 	<p>5. Voiries</p> <ul style="list-style-type: none"> - Voirie tertiaire ; - Voirie secondaire ; - Voirie primaire ;
3. Espaces verts et ouverts	3.1. Espaces verts et bleus**	<ul style="list-style-type: none"> - Parcs, forêts, jardins, cours d'eau, rivières ; - Grandes places publiques, squares... ; 	
	3.2. Grands espaces publics		
4. Infrastructures techniques	4.1. Infrastructures et équipements techniques	<ul style="list-style-type: none"> - Production et stockage d'énergie (installation de cogénération, autre) ; - Stockage d'eau potable (château d'eau, bâches à eaux, réservoirs) - Traitements des eaux usées (stations d'épurations, épandages, bio-écologie) ; - Collecte, tri et prétraitement des déchets (déchetterie, centres de tri) - Transformation des déchets (installation d'incinération ; de méthanisation, etc.) ; - Infrastructures funéraires (cimetières) ; - Foncier (réserves foncières) 	<p>6. Réseaux divers :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Réseaux de transport ; - Réseaux d'information et de communication ; - Réseaux de distribution en eau potable ; - Réseaux de distribution d'énergie (chaleur, électricité) ; - Réseaux d'évacuation des eaux usées.

* Les équipements considérés dans le cadre de cette étude portent sur le secteur public, du fait que la participation du secteur privé reste très limitée malgré les mesures financières et fiscales prises pour encourager l'émergence et le développement des activités de récupération et de valorisation des déchets (GIZ, 2014).

** Dans le cadre de cette étude, les gains en émissions de CO₂ considérés pour les **composantes d'espaces verts et d'agriculture** se rapportent uniquement aux liens symbiotiques, sans prendre en considération les gains issus du CO₂ absorbé par le biais de leurs **services écosystémiques de régulation du climat**.

Tableau 2. 3 : Définition des composantes statiques du système (sous-systèmes, composantes, éléments et réseaux d'un système urbain)

Flux Inputs (FI)

FI /Type	Produits
FI.1. Eau	<ul style="list-style-type: none"> • Eau bleue : Eau potable ;
	<ul style="list-style-type: none"> • Matière Organique <ul style="list-style-type: none"> - Produits alimentaires agricoles et industriels : Matière organique animale et végétale ; - Bois : Bois naturel, bois brut ; - Papier : Matière (papier ou carton) fabriquée à partir de fibres cellulosiques végétales ;
FI.2. Matière Première	<ul style="list-style-type: none"> • Matière Inorganique <ul style="list-style-type: none"> - Verre : tout type de verres ; - Plastique : plastiques et caoutchoucs synthétiques ; - Métaux : fer, acier, aluminium ; - M. inerte : Sable, gravier, argile cuite, brique, tuile..., etc. ;
	<ul style="list-style-type: none"> • Matière Organique - Inorganique <ul style="list-style-type: none"> - Textiles et cuire : Matière végétale, animale, synthétique ; - Produits chimiques : Produits de composés Organiques ou Inorganiques dont : (1) engrais et pesticides ; (2) produits pharmaceutiques ; (3) peintures, vernis et laques ; (4) savons, détergents, préparations de nettoyage, parfums, produits cosmétiques et autres articles de toilette ; (5) autres produits chimiques tels que les polis, les explosifs, les adhésifs, les encres, les films photographiques et les produits chimiques connexes ; etc. ; - Huiles : Huile minérale, huile végétale, graisse ;
FI.3. Énergie	<ul style="list-style-type: none"> • Énergie Fossile <ul style="list-style-type: none"> - Gaz naturel ; - Électricité issue de sources fossiles ; - Carburant fossile : Essence, gasoil ;

Tableau 2. 4 : Nomenclature de définition des flux Inputs

Flux Outputs [FO]

FO /Type	Sous-Produits
FO.1. Rejets Liquides (RL)	<ul style="list-style-type: none"> • Eau verte : eau de pluie ; • Eau grise : eaux usées ménagères et industrielles pouvant contenir différents produits : (1) engrais et pesticides chimiques ; (2) produits de toilette et de nettoyage : savon, shampoing, détergent, solvants, poudres et liquides de lavage de textiles, ainsi que d'autres produits cosmétiques (adoucissants, parfums, etc.), (3) huiles, peintures, etc. ; • Eau noire : Boue d'épuration ;
	<ul style="list-style-type: none"> • Déchets Solides Organiques (DSO) <ul style="list-style-type: none"> - Résidus alimentaires : produits alimentaires impropres à la consommation (reste des cuisines, résidus de l'industrie agro-alimentaire) - Déchets verts (végétaux) ; - Déchets de papier et carton : journaux, magazines, imprimés publicitaires ; papiers bureautiques ; emballages en papier et en cartons ; autres. - Déchets de bois : (sciures et copeaux de bois naturel) ; - Cendres volantes : issue de la combustion du bois, et autres (digestat issue des procédés de méthanisation)
FO.2. Déchets Solides (Biomasse) (DS)	<ul style="list-style-type: none"> • Déchets Solides Inorganiques (DSI) <ul style="list-style-type: none"> - D. Verre : emballages en verre, morceaux de verre et miroirs cassés, autres verres. - D. Plastique : plastiques usagés, déchets de plastiques mélangés (contenants et emballages en plastique), bouteilles et flacons ; - D. Métaux : déchets ferreux, déchets d'acier, déchets d'aluminium ; - D. inerte : déchets de construction ;
	<ul style="list-style-type: none"> • Déchets Solides Organiques - Inorganiques (DSOI) <ul style="list-style-type: none"> - D. Textile et cuire : Textiles et cuire usagés ; - D. Produits chimiques : Tous les produits chimiques usagés identifiés comme matière première seront utilisés puis rejetés (voir flux Inputs/ produits chimiques) - Huiles usagées : d'origine minérale, végétale, y compris la graisse. - Meubles/ Matériel/ Déchets d'équipements électriques et électroniques (D.EEE) : ce sont surtout des ordinateurs, imprimantes, téléphones portables, appareils photo numériques, réfrigérateurs, jeux électroniques, télévisions, etc.).
FO.3. Rejets gazeux* (RG)	<ul style="list-style-type: none"> • Chaleur résiduelle issue de la consommation d'énergie • Vapeur issue de la consommation d'eau et d'énergie • Émissions de CO₂

* Les rejets gazeux considérés dans le cadre de cette étude se rapportent uniquement aux principaux rejets issus de la consommation d'énergie et qui peuvent être optimisés via des liens symbiotiques, sans prendre en considération l'ensemble des GES.

Tableau 2. 5 : Nomenclature de définition des flux Outputs

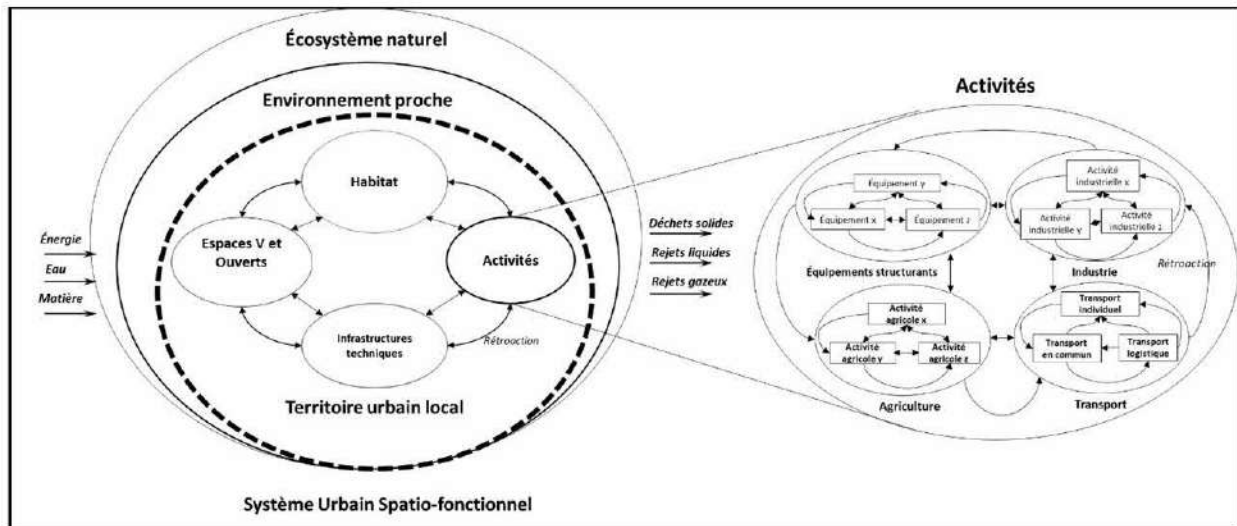


Figure 2.12 : Définition des éléments du système urbain spatio-fonctionnel selon le modèle systémique (Figure 2.3)

2.2.2 Construction du modèle urbain symbiotique

2.2.2.1 Analyse causale des relations symbiotiques

Le concept de *Symbiose Urbaine*, tel que défini dans le premier chapitre, nous indique les relations établies entre les activités du système urbain via la valorisation des rejets en ressources secondaires. En effet, les ressources secondaires sont générées à partir d'un processus de production ou d'utilisation antérieure. Elles sont dépendantes des ressources primaires consommées (Eau, Matière première, Énergie) dont la valorisation diffère d'un flux à l'autre (eau secondaire, matière secondaire ou vecteur énergétique) (Boons et al., 2017).

Ainsi, la valorisation nous indique une utilisation circulaire des flux sortants (Boons et al., 2017). Au lieu d'être éliminés ou rejetés, ces flux sont impliqués dans un processus cyclique, non linéaire, capable d'optimiser les ressources naturelles primaires (Eau, Matière, Énergie), de réduire les rejets (solides, liquides, et gazeux) et d'induire un fonctionnement performant du système en termes d'atténuation des émissions de CO₂. Dans ce sens, les symbioses industrielles et urbaines offrent de nombreuses solutions techniquement réalisables, qui ont d'ailleurs fait l'objet d'une littérature abondante.

En s'appuyant sur la littérature dans le domaine, cette étape vise à analyser le potentiel symbiotique des différents flux définis pour notre système, où pour chaque type flux il s'agit d'identifier :

- Les solutions de valorisation potentielles qu'il offre,
- Les activités urbaines dans lesquelles il pourrait être valorisé,
- Les flux Inputs et Outputs qu'il permet d'optimiser.
- Ainsi que les gains qu'il pourrait induire en termes de réduction des émissions de CO₂.

Cette analyse procède par la description et la comparaison des relations causales liées au fonctionnement du cycle des flux métaboliques, dans ses deux processus : linéaire (situation courante) /circulaire (situation visée). Pour ce faire, elle prend appui sur la représentation

graphique et tabulaire. Les schémas dans la **figure 2.13** décrivent le principe de représentation de ces relations.

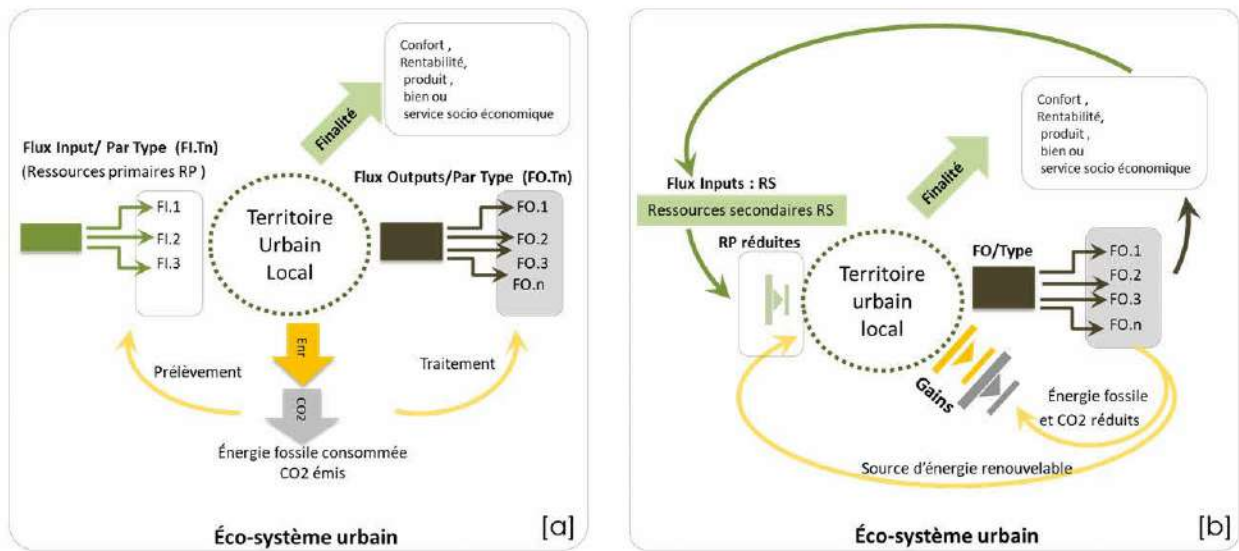


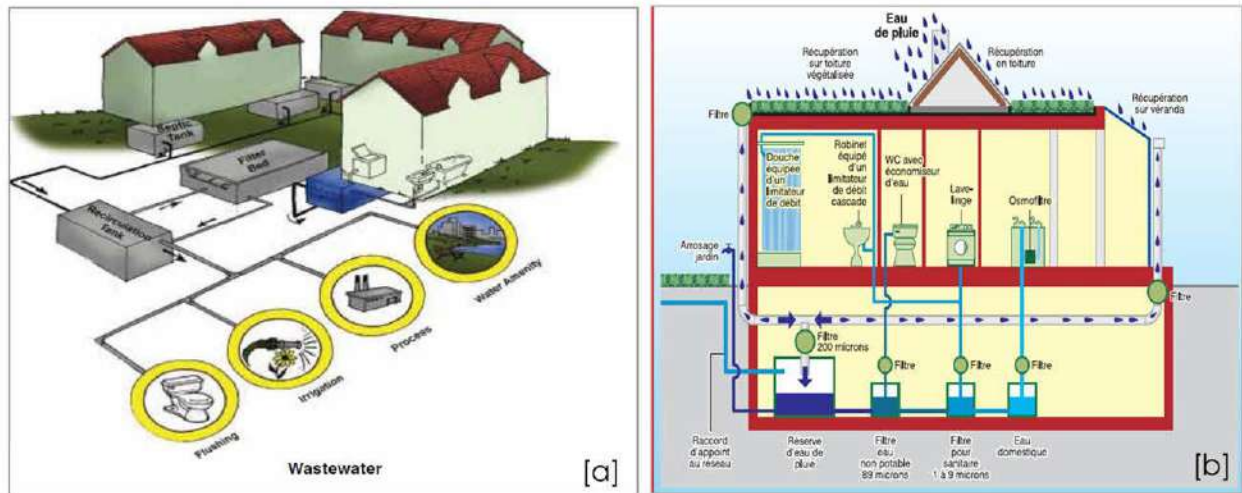
Figure 2. 13 : Principe de représentation des relations causales liées au cycle des flux métaboliques :[a] processus linéaire / [b] processus symbiotique cyclique (Chaker)

- *Potentiel symbiotique des flux d'eau*

Le potentiel symbiotique des flux d'eau a été abordé par la communauté scientifique dans de nombreuses régions du monde (Chertow & Lombardi, 2005 ; Liébard et De Herd, 2005 ; Jacobsen et al, 2006 ; Van Beers et al., 2007 ; Suzuki et al, 2010 ; SOFIES, 2011 ; Baccini et Bruner, 2012 ; Massard et al., 2014, Notarnicola et al.,, 2016). En fonction de sa qualité (*bleue, verte, grise ou noire*)⁵², l'eau pourrait être impliquée dans des échanges entre plusieurs activités urbaines et industrielles pour différents usages. Le **tableau 2.6** présente les liens symbiotiques potentiels pour la valorisation des différents types de flux d'eau. Nous pouvons indiquer à titre d'exemple :

- *L'eau grise* après traitement, pourrait servir comme eau secondaire en substitution de *l'eau bleue*, pour l'irrigation, le nettoyage, les chasses d'eau, etc., ou comme vecteur énergétique (eau chaude, eau refroidie, vapeur) aussi bien pour les procédés industriels que pour le chauffage et la climatisation urbaine ;
- *L'eau verte* pourrait être captée, stockée puis utilisée à des fins domestiques, industrielles agricoles (chasses d'eau, irrigation, lavage, nettoyage...).
- *L'eau noire* représente un gisement pour la production d'énergie renouvelable (Biogaz, Biocarburant, électricité), comme elle peut servir dans la production de fertilisants pour l'agriculture.

⁵² *L'eau bleue* : c'est l'eau potable ; *L'eau verte* : c'est l'eau de pluie ; *L'eau grise* : c'est l'eau usée domestique ou industrielle polluée par les processus de production (qui peut contenir des produits chimiques, huiles, etc. par exemple eau d'évacuation d'une douche ou d'un lavabo), elle peut être réutilisée après traitement. *L'eau noire* : c'est l'eau contenant la matière fécale des sanitaires (Chaker, 2015).



- [a] illustre un système distribué pour le traitement des eaux usées grises qui consiste en une installation de fosses septiques fixées aux bâtiments, interconnectées avec une petite installation de traitement des eaux usées à l'échelle locale. Ce système intègre des solutions d'un traitement primaire (au niveau des fosses septiques des bâtiments), puis un système de traitement secondaire dans une installation commune à proximité. Après traitement, l'eau filtrée est récupérée dans un réservoir pour être utilisée dans les chasses d'eau ou pour l'irrigation des jardins, dans les processus industriels locaux, les réservoirs de prévention des incendies, des étangs de poisson, etc. (Suzuki et al., 2010).
- [b] illustre une conception d'un bâtiment adapté à la récupération et l'usage des eaux vertes de pluie (Liébard et De Herd, 2005).

Figure 2. 14 : Solutions possibles pour la valorisation des flux d'eau

Ces solutions offrent donc plusieurs possibilités pour la valorisation des flux d'eau permettant de prendre en charge la préservation des ressources en eau notamment dans les moments difficiles (de pénurie), la réduction de leurs rejets et donc la réduction des quantités à traiter en station d'épuration, mais surtout l'optimisation de l'énergie.

Cette énergie pourrait être optimisée, d'une part, par la réduction de la consommation de l'énergie fossile nécessaire à l'approvisionnement en eau, puis à son traitement en fin de cycle⁵³ ; et d'autre part, par la récupération d'Énergie renouvelable propre à partir de différents procédés, ce qui constitue un potentiel, non négligeable, d'atténuation des émissions de CO₂ (Ehrenfeld & Chertow, 2002 ; Chertow et Lombardi, 2005 ; Jacobsen et al, 2006 ; Suzuki et al, 2010 ; Kim et al., 2018).

⁵³ Selon Massard (2011) la consommation d'énergie primaire utilisée lors des phases de production et d'approvisionnement en eau est estimée à (300 l/m³), alors que son traitement nécessite une consommation d'énergie de 0.4 kWh/m³. En comparant ces données aux quantités d'eau produites et traitées par an, il est possible de mesurer le potentiel de gain en énergie et en émissions de CO₂ qui pourrait être obtenu de la valorisation d'eau et de son utilisation en cascade.

La **Figure 2.15** illustre le fonctionnement cyclique des flux d'eau et ses implications sur l'optimisation du système urbain symbiotique et l'atténuation de ces effets en comparaison à un système linéaire.

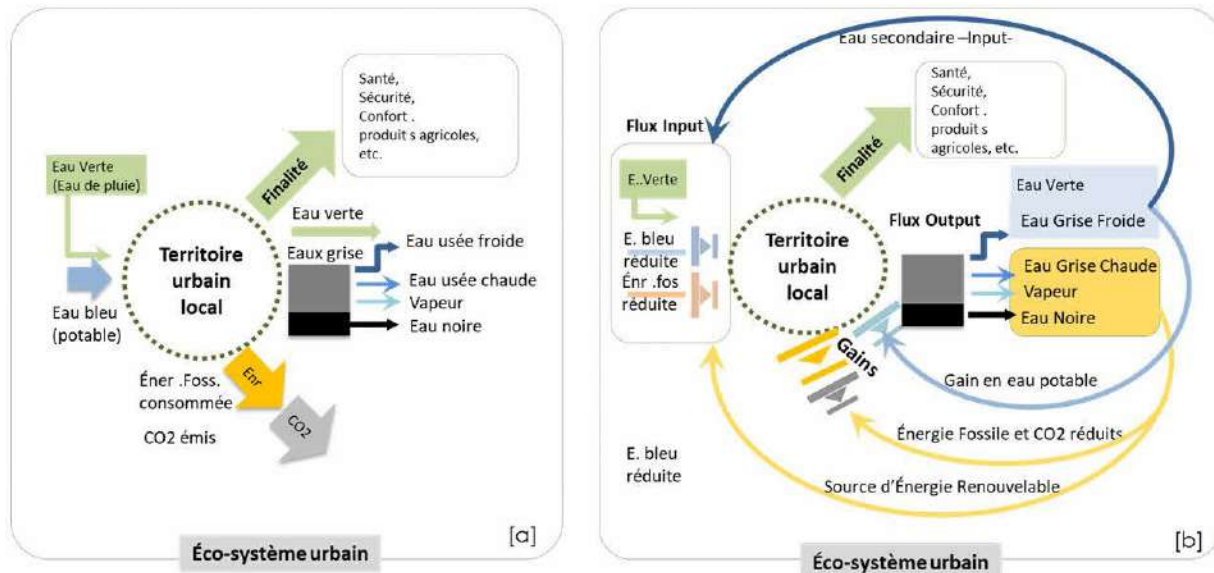


Figure 2. 15 : Fonctionnement cyclique des flux d'eau et ses implications sur l'optimisation du système urbain symbiotique en comparaison à un système linéaire.

- *Potentiel symbiotique des flux de déchets*

Les déchets solides présentent un fort potentiel de valorisation. Ils se trouvent au centre de nombreux projets symbiotiques dans le monde (Kawasaki, Guiyang, Hammarby, Barcelone, Genève, etc.) qui ont favorisé leur récupération et exploitation dans différentes activités urbaines (agriculture, industrie, construction, habitat). Plusieurs possibilités de liens symbiotiques ont été identifiées pour la valorisation des multiples flux de déchets solides inventoriés dans le [Tableau.2.7] ci-dessous. Selon la littérature, ces déchets peuvent être valorisés selon deux principales stratégies :

- Il s'agit premièrement, de leur récupération comme matière secondaire en substitution de la matière première vierge, via les options de réutilisation (à l'exemple de la réutilisation des résidus alimentaires comme alimentation animale) et de recyclage (du papier, du verre, des métaux...);
- Viennent ensuite les options de valorisation énergétique via les procédés de méthanisation et d'incinération ou via les procédés industriels.

Ces solutions permettent de réduire la consommation de la matière première vierge et de créer de nouvelles sources d'énergie renouvelable propre (biogaz, biocarburant électricité, chaleur), qui peuvent être utilisées en remplacement de l'énergie fossile pour différents usages urbains (chauffage des bâtiments, climatisation, cuisson, transport, production industrielle...). Ce qui pourrait contribuer à l'optimisation de l'énergie fossile et l'atténuation de ses effets en termes d'émissions de CO₂. Les schémas dans la **figure 2.16** illustrent le potentiel de gains en énergie et en émission de CO₂ pouvant être induits par la valorisation des différentes familles de flux déchets (DO, DI et DOI).

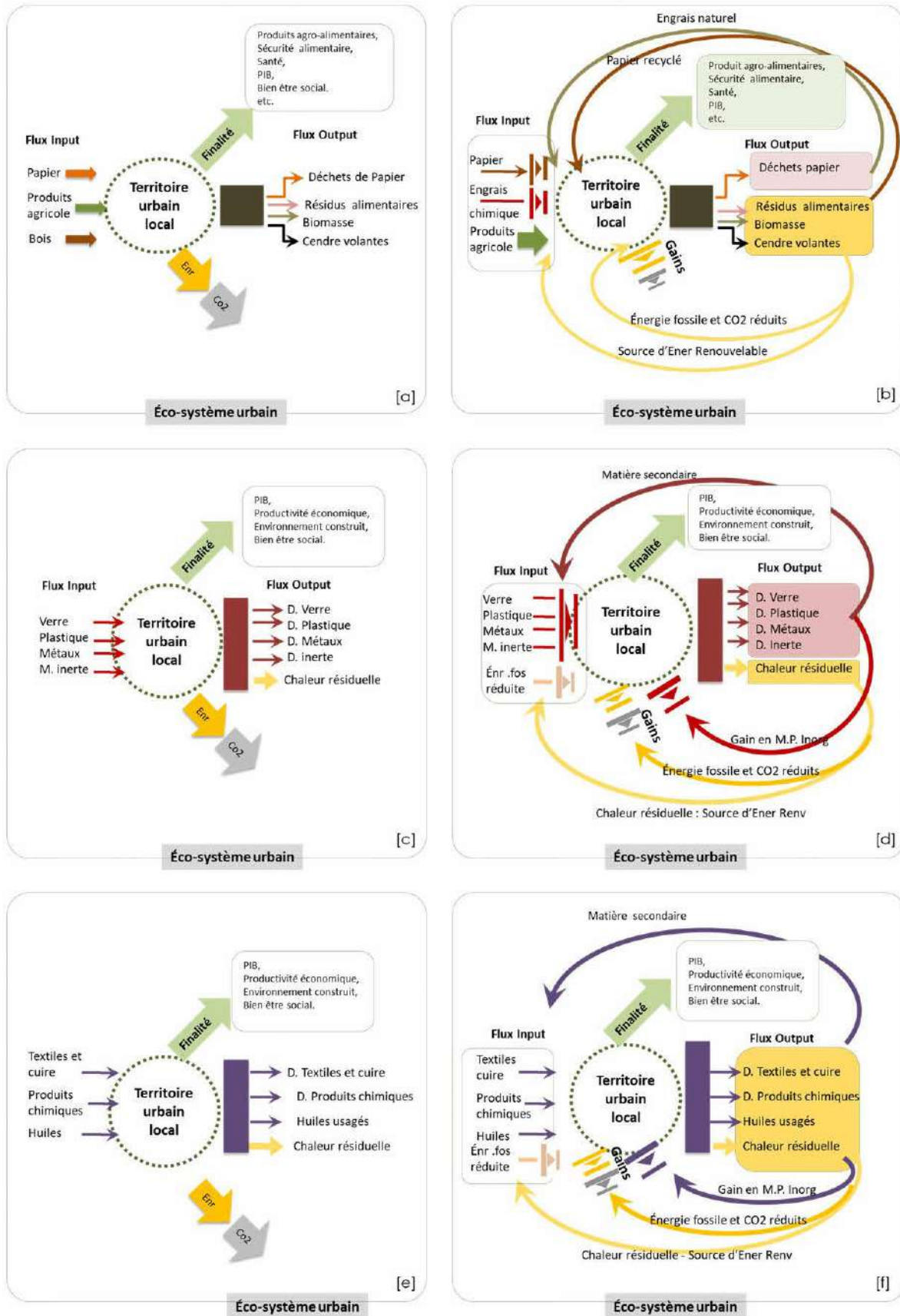


Figure 2. 16 : Gains en énergie et en émission de CO₂ pouvant être issus de la valorisation des différents flux déchets solides : [a-b] / Famille des flux DO, [c-d] / Famille des flux DI, et [e-f] Famille des flux DOI.

- **Potentiel symbiotique des rejets gazeux**

Un 3^{ème} axe de valorisation concerne les flux gazeux générés à partir des procédés industriels ou des activités urbaines sous forme de *chaleur et vapeur résiduelles* : air chaud (issu de fours, séchoirs, chaudières, etc.), air froid (issu de procédés de refroidissement), vapeur d'eau (Massard, 2011 ; Kim et al., 2018). À ce jour, ces flux sont rejetés dans l'environnement en grandes quantités, or diverses technologies permettant leur valorisation existent aujourd'hui. Par exemple, la chaleur résiduelle (fatale) générée par des procédés industriels peut être récupérée comme source d'énergie à des fins de chauffage et de refroidissement pour les logements ou les bâtiments commerciaux (Massard, 2011 ; Kim et al., 2018). De même, la vapeur non utilisée en fin de cycle industriel peut être acheminée par un pipeline vers le système d'approvisionnement en vapeur d'une autre industrie.

De nombreux projets symbiotiques internationaux se sont construits autour d'une source de chaleur ou vapeur résiduelle (Kalundborg, Guiyang, Ulsan, etc.), où le gain en énergie et en émissions de CO₂ obtenu était considérable⁵⁴. Cependant, pour la mise en œuvre de projet de ce type, la proximité géographique constitue un élément très important. Une distance à parcourir de plusieurs kilomètres devient éliminatoire pour des raisons qualitatives et économiques (Massard, 2011).

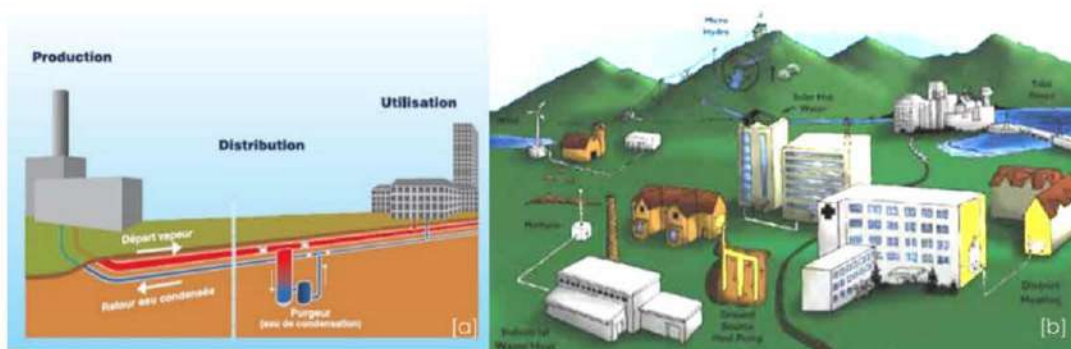


Figure 2. 17 : Liens symbiotiques pour la valorisation d'un vecteur énergétique

Source (a) : Liébard et De Herd, 2005 ; (b) : Suzuki et al., 2010

2.2.2.2 Les Sources d'Énergie renouvelables dans une SUr

Comme nous l'avons vu précédemment, la composante énergétique se trouve au cœur des liens symbiotiques. La plupart des projets en cours au niveau international s'articule autour de la valorisation énergétique des rejets (solides, liquides et gazeux) (Chertow & Lombardi, 2005 ; Jacobsen, 2006 ; Van Beers et al., 2007 ; Van Berkel et al., 2009b ; Suzuki et al., 2010 ; SOFIES, 2011 ; Massard, 2011 ; Dong et al., 2016 ; Notarnicola, Tassielli, & Renzulli, 2016), offrant ainsi de nombreuses possibilités pour la récupération de l'énergie renouvelable [Tableaux 2.6, 2.7]. Ces possibilités peuvent être classées selon les procédés de récupération en trois groupes :

1. La première opportunité consiste en la récupération du biogaz et du biocarburant à partir des procédés de méthanisation des déchets organiques et des eaux noires des stations d'épuration.

⁵⁴ Voir la section - 1.3 Étude des exemples - du chapitre 1

2. L'incinération des déchets solides organiques ou d'autres déchets non recyclables constitue une autre opportunité pour la récupération de la chaleur fatale ou la cogénération d'électricité. L'intégration des installations de cogénération favorise la production d'électricité et de chaleur dans les infrastructures de méthanisation et d'incinération. Cette solution consiste en la décentralisation de la production et de la cogénération (électricité, chaleur) ou de la trigénération (électricité, chaleur et froid) souvent combinée à la technologie des pompes à chaleur. L'intégration de la cogénération et des pompes à chaleur dans des réseaux à petite échelle recèle un fort potentiel de gain d'efficacité réduisant les pertes liées au transport (électricité) sur de longues distances grâce à un rapprochement du producteur et de l'utilisateur (Massard, 2011).
3. La troisième opportunité consiste en la récupération de la chaleur fatale (air chaud, air froid) et de la vapeur à partir des activités industrielles et urbaines disposant d'un surplus de chaleur ou de vapeur important (hôpitaux, industries des métaux, infrastructures de méthanisation ou d'incinération...).

L'énergie ainsi récupérée peut être utilisée en substitution des combustibles fossiles (électricité, carburant, gaz naturel, mazout, etc.).

Après avoir défini les éléments du système et réuni toutes les informations nécessaires à sa bonne compréhension, il convient maintenant de passer à la représentation du modèle puis son application sur le contexte local d'Alger. Cependant, avec un trop grand nombre de variables l'application du modèle devient compliquée, notamment quand il s'agit ensuite de rassembler toutes les informations et les données nécessaires à la simulation du système et d'effectuer la mesure de ses performances (ALEPH, 2004 ; Lorrain et al., 2018). Cela nous renvoie à la construction de la matrice structurelle pour l'identification des flux potentiels les plus à même de favoriser un développement bas carbone du modèle urbain symbiotique.

2.2.3 Choix des flux métaboliques potentiels pour un développement symbiotique bas carbone

L'objectif est maintenant de pouvoir centrer l'analyse sur les variables essentielles afin de gagner en pertinence parce qu'un trop grand nombre de variables est ingérable quand il s'agit ensuite de combiner les hypothèses par variables pour obtenir des scénarios (ALEPH, 2004). À cette fin, il nous faut d'abord recenser toutes les variables du système analysées *supra*. La méthode d'analyse structurelle et le programme MICMAC nous aident ensuite à structurer puis hiérarchiser ces variables afin de choisir les plus pertinentes à représenter et à appliquer dans le contexte local d'Alger.

2.2.3.1 Recensement des variables du système

La liste des variables établie dans le [Tableau 2.8] ci-dessous, inclut les 31 flux définis précédemment pour la description du système urbain symbiotique [Tableaux 2.6, 2.7]. Ces flux sont regroupés en 10 familles de flux (05 inputs et 05 outputs) homogènes, dont chacune regroupe de 1 à 4 produits / sous-produits de natures variées.

FO.1. Rejets liquides/ par type	Sous-produits	Eau secondaire valorisée /source d'énergie	Activité d'Utilisation	Ressources évitées à la consommation	Source scientifique
FO.1.1 Eau verte	Eau de pluie	Eau pour arrosage des espaces verts	Habitat Espaces verts et bleus	Eau bleue	Liébard et De Herd, 2005 ; SOFIES, 2011
		Eau pour nettoyage des routes et trottoirs	Voiries Grands espaces publics		
		Eau pour construction : extraction de graviers, recyclage des matériaux, production de béton	Industrie		
FO.1.2 Eau grise	Eaux usées des moulins à l'huile d'olive	Engrais	Agriculture	Engrais chimiques,	Notarnicola, Tassielli, & Renzulli, 2016
	Eau industrielle de refroidissement* /	Eau d'alimentation pour les chaudières produisant de la vapeur	Infrastructures techniques (centrale électrique)	Eau bleue Énergie fossile	Jacobsen, 2006
		Eau froide /Vapeur	Industrie	Énergie fossile	Chertow & Lombardi, 2005
		Eau chaude	Agriculture (Ferme aquatique)		Jacobsen, 2006
	Eaux usées industrielles (après collecte et traitement)	Eau chaude via un échangeur de chaleur pour chauffage urbain	Habitat	Eau bleue	Notarnicola, Tassielli, & Renzulli, 2016
		Eau secondaire à usage industriel	Industrie Infrastructures techniques (centrale électrique)		SOFIES, 2011 Jacobsen, 2006
	Eaux usées urbaines (après collecte et traitement)	Eau secondaire pour les chasses d'eau et l'irrigation des jardins, les processus industriels locaux, les réservoirs de prévention des incendies, les étangs de poissons, etc.	Habitat Industrie Infrastructures techniques, Agriculture	Eau bleue	Suzuki et al., 2010
		Eau pour chauffage / refroidissement urbain	Habitat	Énergie fossile	Suzuki et al., 2010
		Eau froide pour refroidissement/ Vapeur	Industrie		Chertow & Lombardi, 2005
		FO.1.3 Eau Noire	Boues d'épuration	Biogaz pour chauffage et cuisine,	Habitat/ Équipements structurants
Électricité	/Industrie			Van Beers et al., 2007	
Biocarburant pour véhicule,	Transport			Suzuki et al., 2010	
		Engrais	Agriculture	Engrais chimiques	Baccini et Bruner, 2012

* Il s'agit de l'eau utilisée pour le refroidissement des raffineries de pétrole ou des centrales électriques.

Tableau 2. 6 : Possibilités de valorisation potentielles des flux d'eau (à partir de la revue de littérature)

FO.2. Déchets Solides/ par type	Sous-produits	Matière Secondaire valorisée /source d'énergie	Activité d'utilisation	Ressources évitées à la consommation	Source scientifique
FO.2.1 Déchets Solides Organiques (Biomasse)	Résidus alimentaires / Déchets verts (végétaux)	Alimentation animale	Agriculture	Produits alimentaires	SOFIES, 2011
		Engrais naturel	Agriculture	Produits chimiques	Suzuki et al, 2010 ; SOFIES, 2011
		Source d'Énergie via les procédés de méthanisation : biogaz, électricité, chaleur, biocarburant	Habitat/ Équipements structurants /Industrie Transport	Énergie fossile	Suzuki et al, 2010 ; SOFIES, 2011 ; Massard, 2011
	Déchets de bois	Matériau pour production de brique, Revêtement des chemins piétons	Industrie de brique Industrie des revêtements extérieurs	Matière première inerte	SOFIES, 2011
		Engrais	Agriculture	Produits chimiques	Notarnicola et al., 2016 Chertow & Lombardi, 2005
	Cendres volantes	Matière pour stabiliser certains rejets liquides avant mise en décharge	Station d'épuration		Chertow & Lombardi, 2005
		Matériau pour la construction des routes	Construction de voirie	Matière inerte	
		Matériau pour production de brique et de béton	Industrie de brique/ Construction de bâtiments		SOFIES, 2011 ;
	Déchets de papier	Papier recyclé	Industrie de papier	Bois, pâte de fibres vierges, eau, énergie,	Dong et al., 2014 ; Van Berkel et al., 2009
		Déchets de verre	Verre recyclé	Industrie de verre	Matière inerte
	Déchets de plastique :				
	- Bouteilles et flacons :	Plastique recyclé	Industrie de plastique	Matière première Énergie	FEDEREC, 2017
	- Plastique usagé :	Isolant	Industrie des matériaux de construction	Matière inerte /ou organique Énergie	SOFIES, 2011 ;
	- Plastiques mélangés (contenants et emballages en plastique) :	Source d'énergie : Carburant alternatif pour four à ciment	Industrie de ciment Installation d'incinération	Charbon	Van Berkel et al., 2009 Dong, 2016
		Source d'énergie : Gaz de synthèse (pour la production d'ammoniac)	Industrie d'ammoniaque	Énergie (Gaz de ville)	Van Berkel et al., 2009
		Source d'énergie (Chaleur, électricité)	Installation d'incinération	Énergie fossile	ADEME, 2012
	Déchets de métaux :				
FO.2.2 Déchets Solides Inorganiques	- Aluminium	Substitut au matériau de production de ciment	Industrie du ciment	Matière première Énergie fossile	Dong et al., 2016 ;
	- Acier	Acier recyclé	Industrie d'acier		
		Matériau pour la fabrication du verre	Industrie de verre		
		Matériau pour la fabrication du ciment /brique/isolants thermiques	Industrie des matériaux de construction	Matière première Énergie fossile	Notarnicola et al., 2016 Dong et al., 2016 ;
		Matériau de base pour la construction de routes	Industrie des revêtements extérieurs		
	Déchets Inertes :				
	- Argile cuite (tuile, brique,...)	Matériaux pour aménagement extérieur	Industrie des revêtements extérieurs	Matière première inerte Énergie fossile	SOFIES, 2011 ; Massard, 2011
	- Bitume, gravier ou tuiles	Matière pour production de nouveaux matériaux	Industrie des matériaux de construction		Massard, 2011
	- Déchets de béton	Blocs de béton			
	Textiles usagés	Produits textiles réutilisables	Commerce et services (Collecte, réparation et revente)	Matière première Énergie	SOFIES, 2011
		Matière secondaire pour la production de textiles	Industrie textile		FEDEREC, 2017
		Source d'énergie	Installation d'incinération	Énergie fossile	
	Meubles/Matériel / D.EEE	Meuble/ Matériel EEE réutilisable	Commerce et services (Collecte, réparation et revente)	Matière première Énergie	SOFIES, 2011 ; Massard, 2011
	Huiles usagées :				
FO.2.3 Déchets Solides Organiques-Inorganiques		Coproduit de glycérol valorisable	Industrie des cosmétiques	Matière organique	
		Biocarburant pour véhicules	Transport	Énergie fossile	Massard, 2011
	- Huiles végétales usées	Combustible de substitution	Cimenterie	Énergie fossile	
	- Huiles de moteur et de lubrification				
	Déchets de produits chimiques :				
	- Solvants usagés, acides et bases	Valorisation et réutilisation*	Industrie chimique	Matière première	
		Combustible de substitution	Cimenterie/ Installation d'incinération	Énergie fossile	SOFIES, 2011
	- Sulfate de calcium issu de la production d'acide phosphorique	Matière secondaire (gypse) pour la production du Placoplâtre	Industrie du plâtre	Énergie fossile	Van Beers et al., 2007
		Matière pour l'amendement des sols	Agriculture/ Espaces verts	Matière première	

* Il s'agit de la réutilisation directe par d'autres activités économiques ou la régénération (par exemple la distillation) avant remise sur le marché. Néanmoins pas dans tous les cas, en fonction des types de produits et de leur taux d'impureté.

Tableau 2. 7 : Possibilités de valorisation potentielles des flux de déchets (à partir de la revue de littérature)

Flux		Type de flux	Famille de flux/ type	Produits/ Sous-produits
Flux Input (FI): Ressources Naturelles Primaires		Eau	FI.1. Eau bleue	FI.1.1. Eau potable
		Matière Première	FI.2. Matière Organique	FI.2.1. Produits alimentaires agricoles et industriels
				FI.2.2. Bois
				FI.2.3. Papier et carton
				FI.3. Matière Inorganique
			FI.3. Matière Inorganique	FI.3.1. Plastique
				FI.3.2. Verre
				FI.3.3. Métaux
				FI.3.4. M. inerte
			FI.4. Matière Organique/ Inorganique	FI.4.1. Textiles et cuire
FI.4.2. Produits chimiques				
		FI.4.3. Huiles		
Énergie	FI.5. Énergie fossile	FI.5.1. Gaz		
		FI.5.2. Électricité		
		FI.5.3. Carburant		
Flux Output (FO) : Rejets	Rejets liquides	FO.1. Rejets liquides	FO.1.1. Eau verte	
			FO.1.2. Eau grise	
			FO.1.3. Eau noire	
	Déchets Solides	FO.2. Déchets Organiques (Biomasse)	FO.2.1. Résidus alimentaires	
			FO.2.2. Déchets verts/ Déchets de bois	
			FO.2.3. Cendres volantes	
			FO.2.4. Déchets de papier et carton	
		FO.3. Déchets Inorganique	FO.3.1. Déchets de plastique	
			FO.3.2. Déchets de verre	
			FO.3.3. Déchets de métaux	
			FO.3.4. Déchets inertes	
		FO.4. Déchets Organiques/ Inorganique	FO.4.1. Déchets textiles et cuire	
			FO.4.2. Déchets de produits chimiques	
			FO.4.3. Huiles usagées	
			FO.4.4. Meubles/ Matériel/ Déchets d'Équipements Électriques et Électroniques (D.EEE)	
Rejets Gazeux	FO.5. Rejets Gazeux issus de la consommation d'Énergie	FO.5.1. Chaleur		
		FO.5.2. Vapeur		

Tableau 2. 8 : liste des variables du système

2.2.3.2 Analyse structurelle

Cette analyse est effectuée à l'aide d'une matrice simple non pondérée, construite avec la liste initiale des variables établies. Les variables sont disposées en lignes et en colonnes, avec le maintien de leur répartition en groupes - familles de flux inputs et outputs [Tableau. 2.9]. Le remplissage de l'ensemble de la matrice (31*31) variables produit 961 questions à se poser pour déterminer l'influence directe de chaque variable (de ligne) sur toutes les autres variables de colonne. Les réponses sont données pour chaque couple de variables selon le langage représenté dans la [Figure 2.18].

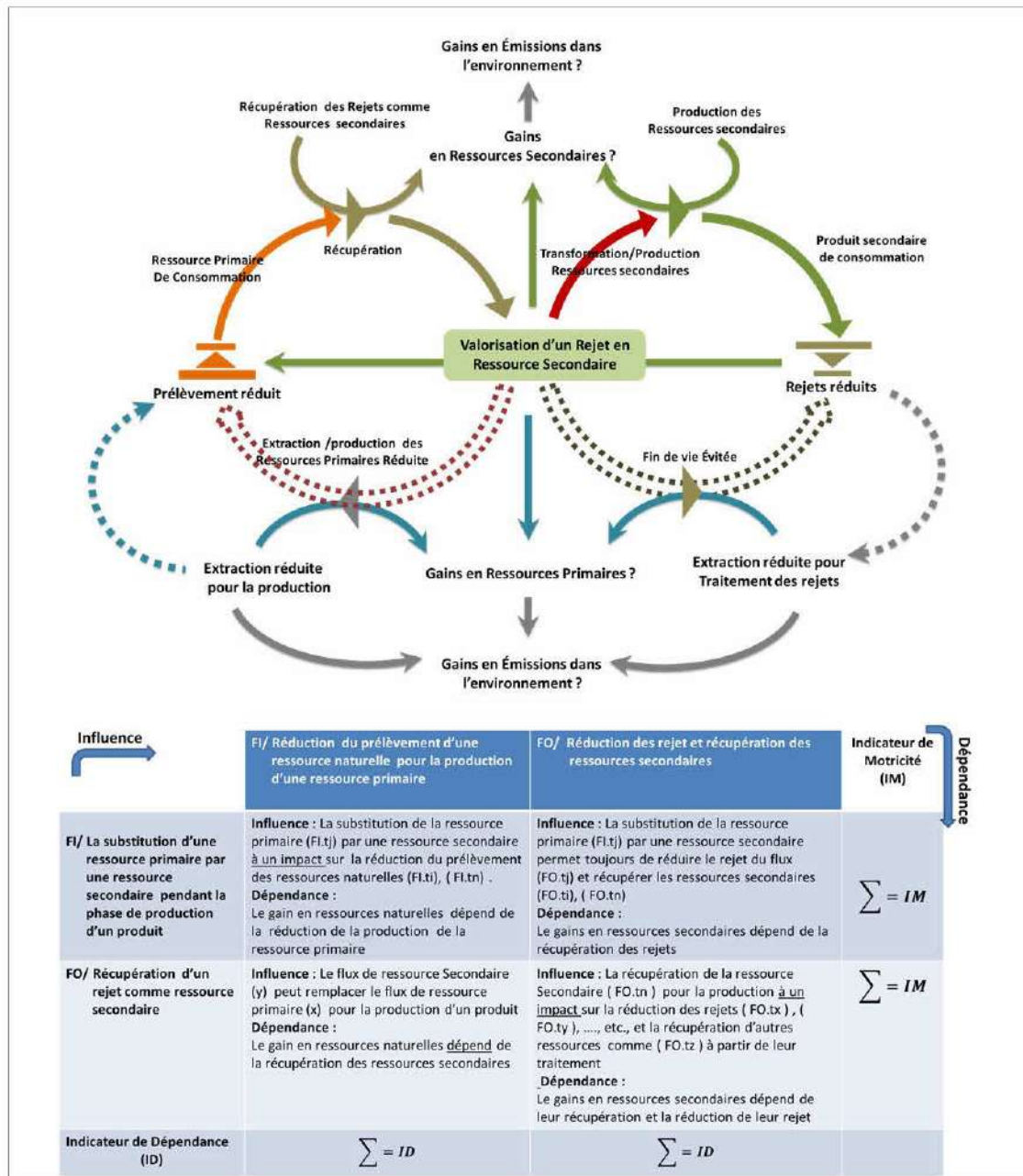


Figure 2. 18 : Principe de remplissage de la matrice structurelle

Une valeur de « 1 » (oui, relation constatée) ou « 0 » (non, relation inexistante ou peu probable) est indiquée dans les cases correspondantes selon qu'il y ait une relation directe ou non entre deux variables. Ainsi :

- La somme des « 1 » en bout de ligne correspond à un **indicateur d'influence** indiquant le nombre de fois où la variable de ligne a une action sur le système.
- La somme des « 1 » en bas de colonnes correspond à un **indicateur de dépendance** indiquant le nombre de fois où la variable de colonne subit l'influence des autres variables.

Le traitement des résultats est effectué à l'aide des logiciels Excel puis MICMAC. Le **tableau 2.9** et la **Figure 2.19** montrent les premiers traitements de la matrice avec un taux de remplissage positif (nombre de « oui ») de 23 %. Le classement des variables dans l'ordre décroissant de leurs indicateurs d'influence et de dépendance nous permet de dégager les variables ayant la plus grande action directe.

Un deuxième traitement des résultats consiste à projeter les variables sur le plan des influences/dépendances du logiciel MICMAC. La **Figure [2.21.a]** nous permet de visualiser la répartition des variables sur ce plan et les classer selon le degré de leur motricité ou dépendance. Une première lecture de ce plan nous permet de dégager une série d'informations qui nous indiquent clairement les variables clés du système, il en ressort que :

- L'optimisation du système urbain symbiotique est conditionnée principalement par la récupération des flux de **déchets solides** (variables motrices) et leur valorisation comme **matière secondaire** ou **source d'énergie renouvelable** (voir le cadrant 1 du plan).
- Les flux les plus optimisés (variables influencées) par la mise en place d'une SUR dans le système urbain se rapportent aux flux d'énergie primaire (Gaz, carburant), principal responsable, rappelons-le, des émissions de CO₂ (voir le cadrant 4 du plan).

L'analyse du positionnement de l'ensemble des variables par rapport aux différents quadrants, nous permet de les classer en 05 catégories selon la répartition de Godet (2007)⁵⁵.

1. La première catégorie regroupe les variables du cadrant 1, qui présentent les Flux Outputs (FO : 2.1/2.3 /3.1/3.3/4.4) et Inputs (FI : 2.1/2.3/4.1)⁵⁶ les plus prédominants déterminants dans le système urbain symbiotique. Ces flux traduisent un fort potentiel d'optimisation d'énergie et par conséquent d'atténuation des émissions de CO₂. Ce sont des variables très influentes et peu dépendantes des autres variables du système. Ce sont celles qui conditionnent l'évolution du système vers sa finalité.
2. La deuxième catégorie regroupe les variables du quadrant 2, variables relais qui sont par définition à la fois très influentes et très dépendantes. On relève les flux d'électricité et de chaleur fatale. La production d'électricité et de chaleur, à partir de sources d'énergie renouvelable, constitue un levier pour optimiser la consommation d'énergie fossile et réduire ses impacts, cependant cette production dépend de la récupération des déchets comme ressources.

⁵⁵ Voir figure 2.8. de la section 2.1 relative au classement des variables sur le plan d'influence-dépendance.

⁵⁶ Les Flux Outputs prédominants sont : FO.2.1. Résidus alimentaires, FO.2.3. Cendres volantes, FO.3.1. Déchets de plastique, FO.3.3. Déchets de métaux, FO.4.4. Meubles/ Matériel/ Déchets d'Équipements Électriques et Électroniques (D.EEE). Les Flux Outputs prédominants sont : 2.1. Produits alimentaires agricoles et industriels, FI.2.3. Papier et carton, FI.4.1. Textiles et cuire.

			Gains en terme de réduction de la consommation des ressources et des rejets																													IM (Total /31)				
			FI. Flux inputs réduits														FO. Flux Outputs réduits																			
			FI.1.				FI.2.				FI.3.				FI.4.		FI.5.				FO.1.			FO.2.				FO.3.			FO.4.			FO.5.		
			Eau	Matière Prem.Org			Matière Prem.Inorg				Matière prem. Org-Inorg		Énergie fossile				Rejets liquides			Déchets Solides Org				Déchets Solides Inorg			Déchets Solides Org-Inorg			Rejets Gazeux						
FI.1.1.	FI.2.1.	FI.2.2.	FI.2.3.	FI.3.1.	FI.3.2.	FI.3.3.	FI.3.4.	FI.4.1.	FI.4.2.	FI.4.3.	FI.5.1.	FI.5.2.	FI.5.3.	FO.1.1.	FO.1.2.	FO.1.3.	FO.2.1.	FO.2.2.	FO.2.3.	FO.2.4.	FO.3.1.	FO.3.2.	FO.3.3.	FO.3.4.	FO.4.1.	FO.4.2.	FO.4.3.	FO.4.4.	FO.5.1.	FO.5.2.						
Eau bleu	Prod agric	Bois	Papier et carton	Plast	Verre	Métaux	M. inerte	Text	Prod. Chim	Huiles	Gaz	Elect	Carbur	Eau verte	Eau G.	Eau noire	R.aim	Déchets verts	DB/ Cendre vol	D. Papier et carton	D. Plast	D. Verre	D. Métaux	D. inerte	Text	FO.4.3. D. Produits chimiques	H. Usage	D.EEE	Chal Res	Vap						
N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31					
Relations symbiotiques	FI. Flux Inputs	FI.1. Eau	FI.1.1. Eau bleu (potable)	1																												4				
		FI.2. Matière Prem.Org	FI.2.1. Produits alimentaires	2	1						1		1	1	1																		9			
			FI.2.2. (*) Bois	3								1	1	1	1	1																	6			
		FI.3. Matière Prem.Inorg	FI.2.3. Papier et carton	4	1	1	1																										9			
			FI.3.1. Plastique	5								1		1	1	1								1									6			
	FI.3.2. Verre		6										1	1	1									1								8				
	FI.3.3. Métaux		7											1	1	1																6				
	FI.4. Matière Prem.Org-Inorg	FI.3.4. M. inerte	8										1	1	1																	5				
		FI.4.1. textiles	9	1	1			1	1				1	1	1											1						11				
		FI.4.2. Produits chimiques	10	1										1	1	1												1				6				
	FI.5. Ener Fossile	FI.4.3. Huiles	11								1		1	1	1																	6				
		FI.5.1. Gaz	12											1	1																	6				
		FI.5.2. Électricité	13	1											1																	10				
	FO. Flux Outputs	FO.1. Rejets liquides	FI.5.3. Carburant	14																													5			
			FO.1.1. Eau verte	15	1													1	1														4			
			FO.1.2. Eau grise	16	1																													7		
		FO.2. Déchets Solides Org	FO.1.3. Eau noire	17																														5		
			FO.2.1. Résidus alimentaires	18		1													1	1	1								1	1			9			
			FO.2.2. Déchets verts	19		1																1												8		
			FO.2.3. D. de bois/ Cendre volante	20																			1	1										10		
			FO.2.4. D. Papier et carton	21																														7		
			FO.3.1. D. Plastique	22		1	1																											9		
			FO.3.2. D. Verre	23																														7		
		FO.3. Déchets Solides Inorg	FO.3.3. D. Métaux	24																														10		
			FO.3.4. D. inerte	25																														4		
			FO.4.1. D.Textiles	26																														8		
		FO.4. Déchets Solides Org-Inorg	FO.4.2. Produits chimiques	27																														6		
			FO.4.3. Huiles Usagés	28																														5		
	FO.4.4. D.EEE		29			1		1	1	1																							11			
	FO.5. R.G		FO.5.1. Chaleur Résiduelle	30																														11		
		FO.5.2. Vapeur	31																														5			
ID (Total/31)			7	5	3	1	3	5	2	7	1	12	1	29	28	27	1	4	6	6	6	6	2	4	2	2	1	2	8	6	4	22	10			

Tableau 2. 9 : Résultats du traitement de la matrice structurale sur Excel

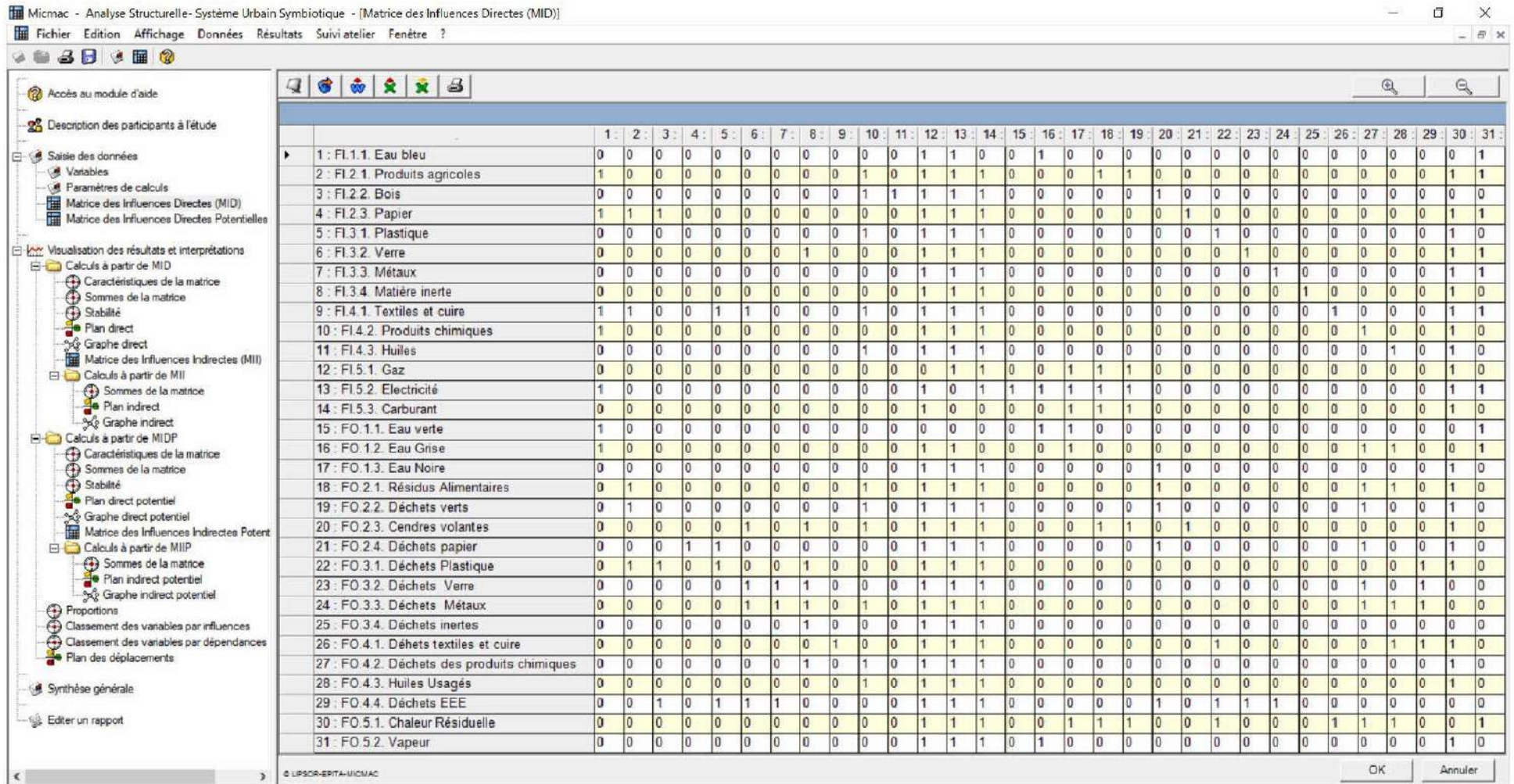


Figure 2. 19 : Résultats du traitement de la matrice structurelle sur MICMAC

Ces variables constituent des enjeux dans le système étudié, les actions qu'elles subissent se répercuteront sur l'ensemble du système.

3. La troisième catégorie regroupe les variables du quadrant 3 qui représente les variables résultat, ou « les flux les plus optimisés » du fonctionnement urbain symbiotique. On relève les flux : FI.5.1. (gaz), FI.5.3. (carburant). En effet, ces variables constituent des éléments de réponses clés à l'objectif de ce système en termes d'atténuation des émissions de CO₂. Leur évolution dépendra cependant des deux premières catégories de variables : déterminantes (cadrant 1) et relais (cadrant 3).
4. La quatrième catégorie regroupe en revanche les variables du quadrant 4, lesquelles sont peu influentes et peu dépendantes (proches de l'origine), elles n'ont que peu de liaisons avec les autres variables et ne sont pas déterminantes pour l'évolution du système. Ces variables peuvent être exclues de l'analyse.
5. La cinquième catégorie regroupe les variables du peloton. On relève les flux de déchets de papier, de verre et d'eau grise, qui semblent être des variables moyennement influentes et moyennement dépendantes. Leur rôle dans le système ne peut pas être clairement déterminé à partir d'un traitement des relations directes.

À ce titre, Godet (2007) attire l'attention sur la prudence à garder dans l'évaluation de ce type de variables. Le flux FO.2.4 de déchets de papier, par exemple, est en réalité à la base de la production du flux de papier recyclé (FI.2.3) et par conséquent à la base des tous les gains en émissions issus de cette production [figure 2.20].

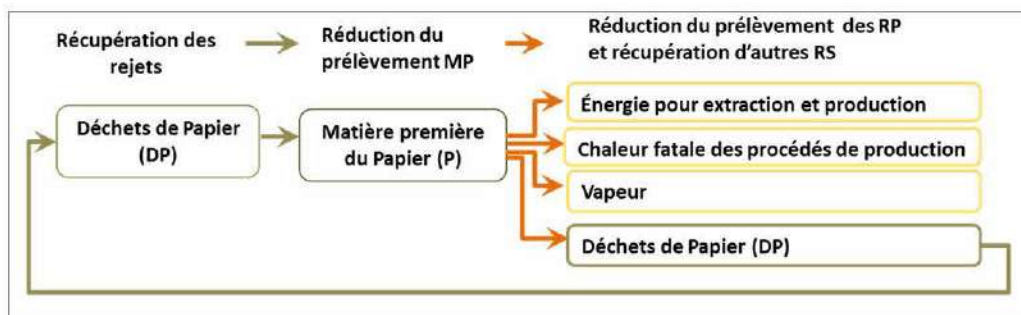


Figure 2. 20 : Exemple de relation indirecte dans le Système Urbain Symbiotique (Selon le modèle dans la figure 2.7.b)

Cela explique que l'examen des influences directes effectué dans cette étape est insuffisant pour déceler les variables « cachées », qui peuvent aussi avoir une influence importante sur l'optimisation du système. Il convient donc de prendre également en compte les *influences indirectes* entre les variables. Ceci s'opère par le recours au calcul matriciel avec la méthode MICMAC. Ce calcul conduit à redéfinir la hiérarchie des variables en fonction du nombre des influences indirectes qu'elles exercent sur les autres variables. Il est obtenu après élévation en puissance de la matrice, par itérations successives, et ce autant de fois que nécessaire (en général 4 ou 5 itérations) jusqu'à l'obtention de la stabilité de la hiérarchie (Godet et al., 2004 ; Godet, 2007). Dans le cas de notre étude, cette stabilité est atteinte avec un nombre d'itérations égal à 3.

Le Plan des Influences/dépendances Indirectes PII dans la [Figure 2.21.b] s'avère éclairant sur quelques variables. Nous pouvons voir émerger dans le cadrant des influences les

variables suivantes : déchets de papier, déchets textiles situés auparavant dans le groupe peloton et la variable eaux grises dans le cadrant des variables initialement exclues.

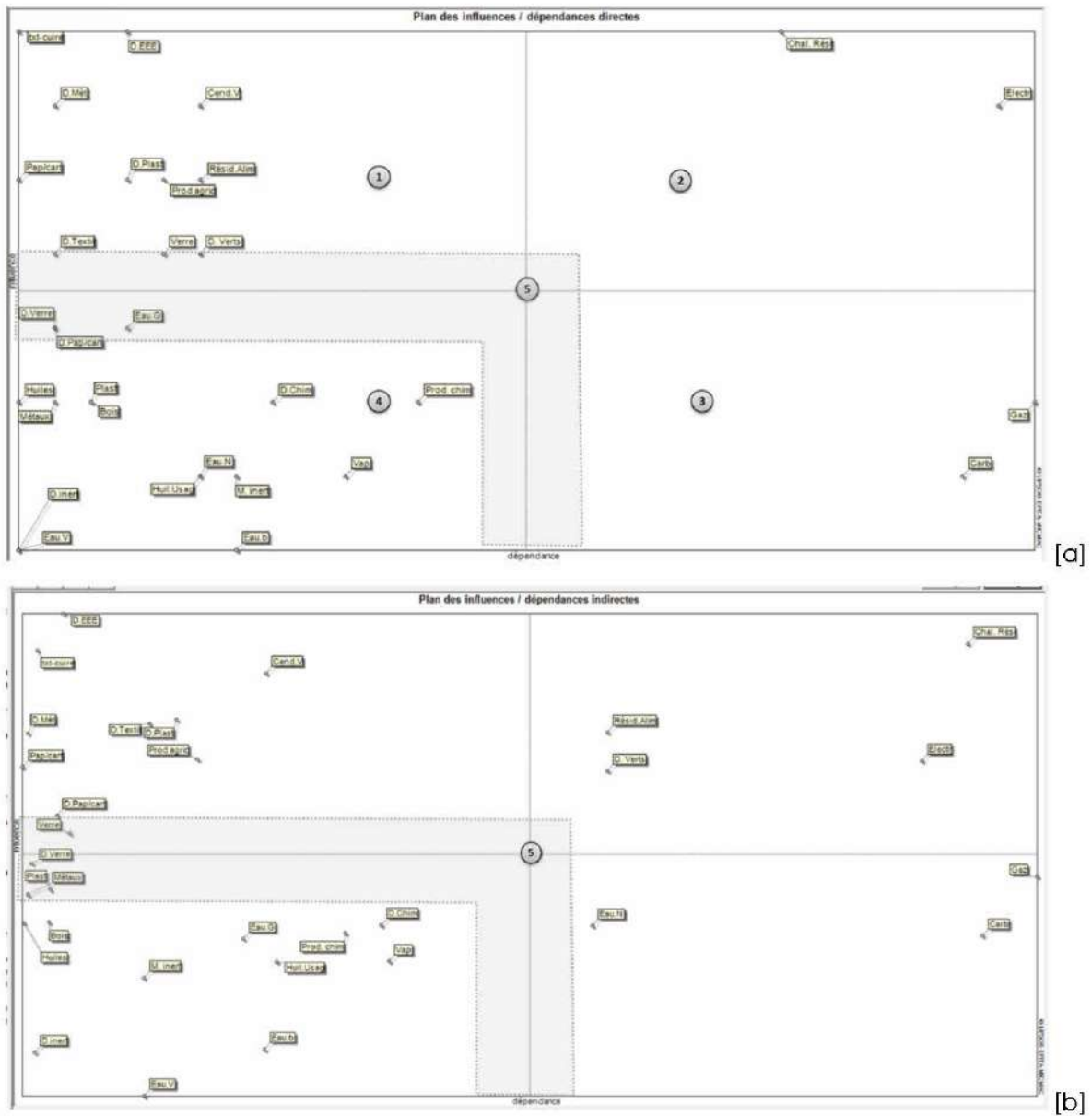


Figure 2. 21 : Plan Influence dépendance du Système Urbain Symbiotique avec le Programme MICMAC

La comparaison de la hiérarchie des variables dans les deux classements (direct, indirect) [Figure 2.22] nous permet de dévoiler certaines variables qui, du fait de leurs influences indirectes, peuvent jouer un rôle plus important dans la dynamique du système. On peut relever par exemple les variables relatives aux :

- Flux de déchets plastiques qui passe du 10^{ème} rang au 5^{ème} rang
- Flux de déchets textiles et déchets de papier qui passe de la catégorie « peloton » à celle des variables influentes.

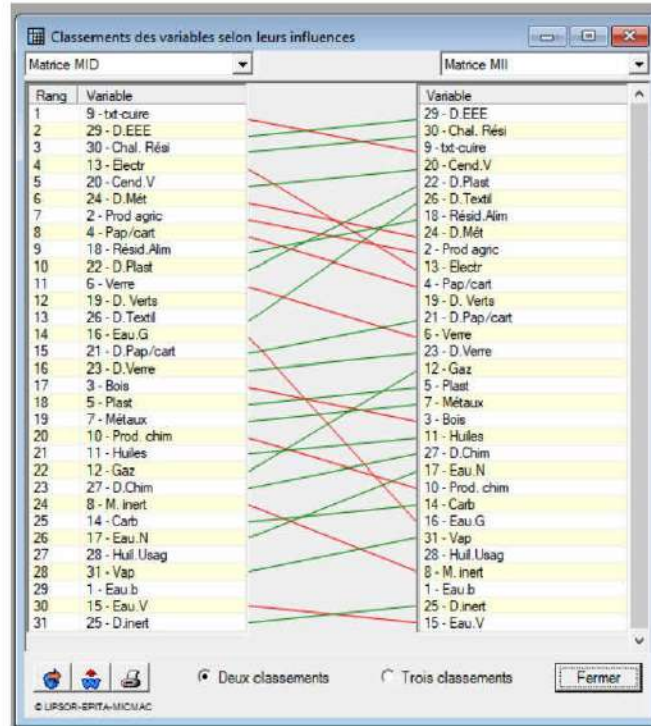


Figure 2. 22 : Classement des variables selon leurs influences avec le programme MICMAC

En effet, malgré les changements dans le classement des variables cette analyse confirme les résultats des influences directes en termes d'importance des flux de déchets solides et de matière première dans l'optimisation des flux d'énergie. La répartition indirecte ne diffère pas de la répartition directe où l'ensemble des variables de ces catégories maintiennent leurs rôles respectifs (plus influentes/ plus dépendantes).

On pourra donc sélectionner **les 19 variables clés [Tableau 2.10]** qui nous semblent les plus significatives pour l'évolution du système vers la finalité recherchée. Elles ont été classées selon leur rôle dans le système.

(1) Variables liées à l'action		(2) Variables résultats
<p>A. Collecte et récupération</p> <p>FO.2.1. Résidus alimentaires</p> <p>FO.2.2. Déchets verts/ Déchets de bois</p> <p>FO.2.3. Cendres volantes</p> <p>FO.2.4. Déchets de papier et carton</p> <p>FO.3.1. Déchets de plastique</p> <p>FO.3.2. Déchets de verre</p> <p>FO.3.3. Déchets de métaux</p> <p>FO.4.1. Déchets de textiles et cuire</p> <p>FO.4.4. Meubles/ Matériel/ Déchets d'Équipements Électriques et Électroniques (D.EEE)</p>	<p>B. Transformation et production</p> <p>FL.2.1. Produits alimentaires agricoles et industriels</p> <p>FL.2.3. Papier et carton</p> <p>FL.3.1. Plastique</p> <p>FL.3.2. Verre</p> <p>FL.3.3. Métaux</p> <p>FL.4.1. Textiles et cuire</p>	<p>C. Gains en Énergie primaire et secondaire</p> <p>FL.5.1. Gaz /Biogaz</p> <p>FL.5.2. Électricité</p> <p>FL.5.3. Carburant / Biocarburant</p> <p>FO.5.1. Chaleur</p>

Tableau 2. 10 : Variables clés du modèle urbain symbiotique bas carbone "SUR-BC"

En somme, ces résultats indiquent que la valorisation des déchets solides comme matières secondaires constitue une piste potentielle pour atteindre l'objectif d'atténuation des émissions de CO₂. Un tel potentiel devrait être recherché et mis en lumière, dans une perspective systémique, dans le contexte local d'Alger. Pour ce faire, les variables identifiées seront retenues, dans la prochaine étape, pour la construction des indicateurs et *des indices* permettant l'opérationnalisation du modèle sur le territoire d'EH-OS et l'évaluation de ses performances d'optimisation, mais au préalable, il convient d'abord de représenter le modèle symbiotique avec les variables choisies.

2.2.4 Représentation du modèle conceptuel "SU_r-BC" à appliquer dans le contexte local d'Alger

À la lumière des résultats de l'analyse structurelle, nous pouvons enfin nous livrer à une manipulation plus poussée des variables choisies. Un modèle basé sur la valorisation des flux de déchets sera donc proposé pour faire évoluer le système vers un fonctionnement performant en termes de consommation d'énergie et d'atténuation des émissions de CO₂.

Ce modèle repose sur la création d'un *jeu de relations circulaires* qui comporte les flux sortants de déchets et les flux entrants d'énergie, et dans lequel interagissent les différents sous-systèmes urbains et leurs composantes. Il implique une réorganisation fonctionnelle permettant la mobilisation des différents éléments du système (activités urbaines, réseaux et infrastructures) dans un processus cyclique des flux métaboliques (*Inputs–Outputs*) capable de prendre en charge, à la fois : (i) la collecte et la transformation des flux de déchets produits (collecte, transport, traitement); (ii) et en rétroaction, la *récupération d'énergie* et sa redistribution aux activités consommatrices.

Dans cette visée, les éléments et les composantes des sous-systèmes urbains se trouvent directement à l'intersection du besoin de performance symbiotique (Lorrain, 2018). Les bâtiments, les infrastructures et réseaux qui les constituent ne sont plus considérés comme des éléments isolés, mais comme « les maillons d'une chaîne inscrite dans un écosystème urbain ou territorial plus vaste » (Rey, 2013).

En effet, ce processus cyclique prend en charge la réduction des quantités de déchets produites par les activités urbaines présentes sur le territoire, la préservation de la matière première vierge nécessaire pour maintenir ces activités, mais surtout **la récupération d'énergie** à partir de différents procédés. Quatre formes de récupération d'énergie sont offertes par ce modèle : (i) **la production** d'énergie renouvelable propre à partir des procédés de méthanisation et d'incinération ; (ii) **la réduction** de la consommation d'énergie, via la valorisation des matériaux à forte intensité énergétique, qui permet d'éviter la consommation d'énergie et les émissions liées à l'extraction et à la transformation des matériaux vierges au cours des nombreuses étapes du cycle de vie ; (iii) **la récupération de l'énergie fatale** issue des procédés industriels ; (iv) et enfin, **le détournement** des déchets des sites d'enfouissement vers des industries locales pour valorisation, qui permet d'éviter les impacts liés au transport et au traitement dans des zones lointaines.

Dans cette perspective, le modèle suppose la création de nouvelles sources d'énergie renouvelable, dont la réintroduction dans le système pourrait avoir une rétroaction positive sur la réduction de l'énergie fossile utilisée et, en conséquence, celle des émissions de CO₂ liées. **La Figure. 2.23**

présente le modèle fonctionnel d'optimisation du système de métabolisme circulaire proposé. La vérification de ses implications passe par l'analyse des performances du système.

Le principe fondamental dans ce modèle consiste à considérer que tout gain en énergie récupérée par les différents procédés diminue la quantité d'énergie fossile utilisée pour faire fonctionner le système métabolique et participe, par conséquent, à la réduction des émissions du carbone.

Cependant, différentes combinaisons des liens symbiotiques sont possibles dans le territoire EH-OS concerné par l'étude. Ces combinaisons doivent être identifiées, avant de proposer une méthode d'évaluation des performances symbiotiques du système urbain.

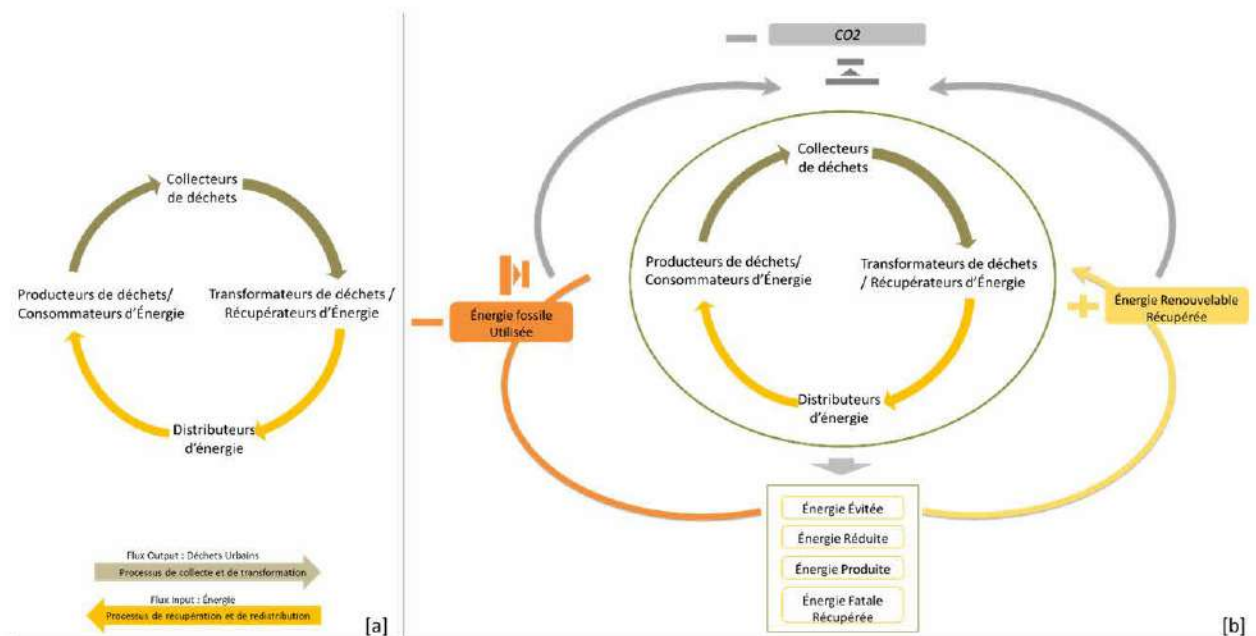


Figure 2. 23 : Modèle fonctionnel proposé pour l'optimisation du système urbain basé sur un métabolisme cyclique : [a] Organisation fonctionnelle des éléments du système selon un processus cyclique des flux métaboliques (output-input); [b] Impacts des processus de récupération d'Énergie

Ainsi, une fois le modèle conçu, il convient maintenant de vérifier ses performances et évaluer les gains escomptés dans le contexte urbain local d'Alger. Cette étape empirique fera l'objet de notre prochain chapitre.

2.3. Synthèse et conclusion du Chapitre 2

Basé sur le cadre théorique du concept de S_{Ur} défini dans le chapitre 1, l'objectif du présent chapitre était de construire un modèle urbain symbiotique bas carbone "S_{Ur}-BC". Pour y parvenir, il a fallu, d'abord, présenter l'approche méthodologique de modélisation, basée sur l'approche systémique.

L'approche systémique regroupe les démarches théoriques, méthodologiques et pratiques permettant d'appréhender les phénomènes complexes dans leur totalité et leur dynamique. Elle trouve ses racines dans les idées des mouvements théoriques précurseurs qui l'ont précédé et qui lui ont beaucoup apporté, particulièrement : le structuralisme, la cybernétique et la théorie de

l'information. Cette approche vient marquer un changement considérable dans le raisonnement scientifique, jusqu'alors dominé par une pensée cartésienne analytique. La lecture diachronique de la systémique nous a permis de distinguer deux courants différents, mais complémentaires : le premier courant (système de première génération), directement issu de la cybernétique, cherche à comprendre le système et prévoir son comportement en s'appuyant sur des méthodes quantitatives ; le second (de deuxième génération) vise à étudier l'évolution dynamique des systèmes selon un mécanisme d'auto-organisation. Dans cette conception, l'accent est mis sur l'intelligibilité du comportement du système, en vue d'en orienter l'action. Les deux courants ont fait de la systémique "un savoir et une pratique" combinant en permanence "connaissance et action". C'est une approche qui se distingue par sa démarche explicative, représentative et conceptuelle permettant de comprendre et modéliser des systèmes complexes, quels qu'ils soient, mais aussi de s'y orienter dans leur complexité et d'y agir sur elle.

Le concept de "système" constitue, dans ce cadre, le socle sur lequel repose la systémique. Un système se définit par : (i) son organisation structurelle, c'est-à-dire les composantes et éléments statiques qui le constituent ainsi que l'interaction entre eux et avec leur environnement ; (ii) son organisation fonctionnelle dynamique, qui détermine son comportement et oriente son évolution dans le temps selon un objectif spécifique. Le système prend forme avec la modélisation systémique qui permet de le caractériser comme un "modèle".

Outil fondamental de la systémique, la modélisation est le processus permettant de représenter un système. Sa mise en pratique repose sur des règles ou principes théoriques généraux et des méthodes et outils pratiques. Nous avons relevé quatre règles générales selon lesquelles la modélisation implique le modélisateur dans le système qu'il conçoit, tout en l'aidant à déterminer les éléments à prendre en compte dans la représentation et l'organisation de son modèle : (i) la 1^{ère} règle fait appel aux principes de pertinence et de téléologie liées à l'exercice intellectuel du modélisateur ; (ii) la 2^{ème} règle se rapporte aux propriétés générales d'un système, dont : totalité, complexité et interrelation ; (iii) la 3^{ème} règle définit le rapport du système avec son environnement : ouverture/ fermeture (iv) et la 4^{ème} règle permet de déterminer son organisation interne, c'est-à-dire sa structure et son fonctionnement qui évoluent selon un mécanisme hiérarchique d'auto-organisation. Par ailleurs, le processus de modélisation a été défini, selon les chercheurs, par quatre étapes portant principalement sur : (i) la définition du modèle, qui permet de fixer sa finalité et identifier ses éléments ; (ii) sa construction, permettant de dessiner le modèle ; (iii) sa formalisation permettant de déterminer le comportement du modèle en mettant l'accent sur son fonctionnement et sa dynamique d'évolution ; (iv) et enfin son expérimentation par la quantification et la simulation. La mise en œuvre de ce processus, repose sur un certain nombre d'outils qui peuvent être regroupés selon leurs objectifs en trois groupes : (i) des outils d'investigation et de compréhension, dont : la triangulation, la causalité ainsi que les schémas systémiques qui permettent de décrire le modèle par la représentation graphique ; (ii) des outils d'analyse, dont l'analyse structurelle et le programme MICMAC permettant d'étudier le comportement du système et identifier ses variables clés (iii) et des outils de simulation dont, la formalisation mathématique et la méthode des scénarios qui favorisent la quantification et la simulation dans un contexte réel.

Appliquée à la ville, cette démarche nous a permis, dans la deuxième partie de ce chapitre, de modéliser notre système urbain symbiotique local bas carbone "SU_r-BC". La définition du modèle

repose sur l'identification des éléments le composant et la relation entre eux. Dans notre cas, les éléments retenus sont (i) les activités urbaines, éléments d'organisation spatiale structurés en quatre sous-systèmes (habitat, activités, espaces verts et ouverts et infrastructures de support) ; (ii) les flux métaboliques input-output (éléments d'organisation fonctionnelle régissant le fonctionnement de ces activités). Ces éléments ont été choisis pour étudier la relation entre fonctionnement symbiotique urbain et émissions de CO₂ dans l'air, dont l'intérêt est de répondre à une question globale du CC à partir d'une échelle locale, celle de la ville.

L'analyse causale du cycle métabolique urbain nous a permis, à l'aide des schémas systémiques, d'identifier le potentiel de valorisation que pourrait induire un fonctionnement cyclique de ses flux. Plusieurs solutions ont été identifiées dans la littérature permettant la valorisation des flux outputs (rejets liquides, solides et gazeux) en ressources secondaires inputs (eau, matières, énergie) utiles pour différents usages urbains. Ce processus cyclique implique différentes activités urbaines dans des liens symbiotiques potentiels permettant de réduire la consommation des ressources naturelles et les rejets conséquents. Le plus important, c'est que le potentiel de valorisation énergétique est fortement présent dans le cycle des trois types de flux (rejets liquides, déchets solides et rejets gazeux). Une énergie renouvelable propre pourrait être récupérée à partir de différents procédés : (i) de méthanisation des déchets solides et des eaux noires ; (ii) d'incinération des déchets solides organiques ou d'autres déchets non recyclables ; (iii) ainsi que des procédés industriels et urbains. L'énergie ainsi récupérée peut être utilisée en substitution des combustibles fossiles. Ce qui constitue un potentiel important pour l'optimisation d'énergie et l'atténuation des émissions de carbone conséquentes.

Par ailleurs, cette analyse nous a permis de nous rendre compte de la complexité du fonctionnement du cycle métabolique urbain et de la difficulté de prendre en compte l'ensemble de ses flux dans la simulation du modèle symbiotique et l'évaluation de ses performances. L'analyse structurelle vient alors nous simplifier la tâche. Elle nous a permis de structurer et hiérarchiser les variables par ordre d'importance et de les réduire aux variables clés (les plus influentes et les plus dépendantes). Le traitement des résultats avec le programme MICMAC nous a permis de visualiser la répartition des variables sur le plan influence/dépendance et leur classement selon le degré de leur motricité/ et dépendance. La lecture de ce plan fait ressortir les flux de déchets solides comme flux potentiels dans les liens symbiotiques, dont la valorisation permet d'atteindre l'objectif d'optimiser l'énergie et d'atténuation les émissions de CO₂. Cette étape débouche sur une représentation du modèle simplifié, basé sur la valorisation des flux de déchets qui sera donc simulé et évalué dans le contexte local d'Alger. Cette étude empirique fera l'objet de notre prochain chapitre.

Conclusion de la Première Partie

En vue de faire face aux dangers du CC, cette partie visait la compréhension des modalités permettant l'atténuation du CC au niveau des villes, par la stratégie de Symbiose Urbaine "SUr".

Nous avons vu dans le 1^{er} chapitre que le CC est essentiellement dû à la concentration des émissions de CO₂, principal GES, dont l'accumulation est liée aux activités anthropiques des villes. Ces dernières, par leur fonctionnement métabolique linéaire sont responsables d'une grande consommation d'énergie et par conséquent des émissions massives de CO₂, dont l'accumulation ne cesse d'augmenter, notamment avec l'accélération du processus d'urbanisation auquel est liée une croissance démographique et économique importante. Une telle évolution pourrait aggraver la situation climatique et induire des catastrophes naturelles qui se répercuteront à leur tour sur les villes, notamment les villes côtières et celles des pays en voie de développement, qui sont les plus vulnérables. En effet, l'effort global fourni pour y faire face est important. Pratiquement tous les pays se sont engagés dans les accords internationaux de la CCNUCC pour la lutte contre le CC. Aujourd'hui, plusieurs pays ont réussi à tenir leur engagement, et cela par la mise en place des nouvelles politiques et le développement de nouveaux outils impliquant les villes aussi bien dans des stratégies d'adaptation que d'atténuation. Dans ce cadre, l'engagement de l'Algérie pour réduire ses émissions de GES de (7 %) reste dépendant des outils stratégiques à mettre en œuvre pour atteindre un tel objectif. Et c'est en s'inscrivant dans cette visée, que nous avons cherché à mettre en évidence le potentiel considérable de la stratégie de SUr en termes d'atténuation des émissions de CO₂.

Nous avons vu que la SUr offre aussi bien un cadre théorique large, que des outils méthodologiques et opérationnels favorisant la mise en œuvre de projets symbiotiques. Le concept de SUr offre la possibilité de boucler les flux métaboliques non pas seulement à l'échelle des parcs industriels, mais aussi à l'échelle urbaine locale, de commune ou du quartier. La SUr, permet de valoriser les rejets en ressources via la création des réseaux d'échanges de matière, d'eau et d'énergie entre diverses activités urbaines en tirant parti de la proximité. Les recherches dans ce domaine évoluent selon trois axes : (i) conceptuel permettant l'évolution du concept ; (i) méthodologique, permettant le développement des méthodes d'analyse et d'évaluation ; (ii) et le troisième axe portant sur l'évolution des recherches empiriques. Ce dernier acquiert un potentiel important dans le domaine qui a permis l'évaluation des performances socio-économiques et environnementales d'une grande partie des projets symbiotiques opérationnels. Plusieurs recherches ont démontré ces performances en matière d'atténuation du CC dans différents projets pionniers.

Basée sur ces recherches, notre analyse des exemples de projets symbiotiques nous a permis de relever le potentiel de gain important en termes d'optimisation d'énergie et de réduction des émissions de CO₂, obtenu grâce aux liens symbiotiques, notamment à l'échelle des systèmes

industriels. Cependant, la majorité des études se focalisent sur l'évaluation des SI. Le peu de modèles urbains symbiotiques qui existe fait que les études sur leurs performances restent à leur début.

Inscrit dans cette visée, le 2^{ème} chapitre vient alors proposer un modèle conceptuel de symbiose urbaine en prenant appui sur la démarche et les outils méthodologiques de la modélisation systémique. Nous avons relevé l'intérêt de la démarche de modélisation systémique et ses outils dans l'étude des systèmes urbains et la construction de modèles urbains symbiotiques. L'application de cette démarche nous a permis de définir les éléments de notre système, analyser et représenter la complexité de leurs interactions, puis dégager les éléments déterminants permettant l'évolution du système vers un développement bas carbone. Les résultats de cette étude font ressortir les flux de déchets comme flux potentiel pour l'optimisation d'énergie et l'atténuation des émissions de carbone.

Ces résultats achèvent le chapitre ainsi que la partie par la représentation d'un modèle urbain symbiotique simplifié basé sur le processus métabolique cyclique des flux *Déchets-Énergie*.

À l'issue de cette partie, nous arrivons à démontrer l'intérêt de la stratégie locale de Symbiose Urbaine "SUr" dans l'appréhension d'une question aussi globale que le CC. Nous avons également démontré l'importance du potentiel caché dans la valorisation des flux de déchets pour l'atténuation des émissions de carbone. **Ce qui nous permet de vérifier notre 1^{ère} hypothèse.**

Cela nous renvoie aux étapes d'utilisation du modèle pour les besoins de planification urbaine en Algérie, qui seront traités dans la 2^{ème} partie de notre recherche visant la vérification du modèle et des possibilités de son intégration dans les outils de planification urbaine locale à Alger.

Deuxième Partie :

**Modalités d'application du modèle "SU_r-BC"
dans le contexte local d'Alger**

Introduction de la Deuxième Partie

Notre but du modèle théorique "SU_r-BC", construit *supra*, est de pouvoir l'utiliser en Algérie, pour les besoins d'une planification urbaine favorable à la mise en œuvre des politiques locales de maîtrise d'énergie et de résilience climatique, et qui les intègre dans ses outils. Cela paraît intéressant notamment parce que les instruments d'urbanisme sont à la recherche d'une refonte radicale depuis 2011 (MHUV, 2011, 2015), sans pour autant aboutir ni intégrer de manière précise la question climatique.

Nous pensons que pour y parvenir, la démarche *bottom-up* serait la plus efficace, à condition de disposer des outils aptes à la rendre opérationnelle. Dans ce sens, il convient au préalable de vérifier les performances du modèle que nous proposons et d'évaluer les gains escomptés dans un contexte urbain réel, parce qu'en fait, l'utilité pratique de ce modèle ne pourrait réellement prendre sens que dans le cadre où il s'inscrit (Durand, 2017 ; Lorrain et al., 2018). Notre choix e'est alors porté sur le cas du territoire d'El Harrach-Oued Smar (EH-OS), un territoire intercommunal local de la Wilaya d'Alger, doté d'un potentiel urbain et productif important constitué d'activités industrielles, d'infrastructures de transport et des équipements urbains majeurs. Ce territoire est en même temps soumis à une forte circulation des flux métaboliques, une forte demande en énergie et subit une pression sur les ressources naturelles et l'environnement (Chaker, 2015), ce qui le rend intéressant pour notre analyse.

Cette partie exploite donc le cas du territoire d'EH-OS pour vérifier et valider le modèle. Le troisième chapitre porte sur la simulation des scénarios symbiotiques possibles au niveau du territoire d'EH-OS et l'évaluation du potentiel des gains pour chacun des scénarios. Dans le quatrième chapitre, il s'agit de vérifier les possibilités d'intégration du projet de "SU_r-BC" dans le système de planification urbaine locale à Alger. Cette vérification repose sur l'analyse et l'évaluation des conditions de planification en vigueur (scénario tendanciel) par rapport à des conditions optimales favorables au développement des projets symbiotiques réussis (scénarios idéal).

Par cette partie nous contribuons à déterminer les mécanismes permettant la prise en charge et le développement des projets urbains symbiotiques réussis et à définir les leviers d'actions opérationnelles que ces mécanismes impliquent, pour répondre aux besoins de planification et d'aménagement urbain climato-résilient en Algérie.

Chapitre 3 : Simulation et évaluation du modèle "SU_r-BC" dans le contexte local d'Alger

Pour vérifier les performances du modèle urbain symbiotique conçu dans le contexte local d'Alger, ce chapitre explore le potentiel symbiotique du territoire local intercommunal d'El Harrach-Oued Smar (EH-OS). Il s'attache dans une première section (3.1) à identifier et décrire le système territorial d'étude : ses frontières, son organisation spatio-fonctionnelle et sa finalité.

La deuxième section (3.2) porte sur la simulation et l'évaluation des performances symbiotiques du système d'étude en termes d'optimisation d'énergie et des émissions de CO₂. Elle débute par la présentation de la base des données et la description des méthodes de quantification et de simulation des différents scénarios symbiotiques. Enfin, elle expose les résultats et leur discussion, qui nous permettent d'estimer les gains et d'identifier le scénario optimal à intégrer dans le processus de planification en Algérie.

3.1. Identification et description du système territorial local d'étude

3.1.1 Situation du territoire local d'EH-OS

Le périmètre d'étude porte sur un territoire intercommunal, considéré comme *un écosystème urbain*, qui regroupe deux communes appartenant à la circonscription administrative (daïra)⁵⁷ d'El Harrach, à l'est d'Alger. Cette dernière regroupe quatre communes : El Harrach (chef-lieu de daïra), Oued Smar, Bachdjerrah, Bourouba, elle est franchie par le cours d'eau "*Oued El Harrach*", l'une des principales composantes naturelles de la wilaya d'Alger, qui la sépare en deux parties par ses rives, limitant à l'Ouest le périmètre d'El Harrach - Oued Smar (EH-OS), objet de notre étude [Figure 3.1. a-b]. Ce territoire constituait auparavant une même localité, d'une superficie de l'ordre de 17,95 km². Sa composante sociale est valorisée par une population résidente atteignant les 85 472 habitants en 2015, soit une densité de 4761,67 hab./km². Outre sa qualité résidentielle, ce territoire se caractérise par une activité productive importante au cœur de la wilaya d'Alger, grâce à un appareil industriel qui représente 8 % de l'ensemble des 1045 entreprises de toute la wilaya (SDA, 2016). Cette vocation économique revêt une grande importance pour l'activité économique au niveau métropolitain et national et représente une source importante de richesse pour le territoire d'étude. Il convient de signaler que la commune d'Oued Smar a été classée en 2013 parmi les communes les plus riches d'Algérie, la deuxième plus riche commune de la capitale (Berezowska-Azzag et al., 2015).

⁵⁷ La Wilaya d'Alger compte 57 communes regroupées en 13 circonscriptions administratives (Daïras). Cependant il faut noter que l'organisation d'intercommunalité au sens de gestion spatio-fonctionnelle et de planification urbaine n'est pas définie par la législation algérienne.

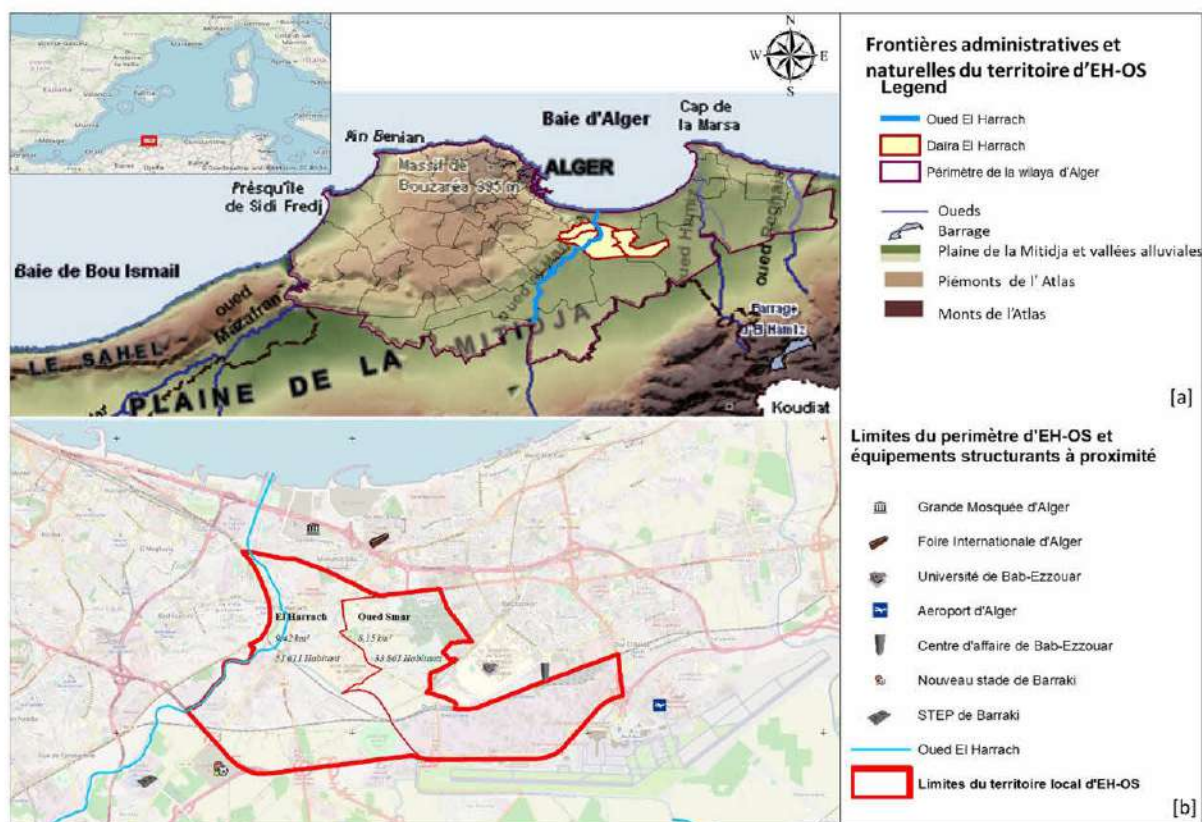


Figure 3.1 : Situation et frontières du périmètre d'EH-OS : [a] Frontières naturelles et administratives dans le contexte d'Alger, [b] Limites spatio-fonctionnelles (Sources : MATE, 2005 ; PDAU, 2016 ; Basemap : Open Street map)

3.1.2 Organisation spatio-fonctionnelle du territoire d'étude

Inscrit dans le périmètre administratif de la wilaya⁵⁸, dans un rayon d'environ 5 km de son centre le système EH-OS se trouve à proximité immédiate de l'Université USTHB (près de 45.000 étudiants), du quartier d'affaires de Bab-Ezzouar, de la foire internationale, de la grande mosquée d'Alger, ainsi que de l'aéroport international d'Alger, ce qui lui offre une accessibilité et une visibilité métropolitaine et internationale.

Son périmètre interne se caractérise par une structure spatio-fonctionnelle organisée en **quatre sous-systèmes urbains** (Habitat, Activités, Espaces verts et ouverts, Infrastructures) [Figures 3.2.a-b], interconnectés entre eux par des voies et des réseaux qui véhiculent les flux métaboliques entrants "inputs" et sortants "outputs". L'organisation spatio-fonctionnelle des différents sous-systèmes se démarque par la diversité des quartiers d'habitat et l'importance du sous-système d'activités constitué principalement de deux grandes zones industrielles (d'El Harrach et de Oued Smar), d'exploitations agricoles et de grands équipements structurants, dont

⁵⁸Bien que les échanges métaboliques de ce territoire (notamment les flux input et output des ressources hydriques) plongent leur racines dans un territoire plus large de l'aire métropolitaine d'Alger, le périmètre de la wilaya nous intéresse particulièrement en raison de son contexte proprement urbain qui offre les potentialités des symbioses de proximité et de l'existence d'un Plan Directeur d'Aménagement Urbain PDAU adopté en 2016, aux allures et ambitions d'un Grand Projet Urbain. Ce plan prévoit un développement en 3 axes (éco-aménagement, écodéveloppement et écosystèmes), avec une approche écologique particulière orientée sur la biodiversité, eau, énergie et déchets (Plan bleu et Plan vert) et de ce fait offre le cadre juridique et réglementaire pour des éventuelles futures démarches symbiotiques. Nous allons aborder cet aspect dans le dernier chapitre de cette thèse.

plusieurs établissements universitaires et des équipements de sécurité et de santé (brigade nationale de gendarmerie, la plus grande prison en Algérie, l'hôpital Zmirli). Le sous-système d'espaces verts et ouverts se démarque par le grand parc urbain national d'El Harrach, le couloir de biodiversité le long des rives de l'Oued, ainsi que des jardins, grandes places publiques et squares. La carte dans la [Figure.3.2.b] présente l'organisation spatio-fonctionnelle des différents éléments et composants du système d'étude.

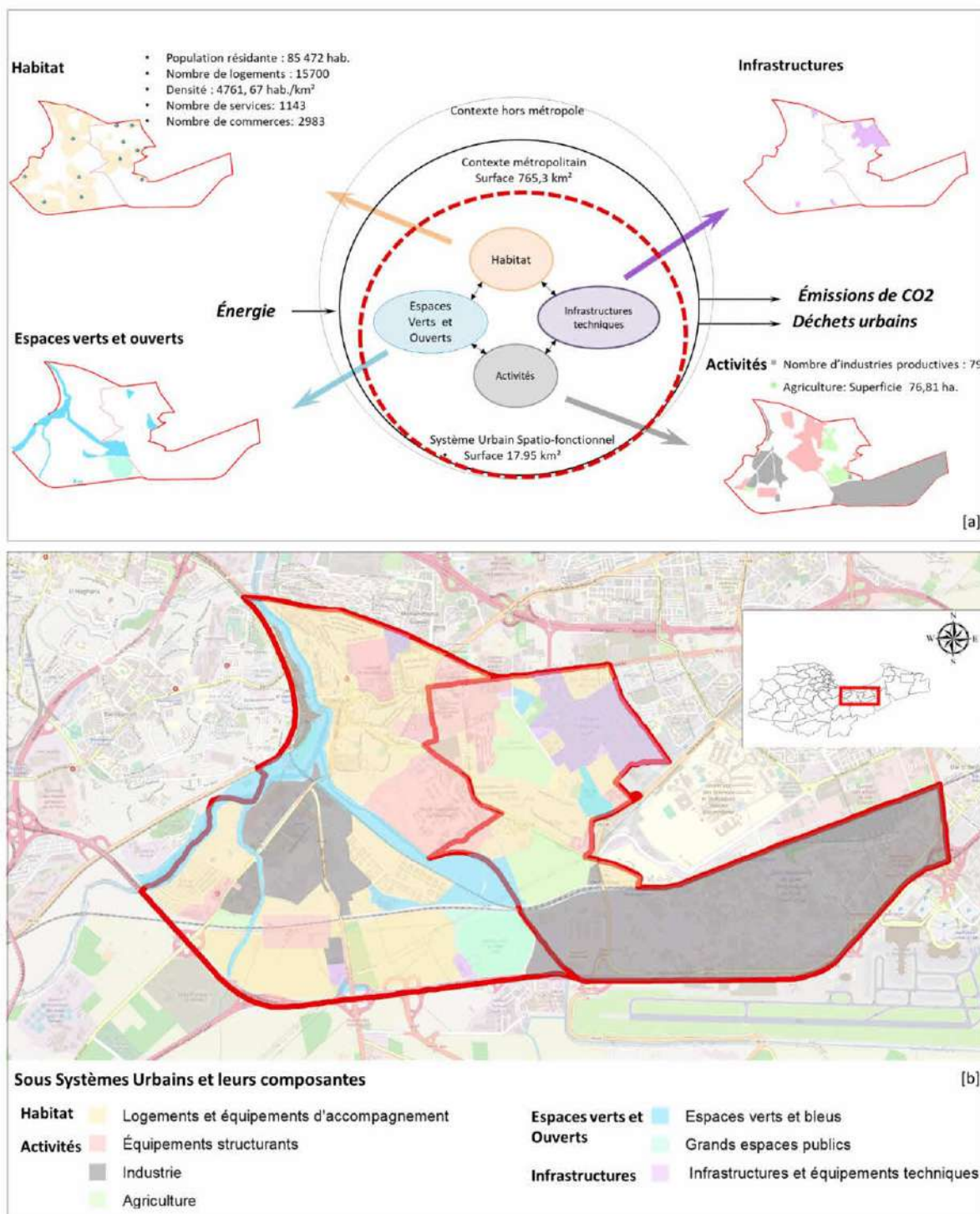


Figure 3. 2 : Organisation spatio-fonctionnelle du périmètre urbain d'EH-OS :

[a] Identification des sous-systèmes urbains du territoire selon le modèle systémique ;

[b] Répartition spatiale des sous-systèmes urbains sur le territoire.

3.1.3 Perspectives d'évolution et but du système

Les évolutions prévues dans le cadre des orientations stratégiques du Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme PDAU pour le développement d'Alger à l'horizon 2035, placent le territoire d'étude comme l'une des centralités majeures d'Alger, un pôle de compétitivité dynamique destiné à accueillir de grands projets d'équipements structurants, dont la gare centrale d'Alger, la foire internationale et le complexe olympique à proximité [Fig.3.3.a-b]. Du fait de ces caractéristiques exceptionnelles, le périmètre d'étude offre des conditions idoines pour la recherche des proximités symbiotiques. Cependant, par une étude ciblée effectuée en 2014 au sein du laboratoire VUDD, il a été en même temps identifié comme étant très défaillant en matière de planification et de gestion du Métabolisme Urbain (Chaker, 2015). Il se caractérise par une circulation linéaire des flux inputs et outputs, responsables de la surconsommation des ressources naturelles (énergie, matière, eau) et de la génération de grandes quantités de rejets (solides, liquides et gazeux), ainsi que par une forte dépendance aux énergies fossiles, et cela malgré son important potentiel d'activités, favorable à la mise en place d'une Symbiose Urbaine locale. En effet, les transformations spatio-fonctionnelles prévues dans l'avenir par le PDAU 2035 risquent d'augmenter la pression sur les ressources locales, principalement l'eau, l'énergie et la biodiversité, et d'aggraver de ce fait la vulnérabilité du territoire au Changement Climatique, ce qui plaide pour une prise en charge urgente des questions de résilience climatique dans la planification et la gestion urbaine locale.

Dans ces conditions, le but du système consiste à induire un développement local résilient en termes de consommation d'énergie et d'émission de CO₂. Il doit donc se positionner par rapport à l'objectif national de réduire ses émissions de CO₂ de 7 %, en utilisant le PDAU d'Alger comme cadre de référence pour son évolution à l'horizon 2035 (comme limite temporelle). Dans ce contexte, notre étude constitue une étape cruciale dans l'ensemble du processus d'évolution. Elle permet de planifier les transformations urbaines nécessaires et d'estimer les gains à court terme pour une application immédiate. Par conséquent, le maintien de la trajectoire optimale souhaitée sur le long terme dépendra d'autres indicateurs liés à l'évolution du système (par exemple, la croissance économique, la démographie, le bilan carbone, les choix politiques) (Toubin et al., 2012). Le schéma de la [Figure 3.4] explique comment une action planifiée de "SU_r-BC" pourrait éventuellement modifier la trajectoire des émissions de CO₂ sur l'ensemble du cycle de vie du système urbain. L'application de la SU_r implique la valorisation énergétique des déchets dans son périmètre urbain local.

Le flux de déchets considéré dans cette étude concerne les déchets solides urbains collectés dans les deux municipalités de EH & OS. Ces déchets concernent les déchets ménagers et assimilés (DMA) qui représentent la plus grande part des déchets solides en Algérie (50 %), dont 85 % proviennent principalement du sous-système de l'habitat [Tableau.3.1] (SDGDI 1, 2010 ; AND, 2014 ; Ouamane, 2017 ; MEER, 2018), où la collecte et le transport sont assurés par des véhicules de déchets conventionnels (camions) utilisant le réseau routier déjà saturé.

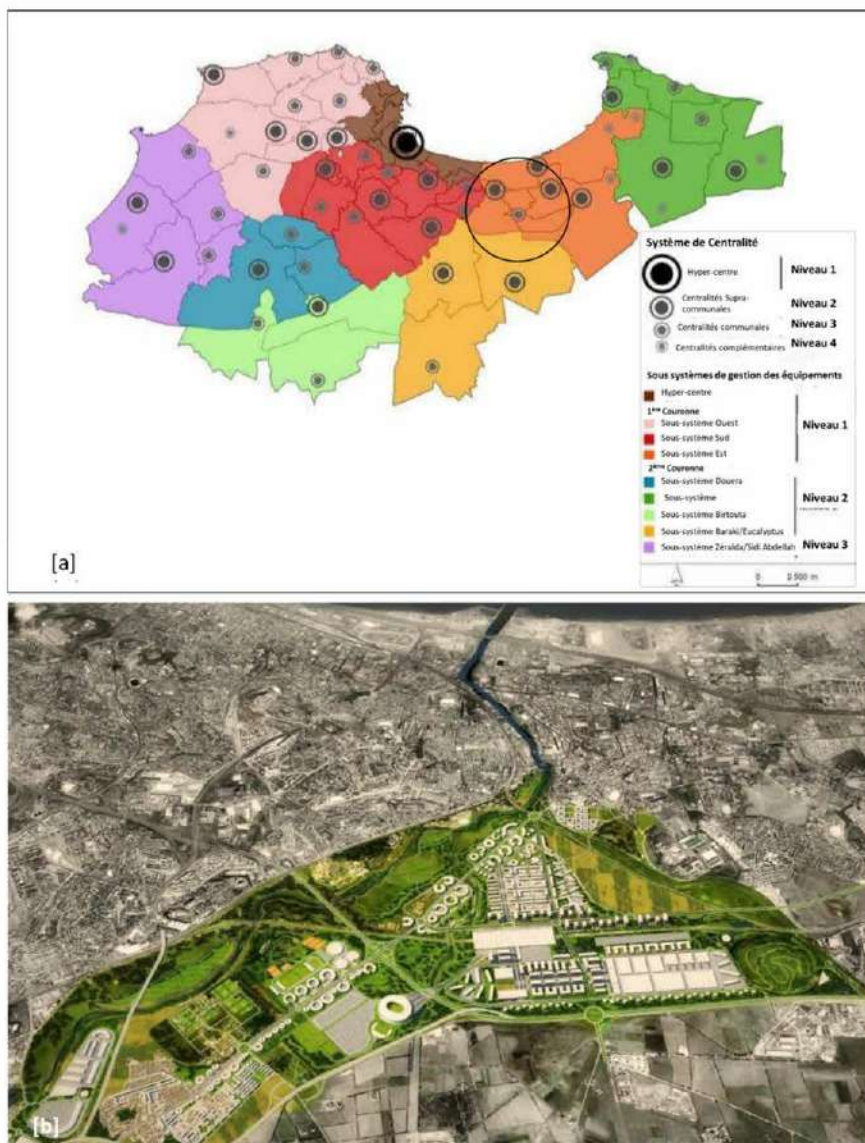


Figure 3. 3 : Orientations stratégiques du PDAU d'Alger pour l'évolution du périmètre d'étude (PDAU, 2016) : [a] Système de centralités d'Alger ; [b] Le territoire d'étude comme pôle d'accueil de grands projets structurants

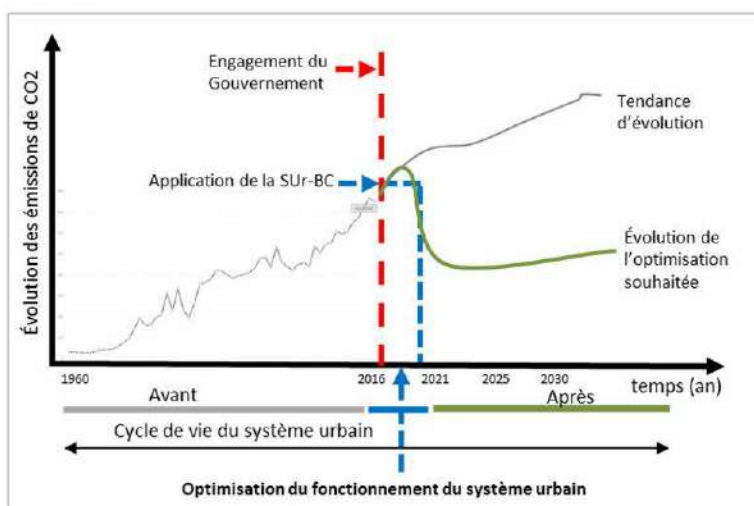


Figure 3. 4 : Diagramme hypothétique de l'influence d'une action planifiée d'une "SU-BC" sur l'évolution des émissions de CO₂ (adapté de Toubin et al., 2012; McDaniels et al., 2008)

Déchet solide/type	Définition*	Nature	Part (%)	Origine	Possibilité de Valorisation
Déchets urbains (municipaux) : Déchets Ménagers et Assimilés DMA	Déchets issus des ménages, ainsi que les déchets similaires provenant des activités industrielles, commerciales et artisanales, et autres qui par leur nature et leur composition sont assimilables aux déchets ménagers.	Déchets organiques, plastiques, textiles, métaux, papier et carton, verre, Déchets divers (spéciaux et dangereux, combustibles, incombustibles)	50 %	Habitat (85 %) : Industries (15 %)	Matière, Énergie
Déchets spéciaux et spéciaux dangereux	Déchets qui, en raison de leur nature et de la composition des matières qu'ils contiennent, ne peuvent être collectés, transportés et traités dans les mêmes conditions que les déchets ménagers et assimilés. Ces déchets deviennent dangereux lorsqu'ils contiennent des quantités de substances toxiques potentiellement plus importantes et présentent de ce fait beaucoup plus de risques pour le milieu naturel.	Déchets d'activités de soins à risque infectieux ; Déchets d'Équipements Électriques et Électroniques (DEEE) ; batteries usagées ; pneus usagés (PU) ; huiles usagées ; filtres à huile ; huiles usagées alimentaires ; huiles usagées industrielles ; etc.	2 %	Activités : industrielles, agricoles, sanitaires, de services, autres.	Énergie
Déchets inertes	Déchets provenant notamment de l'exploitation des carrières, des mines, des travaux de démolition, de construction ou de rénovation, qui ne subissent aucune modification physique chimique ou biologique lors de leur mise en décharge, et qui ne sont pas contaminées par des substances dangereuses ou autres éléments générateurs de nuisances, susceptibles de nuire à la santé et/ou à l'environnement	Terre, gravats, sables, etc.	48 %	Activités ind ustrielles (d'extraction, minière, construction, etc.)	Matière

*Définition et classification des déchets selon la loi n° 01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets

Tableau 3. 1 : Catégories des déchets solides en Algérie (AND, 2014 ; MEER, 2018 ; Ouamane, 2017 ; SDGDI 1, 2010)

3.2. Exploration des performances symbiotiques du système urbain local EH-OS

Le système urbain symbiotique local algérois EH-OS étant identifié, la démarche méthodologique proposée pour l'exploration de ses performances en termes d'optimisation d'énergie et de réduction des émissions de CO₂ se déroule en trois étapes :

1. Collecte et construction de la base des données nécessaire à l'analyse et inventaire des éléments-clés d'une symbiose urbaine pour le système EH-OS étudié ;
2. Sur la base des données inventoriées, et en s'inscrivant dans le cadre des évolutions spatio-fonctionnelles prévues par le PDAU d'Alger à l'horizon 2035, les scénarios symbiotiques d'optimisation les plus probables pour le système EH-OS sont ensuite construits en s'inspirant des méthodes AFM et ACV et des résultats de la revue de la littérature.
3. Une méthode d'évaluation quantitative de ces scénarios est alors proposée afin d'estimer les gains en consommation d'énergie et en émissions de CO₂ pour chacune des options. À cet effet, une représentation schématique des scénarios potentiels est élaborée. L'option qui présente le meilleur résultat est alors désignée et un plan cartographié de Symbiose Urbaine est proposé pour une prise en charge éventuelle par les outils d'urbanisme dont la nature reste à définir.

3.2.1 Collecte des données pour le système local d'étude d'EH-OS

Les données de base nécessaires à l'analyse du système ont été collectées d'abord à partir d'une enquête sur les flux d'énergie fossile consommée et de déchets urbains produits au niveau du système d'étude. L'enquête visait à estimer, d'une part, la quantité de CO₂ issue de cette consommation d'énergie et, d'autre part, les gisements disponibles de déchets valorisables en ressources secondaires.

L'enquête sur le flux d'énergie a été réalisée à l'aide de données obtenues de la Société de Distribution d'électricité et du gaz d'Alger SDA pour l'année 2016 (SDA, 2016) et du rapport sur le bilan énergétique national élaboré par la Sonelgaz (Sonelgaz, 2015). Ses éléments portent sur la consommation finale d'énergie fossile (gaz et électricité) des différents sous-systèmes urbains et les émissions totales de CO₂ liées.

L'enquête sur le flux de déchets urbains a été réalisée sur la base de données obtenues de l'Agence Nationale des Déchets AND relatifs aux quantités des déchets urbains solides pour l'année 2016 et de documents et rapports divers (AND, 2017 ; GIZ, 2014 ; SDGDI1, 2010). Ses éléments portent sur les types, quantités et composants de déchets urbains pouvant être valorisés en énergie renouvelable ou en matière secondaire⁵⁹, ainsi que sur les modalités de leur collecte, de transport et de traitement.

⁵⁹ Depuis, ces données n'ont pas été actualisées par les institutions concernées, en attendant un prochain recensement économique général et le recensement national de population et de l'habitat qui était prévu 2020, mais qui n'a eu lieu finalement qu'en 2022. Ce dernier devrait intégrer les informations environnementales dans les questionnaires.

Aussi, cette étude prend appui sur les résultats de l'analyse des liens symbiotiques élaborée en amont dans le chapitre 2 [Tableau 2.7]⁶⁰ pour déterminer les liens symbiotiques potentiels liés à la valorisation des flux de déchets dans le système d'EH-OS et définir les ratios et valeurs de référence nécessaires à l'évaluation de ses performances symbiotiques, ainsi qu'à l'estimation du potentiel d'énergie optimisée et des émissions de CO₂ réduites en aval [Tableaux 3.2].

3.2.1.1 Inventaire des flux input/output

Dans le périmètre de notre système urbain symbiotique EH-OS, deux flux input/output nous intéressent : consommation d'Énergie et valorisation des Déchets solides urbains, ainsi que leur « effet carbone ».

- **Énergie**

Pour ce qui est de l'Énergie, les principales sources d'énergie consommée dans le territoire d'étude sont le gaz naturel et l'électricité, réparties respectivement en 68 % et 32 %, sur une quantité globale estimée à 845.6 GWh/an⁶¹. Cette consommation est responsable de l'émission de 277.8 ktCO₂/an⁶², dont 68 % sont générés par le sous-système d'habitat. La figure 3.5 illustre la répartition de la consommation d'énergie et des émissions de CO₂ par type d'activité, selon la source. Les logements, les services et commerces et l'industrie s'avèrent être les principaux secteurs de consommation énergétique.

- **Déchets**

Pour les **Déchets urbains**, la quantité de déchets urbains ménagers générée dans le territoire d'étude est estimée à 36 kt/an, soit environ 98,6 t/jour, dont 85 % sont collectés pour traitement. Les déchets sont ensuite transportés et traités en dehors de la wilaya d'Alger, au niveau du Centre d'Enfouissement Technique (CET) de Corso, situé à une distance de 40 km du centre du territoire, avec un taux de 91 % des déchets collectés (AND, 2017). Le reste est déversé dans des décharges brutes ou brûlé sur site (GIZ, 2014).

La composition des déchets urbains, selon les données de l'AND, est déterminée comme suit : (i) les déchets organiques, principal type de déchet provenant des entités urbaines, qui représente 54.4 %, soit une quantité de 19,6 kt/an constituée de produits alimentaires impropres à la consommation (restes de cuisine, autres), déchets verts et déchets de bois ; (ii) les déchets plastiques, qui représentent une quantité de 6,074 kt/an soit 17 % de la quantité globale générée ; (iii) les papiers 16.8 % ; (iv) le verre et le métal, qui ne représentent qu'une part très faible (respectivement 1.8 % et 1.7 %). Ainsi qu'une faible quantité de déchets divers constituée de déchets spéciaux dangereux (produits chimiques, déchets, hospitaliers, tubes fluorescents et ampoules de basse consommation, piles et accumulateurs et autres déchets), d'éléments fins (cendres, sable, débris de verre, déchets, végétaux, litière pour animaux), ainsi que des déchets combustibles et non combustibles (bois, céramique, débris de briques, autres). Seulement 7 à 9 % de la quantité de déchets collectée est valorisée dans le CET (AND, 2016 ; AND, 2014).

⁶⁰ Voir la section 2.2.2.1 du chapitre 2

⁶¹ Dont une consommation de 267,43 GWh/an en électricité et de 497,132 x10⁶ th en équivalent de gaz naturel ce qui correspond à 578,17 GWh/an après convertissement (1th =1.163 kWh d'après convertlive.com/fr).

⁶² Calculé à partir des Facteurs d'Émission : de l'électricité en Algérie $FE_{\text{électricité}} = 0.548$ (IEA, 2013 ; Base carbone 2019) et du gaz naturel $FE_{\text{gaz}} = 0.227$ (Base carbone 2019).

La figure 3.6 illustre la répartition des quantités de déchets urbains par type de flux au niveau du système d'étude.

La matière organique, tous types confondus, est une composante largement majoritaire des déchets solides produits dans le système. Elle est suivie, dans une moindre mesure, par le plastique, le textile et les papiers/cartons. Ce profil des déchets ouvre la voie sur les possibilités multiples de valorisation énergétique et de matières premières, et augure bien d'une performance positive de l'application de la SU_T au sein de ce système territorial.



Figure 3. 5 : Répartition de la consommation d'Énergie par type d'activité au niveau du système d'étude (Chaker d'après SDA, 2016)

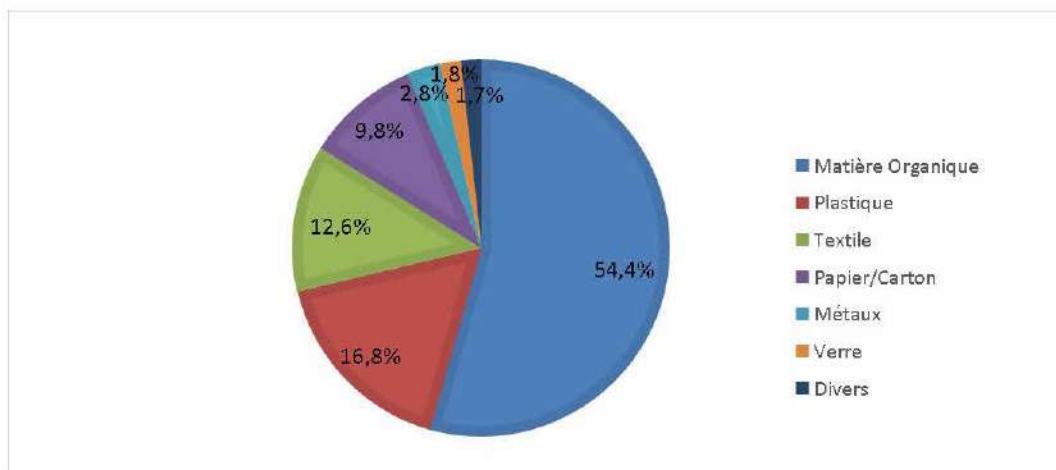


Figure 3. 6 : Répartition des quantités de déchets ménagers et assimilés DMA par type de flux au niveau du territoire local d'El Harrach-Oued Smar (Chaker d'après AND, 2016)

3.2.1.2 Liens métaboliques potentiels dans le système symbiotique EH-OS

Plusieurs possibilités de liens symbiotiques ont été identifiées pour la valorisation des multiples flux de déchets inventoriés ci-dessus. Selon la littérature (voir le Tableau 2.7 *supra*), les déchets urbains peuvent être valorisés comme matière secondaire en substitution de la matière première vierge dans de nombreuses activités agricoles, industrielles, de construction, etc., tout comme ils peuvent être valorisés en tant que source d'énergie renouvelable via les procédés de méthanisation, d'incinération, ou via les procédés industriels. La figure 3.7 présente les différents procédés de valorisation énergétique des déchets solides qu'il serait possible d'utiliser dans le système EH-OS.

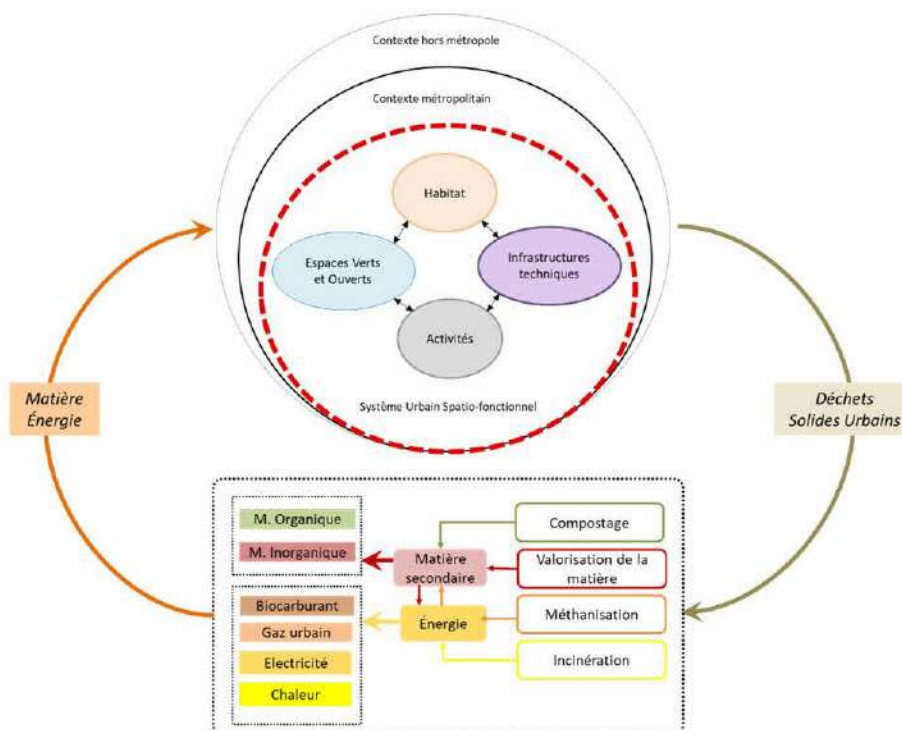


Figure 3. 7 : Procédés de valorisation des déchets solides dans le système EH-OS selon l'inventaire (adapté de CHAKER, 2015)

Cette étape préparatoire nous permet de passer à l'évaluation des performances du système symbiotique local EH-OS en nous référant au modèle conçu, ce qui nécessiterait, la simulation des scénarios possibles et l'élaboration d'une méthode d'évaluation.

3.2.2 Évaluation des performances symbiotiques du système urbain EH-OS

Dans le modèle symbiotique conçu, le principe fondamental consiste à considérer que tout gain en énergie récupérée par les différents procédés diminue la quantité d'énergie fossile utilisée pour faire fonctionner le système métabolique et participe, par conséquent, à la réduction des émissions du carbone. Cependant, différentes combinaisons des liens symbiotiques sont possibles dans le territoire EH-OS concerné par l'étude. Ces combinaisons doivent être identifiées, avant de proposer une méthode d'évaluation des performances symbiotiques du système urbain.

3.2.2.1 Simulation des scénarios possibles de la SU

En utilisant le modèle, nous avons besoin de **simuler les scénarios** symbiotiques d'optimisation les plus probables à l'aide de la méthode morphologique de construction de scénarios. Pour ce faire, le processus cyclique des flux métabolique *Déchet - Énergie* est décomposé, selon ses étapes modélisées, en **cinq dimensions clés** : (1) Flux de déchets produits dans le système ; (2) Collecte ; (3) Transport des flux collectés vers les lieux de transformation ; (4) Transformation et récupération de flux d'énergie ; (5) Distribution des flux d'énergie récupérée aux sous-systèmes demandeurs. Pour chaque dimension, deux à quatre variables sont définies et un nombre de réponses possibles, considérées comme hypothèses, est élaboré pour chacune d'elles. Les scénarios sont alors construits par la combinaison des hypothèses établies pour chaque variable. **La figure 3.8** présente l'espace morphologique des scénarios possibles. Les résultats de cette analyse sont présentés dans **la section 3.2.3.**

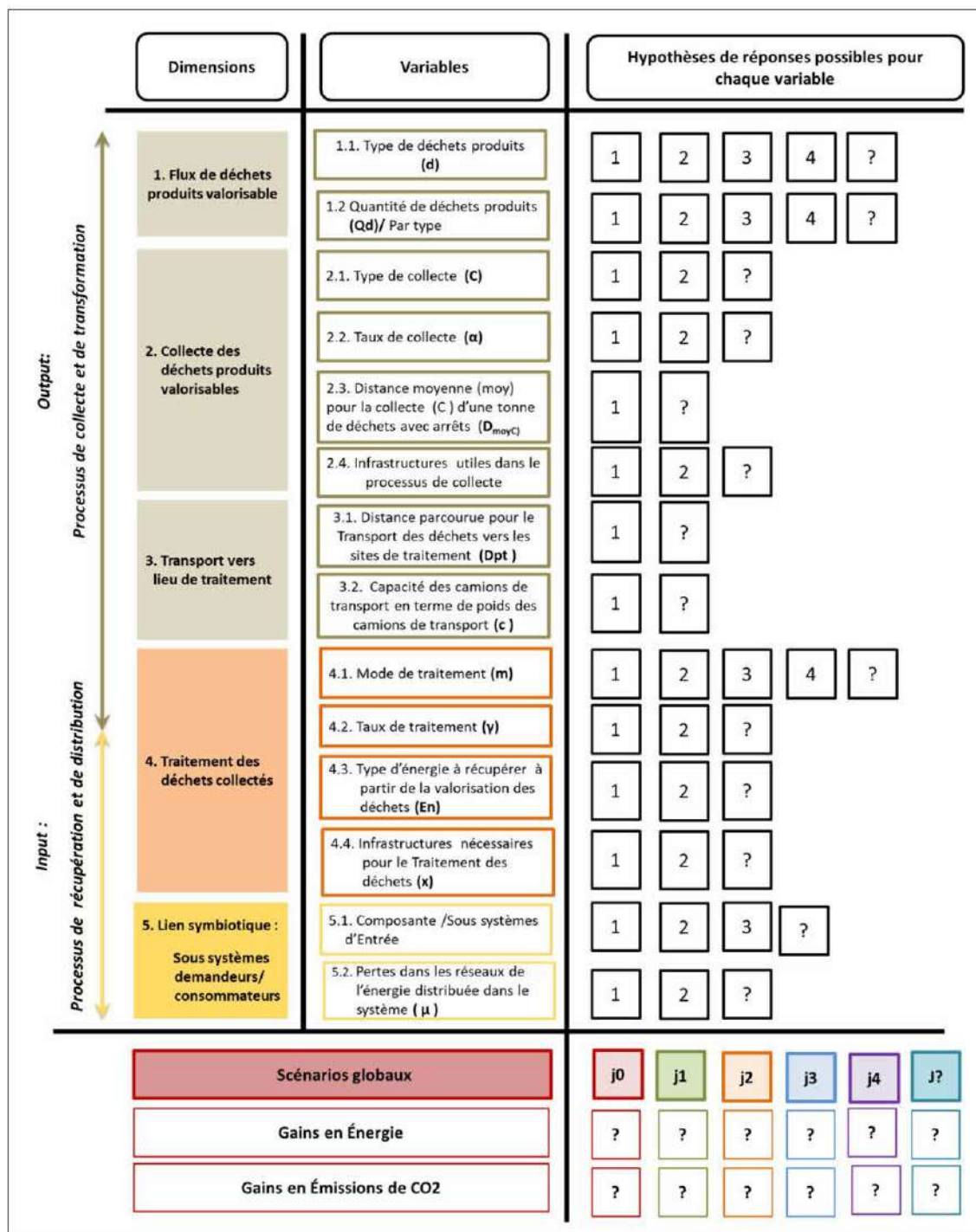


Figure 3. 8 : Espace morphologique des scénarios symbiotiques possibles selon le processus des flux Input-Output

3.2.2.2 Méthode d'analyse des performances des scénarios de la SUR

En utilisant les méthodes d'Analyse des Flux de Matière (AFM) et d'Analyse du Cycle de Vie (ACV)⁶³, cette étape vise à quantifier l'énergie optimisée et les émissions de CO₂ réduites dans le contexte de l'étude, pour ensuite estimer les gains. Les éléments de cette analyse sont présentés dans les figures [3.9, 3.10.] Les résultats sont présentés dans la section 3.2.3.

⁶³ Voir la section 1.2.2. du chapitre 1

• **Énergie optimisée et émissions de carbone réduites dans un scénario j**

L'évaluation quantitative de l'énergie optimisée et des émissions de CO₂ réduites est effectuée, pour chacun des scénarios, grâce au calcul de **deux indices** : **Énergie Optimisée (EnOp)** et **Émissions de CO₂ Réduites (EmRe)**.

L'Énergie optimisée (**EnOp**) correspond, pour chaque scénario, au rendement des liens symbiotiques dans la réduction de la quantité d'Énergie Fossile Utilisée (**En_fU**) par la récupération de l'énergie à partir de la valorisation des déchets (**En_{Rd}**), ce qui implique une réduction des émissions de CO₂ (**EmRe_j**). La **Figure 3.9** présente le principe et les indices d'évaluation des scénarios.

Les deux indices principaux, (**EnOp_j**) et (**EmRe_j**), sont déterminées, respectivement sous chaque scénario *j*, à partir des formules (1) et (2), dont :

$$EnOp_j = En_fU_j - EnR_{d_j} \tag{1}$$

$$EmRe_j = EmGe_{(En_fU)_j} - EmEv_{(EnR_d)_j} \tag{2}$$

Avec :

- *j* : numéro d'index d'un scénario ;
- **En_fU_j** [GWh/an] : Énergie fossile Utilisée (dépensée) dans le système d'étude sous un scénario *j* ;
- **En_{Rd}_j** [GWh/an] : Énergie Récupérée à partir de la valorisation des déchets sous un scénario *j* ;
- **EmGe_{(En_fU)_j}** [ktCO₂/an] : Émissions de CO₂ (carbone) générée liées à l'Énergie fossile Utilisée dans le système d'étude sous un scénario *j* ;
- **EmEv_{(En_{Rd})_j}** [ktCO₂/an] : Émissions de CO₂ Évitées (réduites), liées à l'Énergie Récupérée à partir de la valorisation des déchets sous un scénario *j*.

Ces indicateurs synthétiques sont calculés sur la base des résultats des analyses précédentes. Le **Tableau.3.2** *infra* résume tous les ratios utilisés dans les calculs et les sources des données correspondantes. Ci-après, nous allons détailler la méthode de calcul des indicateurs synthétiques.

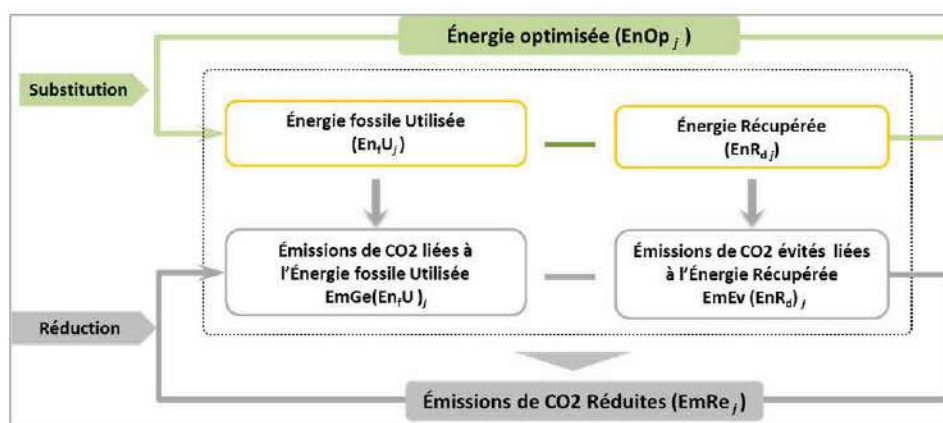


Figure 3. 9 : Indices et indicateurs d'évaluation des scénarios symbiotiques d'optimisation

A. Énergie Utilisée et émissions liées

L'Énergie fossile Utilisée (dépensée) En_fU_j est l'énergie requise pour le fonctionnement du système urbain symbiotique, sous un scénario j . En_fU_j est déterminée, sous chaque scénario j , à partir de trois indicateurs :

1. **Énergie Directe Consommée** EnD_{Cons_j} [GWh/an], est la quantité d'énergie fossile (gaz et électricité) consommée directement dans le système local d'étude (pour chauffage, climatisation, eau chaude sanitaire, éclairage, procédés industriels, etc).
2. **Énergie Indirecte Mobilisée** EnI_{Mob_j} [[GWh/an], est la quantité d'énergie fossile mobilisée dans le processus de collecte et de transformation des quantités de déchets produits dans le système. Elle est déterminée à partir des trois étapes du processus : collecte, transport et traitement ($En_{collecte_j}$, $En_{transport_j}$, $En_{traitement_j}$), en fonction du mode de traitement choisi dans le cadre d'un scénario j (Enfouissement, Incinération, Méthanisation, Recyclage).
3. **Énergie Grise Incorporée** EnG_{Inc_j} [GWh/an], est la quantité d'énergie incorporée dans le processus de réalisation d'une ou des installations de traitement nécessaires pour un scénario j (construction d'un nouveau centre de traitement, son extension, de nouveaux réseaux et équipements, autres).

En_fU_j peut être calculée à partir des formules (1.1) et (1.2), dont :

$$En_fU_j = EnD_{cons_j} + EnI_{mob_j} + EnG_{Inc_j} \quad (1.1)$$

$$En_fU_j = (elec_j + gaz_j) + \alpha_j * [(\beta_1 * D_{moy}C + \beta_2 * D_{voy}T * n/c) * Qd_j + \gamma_j * \sum_d (U_{(m,d)j} * Qd_j) + \varepsilon * \gamma_j * \sum_x Qd_{x,j}] \quad (1.2)$$

Avec :

$$\begin{cases} EnD_{cons_j} = (elec_j + gaz_j) \\ EnI_{mob_j} = En_{collecte_j} + En_{transport_j} + En_{traitement_j} \\ En_{collecte_j} = \beta_1 * D_{moy}C * Q_{collect}d_j \\ En_{transport_j} = \beta_2 * D_{voy}T * n/c * Q_{collect}d_j \\ En_{traitement_j} = \sum_d (U_{(m,d)j} * Q_{trait}d_j) \\ EnG_{Inc_j} = \varepsilon * \alpha_j * \gamma_j * \sum_x Qd_{x,j} \end{cases}$$

- $elec_j$ [GWh/an] : Quantité totale annuelle d'électricité consommée dans le système d'étude ;
- gaz_j [th/an] ; Quantité totale annuelle de gaz consommée dans le système d'étude ;
- α_j : Taux de collecte des déchets sous un scénario j ;
- Qd_j [t/an] : Quantité annuelle des déchets par scénario ;
- β_1 [l/km] : Consommation kilométrique de carburant pour la collecte des déchets en milieu urbain avec arrêts ;

- D_{moyC} [km/t] : Distance moyenne pour la Collecte d'une tonne de déchets ;
- β_2 [l/km] : Consommation kilométrique de carburant pour le transport de déchets vers les lieux de traitement ;
- D_{voyT} [km/v] : Distance entre lieu de collecte et lieu de traitement pour un voyage de transport des quantités de déchets collectées ;
- n : nombre de voyages par camion pour dépôt et retour ; c [t] : Capacité des camions de transport en termes de poids ;
- γ_j : taux de traitement sous un scénario j ;
- $\bar{U}(m,d)_j$ [KWh/t] : Consommation moyenne d'énergie par tonne de déchets traitée selon le mode de traitement (m) et le type de déchet (d) sous un scénario j ;
- ε [KWh/t] : Taux d'énergie nécessaire à la mise en place d'une nouvelle installation de traitement par tonne de déchets traitée ;
- $Q_{d_x,j}$ [t/an] : Quantité de déchets traitée par l'installation x , sous un scénario j .

Il convient de noter que les unités de consommation d'énergie seront converties en [kWh]. Par ailleurs, les émissions de CO_2 liées à l'Énergie fossile Utilisée $EmGe_{(En_fU)_j}$ sont déterminées à partir des indicateurs $CO_2_{EnD_j}$, $CO_2_{EnI_j}$, $CO_2_{EnG_j}$, correspondant respectivement aux indicateurs de l'énergie utilisée. Ils sont calculés à partir des formules (2.1) et (2.2), dont :

$$EmGe_{(En_fU)_j} = CO_{2(EnD_{cons})_j} + CO_{2(EnI_{mob})_j} + CO_{2(EnG_{inc})_j} \quad (2.1)$$

$$GeEm_{(U_fEn)_j} = elec_j * FE_{elec} + gaz_j * FE_{gaz} + (En_{collecte_j} + En_{transport_j}) * EF_{transport} + \sum_d (Q_{trait}^{d(m)_j} * FE_{traitement(d,m)}) + EnG_{inc_j} * FE_{EnG_{inc}} \quad (2.2)$$

Avec :

$$\begin{cases} CO_{2(EnD_{cons})_j} = elec_j * FE_{elec} + gaz_j * FE_{gaz} \\ CO_{2(EnI_{mob})_j} = (En_{collecte_j} + En_{transport_j}) * FE_{transport} + \sum_d (Q_{trait}^{d(m)_j} * FE_{traitement(d,m)}) \\ CO_{2(EnG_{inc})_j} = EnG_{inc_j} * FE_{EnG_{inc}} \end{cases}$$

FE est le Facteur d'Émission correspondant à chaque type d'énergie utilisée. Ces facteurs sont présentés dans le **Tableau 3.2**, *infra*.

B. Énergie Récupérée et les émissions évitées liées

L'Énergie Récupérée à partir de la valorisation des déchets (EnR_d) est déterminée, sous chaque scénario j , à partir des indicateurs suivants :

1. **Énergie Évitée à la consommation** ($EnEv_j$), par le détournement des déchets des sites d'enfouissement vers des industries locales de valorisation, sous un scénario j ;
2. **Énergie Réduite** ($EnMi_j$), par la valorisation des matériaux à forte intensité énergétique, sous un scénario j , elle correspond à l'énergie consommée à l'origine pour la production de la matière première vierge.

3. **Énergie Produite** ($EnPr_j$) à partir de la valorisation des déchets urbains (biogaz, chaleur, électricité) sous un scénario j ;
4. **Énergie Fatale récupérée** ($EnFa_j$), chaleur fatale récupérée à partir des procédés industriels de valorisation des déchets ;
5. **Énergie Perdue** ($EnPe_j$) dans les réseaux de distribution d'électricité ou de chaleur comme les pertes dans les canalisations, aux sous-stations, autres.

$EnR_{d,j}$ peut être calculée à partir des formules suivantes :

$$EnR_{d,j} = \sum (EnEv_j + EnMi_j + EnPr_j + EnFa_j) - EnPe_j \quad (1.3)$$

$$EnR_{d,j} = \epsilon * Q_{trait}d_j + \sum_d (\tau M * Q_{recycl}d_j) + [\sum_d (p_{(m,d)} * Q_{trait}d_j) + v * \sum_d (\tau_d * Q_{trait}d_j)] * (1 - \mu) \quad (1.4)$$

Avec :

$$\begin{cases} EnEv_j = \epsilon * Q_{trait}d_j \\ EnMi_j = \sum_d (\tau M * Q_{recycl}d_j) \\ EnPr_j = \sum_d (p_{(m,d)} * Q_{trait}d_j) \\ EnFa_j = v * \sum_d (\tau_d * Q_{trait}d_j) \\ EnPe_j = (EnPr_j + EnFa_j) * \mu \end{cases}$$

- ϵ [KWh/t] : Taux de consommation d'énergie par tonne de déchets enfouie selon le scénario 0 ;
- $Q_{trait}d_j$ [t] : Quantité des déchets d traitée, sous un scénario j ;
- τM [KWh/t] : Taux d'énergie récupérée par le recyclage d'une tonne de déchet du type d comme matière secondaire, il correspond à la consommation moyenne d'énergie pour la production d'une tonne de matière première vierge M ;
- $Q_{recycl}d_j$ [t/an] : Quantité de déchets de type d , recyclée comme matière secondaire, sous un scénario j ;
- $p_{(m,d)}$ [KWh/t] : Taux de production d'énergie renouvelable par tonne de déchet traitée selon le type de déchets d et le mode de traitement m ;
- τ_d [KWh/t] : Taux de consommation d'énergie par tonne de déchets valorisée comme matière secondaire selon le type de déchet d ;
- v (%) : Taux moyen de la chaleur fatale à récupérer ;
- μ (%) : Taux moyen de perte dans les réseaux (de l'énergie produite et fatale) ;

Les **émissions de CO₂ évitées** de ce fait $EmEv_{(EnR_{d,j})}$, sont déterminées, sous chaque scénario j à partir des indicateurs : $CO_2 Ev_{(EnEv)_j}$, $CO_2 Ev_{(EnMi)_j}$, $CO_2 Ev_{(EnPr)_j}$,

$CO_2 EV_{(EnFa)j}$, $CO_2 EV_{(EnPe)j}$, correspondants respectivement aux indicateurs de l'Énergie Récupérée EnR_{dj} . Ils sont calculés à partir des formules :

$$EmEv_{(EnR_{dj})} = \sum(CO_2 EV_{(EnEv)j} + CO_2 EV_{(EnMi)j} + CO_2 EV_{(EnPr)j} + CO_2 EV_{(EnFa)j}) - CO_2 EV_{(EnPe)j} \quad (2.3)$$

$$EmEv_{(EnR_{dj})} = \varphi * Q_{trait} d_j + \sum_d(\vartheta_d * Q_{recycl} d_j) + [\sum_d(\vartheta_{(m,d)} * Q_{trait} d_j) + EnFa_j * FE_{elec}] * (1 - \rho) \quad (2.4)$$

Avec :

$$\begin{cases} CO_2 EV_{(EnEv)j} = \varphi * Q_{trait} d_j \\ CO_2 EV_{(EnMi)j} = \sum_d(\vartheta_d * Q_{recycl} d_j) \\ CO_2 EV_{(EnPr)j} = \sum_d(\vartheta_{(m,d)} * Q_{trait} d_j) \\ CO_2 EV_{(EnFa)j} = EnFa_j * FE_{elec} \\ CO_2 EV_{(EnPe)j} = (CO_2 EV_{(EnPr)j} + CO_2 EV_{(EnFa)j}) * \rho \end{cases}$$

- φ [ktCO₂e/t] : Taux d'émission de CO₂ par tonne de déchets enfouie selon le scénario 0 ($\varphi = \frac{CO_2 EnI_0}{Q_{trait} d_0}$) ;
- ϑ_d [ktCO₂e/t] : Taux moyen des émissions de CO₂ évitées par tonne de déchet valorisée comme matière secondaire selon le type de déchet d ;
- $\vartheta_{(m, d)}$ [ktCO₂e/t] : Taux moyen des émissions de CO₂ évitées par tonne de déchet valorisée en énergie renouvelable selon le type de déchets d et le mode de traitement m ;
- FE_{elec} : Facteur d'émission lié à la production d'électricité à partir de source fossile pour la quantité d'énergie fatale récupérée ;
- ρ : Taux de pertes en émissions liées à l'énergie perdue dans les réseaux.

Énergie fossile Utilisée En_{Uj}					Émissions de CO2 liées $EmGe_{(En_{Uj})}$			
Type d'énergie	Ratios	Valeur	Unité	Source	Ratios	Valeur	Unité	Source
Énergie Directe Consommée	elec	-	-	-	FE électricité (Algérie)	0.548	kgCO2e/kWh	[2]
	gaz	-	-	-	FE gaz	0.227		[2]
Énergie Indirecte mobilisée pour la collecte et le transport des déchets*	β_1	0.605	l/km	[1]				
	D_{moyC}	11,4	Km/t	[1]				
	β_2	0.427	l/km	[2]	FE carburant	2.66	kg CO2e/l	[5]
	C	25	t	[2]				
Énergie Indirecte mobilisée pour le traitement des déchets					<u>FE Enfouissement</u>			
	$U_{Enfouissement}$	6.77	l/t		FE Enfouissement	18	kgCO2e/t	
					<u>FE Méthanisation</u>			
	$U_{Méthanisation}$	30.84	kWh/t		FE Méthanisation	7	kgCO2e/t	[2]
					<u>FE Incinération</u>			
	$U_{Incinération}$	79.30	kWh/t		FE Incinération	18	kgCO2e/t	
					<u>FE Gaz</u>			
	$U_{Valorisation\ papier\ et\ carton}$	2763.5			FE Valorisation papier et carton	467.6		
	$U_{Valorisation\ plastique}$	1534			FE Valorisation plastique	187.6		
	$U_{Valorisation\ métaux}$	3660	kWh/t	[3]	FE Valorisation métaux	916	kgCO2e/t	[3]
$U_{Valorisation\ verre}$	100			FE Valorisation verre	24,2			
$U_{Valorisation\ textiles}$	6.5			FE Valorisation textiles	7,7			
Énergie Grise Incorporée**	ϵ	32.85	kWh/t	Calculé	FE EnG	18	kgCO2e/t	[2]
						0.548	kgCO2e/kWh	

Énergie Récupérée En_{Raj}				Émissions évitées liées $Em_{Ev} (En_{Raj})$		
Type d'énergie	Ratios	Valeur (kWh/t)	Source	Ratios	Valeur (kgCO2e/t)	Source
Énergie Évitée	ϕ	$En_{Lo}/Q_{trait}d_0$	Calculé	ϕ	CO_2_{En0}/Q_{dt0}	Calculé
	$[M_{papier\ et\ carton}]$	11154		$\phi_{papier\ et\ carton}$	343.50	
Énergie Réduite	$[M_{plastique}]$	15496.5		$\phi_{plastique}$	1449	
	$[M_{métaux}]$	6248	[3]	$\phi_{métaux}$	2211	[3]
	$[M_{verre}]$	1716		ϕ_{verre}	594	
	$[M_{textiles}]$	27241		$\phi_{textiles}$	5608	
	$p_{(méthanisation, déchets organiques)}$	170 kWh élec + 340 kWh therm	[8]	$\phi_{(méthanisation, déchets organiques)}$	44	[2]
Énergie Produite	$p_{(Incineration, déchets organiques)}$	119 kWh élec + 527 kWh therm		$\phi_{(Incineration, déchets organiques)}$	11 part élec + 147 part therm****	
	$p_{(Incineration, déchets de papier)}$	340 kWh élec + 1505,5 kWh therm	[2]	$\phi_{(Incineration, déchets de papier)}$	66 part élec + 946 part therm	[2]
	$p_{(Incineration, déchets plastiques)}$	766 kWh élec + 3392 kWh therm		$\phi_{(Incineration, déchets plastiques)}$	29 part élec + 419.5 part therm	
Énergie Fatale Récupérée	ν	Valeur retenue 12 % (entre 0 % et 24 %)	[6]	-	-	-
Énergie Perdue	μ^{***}	Valeur retenue 10 % (entre 8 % et 12 %)	[7]	ρ	10 %	-

* Sur la base des données de l'ADEME, nous considérons que le carburant consommé pour la collecte des déchets (β_1) est supérieur à son transport (β_2) en raison des nombreux arrêts de collecte.

** Les inventaires liés à l'Énergie incorporée EnG et aux émissions liées (CO_2_{EnG}), à la durée de vie des matériaux et procédés de construction ne sont pas disponibles. l'ADEME (2019) propose une valeur de 18 kg CO2e/par tonne de déchets pour la construction des centres de traitement, ce qui correspond à une consommation d'électricité équivalente à 32,85 kWh/tonne de déchet traitée.

*** μ , Taux de pertes pour un réseau suffisamment dense et très bien entretenu.

**** L'énergie récupérée, à partir de l'incinération des déchets, est utilisée soit pour produire de l'électricité ou pour produire de la vapeur (pour le chauffage). Les émissions évitées liées à cette incinération correspondent aux quantités de CO_2 qui auraient dû être générées pour obtenir le même service (chaleur ou électricité) avec des modes « traditionnels » (réseau électrique, réseau de chaleur urbain « moyen »). Ces émissions "évitées" sont reportées en kgCO2e /t aux parts d'électricité et de chaleur cogénérées (part électrique + part thermique) (ADEME, 2019).

Sources : [1]ADEME, 2014 ; [2] ADEME, 2019 ; [3] FEDEREC, 2017 ; [4] IEA, 2013; [5] Ressources naturelles Canada, 2014 ; [6] Panayiotou et al., 2017 ; [7]MEFI, 2006 ; [8] Planète Énergie, 2019.

Tableau 3. 2 : Ratios utilisés pour le calcul des gains en énergie et en émissions de CO2

• **Estimation des gains potentiels**

Les gains sont évalués à partir des deux indices de performance symbiotique (IPS) partiels, Gains Énergie j et Gains CO2 j, calculés, pour chaque scénario, par rapport au scénario de base "0", à partir des formules (1.5), (2.5) dont :

$$Gains_{En\ j} = En_fU_0 - EnOp_j \tag{1.5}$$

$$Gains_{CO_2\ j} = EmGE_{(U_fEn)_0} - EmRe_j \tag{2.5}$$

Avec $Gains_{En\ j}$ [GWh/an] : Gain énergétique ; $Gains_{CO_2\ j}$ [ktCO2e/an] : Gain d'émissions de CO2.

Les deux indices sont ensuite estimés pour chaque scénario, comparés à une valeur de référence basée sur l'objectif national de réduction des émissions de CO2 de 7 %, en utilisant la Méthode d'Analyse Multicritères (AMC)⁶⁴. Ils sont interprétés sur une échelle de 0 à 5 divisée en cinq niveaux de même intervalle [Figure 3.10]. La valeur maximale de l'indice correspond à la note la plus élevée de l'échelle. Le score est le plus faible pour la valeur minimale. Le scénario qui offre le meilleur résultat en termes de gains énergétiques et de carbone (IPS global) pourrait alors être proposé pour être soutenu par des outils de planification urbaine. L'IPS global est considéré comme un rapport entre les gains énergétiques et les gains d'émissions de carbone. Il est mesuré en agrégeant les indices partiels sur une échelle de 0 à 10.

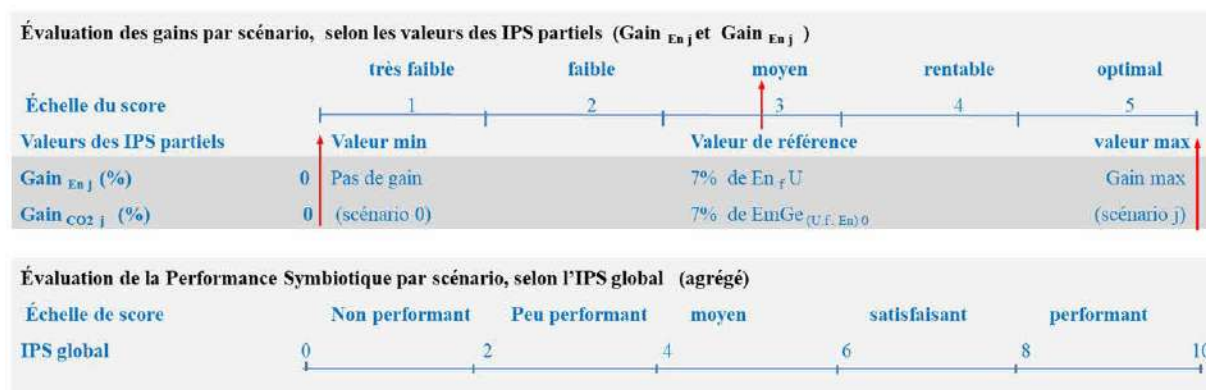


Figure 3. 10 : Méthode d'évaluation de l'Indice de Performance Symbiotique (IPS)

3.2.3 Application de la méthode

3.2.3.1 Analyse systémique des scénarios symbiotiques du territoire EH-OS

En s'appuyant sur les données inventoriées dans le Tableau [3.1, 3.2] et Figures [3.2 ; 3.3 ; 3.4 ; 3.5 ; 3.6 ; 3.7], l'analyse du modèle cyclique des flux Déchets-Énergie [Figures 2.23] au niveau du territoire d'EH-OS a permis de déterminer les éléments clés permettant la Récupération d'Énergie sous ses différentes formes (Énergie Produite, Réduite, Fatale Récupérée, Évitée)⁶⁵.

⁶⁴ Voir la définition de la méthode AMC en Annexe 2.2.

⁶⁵ **Énergie Produite (EnPrj)**: c'est l'énergie récupérée à partir de la valorisation des déchets urbains (biogaz, chaleur, électricité) sous un scénario j ; **Énergie Réduite (EnMij)** : c'est l'énergie récupérée par la valorisation des matériaux à forte intensité énergétique, sous un scénario j, elle correspond à l'énergie consommée à l'origine pour la production de la matière première vierge ; **Énergie Fatale Récupérée (EnFaj)**, c'est la chaleur résiduelle récupérée à partir des procédés industriels de valorisation des déchets ; **Énergie Évitée (EnEvj)** : c'est l'énergie récupérée via le détournement des déchets des sites d'enfouissement vers des industries locales de valorisation, sous un scénario j.

Ainsi, le potentiel d'Énergie Récupérée et d'émissions de CO_2 évitées a été estimé, et les actions de planification urbaine nécessaires à la transformation du système ont été identifiées. Les paragraphes qui suivent expliquent en détail les éléments d'analyse systémique.

- **Scénarios symbiotiques pour EH-OS**

Cinq scénarios symbiotiques ont été développés par rapport à un scénario initial j0 (aucune activité symbiotique), lequel représente l'état actuel du système défini dans les **Figures [3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6]** *supra* et décrit dans la **section 2.1**. Le fonctionnement linéaire de ce scénario implique la collecte des déchets en multi-flux et leur transport au CET de Corso pour enfouissement. Ce scénario détermine le point de départ d'une future mise en place de la *Symbiose Urbaine*.

Les autres scénarios combinent les différentes hypothèses, liées aux processus cycliques des flux métaboliques *Déchets-Énergie*. Nous supposons que tous les déchets sont transformés à l'échelle locale avec un taux de collecte et de valorisation de 100 %. Cela implique la construction d'une déchèterie locale favorable à la collecte sélective et au prétraitement des déchets à l'échelle du territoire d'EH-OS. La distance parcourue pour la collecte est déterminée en partant de l'hypothèse qu'un camion doit parcourir en moyenne 11,4 km pour collecter une tonne de déchets urbains ménagers (ADEME, 2014). Les quatre scénarios (j1 à j4) sont décrits dans les paragraphes ci-dessous et présentés dans la **Figure 3.11**, et la **Figure 3.12** illustre le 5e, qui combine les scénarios (**j1, j3, j4**).

Le scénario j1 prévoit l'extension de l'installation de récupération du biogaz de l'ex-décharge d'Oued Smar en une installation de méthanisation. Il implique une collecte sélective des flux de déchets organiques en vue de la production d'énergie (électrique et thermique). Cette énergie sera utilisée en remplacement de l'énergie fossile dans l'habitat pour plusieurs usages (chauffage, cuisine, éclairage) avec récupération de 6 %, soit une quantité de 0.6 GWh/an, nécessaire au fonctionnement de l'installation de méthanisation. Les résidus de fermentation sont également utilisés comme composte dans l'agriculture, dans la pépinière de l'établissement de développement des espaces EDEVAL, ou dans les établissements de recherche en agronomie INRA, et de protection des végétaux INPV.

Dans le scénario j2, la quantité totale des flux de déchets urbains est collectée en multi flux pour être transférée à l'installation d'incinération d'ECFERAL, avec la récupération de l'énergie produite (électrique et thermique). 7 % de cette énergie sera utilisée pour auto-alimenter l'installation d'incinération soit 2.5 GWh/an. La grande partie (93 %) sera utilisée dans l'habitat, ce qui permet de remplacer 8 % de l'énergie fossile consommée.

Le scénario j3 implique une collecte sélective des seules quantités non recyclables comme matière (tout-venant) pour leur incinération avec récupération d'énergie, dont 4 % seraient destinées à l'alimentation de l'installation d'incinération et la grande partie sera utilisée dans les équipements publics structurants de proximité, notamment la nouvelle foire internationale et la nouvelle gare internationale.

Le scénario j4 prévoit la collecte sélective des déchets de papier, plastique, textile, métaux, pour leur valorisation dans les industries locales, comme matière secondaire. Ce scénario implique la construction d'une industrie de transformation textile. L'énergie fatale récupérée des différents procédés de valorisation peut être utilisée en remplacement de l'énergie fossile dans les équipements publics universitaires, de santé et de sécurité.

• **Éléments fonctionnels clés pour les liens symbiotiques**

Les éléments fonctionnels clés, identifiés pour la création des échanges symbiotiques au niveau du système d'étude (activités, bâtiments et infrastructures), sont présentés dans le **Tableau 3.3** et localisés dans la carte de la **Figure 3.15** ci-dessous selon les résultats des gains de carbone estimés.

Éléments producteurs/ consommateurs	Le sous-système d'Habitat, qui représente à la fois la part la plus importante des déchets produits (85 %) (Tableau 3.1), et de l'énergie consommée dans le système (section 3.1). Il constitue donc un gisement important d'énergie renouvelable dont la récupération pourra répondre, en retour, à sa demande.
Éléments collecteurs	Les divers équipements publics structurants (universitaires, de santé de sécurité ainsi que les grands projets de la gare centrale d'Alger et la foire internationale prévus à l'horizon 2035, qui constituent également des éléments potentiels dans les liens symbiotiques. La mise en place d'une déchèterie qui prend en charge la collecte, le prétraitement et le transfert des déchets vers les éléments transformateurs est nécessaire pour le fonctionnement du système urbain symbiotique.
Éléments transformateurs	L'activité industrielle, qui constitue un potentiel pour la transformation de ces ressources et leur valorisation. Certaines industries ont développé des activités de recyclage pour la transformation de certains déchets en matière secondaire, à l'exemple de l'ALFEL* et l'ECFERAL**. L'installation de récupération du biogaz (à partir de l'ex-décharge d'Oued Smar), une installation d'une capacité d'extraction de 5000 Nm ³ /h ((Sweepnet, 2010), qui constitue un potentiel pour la récupération du biogaz. Cependant, son exploitation dans la méthanisation des déchets urbains impliquerait l'extension des réseaux et l'installation de nouveaux équipements.

Tableau 3. 3 : Description des éléments clés de la Symbiose urbaine d'EH-OS

* *"ALFEL"*, Société Algérienne de Fonderie, installée dans la commune d'El Harrach. Elle se base dans sa production sur la transformation des déchets de métaux. ALFEL reçoit et fond environ 4 000 tonnes de métaux ferreux par an pour une production de produits finis d'environ 3 200 tonnes (SDDI, 2010). Les métaux reçus sont en très grande majorité des déchets et proviennent de diverses sources. Il convient de noter qu'*ALFEL* n'est pas une entreprise de traitement des déchets et n'est pas déclarée dans cette activité, elle récupère simplement les déchets métalliques comme matière première (SDDI, 2010).

** *"ECFERAL"*, entreprise de Chaudronnerie et de Ferblanterie, spécialisée dans la production des cuves métalliques de chaudière, installée dans la zone industrielle d'El Harrach, qui a également développé une activité d'incinération et de fabrication de petits incinérateurs, particulièrement adaptés pour les médicaments périmés et les déchets d'activités de soins à risques infectieux. *ECFERAL* dispose d'une installation d'incinération qui traite environ 1.5 tonnes par jour de déchets à une température d'environ 1000 °C et jusqu'à 1300 °C (SDGDI, 2010). *ECFERAL* constitue un potentiel pour la valorisation énergétique des déchets par incinération.

En effet, malgré les faibles taux de valorisation, plusieurs industries du territoire d'étude pourraient potentiellement être impliquées pour la transformation des différents types de matières secondaires disponibles (de plastique, de papier, de verre, des métaux). Cependant la mise en place d'une industrie textile est nécessaire pour la prise en charge de la matière textile.

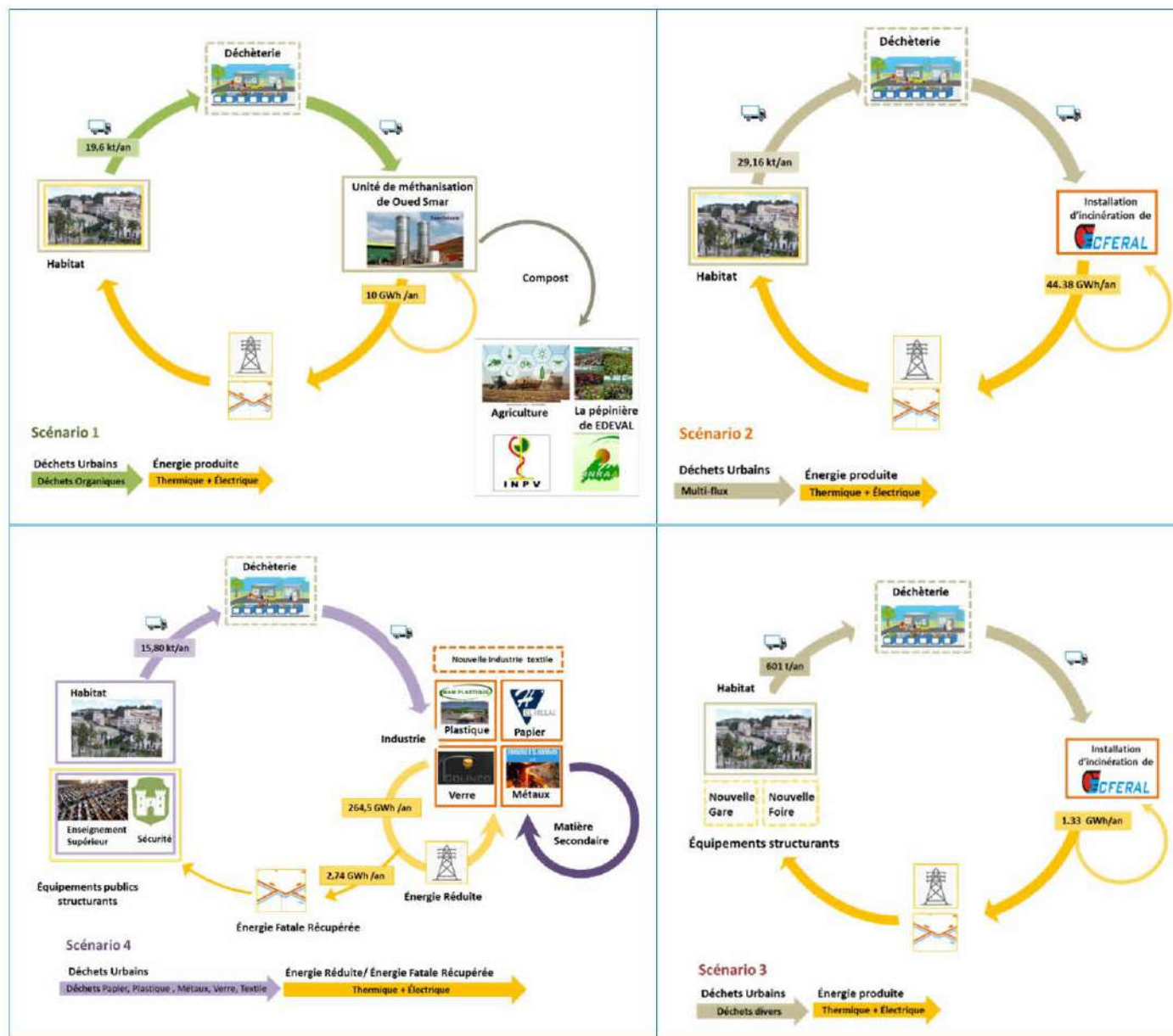


Figure 3. 11 : Présentation graphique des scénarios symbiotiques (j1, j2, j3, j4)

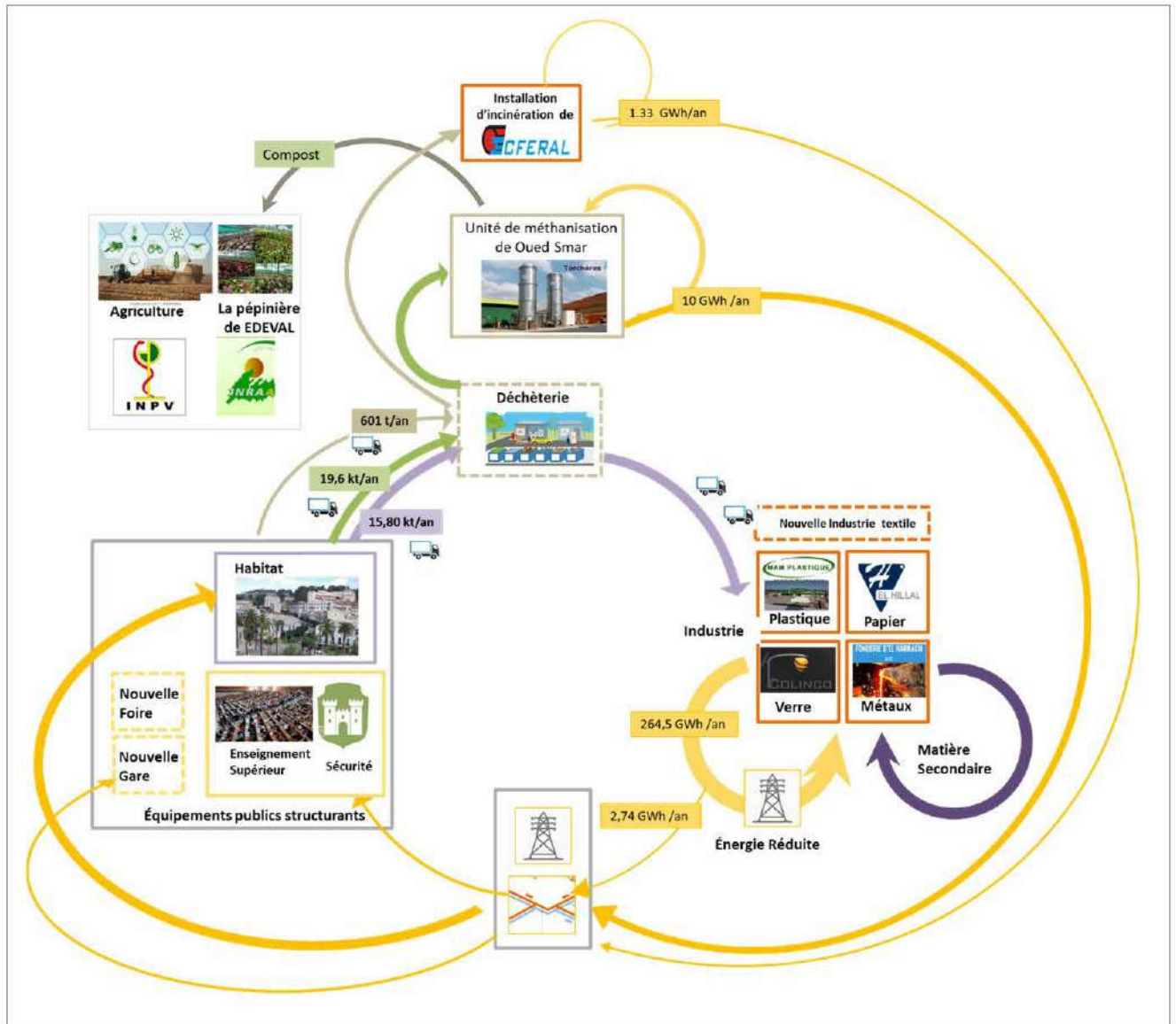


Figure 3. 12 : Présentation graphique du scénario symbiotique (j5)

3.2.3.2 Potentiel de récupération d'énergie et gains de carbone estimés

Production d'Énergie. Dans le contexte local d'EH-OS, l'exploitation de l'installation de méthanisation de l'ex décharge d'Oued Smar dans la valorisation énergétique des quantités de déchets organiques disponibles permet la production de **10 GWh/an** d'énergie (électrique, thermique), ce qui évite l'émission de **861 tonnes** de CO₂ pour les quantités de déchets disponibles (scénarios j1& j5)

Par ailleurs, avec la contribution de la société *ECFERAL*, deux possibilités d'incinération des déchets sont offertes : (i) l'incinération de l'ensemble des déchets plastiques, papier et organiques, qui permet de produire **44,38 GWh/an** d'énergie et évite l'émission de **10,81 kt CO₂** pour la quantité disponible (scénario j2) ; (ii) l'incinération des seuls déchets divers non recyclables, qui permet de produire **1,33 GWh/an** d'énergie et évite l'émission de **324,2 tCO₂**, pour la quantité disponible (scénarios j3&j5).

Réduction d'Énergie. Le recyclage des déchets plastiques, textiles, papiers et métaux dans les industries d'EH-OS choisies permet de réduire **264,48 GWh/an** de l'énergie utilisée pour la production de matériaux vierges. À cette fin, nous estimons les potentiels de transformation suivants pour les quantités de déchets disponibles (scénario j4 & j5) :

- La transformation des quantités de déchets plastiques pour la fabrication d'emballages en plastique dans l'entreprise *MAM Plastic*, par exemple, permet une réduction d'énergie estimée à **94 GWh/an** et évite l'émission de **8.8 kt CO₂/an**.
- La transformation des quantités de déchets textiles dans l'industrie textile pour la production d'emballages textiles, chiffons, tapis, autres, permettent de réduire **123,7 GWh/an** et d'éviter **25,45 ktCO₂e/an** ;
- La transformation des quantités de déchets de papier dans l'industrie papetière *ELHILAL* pour la production du papier recyclé permet une réduction en énergie estimée à **39.13 GWh/an** et évite l'émission de **1,2 ktCO₂e/an**.
- La transformation des quantités de déchets de métaux dans l'entreprise *ALFEL*, permet une réduction en énergie estimée à **6.39 GWh GWh/an** et évite l'émission de **2.26 ktCO₂e/an**.
- La transformation des quantités de déchets de verre dans l'entreprise *COLINCO*, pour la production de verre permet une réduction en énergie estimée à **1.14GWh/an** et évite l'émission de **339,23ktCO₂e/an**.

Récupération de l'Énergie Fatale. Une Énergie Fatale estimée à **2.74 GWh/an** peut être récupérée à partir du recyclage des matériaux secondaires dans les différentes industries locales indiquées ci-dessus (scénario j4&j5). Cela permet d'éviter l'émission de **1.5 ktCO₂e** pour les quantités de déchets collectées au niveau du territoire d'étude.

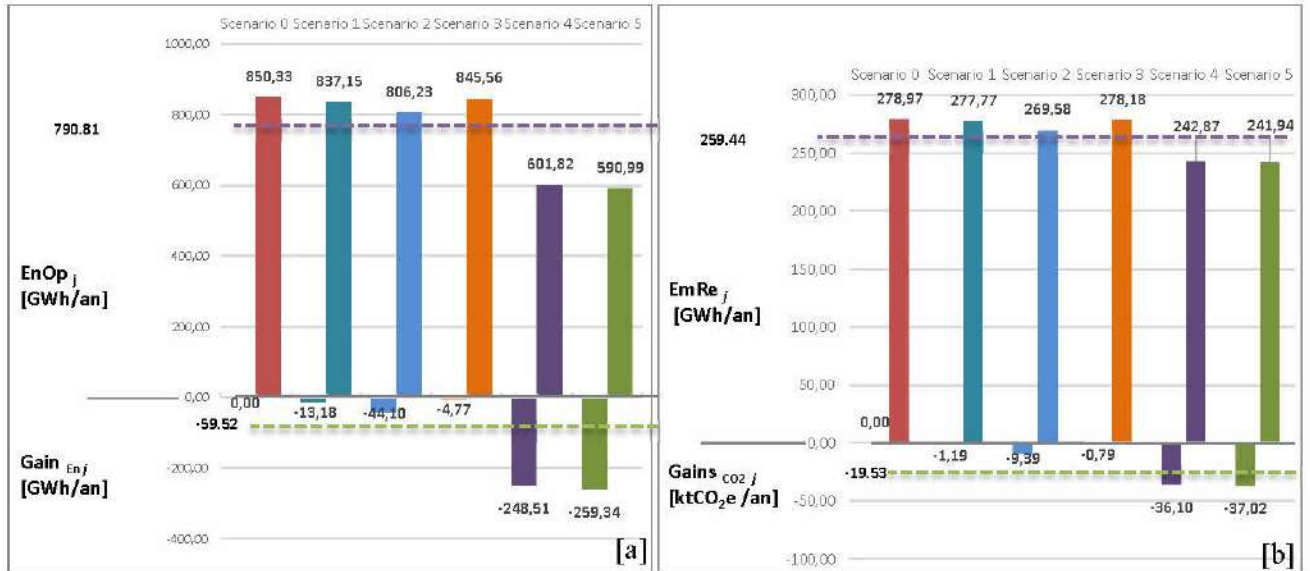
Énergie Évitée. La transformation des déchets à l'échelle locale permet d'éviter l'utilisation de l'énergie pour le transport et le traitement hors le contexte d'EH-OS. L'estimation de cette Énergie dépend de l'énergie utilisée dans chaque scénario [Tableaux 3.A, 3.B en Annexe 3].

L'évaluation quantitative des différents scénarios nous permet de déterminer les performances symbiotiques du système. La **figure 3.13** illustre le potentiel d'énergie optimisée et de réduction des émissions de CO₂ dans chaque scénario et met en évidence les gains. Le **tableau 3.4** présente l'estimation de l'IPS global de chaque scénario en fonction des résultats des gains comparatifs. Les résultats détaillés sont donnés dans l'**Annexe 3**.

Parmi les scénarios proposés, la simulation préliminaire de l'analyse morphologique montre une tendance préférentielle vers le scénario j5 [Figure 3.14], qui offre le résultat optimal en termes de gains énergétiques et de carbone [Tableau 3.4].

Scénarios j (0-5)	Gain en Énergie			Gain en Émissions de CO ₂			Performance Symbiotique	
	Valeur de référence (7 %)			Valeur de référence 7 %				
	Valeur (%)	Score		Valeur (%)	Score		Score de l'IPS	
j0	0 %	0	Aucun gain	0 %	0	Aucun gain	0	Non performant
j1	1.55 %	1	Très faible	0.43 %	1	Très faible	2	Peu performant
j2	5.19 %	2	Faible	3.36 %	2	Faible	4	Moyen
j3	0.56 %	1	Très faible	0.28 %	1	Très faible	2	Peu performant
j4	29.22 %	5	Optimal	12.9 %	5	Optimal	10	Performant
j5	30.5 %	5	Optimal	13.27 %	5	Optimal	10	Performant

Tableau 3. 4 : Résultats de l'évaluation des gains et de l'estimation de l'IPS pour chaque scénario



Valeur de référence de EnOp_j / EmRe_j | --- Valeur de référence de Gains_{Enj} / Gain_{CO2j}

Figure 3.13 : Résultats de quantification des gains pour chaque scénario :
[a] en consommation d'énergie, [b] en émissions de CO₂

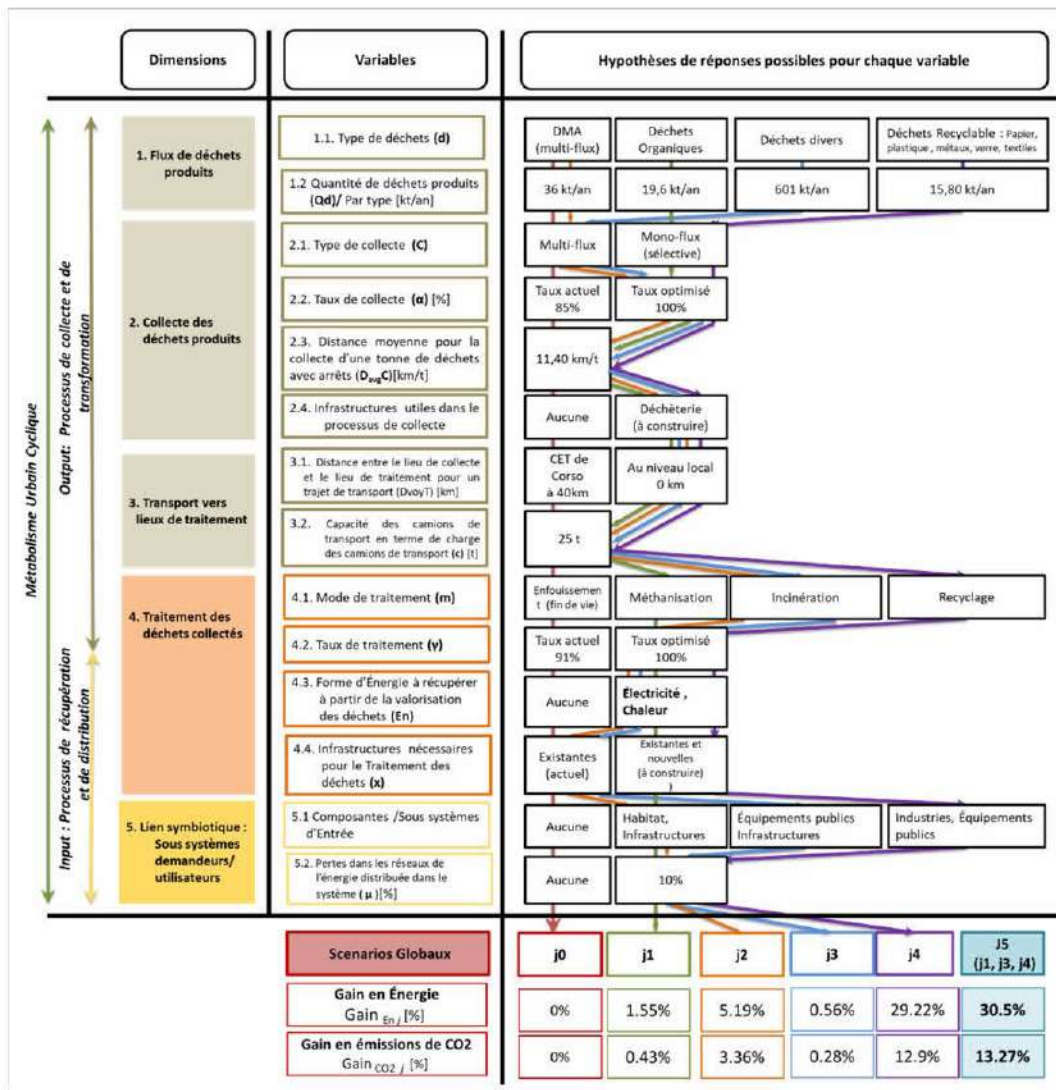


Figure 3.14 : Résultats de la simulation de l'analyse morphologique

3.2.3.3 Discussion des résultats et perspectives d'intégration dans la planification

- **Discussion des gains estimés**

Nous avons examiné cinq scénarios symbiotiques [Figures 3.11, 3.12]. Les résultats montrent que l'application d'une SU_T peut optimiser considérablement la consommation d'énergie et réduire les émissions de CO_2 .

Deux caractéristiques sont communes à tous les scénarios du système étudié : (i) la consommation d'énergie fossile est le principal contributeur aux émissions de CO_2 ; (ii) le détournement des déchets de l'enfouissement au CET de Corso et leur valorisation à l'échelle locale permet de réduire la distance des transports et, par conséquent, évite la consommation d'énergie et les émissions de CO_2 associées. Les résultats du **scénario j4** montrent que le recyclage des déchets de papier, plastique, textile, métaux, verre dans les industries locales est le facteur qui contribue le plus à atteindre les objectifs stratégiques, contrairement au scénario **j2**, où l'énergie produite ne contribue qu'à une faible réduction [Tableaux 3.4, 3.A, 3.B]. Par ailleurs, les scénarios (**j1 & j3**) permettent de produire une énergie renouvelable (électrique et thermique) à partir de la valorisation des déchets. Bien que leur contribution soit faible, comparée au scénario **j4**, ils offrent d'autres avantages en termes de gestion des déchets. L'incinération dans le scénario **j3** constitue la solution la plus favorable pour gérer les quantités de déchets divers (non recyclables). La méthanisation des déchets organiques dans le scénario **j1** permet même de générer du compost comme l'engrais pour l'agriculture et les activités de développement des espaces verts.

Par rapport au scénario de base j0, le scénario **j5** donne un gain total optimal en énergie et en émissions de CO_2 estimé à **259,34 GWh/an** et **37,02 ktCO₂e/an**, ce qui représente **30,5 %** et **13,27 %** par an de la consommation et des émissions actuelles. L'énergie récupérée provient : (i) de la production de **11,32 GWh/an** d'énergie renouvelable propre via les procédés de méthanisation et d'incinération ; (ii) de la réduction de **264,5 GWh/an** de la consommation d'énergie par le recyclage de matériaux secondaires dans les industries locales ; (iii) de la récupération de **2,74 GWh/an** d'énergie résiduelle issue des procédés de recyclage industriel ; (iv) enfin, le détournement des déchets du site d'enfouissement vers les installations de valorisation locales évite **6,1 GWh/an** de transport et de traitement dans des zones éloignées. Les émissions de carbone évitées grâce à l'ensemble de ce processus cyclique sont estimées à **42,06 ktCO₂e/an**.

Outre sa performance symbiotique, le scénario **j5** présente également d'autres avantages pour Alger, liés à la préservation des ressources naturelles non renouvelables, à l'économie du foncier destiné à l'enfouissement, à la réduction des coûts de transport des déchets lointains, à la rentabilité économique grâce à la préservation de l'énergie et des matières premières, ainsi qu'à la création d'emplois dans les industries locales. Dans cette optique, les bâtiments, les infrastructures et les réseaux, qui sont les maillons de la chaîne de symbiose urbaine (Rey, 2013), sont aussi un vecteur d'introduction d'innovations par leur équipement en systèmes techniques intelligents : collecte automatisée par des véhicules robotisés, systèmes automatisés de gestion de la chaleur et de l'éclairage, production d'énergie, tri des déchets (Lorrain et al., 2018). Le passage à des technologies de collecte et de tri innovantes, telles que le réseau souterrain d'aspiration automatisée ou les couloirs verts spéciaux par drone ou robots, pourrait offrir une alternative intéressante à la collecte traditionnelle dans l'amélioration du cadre de vie (par exemple, réduction des problèmes de circulation et des émissions de CO_2 qui y sont liées, amélioration de la sécurité et des niveaux d'hygiène) (Kaliampakos et Benardos, 2013).

Par conséquent, ce scénario implique plusieurs actions de planification et d'aménagement urbain, notamment : (i) la réservation du foncier pour la construction d'une déchèterie afin de favoriser la collecte sélective des déchets ; (ii) l'extension des installations de méthanisation et d'incinération et des réseaux nécessaires pour promouvoir le développement d'activités de production d'énergie renouvelable ; (iii) la programmation de nouvelles activités (industrielles, commerciales et artisanales) favorable au recyclage des produits textiles ; (iv) la programmation des aménagements urbains et des équipements permettant la collecte sélective dans le respect de la capacité de charge urbaine ; (v) la planification de l'éventuel réseau séparé décentralisé pour la gestion de l'énergie ; (vi) la mise en place éventuelle d'un réseau séparatif décentralisé de gestion d'énergie au niveau local, etc.

- **Visualisation spatiale du scénario optimal**

Les résultats de cette étude peuvent être traduits à l'échelle spatiale par une proposition d'un **Schéma de Symbiose Urbaine Bas Carbone [figure 3.15]** qui pourrait être traduit en termes d'aménagement urbain par un Plan local "PL-SU_r-BC" pour le territoire d'EH-OS. Les éléments de conception et d'aménagement de ce plan sont décrits dans les paragraphes qui suivent.

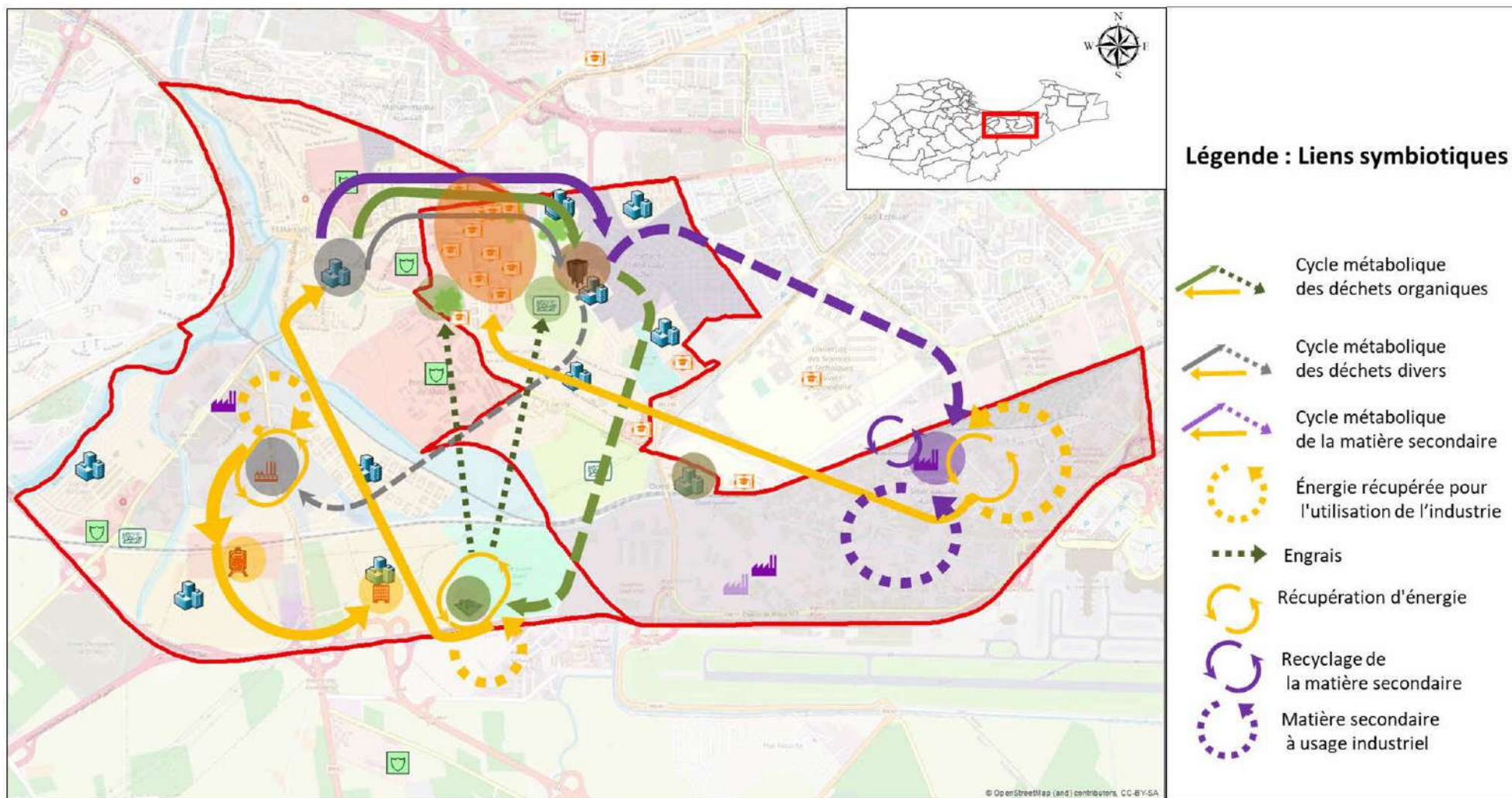


Figure 3. 15 : Proposition d'un Schéma de Symbiose Urbaine Bas Carbone cartographié au niveau du territoire local EH-OS selon le scénario j5
(Fond de carte : Open Street Basemap)

- **Orientations de planification spatiale pour l'aménagement du PL-SU_r-BC**

Cette partie indique les exigences du projet en termes de programmation, d'aménagement et de conception (Berezowska-Azzag, 2019), elle prend en charge le foncier, les activités, les réseaux et les infrastructures nécessaires à la concrétisation de la SU_r-BC dans le cadre du PDAU d'Alger. Les actions envisagées sont décrites dans ce qui suit, synthétisées dans le [Tableau 3.5] et illustrées dans les Figures 3.16, 17, 18, 19, 20, 21.

Foncier nécessaire à l'intégration de nouvelles installations techniques et activités urbaines

Selon le PDAU le territoire d'étude dispose, à El Harrach, de 17.24 ha de terrain urbanisable destiné aux équipements à usage spécial⁶⁶ et de 241.8 ha de terrain précaire⁶⁷ à reconvertir entre El Harrach et Oued Smar (PDAU, 2016) [Figure 3.A/Annexe3]. Ce potentiel foncier pourrait contribuer à la prise en charge des installations et des équipements techniques, ainsi que des activités industrielles, commerciales et artisanales nécessaires à la mise en place du projet urbain symbiotique, et cela via plusieurs actions de régénération urbaine, dont [Figure 3.16]:

- **La reconversion de la fourrière municipale d'Oued Smar** (d'une superficie de 2.00 ha) **pour l'aménagement d'une déchetterie locale** permettant de faciliter le contrôle des quantités de déchets préalablement collectés en mono-flux et leur regroupement en lots homogènes avant leur transfère aux filières de valorisation.
- Les nouvelles activités industrielles, commerciales et artisanales favorables au recyclage des produits textiles pourraient être prises en charge dans le cadre de **la reconversion des zones d'habitat précaire et des entrepôts industriels vétustes et leur réhabilitation**. Nous considérons également la possibilité de prendre en charge ces activités dans le cadre d'une opération de **densification permettant la transformation des zones industrielles d'EH et de OS en de véritables éco-parcs industriels** qui dépassent l'organisation traditionnelle, au profit d'une grande **diversité fonctionnelle des activités productives** et un usage plus efficace du sol favorable au développement des interactions et échanges entre les divers acteurs industriels et urbains, chose qui pourrait contribuer au développement de l'économie locale et de générer de nouveaux emplois.
- Nous considérons, par ailleurs, que **la transformation de l'installation de récupération du biogaz de l'ex-décharge d'Oued Smar en une installation de méthanisation et l'extension de l'installation d'incinération d'ECFERAL** sont possibles dans la mesure qu'elles n'exigeraient que la mise en place de nouveaux équipements techniques sur les mêmes terrains.

⁶⁶ Foncier destiné aux équipements et infrastructures liés aux services fondamentaux et indispensables à la population, notamment d'approvisionnement en électricité, en eau, en télécommunications, de décharges et de centres d'enfouissement techniques, etc. (PDAU, 2016).

⁶⁷ Comprend les zones bâties d'habitations précaires, mais aussi d'espaces industriels et d'entrepôts vétustes ou ayant des problèmes accentués de compatibilité avec le milieu urbain, ainsi que d'anciennes fermes et d'anciens lotissements isolés, absorbés par les espaces d'expansion urbaine, connaissant des problèmes notoires d'intégration urbanistique (PDAU, 2016).

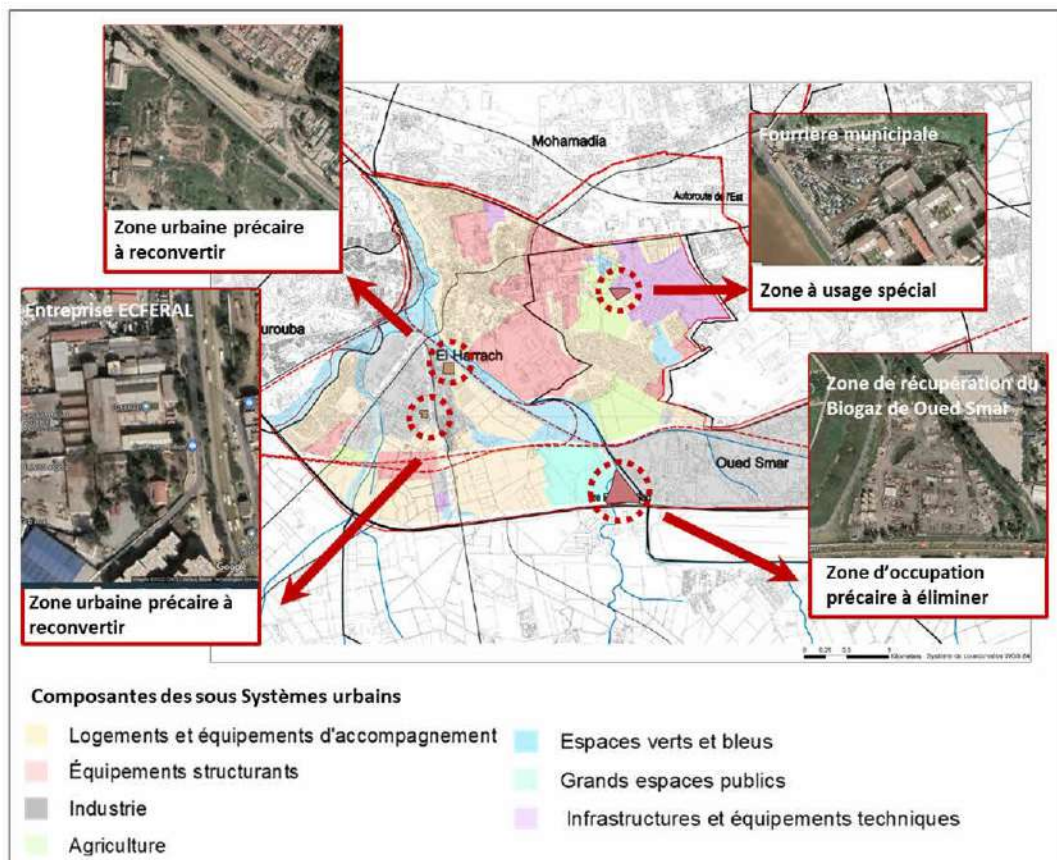


Figure 3. 16 : Foncier récupéré pour l'intégration des installations techniques et des activités urbaines nécessaires au projet SU-BC par référence à l'étude « Qualification de l'usage du sol » du PDAU [Figure. 3.A]

Aménagement du réseau de collecte et de transport de déchets et de la matière secondaire :

Contrairement au réseau centralisé adopté pour le transport des déchets sur de longues distances (à Corso), nous proposons **un système de réseau local décentralisé**, adapté au bouclage des flux. Le principe repose sur une organisation hiérarchique de réseaux et des nœuds bidirectionnels, dont l'aménagement pourrait faciliter d'une part la collecte et le tri sélectif des déchets de proximité et d'autre part leur transfert aux activités de valorisation [Figure 3.17] : la collecte pourrait commencer à la source (à proximité des logements, des commerces, bureaux, industries...), là où le déchet prend naissance (a, b). Ces déchets seront par la suite transportés à vélo par des tripoteurs vers des mini-stations à l'échelle de chaque quartiers d'habitat (c, d) pour être transférés par la suite vers la déchèterie via le transport mécanique par des véhicules robotisés (e), ou par l'utilisation du réseau de tramway dans la collecte par des *cargo-tram*⁶⁸ afin de réduire le nombre de camions (f). Un transfert aux activités de valorisation pourrait être organisé selon le même circuit de retour, après contrôle de la matière secondaire récupérée. Cette organisation a pour avantage de limiter les distances du transport lointain et des couts conséquents, elle limite encore plus la circulation des camions dans les zones urbaines pour la collecte des déchets. Les aménagements proposés dans ce cadre concernent :

⁶⁸ À l'exemple de la ville Zurich en Suisse, dont le principe consiste à utiliser le réseau du tramway pour collecter les déchets via les services du Cargo-Tram et du E-Tram. Le Cargo-Tram collecte les encombrants, le E-Tram les produits électroniques et informatiques (<https://www.logicites.fr>).

- **Les quartiers d'habitat :**
 - Aménagement des dépôts de déchets à proximité des bâtiments avec bacs adaptés au mode de collecte sélective.
 - Aménagement de quartiers d'habitat par des mini-stations de collecte sélective semi enterrées d'une surface maximale de 20 m² avec **matériels de collecte (conteneurs) intelligents connectés**, équipés par des systèmes techniques (système d'identification par badge pour le contrôle d'accès, système de contrôle des fractions triées, ...). Cela pourrait faciliter le suivi des données de collecte en temps réel (géolocalisation, nombre de bacs collectés, mesure de remplissage, nombre de vidage...) **Figures [3.17 c-d]**.
- **Les zones d'activités productives et grands équipements :**
 - Aménagement de **petites unités de regroupement et de tri d'une surface maximale de 50 m²** principalement au niveau des zones industrielles (d'Oued Smar et d'El Harrach), des exploitations agricoles ainsi que des grands équipements (la prison, le secteur de protection, établissements universitaires, etc.).
- **Les espaces verts**
 - Aménagement des places publiques et des squares par des circuits de collecte de déchets intelligents équipés de robots urbains de collecte ayant accès à des mini-stations, lesquels sont accessibles aux véhicules robotisés de transport mécanique des déchets.
- **Les réseaux de voirie et de transport**
 - Exploitation de la ligne de tramway dans la collecte des déchets et le transport de la matière secondaire via des cargos-tram.
 - Des actions sur le réseau de voirie sont proposées concernant l'extension et l'élargissement des tronçons de voirie menant à la déchetterie.

La carte dans la [Figure 3.19] illustre le plan de collecte et de transport de déchets proposé.



Figure 3. 17 : Circuit et matériel nécessaire pour un réseau décentralisé .

Sources d'images : [a] <https://www.gracq.org/> ; [b] <https://france3-regions.francetvinfo.fr/> ; [c] (<https://www.webdo.in/2016/>) ; [d] <https://www.brangeon.fr/> (e) <https://www.getag.ch/fr/> , [f] transport par tramway (<https://www.logicites.fr>).

Aménagement du réseau de distribution de l'énergie renouvelable récupérée :

En plus du réseau de distribution d'énergie fossile centralisé (Gaz, Électricité) [Figure 3.B-Annexe 3], le projet SU_r-BC suppose un aménagement qui permet d'équiper le territoire d'étude par un **nouveau réseau d'énergie décentralisé** favorable à la récupération de **l'énergie renouvelable** (biogaz, électricité, chaleur). Cet aménagement mise donc sur les transformations proposées en amont concernant les installations de récupération du biogaz d'Oued Smar et d'incinération d'El-Harrach (*ECFERAL*) et la redistribution de l'énergie produite aux activités urbaines de consommation par des **réseaux séparatifs de proximité**. La [Figure 3.20] illustre le plan de distribution d'énergie proposé pour la mise en œuvre du scénario (j5). Les aménagements proposés dans ce cadre concernent :

- Les infrastructures techniques et réseaux divers

- Intégration de nouvelles installations de méthanisation au niveau de l'unité de récupération du biogaz d'Oued Smar avec tous les équipements nécessaires à la récupération du biogaz et sa transformation en énergie électrique et thermique (centrale de stockage et de distribution d'énergie électrique, transformateurs, etc.).
- Extension de l'installation d'incinération d'ECFERAL avec intégration de tous les équipements nécessaires à la récupération de l'énergie thermique et électrique (centrale de stockage et de distribution d'énergie électrique, transformateurs, etc.).
- Aménagement d'un réseau de chaleur de **23,75 Km** depuis l'unité d'Oued Smar vers les différents quartiers d'Habitat du territoire.
- Aménagement d'un réseau d'électricité de **23,75 Km**.
- Aménagement d'un réseau de chaleur de **2,15 Km** depuis l'installation d'incinération d'ECFERAL vers les équipements publics structurants de proximité, dont la nouvelle foire internationale et la nouvelle gare internationale.
- Aménagement d'un réseau de chaleur de **2,10 Km** depuis l'industrie textile vers les équipements structurants universitaires.
- Aménagement d'un réseau de chaleur de **2,50 Km** depuis l'industrie métallique ALFEL vers les équipements de sécurité (Caserne de Beaulieu, gendarmerie) et de santé (Hôpital Zemirli).

- Les quartiers d'habitat / Grandes zones d'activités urbaines / Espaces verts et ouverts

- Intégration de mini-centrales de stockage et de distribution de l'énergie renouvelable au niveau de chaque quartier d'habitat, des équipements structurants et des zones industrielles
- Intégration des équipements de récupération de l'énergie fatale aux niveaux des industries métallique, de papier, de verre et textile.

Le projet pourrait également inclure l'intégration des cellules photovoltaïques dans les terrasses de logements, le mobilier d'éclairage des espaces verts et ouverts ainsi que dans les champs d'activité agricole. Cela pourrait renforcer les liens symbiotiques et permettre d'atteindre une

autosuffisance en énergie renouvelables de 100%⁶⁹, voire même un surplus d'énergie qui pourrait être récupéré au niveau des mini-centrales des quartiers et vendu à d'autres activités ou commune voisines élargissant de ce fait les liens symbiotiques à une plus grande échelle.

Aménagement des couloirs verts

En plus des aménagements des réseaux de collecte de déchets et de distribution d'énergie, le projet mise également sur le renforcement des liens entre les différentes parties du territoire. Il propose, tout en s'appuyant sur les orientations du PDAU (2016) l'aménagement de couloirs verts reliant les espaces publics verts des quartiers, les grandes places, la pépinière d'El Alia (EDEVAL), le parc de loisir de Beaulieu, le parc urbain d'El Harrach et les champs agricoles [Figure 3.21] tout au long des axes structurants qui se prolongent pour renforcer la continuité de la structure parcellaire naturelle et urbaine proposée dans le cadre du PDAU (2016) [Figure 3C.–Annexe 3]. Sont également pris en charge les dispositifs et les aménagements favorables à la pratique du compostage collectif au niveau des parcs de loisir d'Oued Smar et d'EL Harrach et de la pépinière d'EDEVAL. Le tableau 3.5 résume l'ensemble des actions proposées par sous-système.

Cependant, ces actions ne pourraient être mises en œuvre sans prendre en charge les risques majeurs naturels et technologique [Figure 3.D/ Annexe 3]. La structure géotechnique du territoire d'EH-OS définie dans le cadre du PDAU (2016) a permis de relever une forte vulnérabilité du périmètre d'étude au risque sismique et d'inondation ainsi qu'à des risques de mouvement de terrain modérés à faibles [Figure 3.D-a], ce qui exigerait l'élaboration des études techniques⁷⁰ nécessaires à la définition de solutions permettant d'augmenter la capacité de résistance globale des infrastructures, des bâtiments et des aménagements prévus et d'assurer leur stabilité et sécurité. De même, des risques technologiques (d'explosions, d'incendies ou de pollution environnementale) liés aux activités industrielles ont été identifiés selon la même étude (PDAU, 2016) [Figure 3.D-b]. Bien que leur menace n'est pas forte, ces risques pourraient être déclenchés lors de la mise en œuvre du projet SU-BC, ce qui nécessiterait l'élaboration d'une étude technique capable de prendre en charge toutes les mesures de sécurité nécessaires (dégagements des espaces à risque, distances réglementaires de sécurité pour certaines activités industrielles, mesures d'accessibilité et d'évacuation rapide en cas de danger...).

En somme, malgré les risques, nous considérons que ce projet pourrait contribuer à mettre en place les bases d'une **ville diversifiée, compacte et circulaire**, dont la **qualité symbiotique favorise**, à la fois, la **mixité et la diversité fonctionnelle**, un meilleur **usage du sol et des ressources naturelles ainsi que l'interaction et l'échange** entre divers acteurs urbains où les activités productives cohabitent et interagissent avec les logements, les commerces et les différents grands équipements dans un contexte environnemental équilibré et renforcé par les aménagements d'espaces publics verts et ouverts de qualité. Les bâtiments, les installations techniques, les voies et les divers réseaux⁷¹ qui les constituent ne sont plus considérés comme *des éléments isolés*, mais

⁶⁹ Une surface de 1 m² de cellules photovoltaïques produit environ 100 kWh/an, ce qui est équivalent à l'énergie nécessaire pour 3m² de logement (Suzuki et al., 2010).

⁷⁰ Études géotechniques, hydrologiques, géologiques et de génie-civil compatibles avec les caractéristiques des zones d'intervention.

⁷¹ Voies et réseaux divers : Voirie tertiaire ; Voirie secondaire ; Voirie primaire/ Réseaux de transport ; Réseaux d'information et de communication ; Réseaux de distribution en eau potable ; Réseaux de distribution d'énergie (chaleur, électricité) ; Réseaux d'évacuation des eaux usées.

comme les *maillons* d'une chaîne inscrite dans un écosystème urbain plus vaste (Rey, 2013). Par leur équipement en systèmes techniques intelligents (systèmes automatisés de gestion de la chaleur et de l'éclairage, production d'énergie, technologies innovantes de collecte et de tri, telles que la collecte pneumatique ou automatisée par des véhicules robotisés, etc.), ces éléments représentent un vecteur d'introduction des innovations et se trouvent directement à l'intersection du besoin de performance symbiotique (Lorrain., 2018). Leur prise en charge dans la conception des bâtiments et dans l'aménagement urbain pourrait contribuer à façonner durablement le métabolisme énergétique (Coutard, 2018) et transformer la ville en « *un maillon du cycle global qui réutilise l'énergie, l'eau et les ressources incorporées dans les cycles de production* » (Lorrain, 2018, p.19). Les cartes dans **les Figures [3.19 , 3.20, 3.21]** illustrent les orientations d'aménagements proposées dans le cadre du Plan local « PL-SU_r-BC » **lesquelles sont construites sur la base des éléments fonctionnels clés identifiés [Figure 3.18].**

En effet, le projet SU_r-BC, avec une telle portée importante sur la forme urbaine, suppose un investissement financier important aux collectivités locales qui, avec le peu de moyens qu'elles disposent, pourrait constituer une contrainte à la concrétisation du projet. Mais en revanche, un tel investissement pourrait être récompensé en retour, par le résultat des gains que le projet pourrait générer non pas seulement en termes d'équilibre écologique mais aussi dans la création de nouvelles ressources pour le développement des économies locales (économie d'énergie et de matière première, énergie et matière renouvelable, optimisation de la valeur ajoutée, emplois locaux...) et le renforcement de la mixité sociale. Le résultat sera donc une ville durable qui a trait à plus d'efficacité écologique, de force économique et de cohésion sociale.

Cependant, le choix d'une telle option dépasse le niveau technique de planification, il se trouve fondamentalement inscrit dans le cadre des choix et des pratiques de décision à un niveau plus large de l'action stratégique (Lorrain, 2018 ; Coutard, 2018) qui relève d'une concertation multi-acteurs dans un processus participatif de planification urbaine impliquant de nombreuses décisions relatives à la gestion des risques financiers et d'investissement et à la faisabilité juridique et réglementaire du projet, etc. Nous allons aborder ces conditions, qui sont incontournables à la concrétisation du projet, dans le prochain chapitre, mais au préalable il convient de vérifier les possibilités de son intégration dans le PDAU d'Alger.

Orientations de planification par Sous-Système	
1. Habitat (Logement et Équipements d'accompagnement)	<ul style="list-style-type: none"> - Programmation de nouvelles activités commerciales et artisanales facilitant le recyclage des produits textiles, dans le cadre de la reconversion des zones d'habitat précaire ; - Aménagement des dépôts de déchets bacs adaptés au mode de collecte sélective à proximité des bâtiments ; - Aménagement de quartiers d'habitat par des mini-stations de collecte sélective semi enterrées d'une surface maximale de 20 m² avec matériels de collecte (conteneurs) intelligents connectés, équipés par des systèmes techniques. - Aménagement des quartiers d'habitat par des mini-centrales de stockage et de distribution de l'énergie renouvelable
2. Activités (Équipements structurants / Industrie lourde et légère/ Agriculture/ Transport)	<ul style="list-style-type: none"> - Programmation d'une industrie textile pour le recyclage des produits textiles dans le cadre de la reconversion des entrepôts industriels vétustes et leur réhabilitation ; - Aménagement de petites unités de regroupement et de tri d'une surface maximale de 50 m² principalement au niveau des zones industrielles (d'Oued Smar et d'El Harrach), des exploitations agricoles ainsi que des grands équipements (la prison, le secteur de protection, établissements universitaires, etc.) ; - Exploitation de la ligne de tramway dans la collecte des déchets et le transport de la matière secondaire via des cargos-tram ; - Aménagement des grands équipements structurants et des zones industrielles par des mini-centrales de stockage et de distribution de l'énergie renouvelable ; - Intégration des équipements de récupération de l'énergie fatale aux niveaux des industries métallique, de papier, de verre et textile.
3. Espaces verts et ouverts	<ul style="list-style-type: none"> - Aménagement des places publiques et des squares par des circuits de collecte de déchets intelligents, équipés par des robots urbains de collecte ayant accès à des mini-stations, lesquels sont accessibles aux véhicules robotisés de transport mécanique des déchets ; - Aménagement de couloirs verts reliant les espaces publics verts des quartiers, les grandes places, la pépinière d'El Alia (EDEVAL), le parc de loisir de Beaulieu, le parc urbain d'El Harrach et les champs agricoles avec prise en charge des dispositifs et des aménagements favorables à la pratique du compostage collectif.
4. Infrastructures techniques (Installations et équipements techniques)	<ul style="list-style-type: none"> - Reconversion de la fourrière municipale d'Oued Smar pour l'aménagement d'une déchetterie locale ; - Transformation de l'installation de récupération du biogaz de l'ex-décharge d'Oued Smar en une installation de méthanisation avec intégration de nouvelles installations et équipements nécessaires à la récupération du biogaz et sa transformation en énergie électrique et thermique (centrale de stockage et de distribution d'énergie électrique, transformateurs, etc.) ; - Extension de l'installation d'incinération d'ECFERAL avec intégration de nouveaux équipements techniques nécessaires à la récupération de l'énergie thermique et électrique
Réseaux de relations (Voiries et Réseaux Divers)	<ul style="list-style-type: none"> - Extension et l'élargissement des tançons de voirie menant à la déchetterie. - Aménagement d'un réseau de chaleur de 23,75 Km et d'un réseau d'électricité de 23,75 Km depuis l'unité d'Oued Smar vers les différents quartiers d'Habitat du territoire. - Aménagement d'un réseau de chaleur de 2,15 Km depuis l'installation d'incinération d'ECFERAL vers les équipements publics structurants de proximité, dont la nouvelle foire internationale et la nouvelle gare internationale. - Aménagement d'un réseau de chaleur de 2,10 Km depuis l'industrie textile vers les équipements structurants universitaires. - Aménagement d'un réseau de chaleur de 2,50 Km depuis l'industrie métallique ALFEL vers les équipements de sécurité (Caserne de Beaulieu, gendarmerie) et de santé (Hôpital Zemirli).

Tableau 3. 5 : Synthèse des actions de planification proposées pour la concrétisation du projet SU,-BC dans le territoire d'EH-OS

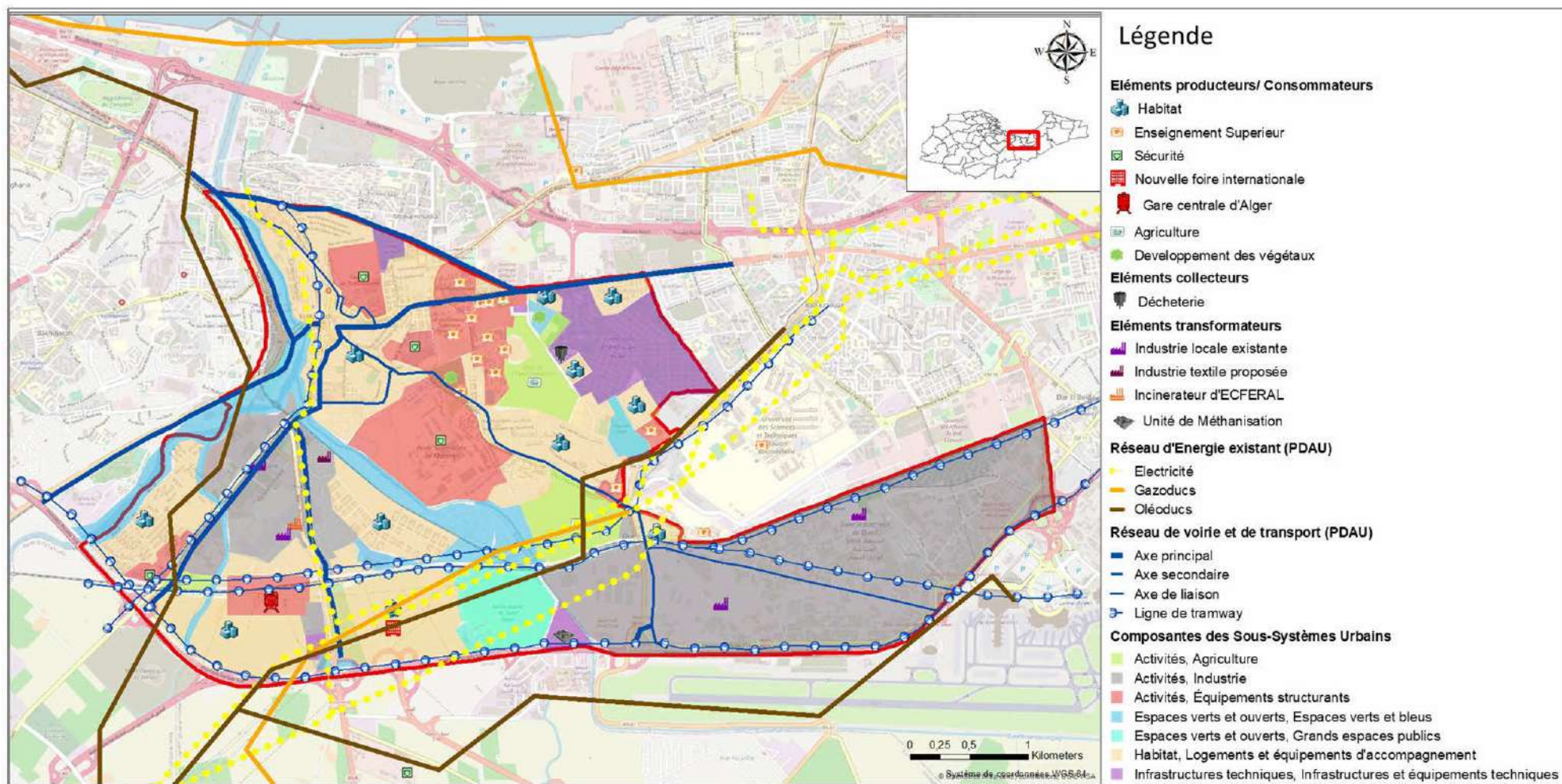
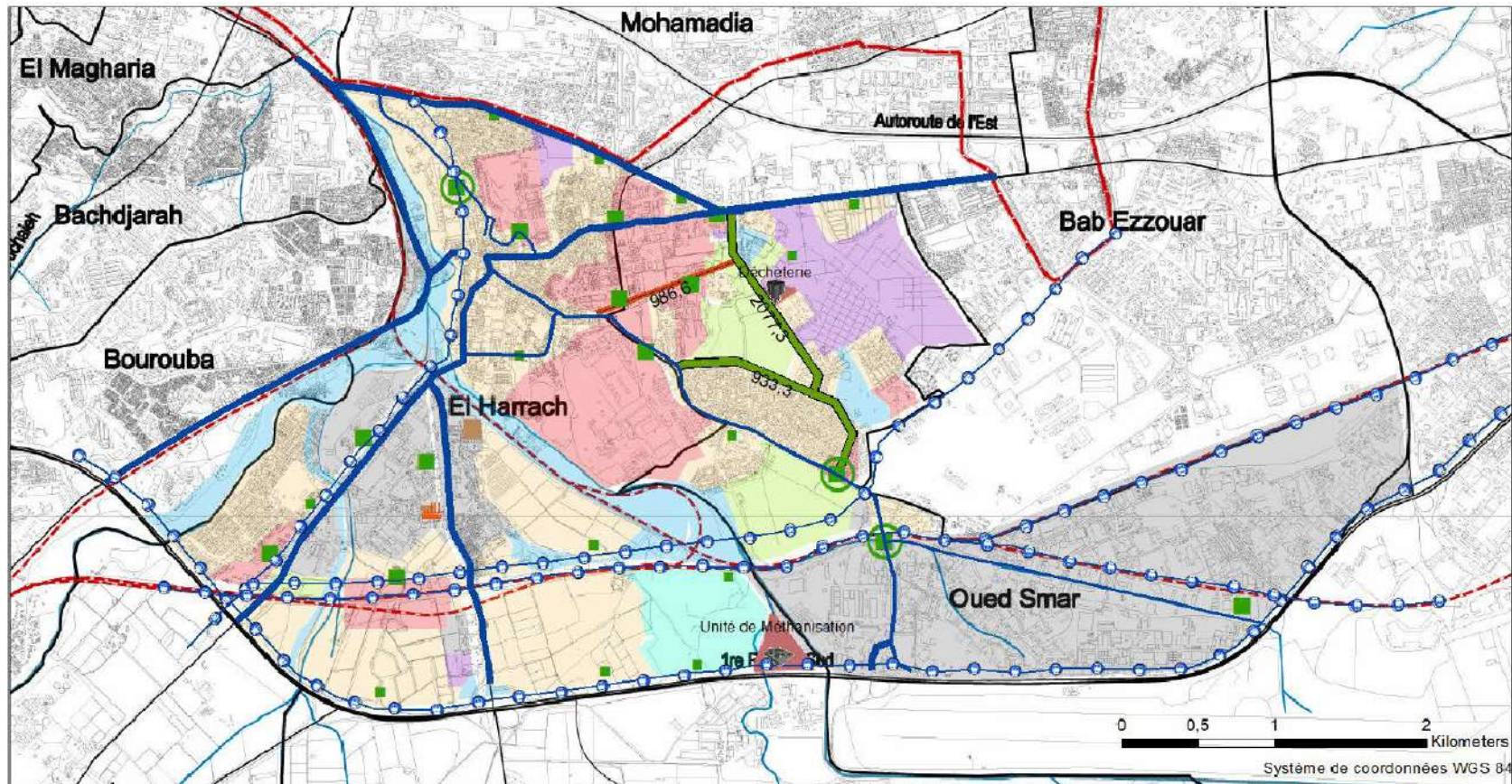


Figure 3. 18: Localisation des éléments et des composantes de la Symbiose Urbaine sur le territoire local d'EH-OS (Fond de carte : Open Street Basemap)



Légende : Aménagement du réseau de collecte et de transport de déchets et de la matière secondaire

Réseau de voirie et de transport (PDAU)	Stations de collecte	Intervention sur le réseau de voirie
Axe principal	Station de transfert	Elargissement
Axe secondaire	Unité de regroupement et de tri	Extension
Axe de liaison	Mini-station de collecte	Déchèterie
Ligne de tramway	Foncier pour infrastructures techniques	

Figure 3. 19: Plan proposé pour l'aménagement du réseau de collecte et de transport des déchets et de la matière secondaire

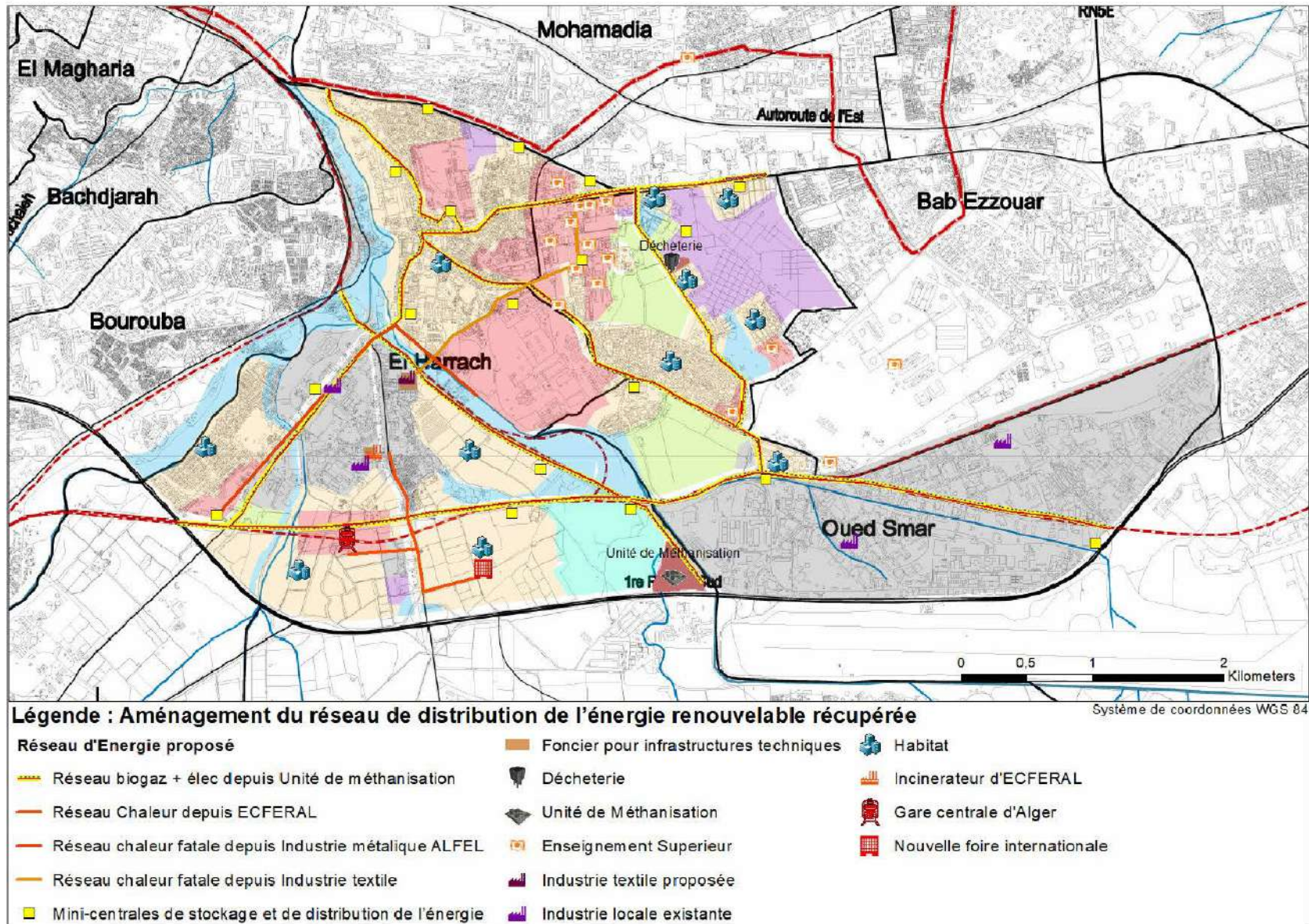


Figure 3. 20: Plan proposé pour l'aménagement du réseau de distribution de l'Énergie renouvelable récupérée

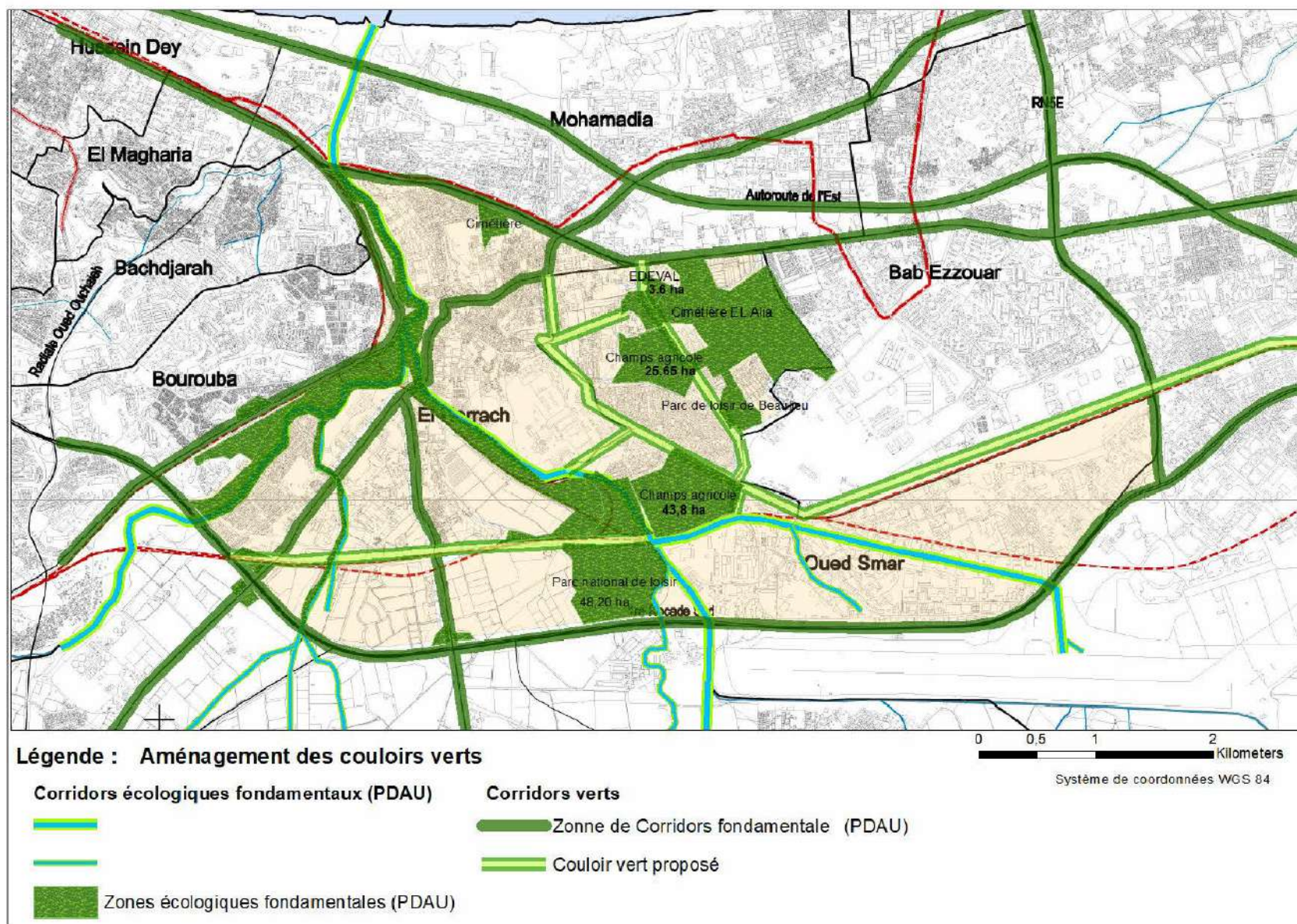


Figure 3. 21: Plan proposé pour l'aménagement des couloirs verts dans le cadre de la proposition du PDAU 2016

- **Perspectives d'intégration du plan proposé dans le PDAU d'Alger**

L'intégration de ce plan dans le cadre du PDAU d'Alger pourrait donner l'appui à son modèle territorial comme « outil d'orientation stratégique », notamment en ce qui concerne les trois piliers de ce plan⁷², relatifs au Développement économique (compétitivité, emploi); à la Cohésion territoriale (cohésion sociale, habitat); à l'Environnement (protection et valorisation), qui prennent en charge la préservation des ressources naturelles, la gestion intégrée des déchets, l'énergie, le développement des activités urbaines (résidentielles, industrielles, commerciales, équipements socio-culturels, éducatifs et de recherche scientifique et technologique, agricoles), ainsi que les infrastructures et les réseaux à travers des projets structurants ponctuels.

À cet effet, le plan de Symbiose Urbaine locale PL-SU_r-BC pourrait être intégré à un niveau intermédiaire pour l'échelle intercommunale, afin de mettre en réseaux les projets futurs dans une perspective d'un développement symbiotique d'Alger, capable d'organiser les boucles et prévoir les activités et les infrastructures nécessaires à leur développement au profit de l'optimisation de l'énergie et la réduction des émissions de CO₂.

Dans cette optique, la prise en charge de la stratégie de SU_r dans le processus de planification impliquerait la recherche de modalités permettant son intégration dans les outils de planification urbaine à Alger. Cet aspect sera traité dans notre prochain chapitre.

⁷² Dont le pilier (1) prend en charge, entre autres, les projets relatifs au développement des activités industrielles, commerciales ainsi que le réseau d'énergie; le pilier (3) prend en charge les projets résidentiels, les infrastructures de transport et les projets socio-culturels et de loisir; le pilier (4) prend en charge les projets liés à: la préservation et la valorisation du patrimoine naturel (forêts, parcs naturels et urbains,...,etc.), le développements d'agri-parcs urbains; des projets de récupération, de valorisation et d'élimination de déchets, des projets de valorisation de la récupération et du traitement d'eaux usées, etc. (selon le rapport du PDAU 2016).

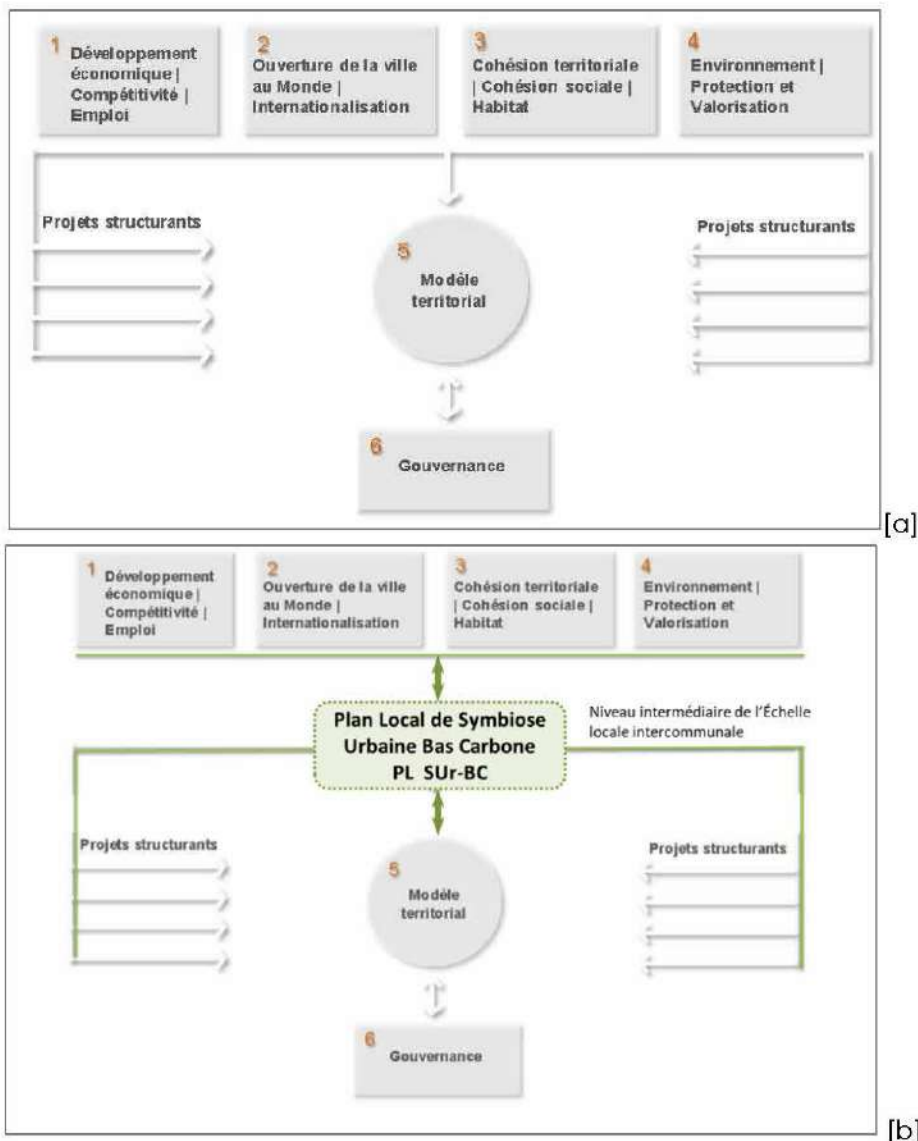


Figure 3. 22 : Intégration possible d'un plan local PL-SU_r dans le PDAU d'Alger : [a] Les six piliers de l'approche stratégique du PDAU d'Alger (PDAU, 2016) ; [b] Le plan local PL-SU_r comme niveau stratégique intermédiaire dans le cadre du PDAU.

3.3. Synthèse et conclusion du Chapitre 3

Basé sur le modèle théorique de "SU_r-BC" développé dans le deuxième chapitre, ce présent chapitre explore les performances symbiotiques dans le contexte urbain local d'EH-OS à Alger pour les besoins d'une planification urbaine opérationnelle, axée sur la réduction des émissions de CO₂.

L'approche systémique du territoire d'étude a permis d'identifier et décrire le système territorial d'EH-OS (ses limites, son organisation spatio-fonctionnelle, son but et les perspectives de son évolution) et a conduit à des propositions de planification de liens symbiotiques entre différents sous-systèmes urbains (quartiers d'habitation, équipements publics, activités industrielles et installations techniques). En considérant le processus métabolique cyclique Déchets-Énergie, nous avons procédé à la simulation puis la quantification des performances symbiotiques du système d'étude en matière d'optimisation d'énergie et de réduction des émissions de CO₂ en s'appuyant sur la méthodes d'Analyse morphologique et des méthodes d'Analyse de Flux de matière (AFM),

Cycle de Vie (ACV), Empreinte Carbone (EC). La méthode d'évaluation proposée repose sur le calcul des deux indices d'optimisation (Énergie Optimisée, Émissions Réduites), puis l'estimation de l'indice de performance symbiotique IPS global sur la base des deux indices partiels IPSP liés au Gains en Énergie et en CO₂.

Les résultats ont permis de dégager cinq scénarios symbiotiques d'optimisation par rapport au scénario linéaire actuel de base j0. Parmi les scénarios proposés, l'analyse morphologique montre une tendance préférentielle vers le scénario j5 qui offre un gain total optimal en énergie et en émissions de CO₂ estimé à 259,34 GWh/an et 37,02 ktCO₂e/an, ce qui représente 30,5 % et 13,27 % par an de la consommation et des émissions actuelles. Ces résultats se traduisent, selon les données locales du territoire, par les indices de gains dans le [Tableau 3.6].

Ainsi, l'énergie récupérée est une énergie renouvelable : (i) **produite** à partir des procédés de méthanisation et d'incinération, (ii) **réduite** par le recyclage de matériaux secondaires dans les industries locales, (iii) **fatale récupérée** à partir des procédés industriels, (iv) et **évitée** par le détournement des déchets du site d'enfouissement vers les installations de valorisation locales. L'ensemble de ce processus cyclique permet la récupération de 283,26 GWh/an en énergie et évite l'émission de 42,06 ktCO₂e/an. Cela se traduit selon les données du territoire par les indices liés à l'Énergie Récupérée et des Émissions de CO₂ évitées dans le [Tableau 3.7].

Le scénario choisi présente donc des avantages environnementaux et économiques intéressants grâce à la préservation de l'énergie et des matières premières. Sa comparaison aux modèles symbiotiques internationaux de Hammarby, Kawasaki et d'Ulsan, précédemment analysés⁷³ a permis de relever l'importance des taux obtenus en termes d'optimisation d'énergie et de réduction des émissions de CO₂ [Tableau 3.8]. Les différences qui ressortent pourraient être expliquées d'une part, par rapport à **la diversité des sources et des solutions de récupération d'énergie adoptées** (chaleur, vapeur, biogaz, panneaux photovoltaïques ...) à l'exemple d'Hammarby et d'autre part, par rapport à l'importance et la portée d'application à **l'échelle urbaine** comparée à une application limitée à l'échelle des parc industriels à l'exemple de la symbiose d'Ulsan dont le taux de récupération de la chaleur fatale industrielle représente 6% de la consommation d'énergie dans le secteur industriel.

Indices de Gains	Gains _{En}	Unité	Gains _{CO₂}	Unité
Gains / habitant	3,034	MWh/an/hab.	0,43	tonne CO ₂ /an/hab.
	8,42	kWh/j/hab.	1,2	KgCO ₂ /j/hab.
Gains /Densité	151,29	kWh/j/hab./Km ²	21,6	KgCO ₂ /j/hab./Km ²
Gains /Logement ⁷⁴	35,30	kWh/j/Log	5,04	KgCO ₂ /j/Log
Rapport des gains à l'Énergie consommée et aux émissions de CO ₂ liées	29,66	%	13,05	%
Gains/Déchets	7,20	GWh/kt	1,03	KtCO ₂ /Kt

Tableau 3. 6 : Indices de gains selon les données du territoire d'étude

⁷³ Voir la section 1.2.3 du Chapitre 1.

⁷⁴ Le parc logement a été estimé par référence aux données statistiques du recensement 2008 (qui représente 627 326) augmenté de 30% (taux d'accroissement du parc logement de la wilaya d'Alger par rapport au recensement de 1998 (RGPH, 2008 ; RGPH, 1998).

Énergie Récupérée et émissions évitées	EnR _d	Unité	EmEv _{(EnR_d)j}	Unité
/ Habitant	3,31	MWh/an/hab.	0,49	tonne CO ₂ /an/hab.
	9,20	kWh/j/hab.	1,36	KgCO ₂ /j/hab.
/Densité	165,24	kWh/j/hab./Km ²	24,53	KgCO ₂ /j/hab./Km ²
/Logement	38,55	kWh/j/Log	5,72	KgCO ₂ /j/Log
/ Énergie consommée et	32,40	%		
/ Émissions de CO ₂ liées			14,82	%
/ Déchets	7,86	GWh/kt	1,16	KtCO ₂ /Kt

Tableau 3. 7 : Indices de récupération d'énergie et des émissions évitées consécutives

Taux d'Optimisation	Énergie	Émissions de CO ₂
Le modèle de Hammarby	28 à 42 %	-
La SUR de Kawasaki -Japon	-	13,78%
La SUR d'Ulsan - Corée	-	2%
SUR d'EH-OS	30,5 %	13,27 %

Tableau 3. 8 : Comparaison des gains de la SUR d'EH-OS aux exemples internationaux

L'intérêt des résultats obtenus nous a conduit enfin à traduire le scénario optimal choisi à l'échelle spatiale par la proposition d'un **Schéma de Symbiose Urbaine Bas Carbone [figure 3.15]** et la **définition des orientations de planification spatiale qui prennent en charge le foncier, les activités, les réseaux et les infrastructures nécessaires à la concrétisation d'un Plan local "PL-SUR-BC"** dans le cadre du PDAU d'Alger, **via** plusieurs actions de programmation, d'aménagement et de conception urbaine. Ce projet pourrait avoir une portée sur le développement durable de la ville, cependant le choix de sa mise en place dépend largement d'une politique locale et nationale intégrant la stratégie de SUR dans son processus de planification urbaine. Cela renvoie à de nombreuses exigences et conditions relatives à sa faisabilité juridique et réglementaire, socio-économique, à la disponibilité financière et foncière, etc. Le dernier chapitre sera consacré à la vérification de ces conditions et des possibilités offertes dans le contexte de planification locale en Algérie.

Chapitre 4 : Conditions d'intégration du projet symbiotique "SU_r-BC" dans le système de planification urbaine locale à Alger

Nous avons vu dans le chapitre précédant le potentiel de gains important en énergie et en émissions de carbone obtenu à EH-OS, à partir des liens symbiotiques des flux déchets-énergie. Cependant, la concrétisation d'un tel processus à Alger ne pourra se faire sans préalables, elle requiert des conditions cadres permettant sa **mise en place, sa mise en œuvre et sa pérennisation**.

L'objectif de ce chapitre est de **vérifier dans quelle mesure les conditions de planification urbaine locale en vigueur à Alger** sont favorables à la prise en charge et la concrétisation du projet symbiotique "SU_r-BC" d'EH-OS. Pour ce faire, la première section (4.1) s'attache à identifier les conditions-cadre optimales permettant la planification et le développement des projets symbiotiques locaux. Elle débute par la définition des axes d'orientation stratégiques permettant la concrétisation du modèle symbiotique d'EH-OS à Alger. Elle passe ensuite en revue des politiques et stratégies mises en place au niveau international pour la planification et le développement de projets symbiotiques réussis. Cette section se termine par la définition des éléments clés de planification par la SU_r et propose un système de planification théorique optimal, capable de prendre en charge le développement d'un projet de "SU_r-BC".

La deuxième section (4.2) s'attelle à identifier, sur la base du modèle théorique optimal, le système de planification locale d'Alger pour ensuite vérifier ses capacités en termes d'intégration et de développement des projets de "SU_r-BC". Nous nous interrogeons sur les transformations nécessaires et les leviers d'actions.

4.1. Identification des conditions-cadre pour la planification du projet symbiotique d'EH-OS

4.1.1 Orientations stratégiques pour la planification du projet : une intégration à quatre dimensions

Si la **mise en œuvre** d'un projet concerne davantage sa gestion en phase d'exploitation, sa **mise en place** concerne son inscription territoriale ou "*territorialisation*", qui doit être prévue en amont, dès l'organisation et l'aménagement des espaces. En effet, le développement des projets symbiotiques passe par **une intégration dans le système de planification urbaine locale**, qu'on pourrait aborder à partir de quatre dimensions clés [Figure 4.1] :

1. Une intégration dans les règles de composition et d'aménagement urbain ;
2. Une intégration dans le processus de planification urbaine locale ;
3. Une intégration dans les domaines d'action ;
4. Une intégration dans les politiques publiques.

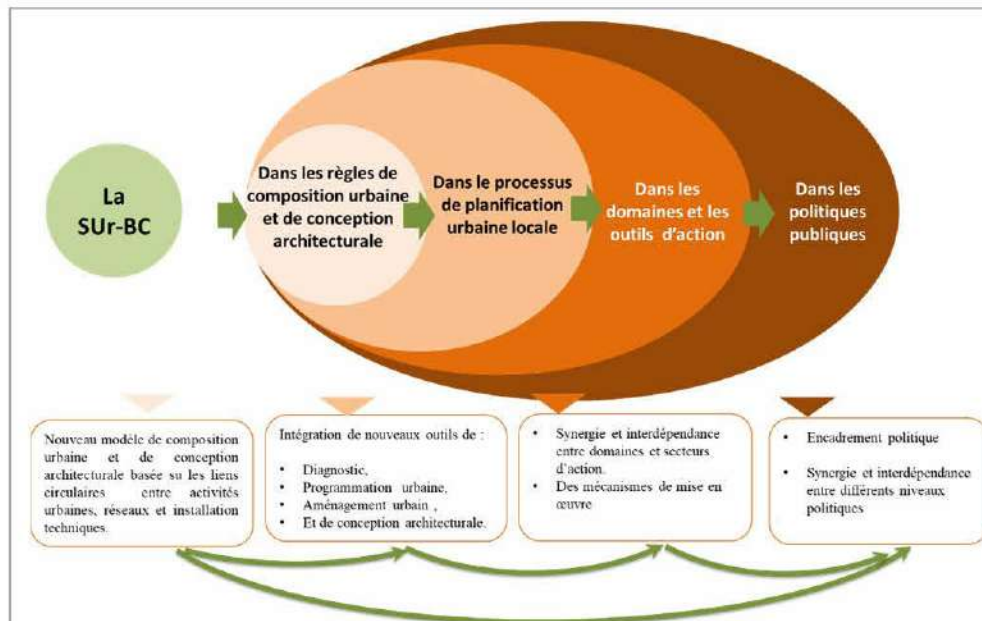


Figure 4. 1 : Les quatre(4) dimensions d'intégration d'une "SUr-BC" dans la planification urbaine

4.1.1.1 Intégration dans les règles de composition et d'aménagement urbain

L'inscription territoriale des projets symbiotiques à l'échelle urbaine locale requiert, une organisation spatio-fonctionnelle qui favorise la mise en place des solutions de réutilisation et d'usage en boucle (Lorrain et al., 2018) et qui tient compte des gisements des ressources secondaires disponibles et des différents processus de leur récupération, transformation et redistribution dans le système urbain (Sofies, 2011).

En effet, une telle organisation s'inscrit fondamentalement dans des choix liés notamment au mode de planification urbaine, dont le principe repose sur un *modèle cyclique* (Lorrain et al., 2018 ; Coutard, 2018) qui s'occupe non seulement de planifier en "*statique*" l'occupation des sols et la localisation des activités, mais aussi de gérer la dynamique des flux qui les irriguent et qu'elles produisent (Liébard et De Herd, 2005). Ce modèle devrait favoriser l'aménagement des *interactions* entre les sous-systèmes urbains et leurs différentes composantes⁷⁵, en des mailles plus fines, depuis celle du bâtiment et des quartiers d'habitat jusqu'aux district et la ville [Figure 4.2] (Lorrain et al., 2018 ; Rey , 2013).

En effet, une telle approche modifie complètement la conception classique des villes, elle fait appel à **de nouvelles règles de composition et d'aménagement urbain** basées sur *la proximité physique, la diversité fonctionnelle* mais surtout *l'organisation des réseaux d'échanges* entre les

⁷⁵ Voir chapitre 2

différentes activités urbaines, (Chertow, 2000 ; Berezowska-Azzag, 2013 ; Lorrain et al., 2018, Coutard, 2018 ; Galan et Perrotti, 2019).

Ainsi, la SUr remet en question le modèle actuel des grands réseaux techniques⁷⁶ (réseaux d'eau potable, réseau d'évacuation des eaux pluviales et des eaux usées, les systèmes de distribution de l'électricité et du gaz...), au profit d'un modèle plus intégré, voire écosystémique selon lequel peuvent se développer des solutions décentralisées (en production d'électricité, en captage et traitement des eaux pluviales, en valorisation des déchets) [Figure 4.3 a-b] (Lorrain et al., 2018 ; Coutard, 2018).

Ensuite, dans la mesure où la SUr modifie la morphologie des systèmes techniques et l'organisation des quartiers, elle aura sans doute un impact sur la manière et le processus de planification.

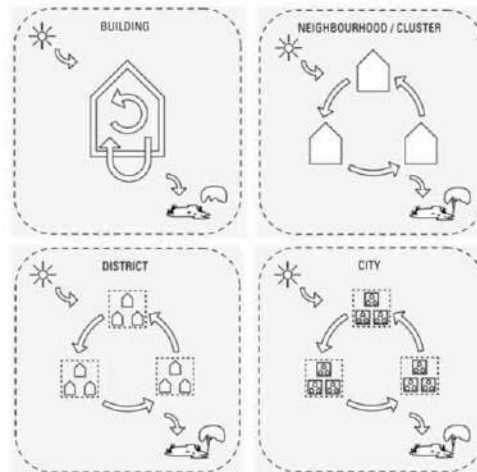
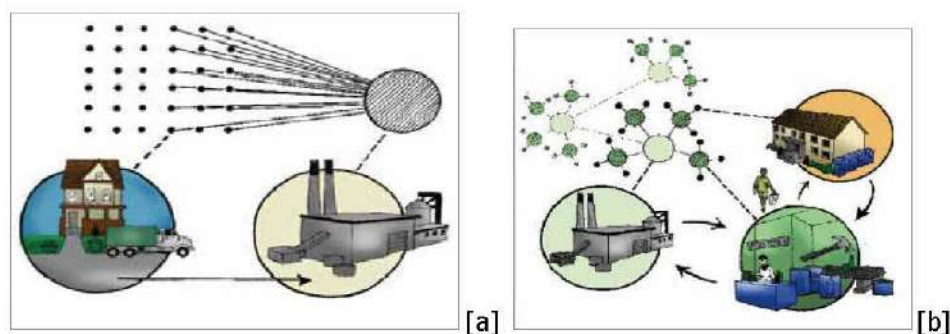


Figure 4. 2 : Création de boucles courtes de valorisation d'énergies et de matières à différentes échelles urbaines (Rey , 2013)



- (4-3a) : illustre un système de collecte centralisé, un transport de longues distances et traitement dans des installations à grande échelle et lointaines.
- (4-3b) : illustre un réseau bidirectionnel qui propose l'organisation de la collecte, le tri et la valorisation des déchets de proximité limitant les coûts de transport et de traitement, contrairement au modèle traditionnel d'une gestion centralisée.

Figure 4. 3 : Système centralisé/décentralisé de collecte et de tri de déchets (Suzuki et al., 2010)

⁷⁶ C'est le modèle de réseau unitaire, en opposition au réseau séparatif, de forme réticulaire, organisé en monopole et visant au service universel.

4.1.1.2 Une intégration dans le processus de planification urbaine locale

La planification d'un tel modèle nécessite, en effet, sa prise en charge dans le processus de planification urbaine, et cela dès les premières phases d'élaboration d'un projet, ce qui nécessiterait de nouveaux outils de diagnostic, de programmation et d'aménagement permettant d'intégrer le métabolisme urbain et de prendre en charge les possibilités de bouclage de flux, les infrastructures de partage, de production d'énergie, de collecte de déchets, les nouvelles activités urbaines ainsi que le foncier pour accueillir ces activités (Chertow, 2000 ; Berezowska-Azzag, 2013 ; Lorrain, et al., 2018 ; Galan et Perrotti, 2019).

4.1.1.3 Une Intégration entre domaines d'action et politiques publiques

La troisième dimension pour la planification des SUR concerne leur intégration *entre secteurs d'activités et domaines d'action* (Coutard, 2018). En effet, les relations symbiotiques dans lesquelles les déchets d'une activité deviennent ressource pour les autres, impliquent au minimum une relation entre deux acteurs (le producteur et l'utilisateur) (Velenturf & Jensen, 2016). Ces interactions prennent une échelle et génèrent une complexité croissante, au même titre que le nombre et le type d'interaction entre activités qui augmente et se diversifie. L'enjeu est, alors, de prendre en compte l'ensemble des domaines d'action (sociaux, économiques, environnementaux, politiques) dans leurs évolutions intriquées et dans leurs interactions dynamiques (Liébard et De Herd, 2005). Par conséquent, le souci de leur coordination impose de nouveaux mécanismes de prise de décision (Mirata, 2004 ; Liébard et De Herd, 2005 ; Gibbs et Deutz, 2007; Massard, 2014).

Dans ce cadre, la planification des projets symbiotiques se trouve incarnée dans une dimension, plus large, de prise de décision qui fait appel à une évolution dans les politiques urbaines (Lorrain et al., 2018). En effet, la tâche s'annonce difficile, dans un contexte où domine un modèle linéaire, non conçu sur la base de *l'interaction* où l'ensemble des acteurs s'ignorent, les objectifs sont différents et définis séparément (Erkman, 2004), et la question qui se pose est comment la planification des projets symbiotiques décentralisés pourrait être prise en charge, et à quelle échelle ?

Pour répondre à cette question, nous avons trouvé dans les expériences de projets symbiotiques, précédemment analysées⁷⁷, des exemples bien documentés nous permettant de comprendre les mécanismes de mise en place et les facteurs de leur réussite.

4.1.2 Stratégies et politiques pour le développement de SUR : revue des expériences internationales

4.1.2.1 Lecture comparative des expériences de projets réussis

Basé sur les expériences internationales précédemment étudiées, tout en les appuyant par d'autres, nous allons dans ce qui suit analyser les stratégies mises en place pour la concrétisation de projets symbiotiques dans dix (10) pays du monde [Figure 4.4]. Notons, que ces stratégies ont fait l'objet de plusieurs études et analyses scientifiques et sont considérées dans la littérature comme des

⁷⁷ Voir section 1.2.3 du chapitre 1.

facteurs de succès susceptibles de faciliter l'initiation de nouveaux projets symbiotiques (Massard et al., 2014). En s'appuyant sur l'étude de Massard et ses collègues (2014)⁷⁸, notre objectif est de comprendre ces facteurs de succès pour dégager les mécanismes et les outils mis en œuvre pour le développement des différents projets. Les critères ayant guidé notre lecture sont décrits pour chaque cas selon l'organisation présentée dans la [Figure 4.4]. La description détaillée des résultats de cette lecture est présentée dans l'Annexe A4.1.



Figure 4. 4 : Éléments de présentation des expériences étudiés

4.1.2.2 Synthèse de la lecture : facteurs de réussite des projets

Les dix (10) expériences étudiées font état de stratégies innovantes qui prennent en charge le développement des projets symbiotiques dans toutes les phases de planification urbaine locale et à différents niveaux stratégiques. Malgré la variété des approches adoptées, l'implication et le rôle des autorités publiques (locales et centrales) sont importants, pratiquement dans tous les cas étudiés. La lecture comparative des différents cas nous a permis de faire ressortir les politiques et les stratégies clés ayant favorisé la planification et le développement des projets symbiotiques à l'échelle locale. Le succès de ces politiques se rapporte essentiellement aux principaux facteurs décrits ci-dessous et synthétisés dans le tableau 4.1 (Massard et al., 2014):

- **Importance de l'encadrement politique national**

Il se caractérise par les éléments:

- **Existence d'un programme national de projets symbiotiques** à l'exemple du programme japonais *Eco-town*, programme danois « *Symbiocity* », programme coréen de production propre, etc.
- **Existence d'une structure organisationnelle et institutionnelle dédiée** à la mise en œuvre des projets symbiotiques, qui permet d'assurer la coordination des projets, est aussi un facteur

⁷⁸ C'est une enquête internationale sur les projets d'éco-innovation dans laquelle Massard et ses collègues (2014) rapportent les stratégies mises en place pour la concrétisation de 302 projets référencés par pays. L'étude se réfère à une littérature variée portant principalement sur des projets de symbioses industrielles et urbaines.

de succès présentant une grande importance dans pratiquement tous les projets (en Corée du Sud, en Angleterre, etc.).

- **Présence d'un cadre législatif et réglementaire favorable à la planification des projets symbiotiques** dans la majorité des exemples étudiés (Japon, Corée du Sud, Danemark, Suisse, Chine, ...), dont lois, réglementation fiscale et environnementale, normes, etc. Par exemple, la Loi fédérale Suisse sur la Protection de l'Environnement (LPE) définit la notion de déchet comme matière secondaire, les poursuites judiciaires en cas de non-respect et les ordonnances fédérales selon lesquelles, la réutilisation et le recyclage sont obligatoires quand c'est techniquement possible (Massard et al., 2014). Par ailleurs, le cadre juridique à Kalundborg constitue un système réglementaire consultatif, ouvert et flexible (contrairement aux systèmes réglementaires de commande et de contrôle). Les entreprises sont appelées à être proactives en soumettant au comité gouvernemental de supervision des plans détaillant leurs efforts pour réduire continuellement leur impact sur l'environnement. Les objectifs sont fixés à partir d'un dialogue entre les régulateurs et l'entreprise. Une relation de *coopération* plus souple est encouragée entre le gouvernement et les industries réglementées. Un aspect essentiel de cette flexibilité est que les exigences réglementaires prennent principalement la forme de normes de performance (Massard et al., 2014).
- **Aides au financement** par le biais de subventions gouvernementales.
- **Incitations financières** via une politique de taxation (réduction des baux, subvention au développement, etc.) qui ont permis de lever certaines barrières économiques et aider à la planification et/ou à la mise en œuvre de mesures d'accompagnement des projets.
- **La décentralisation** : dans la plupart des cas étudiés, les projets symbiotiques réalisés sont initiés et menés dans le cadre d'une politique locale « décentralisée » de développement socio-économique (par les municipalités).

Par ailleurs, sans le soutien de la politique nationale, l'expérience peut être vouée à l'échec, bloquée ou abandonnée à l'exemple du cas de Guayama aux États Unis (Massard et al, 2014).

- **Importance de l'encadrement politique local**

La majorité des projets symbiotiques sont développés dans le cadre d'une stratégie de développement socio-économique local⁷⁹. Les SUr sont considérées à la base d'une nouvelle forme de développement local et régional (Gibbs et Deutz, 2007). L'implication des autorités locales se manifeste notamment dans :

- **La médiatisation des projets**, via plusieurs outils (labels, des outils de "*Branding*" (l'image de marque), publications de rapports, etc.).
- **Le rôle des coordinateurs locaux** : Les instances de coordination décrites dans les études de cas sont soit (i) des entités issues de partenariats public-privés actives comme facilitateur à l'échelle des projets symbiotiques (services publics, prestataires de services, entreprises clés d'un parc industriel comme les producteurs d'énergie ou les associations d'acteurs

⁷⁹ En Algérie, nous avons un Plan Communal de Développement PCD, qui pourrait constituer la base d'une telle stratégie.

économiques, etc.) ; (ii) soit des institutions publiques actives à une échelle géographique plus vaste à l'exemple de l'institut de la symbiose de Kalundborg (Massard et al., 2014).

- **Importance de la mobilisation des secteurs d'action**

- **Implication des acteurs économiques** a par ailleurs été identifiée comme un élément déterminant dans l'ensemble des cas. L'intensité et la qualité de la coopération entre les acteurs économiques et les parties prenantes locales sont des indicateurs clés de la réussite des projets symbiotiques.
- **Coopération avec les institutions scientifiques et technologiques** : la coopération avec des institutions scientifiques et technologiques est considérée comme un facteur de succès des projets symbiotiques (Massard et al., 2014). Citons, à titre d'exemple, le centre de gestion durable des ressources de l'Université Curtin en Australie, qui a aidé la *Kwinana Industrial Association (KIA)* à identifier le potentiel de symbiose industrielle entre les acteurs économiques.
- **Coopération interentreprises** : l'ouverture, la communication et la confiance mutuelle entre les entreprises sont aussi primordiales pour les collaborations interentreprises. Une partie du succès de Kalundborg a été attribuée à la relation entre les parties prenantes et leur ouverture à dépendre les uns des autres (Chertow, 2000 ; Massard et al., 2014).
- **Prise de conscience de la valeur ajoutée** : dans les SI/SUr de Kalundborg, Ulsan, Hammarby, la valeur ajoutée économique apportée par les activités interentreprises dans la réduction des dépenses et/ou l'amélioration des profits est une autre raison essentielle du regroupement des entreprises dans des projets symbiotiques.
- **Volontarisme, flexibilité des comportements, créativité** : dans le cas de Kalundborg, nous avons relevé le volontarisme et l'innovation des entreprises locales, ces dernières ont tendance à concentrer leurs énergies sur la recherche de moyens créatifs pour devenir plus respectueuses de l'environnement. Elles sont tenues donc d'être proactives en soumettant des plans détaillant leurs efforts continuels au comité gouvernemental de supervision.

- **Importance du cadre de planification spatiale**

- **Organisation spatio-fonctionnelle** : la présence des infrastructures, ainsi que la diversité des activités figurent également comme des facteurs de succès dans les projets étudiés (Massard et al., 2014).
- **Prise en charge des liens symbiotiques dans le processus de planification** (diagnostic, programmation, conception des aménagements, évaluation) par les méthodes ACV, AFME

En prenons appui sur ces éléments, nous allons dans ce qui suit définir une stratégie de planification par la SUr. Les contours de cette stratégie et ses différents cadres seront identifiés dans les paragraphes ci-dessous.

Tableau 4. 1 Synthèse de la lecture comparative des politiques de planification de SUR sous la grille AMC

	Facteurs de succès	Kalundborg Danemark	Hammarby Suède	Barcelone Espagne	Kawasaki Japon	Ulsan Corée du Sud	Guiyang Chine	Guayama USA	La région du Humber Angleterre	Le canton de Genève Suisse	Kwinana Australie
Appui de l'État	Décentralisation	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓
	Cadre juridique	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	Aide au financement		✓		✓	✓	✓	✓	✓		✓
	Directives de bonne mise en œuvre et de réussite					✓	✓	✓			
Politique locale de planification	Ambitions /objectifs / programmes d'action	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Médiatisation	✓		✓	✓	✓					✓
	Coordination	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Politique fiscale	✓	✓		✓	✓			✓	✓	
	Information, Sensibilisation	✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓	
	Formation/ Recherche		✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓
	Coopération	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Innovation	✓		✓		✓	✓		✓	✓	✓
Processus de Planificatio n Urbaine	Organisation spatio- fonctionnelle	✓	✓	✓	✓	✓		✓		✓	✓
	Méthodes de diagnostic					✓			✓	✓	✓

4.1.3 Proposition d'un système optimal de planification par la "SU_r-BC" : stratégies, mécanismes et outils

Basés sur les enseignements tirés des expériences étudiées *supra*, nous allons dans ce qui suit esquisser les contours d'une stratégie optimale de planification par la SU_r et définir les mécanismes et les outils de sa mise en place. Les éléments du système proposé sont décrits en détail dans les paragraphes qui suivent et présentés dans les figures [4.7, 4.8].

4.1.3.1 Mécanismes de planification

- **Trois cadres stratégiques territorialisés**

Les actions stratégiques et les outils favorisant l'évolution vers un système de planification urbaine par la SU_r peuvent être définis selon **3 cadres stratégiques interconnectés, spatialement inscrits** (« territorialisés ») selon une stratégie de planification urbaine locale intégrée aux différents niveaux politiques d'action [Figure 4.5].



Figure 4. 5: Cadres stratégique de la planification par la "SU_r-BC"

Un cadre politique en premier lieu,

Tel que nous l'avons constaté dans les cas étudiés, l'encadrement politique à différents niveaux stratégiques constitue un facteur capital pour la planification, la mise en œuvre et le développement des projets urbains symbiotiques (Mirata, 2004 ; Gibbs et Deutz, 2007; Massard et al.,2014). L'initiative provient généralement des autorités politiques centrales et locales⁸⁰, elle découle d'un choix politique fort en faveur de la qualité environnementale de la ville (Curien et Lorrain, 2018).

⁸⁰ Cas de l'Agenda 21 du Canton de Genève, du Programme ECO-Town au Japon, la loi sur l'économie circulaire en Chine et du Programme local de SI de la région du Humber (HISP) créé dans le cadre du programme national NISP du Royaume Uni (Erkman, 2004 ; Mirata, 2004 ; Massard et al., 2014). C'est une démarche mixte qui fédère *top-down* et *bottom-up*, que l'on appelle *middle-way*

Un cadre socio-économique

La planification d'une "SU_r-BC" s'inscrit dans le cadre d'une stratégie de développement socio-économique local (Gibbs et Deutz, 2007), dont la mise en place devrait d'une part, promouvoir l'investissement dans la valorisation et le recyclage des déchets et faciliter la création de nouvelles entreprises dans ces domaines ; et d'autre part accompagner les habitants dans la réduction de leurs consommations d'énergie et émissions de CO₂ (Lorrain et al., 2018 ; Massard et al, 2014). Dans ce cadre, l'implication active des acteurs économiques et de la société civile est un facteur fondamental (Curien et Lorrain, 2018 ; Pollard, 2018) : d'abord, parce qu'il ne suffit pas de prévoir ou d'imposer des symbioses d'en haut, il faut également que les entreprises aient un intérêt économique à échanger des ressources entre elles (Curien et Lorrain, 2018). De plus, les habitants ont besoin d'être accompagnés dans la réduction de leur consommation d'énergie et émissions de CO₂ (Pollard, 2018). Par ailleurs le tri des déchets, l'entretien des espaces verts requièrent la participation des habitants voire même la mobilisation des communautés (Lorrain et al., 2018).

Un cadre environnemental

La mise en place d'une "SU_r-BC" à l'échelle locale requiert une politique environnementale favorable au développement de liens symbiotiques, qui intègre dans ses priorités le *bouclage* des flux de matières et d'énergie pour la préservation des ressources naturelles, la gestion des rejets et l'atténuation du Changement Climatique (Lorrain et al., 2018 ; Massard et al, 2014 ; Adoue, 2006). Cette politique devrait permettre, dans ce cadre, de faire évoluer la réglementation environnementale et de faire ainsi sauter certaines contraintes réglementaires en faveur du bouclage des flux sur un territoire, de la décentralisation des infrastructures, des réseaux et des secteurs de leur gestion (Adoue, 2006 ; Lorrain et al., 2018).

- **Une structure politique et organisationnelle orientée vers la "décentralisation"**

Une structure institutionnelle de coordination, d'abord

Mirata (2004) affirme que le fait de disposer d'un cadre institutionnel approprié dans une région est l'un des éléments les plus importants pour les programmes symbiotiques (Mirata, 2004). En fait, les institutions représentent la face invisible et pourtant essentielle de l'histoire urbaine. Elles ont le potentiel de mettre en place des dispositifs complets, qui vont des principes constitutionnels aux plus petites normes, ratios et standards (Lorrain, 2018). Ainsi, une telle structure institutionnelle **organisée et articulée** du niveau national au niveau local offre un domaine dans lequel les gouvernements peuvent **coordonner** des acteurs distincts (Lorrain, 2018) et les organismes de *coordination* peuvent apporter une contribution au profit de la planification des projets symbiotiques (Mirata, 2004) et par là, l'augmentation de la part d'optimisation des ressources et de la valorisation des matériaux (Lorrain, 2018).

Une politique décentralisée à différents niveaux stratégiques de planification

Nous avons expliqué plus haut l'importance de l'encadrement politique pour la planification et le développement des projets urbains symbiotiques (Massard et al., 2014), mais il est aussi important qu'une telle politique et ses différentes actions soient articulées "**coordonnées**" à différents niveaux stratégiques [Figure 4.6].

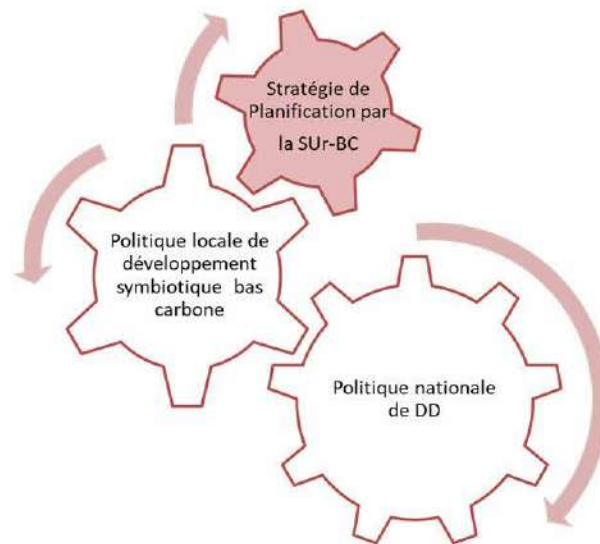


Figure 4. 6. Mécanisme de planification par la "SU-BC" à différents niveaux stratégiques

Dans ce cadre, les collectivités locales ont un rôle crucial à jouer (Lorrain, 2018 ; Massard et al., 2014 ; Saliez, 2007, Liébard et De Herd, 2005). En tant que niveau politique de proximité vis-à-vis des acteurs locaux, responsable de la gestion des réseaux et du développement socio-économique local (Liébard et De Herd, 2005), elles constituent le niveau le plus concerné par la planification de la proximité physique des activités urbaines, et par là, *la coordination* de leurs secteurs et domaines d'action (Lorrain, 2018).

Ainsi, par la transversalité de leurs compétences (Salliez, 2007), les collectivités locales ont le potentiel d'agir sur *la mobilisation* des acteurs économiques et de la société civile dans des liens symbiotiques (Lorrain, 2018 ; Liébard et De Herd, 2005, Salliez, 2007 ; Sofies, 2018 ; Sofiez, 2011). Leur fonctionnement sur des circuits décisionnels plus courts et plus directs, en regard du niveau national, leur permettent d'optimiser la gestion du problème, de la décision et du résultat (Lorrain, 2018). En effet, c'est ce cycle court, direct et transversal qui leurs offre leur position unique en tant que niveau intermédiaire capable, dans le cadre de leur politique de développement local bas carbone, de mener une stratégie de planification par la "SU-BC", soutenue et inscrite dans le cadre plus large d'une politique nationale de développement territorial durable.

Cependant, en l'absence d'un soutien politique à un niveau plus haut « national », les projets symbiotiques peuvent être voués à l'échec, comme nous l'avons constaté dans le cas de Guayama aux États-Unis. En effet, le gouvernement national a aussi un rôle important à jouer pour faire évoluer la réglementation environnementale, lever certaines barrières juridiques, créer les bonnes incitations et aider à surmonter les obstacles, notamment liées au manque d'information, l'accès limité au financement et le manque de compétences (Mirata, 2004 ; Gibbs et Deutz, 2007 ; Massard et al., 2014).

En effet, cette évolution dans le processus de planification ne peut se faire sans préalables. De nouveaux outils de soutien et d'appui, d'incitation, de mobilisation et d'accompagnement, d'organisation et de gestion, de planification et de prévision deviennent nécessaires (Liébard et Hred, 2005 ; Massard et al., 2014 ; Lorrain et al., 2018 ; Pollard, 2018).

4.1.3.2 Outils de mise en œuvre à différents niveaux stratégiques

- **Au niveau de la politique nationale : des outils de soutien et d'appui**

L'état pourrait apporter son appui par l'application de prescriptions environnementales et des incitations économiques favorables à la mise en place de projets symbiotiques dans les zones industrielles et urbaines (Mirata, 2004 ; Gibbs et Deutz, 2007, Massard, 2014), et cela à travers:

Des outils législatifs et réglementaires

L'existence d'un cadre législatif joue naturellement un rôle crucial pour freiner ou favoriser la concrétisation des projets symbiotiques. En effet, la reconnaissance des performances du concept de SUR et son introduction explicite dans les textes législatifs et réglementaires (lois, arrêtés, décisions, agenda 21...) constitue un atout décisif pour la planification des projets symbiotiques (Erkman, 2004 ; Mirata, 2004 ; Adoue, 2006).

Des moyens de financement des projets

L'existence de moyens de financement renforcés constitue un élément clé pour la mise en place des projets symbiotiques. Plusieurs formules sont possibles pour créer des ressources financières (politique fiscale, partenariat public-privé...), mais la principale reste l'aide au financement assurée par l'État sous forme de subventions au développement. À cet égard, l'État devrait se porter garant pour couvrir une partie du coût d'investissement (Sofies, 2011).

- **Au niveau de la politique locale : des outils de mobilisation, d'incitation, d'accompagnement et de monitoring**

Le rôle central que peuvent jouer les collectivités locales pour planifier et accompagner le développement des projets de SUR repose sur la mise en œuvre de plusieurs outils d'ordre politique, économique, communicationnel, d'accompagnement foncier et financier, ainsi que des outils organisationnels et de gestion.

Des outils politiques

Sur le plan politique, les projets de SUR acquièrent une visibilité et une déclinaison plus ambitieuse à travers des **programmes d'action locaux (Agenda 21)**, selon lesquels les objectifs de développement de projets symbiotiques bas carbone sont clairement affichés (Pollard, 2018).

Ainsi, *la médiatisation* des politiques environnementales mises en place via les outils d'image de marque « *Branding* », labels, la publication de rapports sur les transformations à venir et les ambitions visées pourrait jouer un rôle important dans la communication des objectifs stratégiques fixés, mais aussi dans la promotion des villes et l'amélioration de leur attractivité. Nous avons dans ce sens, l'exemple de la Ville de Vancouver qui affiche des ambitions très élevées en matière environnementale en affirmant sa volonté d'être dès 2020 « la ville la plus verte du monde » (Coutard, 2018).

Par ailleurs, l'importance d'une équipe de *coordination/organisation* pour catalyser le développement et le fonctionnement des réseaux symbiotiques est souvent soulignée dans la littérature pertinente (Chertow, 2000; Mirata, 2004 ; Gibbs et Deutz, 2007 ; Massard et al., 2014 ; Lorrain et al., 2018). Qu'il s'agisse d'une organisation privée, d'une agence publique, d'un institut de recherche ou d'une ONG... (Mirata, 2004), de tels organes de *coordination* jouent le

rôle de facilitateur. Ils contribuent en effet à renforcer la confiance et à encourager le dialogue entre les parties prenantes et permettent d'offrir une assistance politique et managériale pour la planification, la gestion et l'évaluation de relations synergiques. En d'autres termes, ils favorisent l'émergence de conditions plus propices au développement des projets symbiotiques. Les services les plus fréquemment proposés par les organes de coordination semblent être liés aux questions d'information et d'organisation, de formation, et à la garantie de divers types de soutien pour les programmes, y compris financier (Massard et al., 2014 ; Mirata, 2004). Cependant, les projets symbiotiques ne peuvent être mis en œuvre ni se développer sans l'implication active de la société civile et la volonté des entreprises industrielles (Curien et Lorrain, 2018 ; Pollard, 2018 ; Massard et al., 2014). Les collectivités locales ont donc l'intérêt d'agir sur l'incitation des entreprises et des populations concernées.

Des outils d'incitation économiques

Un projet symbiotique doit absolument présenter un intérêt économique aussi bien pour les entreprises que pour les habitants (Adoue, 2006 ; Adoue, 2007). D'une part, les habitants se trouvent réticents à financer, lorsqu'il s'agit des travaux de réhabilitation ou d'efficacité énergétique (Lorrain et al., 2018), alors que les entreprises cherchent à améliorer leurs profits avec les moindres coûts et c'est pourquoi il n'est pas rare que les coûts d'investissement peuvent constituer un frein à la mise en place des SU_r (Massard et al., 2014). Pour y remédier les pouvoirs publics pourraient agir davantage via plusieurs outils, selon l'idée que "tout le monde" y gagne (Liébard et De Herd, 2005).

Ainsi, des outils économiques visant la promotion de l'industrie de la récupération et du recyclage (ouverture du marché d'investissement dans ces domaines, incitation et l'accompagnement des entreprises locales dans la mise en œuvre de leurs projets, création de nouvelles entreprises dans le domaine, etc.) pourraient jouer un rôle important (Orée, 2008 ; Pollard, 2018 ; Lorrain et al., 2018). L'enjeu est d'abord de limiter les risques financiers et d'investissement et d'optimiser la valeur économique ajoutée⁸¹ pour les entreprises, mais aussi de trouver des schémas neutres pour les habitants. Ce qui nécessite la mise en œuvre des outils d'accompagnement financiers (Sofies, 2011, Massard et al., 2014 ; Lorrain et al., 2018).

Des outils d'accompagnement foncier et financier

L'équilibre économique de la SU_r pourrait être confronté à de nombreuses influences (Adoue, 2006) : manque de ressources foncières, risques financiers, résistances des modes de vies, etc. Des outils d'accompagnement financiers peuvent, dans ce cadre, permettre de lever certaines barrières financières et de gérer les risques de financement et d'investissement, dont :

⁸¹ La valeur ajoutée des échanges symbiotiques se rapporte à la valorisation des déchets, aux économies de matières premières et d'énergie, à des opportunités de partenariat industriel, etc. (Orée, 2008). Elle peut être obtenue : (i) pour les collectivités locales, à partir de la baisse ou de la suppression du coût de transport et de traitement des flux de déchets sortants, auquel peut s'ajouter le gain de vente du flux ; (ii) pour les entreprises de valorisation, à partir de la baisse du coût d'approvisionnement de la matière première auquel, il peut s'ajouter un gain lié à la prestation de traitement du déchet produit (Adoue, 2007). Et c'est ce qui permet de réduire les dépenses et d'améliorer les profits (Massard et al., 2014).

- *Des incitations financières* (crédits à intérêts réduits, des garanties d'emprunt, des compensations financières, réduction des coûts de mise en œuvre, réduction des baux, etc. (Massard et al., 2014).
- *Des modèles de financement innovants*, partenariat intersectoriel, partenariats public-privé, partenariat intercommunal, partenariat public-privé-population, etc. Chose qui pourrait accroître le taux de réussite d'un projet, raccourcir sa durée de développement tout en garantissant le financement (Massard et al., 2014).
- *Offre foncière et immobilière* : une politique cohérente visant à favoriser l'accueil des entreprises doit bien sûr considérer l'offre foncière et immobilière mais aussi les services proposés aux entreprises, la qualité de vie et les besoins des salariés, etc. Autant de facteurs qui renforcent l'efficacité des entreprises et leur ancrage territorial. De telles politiques locales rendent également plus improbables les délocalisations (Orée, 2000). À cet effet une maîtrise foncière permettant de réserver les terrains est nécessaire (SOFIES, 2011).
- *Des mesures fiscales (incitatives/dissuasives)* : une politique fiscale adaptée (incitative/dissuasive) aux objectifs de valorisation de déchets et de promotion des énergies renouvelables pourrait rendre économiquement pertinents certains échanges symbiotiques (Adoue, 2006). Elle pourrait par exemple, d'une part, intéresser les entreprises à utiliser des flux de matières ou d'énergies secondaires par des allègements fiscaux et d'autre part, imposer une taxe de non valorisation de la ressource secondaire (Adoue, 2006 ; SOFIES, 2011).
- *Des mesures de tarification différenciée (incitatives/dissuasives)* : une politique de tarification adaptée aux objectifs d'optimisation d'énergie et de valorisation des déchets, « offres de tarification différenciées [...], en fonction de la provenance, des méthodes de production des énergies et des émissions de carbone en découlant » (Pollard, 2018, p.59) qui pourrait, d'une part, fixer un prix d'achat minimum pour une ressource secondaire (vecteur énergétique, matière secondaire) et d'autre part, augmenter le coût des énergies fossiles (Gaz, Électricité) et du traitement des déchets (Adoue, 2006 ; SOFIES, 2011 ; Defeuilley, 2018). Cela permet de faire pression sur la hausse tendancielle de consommation d'énergie fossile et freiner son évolution, voire de l'inverser de manière durable (Defeuilley, 2018).
- *Des mesures de compensation financière* : dans le cas où le coût de production des énergies renouvelables est au-dessus des prix du marché des énergies fossiles, les collectivités locales peuvent avoir recours à la rétribution à prix coûtant du prix de l'énergie fossile, le principe étant celui d'une *compensation financière* de la différence entre montant de la production et prix du marché pour permettre aux producteurs d'énergies renouvelables de rentrer dans leurs frais, sur une certaine durée (Pollard, 2018).
- Concernant les habitants, les coûts de travaux peuvent être compensés par la *réduction des factures d'énergie* tandis que l'amorce pourrait être assurée par les villes et le risque porté par les entreprises (Lorrain et al., 2018). Cette forme d'incitation est particulièrement efficace dans le cas de la mise en œuvre d'une politique d'imposition spécifique (taxe carbone locale), où les communes pourraient répercuter les coûts sur les habitants et les entreprises.
- *Des incitations sous forme d'assistance technique ou organisationnelle*, comme par exemple les services gratuits proposés par le NISP (National Industrial Symbiosis Programme) au

Royaume-Uni aux entreprises afin d'éviter la mise en décharge des déchets. Ces services sont financés par le gouvernement britannique sur la base des bénéfices générés par l'augmentation annuelle de la taxe nationale sur les décharges (Massard et al., 2014).

Cependant, si les entreprises trouvent un intérêt dans les SUR par conscience de la valeur ajoutée qu'elle génère, ou de son importance pour une économie sobre et intelligente ou parce qu'elles savent que l'innovation est un facteur de compétition et que ne rien changer conduit à régresser (Massard et al, 2014 ; Lorrain, 2018), la résistance principale pourrait provenir des modes de vies des habitants, ce qui fait appel à d'autres outils.

Des outils d'incitation communicationnels, éducatifs et informatifs

Les modes de vie des habitants ne se modifient pas aisément, que ce soit pour leur consommation d'énergie ou pour le tri des déchets et l'entretien des espaces verts qui requièrent leur participation (Lorrain et al., 2018). Cela implique la mise en place de *programmes communicationnels informatifs et éducatifs*, permettant la sensibilisation de la population locale sur les problématiques du CC et l'importance de l'optimisation d'énergie et des ressources naturelles, mais aussi pour l'instauration de nouvelles formes de *démocratie locale* basée sur *l'ouverture, la communication et la confiance mutuelle*, impliquant les entreprises et les populations dans la mise en place de solutions originales (gestion communautaire, coopération, coproduction, cofinancement, innovation, etc.) (Lorrain et al., 2018, Massard et al., 2014), ou encore la co-conception sous forme de Fab-Lab urbains⁸².

Des outils organisationnels et de gestion

- *Coopération avec des institutions scientifiques et technologiques* : un projet de SUR requiert souvent le développement ou l'adaptation de nouveaux systèmes et technologies pour un contexte spécifique. L'accès à des technologies et des savoir-faire avancés grâce aux coopérations nouées avec des universités / grandes écoles et des instituts de recherche favorise l'adaptation et la mise en œuvre de solutions éco-innovantes, l'émergence de synergies et permet de réduire les incidences sur l'environnement. De telles collaborations viennent souvent s'ajouter à des programmes éducatifs et contribuent à former de nouvelles générations de professionnels (Maasard et al., 2014). Dans ce cadre, le monde académique, les chercheurs et les experts jouent également un rôle important dans la connaissance et la diffusion de la stratégie de SUR : leurs groupes de travail dédiés, leurs publications (retours d'expérience, guides) participent et facilitent le déploiement de la stratégie (CGDD, 2014).
- *Partenariat Public-Privé* : les procédures partenariales, notamment le "partenariat public-privé", permettent d'intéresser les entreprises aux décisions urbaines (en termes financiers, de responsabilisation et de définition d'objectifs), elles expriment bien leur double sens : la ville profite de la contribution de l'entreprise au développement urbain et l'insertion territoriale de l'emploi, tandis que l'entreprise oriente ces intérêts économiques dans le respect de l'environnement (Liébard et De Herd, 2005). Cependant certaines expériences de ce type de

⁸² Un FabLab urbain ou *laboratoire de fabrication de la ville*, est un lieu ouvert au public, où les diverses communautés (associations, master-class, organisations spécialisées ou simplement des habitants riverains des projets) peuvent participer à la conception des projets urbains avec des idées de programmation, d'aménagement, d'évaluation et de monitoring, dont la prise en charge contribue à l'amélioration de la qualité et de l'acceptabilité sociale des opérations urbaines (www.carrefour-numerique.cite-sciences.fr).

partenariat ont démontré que les bénéfices financiers escomptés ou obtenus ne sont pas toujours exploités à bon escient, ce qui recommande la plus grande prudence dans la mise en place des contrats à long terme⁸³.

- *Contrôle et évaluation*, via la mobilisation de moyens humains, matériels et technologiques innovants (système de monitoring informatisé, plateformes web, ..., etc.) et humains (services de monitoring des projets symbiotiques, de contrôle de la consommation quantitative d'énergie et des déchets, de coordination inter-entreprises, brigades environnementales pour le contrôle des déchets, ..., etc.) au profit d'un monitoring et une évaluation performante de projets symbiotiques et des processus décisionnels mis en œuvre.

- **Au niveau du processus de planification urbaine (spatio-fonctionnelle)**

Il reste enfin le complément des outils de planification qui permettent de prendre en charge les possibilités symbiotiques dans les différentes étapes de planification urbaine (Chertow, 2000; Berezowska-Azzag, 2013 ; Massard et al., 2014 ; Lorrain, et al., 2018 ; Galan & Perrotti, 2019):

Dans l'analyse et le diagnostic, avec l'intégration du métabolisme urbain et la prise en charge des possibilités de bouclage des flux via les méthodes spécifiques : Analyse des Flux et de Matière (AFM), Analyse de Cycle de Vie (ACV), Empreinte Carbone (EC), etc.

Dans la programmation, via la programmation par boucles énergétiques qui permet de prendre en charge les infrastructures de partages, de production d'énergie, de collecte de déchets, de nouvelles activités urbaines ainsi que le foncier pour accueillir ces activités.

Dans l'aménagement urbain et la conception architecturale, en intégrant les principes de circularité des réseaux d'échange, de la proximité spatiale, de la diversité et la mixité fonctionnelle.

Dans l'évaluation, via les études de faisabilité (technique, économique, environnementale, réglementaire), l'évaluation des risques, évaluation des coûts-bénéfices, ainsi que l'évaluation par scénarios de prospective qui intègrent de larges ensembles de données sur les évolutions futures. Ces études permettent d'orienter, au cours de la planification, la mise en place de solutions durables.

Dans la certification urbaine, par le biais des outils de certifications et les labels qui confirment la qualité et la performance des projets d'aménagement en rapport avec les cibles de développement durable, de résilience énergétique ou d'adaptation climatique. Ces outils peuvent conférer au territoire en symbiose urbaine bas carbone une attractivité économique, touristique, scientifique, une compétitivité locale ou régionale dans le cadre de la lutte contre le changement climatique, et apporter une valeur ajoutée aux négociations sur le financement des investissements.

⁸³ Comme dans l'exemple du PPP mis en place dans le cadre de l'opération Euroméditerranée à Marseille (Voir les documents de Bertoncetto et al. (2009) et Maargab. (2010)).

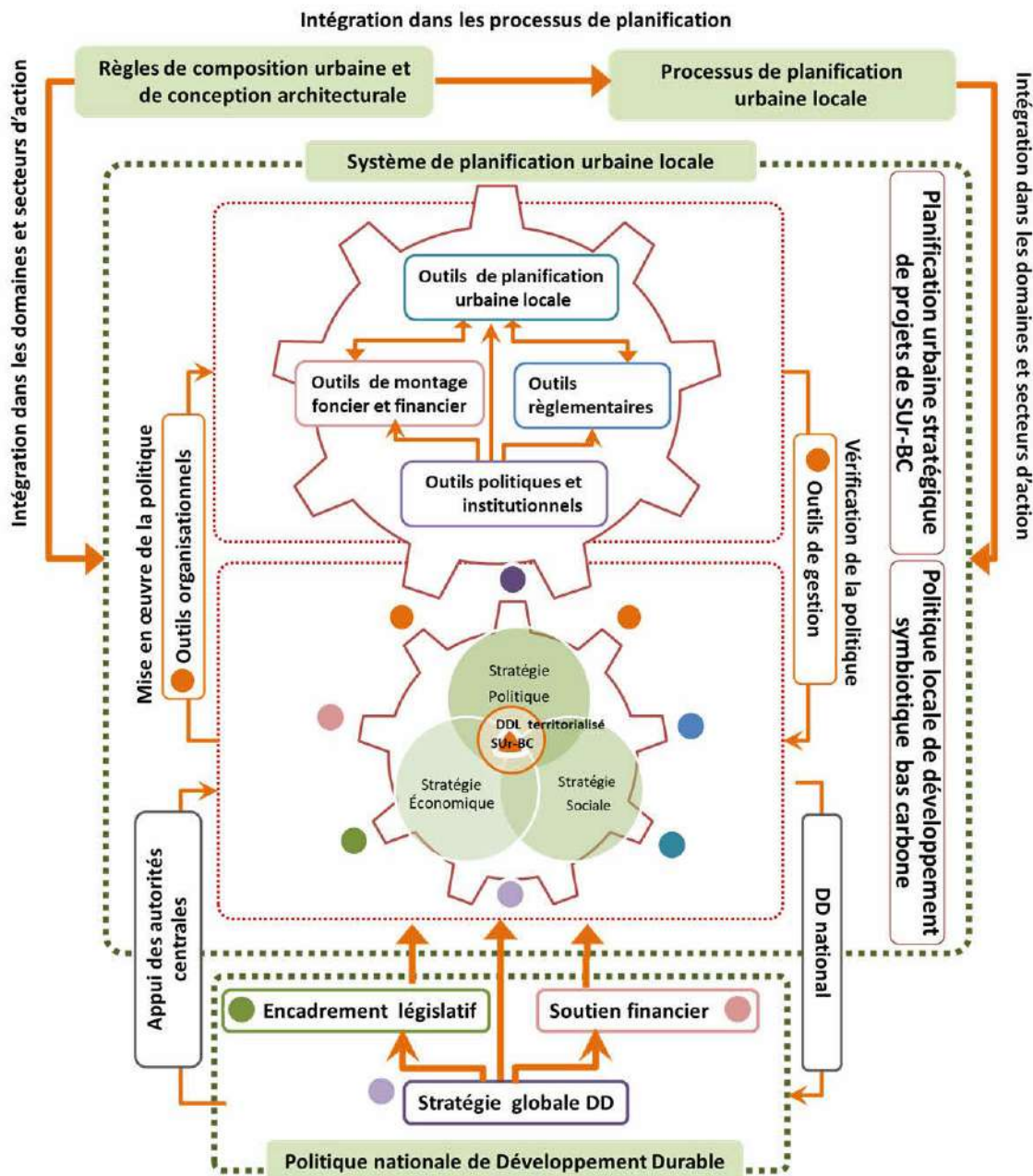


Figure 4. 7 : Proposition d'un système optimal de planification des projets de "SU_r-BC" à l'échelle urbaine locale

Les conditions optimales de planification par la SU_r étant développées, nous allons dans ce qui suit, analyser les conditions de planification locale à Alger, puis **vérifier les capacités du système en vigueur dans la prise en charge et le développement du projet de "SU_r-BC" d'EH-OS.**

Les cadres stratégiques et les outils⁸⁴ identifiés dans le cadre du scénario optimal nous servent comme critères de référence pour l'identification et la description des éléments du système de planification à Alger.

⁸⁴ Le système d'outils de planification urbaine en vigueur à Alger à différents niveaux, depuis l'échelle territoriale d'orientation stratégique et l'échelle urbaine d'orientation tactique jusqu'à l'échelle de réglementation opérationnelle sont présentés dans la section 4.2.3. (voir Tableau 4.7 et Figure 4.15 de la sous-section 4.2.3.3.).

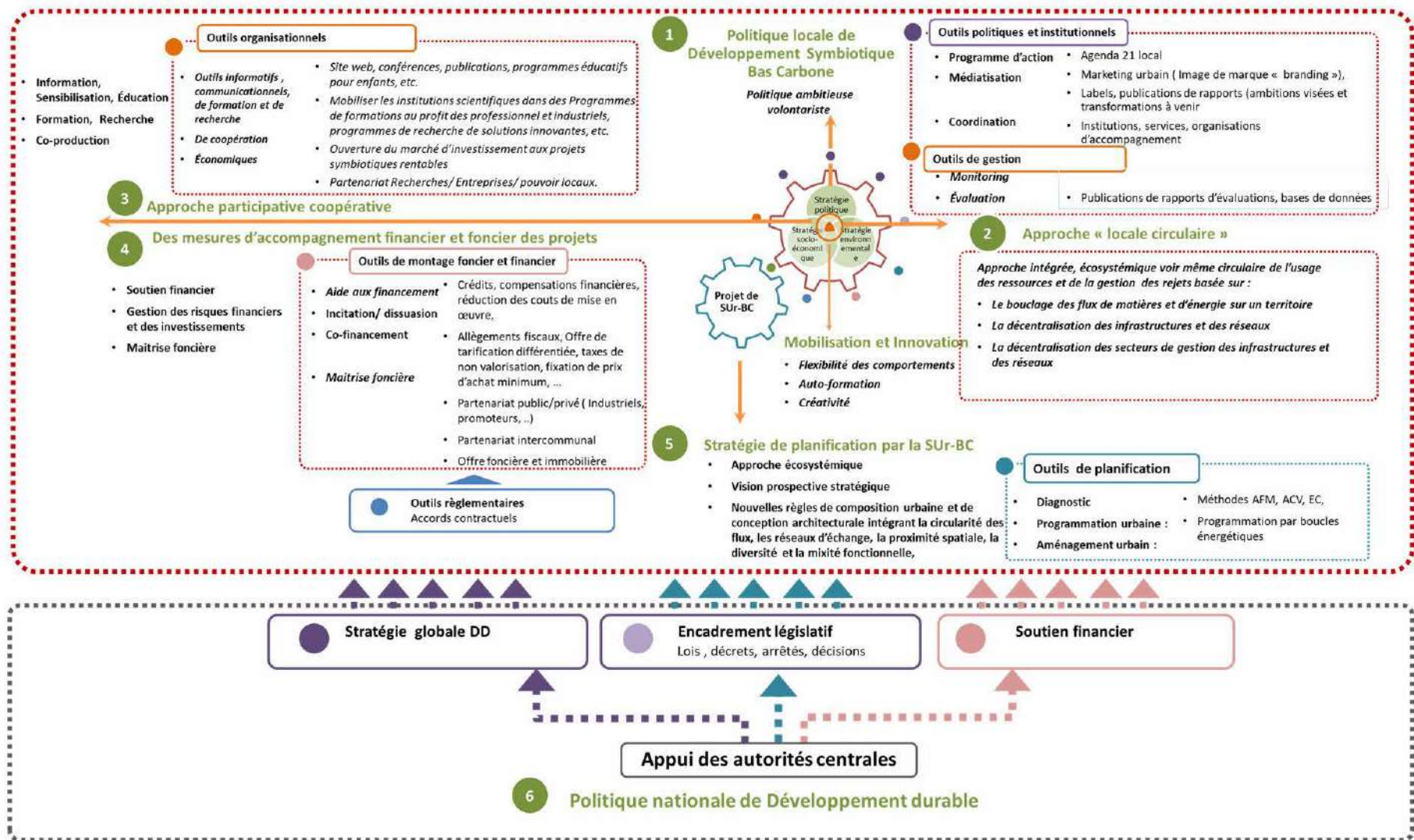


Figure 4. 8 : Définition des conditions-cadre et des outils stratégiques pour la planification des projets de "SUr-BC" à l'échelle urbaine locale (scénario optimal)

4.2. Identification des conditions de planification urbaine locale à Alger

Pour vérifier les conditions de planification urbaine à Alger, la démarche proposée procède en trois étapes :

1. **Analyse contextuelle (spatio-temporelle)**, où il s'agit d'appréhender le contexte global de planification urbaine locale en Algérie et comprendre sa structure selon une approche diachronique.
2. **Analyse de la situation actuelle de planification à Alger**, où il s'agit d'analyser le système de planification locale et déterminer les principales politiques et stratégies de planification en vigueur à Alger.

Ces deux premières étapes nous permettent de comprendre le contexte de planification locale en vigueur et déterminer ses orientations stratégiques qu'il convient d'évaluer par rapport au système optimal de planification par la SUr, développé *supra*.

3. **Évaluation des conditions d'intégration de la "SUr-BC" à l'échelle locale d'Alger** à l'aide des méthodes SEPO et d'auto-évaluation. Cette étape repose sur la comparaison des deux scénarios, tendanciel et optimal.

Ces étapes sont abordées en détail dans les paragraphes qui suivent.

4.2.1 Contexte de planification locale en Algérie : évolution et structure

Pour identifier la structure du système de planification urbaine locale d'Alger et son lien avec la planification environnementale, nous avons jugé utile de revenir sur la manière dont il s'est construit et comprendre son évolution dans son contexte national. Cette lecture est effectuée sur la base des rapports, documents et textes législatifs⁸⁵ et de la littérature dans le domaine, selon une approche diachronique, projetée à l'échelle spatio-temporelle.

4.2.1.1 Rétrospective d'évolution des politiques de planification en Algérie

Depuis l'indépendance, l'évolution du système urbain algérien a connu différentes logiques de planification et de gestion qui ont fortement marqué l'organisation de l'espace urbain et le fonctionnement de son métabolisme. De nombreuses études s'accordent à constater la quasi absence d'une politique globale de la ville durant les trois premières décennies post indépendance (Berezowska-Azzag, 2012), où l'industrialisation, la subvention massive des producteurs et consommateurs étaient les facteurs moteurs d'une urbanisation accélérée, responsable de l'intensification de l'exploitation des ressources naturelles et des terres agricoles, de la surexploitation des zones côtières et de l'apparition de pollutions environnementales (PNAE-DD, 2002).

En revanche, la prise en charge des questions environnementales a été menée, pendant une longue période, dans un contexte d'instabilité institutionnelle. Les prérogatives liées à la planification

⁸⁵ PNAEE-DD, 2002 ; SNAT, 2010 ; CPDN, 2015 ; PDAU, 2016 ; PNC, 2020, différentes lois.

environnementale se sont rattachées successivement à différentes institutions ministérielles dont la plupart avaient des préoccupations sectorielles divergentes où l'environnement était considéré comme un thème secondaire. Le [Tableau. 4.2] retrace les différentes institutions ayant pris la responsabilité des questions environnementales depuis 1974 jusqu'à 2020 (Demri, 2000 ; Rizou et Ghalem, 2010).

Année	Niveau central de prise en charge des question environnementales (Tutelle)
1974	Création du Conseil National de l'Environnement (CNE)
1977	Dissolution du CNE et transfert de ses prérogatives au Ministère de l'hydraulique, de la mise en valeur des terres et de la protection de l'environnement
1981	Transfert des missions de protection de l'environnement au Secrétariat d'État aux forêts et à la mise en valeur des terres ;
1983	Création d'une Agence Nationale pour la Protection de l'Environnement (ANPE) ;
1984	Rattachement des prérogatives de protection de l'environnement au Ministère de l'hydraulique, de l'environnement et des forêts ;
1988	Transfert des prérogatives de protection de l'environnement au Ministère de l'intérieur et de l'environnement
1990	Transfert de l'environnement au Ministère délégué à la recherche, à la technologie et à l'environnement
1992-1993	Transfert de l'environnement au Ministère de l'éducation nationale- Secrétaire d'État chargé de la recherche scientifique
1993	Transfert de l'environnement au Ministre délégué aux universités et à la recherche scientifique
1994	Rattachement de nouveau de l'environnement au ministère de l'intérieur, des collectivités locales et de l'environnement.
2000	Création du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement (MATE)
2015	Rattachement de l'environnement au Ministère Ressources en Eau
2017	Création du Ministère de l'Environnement et des Énergies Renouvelables
2020	Le Ministère de l'Environnement et des Énergies Renouvelables devient Ministère de l'Environnement tout court Création du Ministère de la Transition Énergétique et des Énergies Renouvelables.

Tableau 4. 2 : Parcours de prise en charge des questions environnementales en Algérie. Source (Demri, 2000 ; Rizou et Ghalem, 2010).

L'évolution des politiques mises en œuvre pour prendre en charge la planification territoriale et environnementale en Algérie peut être abordée en quatre grandes périodes :

- **Période d'après l'indépendance jusqu'à 1974 : la planification économique**

Au cours des années qui ont suivi l'indépendance, l'Algérie a opté pour un modèle de développement fondé sur la planification économique centralisée mettant en œuvre un vaste programme de développement industriel. Par ce choix, les autorités centrales visaient, d'une part à répondre aux besoins sociaux et d'autre part, à mettre en place une économie capable d'élargir de façon autonome ses capacités de production et résoudre le problème de l'emploi (PNAE-DD, 2002). L'intérêt se focalisait sur l'aménagement des zones industrielles qui avaient besoin de grands sites pour l'accueil des activités productives massives (hydrocarbures, sidérurgie, industrie mécanique lourde...) (Saidouni, 2000). En contrepartie, l'aménagement des villes n'était pas considéré comme une priorité (production faible de l'habitat, des équipements et des infrastructures) (Saidouni, 2000). D'ailleurs jusqu'à la fin des années 1970, les autorités se contentaient de gérer le patrimoine urbain légué par la colonisation française (Saidouni, 2000).

Il est bien évident que cette situation allait engendrer des problèmes de gestion insurmontables pour des villes appelées à assumer des activités industrielles importantes et à drainer une forte

population rurale (Saidouni, 2000), alors qu'elles n'étaient pas du tout préparées ni sur les plans qualitatif et quantitatif, ni en matière des équipements et des infrastructures (Saidouni, 2000). En effet, tous les programmes de développement à l'époque ont été réalisés en l'absence d'une véritable politique de planification et d'aménagement urbain. La stratégie de développement se fondait surtout sur la centralisation, la démarche sectorielle et la diffusion des programmes d'investissement à grande échelle. Les tâches étaient centralisées au niveau des services ministériels de l'État où chaque secteur d'activité appliquait son propre programme d'action et le transcrivait sur l'espace sans réelle coordination avec les autres secteurs. Un tel processus décisionnel opaque, non coordonné, qui ne tenait pas compte de l'économie des sols, de la qualité de l'espace et de ses particularités locales avait des retombées radicales non pas seulement sur de la qualité des espaces urbains à l'échelle nationale (incohérences fonctionnelles et spatiales, délaissement des échelles mineures), mais il a conduit à des déséquilibres environnementaux (Saidouni, 2000), dont les principaux impacts étaient la surexploitation des ressources naturelles (terres agricoles, eau, énergie) et la dégradation de l'environnement (zones marines et côtières, forêts, air...) (ONS, 2006).

D'autant plus qu'à l'époque l'environnement ne constituait guère une priorité pour les autorités nationales, et cela malgré l'intérêt qu'elle manifestait sur le sujet⁸⁶ dans les événements internationaux. La seule préoccupation était la propreté des cités, dont la tâche a été confiée aux municipalités locales avec des ressources budgétaires limitées aux seules actions permettant de dégager hors de la ville les déchets urbains. Les déchets étaient alors collectés puis rejetés à l'extérieur des villes dans des décharges publiques non contrôlées, non conformes aux règles élémentaires de protection de l'environnement (Aliouche-Hocine, 2019), et aucune précaution n'était prise pour réduire la pollution des nappes phréatiques et les nuisances diverses sur l'environnement (SDCTDSU, 2008). Ce qui est intéressant, c'est que les pratiques de valorisation existaient déjà depuis un temps. Des tris des déchets, avant et après mise en décharge, étaient opérés de façon informelle par des chiffonniers. Les récupérations concernaient principalement les tissus, les métaux non ferreux, le bois, les cuirs et d'autres sortes d'objets susceptibles d'avoir une seconde vie. La collecte de métaux ferreux et de papiers avait commencé à se faire de façon plus organisée pour les besoins de l'industrie sidérurgique et de l'industrie du papier à partir de 1970. Cette collecte était prise en charge par des entreprises spécialement créées à cet effet et dans des conditions assez rigoureuses (cahiers des charges, quantités, qualité, conditionnement)⁸⁷ (SDCTDSU, 2008).

- **Période de 1974 à 1993 : la planification sociale**

Les effets du modèle économique furent ressentis dès le milieu des années 1970. Les centres urbains qui accueillaient les grands investissements attiraient une forte population. L'exode rurale, la croissance de la population, la forte demande en logement, la croissance des villes littorales et

⁸⁶ L'Algérie a manifesté son intérêt pour un développement respectueux de l'environnement depuis les années 70, avec sa participation aux travaux de la première Conférence mondiale sur l'environnement à Stockholm en 1972 sous l'égide des Nations Unies.

⁸⁷ Les ferrailles lourdes étaient récupérées par la SNS pour les besoins des aciéries d'El Hadjar et d'Oran (50 000 tonnes par an) et la récupération de papier était effectuée par l'ENEPAC (relevant de la SONIC), pour les besoins de l'usine de papier Kraft de Baba Ali (40 000 tonnes par an).

des centres anciens constituaient de grands problèmes pour les autorités notamment avec le retard considérable dans la production de l'habitat urbain (Saidouni, 2000).

Un nouveau modèle de développement de type socialiste voit le jour à partir de la deuxième moitié des années 1970, selon lequel l'état s'est chargé de la quasi-totalité des programmes de logements, (Saidouni, 2000). C'est plutôt une politique de l'habitat qui se met en place et qui se focalise sur la répartition des quotas de programmes de logements avec leurs équipements d'accompagnement. Une politique à connotation socialiste et sociale, centralisée, isolée des autres secteurs participants à la formation des ensembles urbains, détachée du contexte local et des aspirations de la société civile et qui, bien méritoire du point de vue quantitatif, se préoccupe peu du fonctionnement du système urbain, de la maîtrise de l'urbanisation ou de la qualité de vie en ville (Berezowska-Azzag, 2012). Il a fallu attendre que la politique de développement de type socialiste atteigne sa vitesse de croissance pour voir s'instaurer de nouveaux instruments qui sont, toutefois largement inspirés de ceux de la période coloniale (PUD, ZHUN, POG...). Ces instruments d'urbanisme, en vigueur jusqu'à la fin des années 1980 constituaient un arsenal juridique et méthodologique pour la planification centralisée et sectorielle qui tient peu compte des spécificités locales (Saidouni, 2000). Les plans n'étaient qu'une vision d'organisation d'ensemble, n'avait pas force de loi mais seulement celle d'un outil d'orientation des politiques urbaines (Berezowska-Azzag, 2006). La lenteur des études et l'arbitraire des décisions sectorielles imprévues ont fait en sorte que ces instruments n'ont jamais pu accompagner le rythme de l'urbanisation et de la planification sectorielle (Saidouni, 2000).

En conséquence, cette approche exclusivement programmatique du problème de logement a engendré des espaces de vie désarticulés, mal équipés et constituant de véritables chantiers permanents à l'intérieur des villes, sans pour autant pouvoir satisfaire les besoins d'une population urbaine croissante (Saidouni, 2000). L'implantation des ZHUN, grandes consommatrices du foncier, a pris trop de liberté spatiale en empiétant sur les terrains agricoles (Berezowska-Azzag, 2006). Par ailleurs, cette période était marquée par la multiplication des décharges sauvages qui recevaient l'ensemble des déchets produits dans la région, sans aucune considération quant à leur nature, leur origine, leur degré de nocivité et de toxicité et sans précautions techniques ou sanitaires (SDCTDSU, 2008). Le choix des sites de décharge ne s'appuyait sur aucune étude d'impact sur l'environnement. En revanche, il est utile de signaler l'étude exhaustive de caractérisation des déchets ménagers et assimilés solides de la wilaya d'Alger menée en 1973 et 1974, ainsi que les événements remarquables qui ont marqué cette période, concernant la ratification en 1976 par l'Algérie, de divers traités et conventions régionaux et internationaux⁸⁸(SDGDSU, 2008).

Cependant, les changements multiples de tutelle qu'a connue l'administration environnementale pendant cette période n'ont pas favorisé l'émergence de programmes d'action durables et coordonnés (PNAE-DD, 2002). La plupart des institutions qui ont été mises en place ont des préoccupations étroites et compartimentées, ce qui a limité l'efficacité des actions (Bouabdesselam et al., 2005). Le cadre législatif était aussi insuffisant, l'Algérie a certes élaboré une loi-cadre pour l'environnement ⁸⁹ qui vient fixer pour la première fois le cadre général d'une

⁸⁸ Plus particulièrement les conventions de Barcelone relatives à la protection de la mer Méditerranée.

⁸⁹ « Loi n°83-03 relative à la protection de l'environnement en Algérie », 1^{ère} loi-cadre pour l'environnement promulguée en février 1983.

planification environnementale durable traitant de l'équilibre entre le développement socio-économique, la protection de l'environnement et la préservation du cadre de vie des populations, mais la loi s'est limitée à édicter les principes généraux de la protection de l'environnement (Loi 83-03, 1983). Son application a été retardée faute de la lenteur des procédures et de l'insuffisance au niveau de la conception (Bouabdesselam et al., 2005 ; Aliouche-Hocine, 2019).

- **Période de 1990 à 2000 : les prémisses d'une prise en charge de l'environnement**

Depuis le début des années 90, l'Algérie s'est engagée dans un vaste processus de mutation politico-économique visant la mise en place d'une économie de marché et l'intégration de l'économie nationale dans l'économie mondiale (Aliouche-Hocine, 2019). Une réelle prise en charge de l'environnement s'impose, à la suite de l'avènement des problématiques du développement durable à l'échelle internationale et la prise de conscience du gouvernement algérien des problématiques environnementales. En effet, avec son adhésion à la CCNUCC en 1992⁹⁰, l'Algérie adopte le concept de DD et entreprend dans son effort de développement des actions importantes qui s'inscrivent dans le cadre de la mise en œuvre de l'Agenda 21 (Aliouche-Hocine, 2019). Un renforcement des capacités institutionnelles a été mené à différents niveaux décentralisés⁹¹ (PNAE-DD , 2002 ; MATE, 2003). À cet effet, de nouveaux outils de planification et de financement ont vu le jour dont, l'élaboration du Plan d'Action pour l'Environnement (PNAE) et l'entrée en vigueur du Fond National de l'Environnement (FNE) [Tableau 4.3].

Par ailleurs, des changements considérables interviennent dans la politique de planification territoriale à cette époque. L'aménagement de l'espace urbain se dote enfin des outils réglementaires. Le Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme PDAU et le Plan d'Occupation du Sol POS⁹² ont trouvé l'appui à leur réalisation dans une nouvelle politique foncière considérant enfin le sol comme une propriété et un bien rare. Cependant, n'ayant pas été élaboré avec une vision stratégique, le PDAU a reconduit presque automatiquement les orientations du PUD (Berezowska-Azzag, 2006).

Devant la situation sécuritaire difficile de la période, l'explosion du marché informel et de la spéculation foncière ainsi que l'incompétence des gestionnaires, font que l'urbanisation spontanée continue sa prolifération induisant des ruptures fonctionnelles, des déséquilibres structurels et une dégradation du cadre bâti. En conséquence, les problèmes environnementaux s'intensifient⁹³ (Berezowska-Azzag, 2006). Malgré l'existence de multiples institutions, les

⁹⁰ À la suite du Sommet de la terre de Rio en 1992.

⁹¹ Dont la création du Haut Conseil à l'Environnement et au Développement Durable (HCEDD) destiné à initier une démarche globale et intégrée (PNAE-DD , 2002) et qui de par ses missions, était censé être la structure institutionnelle idoine pour promouvoir, suivre et évaluer les actions de l'État dans le domaine de l'environnement (MATE, 2003). De même, la création de la DGE et d'inspections de l'environnement au niveau des différentes wilayas du pays était censée renforcer le cadre institutionnel et améliorer les capacités de surveillance et de contrôle de l'état de l'environnement (PNAE-DD , 2002).

⁹² Loi n°90.29; Décrets exécutifs n°91.177 et 91.178 suivis d'une révision en 2005.

⁹³ Saturation du système de réseaux d'assainissement et d'approvisionnement en eau et en énergie, épuisement des ressources (eau, énergie), vulnérabilité accrue aux risques majeurs naturels et technologiques, destruction progressive du patrimoine naturel.

capacités de ces dernières sont restées limitées, d'ailleurs le HCEDD n'a jamais été opérationnel⁹⁴. Au niveau décentralisé, les capacités des municipalités dans la gestion environnementale sont restées très insuffisantes (PNAE-DD, 2002).

Dans cet apparent chaos de politique urbaine, persiste pourtant l'espoir des lendemains meilleurs. Une volonté forte de marquer l'empreinte du pouvoir sur la ville se traduit par de multiples projets de réalisation et la planification urbaine tente aussi d'opérer un virage salutaire dans ses méthodes d'approche (Berezowska-Azzag, 2006).

Année	Cadre institutionnel		Outils de mise en œuvre	
	Niveau central (Tutelle)	Niveau décentralisé	Outils de planifications (Échelle Nationale)	Outils de financement
1994	Ministère de l'intérieur, des collectivités locales et de l'environnement. Création du Haut Conseil de l'Environnement et du Développement Durable (HCEDD)	Création de la Direction Générale de l'Environnement (DGE) et d'inspections de l'environnement au niveau des différentes wilayas	/	/
1996	Création d'un Secrétariat d'État chargé de l'environnement auprès du ministre de l'Intérieur; Mise en place de structures centrales chargées de l'environnement au sein de certains départements ministériels importants (Industrie-Énergie-Santé)	Création des inspections de l'environnement de Wilayas ; Création des laboratoires de Wilayas ; La direction générale de l'environnement (DGE) est maintenue avec ses prérogatives sous la tutelle de ce Secrétariat d'État.	Élaboration du plan national d'action pour l'environnement (PNAE)	L'entrée en vigueur du Fond National de l'Environnement (FNE)

Tableau 4. 3 : Parcours de prise en charge des questions environnementales en Algérie (période 1974-1993) Source (Rizou et Ghalem, 2010 ; PNAE-DD, 2002 ; Aliouche-Hocine, 2019).

• **Période de 2000 à 2021 : l'ère des politiques de développement durable**

C'est dans les années 2000 seulement que l'Algérie commence à investir dans le concept de Développement Durable comme principe fondamental. Elle établit donc une nouvelle stratégie de développement qui rompt de manière irréversible avec les politiques et méthodes des trois décennies précédentes (PNAE-DD)⁹⁵. Le plus important dans cette nouvelle stratégie, est que la

⁹⁴ Notamment en termes de formulation de stratégies, coordination, études et recherches, audits et études d'impacts, contrôle et surveillance de l'état de l'environnement.

⁹⁵ De 2002 à 2005, plusieurs décrets (exécutifs ou présidentiels) ont été édictés, notamment sur la création de l'observatoire national de l'environnement et du développement durable (2002), commissariat général à la planification et à la prospective (2003), agences locales de gestion et de régulation foncières urbaines (2003), création du CNERIB et de CGS (2003) et de l'APRUE (2004) ; sur la mise en place des plans spécifiques (PPSMVSS pour les secteurs sauvegardés, PNGDS pour la gestion des déchets spéciaux (2003) et d'outils opérationnels (notamment RPA

ville est placée au centre d'une démarche de développement durable territorial, autant comme l'élément de rééquilibrage du système d'armature urbaine nationale que comme le moteur du développement local (SNAT, 2010 ; Berezowska-Azzag, 2016c). Un nouveau modèle de planification et de nouveaux outils voient le jour. Nous allons dans les paragraphes qui suivent, présenter les différents éléments de ce modèle et décrire leurs caractéristiques. Une synthèse de cette lecture est donnée dans le [Tableau 4.A] en Annexe 4.

Une nouvelle stratégie de développement orientée vers la décentralisation,

En 2002, le gouvernement algérien a mis en œuvre une Stratégie Nationale de l'Environnement SNE visant à intégrer la viabilité environnementale dans la stratégie de développement du pays et prendre en charge la préservation des ressources naturelle et la protection de l'environnement (CDDNU, 2011).

De nouveaux plans et programmes d'action voient le jour,

À l'échelle nationale, deux plans d'action en découlent pour la mise en œuvre de cette stratégie : (i) Le Plan National d'Actions pour l'Environnement et le Développement Durable (PNAE-DD) qui a été complété par la suite par des plans et des programmes spécifiques pour le climat, la gestion des déchets, la maîtrise d'Énergie le développement des énergies renouvelables, etc., dont SNGID, PNME, PDEREE, PNC, etc. ; (ii) et le Schéma National d'Aménagement du Territoire (SNAT)⁹⁶.

À l'échelle locale, en 2001 le MATE, a lancé la charte locale pour l'environnement et le développement durable. Cette dernière avait pour but d'introduire un outil de gestion de l'environnement dans le cadre du développement durable à l'échelle locale (MATE, 2001, cité par Dakhia, 2015). La Charte se voulait une base de départ pour la confection d'un Agenda 21 local, qui aurait constitué pour les communes et autorités locales un outil de planification conforme aux principes du Développement Durable, où l'environnement est pris en charge au niveau urbain par une planification environnementale et une gestion écosystémique nouvelle (Dakhia, 2015). Malheureusement ce programme n'a pas abouti, étant arrivé trop tôt sur le terrain qui n'était pas préalablement préparé, faute d'absence des outils (juridiques, règlementaires, organisationnels...) nécessaires à son application (Berezowska-Azzag, 2011).

De nouveaux outils de soutien et d'appui,

Le secteur de l'environnement a bénéficié d'un soutien appréciable de l'État qui s'est caractérisé principalement par [Tableau 4.A]:

- **Le renforcement du cadre institutionnel**, avec la création d'un Ministère de l'Environnement en 1999, transformé en 2002 en Ministère de l'Aménagement du Territoire

nouvelle version 2003, PNME sur la maîtrise de l'énergie (2004), sur la ratification du protocole de Kyoto (DP, 2004), loi 04-05 sur l'aménagement et l'urbanisme (2004), loi 04-09 sur la promotion des énergies renouvelables (2004), et enfin la loi 04-20 sur la prévention des risques majeurs et la gestion des catastrophes (2004), loi 05-12 sur l'eau (2005) et DE 05-318 sur les procédures d'élaboration et d'approbation des POS. Enfin, une loi 06-06 d'orientation de la ville ouvre la voie vers des approches nouvelles de développement durable (Voir Tableau 4.A-Annexe 4).

⁹⁶ Le PNAE-DD est élaboré en 2001 dans le cadre de la Stratégie Nationale de l'Environnement (SNE) avec le soutien de la Banque Mondiale et de l'Office de Coopération Technique Allemande GTZ. Le SNAT 2030 est adopté en 2010 par la loi n°10-02.

et de l'Environnement et détaché ensuite en Ministère de l'Environnement actuel [Tableau 4.A]. L'environnement fait véritablement partie des données nouvelles de la planification, tant économique et sociale que territoriale (CDDNU, 2011). En fait, cela était le point de départ non pas seulement pour la gestion des écosystèmes d'un territoire aussi vaste et diversifié comme l'Algérie, mais aussi pour la prise en charge des problèmes environnementaux des villes (Berezowska-Azzag, 2008 ; CDDNU, 2011). La démarche a également consisté à créer, par strates successives et par secteurs, un cadre institutionnel responsable de la gestion environnementale dans le pays (agences et institutions administratives de gestion, de formation, d'étude et recherche (PNAEE-DD, 2002).

- **De nouveaux outils juridiques**, les orientations stratégiques du PNAEDD et du SNAT, ont été soutenus par un cadre juridique qui intègre dans son corps la problématique du DD. Plusieurs lois dites de 2ème génération pour un développement durable ont été promulguées.
- **Renforcement des moyens financiers**, avec de nouvelles dispositions fiscales mises en place par les lois de finance de 2000-2020, qui ont permis d'introduire de nouvelles ressources financières à partir de taxes à caractère écologique. D'importants investissements environnementaux ont également été consentis par le gouvernement dans le cadre des Plans de Relance Économique (Hammadou, 2019 ; PNAE-DD, 2002).
- **Renforcement des outils organisationnels et de gestion**, notamment en termes de coopération internationale avec l'adhésion de l'Algérie dans de multiples programmes de protection de l'environnement ; lancement de campagnes de sensibilisation des citoyens ainsi que de formation et d'information aux services des écoles, des entreprises... ; renforcement des outils de contrôle et de suivi des territoires en matière d'environnement.

De nouveaux outils de planification urbaine locale

La démarche de développement durable mise en place à l'échelle nationale est entrée en vigueur exceptionnellement, au niveau de la wilaya d'Alger, avec le nouveau plan stratégique (PSDA en 2011 et PDAU d'Alger en 2016).

Dans ce contexte, la recherche des possibilités permettant l'intégration du projet "SU_r-BC" dans le cadre du PDAU d'Alger passe par l'analyse du système de planification locale d'Alger.

4.2.2 Analyse des possibilités de prise en charge du projet SUR-BC dans le système de planification en vigueur à Alger

Pour rechercher les possibilités nous permettant d'intégrer le projet "SUR-BC" d'EH-OS dans le système de planification à Alger, notre analyse se focalise sur l'identification des possibilités de prise en charge des trois axes stratégiques de développement liés aux flux (Déchets /Énergie /Émissions de CO₂) et de l'interaction entre eux à différents niveaux stratégiques de planification.

4.2.2.1 Principaux axes de mise en œuvre de la SUR des flux Déchets-Énergie

La SUR proposée pour le contexte local d'EH-OS se rapporte à un processus métabolique cyclique des flux *Déchet-Énergie*, dont l'objectif est d'atténuer les émissions de CO₂ à partir de la valorisation des déchets urbains. La mise en œuvre d'un tel processus se décline en trois principaux axes de développement, qui sont en *interrelation* [Figure 4.9]:

- La promotion de l'optimisation d'énergie ;
- La promotion de la valorisation des déchets urbains et leurs *échanges* comme ressources ;
- La réduction des émissions de carbone.

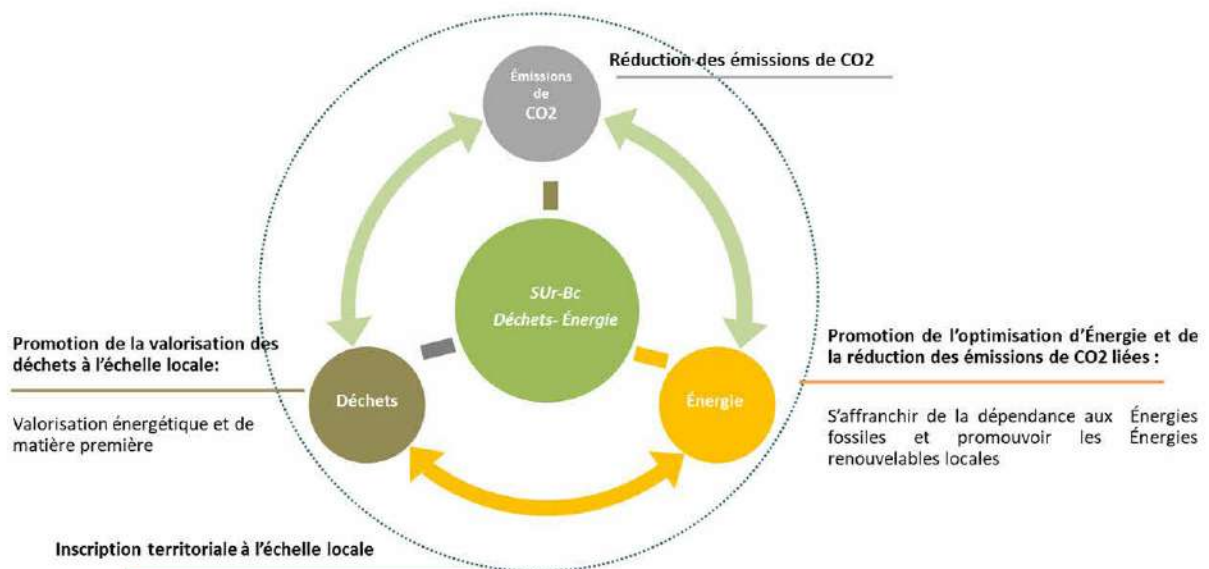


Figure 4. 9 : Trois (3) axes de mise en œuvre du projet symbiotique d'EH-OS

4.2.2.2 Possibilités d'intégration des SUR dans la Politique de planification urbaine

• Au niveau de la politique nationale

L'optimisation d'énergie, la gestion des déchets, l'atténuation du CC et le développement urbain local sont des objectifs prioritaires de la politique algérienne de développement durable qui prend forme avec la **Stratégie Nationale de l'Environnement (SNE)** et ses instruments stratégiques de planification aussi bien environnementale que territoriale, dont le PNAE-DD et le SNAT.

Le PNAE-DD, prend en charge la préservation des ressources naturelles et la réduction des rejets en ville à travers ses différents programmes d'action liés à l'amélioration du cadre et de la qualité de vie des citoyens, notamment pour la réduction de la production de déchets, leur gestion intégrée et leur recyclage, la réduction de la consommation d'énergie et la promotion des énergies renouvelables, ainsi que la réduction des émissions de GES et l'amélioration de la qualité de l'air.

Complété par la suite par d'autres plans spécifiques, le PNAE-DD a donné lieu au Plan National Climat (PNC), à la Stratégie Nationale de Gestion Intégrée des Déchets (SNGID) qui viennent définir les actions de mise en œuvre des projets inscrits dans le cadre du PNAE-DD à l'horizon 2035, ainsi qu'aux Programmes de Développement des Énergies Renouvelables et de l'Efficacité Énergétique (PNAE-DD, 2002; PDEREE, 2016; PNC, 2019). Cependant ces programmes ont essentiellement une connotation écologique, ils s'inscrivent dans un cadre global de gestion environnementale dont les préoccupations ne se focalisent pas sur la ville, en tant que support de développement durable ni en tant qu'écosystème à métabolisme urbain (Berezowska-Azzag, 2011).

Par ailleurs, **le SNAT 2010** fait sienne la stratégie du PNAE-DD et répond de manière territorialisée aux enjeux que celui-ci (SNAT, 2010). Par sa vision prospective, il trace les contours **d'une politique de planification territoriale stratégique** qui place pour la première fois le système urbain local au cœur de la démarche d'aménagement du territoire. Il montre comment l'État compte assurer, à l'horizon 2030, un triple équilibre social, économique et écologique à l'échelle nationale, tout en s'inscrivant dans le cadre d'une politique de développement durable local (Berezowska-Azzag, 2012; SNAT, 2010).

Des six enjeux majeurs de l'aménagement et du développement identifiés dans le SNAT comme prioritaires⁹⁷ à l'échelle du territoire national, quatre objectifs fondamentaux sont dégagés et qui ont tous un lien direct ou indirect avec la problématique de la ville: son métabolisme urbain, sa gouvernance et leurs impacts sur le capital naturel et la qualité de vie urbaine (SNAT, 2010; Berezowska-Azzag, 2011). Ces objectifs sont traduits en termes d'orientations stratégiques visant un aménagement durable du territoire national basés notamment sur une stratégie locale de planification. Cette stratégie repose sur (SNAT, 2010) :

- **Une politique de planification décentralisée à l'échelle locale,**

Par le SNAT, l'État affiche sa volonté de rompre avec les pratiques antérieures de planification trop centralisées et rigides (SNAT, 2010). Inscrit dans le cadre d'une politique de développement local, il présente un nouveau projet territorial durable projeté à l'horizon 2030. Selon cette politique, la ville est considérée en tant que support de développement territorial capable de mettre à niveau le système urbain national (SNAT, 2010). Elle est conçue comme un *écosystème urbain* où s'exercent de multiples interactions (Berezowska-Azzag, 2012), voir un maillon structurant capable d'organiser le territoire national, où *complémentarité, solidarité, hiérarchie et densité des liens* en constituent les principes de base pour un territoire équilibré, compétitif et dynamique (SNAT, 2010).

⁹⁷ (1) Épuisement des ressources (eau, énergie, sol, faune et flore); (2) Crise du rural; (3) Décrochage démographique; (4) Crise Urbaine; (5) Ouverture de l'économie nationale; (6) Non gouvernance territoriale.

Selon cette nouvelle politique, le niveau communal est l'espace de proximité qui « devrait constituer l'unité de base de l'aménagement et du développement du territoire » (SNAT, 2010, p90). « Le rôle des collectivités territoriales s'inscrit dans ce cadre dans un double processus complémentaire : celui de la déconcentration et de la décentralisation » (Ibid.) permettant d'une part de « doter les espaces d'une organisation institutionnelle adaptée aux enjeux et orientations du développement et de l'aménagement »; et d'autre part « doter les collectivités territoriales des moyens techniques, humains et financiers leur permettant d'assurer l'exercice de leurs compétences, conformément à leurs missions et attributions » (Ibid.).

- **Un triple équilibre territorial (social/économique /environnemental),**

Dans son premier objectif "pour construire un territoire durable", le SNAT définit son approche territoriale sur la base du principe de "capacité de charge", dont le but est d'assurer un développement du territoire compatible avec sa capacité de charge environnementale. Cette approche promeut la valorisation économique et sociale du capital naturel. Elle part du principe que l'économie ne peut se développer en portant atteinte à l'environnement et aux ressources et que la préservation des écosystèmes ne peut s'abstraire des opportunités et des contraintes de valorisation économique. Dans cette visée, la préservation et la valorisation des ressources sont considérées comme une base pour la compétitivité économique, l'équité sociale et permettent de contribuer à l'attractivité des territoires. Ainsi, la contribution à la lutte contre le réchauffement climatique en constitue une priorité, notamment pour l'atténuation des émissions de gaz à effet de serre liés au domaine énergétique (SNAT, 2010).

- **Une approche économique basée sur le développement de ZIDI,**

Dans son objectif économique, le développement des parcs et districts technologiques comme support des Zones Intégrées de Développement Industriel (ZIDI) constitue le support d'une économie locale pour le développement de la compétitivité et de l'attractivité des territoires.

- **Une approche environnementale basée sur la circularité des flux métaboliques,**

Ces dernières années la politique environnementale s'est orientée sur la recherche des mécanismes permettant d'instaurer les principes de l'économie circulaire pour la valorisation des déchets. En 2018 le MEER, s'est engagé dans la mise au point d'une feuille de route pour le développement d'une économie circulaire au plan légal et institutionnel, plaidant pour la révision de la législation relative à la collecte et l'élimination des déchets et son adaptation aux nouvelles exigences socio-économiques et environnementales (MEER, 2018⁹⁸).

- **Une approche partenariale, participative, coopérative,**

L'approche de planification et d'aménagement adoptée dans le cadre du SNAT est fondée sur le principe de *gouvernance participative* qui repose sur une logique partenariale, de concertation et de participation qui implique les quatre grands acteurs de l'aménagement du territoire : l'État, les collectivités territoriales, le secteur privé et les citoyens. Elle reconnaît l'importance du capital humain, du savoir et du savoir-faire, de la recherche scientifique, des technologies, mais surtout

⁹⁸ <http://www.meer.gov.dz/a/?p=1648>

de la mise en réseau des acteurs locaux pour le développement de projets et des liens de complémentarité et de solidarité entre les villes (SNAT, 2010).

En somme, cette double perspective nationale et locale et tous les éléments qu'elle propose représentent autant de perspectives susceptibles d'appuyer la prise en charge des projets symbiotiques dans le cadre de la politique de planification nationale définie dans le cadre du SNAT. Cependant cette politique, qui commence à façonner les politiques urbaines locales, n'est toujours pas opérationnelle sur le terrain. La lenteur dans l'actualisation des textes législatifs fait que la planification urbaine locale reste toujours régie par les anciens instruments de planification (PDAU, POS) définis dans le cadre de la loi N°90-29 relative à l'aménagement et l'urbanisme et de ses décrets exécutifs, qui ont été seulement partiellement mis à jour en 2005 pour introduire le développement durable dans la planification urbaine locale conformément aux nouveaux textes juridiques (loi n°01-20 du 12/12/01 relative à l'aménagement du territoire et au développement durable et loi n°10-02 portant approbation du SNAT). Ainsi, la lenteur dans la réalisation des programmes et les limites des prérogatives et des capacités de l'action publique locale en termes d'outils (politiques, institutionnels, organisationnels, de compétences humaines, de moyens financiers et souvent de moyens techniques), régies par les lois n°11-10 relative à la commune et 12-07 relative à la wilaya, entravent également la mise en œuvre de la stratégie, et cela malgré la prise de conscience des pouvoirs locaux des enjeux du développement durable (manifestée dans les initiatives de chartes communales non abouties) et des autorités centrales de la nécessité de doter les collectivités locales par les outils nécessaires (SNAT,2010 ; Berezowska-Azzag, 2016a).

Pour l'instant, au niveau des grandes villes algériennes, la seule expérience ayant permis l'entrée en vigueur de la démarche de développement durable dans la planification locale reste exceptionnellement, celle proposée par le nouveau PDAU d'Alger⁹⁹, qui prend des allures d'un Grand Projet Urbain.

- **Au niveau de la politique locale de planification à Alger**

Contrairement aux approches de planification qui régissent les villes du pays, la vision stratégique du PDAU d'Alger, aspire à la concrétisation d'une nouvelle politique pour la transformation d'Alger en éco-métropole. Elle reconnaît la complexité des problématiques urbaines interactives, qui ne peuvent être approchées par les mêmes méthodes que celles en vigueur actuellement, et propose une approche stratégique afin d'orienter le développement local vers un avenir meilleur (PDAU d'Alger, 2016). Cette nouvelle approche tisse toute une toile des outils de différents niveaux, dont le rôle consiste à emboîter les échelles spatiales et temporelles complémentaires, à diversifier les problématiques traitées et élargir le cercle des acteurs participant à l'élaboration des scénarios prospectifs de développement urbain (Berezowska-Azzag, 2006).

- **Au niveau de la stratégie de planification spatio-fonctionnelle à Alger**

Avec la nouvelle orientation vers la démarche de développement durable, une nouvelle approche systémique de la ville introduite dans la politique de planification urbaine dans le cadre du SNAT

⁹⁹ Au sujet des incohérences dans les processus, procédures et textes juridiques et réglementaires de planification urbaine algérienne, un mémoire de magister très intéressant a été élaboré à l'EPAU en 2011 (Voir Benamara , 2011) et un ouvrage dirigé par Rachid Sidi Boumedine (Boumedine, 2013).

s'est traduite dans le nouveau plan stratégique (PDAU) d'Alger par une vision de la planification spatiale qui ne se limite plus uniquement à la conception et la répartition des fonctions urbaines, du mode d'occupation du sol et de la délimitation des secteurs des extensions, mais qui considère la ville comme un ensemble vivant et envisage son développement comme une association holistique des domaines social, économique, environnemental et urbain, dont la prise en charge relève d'une démarche systémique (Berezowska-Azzag, 2006 ; PDAU d'Alger, 2016).

Cependant, dans le modèle territorial du PDAU considéré comme un « outil d'orientation stratégique », cette approche s'est traduite par le lancement de grands projets ponctuels et indépendants, marquant ainsi une incohérence dans la hiérarchie des niveaux d'intervention, en passant directement du stratégique à l'opérationnel. Et c'est dans cette perspective que nous avons inscrit notre proposition du Plan de Symbiose Urbaine locale "PL-SU_r-BC" à un niveau intermédiaire pour l'échelle intercommunale (voir Chapitre 3).

4.2.2.3 Possibilités d'intégration des SUR dans les outils de soutien à la stratégie

Les orientations du PNAE-DD et du SNAT se déclinent, selon les secteurs de développement, en plusieurs politiques de planification sectorielles liées à différents domaines. Chaque politique est régie par différents outils : juridiques, institutionnels, de coordination, de gestion, ..., etc. Nous nous limitons, dans le cadre de notre recherche, aux outils liés notamment à : (1) la planification énergétique, (2) la planification des déchets et (3) la planification urbaine.

- **Les outils juridiques et réglementaires**

La planification énergétique est régie par la loi 99-09, du 28 juillet 1999 relative à la maîtrise d'énergie. Cette loi constitue l'assise juridique principale de la politique nationale de maîtrise de l'énergie, elle définit les conditions et les moyens d'encadrement de sa mise en œuvre à l'échelle nationale (Loi, 99-09, 1999). Cette loi vise l'optimisation de l'énergie et la réduction de son impact sur l'environnement via :

- L'utilisation rationnelle de l'énergie aux différents niveaux de la production, de la transformation et de consommation finale dans les secteurs de l'industrie, des transports, du tertiaire et du domestique ;
- Le développement des énergies renouvelables, y compris la valorisation énergétique des déchets ;
- La réduction des émissions de gaz à effet de serre en milieu urbain.

Cette loi a été à l'origine du Programme National de Maîtrise de l'Énergie (PNME) conçu à l'horizon 2030¹⁰⁰, pour la mise en œuvre des orientations, des actions et des moyens en faveur de la maîtrise d'Énergie. (Décret exécutif n°04-149, 2004 ; APRU, 2015). Par ailleurs, dans le cadre du développement des énergies renouvelables, la loi n°04-09 du 14 août 2004 relative à la promotion des énergies renouvelables a été suivie par la mise en place du Programme National de

¹⁰⁰ Dont les modalités d'élaboration et de mise en œuvre sont fixées dans le Décret exécutif n°04-149 du 19 mai 2004.

Promotion des Énergies Nouvelles et Renouvelables¹⁰¹ et la création d'un observatoire national de promotion des énergies renouvelables"(SNAT, 2010 ; loi n°04-09, 2004).

La planification de la gestion des déchets est régie par la loi n°01-19 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets. Cette loi traite des aspects inhérents à la prise en charge du cycle des flux de déchets, dont les principes reposent sur : (i) la prévention et la réduction de la production et de la nocivité des déchets à la source ; (ii) l'organisation du tri, de la collecte, du transport et du traitement des déchets ; (iii) la valorisation des déchets par leur réemploi et leur recyclage ; (iv) le traitement écologiquement rationnel des déchets. Par ailleurs, elle prévoit la mise en place des dispositifs d'information et de sensibilisation des habitants sur les risques présentés par les déchets et leurs impacts sur la santé et l'environnement, ainsi que la mise en œuvre de mesures incitatives visant le développement et la promotion de systèmes de tri des déchets urbains. Des outils de gestion des déchets dont le PROGDEM (Programme National de Gestion Intégrée des Déchets solides Ménagers et le PNAGDES (Plan National de Gestion des Déchets Spéciaux) ont été mis ensuite en place et déclinés par des schémas locaux de gestion des déchets.

Les possibilités de planification de SU_r dans le cadre des politiques Énergie/Déchets,

Plusieurs contraintes entravent la mise en place de la "SU_r-BC" dans le cadre des lois mentionnées ci-dessus, qui ne sont pas adaptées aux exigences de planification de projets symbiotiques pour plusieurs raisons :

- **Non prise en charge de la relation systémique d'interdépendance entre les axes : Maitrise d'Énergie/Valorisation des déchets/ Énergie renouvelable :** bien que les lois n°01-19, 99-09, n°04-09 et n°01-19 sont favorables à la valorisation des déchets, l'optimisation d'énergie et le développement des énergies renouvelables, leurs orientations représentent des politiques indépendantes et linéaires qui ne prennent pas en charge la relation interactive entre ces axes.
- **Limites de la réglementation énergétique en matière des solutions d'optimisation d'énergie :** bien que la loi n°99-09 relative à la Maitrise d'Énergie prévoie plusieurs options d'optimisation, sa mise en œuvre reste principalement focalisée sur les solutions d'économie d'énergie et d'efficacité énergétique¹⁰² (Loi n°99-09). Par ailleurs, les énergies renouvelables restent encore très peu développées et le programme de leur réalisation se limite principalement au développement des tours solaires. Actuellement, ces énergies ne représentent que 0.03% de l'énergie produite et les projets prévus pour 2030 connaissent un grand retard (APRU, 2017).
- **Limites de lois de gestion de déchets en matière de valorisation :** malgré les orientations de la loi en matière de tri et de recyclage des déchets, la gestion des déchets est actuellement loin d'être efficace. Les actions liées à la valorisation énergétique des déchets restent à leur

¹⁰¹ Adopté en 2011 et révisé en 2015 pour donner lieu au Programme de Développement des Énergies Renouvelables et de l'Efficacité Énergétique (PDÉREE).

¹⁰² Principalement des normes d'isolation thermique dans les bâtiments et des exigences liées aux appareils fonctionnant à l'électricité, au gaz et aux produits pétroliers.

stade embryonnaire, elles ne représentent que 4.55% du total des 22000MW¹⁰³ prévu à l'horizon 2030 (PDEREE, 2016). L'organisation du tri est loin d'être abordée (loi n°01-19, 2001 ; SWEEP-Net, 2014).

- **Faiblesse d'application des lois** : les objectifs des lois concernées sont bien explicites via plusieurs exigences notamment liées à la programmation, le financement, le contrôle et le suivi de réalisation, voir même l'information et la sensibilisation des citoyens. Cependant, ces lois ne prévoient pas les outils nécessaires capables de gérer l'ensemble des axes de manière interactive.
- **Absence d'orientations liées à la spatialisation des stratégies à l'échelle urbaine** : les orientations introduites dans le cadre de la loi sur l'énergie pour la spatialisation de la stratégie énergétique dans la conception et la construction des bâtiments n'envisagent en aucun cas de s'intéresser aux aspects liés à l'aménagement urbain, à la territorialisation de la stratégie ou à son intégration dans les outils de planification urbaine. Par ailleurs, les schémas locaux de gestion des déchets mis en place dans le cadre de la loi n°01-19 sont effectués de manière centralisée et sectorielle. La localisation des équipements et la conception urbanistique des infrastructures techniques de distribution d'énergie et de collecte des déchets (réseaux unitaires centralisés) s'effectuent sur la base des grilles normative dépassées, qui ne tiennent pas, ou peu, compte des exigences du métabolisme urbain circulaire.
- **Absence de suivi et de vérification de la mise en œuvre des lois dans la conception et la réalisation des projets** : de nombreux projets sont réalisés sans le moindre respect des lois, et cela malgré l'existence des textes législatifs (normes d'efficacité énergétiques, bilans énergétiques des bâtiments, audits énergétiques, études d'impact) (GIZ, 2014).

La révision de cette législation pourrait être envisagée dans l'avenir, dans le cadre de la feuille de route lancée par le MEER pour le développement de projets d'économie circulaire (MEER, 2018¹⁰⁴).

- **Le cadre institutionnel et les organismes de coordination**

En ce qui concerne la planification énergétique, deux ministères sont directement impliqués dans la maîtrise d'énergie, le Ministère de l'Énergie¹⁰⁵ et le Ministère des Énergies Renouvelables

¹⁰³ C'est la puissance d'origine renouvelable à installer à l'horizon 2030, dans le cadre du programme des énergies renouvelables (photovoltaïque, éolienne à grande échelle, solaire thermique ainsi que les filières de la biomasse, de la cogénération et de la géothermie). Ce programme est appuyé par le programme d'efficacité énergétique visant des économies d'énergies à l'horizon 2030 et dont l'objectif est d'atteindre : un gisement d'économie d'énergie de l'ordre de 63 millions de TEP (pour l'ensemble des secteurs : bâtiment et éclairage public, transport, industrie), une puissance évitée de plus de **1500 MW** et une réduction de plus de **193** millions de tonnes de CO₂ (<https://www.energy.gov.dz/> - consulté le 27/05/2022).

¹⁰⁴ <http://www.meer.gov.dz/a/?p=1648>

¹⁰⁵ Suite au rattachement du département des Mines à celui de l'Énergie, dans le cadre du remaniement ministériel partiel opéré le 21 février 2021, le ministère est désigné Ministère de l'Énergie et des Mines (MEM).

et de la Transition Énergétique¹⁰⁶ qui jusqu'à tout récemment constituait un département rattaché au Ministère de l'environnement.

Par ailleurs, plusieurs organismes de coordination sont mis en place sous tutelle des deux ministères afin de faciliter la mise en œuvre de la politique énergétique, dont :

- **Le Comité Intersectoriel de la Maîtrise de l'Énergie (CIME)**, un organe consultatif placé auprès du Ministère de l'Énergie chargé d'organiser la concertation et le développement du partenariat entre les acteurs directs (publics et privés) de la maîtrise de l'énergie et de faire de la maîtrise de l'énergie un domaine partagé (APRUE, 2015).
- **L'Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Énergie (APRUE)** est un établissement public à caractère industriel et commercial créée par décret présidentiel en 1985, placé sous la tutelle du Ministère de l'Énergie et des Mines. Elle a pour mission principale la mise en œuvre de la politique nationale de maîtrise de l'énergie, et ce à travers la promotion de l'efficacité énergétique (aprue.org.dz).
- **L'Agence Nationale des Changements Climatiques (ANCC)**, créée par décret exécutif n°05-375 du 26 septembre 2005, est un établissement public à caractère administratif doté de la personnalité morale et de l'autonomie financière. Elle est placée sous la tutelle du ministre chargé de l'environnement. L'Agence est administrée par un conseil d'orientation, dirigée par un directeur général et dotée d'un conseil scientifique.
- **Le Centre National des Technologies de Production plus Propre (CNTPP)**, un établissement public à caractère industriel et commercial¹⁰⁷ placé sous la tutelle du MEER, il est l'un des outils qui rentrent dans le cadre de la mise en œuvre de la politique nationale en matière de protection de l'environnement, notamment pour la réduction des formes de pollutions et de nuisances industrielles à la source et une utilisation écologiquement rationnelle des ressources naturelles (eau, énergie et matières premières). Le CNTPP joue le rôle de *coordinateur* et de catalyseur d'un marché national de production propre (cntppdz.com).

Concernant la planification de la gestion des flux de déchets, et conformément aux dispositions de la loi 01-19 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets, ce sont le Ministère de l'Environnement (ME) et celui de l'Intérieur, des Collectivités Locales et d'Aménagement du Territoire (MICLAT) qui sont directement impliqués dans la gestion des déchets urbains (DMA) au niveau central.

Le ME est responsable de la mise en application du Programme National de Gestion des Déchets Municipaux (PROGDEM), dont les tâches sont décentralisées au niveau local à la direction de l'environnement de la Wilaya d'Alger ; et le MICLAT assure l'appui financier et logistique en direction des municipalités (APC) par l'octroi de subventions annuelles. Des organismes de coordination sont créés sous tutelle du ME, dont :

¹⁰⁶ Les énergies renouvelable étaient rattachées au Ministère de l'Environnement (MEER), jusqu'au remaniement opéré dans le gouvernement le 23 juin 2020, qui a donné lieu à la création du Ministère de la Transition Énergétique, associée aux Énergies Renouvelables (MTEER).

¹⁰⁷ Créé par le décret exécutif n° 02 – 262 du 17 Août 2002.

- **L'Agence Nationale des Déchets (AND)** une entreprise publique à caractère industriel et commercial (EPIC), chargée d'assister les collectivités locales dans le domaine de la gestion des déchets, élaborer une base de donnée sur les déchets et contribuer à la réalisation d'études, recherches et projets démonstratifs, ainsi que à la mise en œuvre de programmes de sensibilisation et d'information (AND, <https://and.dz/>).
- **Le Conservatoire National des Formations en Environnement (CNFE)** : établissement public à caractère industriel et commercial placé sous la tutelle du Ministère chargé de l'Environnement, créé en 2002, le CNFE est implanté sur tout le territoire national à travers ses annexes dénommés « Maisons de l'Environnement ».
- **L'Observatoire National de l'Environnement et du Développement Durable** est un établissement public à caractère industriel et commercial (EPIC), créé par décret exécutif n°02-115 du 3 avril 2002.

Bien que toutes ces structures institutionnelles constituent une opportunité pour l'instauration d'une démarche synergique entre acteurs, la cohérence d'action entre eux, introduite dans le SNAT, n'est pas réellement opérationnelle. Leurs diversités, la divergence de leurs domaines d'intérêt et l'incohérence des actions entre eux constituent un véritable obstacle, notamment devant l'instabilité des tutelles chargées de la question environnementale¹⁰⁸ et de la centralisation des politiques et des services de planification et de gestion. L'introduction dans la législation d'une obligation d'évaluation et de mise en œuvre des métabolismes circulaires en ville dans l'objectif de maîtrise à la fois de l'énergie et des émissions carbone pourrait constituer un ciment d'action conjointe de ces institutions au niveau local.

- **Les outils d'accompagnement financier et foncier des programmes locaux**

Concernant les aides financières, les projets de développement locaux sont généralement financés sur le budget de l'État avec une prise de risque d'insuffisance des ressources financières et du non-aboutissement de projets dans les délais. La structure des finances locales ne permet pas, pour l'instant, aux communes de profiter de leurs richesses propres, la réforme de ce volet est en cours de préparation dans le cadre de la refonte de la loi sur les collectivités locales (Rahmani, 2003 ; Berezowska-Azzag, 2012 ; Rahmani 2017).

Concernant les incitations financières et fiscales, l'État a depuis quelques années mis en place des dispositifs d'incitation à la création d'entreprises intervenant dans la récupération et le recyclage de déchets, portant notamment sur (Hammadou, 2019) :

- **Des incitations fiscales**, prévues dans le cadre de la loi de finances pour 2014 (Article 32), sous forme d'exonération temporaire en matière d'impôt au profit des personnes physiques qui activent dans le secteur de la récupération de déchets recyclables.
- **Des dispositifs de soutien à l'emploi et au développement de l'investissement**, prévues dans le cadre du Code des Impôts Directs et Taxes Assimilées (CIDTA) selon les formules ANSEJ, CNAC et ANGEM (articles 13 sur IRG et 138 sur IBS) et la loi 16-09 du 03 août 2016, régissant le développement de l'investissement en Algérie, sous formes de Franchise TVA (pour les achats d'équipements), d'exonérations de la taxe foncière (sur les propriétés

¹⁰⁸ Voir tableau 4.2.

bâties ou non bâties servant d'assiette au projet) et d'exonération complémentaire partielle en cas d'extension des capacités de production.

- **Une taxe d'enlèvement d'ordures ménagères (TEOM)**, qui prévoit le remboursement du montant de cette taxe à concurrence de 15% pour tout ménage qui remet au niveau de l'installation de traitement des déchets compostables et ou recyclables.

Cependant, plusieurs contraintes entravent la mise en œuvre des dispositifs mis en place, liées notamment à la non publication de textes réglementaires d'application, l'indisponibilité du foncier dédié à ces activités spécifiques, qui ne sont même pas considérées comme activités de production de biens¹⁰⁹, sans parler des blocages et lenteurs bureaucratiques au niveau des banques pour le financement des projets. Ces dispositions restent insuffisantes pour encourager la mise en place de projets symbiotiques, notamment en l'absence de mesures fiscales qui prennent en charge: l'incitation des industries productives au remplacement de la matière première par des déchets recyclés, d'autant plus que les incitations liées à la valorisation de la chaleur résiduelle et à la substitution d'énergies fossiles par des énergies renouvelables ne sont pas encore envisagées.

Un Arrêté ministériel du 02 février 2014 fixant les tarifs d'achat garantis pour la surproduction des énergies renouvelables, notamment solaire et éolienne (JO n°23/2014), pourrait être amendé dans l'avenir pour prendre en charge les énergies issues de symbioses industrielles et urbaines.

Concernant le co-financement, la loi n° 01-20 du 12 décembre 2001 relative à l'aménagement et au développement durable du territoire a prévu la mise en place de contrats de développement associant l'État et une ou plusieurs collectivités territoriales, avec un ou plusieurs agents et partenaires économiques, dans des actions et programmes définis à partir des schémas directeurs et des plans d'aménagement, pour des périodes déterminées. Cependant, cette loi n'a pas été appliquée faute de l'absence de textes réglementaires définissant les conditions d'élaboration des contrats de co-financement. Pourtant, le potentiel d'activités industrielles qui existe permet de créer des partenariats pour le co-financement des projets symbiotiques, notamment dans le cadre de la logique partenariale du SNAT.

- **Les outils politiques et institutionnels locaux**

Bien que l'approche du SNAT, marque bien la rupture avec les méthodes centralisées et les anciennes directives de l'aménagement et considère dans sa stratégie la nécessité de soutenir les collectivités locales dans leurs programmes de mise en œuvre et de gestion des projets de développement à l'échelle locale ¹¹⁰, ces derniers souffrent toujours du manque des structures, des moyens et des procédés nécessaires à la mise en œuvre de programmes locaux efficaces permettant la prise en charge des enjeux climatiques, de la préservation des ressources naturelles et du respect de l'environnement. Par ailleurs, la concrétisation des projets de développement locaux se trouve aussi confrontée aux difficultés de *coordination* qui caractérisent les relations entre les différents acteurs. Chaque secteur est segmenté en différents services, différentes directions, qui ne

¹⁰⁹ Les dispositions de l'article 75 de la loi de Finance pour 2015 énumèrent tous les créneaux d'activités liés à la production de biens à l'exception de la récupération de déchets recyclables.

¹¹⁰ Notamment pour la mobilisation de l'ensemble des opérateurs économiques et des acteurs sociaux, identification des enjeux locaux, les mesures à prendre, la réalisation des plans et des documents d'urbanisme, la sensibilisation, etc.

communiquent pas forcément ensemble, même s'ils sont concernés par un même enjeu. Le processus de concertation n'intègre les habitants et usagers qu'en dernière étape (Berezowska-Azzag, 2012).

Tous ces éléments conjugués au manque des compétences dans les domaines de la planification urbaine et environnementale stratégique et la faiblesse des formations à ses méthodes sont à l'origine des décalages entre les instruments développés (juridiques, de planification, de gestion...) et la concrétisation des projets sur terrain, notamment en l'absence d'Agenda 21.

En revanche, le PDAU d'Alger, dans son pilier (5) de Gouvernance, propose une panoplie d'outils qui pourraient soutenir l'encadrement des moyens financiers, l'intégration de la société et la mise en collaboration transversale des secteurs de services et d'activités urbaines.

- **Les outils organisationnels et de gestion**

Pour mettre en œuvre des projets symbiotiques, les collectivités locales sont aussi confrontées à la faiblesse de culture de valorisation et de tri sélectif des déchets. Pour y remédier, le PDAU d'Alger propose des outils organisationnels et d'opérationnalisation (dont le bureau virtuel, le Système d'Information Géographique et la charte des espaces publics) qui peuvent soutenir l'intégration de la société dans le cadre de projets symbiotiques en facilitant la communication, la diffusion et le partage de l'information avec les acteurs de la société qui ont la connaissance du territoire.

- **Les services de gestion de l'énergie et des déchets**

Les projets symbiotiques sont aussi confrontés à la centralisation des réseaux techniques qui caractérise les services de fourniture d'énergie et de gestion des déchets au niveau d'Alger, aux mains d'acteurs uniques.

Pour les services de fourniture d'Énergie, Sonelgaz¹¹¹, opérateur historique dans le domaine de la fourniture des énergies électrique et gazière en Algérie est l'acteur unique auquel est confié le monopole de la production, le transport, la distribution, l'importation et l'exportation de l'électricité, ainsi que celui de la distribution et de la vente de gaz naturel à Alger et dans tout le pays (Sonelgaz, 2021). Sonelgaz est placé à la fois en position de producteur/distributeur d'énergie et d'acteur promouvant la réduction de la consommation d'énergie. Sa contribution dans la concrétisation de la politique énergétique nationale est à la mesure des importants programmes réalisés, en matière d'électrification rurale et de distribution publique gaz (Sonelgaz, 2021).

Pour les services de gestion des déchets, au niveau de toute la wilaya d'Alger, ils relèvent de la responsabilité des seuls opérateurs publics NETCOM et EXTRANET¹¹², Établissements Publics à Caractère Industriel et Commercial (EPIC) sous tutelle de la wilaya d'Alger, dont la mission

¹¹¹ Établissement Public à caractère Industriel et Commercial (EPIC) présent partout sur le territoire national, jusque dans les zones les plus éloignées, en assurant un taux de pénétration d'électricité de plus de 99 %, un taux de pénétration de gaz de plus de 60 % (<https://www.sonelgaz.dz/>).

¹¹²NETCOM, qui prends en charge le territoire d'étude et les communes environnantes a été créé par arrêtés de wilaya sous le N° 449/SAGC/ du 07/06/1995, conformément aux dispositions du décret 83/200 du 19/06/1983 portant conditions de création, d'organisation et de fonctionnement de l'Établissement Public à Caractère Industriel et Commercial EPIC (AND, 2017). EXTRANET a été créé sous le même statut d'EPIC, par arrêté interministériel du 26/01/2014, faisant suite à la délibération de l'APW d'Alger N° 13/04 du 24/04/2013.

consiste à la collecte des déchets urbains ainsi que le nettoyage des rues et des places publiques (balayage des trottoirs, lavage des rues et places publiques ainsi qu'installation des équipements de pré-collecte). Le premier prend en charge les 26 communes du centre et l'autre couvre les autres 31 communes de la wilaya d'Alger [Figure 4.10]. Bien que ces EPICs disposent de moyens humains et matériels importants, les engins et les équipements de collecte dont elles disposent ne sont pas adaptés à la collecte sélective. Le périmètre de leur gestion dépasse l'échelle locale au sens où ces services opèrent à l'échelle de l'aire métropolitaine d'Alger. Ainsi, le manque des procédés technologiques efficaces, des moyens humains et des infrastructures permettant de faciliter la collecte sélective, le tri et le transport, constituent un obstacle pour la mise en œuvre des projets symbiotiques.

Concernant les filières de **valorisations des déchets urbains**, selon l'AND le nombre de recycleurs et de récupérateurs enregistrés au niveau de toute la wilaya d'Alger ne représente que 120 microentreprises (entre récupérateurs 72 et recycleurs 47) [Figure 4.11]. Leur répartition à travers les communes de la wilaya d'Alger ne représente qu'un nombre très réduit par commune, ne dépassant que d'une manière exceptionnelle le taux de 10% (cas des communes de Rouïba 16%) (AND, 2017). Dans le cas de notre territoire d'étude l'industrie de valorisation des déchets recyclables est inexistante. Les seules expériences citées sont la station de compostage octroyée à EDEVAL au niveau de la pépinière d'El Alia (Aliouche-Hocine, 2019) et la méthanisation des déchets urbains stockés à la décharge d'Oued Smar durant sa période de fonctionnement, après sa fermeture définitive et sa transformation en parc urbain.

Cependant, cette organisation ne prend pas en considération les pratiques informelles de récupération des déchets et leur commercialisation comme matière secondaire (notamment des métaux) (SDGDI, 2010).

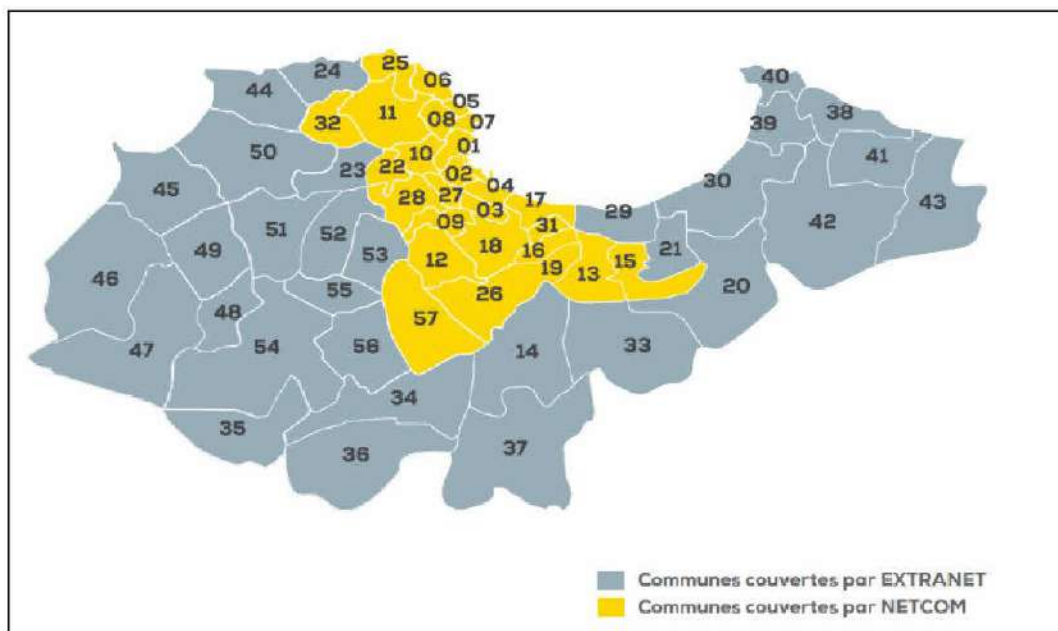


Figure 4. 10 : Répartition des communes de la Wilaya d'Alger par EPICs de collecte des déchets (AND, 2017)

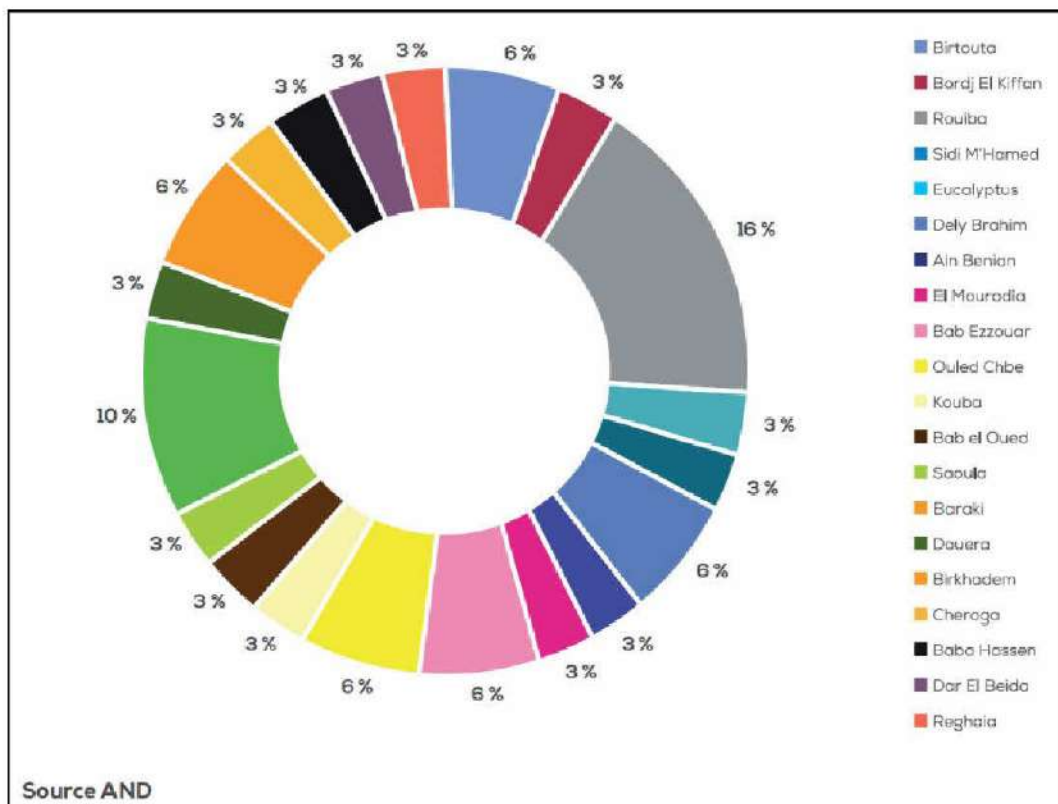


Figure 4. 11 : Répartition des Enterprise de valorisation des déchets par commune (AND, 2017)

4.2.2.4 Possibilités d'intégration des SUR dans le processus de planification urbaine

Le PDAU prend en charge la préservation des ressources naturelles, la gestion intégrée des déchets, l'énergie, le développement des activités urbaines (résidentielles, industrielles, commerciales, équipements socio-culturels, éducatifs et de recherche scientifique et technologique, agricoles), ainsi que les infrastructures et les réseaux. Cependant, du point de vue de fonctionnement du système urbain, son modèle territorial reste linéaire, limité à la planification statique de l'occupation des sols et la localisation des activités et des équipements structurants avec de grands réseaux techniques urbains. Cette contrainte est d'autant plus lisible dans l'organisation linéaire et centralisée des infrastructures et réseaux adaptés à l'enfouissement des déchets et la distribution de l'Énergie fossile.

Par ailleurs, le MU n'est pas aujourd'hui intégré dans les processus de planification urbaine et même environnementale. En revanche le PDAU présente l'avantage de son approche ouverte sur l'intégration de nouvelles méthodes et outils de programmation, de planification, d'aménagement urbain et d'aide à la décision .qui pourraient soutenir l'intégration de la SUR dans le processus de planification urbaine (PDAU, 2016).

Dans cette optique, des projets urbains locaux symbiotiques pourraient être envisagés pour prendre en charge le MU à des échelles territoriales et urbaines stratégiques et opérationnelles de planification, qui pourraient être intégrées dans les plans locaux de SUR-BC via la définition des Unités Métaboliques Fonctionnelles tel que proposé dans le plan stratégique de Sierra Calderona de Valence en Espagne (Gallan et Perrotti, 2019). Il s'agirait en effet d'envisager dans le cadre de ces projets, la prise en charge des infrastructures urbaines dans l'organisation, l'aménagement et

la conception de l'espace urbain local, à l'exemple de la ville de Barcelone qui montre à quel point les infrastructures manifestent une condition essentiellement finie dans la planification et la gestion du MU en mettant en évidence leur importance dans la définition, l'organisation et la gestion de l'espace urbain. Ce dernier constitue le support qui facilite les interrelations coordonnées entre les activités urbaines et leur environnement local, à partir duquel elles reçoivent des ressources à consommer et vers lequel elles fournissent les ressources qu'elles produisent. C'est aussi, le support environnemental et cognitif qui traduit la complexité d'un processus continu d'échange, de transformation et de réutilisation dans lequel le cycle métabolique urbain en boucle joue un rôle clé (Acebillo, 2012).

4.2.3 Intégration du MU dans le système de planification urbaine locale d'Alger

4.2.3.1 Méthode d'évaluation

En s'appuyant sur les éléments dégagés dans les étapes précédentes, cette étape consiste à évaluer les capacités du système de planification locale en vigueur à Alger, en termes de prise en charge des projets de "SU_r-BC" en comparaison avec le modèle optimal. Cette évaluation est effectuée à l'aide des deux outils de diagnostic et d'auto-évaluation : la méthode SEPO et la Grilles d'auto-évaluation, et repose sur l'identification des critères et des indicateurs d'évaluation (Annexe 4).

- **La méthode SEPO**

La méthode SEPO nous permet, à partir des éléments clés tirés de la lecture rétrospective (*Supra*), de déterminer les aspects positifs et négatifs du système de planification d'Alger et en construire une vision d'avenir pour la planification par la "SU_r-BC" (regard prospectif). En effet, les aspects positifs et négatifs du passé, du présent et du futur sont à la base des quatre questions clés de la méthode SEPO, lesquels peuvent être analysés dans leur dimension temporelle la plus large [Figures 2.B, 2.C- Annexe 2] (Berezowska-Azzag, 2012 ; KEK-CDC, 2015) :

Selon un **regard rétrospectif**, en se posant les questions liées aux :

- *Succès*/ Quels étaient les succès, les réussites obtenues en qualité et en quantité, les objectifs atteints et les forces visibles dans l'action publique, qu'est-ce qui a bien fonctionné et contribué au succès ?
- *Échecs*/ Quels étaient les échecs, les déficits ? Qu'est-ce qui a mal fonctionné ? Quelles étaient les impasses et les difficultés du système de planification ?

Selon un **regard prospectif**, en se posant les questions liées aux :

- *Potentialités*/ Quelles possibilités l'avenir nous offre-t-il ? Quelles sont les tendances, les chances, les idées et désirs, les capacités non exploitées à mettre à profit ? Quelles opportunités se présentent-t-elles, et lesquelles d'entre elles voulons nous saisir ?
- *Obstacles*/ À quels défis devons-nous faire face dans l'avenir ? Quelles seront les difficultés, les obstacles, les résistances, les oppositions et les conditions défavorables qui peuvent se présenter dans le futur ? Comment agissons-nous en vue d'obstacles et de dangers ?

Les réponses à ces questions seront alors présentées sur les quatre fenêtres de la grille SEPO [Tableau 4.5] et [Figure 4.13]

- **La méthode d'auto évaluation**

La Grille d'auto-évaluation nous permet d'évaluer les capacités du système de planification urbaine en vigueur à Alger à intégrer les projets symbiotiques, par référence au système de planification par la SUr. L'outil se présente sous la forme d'une grille de 3 colonnes. La colonne du milieu est une échelle de notation de 0 à 4. Les deux colonnes situées aux deux extrémités présentent les deux situations à comparer) [Figure 4.12] (Voir aussi l'exemple dans la Figure 2.D en Annexe 2)(FIDAFRIQUE, 2005).

L'organisation de la grille permet de situer un scénario tendanciel par rapport un scénario idéal, où il faut indiquer une note sur une échelle de graduation définie de (de 0 à 4) . La note maximale correspond au scénario optimal (4 points).

- Si les conditions ne sont pas remplies par l'indicateur du scénario tendanciel, la note est 0;
- Si l'indicateur du scénario tendanciel remplit les conditions, la note idéale 4 est reportée ;
- Si l'indicateur du scénario commence à remplir les conditions, la note varie entre 1 et 4 ;
- L'addition des scores des conditions de planification constitue le total rempli par le scénario.

La sommation des notes en bas de colonnes correspond à un **indicateur de capacité d'intégration indiquant** le score du scénario tendanciel par rapport à celui du scénario optimal ($4 \times 25 = 100$). Le résultat sera traduit en (%). Cette approche nous permet de décider de l'amplitude des transformations nécessaires à l'intégration des projets symbiotiques et des possibilités de leur évolution future.

Système de planification urbaine à Alger	Échelle d'évaluation					Système synergique optimal pour la planification par la Symbiose Urbaine locale
	0	1	2	3	4	
Politiques et outils (Scenarion initial)	Non favorable	Contraignant	Partiellement favorable	Favorable	Optimal	Politiques et outils (Scenarion Optimal)

Figure 4. 12 : Échelle d'évaluation du système de planification locale d'Alger

- **Critères et indicateurs d'évaluation**

La liste des critères d'évaluation établie inclut les cadres stratégiques et leurs outils identifiés pour la description des conditions de planification dans les deux situations (optimale et tendancielle). Ces cadres se déclinent en 3 dimensions d'évaluation, qui sont décomposées en critères puis en indicateurs décrivant les deux scénarios. À titre d'exemple, la dimension « Outils de soutien et d'appui » est approchée par 3 critères : Outils juridiques, Outils d'accompagnement foncier et financier, Cadre institutionnel et organismes de coordination. Chacun de ces critères se décline en 1 à 5 indicateurs [Tableau 4.4]. Au total, la grille comporte 13 critères et 25 indicateurs.

4.2.3.2 Capacités du système de planification d'Alger en termes d'intégration des projets symbiotiques

L'évaluation du scénario tendanciel nous a permis de dégager les éléments positifs et négatifs déterminants du système de planification urbaine en vigueur à Alger et déterminer ses capacités d'intégration des projets symbiotiques. La grille SEPO dans le **tableau 4.5** et la **figure 4.13** indique les éléments déterminants de succès, d'échec, de potentialités et d'obstacles du contexte systémique. Le **tableau 4.6** présente le score global du scénario tendanciel en fonction des résultats comparatifs au scénario optimal visé.

Dimensions d'intégration	Critères d'évaluation	n°	Indicateur	
1. Stratégie nationale et locale de planification urbaine et environnementale	Cadre stratégique national et international	1.	Orientation politique	
		2.	Engagement international	
		3.	Coopération internationale	
	Cadre politique	4.	Orientation politique	
		5.	Orientation socio-économique	
		6.	Orientation environnementale	
		7.	Orientation de planification spatiale	
2. Outils de soutien et d'appui	Outils juridiques	8.	Lois/Décrets exécutifs	
	Outils d'accompagnement foncier et financier	9.	Aides financières de l'état	
		10.	Incitations financières	
		11.	Incitation/Dissuasion fiscale	
		12.	Co-financement	
		13.	Maitrise foncière	
		14.	Structure institutionnelle	
	Cadre institutionnel et les organismes de coordination	Outils Politiques	15.	Programme d'actions local (ambitions/objectifs et orientations stratégiques)
			16.	Médiatisation
		Outils Institutionnels	17.	Coordinateurs/Organisateurs/Contrôleurs (Mobilisation institutionnelle)
			18.	Moyens humains et matériels/outils technologiques de coordination/Monitoring et évaluation
		Outils de gestion	19.	Évaluation
			20.	Services de gestion des réseaux et Infrastructures
21.			Information, Sensibilisation, Éducation, Formation	
Outils Organisationnels	22.	Coopération Production -Recherche		
	23.	Accords contractuels		
	24.	Éléments-guides de conceptions des aménagements (référentiels, normes)		
	25.	Processus d'élaboration/Diagnostic, Programmation, Études de faisabilité, Aménagement, Monitoring		
3. Outils de mise en œuvre	Outils de planification spatiale, de conception et d'aménagement			

Tableau 4. 4 : Critères et indicateurs d'évaluation des conditions de planification par la SUR à Alger

L'évaluation globale des résultats d'analyse SEPO a permis de relever, sur les 70 aspects positifs et négatifs identifiés, 15 succès, 23 échecs, 19 potentialités et 13 obstacles. Ces résultats sont reportés en termes de pourcentages dans le cadran de la grille SEPO [Figure 4.13].

	Regard rétrospectif	Regard prospectif	
Positif	Succès 21,4 %	Potentialités 27,1%	48,5%
Négatif	Échecs 32,9 %	Obstacles 18,6%	51,5%
	-11,5%	+ 8,5%	

Figure 4. 13 : Évaluation globale du système de planification locale à Alger avec la grille SEPO.

Le poids des échecs, très marqué sur le plan stratégique et opérationnel notamment dans les outils de soutien et d'appuis (juridiques, institutionnels et d'accompagnement financier et foncier) et les outils de mise en œuvre locaux (politiques, organisationnels, de gestion et de planification spatiale), constitue certes un problème et témoigne du retard pris dans la modernisation du système de management urbain algérois, mais en même temps constitue aussi un gisement des potentialités de rattrapage. Autre constat, c'est que même si les échecs sont rattrapables en exploitant les potentialités, le poids des obstacles conjugué à celui des échecs n'augure pas bien pour l'intégration de la SUr à Alger, faute de la centralisation des politiques de planification, des décalages entre les objectifs affichés et leur mise en œuvre sur le terrain, des approches sectorielles adoptées, de la faible application des textes législatifs, du manque de suivi et de vérification, etc.

Cadres et outils	Critères d'évaluation	n°	Indicateur	Succès	Échecs	Potentialités	Obstacles
1. Stratégie nationale et locale de planification urbaine et environnementale	Cadre stratégique national et international	1.	Orientation politique	Stratégie et politique nationale centrée sur le DD du pays, qui vise la décentralisation	Les orientations de décentralisation ne sont pas opérationnelles dans la réalité. La politique adoptée est centralisée en mode Top-Down.	Possibilités de décentralisation notamment avec la volonté de renforcer la compétitivité et l'ouverture internationale des grandes villes dans un contexte international orienté sur la décentralisation.	/
		2.	Engagement international	Engagement du pays dans la CCNUCC et ses COPs et ratification de conventions internationales	/	Suivi et vérification par les Nations Unies de la bonne application des objectifs des conventions internationales adoptées	Faiblesse des outils de mise en œuvre de cet engagement
		3.	Coopération internationale	Coopération internationale pour la mise en œuvre de projets de DD	/	Possibilités de développement des coopérations internationales pour la mise en œuvre de projets d'atténuation du CC dans le cadre du SNAT, notamment pour appropriation des technologies et du savoir faire	/
	Cadre politique	4.	Orientation politique	Politique inscrite dans le cadre de la politique nationale d'Environnement et de Développement Durable	Décalage entre objectifs affichés et mise en œuvre sur le terrain.	Possibilité de décentralisation soutenue par le SNAT et le PDAU d'Alger pour l'instauration d'une gouvernance locale selon laquelle l'état assure le soutien et la régulation.	Limite des prérogatives et des capacités de l'action publique locale.
		Cadre socio-économique	5.	Orientation socio-économique	Une politique économique qui cherche à promouvoir la valorisation économique et sociale du capital naturel, s'affranchir de la dépendance aux Énergies fossiles et promouvoir les économies d'énergie, des énergies renouvelables ainsi que la promotion des ZIDI	Une approche sectorielle cloisonnée qui n'intègre pas la société civile dans la mise en œuvre des projets de développement	/
	Cadre environnemental		6.	Orientation environnementale	Politique environnementale qui cherche à instaurer les principes de circularité pour la valorisation des déchets	Approche linéaire, cloisonnée, qui considère séparément les services d'approvisionnement en ressources et de gestion des rejets qui ne prend pas en charge l'interaction entre déchets/énergie/planification urbaine	Engagement du ministère de l'Environnement dans le développement de projets favorables à l'émergence de l'économie circulaire
		Cadre de planification spatiale	7.	Orientation de planification spatiale	Approche écosystémique de planification spatiale (qui intègre les domaines social, économique, environnemental et urbain) du PDAU d'Alger	La planification spatiale du PDAU se limite à des projets ponctuels et indépendants, marquant une incohérence dans la hiérarchie des niveaux d'action en passant du stratégique à l'opérationnel	Possibilité d'intégration d'un Plan « Symbiose Urbaine locale » à un niveau intermédiaire pour l'échelle intercommunale
2. Outils de soutien et d'appui	Outils juridiques		8.	Lois/Décrets exécutoifs	Les lois sur la gestion des déchets, la maîtrise d'énergie et le développement des énergies renouvelables favorables à la valorisation des déchets et le développement des énergies renouvelables	Faible application des textes législatifs, manque de suivi et de vérification	Possibilité de révision de ces lois dans le cadre de la feuille de route du ME pour une économie circulaire et de l'apparition de nouveaux textes pour la mise en place d'une économie circulaire
		9.	Aides financières de l'état	/	Projets financés sur le budget de l'état avec prise de risque d'insuffisance des ressources financières et du non aboutissement de projets dans les délais	Possibilités d'obtention des aides internationales pour le financement des projets dans le cadre des coopérations internationales pour l'atténuation du CC/ Existence d'un potentiel de ressources fiscales qui peut être obtenu à partir de l'activité industrielle	/
	Outils d'accompagnement foncier et financier	10.	Incitations financières	Les dispositifs de soutien à l'emploi et au développement de l'investissement prévus dans le cadre des Formules Ansej, CNAC et Ansem	Éloignement et lenteurs bureaucratiques au niveau des banques pour le financement de ses projets	/	/
		11.	Incitation/dissuasion fiscale	Exonération temporaire en matière d'impôt au profit des personnes physiques qui activent dans le secteur de la récupération de déchets recyclables/Taxe d'enlèvement d'ordures ménagères	Non-publication de textes réglementaires d'application	/	Absence de mesures incitatives des industries productives pour le remplacement de la matière première par des déchets recyclés, la récupération de chaleur ... / et absence de mesures incitatives aux habitants pour la substitution de l'énergie fossile par l'énergie renouvelable
		12.	Co-financement	/	Absence de contrats de co-financement	Potential industriel à rentabilité importante qui constitue une source de revenus importants pour le financement des projets / Possibilité de mise en place des procédures de contractualisation et de montage financier participatif, dans le cadre de la logique partenariale du SNAT	Absence de textes réglementaires définissant les conditions d'élaboration des contrats de co-financement
Cadre institutionnel et les organismes de coordination	13.	Maîtrise foncière	/	Rareté du foncier	Il existe des friches et de terrains récupérables	/	
	14.	Structure institutionnelle	Potential institutionnel important dans les domaines de l'Énergie et de la gestion des déchets	Divergence des domaines et l'incohérence des actions	Possibilité de mise en cohérence prévue dans le cadre du SNAT	Instabilité des tutelles à l'échelle nationale et faiblesse des institutions de la gestion environnementale à l'échelle locale	
3. Outils de mise en œuvre	O. Politiques	15.	Programme d'actions local (ambitions/objectifs et orientations stratégiques)	Une politique ambitieuse en termes de gestion des déchets, maîtrise d'Énergie, Développement des Énergies renouvelables et Transition Énergétique, atténuation des CC, nourrie par une prise de conscience des enjeux liés à l'épuisement des ressources et du CC.	Échec de la politique nationale de DD dans la mise en place d'agenda 21 locaux	Possibilité de soutien de la politique locale par le guiliver de gouvernance du PDAU et des outils qu'il propose pour faciliter la mise en œuvre des projets	Faiblesse des outils politiques et institutionnels locaux et insuffisance des moyens de mise en œuvre notamment en l'absence d'Agendas 21 locaux, lents dans la réalisation des programmes
		16.	Médiation	/	Absence de stratégie de médiation des ambitions et objectifs stratégiques en matière de développement local durable	Disponibilité des outils de médiation	/
	O. Institutionnels	17.	Coordinateurs/Organisateurs/ Contrôleurs (Mobilisation institutionnelle)	Reconnaissance du SNAT de la nécessité de soutenir les collectivités locales dans leurs programmes de mise en œuvre et de gestion des projets locaux	Difficultés de coordination due à l'approche sectorielle et linéaire qui caractérise la relation entre acteurs concernés	Les dispositifs de coordination prévus dans le cadre du PDAU d'Alger peuvent soutenir la mise en collaboration transversale des secteurs de services et d'activités urbaines tels que le transport, l'habitat, l'industrie, l'agriculture, la gestion des déchets, l'approvisionnement en eau et en énergie	Manque de compétences et faiblesse de formation dans les domaines de planification urbaine et environnementale stratégiques
		O. de gestion	18.	Moyens humains et matériels/outils technologiques de coordination/Monitoring et évaluation	/	Insuffisance des moyens matériels et technologiques/	Potential humain important/Possibilité de création de ressources financières locales dans le cadre des relations partenariales
	19.		Évaluation	/	Absence de bilans de suivi et d'évaluation des programmes (rapports, dispositif de suivi...)	/	/
	20.		Services de gestion des réseaux et des infrastructures	/	Centralisation des services de fourniture d'Énergie et de gestion des déchets aux mains d'opérateurs uniques (SONALGAZ pour la production et distribution d'Énergie, NETCOM et EXTRANET pour la gestion des déchets)	Possibilité de développement de nouvelles filières de valorisation des déchets dans le cadre de la feuille de route pour une économie circulaire notamment avec la présence d'un potentiel d'infrastructures de valorisation important	/
	O. Organisationnels	21.	Information, Sensibilisation, Éducation /Formation	/	Faiblesse de la sensibilisation en l'absence de programmes de sensibilisation, d'éducation et de formation au profit des professionnels (du bâtiment, entreprises, urbanistes... etc.)	Disponibilité des outils de sensibilisation / Disposition d'un potentiel important d'institutions scientifiques de formation aux domaines de planification urbaine et environnementale	Risque de résistance des habitants aux projets en l'absence d'une culture de valorisation et de tri sélectif des déchets dans notre société et
		22.	Coopération Production - Recherche	/	Faible coopération entre acteurs industriels et centres de recherches avec intégration faible des chercheurs et experts	Possibilité de développement des coopérations prévues dans le cadre du SNAT, notamment avec la disposition d'un potentiel scientifique, de recherche et d'innovation important	/
		23.	Accords contractuels	Les contrats de développement territorial prévus dans le cadre de la loi 01-20 et contrat de performance environnementale dans le cadre du FNAE-DD	Réglementation locale adaptée à la gestion centralisée des déchets et de la distribution d'Énergie	/	Absence de textes réglementaires définissant les conditions d'élaboration des différents types de contrats de développement prévus dans le cadre de la loi 01-21 et du SNAT
	Outils de planification spatiale, de conception et d'aménagement	24.	Éléments de conceptions des aménagements	Le prend en charge la préservation des ressources naturelles, la gestion intégrée des déchets, l'énergie, le développement des activités (résidentielles, industrielles, commerciales, équipements socio-culturels, éducatifs et de recherche scientifique et technologique, agricoles), ainsi que les infrastructures et les réseaux	Planification en statique de l'occupation des sols et la localisation des activités avec de grands systèmes techniques urbains	/	Organisation linéaire et centralisée des infrastructures et réseaux de gestion des déchets/Les réseaux d'Énergie sont adaptés à la distribution de l'Énergie fossile
		25.	Processus de planification d'élaboration/ Diagnostic, Programmation, Etudes de faisabilité, Aménagement	/	MU n'est pas intégré dans les processus de planification urbaine	Le PDAU s'ouvre sur l'intégration de nouvelles méthodes et outils de programmation, de planification, d'aménagement urbain et d'aide à la décision	/

Tableau 4. 5 : Analyse SEPO du système de planification locale en vigueur à Alger

Chapitre 4 : Conditions d'intégration du projet symbiotique "SU-BC" dans le système de planification urbaine locale à Alger

n°	Indicateur	Système de planification urbaine à Alger				Échelle d'évaluation	Système synergique optimal pour la planification par la symbiose urbaine locale		Score du Scénario idéal 100/100	Score du Scénario tendanciel/100	
		Stratégies, Approches et outils du modèle initial (Scénario Initial)					Scénario tendanciel	Stratégies, Approches et outils du modèle idéal (Scénario Optimal)			
		0	1	2	3			4			
1.	Orientation politique	Stratégie et politique nationale centrée sur le DD du pays, qui vise la décentralisation. Cependant, les orientations de décentralisation ne sont pas opérationnelles dans la réalité. La politique adoptée est centralisée en mode Top-Down. Une situation qui pourrait changer avec la volonté de l'état de renforcer la compétitivité et l'ouverture internationale des grandes villes leur permettant de s'affirmer dans un contexte international orienté sur la décentralisation.				2	Stratégie inscrite dans le cadre d'une politique nationale de DD, décentralisée à l'échelle locale.		4	2	
2	Engagement international	Engagement du pays dans la CCNUCC et ses COPs et ratification de conventions internationales dont la mise en œuvre fait objet de suivi et vérification par les Nations Unies de la bonne application des objectifs des conventions internationales adoptées. cependant la faiblesse des d'outils de mise en œuvre de cet engagement en constitue un obstacle				3	Stratégie qui s'inscrit dans le cadre des politiques internationales de DD		4	3	
3	Coopération internationale	Des coopérations internationales sont mises en place pour la concrétisation de projets de DD (Gestion de déchets, Énergies renouvelables...). Ainsi, d'autres coopérations sont prévues dans le cadre du SNAT pour appropriation des technologies et du savoir-faire.				4	Échange d'expériences et transfert de savoir-faire dans le développement des projets symbiotiques		4	4	
4	Orientation politique	Politique inscrite dans le cadre de la politique nationale d'Environnement et de Développement Durable. Cependant, un décalage important se trouve entre les objectifs affichés et la mise en œuvre sur le terrain. En revanche, la possibilité de décentralisation est soutenue par le SNAT et le PDAU d'Alger pour l'instauration d'une gouvernance locale selon laquelle l'état assure le soutien et la régulation. L'inconvénient se trouve dans la limite des prérogatives et des capacités de l'action publique locale.				2	Politique locale inscrite dans le cadre de la politique nationale de DD, décentralisée à l'échelle locale.		4	2	
5	Orientation socio-économique	Une politique économique qui cherche à promouvoir la valorisation économique et sociale du capital naturel, s'affranchir de la dépendance aux Énergies fossiles et promouvoir les économies d'énergie, des énergies renouvelables ainsi que la promotion des ZIDL. Cependant, cette politique est toujours régie par une approche sectorielle cloisonnée qui n'intègre pas la société civile dans la mise en œuvre des projets de développement. D'autant plus, l'incitation l'investissement dans les domaines d'Énergies Renouvelables, la valorisation des déchets et la production des matériaux recyclés reste encore faible				1	stratégie de développement socio-économique local orientée sur la promotion de l'industrie de la récupération des déchets l'ouverture du marché à l'investissement et la création de nouvelles entreprises de recyclage ainsi que l'accompagnement des habitants dans la réduction de leurs consommation d'énergie et émissions de CO2		4	1	
6	Orientation environnementale	Politique environnementale qui cherche à instaurer les principes de circularité pour la valorisation des déchets. Cependant, cette politique est toujours régie par une approche linéaire, cloisonnée, qui considère séparément les services d'approvisionnement en ressources et de gestion des rejets qui ne prend pas en charge l'interaction entre déchets/énergie/planification urbaine. En revanche, l'engagement du ministère de l'Environnement dans le développement de projets favorables à l'émergence de l'économie circulaire en constitue un potentiel important, mais qui reste confronté à la contrainte de centralisation des réseaux et infrastructures ainsi qu'à l'absence de la culture de valorisation dans notre société.				1	politique environnementale qui intègre dans ses priorités la valorisation des déchets, l'échange des ressources secondaires, la promotion des économies d'énergie et des énergies renouvelables locales, et qui permet de faire évoluer la réglementation environnementale et de faire ainsi sauter certains verrous réglementaires pour favoriser le bouclage des flux de matières et d'énergie sur un territoire		4	1	
7	Orientation de planification spatiale	Approche écosystémique de la ville qui intègre les domaines : social, économique, environnemental et urbain du PDAU d'Alger. Cependant, la planification spatiale du PDAU se limite à des projets ponctuels et indépendants, marquant une incohérence dans la hiérarchie des niveaux d'action en passant du niveau stratégique à l'opérationnel. Dans ce cadre, l'intégration d'un Plan « Symbiose urbaine locale » à un niveau intermédiaire pour l'échelle intercommunale en constitue une potentialité pour la mise en cohérence des projets, cependant, cette évolution reste confrontée à l'approche de planification en statique de l'occupation des sols et la localisation des activités avec de grands systèmes techniques urbains.				1	Une approche écosystémique de la ville qui intègre le métabolisme urbain et prend en charge les possibilités de bouclage de flux, les infrastructures de partages, de production d'énergie, de collecte de déchets, l'interaction entre les activités urbaines ainsi que le foncier pour accueillir ces activités.		4	1	

Chapitre 4 : Conditions d'intégration du projet symbiotique "SUR-BC" dans le système de planification urbaine locale à Alger

8	Lots/Décrets exécutifs	Les lois sur la gestion des déchets, la maîtrise d'énergie et le développement des énergies renouvelables sont favorables à la valorisation des déchets et le développement des énergies renouvelables, mais leur application est faible, en l'absence des décrets exécutifs de mise en œuvre des dispositifs de ces lois. Cependant, la révision de ces lois, pourrait être possibles dans le cadre de la feuille de route du ME pour une économie circulaire.	2			Système juridique qui prend en charge les liens symbiotiques dans le cadre de la valorisation des déchets et le développement des Énergies renouvelables	4	2
9	Aides financières de l'état	Projets financés sur le budget de l'état avec prise de risque d'insuffisance des ressources financières et du non-aboutissement de projets dans les délais. Il y a également une possibilité d'obtention des aides internationales pour le financent des projets dans le cadre des coopérations internationales pour l'atténuation du CC. Ainsi, un potentiel de ressources fiscales important peut être obtenu à partir de l'activité industrielle.			4	Financement basé sur les aides de l'État, mais aussi sur la création de ressources financières via plusieurs formules (politique fiscale, Partenariat public-privé..., partenariats intercommunaux, partenariat international...)	4	4
10	Incentations financières	Les dispositifs de soutien à l'emploi et au développement de l'investissement prévus dans le cadre des formules Ansej, CNAC et Angem, mais ces dispositions restent contrainsts par les bloages et lenteurs bureaucratiques au niveau des banques pour le financement de ses projets/Exonération temporaire en matière d'impôt au	1			crédits à intérêts réduits, des garanties d'emprunt, des compensations financières, réduction des coûts de mise en œuvre, réduction des taux, etc.	4	1
11	Incentation/Disuasion fiscale	Faible incitation fiscale en l'absence de textes réglementaires d'application des lois de finances (LF, 2014; LF 2015) qui ne prennent pas en charge les mesures incitatives des industries productives pour le remplacement de la matière première par des déchets recyclés, la récupération de chaleur/des habitants pour la substitution de l'énergie fossile par l'énergie renouvelable.	1			Des mesures fiscales (incitatives/dissuasives) des industries et des habitants : taxes d'encouragement à la valorisation des déchets et à l'utilisation des énergies renouvelables	4	1
12	Co-financement	Absence de contrats de co-financement malgré l'existence d'un potentiel industriel pour le co-financement des projets. En effet, il est possible de mettre en place des procédures de contractualisation et de montage financier participatif, dans le cadre de la logique partenariale du SNAT. Cependant, cette possibilité reste confrontée à l'absence de textes réglementaires définissant les conditions d'élaboration des contrats de co-financement.	1			Modèles de financement innovants, partenariats public-privé, partenariat, intercommunal, etc.	4	1
13	Maîtrise foncière	Rareté du foncier, mais il existe quand même des friches foncières récupérables et des terrains destinés aux infrastructures indiquées dans le PDAU d'Alger		2			4	2
14	Structure institutionnelle	Potentiel institutionnel important dans les domaines de l'Énergie et de la gestion des déchets. L'inconvénient réside dans la divergence de leurs intérêts et l'incohérence des actions entre eux. En revanche, la mise en cohérence de ces domaines est prévue dans le cadre du SNAT, mais elle reste confrontée à l'instabilité des tutelles à l'échelle nationale et la faiblesse des institutions de la gestion environnementale à l'échelle		2		structures institutionnelles organisées et articulées du niveau national au niveau local	4	2
15	Programme d'actions local	Une politique ambitieuse en termes de gestion des déchets, maîtrise d'énergie, Développement des Énergies renouvelables et Transition Énergétique, atténuation des CC, nourrie par une prise de conscience des enjeux liés à l'épuisement des ressources et du CC. Cependant son inscription dans le cadre de programmes locaux (Agenda 21) a été vouée à l'échec. Cette potentialité reste quand même confrontée à la faiblesse des outils politiques et institutionnels locaux, l'insuffisance des moyens de mise en œuvre et la lenteur dans la réalisation des programmes notamment en l'absence d'Agendas 21 locaux.	0			Les objectifs de Développement de projets de SUR-BC s'inscrivent dans le cadre de programmes locaux de développement (agenda 21) ambitieux orientés sur la gestion des déchets et le développement des énergies renouvelables et atténuation du CC	4	0
16	Médiatisation	Absence de stratégie de médiatisation des ambitions et objectifs stratégiques en matière de développement local durable et cela malgré la disponibilité des outils nécessaires. En revanche, il existe une possibilité de soutien de la politique locale par le pilier de gouvernance du PDAU et des outils qu'il propose pour faciliter la mise en œuvre des projets.	1			Les projets de SUR sont médiatisés par des labels, Les outils de "Branding" (image de marque), publications de rapports sur les ambitions visées et les transformations à venir, etc.	4	1

Chapitre 4 : Conditions d'intégration du projet symbiotique "SU-BC" dans le système de planification urbaine locale à Alger

17	Coordinateurs/Organisateurs/Contrôleurs (Mobilisation institutionnelle)	Difficultés de coordination due à l'approche sectorielle et linéaire qui caractérise la relation entre acteurs concernés et cela malgré la reconnaissance du SNAT de la nécessité de soutenir les collectivités locales dans leurs programmes de mise en œuvre et de gestion des projets locaux. En revanche, les dispositifs de coordination prévus dans le cadre du PDAU d'Alger peuvent soutenir la mise en collaboration transversale des secteurs de services et d'activités urbaines tels que le transport, l'habitat, l'industrie, l'agriculture, la gestion des déchets, l'approvisionnement en eau et en énergie. Cependant, le manque de compétences et la faiblesse de formation dans les domaines de planification urbaine et environnementale stratégiques en constituent un obstacle.	1		Importance d'une équipe de coordination/organisation pour catalyser le développement et le fonctionnement des réseaux symbiotiques (institution, service, organisation privée, agence publique, institut de recherche, ONG qui assurent la coordination inter-entreprises, entreprises-habitants, acteurs politiques... etc.)	4	1
18	Moyens humains et matériels/outils technologiques de partenariales	Insuffisance des moyens matériels et technologiques/Potentiel humain important/Possibilité de création de ressources financières locales dans le cadre des relations	1		Nécessité d'un cadre de gestion urbaine qui mobilise tous les moyens humains, matériels et outils technologiques innovants (Système de monitoring informatisé, plateformes web..., etc.) permettant de faciliter le contrôle de la consommation quantitative d'énergie, le contrôle des déchets..., etc.)	4	1
19	Évaluation	Absence de bilans de suivi et d'évaluation des programmes (rapports, dispositif de suivi...)	0		Nécessité d'un monitoring et une évaluation performante de projets symbiotiques et des processus décisionnels mis en œuvre, où les bases de données accessibles aux acteurs et aux chercheurs, publication de rapport pouvant endiguer l'évolution de la stratégie	4	0
20	Services de gestion des réseaux et Infrastructures	Centralisation des services de fourniture d'énergie et de gestion des déchets aux mains d'opérateurs uniques (SONALGAZ pour la production et distribution d'énergie, NETCOM et EXTRANET pour la gestion des déchets. En revanche, une feuille de route est mise en place pour la gestion des déchets basée sur une économie circulaire ouvrant la			Organisation décentralisée des secteurs de gestion des infrastructures et des réseaux	4	1
21	Information, Sensibilisation, Éducation/Formation	Faiblesse des programmes de sensibilisation, d'éducation et de formation au profit des professionnels (du bâtiment, entreprises, urbanistes..., etc., et de la société civile), et cela malgré la disponibilité des outils de sensibilisation et d'un potentiel important d'institutions scientifiques de formation aux domaines de planification urbaine et environnementale. Cependant, le risque de résistance des habitants aux projets en l'absence d'une culture de valorisation et de tri sélectif des déchets dans notre société est aussi possible.	2		Importance des campagnes d'information et de sensibilisation de la société civile sur les problématiques d'économie d'énergie, la propreté des espaces et le tri sélectif des déchets, la pratique du compostage dans les jardins publics et privés, etc., via différents outils : programmes pédagogiques, communications, affichages, publication de documents et brochures, sites web, création d'événements (salons d'exposition, conférences..., etc.)/Programmes de formation au profit des professionnels (du bâtiment, entreprises, urbanistes..., etc.) en faveur du développement des échanges symbiotiques potentiels	4	2

22	Coopération Production- Recherche	Faible coopération ente acteurs industriels et centres de recherches avec intégration faible des chercheurs et experts. En revanche, il y a toujours la possibilité de développement des coopérations Recherche-Développement prévues dans le cadre du SNAT notamment avec la disposition d'un potentiel scientifique, de recherche et d'innovation importante				2	l'importance du partenariat avec des parties prenantes pour leurs compétences techniques, financières, scientifiques, technologiques, etc. (institutions académiques, centres de recherche, experts, promoteurs, industriels, etc.) qui participent au développement des solutions symbiotiques	4	1
23	Accords contractuels	Les contrats de développement territorial prévus dans le cadre de la loi 01-20 et les contrats de performance environnementale dans le cadre du PNAE-DD ne sont pas mis en application et la réglementation locale reste adaptée à la gestion centralisée des projets de développement local en l'absence de textes réglementaires définissant les conditions d'élaboration des différents types de contrats de développement.				1	Cahiers de charges, Contrats, Conventions favorables au développement de projets symbiotiques	4	1
24	Éléments de conceptions des aménagements urbains	Le PDAU prend en charge la préservation des ressources naturelles, la gestion intégrée des déchets, l'énergie, le développement des activités urbaines (résidentielles, industrielles, commerciales, équipements socio-culturels, éducatifs et de recherche scientifique et technologique, agricoles), ainsi que les infrastructures et les réseaux. Cependant, son modèle territorial est linéaire de planification statique de l'occupation des sols et la localisation des activités avec de grands systèmes techniques urbains/ Organisation linéaire et centralisée des infrastructures et réseaux de gestion des déchets/Les réseaux d'Énergie sont adaptés à la distribution de l'Énergie fossile. Cette contrainte est d'autant plus renforcée par l'organisation linéaire et centralisée des infrastructures et réseaux adaptés à l'enfouissement des déchets et la distribution de l'Énergie fossile.				0	Les règles de conception et d'aménagement urbain reposent sur un modèle cyclique intégrant la circularité et la dynamique des flux basée sur les réseaux d'échange, la proximité spatiale, la diversité et la mixité fonctionnelle	4	0
25	Processus d'élaboration/ Diagnostic, Programmation, Études de faisabilité, Aménagement	Les méthodes de prise en charge du MU ne sont pas intégrées dans les processus de planification urbaine. Cependant le PDAU s'ouvre sur l'intégration de nouvelles méthodes et outils de programmation, de planification, d'aménagement urbain et d'aide à la décision.				1	La planification de SUR requiert l'intégration de nouvelles méthodes (i) de diagnostic : qui intègre l'analyse des flux de matière et d'énergie existants (ii) de programmation par boucles basée sur la recherche des liens symbiotiques, boucles énergétiques, ou les infrastructures sont prévues à proximité des activités urbaines, etc. (iii) les études de faisabilité technique, économique, environnementale, réglementer et d'évaluation des risques	4	1
Capacité du système de planification en vigueur en termes d'intégration de la SUR-BC dans son processus/100								100	36

Tableau 4. 6 : Évaluation des capacités du système de planification urbaine à Alger en termes d'intégration des projets symbiotiques, par référence au système optimal de planification par la SUR.

Les résultats montrent que sur les 25 indicateurs d'évaluation deux (2) seulement remplissent les conditions optimales, 01 est favorable, 06 sont partiellement favorables et 16 sont contraignants et non favorable à la prise en charge des projets de SUR dans le système de planification à Alger. Le score global démontre que ce dernier est partiellement favorable avec une capacité d'intégration moyenne estimée à 36%.

4.2.3.3 Transformations nécessaires et leviers d'action pour une évolution future

Les résultats de cette évaluation impliquent le besoin de la correction du système, ce qui exigerait une évolution dans les outils de la planification urbaine locale à Alger permettant le passage à un système optimal. Dans ce cadre, des transformations et des leviers d'action pourraient être proposées, notamment, concernant :

- **La politique nationale de planification urbaine**

- Intégration, dans le sillage du SNAT actuellement en révision¹¹³, des lignes d'action prenant en charge l'interaction entre Déchets-Énergie-Émissions de CO₂, via la planification de projets symbiotiques locaux, en appui des objectifs liés à l'atténuation du CC, la promotion des énergies renouvelables et la gestion intégrée des déchets, mais aussi en appui de l'Agenda 2030 issu des 17 Objectifs de Développement Durable adoptés par l'ONU en 2015¹¹⁴

- **La politique locale de planification urbaine**

- Mise en œuvre des programmes d'action locaux (Agenda 21) orientés sur la prise en charge des enjeux climatiques, de la préservation des ressources naturelles et du respect de l'environnement via des projets symbiotiques bas carbone.

- **Les outils d'appui**

Révision de la législation relative à la collecte et l'élimination des déchets, de maîtrise d'énergie et de promotion des énergies renouvelables, et ce de façon à les adapter aux exigences de planification de projets urbains symbiotiques et des conditions politiques, socio-économiques et environnementales que ces projets impliquent. Il s'agirait notamment de :

- La promulgation de lois et décrets complétant les dispositifs de la loi n° 99-09, notamment dans la prise en charge de l'optimisation d'énergie via la valorisation des déchets et la récupération de la chaleur fatale dans le cadre de projets urbains symbiotiques ;
- La promulgation de décrets et de textes législatifs d'application des dispositifs des lois n°04-09 et n°01-19, notamment concernant la prise en charge de la valorisation énergétique des déchets et la récupération de l'énergie à partir des procédés industriels et urbains, ainsi que pour la définition des modalités de mise en place des liens symbiotiques et la levée des contraintes ;
- Complément des textes juridiques permettant la prise en charge de l'incitation fiscale à la valorisation énergétiques des déchets, à la production de la matière secondaire et la récupération de la chaleur résiduelle comme bien destiné à la vente ;

¹¹³ L'actualisation du SNAT 2030 est prévue chaque 10 ans. L'actuelle révision a été enclenchée en 2020, l'adoption du SNAT ayant intervenue en 2010.

¹¹⁴ En avril 2021, l'engagement de l'Algérie pour atteindre les ODD a été réitéré par le Ministère des Affaires Étrangères avec la présentation d'un plan d'action Act-2030 qui entre dans le cadre de coopération stratégique 2022-2026. (source : Algérie Presse Service, 24 Avril 2021 : <https://www.aps.dz/algerie/120956>)

- Complément des textes de mise en œuvre de la loi n° 01-20 et de la loi n°06-06, concernant la définition des procédures contractuelles favorables au partenariat public-privé.

- **Les outils locaux de mise en œuvre**

- La mise en place d'un dispositif institutionnel de coordination capable de faciliter la concertation avec et entre les acteurs directement concernés par la planification des flux déchets-énergie pour faire des projets symbiotiques un domaine partagé ;
- Le renforcement du cadre de gestion urbaine par tous les moyens technologiques innovants (Système de Management Environnemental SME informatisé, plateformes web, ..., etc.) et humains (services de monitoring des projets symbiotiques, de contrôle de la consommation quantitative d'énergie et des déchets, de la coordination inter-entreprises, brigades environnementales pour le contrôle des déchets, ..., etc.) au profit d'un monitoring et une évaluation performante de projets symbiotiques et des processus décisionnels mis en œuvre ;
- Décentralisation des services de gestion de déchets et de fourniture d'énergie via la diversification des ressources énergétiques renouvelables ;
- L'implication des autorités locales, dans la diffusion de la culture du tri sélectif des déchets, qui facilite leur recyclage et valorisation via le renforcement des programmes de formation, d'information et de sensibilisation.

- **Le processus de planification urbaine spatio-fonctionnelle**

La prise en charge de la stratégie de SUR dans le processus de planification impliquerait :

- L'intégration du métabolisme urbain dans le diagnostic des projets d'aménagement via les méthodes éprouvées d'évaluation : Analyse des Flux et de Matière (AFM), Analyse de Cycle de Vie (ACV), Empreinte Carbone (EC) et la certification nationale, etc. ;
- Une programmation par boucles énergétiques qui prend en charge les infrastructures de partage, de production d'énergie, de collecte de déchets, de nouvelles activités urbaines ainsi que le foncier pour accueillir ces activités¹¹⁵ ;
- Un aménagement urbain favorable à la proximité physique, la mixité fonctionnelle et l'organisation des réseaux d'échanges entre activités (physiques et informatiques), etc ;
- Une évaluation basée sur l'élaboration des scénarios prospectifs de développement urbain et intégrant les études de faisabilité, de risques, de coûts-bénéfices, etc.

¹¹⁵ Ces opérations pourraient engendrer les besoins de restructuration urbaine, de remembrement ou de recyclage du foncier urbanisable, emploi de droit de préemption, création des zones d'aménagement spécifiques (comme les zones d'aménagement concerté ZAC françaises ou les districts de développement urbain britanniques).

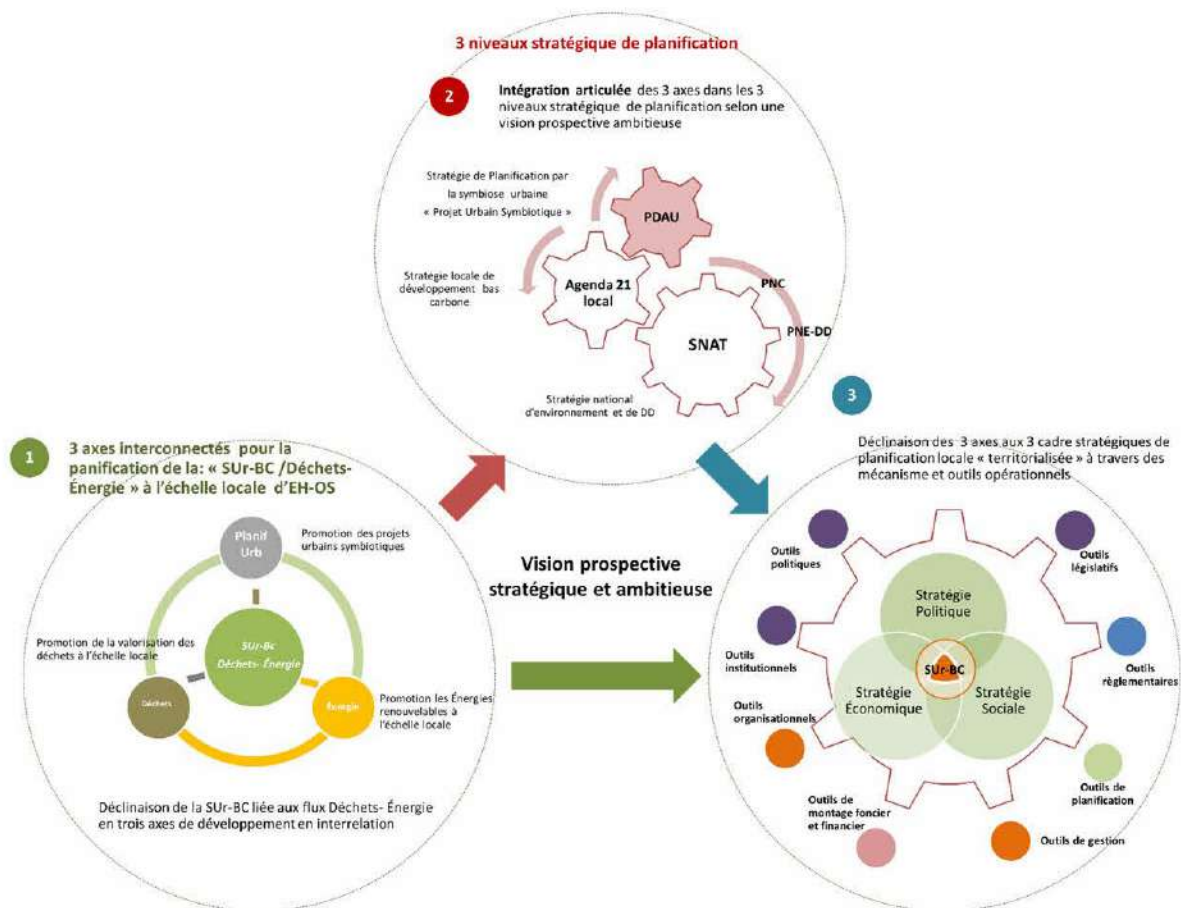


Figure 4. 14 : Leviers d'action pour l'évolution du système de planification urbaine local vers un le scénario optimal favorable à l'intégration des projets symbiotiques à Alger

Enfin, l'intégration des projets urbains symbiotiques aux différents niveaux de planification (national, local et spatio-fonctionnelle urbain) impliquerait d'abord le **complément des outils de planification locaux manquants** (Agenda 21 local, Charte environnementale et plan climats locaux énergie, déchets, eau), puis **leur mise en cohérence avec les outils de planification spatiale en vigueur depuis l'échelle territoriale d'orientation stratégique** (SNAT, SAEPT, SDAAM, PATW et SDRU) à **l'échelle urbaine d'orientation tactique** (PDAU, PAVN) jusqu'à l'échelle de **réglementation opérationnelle** (POS, PSSMVSS PPR, PLH, PAC, PDU, PCD) [Tableau 4.7]

Pour ce faire, nous nous inscrivons dans la proposition de Pr. Berezowska-Azzag (2016b) [Figure 4.15] selon laquelle le PDAU doit être appuyé, en amont, par le **projet stratégique d'Alger**. Ce dernier constitue l'élément d'articulation entre les échelles stratégiques et opérationnelles permettant de mettre en cohérence les PDAU communaux avec le SDAM et le SARU et qui compose en même temps avec les outils corollaires existants (PATW, PAVN, PPSMVSS...) et proposés (Agenda 21 local, Charte environnementale, PCL (énergie, eau, déchets...)).

Dans cette perspective, le projet stratégique d'Alger pourrait **prendre en charge des projets urbains symbiotiques intercommunaux** avec un Schéma Directeur d'Aménagement Intercommunal de Symbiose Urbaine Bas Carbone mettant en synergie les projets sectoriels déjà

lancés ou à venir, donnant orientations d'aménagement et de conception urbaine et architecturale aux PDAU locaux et aux POS.

	Instruments d'orientation et réglementaires
Niveau stratégique territorial (long terme)	Schéma National d'Aménagement du Territoire(SNAT), Schémas d'Aménagement des Espaces de Programmation Territoriale Nord-Centre (SAEPT), Schéma Directeur d'Aménagement de l'Aire Métropolitaine d'Alger (SDAAM), Plan d'Aménagement du Territoire de la Wilaya d'Alger (PATW).
Niveau tactique urbain (moyen terme)	Plan Directeur d'Aménagement Urbain d'Alger (PDAU), Schéma Directeur de Résilience Urbaine de la Wilaya d'Alger (SDRU), Plan d'Aménagement de la Ville Nouvelle (PAVN).
Niveau opérationnel urbain (moyen/court terme)	Plan d'Occupation du Sol (POS), Plan Local d'Habitat (PLH), Plan des Déplacements Urbains (PDU), Plan de Protection contre les Risques (PPR), Plan d'Aménagement Côtier (PAC), Plan Communal de Développement (PCD).

Tableau 4. 7 : Système d'outils de planification spatiale en Algérie (d'après Berezowska-Azzag, 2012)

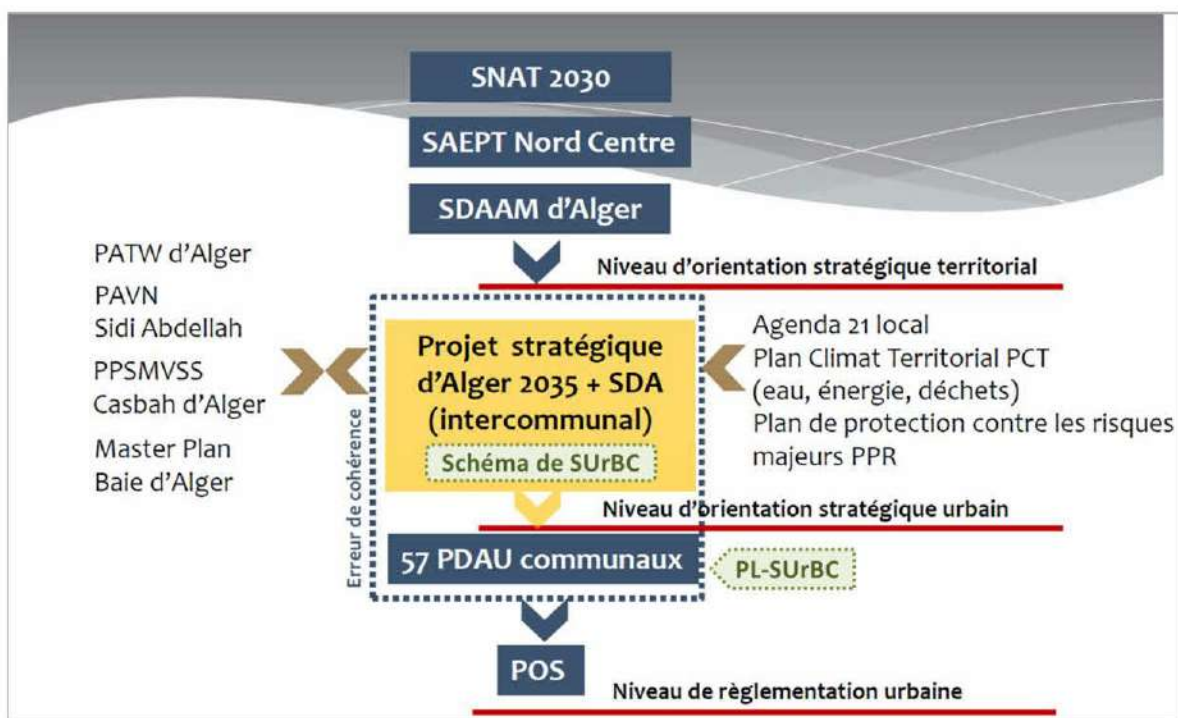


Figure 4. 15 : Intégration des projets urbains symbiotiques dans le système d'outils de planification à Alger selon Berezowska-Azzag (2016b).

4.3. Synthèse et conclusion du chapitre 4

Dans ce chapitre, nous avons vérifié les capacités du système de planification locale d'Alger en termes d'intégration de projet de SU_r dans les outils de planification locaux. Basée sur la revue de la littérature et l'analyse des exemples, notre démarche a d'abord identifié les conditions-cadres théoriques optimales permettant la planification et le développement des projets symbiotiques à l'échelle locale, pour ensuite identifier les conditions de planification locale à Alger et vérifier les possibilités d'intégration qu'elle offre dans la prise en charge et le développement de projets symbiotiques par rapport aux conditions optimales (théoriques).

La lecture et la comparaison des politiques et stratégies mises en place au niveau international pour la planification des SU_r nous a conduit à la proposition d'un système de planification optimal, capable de prendre en charge le développement d'une SU_r.

L'analyse comparative des conditions de planification locale à Alger, favorables ou défavorables à la prise en charge de la symbiose urbaine avec le modèle proposé, effectuée à l'aide des méthodes SEPO et d'auto-évaluation nous a permis de mettre en évidence les capacités du système de planification en vigueur dans la prise en charge et le développement de la "SU_r-BC", notamment pour le territoire intercommunal d'EH-OS. Les résultats de cette analyse démontrent une capacité d'intégration seulement partiellement favorable estimée à 36% et relèvent les transformations nécessaires et les leviers d'action permettant l'évolution de la politique de planification en vigueur vers une politique (environnementale, socio-économique, urbaine) décentralisée inscrite et appuyée par une stratégie nationale pour le développement des projets symbiotiques et mobilisant tous les outils d'appui et de mise en œuvre nécessaires. Il n'y a cependant pas de recette unique pour la mise en place de ces projets, des combinaisons variables d'outils ainsi que d'approches, peuvent être utilisées en fonction du contexte local, de la situation et des objectifs souhaités. En revanche, la grille établie pour l'évaluation des tendances de planification urbaine à Alger pourrait s'appliquer à d'autres situations de planification dans le monde, pour identifier les convergences et les divergences dans la planification des projets symbiotiques.

Conclusion de la Deuxième Partie

À l'issue de cette partie, il en ressort que l'application de la stratégie de SUr, selon le modèle développé, porte des réponses intéressantes aux gestionnaires urbains algériens pour réduire les GES en Algérie et atteindre l'objectif de résilience climatique. Cependant cela nécessiterait sa prise en charge par les outils de planification locale, notamment en appui du PDAU d'Alger considéré par ses auteurs et par les décideurs comme un outil de planification urbaine innovant et en avance sur les outils classiques en vigueur. Une mise en œuvre plus large au niveau national impliquant les quatre métropoles algériennes (Alger, Oran, Constantine et Annaba) pourraient alors permettre d'atteindre l'objectif de 7 %, voire plus, d'autant que leur potentiel de contribution à l'effort global d'atténuation des CC semble proportionnel à leur capital urbain en termes de logements, d'équipements structurants et de réseaux logistiques, mais aussi à leur capacité à gérer l'action publique locale, à rechercher des sources d'investissement variées et à valoriser les savoirs locaux. Cependant cela exigerait une évolution dans le système de planification urbaine en Algérie qui impliquerait en conséquence la mise en place d'une politique nationale décentralisée favorable à la mise en place et le développement des projets urbains symbiotiques à l'échelle locale.

Conclusion générale

1. Retour sur la démarche et les résultats de la recherche

L'urgence du réchauffement climatique oriente l'intérêt de la communauté internationale sur la recherche de solutions pour faire face aux défis de résilience tant socio-économique qu'environnementale et territoriale. Dans ce cadre, l'Algérie s'est engagée à réduire ses émissions de GES d'ici 2030 de 7 %, par rapport à l'état actuel. Chose qui requiert de nouveaux outils permettant sa mise en œuvre.

À l'instar des pays du monde, l'Algérie se trouve confrontée au problème du changement climatique CC, danger planétaire du dérèglement climatique et de ses impacts sur les ressources, l'environnement, l'économie et la sécurité des populations.

Cependant, tant que le problème du CC est abordé à un niveau global, en termes de bilans et de chiffres, l'action concrète pour y faire face peut sembler lointaine et il n'est pas évident de convaincre les humains d'y agir (Lorrain, 2018). Alors que, si ce danger est appréhendé d'un point de vue "local" en considérant, d'une part, les besoins énormes des villes en ressources naturelles, lesquelles dépendent directement ou indirectement de combustibles fossiles, et d'autre part, les nombreux risques auxquels sont exposées ces villes en l'absence ou la réduction de ces ressources, la connaissance du phénomène se précise puisqu'il est question *d'émissions et de ressources naturelles locales* (Lorrain et al., 2018). Les villes sont alors au cœur des évolutions climatiques : elles constituent, à la fois, les principaux contributeurs et les maillons les plus vulnérables. En même temps, elles recèlent pourtant toutes les potentialités pour mettre en place des stratégies au profit de l'atténuation de leurs effets (UN Habitat, 2011 ; Berezowska-Azzag, 2016a ; Lorrain, 2018). L'un des défis consiste à boucler les flux métaboliques urbains en valorisant les rejets comme ressources (Girardet, 2010, p.11). Dans cette visée la Symbiose Urbaine, un concept élargi de la Symbiose Industrielle, se présente comme un outil stratégique d'optimisation d'énergie et des matériaux vierges qui recouvre les possibilités de boucler les flux métaboliques, non pas seulement à l'échelle des parcs industriels, mais aussi à l'échelle urbaine locale, de commune ou du quartier. Cette stratégie offre en plus un cadre de coordination intersectorielle du management pouvant faciliter sa mise en place à l'échelle urbaine locale et répondre aux politiques stratégiques du pays.

En s'inscrivant dans cette logique et afin de soutenir l'engagement national du pays à réduire ses émissions de GES et contribuer à la concrétisation de la résilience climatique en Algérie, notre

recherche s'est attachée à évaluer les performances de la stratégie de SUR en termes d'atténuation du CC à l'échelle locale à Alger et à vérifier les possibilités de sa prise en charge par les outils de planification locale.

La problématique de recherche posée dans ce cadre a suscité des questionnements que nous nous sommes proposé d'éclaircir à partir de la vérification des deux hypothèses, portant respectivement sur :

(1) le potentiel d'optimisation d'Énergie et d'atténuation des émissions de CO₂ que présente la stratégie de Symbiose Urbaine pour les villes, et dont la simulation et l'évaluation à Alger passe par la modélisation d'un système urbain symbiotique bas carbone basé sur les flux de déchets ;

(2) le potentiel de gains, en Énergie et en émissions de carbone, qui pourrait être obtenu par l'application de la stratégie de SUR dans le contexte local d'Alger, mais aussi la possibilité d'intégrer les solutions et les outils qu'elle propose dans le PDAU d'Alger au profit d'une planification urbaine locale orientée vers la transition énergétique et la résilience climatique.

Cette recherche constitue une contribution à la compréhension des modalités permettant l'atténuation du CC par la SUR à l'échelle locale et des mécanismes permettant la prise en charge d'une telle stratégie dans la planification urbaine au service d'une politique locale orientée vers la résilience climatique et la transition énergétique. Son élaboration repose sur le développement d'un modèle d'évaluation des performances de la Symbiose Urbaine, en termes d'atténuation des émissions de CO₂ à l'échelle locale, puis sur son application dans le contexte local d'Alger.

La démarche méthodologique ayant guidée l'élaboration de cet outil et la vérification de nos hypothèses a été organisée en deux phases : (i) théorique et méthodologique, (ii) empirique et de validation opérationnelle, qui correspondent aux de parties du document, dont :

La première partie, théorique et méthodologique, qui s'est attachée à décrire les modalités permettant l'atténuation du CC à l'échelle urbaine locale par la stratégie de SUR.

Dans le premier chapitre, nous avons exposé le danger du CC dans son contexte global et local et souligné l'importance de la contribution des villes à l'adaptation et l'atténuation de ces changements et les effets qu'elles pourraient subir en conséquence. Cette lecture nous a permis de relever la priorité accordée, dans la politique mondiale, à la stratégie d'atténuation pour la lutte contre le CC, notamment par la réduction des émissions de CO₂, ainsi que l'importance du rôle que pourraient jouer les villes dans la mise en œuvre des stratégies et des politiques nationales et internationales. En survolant la situation climatique en Algérie et les enjeux auxquelles elle est confrontée pour contribuer à l'effort global contre le CC, nous avons pu relever le manque d'outils stratégiques locaux permettant la mise en œuvre de la stratégie nationale d'atténuation du CC. Et c'est dans cette visée que nous avons abordé le cadre conceptuel, méthodologique et pratique du concept de SI/SUR, tout en appuyant notre lecture par une analyse des exemples d'expériences internationales de *SI et SUR* portant sur différents flux. Cette analyse a permis de démontrer le potentiel considérable de la stratégie de SUR en termes d'optimisation d'Énergie et d'atténuation des émissions de CO₂. Ce chapitre nous a permis de dégager les éléments clés qui caractérisent le concept de SUR et permettent son opérationnalisation à l'échelle urbaine. Il nous a permis également de rassembler toutes les informations et les données nécessaires à la construction d'un modèle symbiotique bas carbone, comme il nous a rendu compte des principales méthodes de quantification et d'évaluation des performances de SUR.

Dans le deuxième chapitre, nous sommes arrivés à construire un modèle urbain symbiotique bas carbone "SU_r-BC". Ce faisant, il a fallu passer en revue le cadre méthodologique de la modélisation systémique. Nous avons donc commencé par une présentation des concepts et des principes théoriques généraux de l'approche systémique, pour ensuite passer à la définition de la modélisation systémique et la description de ses règles générales, ses éléments clés, ses étapes et ses principaux outils méthodologiques. Cette lecture nous a permis de relever l'intérêt de la démarche de modélisation systémique et de ses outils dans l'étude des systèmes urbains et la construction de modèles urbains symbiotiques. Ainsi, nous avons pu faire ressortir les éléments et les outils de référence autour desquels se construit notre démarche de modélisation du système urbain symbiotique. L'application de cette démarche nous a permis de définir les éléments de notre système, analyser et représenter la complexité de leurs interactions, puis dégager les éléments déterminants permettant l'évolution de notre système vers un développement bas carbone. Les résultats de cette étude font ressortir les flux de déchets comme flux potentiel pour l'optimisation d'Énergie et l'atténuation des émissions de carbone. Ces résultats achèvent le chapitre ainsi que la partie par la représentation d'un modèle urbain symbiotique simplifié en considérant le cycle métabolique des flux Déchets-Énergie-Émissions de Carbone.

À l'issue de cette partie, nous arrivons à démontrer l'intérêt de la stratégie locale de "SU_r" dans l'appréhension d'une question aussi globale que le CC, où le bouclage des flux métaboliques entre les différentes activités urbaines apporte des solutions efficaces qui dépassent le cadre de la SI, limitée aux zones industrielles. Nous avons également mis en évidence l'importance du potentiel caché des flux de déchets pour l'atténuation des émissions de carbone. **Ce qui permet de valider notre 1^{ère} hypothèse et justifie notre choix des flux de déchets pour la simulation du modèle dans le contexte d'Alger.**

La deuxième partie empirique et de vérification opérationnelle s'est attachée à décrire les modalités permettant l'application du modèle symbiotique "SU_r-BC" dans le contexte local d'Alger.

Dans le troisième chapitre nous avons simulé le modèle symbiotique conçu dans le territoire local d'EH-OS et vérifié ses performances en s'appuyant sur la méthode d'analyse morphologique et les méthodes AFM, ACV. Pour ce faire, nous avons commencé par identifier les éléments du système territorial d'étude par référence au modèle systémique conçu, pour ensuite explorer son potentiel symbiotique selon les trois étapes : inventaire des données, construction des scénarios possibles, proposition d'une méthode d'évaluation quantitative des gains en consommation d'énergie et en émissions de CO₂ pour chacun des scénarios. Cette méthode repose sur le calcul des deux indices d'optimisation (Énergie Optimisée, Émissions Réduites), puis l'estimation de l'indice de performance symbiotique IPS global sur la base des deux indices partiels IPSP liés aux Gains en Énergie et en CO₂.

L'approche systémique du territoire d'étude nous a permis de dégager les principales activités urbaines d'EH-OS, déterminer leur répartition spatiale et de relever les orientations stratégiques prévues pour son évolution future dans le cadre du PDAU. L'inventaire nous a permis dans une première étape d'identifier et de rassembler les données de base permettant l'application de la SU_r à l'échelle du territoire local d'EH-OS et de mettre en évidence les échanges symbiotiques potentiels entre activités urbaines. La simulation du modèle a conduit à des propositions de planification de liens symbiotiques entre différents sous-systèmes urbains (quartiers d'habitation,

équipements publics, activités industrielles et installations techniques), mettant ainsi en évidence le potentiel symbiotique du territoire d'EH-OS. L'évaluation quantitative nous a permis d'estimer les gains en termes d'optimisation d'énergie et de réduction des émissions de CO₂ et de dégager le scénario optimal. Les résultats ont été traduits à l'échelle spatiale, en termes d'aménagement, par la proposition d'un Plan Local de Symbiose Urbaine Bas Carbone PL-SU_r-BC.

Dans le quatrième chapitre, nous avons vérifié les possibilités d'intégration du modèle conçu dans les outils de planification locaux. Pour ce faire, il a fallu, en s'appuyant sur la revue de la littérature, d'abord identifier les conditions-cadres optimales permettant la planification et le développement des projets symbiotiques à l'échelle locale, pour ensuite identifier les conditions de planification locale à Alger et **vérifier, en comparaison avec les conditions optimales (théoriques), les capacités du système de planification en vigueur dans la prise en charge et le développement de la "SU_r-BC" d'EH-OS.**

La lecture et la comparaison des politiques et stratégies mises en place au niveau international pour la planification des SU_r a permis de définir les facteurs clés permettant la mise en place et le développement d'une SU_r, et nous a conduit à la proposition d'un système de planification optimal (théorique), capable de prendre en charge le développement d'un projet de "SU_r-BC". L'analyse comparative des conditions de planification locale à Alger avec le modèle (théorique), à l'aide des méthodes SEPO et d'auto-évaluation, met en évidence les capacités du système de planification en vigueur dans la prise en charge et le développement de la "SU_r-BC" d'EH-OS. Les résultats de cette analyse relèvent les transformations nécessaires et mettent en lumière les leviers d'action pour la mise en place d'une stratégie locale (politique, environnementale, socio-économique) inscrite et appuyée par une stratégie nationale pour le développement des projets symbiotiques.

À l'issue de cette partie, il en ressort que l'application de la stratégie de SU_r, selon le modèle développé, porte des réponses intéressantes aux gestionnaires urbains algériens pour réduire les GES en Algérie et atteindre l'objectif de résilience climatique. Cependant cela nécessiterait sa prise en charge par les outils de planification locale, notamment en appui du PDAU d'Alger. Une mise en œuvre plus large au niveau national impliquant les métropoles algériennes pourrait alors permettre d'atteindre l'objectif de 7 %, voire plus, d'autant que leur potentiel de contribution à l'effort global d'atténuation des CC semble proportionnel à leur capital urbain en termes de logements, d'équipements structurants et de réseaux logistiques, mais aussi à leur capacité à gérer l'action publique locale, à rechercher des sources d'investissement variées et à valoriser les savoirs locaux. Cela exigerait néanmoins une évolution dans le système de planification urbaine en Algérie, qui impliquerait en conséquence la mise en place d'une politique nationale décentralisée favorable à la mise en place et le développement des projets urbains symbiotiques à l'échelle locale. Les orientations du SNAT 2030 et du PNC 2030 semblent encourager cette démarche.

2. Limites, contraintes et utilité de la recherche

Au cours de notre recherche, nous avons été confrontés à plusieurs contraintes. Elles ont été à l'origine des limites de notre démarche, qui nous ont amenés à effectuer certains choix sélectifs sans toutefois nuire à la logique systémique qui est son fondement initial. Nous pouvons en citer quelques unes, comme par exemple :

- (i) Le choix restrictif des flux métaboliques dans la modélisation et l'évaluation quantitative. Vue la complexité du phénomène étudié et la difficulté de sa mesure, il nous a été impossible de prendre en compte le cycle métabolique urbain complet et d'intégrer tous les flux (une SUR multi-flux) dans le calcul pour deux raisons : le temps et les moyens impartis à la thèse de ce type ne permettent pas de répondre aux exigences d'objectif d'une part, et d'autre part, les données nécessaires sont souvent inexistantes ou non accessibles, malgré l'effort employé pour les obtenir. La question du métabolisme urbain a vraiment besoin d'un portage politique pour convaincre les acteurs sur le terrain qui détiennent l'information (entreprises de production de service, les gestionnaires locaux) de sa nécessité et obtenir leur adhésion. Le recensement général de l'environnement, à l'instar du RGPH ou du RGE, donnerait certainement un élan nouveau aux recherches sur l'implication des engagements climatiques nationaux dans l'urbanisme, tout comme l'orientation récente de la recherche algérienne vers la démarche R&A (recherche/action), qui était notre objectif-cadre dès le départ.
- (ii) Par ailleurs, bien que le choix du cas d'étude d'EH-OS nous ait permis de vérifier les performances de la stratégie et valider nos hypothèses, une étude comparative des gains sur l'ensemble des communes de la métropole d'Alger aurait été plus intéressante et plus concluante. Elle nécessiterait néanmoins l'implication de toute une équipe pluridisciplinaire dans un projet de ce type.
- (iii) Il est aussi à noter que l'évaluation quantitative des scénarios symbiotiques et de leurs gains (en énergie et en émissions de CO₂) s'est basée essentiellement sur des ratios théoriques liés à des contextes différents par rapport au scénario de référence d'EH-OS à Alger (notamment en termes de mode de production, de consommation ou de technologie mise en place), ce qui se pose aussi comme limite dans l'appréciation des scénarios.

Malgré cela, notre recherche s'inscrit surtout dans une vision d'utilité pour l'action. Du fait de la simplicité d'usage avec recours à des logiciels open source disponibles et couramment utilisés sur le terrain, le modèle que nous avons proposé et testé pourrait s'intégrer dans les programmes d'enseignement pour la formation des architectes-urbanistes spécialisés dans les projets urbains thématiques ; pourrait servir dans les agences d'urbanisme et bureaux d'études spécialisés dans la certification des projets (durabilité, résilience climatique), dans la mise en place des grilles d'indicateurs d'évaluation pour la création des banques des données environnementales par les observatoires locaux de développement durable ; pourrait aider dans l'élaboration des cahiers des charges adressés par les décideurs aux investisseurs économiques, etc.

3. Perspectives futures

Avec le potentiel d'optimisation largement prouvé des réseaux symbiotiques décentralisés, la SUR remet en question le modèle actuel du grand réseau technique centralisé et porte un changement de paradigme qui pourrait modifier complètement la conception classique des villes et recomposer les technologies, l'organisation urbaine ainsi que la relation entre acteurs. Par là notre recherche ouvre la perspective à la recherche pour le développement des modèles symbiotiques urbains liés notamment aux flux d'eau par exemple, ou de sous-produits qui pourraient prendre en charge les objectifs d'atténuation du CC et d'optimisation des ressources naturelles, en complément du modèle développé dans le cadre de cette thèse.

Du point de vue méthodologique, la méthode proposée pour l'exploration des potentialités symbiotiques, en termes d'application spatio-fonctionnelle à l'échelle locale, ouvre en effet la voie sur des questions qui se posent avec acuité à l'issue de cet exercice, portant notamment sur la nécessité d'élaboration des bases de données permettant l'identification des liens symbiotiques potentiels et des normes et ratios en rapport avec les conditions locales des villes algériennes; le développement des méthodes d'évaluation et leur intégration dans le processus de planification; mais aussi sur la nécessité de méthodes de mise en œuvre de certification bas carbone pour les besoins d'un permis d'aménagement urbain. De tels outils pourraient être d'une grande utilité pour faciliter la prise de décision.

Du point de vue opérationnel, les résultats d'application du modèle proposé permettraient de procéder à une étude prospective portant sur l'évolution comparative des politiques locales de planification, selon les scénarios identifiés (tendanciel et idéal) et leurs implications sur l'évolution des gains en Énergie et en Émissions de CO₂ à long terme. Cette étude pourrait également être orientée sur la vérification de la rentabilité économique des SUr à long terme (pour les ménages, les entreprises et la localité). Enfin, une dernière piste pourrait être proposée pour l'étude des formes appropriées de gouvernance permettant d'intégrer les projets symbiotiques dans le système de planification et faciliter leur mise en œuvre et leur coordination.

Nous espérons pouvoir contribuer dans l'avenir, au développement de ces recherches.

Bibliographie

- Acebillo, J. et al., (2012).** *A New Urban Metabolism, Barcelona/Lugano case studies*. Barcelona Regional Metropolitan Agency, Accademia di architettura, Università della Svizzera, Mendrisio CH, 266 p.
- ADEME. (2014).** *Base Carbone : Documentation des facteurs d'émissions de la Base Carbone* ®. Version 11. Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Énergie, 18 novembre 2014. <https://www.bilans-ges.ademe.fr/>.
- ADEME. (2019).** *Base Carbone : Documentation des facteurs d'émissions de la Base Carbone* ®. Version 16. Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie. 29 avril 2019. <https://www.bilans-ges.ademe.fr/>.
- Adoue, C. (2006).** *L'écologie industrielle face aux politiques publiques – Cours d'Écologie industrielle et politiques publiques et d' Ecologie industrielle et Règlementation- Module écologie industrielle*. [En ligne]. UVED, ENSMP. <https://diren.mines-paristech.fr/Sites/ISIGE/uved/ecologieIndustrielle/>.
- Ajuntament de Barcelona (2006).** *Le projet22@ Barcelone : La transformation urbaine des zones industrielles de Poblenou*. Ajuntament de Barcelona. http://www.ecocites.logement.gouv.fr/IMG/pdf/07-22barcelona-francais_cle09f517.pdf.
- Ajuntament de Barcelona. (2015).** *Barcelona's Commitment to the Climate. Barcelona, Spain:* Ajuntament de Barcelona. <http://ajuntament.barcelona.cat/ecologiaurbana/sites/default/files/Barcelona%20Committed%20to%20Climate.pdf>
- Ajuntament de Barcelona. (2018).** *Climate Action Plan 2018–2030*. Tinencia d'Alcaldia d'Ecologia, Urbanisme i Mobilitat, Àrea d'Ecologia, Gerència d'Ecologia Urbana, Adjuntament de Barcelona, Barcelona, Spain. <http://hdl.handle.net/11703/109218>
- ALEPH. (2004).** La méthode des scénarios, outil d'une démarche prospective. *Les dossiers d'ALEPH*, n°1, 28 Janvier. Le Plan : Commissariat Général du Plan.
- Aliouche-Hocine, S.(2019).** *Les centres d'enfouissement technique des déchets solides urbains dans les instruments d'aménagement du territoire : ca de la Wilaya d'Alger*. Thèse de Doctorat en sciences. EPAU, Alger.
- AND. (2014).** *Caractérisation des déchets ménagers et assimilés dans les zones nord, semi-aride et aride d'Algérie*. Agence Nationale Des Déchets. <https://and.dz/publication-du-rapport-de-la-campagne-de-caracterisation-de-2014/>.
- AND. (2016).** Données des quantités des déchets urbains solides pour l'année 2016. [fichier Excel]. Agence Nationale des déchets AND. Document interne.
- AND. (2017).** *Rapport sur la gestion des DMA dans la Wilaya d'Alger*. Agence Nationale des Déchets AND , Mai 2017. <https://and.dz/publication-rapport-gestion-dma-wilaya-dalger/>.

- APRUE. (2017). *Consommation énergétique finale de l'Algérie : Chiffres clés année 2015(2017 ed)*. Alger : Ministère de l'Énergie et des Mines, Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Énergie APRUE.
<http://www.aprue.org.dz/documents/PUBLICATION%20CONSOMMATION%20ENERGETIQUE%20FINALE%202015.pdf>.
- APRUE. (2019). *Consommation énergétique finale de l'Algérie : Chiffres clés année 2017 (2019 ed)*. Alger : Ministère de l'Énergie et des Mines, Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Énergie APRUE.
<http://www.aprue.org.dz/index.php/communication/publication>.
- Banque Mondiale. (2021). Données : *Population urbaine (% du total)*. Groupe Banque mondiale.
<https://donnees.banquemondiale.org/indicateur/SP.URB.TOTL.IN.ZS?view=chart>.
- Barle, S. (2010). Écologies urbaine, industrielle et territoriale. Dans Coutard, O. & Levy, J.-p. (dir). *Écologies urbaines*. Paris : Economica. pp.61-83. <https://www.economica.fr/livre-ecologies-urbaines-coutard-olivier-levy-jeanpierre-c2x32210639>.
- Beaurain, C. et Brulot, S. (2011). L'écologie industrielle comme processus de développement territorial : une lecture par la proximité. *Revue d'Économie Régionale & Urbaine*, (2), pp. 313-340.
<https://doi.org/10.3917/rru.112.0313>
- Benamara, S. (2011). Territoire communal en Algérie, entre développement urbain et textes juridiques. Mémoire de Magister, EPAU, Alger.
- Berezowska-Azzag, E. (2006). Alger, le territoire invente son avenir. *European Journal of Planning*.
<http://www.planum.net/algiers-from-city-to-agglomeration>.
- Berezowska-Azzag, E.(2008). *L'environnement face aux exigences de développement urbain à Alger : Séminaire international "Le risorse territoriali nei paesi mediterraneo"*, 3 & 4 mars 2008. Syracuse : Université de Catane, Faculté d'Architecture de Syracuse.
- Berezowska-Azzag, E. (2011). *Guide du Projet Urbain, Volume I : Connaître le contexte de développement durable*. Alger : Éditions Synergie, 245 p.
- Berezowska-Azzag, E., (2012). *Guide du Projet Urbain, Volume II : Comprendre la démarche du Projet Urbain*. Alger : Editions Synergie, Alger, 387 p.
- Berezowska-Azzag, E. (2013). Intelligence urbaine, au-delà d'une planification. *Courrier du Savoir*, Octobre, n°16, pp.55-63. <http://revues.univ-biskra.dz/index.php/cds/article/view/387>.
- Berezowska-Azzag, E., Abdelatif I., Akroun N., Bouallag-Azoui O., & Srir M. (2015). *Baromètre des performances urbaines locales : Alger et ses communes*. Alger : Editions les Alternatives urbaines, 174 p.
- Berezowska-Azzag, E. (dir), (2016a). *Le climat dans tous ses états, Newsletter n°02 VUDD*, Ecole Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme EPAU, Alger, mars 2016, 38p.
- Berezowska-Azzag, E. (dir), (2016b). *Le PDAU d'Alger à l'horizon 2035 : comment enclencher la dynamique de développement avec le Baromètre d'Alger*. Conférence à l'invitation du CLOA d'Alger, le 03 novembre 2016.

- Berezowska-Azzag, E. (2016c, 14 mai). *Politique de la ville durable en Algérie*. Conférence dans le cadre du cycle des séminaires spécialisés de l'Université pour tous, Centre d'Etudes les Glycines, Alger, <http://www.luniversitepour-tous-alger.org/wp-content/uploads/2016/08/Ewa-Azzag.pdf>.
- Berezowska-Azzag E. (2019). *Syllabus du programme et Fiches de phases du projet « Rhizomes urbains »*, Atelier d'urbanisme, 1^{ère} année SC, EPAU.
- Bertoncello, B., Rodrigues-Malta, R., & Dubois, J. (2009). Opération Euroméditerranée une affaire d'Etat : Marseille. *Plateforme d'Observation des Projets et des Stratégies Urbaines (POPSU)*. <http://www.popsu.archi.fr>.
- Boumedine, R. (2013). *Urbanisme en Algérie. Échec des instruments ou instruments de l'échec ?*. Éditions Alternatives Urbaines.
- Boons, F., Chertow, M., Park, J., Spekkink, W., & Shi, H. (2017). Industrial symbiosis dynamics and the problem of equivalence: Proposal for a comparative framework. *Journal of Industrial Ecology*, 21(4), 938-952. <https://doi.org/10.1111/jiec.12468>.
- Boons, F., Spekkink, W., & Jiao, W. (2014). A process perspective on industrial symbiosis: Theory, methodology, and application. *Journal of Industrial Ecology*, 18(3), 341-355. <https://doi.org/10.1111/jiec.12116>.
- Bouabdesselam, H., Liazid, A., & Bouzidi, Y. (2005). La politique environnementale en Algérie: réalités et perspectives. *Déchets- revue francophone d'écologie industrielle*, n°38-2^e trimestre 2005, 29-33.
- Boulanger, P.-M. (2004). Les indicateurs de développement : un défi scientifique, un enjeu démocratique. *Les séminaires de l'Iddri*, n° 12, 24p. Institut pour un développement durable. Belgique : Iddri.
- Braichet (1996). L'approche systémique. Note de cours. AUTOGENESIS : Centre d'études sur les systèmes autonomes, Université de Neuchâtel. <http://www.unine.ch/autogenesis/precies.htm>
- Broto, V.C., Allen .A., Rapport. E. (2012). Interdisciplinary Perspectives on Urban Metabolism. *Journal of Industrial Ecology*, vol.16, n°6, pp.851-861. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2012.00556.x>.
- Brunner, P. H., & Rechberger, H. (2004). Methodology of MFA. *Practical Handbook of Material Flow Analysis* (pp.35-166). Boca, Raton, Londo,n New York, Washington, DC: Lewis Publishers <https://doi.org/10.1201/9780203507209>.
- CCNUCC (1992). Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques. Nations Unies. https://unfccc.int/files/essential_background/convention/background/application/pdf/convention_text_with_annexes_french_for_posting.pdf
- CCNUCC .(2015). *Convention-cadre sur les changements climatiques : Conférence des Parties Vingt et unième session* .Paris, 30 novembre-11 décembre 2015. <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/fre/109f.pdf>
- CDDNU. (2011). *19ème session de la Commission du Développement Durable des Nations Unies (CDD-19): Rapport national de l'Algérie, mai 2011*.

- CDER. (2015). La protection des zones côtières : Une question stratégique. Portail Algérien des Energies Renouvelables, mars 2015.
- CERTU. (2007). *Une introduction à l'approche systémique -appréhender la complexité*, les rapports d'étude. Lyon . CERTU.
- CGDD. (2014). *Le point sur : L'écologie industrielle et territoriale, un levier pour mobiliser les acteurs de terrain en faveur de la transition écologique*, juin, n°185. Ministère de l'écologie, du DD et de l'énergie. <http://temis.documentation.developpement-durable.gouv.fr/document.html?id=Temis-0080627&requestId=0&number=8>
- Chaker, M. (2015). *La démarche d'écologie industrielle appliquée au contexte local à Alger pour une planification et une gestion responsable du métabolisme urbain*. Mémoire de magister. EPAU, Alger.
- Chaker-Aissi M. & Berezowska-Azzag E. (2016). *The Industrial Ecology approach applied to the local context in Algiers for a responsible planning and management of urban metabolism*. 5th International Forum on the Life Cycle Management of Products and Services - Cycle 2016, CIRAI, 13 & 14 October 2016. Montréal : Polytechnique Montréal.
- Chauveau, L. (2009). *Le développement durable: produire pour tous, protéger la planète*. 3^{ème} édition. France: Larousse.
- Chauveau, L. (2009). *Le développement durable: produire pour tous, protéger la planète* (3^{ème} édition) .France: Larousse.
- Chen, X., Fujita, T., Ohnishi, S., Fujii, M., & Geng, Y. (2012). The impact of scale, recycling boundary, and type of waste on symbiosis and recycling: An empirical study of Japanese eco-towns. *Journal of Industrial Ecology*, 16(1), 129-141. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2011.00422.x>.
- Chertow, M. R. (2000). Industrial symbiosis: literature and taxonomy. *Annual review of energy and the environment*, 25(1), 313-337. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.25.1.313>.
- Chertow, M. R., Ashton, W., & Kuppalli, R. (2004). *The industrial symbiosis research symposium at Yale: advancing the study of industry and environment*: Yale School of Forestry & Environmental Studies New Haven, CT.
- Chertow, M. R., & Lombardi, D. R. (2005). Quantifying economic and environmental benefits of co-located firms. *Environmental science & technology*, 39 (17), 6535-6541. <https://doi.org/10.1021/es050050+>.
- Chertow, M. R. (2007). "Uncovering" industrial symbiosis. *Journal of Industrial Ecology*, 11(1), 11-30. <https://doi.org/10.1162/jiec.2007.1110>.
- Chertow, M. R., & Ashton, W. S. (2009). The social embeddedness of industrial symbiosis linkages in Puerto Rican industrial regions. In *The social embeddedness of industrial ecology*. USA : Edward Elgar Publishing.
- Chertow, M. R., & Park, J. (2016). Scholarship and practice in industrial symbiosis: 1989–2014. *Taking stock of industrial ecology* (pp. 87-116): Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-20571-7>.

- Clarke, A., & Ordonez-Ponce, E. (2017). City scale: Cross-sector partnerships for implementing local climate mitigation plans. *Public Administration Review*, 2(7), 25-28.
- Comité 21. (2011-2012). *La ville, nouvel écosystème du XXI^e siècle : Ville, réseaux, développement durable : Rapport du Comité de prospective du Comité 21*. Paris. Comité 21. <http://www.comite21.org/docs/actualites-comite-21/2012/rapport-la-ville-nouvel-ecosysteme-du-21eme-siecle-06-04-12.pdf>.
- Coutard, O. (2018). Chapitre 2. Symbioses énergétiques à Vancouver: Action publique locale, innovations intermédiaires et potentiel de transition. Dans : Dominique Lorrain éd., *Villes sobres: Nouveaux modèles de gestion des ressources* (pp. 73-92). Paris: Presses de Sciences Po. <https://doi.org/10.3917/scpo.lorra.2018.01.0073>
- CPDN. (2015). Contribution Prévue Déterminée au niveau National CPDN-Algérie- (pp. 10): République Algérienne Démocratique et Populaire, septembre 2015 . <https://www4.unfccc.int/sites/NDCStaging/pages/Party.aspx?party=DZA>
- Curien, R. & Lorrain, D. (2018). Chapitre 9. Suzhou Industrial Park, une opération de référence. Dans : Dominique Lorrain éd., *Villes sobres: Nouveaux modèles de gestion des ressources* (pp. 223-242). Paris: Presses de Sciences Po. <https://doi.org/10.3917/scpo.lorra.2018.01.0223>
- Cusack, D. F., Axsen, J., Shwom, R., Hartzell-Nichols, L., White, S., & Mackey, K. R. (2014). An interdisciplinary assessment of climate engineering strategies. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 12(5), 280-287. <https://doi.org/10.1890/130030>.
- Dakhia, K. (2015). *Empreinte Eco-Institutionnelle Urbaine, outil d'aide à la décision pour l'évaluation et le contrôle du métabolisme urbain en Algérie*. Thèse de Doctorat en sciences. EPAU, Alger.
- De Rosnay, J. (1979). *The macroscope: A new world scientific system*. New York: Harper & Row.
- Defeuilley, C. (2018). Chapitre 3. Transition énergétique: Les trajectoires du changement. Dans : Dominique Lorrain éd., *Villes sobres: Nouveaux modèles de gestion des ressources* (pp. 93-110). Paris: Presses de Sciences Po. <https://doi.org/10.3917/scpo.lorra.2018.01.0093>
- Demri, D. (2000). *Protection de l'Environnement et Réglementation en Algérie*. [Présentation Power Point], 05 Juin 2000. Alger : ENP , Laboratoire « Sciences et Techniques de l'Environnement », Département du Génie de l'Environnement.
- Desthieux, G. (2005). *Approche systémique et participative du diagnostic urbain. Concept de représentation cognitive du système urbain en vue de l'élaboration de systèmes d'indicateurs géographiques*. Thèse doctorale n °3216, École Polytechnique fédérale de Lausanne EPFL, Suisse. <https://infoscience.epfl.ch/record/33684>.
- Dong, H., Ohnishi, S., Fujita, T., Geng, Y., Fujii, M., & Dong, L. (2014). Achieving carbon emission reduction through industrial & urban symbiosis: A case of Kawasaki. *Energy*, 64, 277-286. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.11.005>.
- Dong, H., Fujita, T., Geng, Y., Dong, L., Ohnishi, S., Sun, L., Dou, Y. & Fujii, M. (2016). A review on eco-city evaluation methods and highlights for integration. *Ecological Indicators*, 60, 1184-1191.

- Dong, L., Fujita, T., Dai, M., Geng, Y., Ren, J., Fujii, M., Wang, Y., Hnishi, S. (2016). Towards preventative eco-industrial development: an industrial and urban symbiosis case in one typical industrial city in China. *Journal of Cleaner Production*, 114, 387-400. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.015>.
- Donnadiou, G., & Karsky, M. (2002). *La systémique, penser et agir dans la complexité*. Paris :Éditions Liaisons.
- Donnadiou, G., Durand, D., Neel, D., Nunez, E., & Saint-Paul, L. (2003). *L'Approche systémique: de quoi s'agit-il ? Synthèse des travaux du Groupe AFSCET " Diffusion de la pensée systémique"*. AFSCET : Association Française des Sciences des Systèmes Cybernétiques, Cognitifs et Techniques, 11p.
- Durand, D., & Nuñez, E. (2002). Pour une pédagogie opérationnelle de l'approche systémique. *Res-systemica : Revue Française de Systémique, Volume N°2, Numéro Spécial : Actes du V^e Congrès Européen de Systémique, Octobre 2002, Crête*. <http://www.res-systemica.org/afscet/resSystemica/res-systemica-numeros.html>. <http://www.afscet.asso.fr/resSystemica/Crete02/DurandNunez.pdf>.
- Durand, D. (2017). *La systémique: «Que sais-je?»* n° 1795 (13^{ème} ed.). Paris: Presses universitaires de France.
- Ehrenfeld, J.R., Chertow, M.R. (2002). Industrial symbiosis: the legacy of Kalundborg. In Ayres, RU and Ayres, LW (editors). *A Handbook of Industrial Ecology* (pp. 334-348). Cheltenham, UK ; Massachusetts, USA: Edward Elgar Publishing. <https://doi.org/10.4337/9781843765479.00038>.
- Erkman, S. (2004). *Vers une écologie industrielle* (2^{ème} ed.). Paris: Charles Léopold Mayer. <https://www.eclm.fr/livre/vers-une-ecologie-industrielle/>.
- Fang, K., & Heijungs, R. (2015). The role of impact characterization in carbon footprinting. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 13(3), 130-131. <https://doi.org/10.1890/15.WB.005>.
- Fang, K., Dong, L., Ren, J., Zhang, Q., Han, L., & Fu, H. (2017). Carbon footprints of urban transition: Tracking circular economy promotions in Guiyang, China. *Ecological Modelling*, 365, 30-44. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2017.09.024>.
- FEDEREC. (2017). *Évaluation environnementale du recyclage en France selon la méthodologie de l'analyse de cycle de vie*. FEDEREC, ADEME. Mai 2017.
- FIDAFRIQUE. (2005). *Méthodologie de capitalisation et de valorisation des expériences des projets et programmes du FIDA en Afrique de l'ouest et du centre*. Réseau d'information pour le développement rural en Afrique de l'ouest et du centre, Octobre 2005. <http://www.foretcommunale-cameroun.org/download/fidafrique.pdf>
- Figuière, C., & Chebbi, A. (2016). Écologie Industrielle (EI) et Économie Circulaire (EC). Concurrentes ou complémentaires?. In *XXXII^{èmes} journées du développement ATM 2016" Catastrophes, vulnérabilités et résiliences dans les pays en développement"*. Association Tiers-monde; Clersé; Université Lille 1, Jun 2016, Lille, France. <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01564030>.
- FRAO. (2009). *Capitalisation et valorisation des expériences des projets et programmes de développement financés par le FIDA en Afrique de l'Ouest et du Centre*. Guide méthodologique. Fondation

- Rurale de l'Afrique de l'Ouest FRAO. <https://frao.org/wp-content/uploads/2019/03/CAPITALISATION-FRAO>.
- Froidevaux, D. (2007). *Approches des projets*. Séminaire ASP.
- Frosch, R. A., & Gallopoulos, N. E. (1989). Strategies for manufacturing. *Scientific American*, 261(3), 144-153. <https://doi.org/10.1038/scientificamerican0989-144>.
- Galan, J., & Perrotti, D. (2019). Incorporating metabolic thinking into regional planning: The case of the Sierra Calderona strategic plan. *Urban Planning*, 4(1), 152-171. <https://doi.org/10.17645/up.v4i1.1549>.
- Geng, Y., Tsuyoshi, F., & Chen, X. (2010). Evaluation of innovative municipal solid waste management through urban symbiosis: a case study of Kawasaki. *Journal of Cleaner Production*, 18(10-11), 993-1000. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.03.003>.
- Gibbs, D., & Deutz, P. (2007). Reflections on implementing industrial ecology through eco-industrial park development. *Journal of Cleaner Production*, 15(17), 1683-1695.
- GIEC. (2007). *Bilan 2007 des changements climatiques : Rapport de synthèse*. Un rapport du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat GIEC, Genève, Suisse.
- GIEC-GTI. (2013). *Climate change 2013: The physical science basis. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, USA: Cambridge University Press, GTI, September 2013. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>.
- GIEC-GT II. (2014). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability: Part A, Global and Sectoral Aspects. Working Group II Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, USA.: Cambridge University Press, March, 2014. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>
- GIEC-GT III. (2014). *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Working Group III contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, USA.: Cambridge University Press, April 2014. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/>.
- GIEC-RS (2014). *Changement Climatique 2014 : Rapport de synthèse. Contribution des Groupes de travail I, II et III au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, GIEC*. Genève, Suisse. <https://www.ipcc.ch/languages-2/francais/publications/>.
- GIEC-SP (2018). *Global Warming of 1.5°C :an IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5 °C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Working Group I, II, III contribution*. Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, October 2018. <https://doi.org/10.1017/9781009157940>.
- GIEC-GTII. (2021). *Climate change 2021: the physical science basis. Working Group I contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC, WGI*, August 2021 . <https://www.ipcc.ch/reports/>.

- GIEC-GTI. (2022). Climate change 2022: impacts, adaptation and vulnerability. *Working Group I contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* IPCC, WGI, February 2022 . <https://www.ipcc.ch/reports/>.
- Girardet, H. (2010). *Regenerative Cities*. [En ligne]. Hamburg : the World Future Council and Hafen City University Commission on Cities and Climate Change. http://www.worldfuturecouncil.org/fileadmin/user_upload/papers/WFC_Regenerative_Cities_web_final.pdf.
- GIZ. (2014). *Rapport sur la gestion des déchets solides en Algérie*. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ).
- GIZ. (2019). *Gestion des déchets et économie circulaire*. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GIZ. <https://www.giz.de/en/worldwide/29749.html>.
- Godet, M., Monti, R., Meunier, F., & Roubelat, F. (2004). *La boîte à outils de la prospective stratégique*. Cahiers du LIPSOR n°5. 5^e édition . Paris: Laboratoire d'Investigation Prospective et Stratégique.
- Godet, M. (2007). *Manuel de prospective strategique*. 3^{ème} edition. Paris: Dunod.
- Hammadou, I. (2019, 29 décembre). Fiscalité et économie circulaire, beaucoup reste à faire. *El Watan*. <https://www.elwatan.com/edition/contributions/fiscalite-et-economie-circulaire-beaucoup-reste-a-faire-29-12-2019>.
- Hashimoto, S., Fujita, T., Geng, Y., & Nagasawa, E. (2010). Realizing CO2 emission reduction through industrial symbiosis: a cement production case study for Kawasaki. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(10), 704-710. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2009.11.013>.
- Heeres, R. R., Vermeulen, W. J., & De Walle, F. B. (2004). Eco-industrial park initiatives in the USA and the Netherlands: first lessons. *Journal of cleaner production*, 12(8-10), 985-995. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.02.014>.
- IEA. (2013). *IEA Statistics : CO2 emissions from fuel combustion highlights* (2013edition). Paris, France : International Energy Agency. https://doi.org/10.1787/co2_fuel-2013-en.
- IEA. (2019, march). Global Energy and CO2 Status Report 2019: The latest trends in energy and emissions in 2018. <https://www.iea.org/reports/global-energy-co2-status-report-2019>.
- Jacobsen, N. B. (2006). Industrial symbiosis in Kalundborg, Denmark: a quantitative assessment of economic and environmental aspects. *Journal of Industrial Ecology*, 10(1-2), 239-255. <https://doi.org/10.1162/108819806775545411>.
- Jensen, P. D., Basson, L., Hellawell, E. E., Bailey, M. R., & Leach, M. (2011). Quantifying 'geographic proximity': experiences from the United Kingdom's national industrial symbiosis programme. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(7), 703-712. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.02.003>
- Kaliampakos, D., & Benardos, A. (2013). Underground solutions for urban waste management: status and perspectives. *Report, ISWA Task Force on Globalisation and Waste Management*. https://www.researchgate.net/publication/318503365_Underground_Solutions_for_Urban_Waste_Management_Status_and_Perspectives/link/596e25f04585152dd4ab5fd9/download
- Kalundborg Symbiosis. (2021). Explore the Kalundborg symbiosis. <http://www.symbiosis.dk/en/>.

- KEK-CDC Consultants. (2015).** *SEPO – Auto-Évaluation basé sur l'appréciation des Succès, Echecs, Potentialités et Obstacles.*
- Kim, H.-W., Dong, L., Choi, A. E. S., Fujii, M., Fujita, T., & Park, H.-S. (2018).** Co-benefit potential of industrial and urban symbiosis using waste heat from industrial park in Ulsan, Korea. *Resources, Conservation and Recycling*, 135, 225-234. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.027>.
- Kurup, B., Altham, W., & Van Berkel, R. (2005).** *Triple bottom line accounting applied for industrial symbiosis.* Paper presented at the 4th Australian Life Cycle assessment Conference, Sydney, Australia.
- Kusch, S. (2015).** *Industrial symbiosis: powerful mechanisms for sustainable use of environmental resources.* Brief for The UN Global Sustainable Development Report (GSDR) 2015. <https://sdgs.un.org/fr/node/20742>
- Ladrière, J. (1994).** La causalité dans les sciences de la nature et dans les sciences humaines. Dans *Franck, R (dir). Faut-il chercher aux causes une raison? L'explication causale dans les sciences humaines*, 248-274. Paris : J. Vrin ; Lyon : Institut Interdisciplinaire d'Études Épistémologiques
- Lapointe, J. (1998).** L'approche systémique et la technologie de l'éducation. Département de technologie de l'enseignement - Faculté des sciences de l'éducation, Université Laval, Québec.
- Le Moigne, J.-L. (1994).** *La théorie du système général: théorie de la modélisation* (2006 ed.). Collection: les Classiques du Réseau Intelligence de la Complexité RIC. https://www.researchgate.net/publication/324366344_La_theorie_du_systeme_general_Theorie_de_la_modelisation
- Liébard, A. et De Herd, A. (2005).** *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique*. Paris : Observ'ER .
- Lifset, R., Graedel, T.E. (2002).** Industrial ecology: goals and definitions. In Ayres, R.U and Ayres, L.W. (Eds.), *A Handbook of Industrial Ecology* (pp. 3-15). Cheltenham, UK ; Massachusetts, USA: Edward Elgar Publishing. <https://doi.org/10.4337/9781843765479.00009>.
- Lombardi, D. R., & Laybourn, P. (2012).** Redefining industrial symbiosis: Crossing academic-practitioner boundaries. *Journal of Industrial Ecology*, 16(1), 28-37. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2011.00444.x>.
- Lorrain, D. (2002).** Capitalismes urbains: Des modèles européens en compétition. Dans : éd., *L'Année de la régulation n° 6 (2002-2003): Économie, institutions, pouvoirs* (pp. 195-239). Paris: Presses de Sciences Po. <https://doi.org/10.3917/scpo.colle.2002.01.0195>.
- Lorrain, D. (2018).** Introduction : Métropoles en mode sobre et smart. Dans : Dominique Lorrain éd., *Villes sobres: Nouveaux modèles de gestion des ressources* (pp. 9-28). Paris: Presses de Sciences Po. <https://doi.org/10.3917/scpo.lorra.2018.01.0009>
- Lorrain, D., Halpern, C. & Chevauché, C. (2018).** *Villes sobres: Nouveaux modèles de gestion des ressources*. Paris: Presses de Sciences Po. <https://doi.org/10.3917/scpo.lorra.2018.01>.
- Lowe, E. A., & Evans, L. K. (1995).** Industrial ecology and industrial ecosystems. *Journal of Cleaner Production*, 3(1-2), 47-53. doi: 10.1016/0959-6526(95)00045-G

- Lufkin, S., Erkman, S., & Rey, E. (2016). *Strategies for symbiotic urban neighbourhoods : towards local energy self-sufficiency*. Cham; Heidelberg; New York; Dordrecht; London : Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-25610-8>.
- Maargab, R. (2010). Partenariat public-privé et requalification urbaine des quartiers historiques: accélération de développement ou propulsion de gentrification : L'exemple de la rue de la République à Marseille. *HALSHS sciences humaines et sociales, version 1*. <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00517558>.
- Massard, G. (2011). *Les symbioses industrielles : une nouvelle stratégie pour l'amélioration de l'utilisation des ressources matérielles et énergétiques par les activités économiques*. Thèse de Doctorat. Université de Lausanne, Faculté des géosciences et de l'environnement. https://serval.unil.ch/fr/notice/serval:BIB_1FBA86D308CB.
- Massard, G., Jacquat, O., Zürcher, D. (2014). *International survey on eco-innovation parks. Learning from experiences on the spatial dimension of eco-innovation*. Environmental studies. Bern: FOEN & ERA-NET, ECO-INNOVERA. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/en/home/topics/education/publications-studies/publications/international-survey-on-eco-innovation-parks.html>
- MATE. (2003). *Rapport sur l'état et l'avenir de l'environnement*. Alger : MATE.
- MATE. (2005). *Analyse de durabilité dans le cadre du PAC « Zone côtière algéroise" (Algérie) : Rapport final*. MATE, PNUE, plan bleu. <http://commissariatlittoral.dz/wp-content/uploads/2018/04/Analyse-de-durabilite-PAC-Alg%C3%A9rie.pdf>
- MATEV. (2013). *Étude sur la vulnérabilité et l'adaptation de la Wilaya d'Alger au changement climatique et aux risques naturels*. MATEV, CMI, BM, CDC. Octobre, 2013.
- McDaniels, T., Chang, S., Cole, D., Mikawoz, J., Longstaff, H. (2008). Fostering resilience to extreme events within infrastructure systems: characterizing decision contexts for mitigation and adaptation. *Global Environmental Change*, 18(2), 310-318. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2008.03.001>.
- MEER (2018). L'Algérie produit 34 millions de tonnes de déchets par an. [en ligne]. Ministère de l'Environnement et des Énergies Renouvelables MEER, 27 Décembre 2018. <http://www.meer.gov.dz/a/?p=1648>
- MEFI. (2006). *Les réseaux de chaleur*. Rapport du Ministère de l'Économie, des finances et de l'industrie MEFI. France : MEFI, 29 mars 2006. https://www.recyclage-recuperation.fr/comptes/jcamille/reseau_chaleur.pdf.
- MHUV. (2011). *Ministère de l'habitat, de l'Urbanisme et de la ville, Assises Nationales de l'Urbanisme : Un forum pour repenser la ville*. in ETTAMIR N°1- Juin 2011. Alger : Agence Nationale de l'Urbanisme ANURB, Alger. <http://www.mhuv.gov.dz/Pages/Revues.aspx>
- MHUV. (2015). Journée d'Étude "Le développement urbanistique de la capitale à travers le Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme PDAU, réalités et perspectives". Assemblée Populaire de la Wilaya d'Alger, Commission de l'urbanisme et de l'habitat, sous le patronat de MHUV et de M. le Wali d'Alger, 2 juin 2015, Alger.

- Mirata, M. (2004). Experiences from early stages of a national industrial symbiosis programme in the UK: determinants and coordination challenges. *Journal of Cleaner production*, 12(8-10), 967-983. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.02.031>
- Mulder, K.F. (2016). Urban symbiosis: A new paradigm in the shift towards post-carbon cities. *NewDist*, (July), 16-24. [https://pure.tudelft.nl/portal/en/publications/urban-symbiosis\(6f121ea1-a33c-4fa5-945f-f28c4bbe5011\).html](https://pure.tudelft.nl/portal/en/publications/urban-symbiosis(6f121ea1-a33c-4fa5-945f-f28c4bbe5011).html).
- Mulder, K. (2017). Urban Symbiosis as a Strategy for Sustainabilising Cities: An Overview of Options and their Potential, Pitfalls and Solutions. *Civil Engineering Research Journal*, 2(3), 1-7. <https://doi.org/10.19080/cej.2017.02.555590>
- Naimi-Ait Aoudia, M. (2016). *Modélisation d'un système d'indicateurs pour l'évaluation de la capacité de charge urbaine relative aux ressources hydriques de la wilaya d'Alger*. Thèse de doctorat en sciences, EPAU, Alger.
- Navigant & ASN Bank (2017). Total GHG emissions worldwide. https://guidehouse.com/media/www/site/downloads/energy/2019/asn_navigant_emissionsflowchart.pdf
- Notarnicola, B., Tassielli, G., & Renzulli, P. A. (2016). Industrial symbiosis in the Taranto industrial district: current level, constraints and potential new synergies. *Journal of Cleaner Production*, 122, 133-143. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.056>.
- OCDE (2008). *L'atténuation du changement climatique: Que faire?*. Organisation de Coopération et de Développement Économiques. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264059627-fr>.
- Ohnishi, S., Dong, H., Geng, Y., Fujii, M., & Fujita, T. (2017). A comprehensive evaluation on industrial & urban symbiosis by combining MFA, carbon footprint and emergy methods—Case of Kawasaki, Japan. *Ecological Indicators*, 73, 513-524. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.10.016>.
- ONS. (2006). *Compendium national Sur les statistiques de l'environnement*. Office National des Statistiques (ONS), Alger.
- Orée. (2008). *Environnement : Mettre en œuvre une démarche d'écologie industrielle sur un parc d'activités*. Paris : Société Alpine de Publication.
- Ouamane, K. (2017). *Gestion des déchets en Algérie, enjeux et perspectives*. Agence Nationale des Déchets AND. Bruxelles, 07 Mars 2017. <https://agidalgerie.files.wordpress.com/2017/04/annexe-6-prc3a9sentation-and.pdf>.
- Panayiotou, G.P., Bianchi, G., Georgiou, G., Aresti, L., Argyrou, M., Agathokleous, R., Tsamos, K.M., Tassou, S.A., Florides, G., Kalogirou, S., Christodoulides, P., (2017). Preliminary assessment of waste heat potential in major European industries. *Energy Procedia*. 123, 335-345. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.263>.
- Park, H. S., Rene, E. R., Choi, S. M., & Chiu, A. S. F. (2008). Strategies for sustainable development of industrial park in Ulsan, South Korea-From spontaneous evolution to systematic expansion of industrial symbiosis. *Journal of Environmental Management*, 87(1), 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.12.045>.

- PDAU (2016). *Révision du Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme de la Wilaya d'Alger*: PDAU d'Alger - Rapport d'orientation. Wilaya d'Alger, PARQUEXPO.
- Pirotton, G. (2005). Introduction à la Systémique, Boîte à outils conceptuels pour aider la réflexion, la formation et l'action des écologistes et de tous ceux qui sont tentés par une compréhension globale de la complexité. *etopia : centre d'animation et de recherche en écologie politique*, analyse n°18
- Planète Énergies. (2014, 29 Aout). *La méthanisation : du biogaz dans nos déchets* [En ligne]. Dossier : Le traitement des déchets. Planète Énergies. <https://www.planete-energies.com/fr/medias/decryptages/la-methanisation-du-biogaz-dans-nos-dechets>.
- PNAE-DD (2002). Plan National d'Actions pour l'Environnement et le Développement Durable PNAE-DD. Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement : MATE, Janvier 2002. <https://www.ecolex.org/fr/details/literature/plan-national-dactions-pour-lenvironnement-et-le-developpement-durable-pnae-dd-mon-082573/>
- PNC. (2019). *Plan National Climat PNC*. Ministère de l'Environnement et des Énergies Renouvelables. Alger : MEER, GIZ. Septembre 2019. <http://www.meer.gov.dz/a/?wpdmpro=plan-national-climat>
- PNUE (1996). Programme des Nations Unies pour l'Environnement. Méthodes et outils pour les études systémiques et prospectives en méditerranée. *MAP Technical Reports Series*, n°115. Plan d'action pour la Méditerranée : Centre d'activités régionales du Plan Bleu, Sophia Antipolis.
- Pollard, J. (2018). Chapitre 1. La sobriété énergétique à Genève. Dans : Dominique Lorrain éd., *Villes sobres: Nouveaux modèles de gestion des ressources* (pp. 53-71). Paris: Presses de Sciences Po. <https://doi.org/10.3917/scpo.lorra.2018.01.0053>
- Rahmani, C. (2002). *Les finances des communes algériennes: insincérité, déficits et bonne gouvernance*. Alger : Casbah éditions.
- Rahmani, C. (2017). *Les finances communales: demain la commune algérienne*. Alger : Casbah éditions.
- Repetti, A. (2004). *Un concept de monitoring participatif au service des villes en développement*. Thèse de doctorat n° 2903. École Polytechnique fédérale de Lausanne EPFL, Suisse. <https://infoscience.epfl.ch/record/33378>.
- Ressources naturelles Canada. (2014). *Les faits : Consommation de carburant et CO2*. https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/oeef/pdf/transportation/fuel-efficient-technologies/autosmart_factsheet_6_f.pdf.
- Rey, E. (2013). Vers la ville symbiotique?. In *Actes de la 7ème conférence du Forum Ecoparc, "Vers la ville symbiotique? Valoriser les ressources cachées"*. Cahier spécial de la revue *Tracés*, novembre 2013, 3-5. <https://infoscience.epfl.ch/record/190579>.
- Rizou, L. et Ghalem, N. (2010). *Procédure d'étude d'impact sur l'environnement en Algérie*. MATET.
- Saidouni, M. (2000). *Éléments d'introduction à l'urbanisme : Histoire, méthode, réglementation*. Alger : Casbah éditions.
- SALIEZ, J.Y. (2007). *Ma planète, ma commune : du développement durable à l'Agenda 21 local*. Wallonie : Inter Environnement Wallonie (IEW) ; Union des Villes et des Communes de Wallonie (UVCW). <https://www.reseau-idee.be/fr/ma-planete-ma-commune>.

- Sciama, Y. (2010). *Le changement climatique: une nouvelle ère sur la Terre* (2^eed). France : Larousse.
- SDA. (2016). Données des quantités de consommation d'énergie pour l'année 2016 [fichier Excel]. Société de Distribution de l'électricité et du Gaz d'Alger SDA. Document interne.
- SDCTDSU. (2008). *Étude du Schéma Directeur de Collecte et de Traitement des Déchets Solides des 57 Communes de la Wilaya d'Alger-bilan et diagnostic de la situation existante volume a diagnostic global : Rapport final Mission 1*, Vol n° 1. Alger : Direction de l'Environnement de la Wilaya d'Alger.
- SDGDI 1. (2010). *Étude du Schéma Directeur de la Gestion des Déchets Industriels de la Wilaya d'Alger-Diagnostic Évaluation des données de base : Rapport final Mission 1*, (Version 4), Novembre, 2010. Alger : Wilaya d'Alger.
- SNAT. (2010).. Loi n°10-02 du 29 juin 2010 portant approbation du Schéma National d'Aménagement du Territoire. MATE, *Journal Officiel n°61*, Alger, 107p. <https://www.joradp.dz/ftp/jo-francais/2010/f2010061.pdf>.
- SOFIES. (2011). *Écologie industrielle à Genève : Les réseaux d'entreprises et les symbioses industrielles*. Rapport pour Groupe de travail Ecosite (Agenda 21)& Office de l'environnement (OdE - DSPE). Genève : Solutions For Industrial Ecosystems (SOFIES). <https://www.genie.ch/library/h/ecologie-industrielle-a-geneve---les-reseaux-dentreprises-et-les-symbioses-industrielles.html>
- SOFIES. (2018). *Guide d'écologie industrielle et territoriale: gérer et planifier autrement les zones d'activités*. Sofies, Genève, février 2018. <https://sofiesgroup.com/news/guide-ecologie-industrielle-et-territoriale-gerer-et-planifier-autrement-les-zones-dactivites/>.
- SONELGAZ. (2015). *Bulletin Statistiques des sociétés énergétiques du Groupe Sonelgaz*. Société Algérienne de l'électricité et du gaz Sonelgaz.
- SONELGAZ. (2020). Présentation du Groupe Sonelgaz. www.sonelgaz.dz.
- Sterr, T., & Ott, T. (2004). The industrial region as a promising unit for eco-industrial development—reflections, practical experience and establishment of innovative instruments to support industrial ecology. *Journal of Cleaner Production*, 12(8-10), 947-965. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.02.029>.
- Suzuki, H., Dastur, A., Moffatt, S., Yabuki, N., & Maruyama, H.(2010). *Eco2 cities : ecological cities as economic cities*. Washington, D.C.: The World Bank. <https://doi.org/10.1596/978-0-8213-8046-8>.
- SWEEPNET. (2010). *Rapport pays sur la gestion des déchets solides en Algérie - Études de cas : Algérie*. Le réseau régional d'échange d'informations et d'expertise dans le secteur des déchets dans les pays du Maghreb et du Mashreq SWEEPNET, Juillet 2010.
- Thietart, R.-A. (2014). *Méthodes de recherche en management* (4^{ème} Ed). Paris : Dunod. <https://doi.org/10.3917/dunod.thiet.2014.01>

- Toubin, M., Lhomme, S., Diab, Y., Serre, D., Laganier, R. (2012). La Résilience urbaine: un nouveau concept opérationnel vecteur de durabilité urbaine? *Développement durable et territoires : Économie, géographie, politique, droit, sociologie*, 3(1). <https://doi.org/10.4000/developpementdurable.9208>
- UN-DESA. (2019). Exposure and vulnerability tonatural disasters for world's cities. *United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Technical Paper n° 2019/4*, December, 2019. <https://www.un.org/development/desa/pd/content/exposure-and-vulnerability-natural-disasters-worlds-cities>
- UN-HABITAT. (2011). *Les villes et les changements climatiques : orientations générales*. Rapport mondial 2011 sur les établissements humains. Programme des nations unis pour les établissements humains. Londres ; Washington, D.C.: Earthscan publishing. <https://unhabitat.org/fr/node/92220>
- Van Beers, D., Bossilkov, A., Corder, G., & Van Berkel, R. (2007). Industrial symbiosis in the Australian minerals industry: the cases of Kwinana and Gladstone. *Journal of Industrial Ecology*, 11(1), 55-72. <https://doi.org/10.1162/jiec.2007.1161>
- Van Berkel, R., Fujita, T., Hashimoto, S., & Fujii, M. (2009a). Quantitative assessment of urban and industrial symbiosis in Kawasaki, Japan. *Environmental Science & Technology*, 43 (5), 1271–1281. <https://doi.org/10.1021/es803319r>.
- Van Berkel, R., Fujita, T., Hashimoto, S., & Geng, Y. (2009b). Industrial and urban symbiosis in Japan: Analysis of the Eco-Town program 1997–2006. *Journal of Environmental Management*, 90(3), 1544-1556. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.11.010>.
- Van Leeuwen, M. G., Vermeulen, W. J. V., & Glasbergen, P. (2003). Planning eco-industrial parks: An analysis of Dutch planning methods. *Business Strategy and the Environment*, 12(3), 147-162. <https://doi.org/10.1002/bse.355>
- Velenturf, A. P., & Jensen, P. D. (2016). Promoting industrial symbiosis: Using the concept of proximity to explore social network development. *Journal of Industrial Ecology*, 20(4), 700-709. <https://doi.org/10.1111/jiec.12315>
- Vernay, A. L. (2013). *Circular Urban Systems, moving towards systems integration*. Doctoral thesis. University of Technology: TU Delft. <https://doi.org/10.4233/uuid:c7e37777-eb7a-4e5f-b0e3-ec93f68a655d>.
- Vernay, A.L., Mulder, K.F. (2016). Organising urban symbiosis projects. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Engineering Sustainability*. 169 (5), 181-188 <https://doi.org/10.1680/jensu.15.00010>.
- Wiedmann, T. and Minx, J. (2007). A Definition of 'Carbon Footprint'. In: C. C. Pertsova, *Ecological Economics Research Trends: Chapter 1*, pp. 1-11. Nova Science Publishers, Inc NewYork, USA. https://books.google.dz/books/about/Ecological_Economics_Research_Trends.html?id=G_CkU1p_6HNwC&redir_esc=y.
- Zhu, Q., Lowe, E. A., Wei, Y. A., & Barnes, D. (2007). Industrial symbiosis in China: A case study of the Guitang Group. *Journal of Industrial Ecology*, 11(1), 31-42. <https://doi.org/10.1162/jiec.2007.929>.

Annexes

Annexe 1 : Inventaire des actions d'atténuation du CC prévues dans le cadre du PNC	227
Annexe 2 : Complément d'informations relatives à la démarche de modélisation du système urbain symbiotique	231
Annexe 3 : Complément des résultats d'application du modèle SU _r -BC dans le territoire local d'EH-OS	236
Annexe 4 : Complément des résultats d'analyse des conditions d'intégration du projet "SU _r -BC" dans le système de planification locale à Alger	242

Annexe 1 : Inventaire des actions d'atténuation du CC prévues dans le cadre du PNC

A1.1. Volet d'adaptation

Pour le volet d'adaptation, le document prévoit 64 actions d'adaptation planifiées, dont 36 actions à court terme et 27 actions à moyen terme [Tableaux 1.A, 1.B].

Thématiques	Actions (ACT)	Pilote	
1. Gestion des risques sur le littoral	ACT 1	Dragage des ports	MTPT
	ACT 2	Protéger les infrastructures maritimes contre l'érosion	MTPT
	ACT 3	Prévision de la houle	MTPT
2. Gestion des risques, Observation et surveillance de la mer	ACT 4	Mise en place de radiotraceurs sur l'espace côtier	MTPT
	ACT 5	Élaboration d'une banque de données relatives au littoral algérien et mise en place d'un catalogue de la carte sédimentaire	MTPT
	ACT 6	Réseau de surveillance de la mer	MTPT
	ACT 7	Observation de la surface de la mer, suivi satellitaire et par télédétection	ASAL
	ACT 8	Collecte de données sur l'acidification des eaux marines	MADRP
3. Gestion des risques d'inondation	ACT 9	Élaboration d'un plan de prévention du risque d'inondation (PPRI) dans le bassin versant de la Seybouse	MRE
	ACT 10	Mise en place d'un système d'alerte - inondation - à l'échelle du bassin versant de Seybouse	MRE
	ACT 11	Élaboration et révision des plans directeurs d'aménagement et d'urbanisme (PDAU) et des plans d'occupation du sol (POS)	MHUV
4. Ressources en eau	ACT 12	Protéger le réseau d'infrastructure contre les inondations	MTPT
	ACT 13	Impacts des changements climatiques sur les aquifères côtiers en Algérie et lutte contre l'intrusion marine	MRE
	ACT 14	Impacts des changements climatiques futurs sur la capacité de régulation des barrages réservoirs	MRE
	ACT 15	Optimisation et réhabilitation des systèmes d'irrigation	MRE
5. Agriculture	ACT 16	Développement et extension de l'irrigation goutte à goutte	MADRP MRE
	ACT 17	Valorisation et duplication de l'expérience de la wilaya d'Oran sur la production du compost organique en tant qu'engrais naturel	MEER
6. Santé, observation et surveillance	ACT 18	Système d'information géographique pour une gestion efficace des sécheresses agricoles	MADRP
	ACT 19	Appui à la mise en œuvre de la surveillance de la diarrhée chez l'enfant dans la wilaya d'Oran	MSPRH
	ACT 20	Appui à la mise en place d'un dispositif de surveillance météorologique des pollens dans de la région d'Annaba	MSPRH
	ACT 21	Évaluation du risque toxicologique dû à la contamination des sols liée à la réutilisation des eaux usées domestiques traitées pour l'irrigation	MSPRH
	ACT 22	Évaluation de la qualité chimique des ressources en eau	MSPRH
	ACT 23	Surveillance et alerte des risques de santé liés aux changements climatiques	MSPRH
	ACT 24	Appui à la mise en place d'une structure dédiée à la surveillance microbiologique des milieux aquatiques	MSPRH
	ACT 25	Appui à la finalisation d'un insectarium de confinement niveau 2 (I2) à l'Institut Pasteur d'Algérie (IPA)	MSPRH
	ACT 26	Protéger les services des urgences des vagues de chaleur par l'installation de systèmes de climatisation adaptés	MSPRH
ACT 27	Information et communication sur l'impact des changements climatiques sur la santé humaine	MSPRH	
7. Érosion, désertification, barrage vert et protection des sols	ACT 28	Réhabilitation des parcours par la mise en défens	MADRP
	ACT 29	Lutte contre l'ensablement et dotation des zones exposées par des moyens spécifiques pour y faire face	MADRP
8. Vulnérabilité des collectivités locales	ACT 30	Élaboration des plans locaux d'adaptation (pour trois wilayas pilotes : M'Sila, El Bayadh, Sidi Bel Abbès)	MEER
	ACT 31	Renforcement des capacités locales en gestion des risques de catastrophes couvrant les 48 wilayas	MICLAT
	ACT 32	Projet de mise en place d'un réseau de villes résilientes	MICLAT
	ACT 33	Aide à la formulation des plans directeurs de résilience urbaine à Chlef et Oran	MICLAT
	ACT 34	Élaboration d'une cartographie des catastrophes naturelles et de leurs impacts sur les infrastructures stratégiques routières, portuaires et aéroportuaires	MTPT
	ACT 35	Variabilité et projection climatique des vagues de chaleur sur les grandes villes du littoral	IHFR
	ACT 36	Étude de l'évolution de la sécheresse à l'ouest algérien à l'horizon -2050 2100	IHFR

Tableau 1. A : Actions d'adaptation à court terme (2020-2025) (PNC, 2019)

Thématiques		Actions (AMT)	Pilote
1. Infrastructures	AMT 1	Doter les zones exposées à l'enneigement par des moyens performants de déneigement	MTPT
	AMT 2	Doter les zones exposées à l'ensablement par des moyens de désensablement	MTPT
	AMT 3	Adapter les infrastructures du Sud aux grandes chaleurs	MTPT
	AMT 4	Renforcer la recherche dans le domaine des transports en lien avec les changements climatiques	MTPT
2. Biodiversité marine	AMT 5	Observation et analyse de la dynamique de l'écosystème marin (DIMA)	MADRP
	AMT 6	Immersion des récifs artificiels pour restaurer les zones de pêche	MADRP
	AMT 7	Mise en place d'un réseau de surveillance de l'impact des changements climatiques sur l'herbier à posidonie	MEER
	AMT 8	Mise en place d'un programme national de gestion des espèces invasives aquacoles	MADRP
3. Ressources en eau	AMT 9	Mise en place d'un réseau de surveillance du coralligène	MEER
	AMT 10	Valorisation des eaux non conventionnelles en zone aride	MRE
	AMT 11	Étude nationale sur la réutilisation des eaux usées épurées	MRE
	AMT 12	Réutilisation des eaux de drainage déminéralisées dans l'agriculture : Vallée Oued Righ	MRE
	AMT 13	Projet de réalimentation d'une nappe pilote à partir des ressources de surface	MRE
	AMT 14	Étude de vulnérabilité des ressources en eau souterraine face aux effets des changements climatiques	MRE
4. Agriculture	AMT 15	Amélioration des pratiques agricoles en vue d'une meilleure utilisation des eaux de pluie dans les zones semi-arides	MADRP
	AMT 16	Introduction de nouvelles espèces adaptées et leur valorisation à l'exemple de l'opuntia	MADRP
	AMT 17	Sélection et amélioration génétique de variétés de céréales, légumineuses alimentaires, fourrages, cultures maraichères et arboriculture	MADRP
	AMT 18	Développer dans les zones marginales et sensibles à l'érosion les techniques du semis direct	MADRP
	AMT 19	Préservation des vergers de pommiers de Bouhmama contre une sécheresse avancée et mesures pour l'irrigation durable	MADRP
5. Biodiversité terrestre	AMT 20	Restauration de l'écosystème steppique à travers la régénération de l'alfa	MADPR
	AMT 21	Installation d'un observatoire pour la surveillance écologique, climatique et socio-économique de l'écosystème steppique	MADPR
	AMT 22	Adaptation des écosystèmes forestiers aux changements climatiques et renforcement de leur résilience écologique, cas des espèces de haute altitude (sommitales)	MADPR
	AMT 23	Résilience des zones humides aux changements climatiques	MADPR
	AMT 24	Renforcement de la résilience des aires protégées aux changements climatiques	MADPR
	AMT 25	Plan de développement intégré du massif des Bibans, régions Ighil Ali (Béjaia) et Theniet Enassr (Bordj Bou Arréridj)	MEER
	AMT 26	Mise en place d'aires protégées à caractère halieutique	MADPR
	AMT 27	Valorisation et amélioration de la résilience climatique des populations et des paysages oasiens en Algérie	MEER

Tableau 1. B : Actions d'adaptation à moyen terme (2020-2035) (PNC, 2019)

A1.2. Volet d'atténuation

Pour le volet d'atténuation le document du PNC prévoit 76 actions qui impliquent deux nouveaux domaines (les collectivités locales et le tourisme), en plus des six premiers initialement impliqués dans la proposition du CPDN [Tableaux 1.C, 1.D].

	Actions	Pilote	
Industrie	1	Rénovation et remise en marche de deux compensateurs synchrones du complexe de Sider El Hadjar	MIM
	2	Réduction de la consommation de coke dans le haut fourneau par optimisation des paramètres de fonctionnement du process à Sider El Hadjar	MIM
	3	Renforcement des capacités du complexe pour améliorer les performances énergétiques, la réduction des émissions de GES et de polluants de l'air à Sider El Hadjar	MIM
	4	Éclairage du complexe de Sider El Hadjar par le solaire photovoltaïque	MIM
	5	Modernisation du système d'allumage des stands de chauffage des poches des deux aciéries et réinjection des gaz chauds d'aciéries pour le chauffage des poches des fours à Sider El Hadjar	MIM
	6	Installation de variateurs de vitesse sur les moteurs de forte puissance pour la réduction de la consommation énergétique dans les unités de production à Sider El Hadjar	MIM
	7	Amélioration de la gestion globale de l'énergie des unités de production du complexe Sider El Hadjar. Optimisation et rénovation des installations pour la réduction de la consommation d'énergie	MIM
	8	Installation de batteries de compensation et remise en service du turboalternateur pour la réduction de la consommation et la génération d'électricité in situ	MIM
	9	Installation de nouveaux fours à induction à haut rendement énergétique dans les fonderies des métaux ferreux et non ferreux à El Harrach et Tiaret	MIM
	10	Installation de système d'éclairage solaire LED pour l'éclairage interne et externe des unités de l'ENAP	MIM
	11	Conversion de véhicules de service au GPL de ALFAPIPE	MIM
	12	Co-incinération des déchets ménagers et industriels à haut pouvoir calorifique dans les fours à ciment des unités GICA	MIM
	13	Modernisation des installations et remplacement des cubilots par des fours électriques à induction pour la fusion du métal d'ALFEL	MIM
	14	Optimisation de l'utilisation du transformateur « pastille de zinc » pour la réduction de la consommation énergétique dans l'unité de production de zinc d'ALZINC	MIM
	15	Renouvellement et modernisation de la fonderie ALFET de Tiaret	MIM
	16	Installation d'un moteur variateur de vitesse ACS 800 dans le procédé pour la réduction de la consommation énergétique à ALZINC	MIM
	17	Appui et assistance technique des entreprises industrielles pour la modernisation et mise à niveau des installations pour l'économie des ressources et la performance environnementale	MIM
Déchets	18	Développement des filières de valorisation boues issues des STEP par co-incinération dans les fours de cimenteries	MIM
	19	Démantèlement et valorisation des déchets d'équipements électriques et électroniques	MEER
	20	Promotion de l'entrepreneuriat dans l'économie verte dans 5 wilayas algériennes (Bordj Bou Arreridj-Tizi Ouzou- Illizi-Batna-Blida-Ain-Defla)	MEER
	21	Éradication des décharges sauvages et valorisation énergétique des casiers fermés des CET	MEER
	22	Étude de marché de la valorisation des déchets industriels dans le cadre de l'économie circulaire en Algérie	MEER
	23	Recyclage, valorisation des déchets et production de l'énergie	MEER
	24	Projet pilote national de valorisation des déchets ménagers et assimilés à faible émission de gaz à effet de serre	MIM
Énergie	25	Développement du marché des chauffe-eaux solaires en Algérie par l'installation de 2000 CES individuels dans les ménages sur le territoire national	MDE
	26	Appui à la généralisation de l'éclairage performant LED dans les foyers en Algérie	MDE
	27	Renforcement du marché de la transition énergétique par la conversion de 500'000 véhicules légers essence au GPL	MDE
	28	Programme de développement de centrales à cycle combiné à haut rendement énergétique dans le parc de SPE, Sonelgaz	MDE
	29	Hybridation des centrales diesel du sud d'Algérie par l'installation de centrales solaires photovoltaïques supplémentaires de capacité globale de 50 MW	MDE
	30	Programme de contrôle systématique préventif pour la réduction des émissions de SF6 des équipements et installations électriques de Sonelgaz	MDE
	31	Renforcement des capacités des sociétés de Sonelgaz pour la surveillance du réseau et la réduction des émissions dues aux incidents et fuites de gaz naturel sur le territoire national	MDE
	32	Mise à jour de la cartographie et surveillance du réseau de distribution du gaz naturel sur le territoire national	MDE
	33	Réalisation des programmes nationaux d'extension du réseau de distribution publique du gaz naturel sur le territoire national	MDE
	34	Alimentation en énergie solaire de 2897 foyers isolés par l'installation de kits photovoltaïques individuels	MDE
	35	Contrôle des fuites de gaz naturel du réseau de transport gaz par la technologie Laser	MDE
	36	Programme de rénovation des installations de production pétrolières pour la réduction des émissions et du torchage dans les champs pétroliers	MDE
	37	Substitution énergétique des équipements et des sites	MDE
	38	Projet d'actions de mise en place de systèmes de management de l'énergie (SME), certification ISO 50001 et d'audits des SME des installations de production	MDE
	39	Maintenance des installations pour la réduction des émissions et la protection des équipements	MDE
	40	Projet d'actions de modernisation, renouvellement et réhabilitation des installations de l'industrie gazière pour le contrôle et la réduction des émissions gazeuses dans l'atmosphère des complexes de liquéfaction du gaz naturel à Arzew (GL1Z et GL2Z)	MDE
41	Renforcement des capacités des structures et des unités de Sonatrach pour la réalisation des audits internes énergétiques des sites et des installations de production énergétique	MDE	
42	Nouvelles installations de récupération des gaz associés des champs pétroliers et de production de gaz naturel	MDE	
43	Déploiement de l'énergie solaire photovoltaïque pour le pompage d'eau et des systèmes d'irrigation dans les exploitations agricoles du sud de l'Algérie	MEER	

Tableau 1. C : Actions d'atténuation des émissions de GES et de renforcement des puits de carbone dans les domaines de l'Industrie, des Déchets et de l'Énergie (PNC, 2019)

		Actions	Pilote
Forêts	44	Exploration du potentiel de séquestration de carbone de la forêt, cas de la forêt domaniale de Senalba, wilaya de Djelfa	MADRP
	45	Projet intégré de restauration des terres arides (zone du barrage vert) dans le contexte des changements climatiques	MADRP
	46	Stratégie de lutte contre les feux de forêts pour la réduction des incendies et développement d'outils de prévention et de gestion	MADRP
Transport	Actions		Pilote
	47	La mise en œuvre de dispositif électronique de gestion de l'information à bord des avions EFB « Electronic Flight Bag class 2 »	MTPT
	48	Mise en œuvre du Fuel Dashboard à bord des avions de la compagnie d'Air Algérie	MTPT
	49	Installation de l'Electronic Flight Folder à bord des avions d'air Algérie	MTPT
	50	Acquisition de groupes électrogènes GPU et packs de climatisations ACU pour réduire la consommation de kérosène au sol	MTPT
	51	Optimisation de la navigation aérienne	MTPT
	52	Conversion de véhicules au GPL et acquisition de véhicules neufs roulant au GPL dans les aéroports	MTPT
	53	Installation de panneaux photovoltaïques pour l'éclairage de l'aéroport de Biskra	MTPT
	54	Installation d'un système d'éclairage périmétrique LED dans les aéroports en Algérie	MTPT
	55	Éclairage solaire de l'aéroport de Hassi Messaoud	MTPT
	56	Développement et renforcement du réseau ferroviaire	MTPT
	57	Conversion au GPL de flotte de véhicules de service dans les aéroports	MTPT
	58	Modernisation des équipements portuaires, intégration de l'énergie solaire et amélioration de l'efficacité énergétique dans les ports d'Arzew, Ghazaouet, Bejaia et Mostaganem	MTPT
59	Modernisation du transport public urbain : extension de la première ligne du métro à Alger et projet de réalisation de la première ligne du métro d'Oran	MTPT	
60	Modernisation du transport public urbain : réalisation des tramways dans les villes algériennes	MTPT	
61	Réalisation des systèmes de transport par câble dans les villes d'Alger, Tizi Ouzou et modernisation de la télécabine d'Oran	MTPT	
Collectivités locales	Actions		Pilote
	62	Modernisation de la gestion de l'éclairage public et généralisation des lampes LED et développement de l'éclairage solaire	MICLAT
	63	Généralisation de l'éclairage au LED et installation d'équipement solaire, optimisation et standardisation de l'éclairage dans les écoles et cantines	MICLAT
	64	Généralisation de l'éclairage au LED et installation d'équipement solaire, optimisation et standardisation de l'éclairage et la climatisation selon l'usage dans les mosquées et les écoles coraniques	MICLAT
65	Généralisation de l'éclairage au LED et installation d'équipement solaire, optimisation et standardisation de l'éclairage dans les bâtiments et des infrastructures publiques des APC	MICLAT	
Bâtiment et habitat	Actions		Pilote
	66	Installation de panneaux photovoltaïque pour l'éclairage public dans trois nouvelles villes algériennes	MHUV
	67	Réalisation d'un éco-quartier à Tizi Ouzou	Secteur privé
	68	Réalisation d'un éco-quartier à Oran par le groupe Hasnaoui	Secteur privé
	69	Isolation thermique des logements et des équipements publics	MHUV
	70	Développement des espaces verts et reboisement en zone urbaine	MHUV
	71	Conception et réalisation d'un logement pilote avec un matériau innovant	MHUV
	72	Réalisation d'un éco quartier à El Bouni, Annaba par Méditbat	Secteur privé
	73	Intégration de l'efficacité énergétique et de l'énergie solaire dans la construction de la grande mosquée d'Alger	MHUV
74	Résorption de l'habitat précaire à travers l'éradication des bidonvilles, le relogement de 379 000 ménages et la réhabilitation de 181 848 logements	MHUV	
75	Réalisation d'un éco-quartier à Tafilalet Ghardaia	ONG	
Tourisme	Actions		Pilote
76	Développement de l'efficacité énergétique et des énergies renouvelables dans les établissements touristiques	MTA	

Tableau 1. D : Actions d'atténuation des émissions de GES et de renforcement des puits de carbone dans les domaines de : forêts, transport, collectivités locales, bâtiment et habitat, tourisme (PNC, 2019).

Annexe 2 : Complément d'informations relatives à la démarche de modélisation du système urbain symbiotique

A2.1. Construction des indicateurs et indices à partir d'un modèle conceptuel

- **Définitions :**

Indicateur est « une variable observable utilisée pour rendre compte d'une réalité non observable » (Boulanger, 2004, p.6). Un indicateur a, entre autres, pour fonction de « produire et communiquer de l'information synthétique en agrégeant des données ou des indicateurs d'un niveau hiérarchique inférieur » (Desthieux, 2005, p.26). La question de l'agrégation renvoie à la notion d'indice.

Indice, appelé aussi *macro-indicateur*, « est un indicateur synthétique construit en agrégeant d'autres indicateurs dits de base » (Boulanger, 2004, p.6). Par exemples le PIB, l'indice des prix à la consommation, l'indice de développement humain (IDH) utilisés dans le cadre des politiques publiques comme indicateurs sont en réalité des indices (Ibid.).

L'indice permet donc de produire une vision simplifiée qui donne une signification plus représentative d'un phénomène global. Cependant, la mise en relation de plusieurs indicateurs est complexe et peut être difficilement saisie par l'intelligence humaine. De nombreuses approches proposent des ensembles contenant plusieurs dizaines voire même une centaine d'indicateurs, comme par exemple le triangle d'agrégation de Zaccai et Bauler (2003) selon lequel l'agrégation des indicateurs est représentée par une structure pyramidale allant des données primaire (à la base) jusqu'aux indices au sommet (Desthieux, 2005). Notons que les indicateurs agrégés peuvent être classés, par rapport aux objectifs qui leur sont assignés, en groupes dimensionnels (selon les domaines) ou thématiques (selon des critères) (Berezowska-Azzag, 2011)

Dans le cadre de notre recherche nous avons défini à partir de l'agrégation des indicateurs de base, seize (16) indicateurs synthétiques partiels et quatre (4) indicateurs synthétiques à partir desquels nous avons construit quatre (4) indices partiels dont les deux premiers sont des indices d'optimisation (Optimisation d'Énergie (*EnOp*), Réduction des Émissions de CO₂ (*EmRe*) et les seconds sont des indices de performance partiels. Leur agrégation nous donne l'Indice global de Performance Symbiotique IPS. Cette structuration est représentée dans la [Figure 2. B]

- **Étapes de construction des indicateurs**

Les différentes étapes de construction d'indicateurs identifiés par Lazarsfeld (1958) sont décrites dans la Figure 2.A (selon Boulanger, 2004) et schématisées dans la [Figure 2.B].

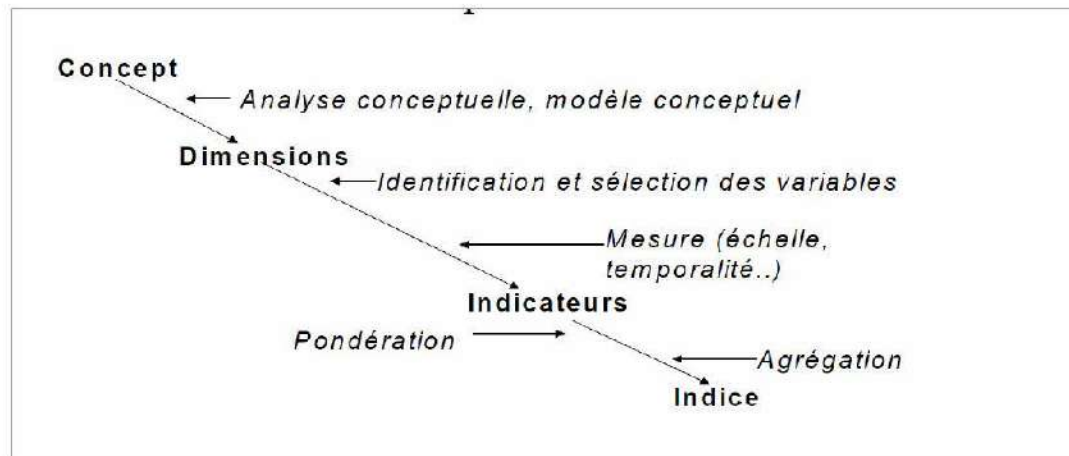


Figure 2. A : Opérationnalisation du modèle conceptuel en indicateurs quantifiables (Boulangier, 2004)

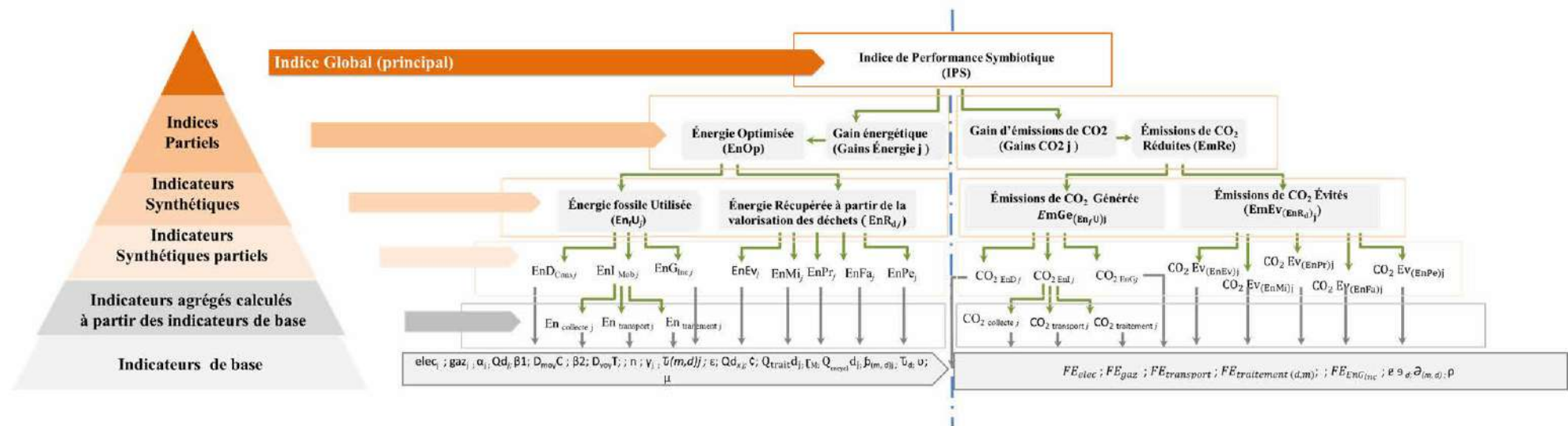


Figure 2. B : Structuration hiérarchique des indicateurs construits dans le cadre du modèle conceptuel proposé selon l'approche de Zaccai et Bauler

A2.2. La méthode d'analyse multicritère

L'analyse multicritère est une méthode qui permet d'orienter un choix sur la base de plusieurs critères communs. Cette méthode est essentiellement destinée à la compréhension et à la résolution de problèmes de décision. Elle est utilisée pour porter un jugement comparatif entre des projets ou des mesures hétérogènes » (EU, 2015)¹¹⁶

A2.3. La Méthode « SEPO »

La méthode SEPO (Succès – Échec – Potentialités - Obstacles) est un outil de diagnostic et d'auto-évaluation utilisé dans la planification de projets. Elle a l'avantage d'être simple, compréhensible, comme elle peut être utilisée dans des contextes et des domaines variés (KEK-CDC, 2015; FRAO, 2009 ; FIDAFRIQUE, 2005).

Sa démarche permet d'analyser le processus en jeu d'un projet tant dans sa dimension temporelle que thématique. Elle repose sur l'idée que nous pouvons apprendre du passé pour construire l'avenir. Elle se base sur notre capacité fondamentale à se rappeler du passé et à anticiper le future. Ainsi, une base solide des actions futures peut être construite sur la base de l'évaluation des succès et des échecs du passé (KEK-CDC, 2015). Elle utilise *la grille « SEPO »* comme support de structuration de la démarche et d'aide à la réflexion (Froidevaux, 2007).

- **Présentation de la grille « SEPO »**

La grille SEPO, comprend quatre fenêtres réparties horizontalement et verticalement sur les deux axes : l'axe du temps (passé/future) et l'axe d'évaluation (positif/négatif) [figure 2.C]. (Berezowska-Azzag, 2012 ; KEK-CDC, 2015) :

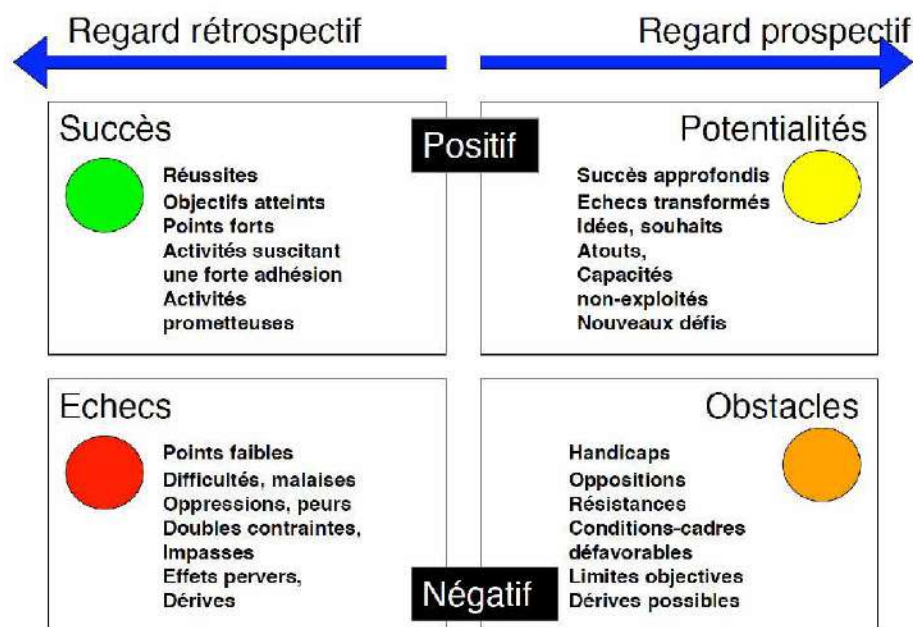


Figure 2. C : Composantes de la grille SEPO (FROIDEVAUX, 2007)

¹¹⁶ https://europa.eu/capacity4dev/evaluation_guidelines/book/30015/print

• **Utilité de la méthode :**

Dans la pratique, SEPO a fait ses preuves comme instrument d'auto-évaluation flexible et adaptable. Elle focalise l'attention sur un objectif commun et facilite notamment (KEK-CDC, 2015 ; FRAO, 2009 ; Froidevaux, 2007 FIDAFRIQUE, 2005) :

- La représentation d'expériences divergentes de différents groupes d'acteurs prenant part à un projet ;
- L'évaluation participative des expériences et des perceptions ;
- L'échange sur des expériences, des opinions et des acteurs ;
- Le développement d'un langage commun et de solutions aux problèmes ;
- Faciliter la recherche d'intérêts et de valeurs communs.

En tant qu'outil de planification, la procédure SEPO vise à faciliter l'approche de la planification car elle permet notamment de (**Figure 2.D**):

- Définir une vision prospective à partir des enseignements à tirer du passé : facteurs, conditions, influences qui ont été décisifs pour les succès et échecs ;
- Mettre en œuvre des actions communes à partir des liens à établir entre la révision du passé et le regard vers le futur ;
- Établir le lien entre l'auto-évaluation, l'ajustement des objectifs et la planification d'un projet.

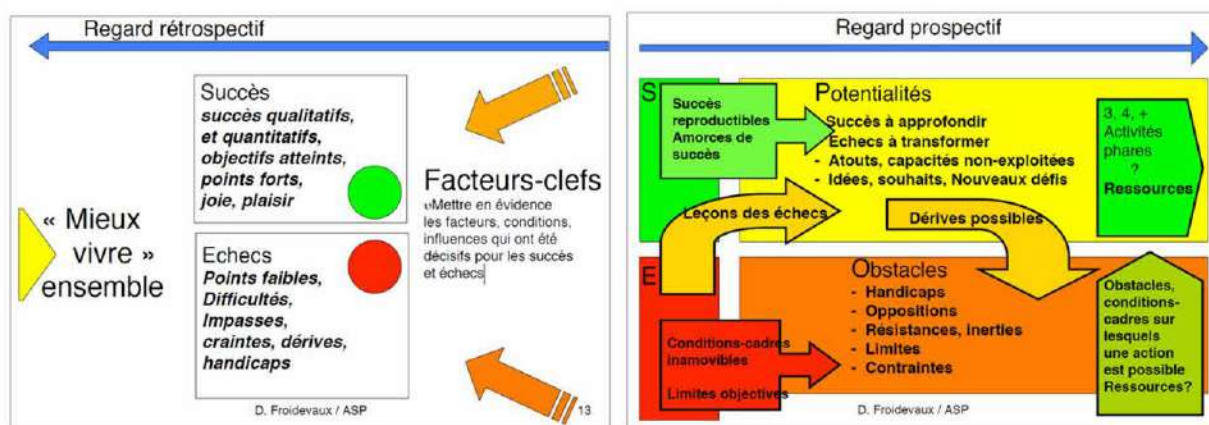


Figure 2. D : Exploitation de la grille SEPO pour le développement d'une stratégie d'action future (Froidevaux, 2007 ; Berezowska-Azzag, 2012)

A2.4. Grille d'auto-évaluation

C'est un outil qui a été utilisé par les consultants de FIDA/FRAO dans le cadre de leur projet de développement local, pour l'auto-évaluation et l'analyse de certaines variables organisationnelles importantes liées à la production, la gestion et l'échange d'information et de connaissances (FIDAFRIQUE, 2005 ; FRAO,2009 ; Berezowska-Azzag, 2012).

Pour évaluer un système organisationnel donné dans ses différentes dimensions, la grille permet dans un premier temps d'identifier un certain nombre de variables, lesquels sont déclinés en sous-variables puis décomposés en affirmations ou situations organisationnelles. À titre d'exemple, la variable « Communication » est approchée par 3 sous-variables : Information, Concertation,

Échanges. Chacune de ces sous-variables est déclinées en 4 situations. L'outil se présente sous la forme d'une grille de 3 colonnes. La colonne du milieu est une échelle de notation de 1 à 5. Les deux colonnes situées aux deux extrémités présentent deux situations organisationnelles souvent opposées (ou nuancées) au sein du projet [Figure 2.E] (FIDAFRIQUE, 2005).

COMMUNICATION						
INFORMATIONS						
	1	2	3	4	5	
Dans le projet nous recevons les informations utiles pour travailler						Dans le projet , nous recevons toutes sortes d'information
Dans le projet, l'information produite antérieurement est accessible à tous.						Il est difficile de retrouver une information produite antérieurement
Une bonne circulation de l'information facilite le travail						La circulation des informations n'est pas aisée
Dans le Projet, l'information arrive au bon moment						Dans le projet, l'information utile arrive en retard
ECHANGES						
	1	2	3	4	5	
Les échanges internes sont libres et réguliers						Dans le projet, les échanges internes se font sous la pression.
La régularité des réunions de coordination facilite les échanges d'informations.						L'absence de réunion de coordination limite l'échange d'informations
Dans le projet, les échanges d'expériences constituent un moyen de renforcement institutionnel.						Les échanges d'expériences sont considérés par le projet comme une perte de temps.
Les échanges avec les partenaires sont systématisés.						Les partenaires doivent nous relancer plusieurs fois avant d'obtenir une réaction
CONCERTATION						
	1	2	3	4	5	
Dans le projet, les décisions importantes sont le fruit d'un consensus.						Dans le Projet, le supérieur impose son point de vue sur les décisions importantes
Dans le projet, il existe un mécanisme de prévention qui limite fortement les conflits						Dans le projet, les conflits sont courants
La gestion collégiale est largement utilisée dans le projet						La prise de décision est du ressort exclusif du staff
L'appartenance à un cadre de concertation facilite le partage avec d'autres organisations.						La non-adhésion à un cadre de concertation limite le partage avec d'autres organisations.

Figure 2. E : Exemple d'une grille d'auto évaluation à 5 points (FIDAFRIQUE, 2005)

Annexe 3 : Complément des résultats d'application du modèle SU_r-BC dans le territoire local d'EH-OS

Indicateur	Abréviation	Unité	j0	j1	j2	j3	j4	j5	
A	Énergie fossile Utilisée sous un scénario j (EnrU_j)								
A.1	Énergie Directe Consommée sous un scénario j (EnD_{Consj})								
Électricité	elec _j	GWh/y	267,425	267,425	267,425	267,425	267,425	267,425	
Gaz naturel	gaz _j	1000000 th/y	497,132	497,132	497,132	497,132	497,132	497,132	
	gaz _j	GWh/y	578,165	578,165	578,165	578,165	578,165	578,165	
Total d'Énergie Directe Consommée	EnD_{Consj}	GWh/y	845,59	845,59	845,59	845,59	845,59	845,59	
A.2.	Énergie Indirecte mobilisée pour le traitement des déchets sous un scénario j (EnI_{Mob,j})								
Énergie pour Collecte	En _{collecte,j}	m3/an	211,048	135,009	248,292	4,145	109,021	248,292	
		GWh/an	2,267	1,450	2,667	0,045	1,171	2,667	
Énergie pour Transport	En _{transport,j}	m3/an	41,81	-	-	-	-	-	
		GWh/an	0,45	-	-	-	-	-	
Énergie pour Traitement	En _{traitement,j}	GWh/an	2,02	0,60	2,85	0,05	22,85	23,50	
Total d'Énergie Indirecte mobilisée	EnI_{Mob,j}	GWh/an	4,74	2,05	5,52	0,09	24,02	26,16	
A.3	Énergie Grise incorporée dans le processus de mise en place des installations de traitement (EnG_{Inc,j})								
Déchèterie	x ₁	GWh/an	-	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	
Installation de méthanisation	x ₂	GWh/an	-	0,64	-	-	-	0,64	
Industrie textile	x ₃	GWh/an	-	-	-	-	0,15	0,15	
Réseaux de chaleur	x ₄	GWh/an	-	-	-	-	0,52	0,52	
Total d'Énergie Grise incorporée	EnG_{Inc,j}	GWh/an	-	1,83	1,18	1,18	1,85	2,49	
Total d'Énergie fossile Utilisée	EnrU_j	GWh/an	850,3	849,5	852,3	846,9	871,5	874,2	
B.	Énergie Récupérée à partir de la Valorisation des déchets sous un scénario j (EnR_{d,j})								
B.1	Énergie Évitée à la consommation	EnEv _j	GWh/an	-	3,33	6,13	0,10	2,69	6,13
B.2	Énergie Réduite	EnM _j	GWh/an	-	-	-	-	264,48	264,48
B.3	Énergie Produite	EnPr _j	GWh/an	-	9,98	44,38	1,33	-	11,32
B.4	Énergie Fatale Récupérée	EnFa _j	GWh/an	-	-	-	-	2,74	2,74
B.5	Énergie perdue	EnPe _j	GWh/an	-	1,00	4,44	0,13	0,27	1,41
Total d'Énergie Récupérée	EnR_{d,j}	GWh/an	-	12,32	46,07	1,30	269,64	283,26	
Total d'Énergie Optimisée par scénario	EnOp_j	GWh/an	850,3	837,2	806,2	845,6	601,8	591,0	
Total des Gains en énergie par rapport au Scénario "j0"	Gains _{Énergie,j}	GWh/an	-	13,18	44,10	4,77	248,5	259,3	
		%	0%	1,55%	5,19%	0,56%	29,2%	30,5%	
Valeurs de référence	Objectif national d'optimisation		%	7%					
	Gain en Énergie correspondant à l'objectif national dans le cas d'étude		GWh/an	59,52					
	Énergie Optimisée Correspondante		GWh/an	790,807					

Tableau 3.A: Résultats comparatifs de quantification du potentiel d'Énergie Optimisée et des gains associés pour tous les scénarios

Indicateur	Abréviation	Unité	j0	j1	j2	j3	j4	j5	
A	Émissions de CO₂ générées liées à l'Énergie fossile Utilisée sous un scénario j ($EmGe_{(EnfU)_j}$)								
A.1	Émissions de CO₂ à liées à l'Énergie Directe Consommée sous un scénario j ($CO_{2(EnD_{cons})_j}$)								
a. CO ₂ lié à l'électricité	CO ₂ elec _j	ktCO ₂ e/an	146,55	146,55	146,55	146,55	146,55	146,55	
b. CO ₂ lié au gaz naturel	CO ₂ gaz _j	ktCO ₂ e/an	131,24	131,24	131,24	131,24	131,24	131,24	
Total du CO₂ lié à l'Énergie Utilisée	EmGe_{(EnfU)_j}	ktCO₂e/yan	277,8	277,8	277,8	277,8	277,8	277,8	
A.2	Émissions de CO₂ à liées à l'Énergie Indirecte mobilisée sous un scénario j ($CO_{2(EnI_{mob})_j}$)								
CO ₂ lié à la Collecte des déchets	CO ₂ collecte _j	ktCO ₂ e/an	0,561	0,359	0,660	0,011	0,290	0,660	
CO ₂ lié au Transport des déchets	CO ₂ transport _j	ktCO ₂ e/an	0,11	-	-	-	-	-	
CO ₂ lié au Traitement des déchets	CO ₂ traitement _j	ktCO ₂ e/an	0,50	0,14	0,65	0,01	3,77	3,91	
Total du CO₂ lié à l'Énergie Indirecte	CO_{2(EnI_{mob})_j}	ktCO₂e/an	1,17	0,50	1,31	0,02	4,06	4,58	
A.3	Émissions de CO₂ liées à l'Énergie Grise Incorporée sous un scénario j ($CO_{2(EnG_{inc})_j}$)								
Total du CO₂ lié à l'Énergie Grise	CO_{2(EnG_{inc})_j}	ktCO₂e/y	-	1,00	0,65	0,65	1,01	1,37	
Total du CO₂ lié à l'Énergie Utilisée	EmGe_{(EnfU)_j}	ktCO₂e/y	278,97	279,29	279,75	278,46	282,86	283,73	
B.	Émissions de CO₂ Évitées, liées à l'Énergie Récupérée à partir de la valorisation des déchets sous un scénario j ($EmEv_{(EnR_d)_j}$)								
B.1	CO ₂ évité lié à l'Énergie évitée	CO ₂ Ev _{(EnEv)_j}	ktCO ₂ e/an	-	0,83	1,52	0,03	0,67	1,52
B.2	CO ₂ évité lié à l'Énergie Réduite	CO ₂ Ev _{(EnMi)_j}	ktCO ₂ e/an	-	-	-	-	38,13	38,13
B.3	CO ₂ évité lié à l'Énergie Produite	CO ₂ Ev _{(EnPr)_j}	ktCO ₂ e/an	-	0,86	10,81	0,32	-	1,19
B.4	CO ₂ évité lié à l'Énergie Fatale Récupérée	CO ₂ Ev _{(EnFa)_j}	ktCO ₂ e/an	-	-	-	-	1,50	1,50
B.5	CO ₂ évité lié à l'Énergie Perdue	CO ₂ Ev _{(EnPe)_j}	ktCO ₂ e/an	-	0,09	1,08	0,03	0,15	0,27
Total du CO₂ évité lié à l'Énergie Récupérée	EmEv_{(EnR_d)_j}	ktCO₂e/an	-	1,60	11,25	0,32	40,14	42,06	
Total des Émissions de CO₂ Réduites par scénario	EmRe_j	ktCO₂e/y	278,97	277,77	269,58	278,18	242,87	241,94	
Total des gains en émissions de CO₂ par rapport au scénario "j0"	Gains_{CO2 j}	ktCO₂e/an	-	1,19	9,39	0,79	36,10	37,02	
		%	0%	0,43%	3,36%	0,28%	12,94%	13,27%	
Valeurs de référence	Objectif national d'optimisation	%	7%						
	Gain en Émissions de CO ₂ correspondant à l'objectif national dans le cas d'étude	ktCO₂e/an	19,53						
	Émissions de CO ₂ Réduite Correspondante	ktCO₂e/an	259,439						

Tableau 3.B: Résultats de quantification du potentiel des Émissions de CO₂ Réduites ($EmRe_j$) et des gains associées pour tous les scénarios

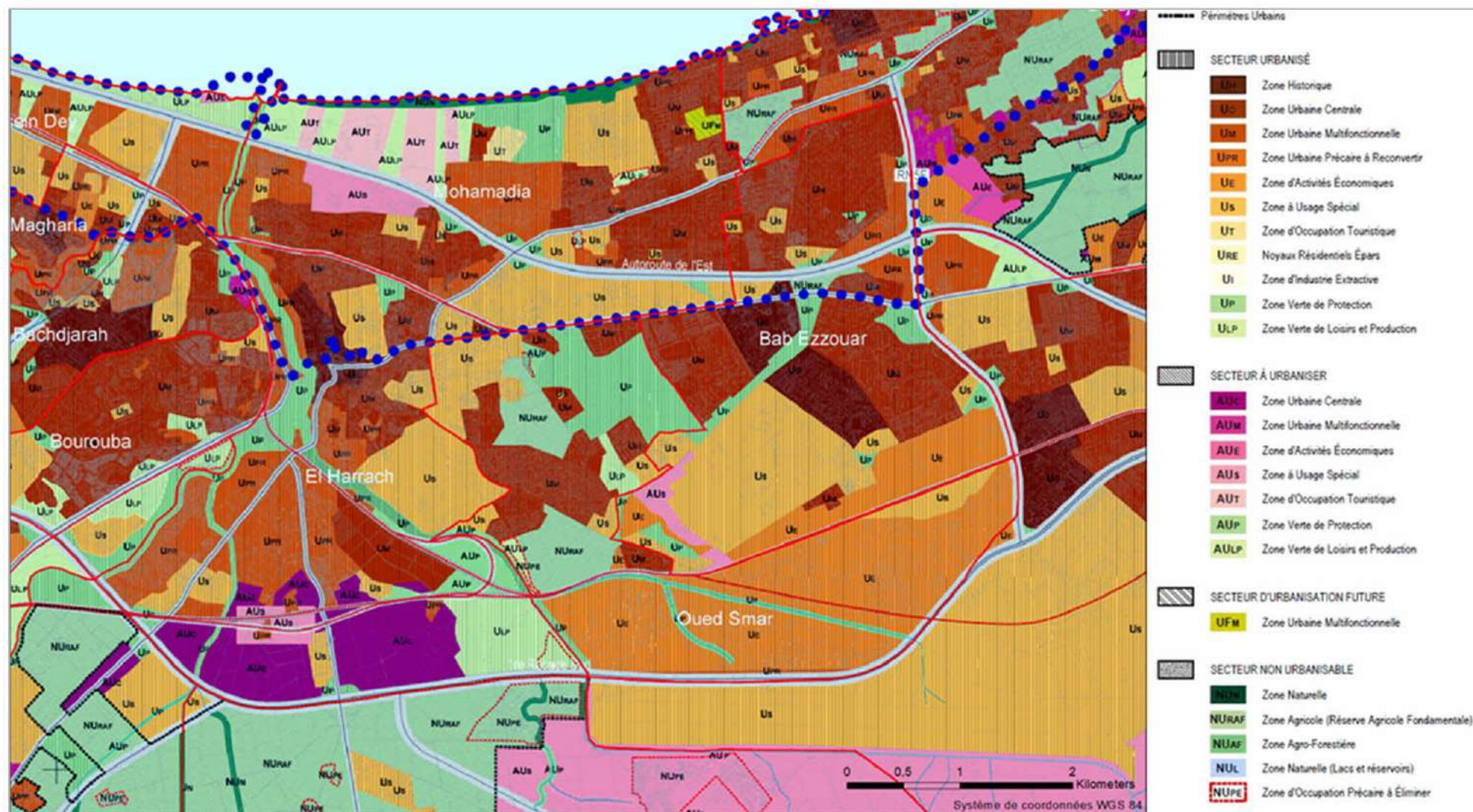


Figure 3.A : Carte de qualification d'usage du sol du périmètre d'EH-OS (PDAU, 2016)

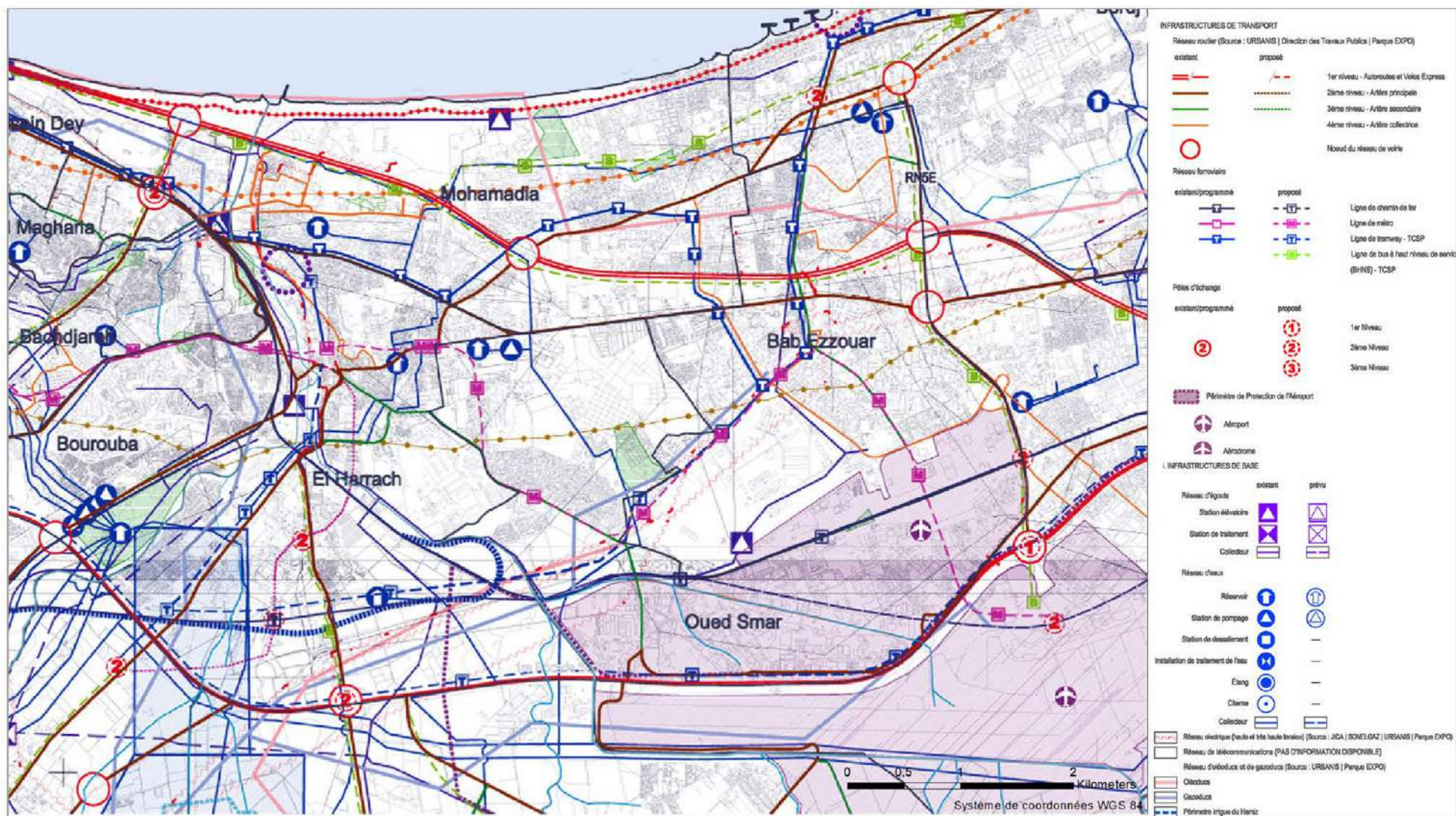


Figure 3. B : Carte de la Voirie et des Réseaux Divers du périmètre d'EH-OS (PDAU, 2016)

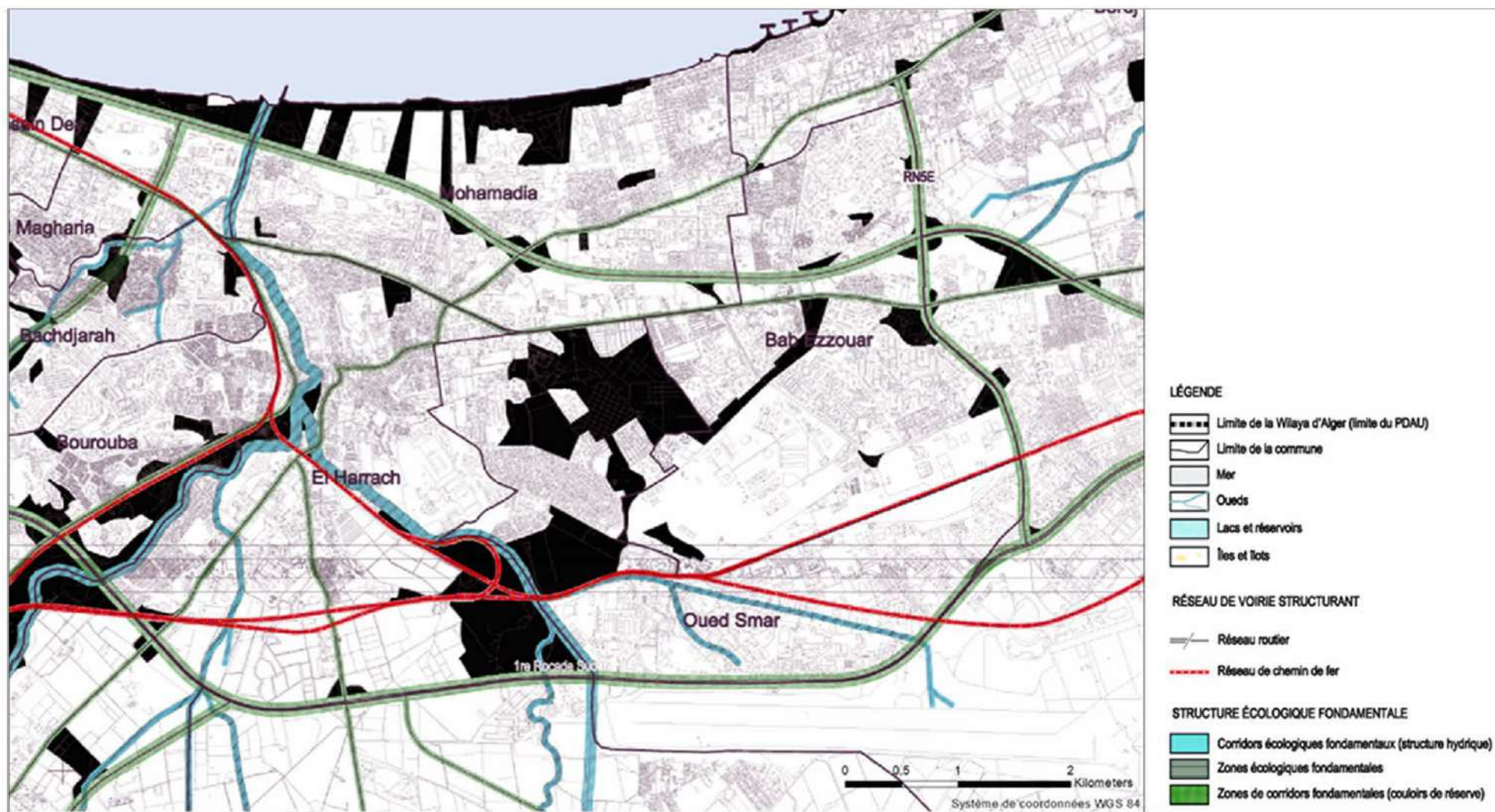


Figure 3.C : Carte de la structure écologique du périmètre d'EH-OS (PDAU, 2016)

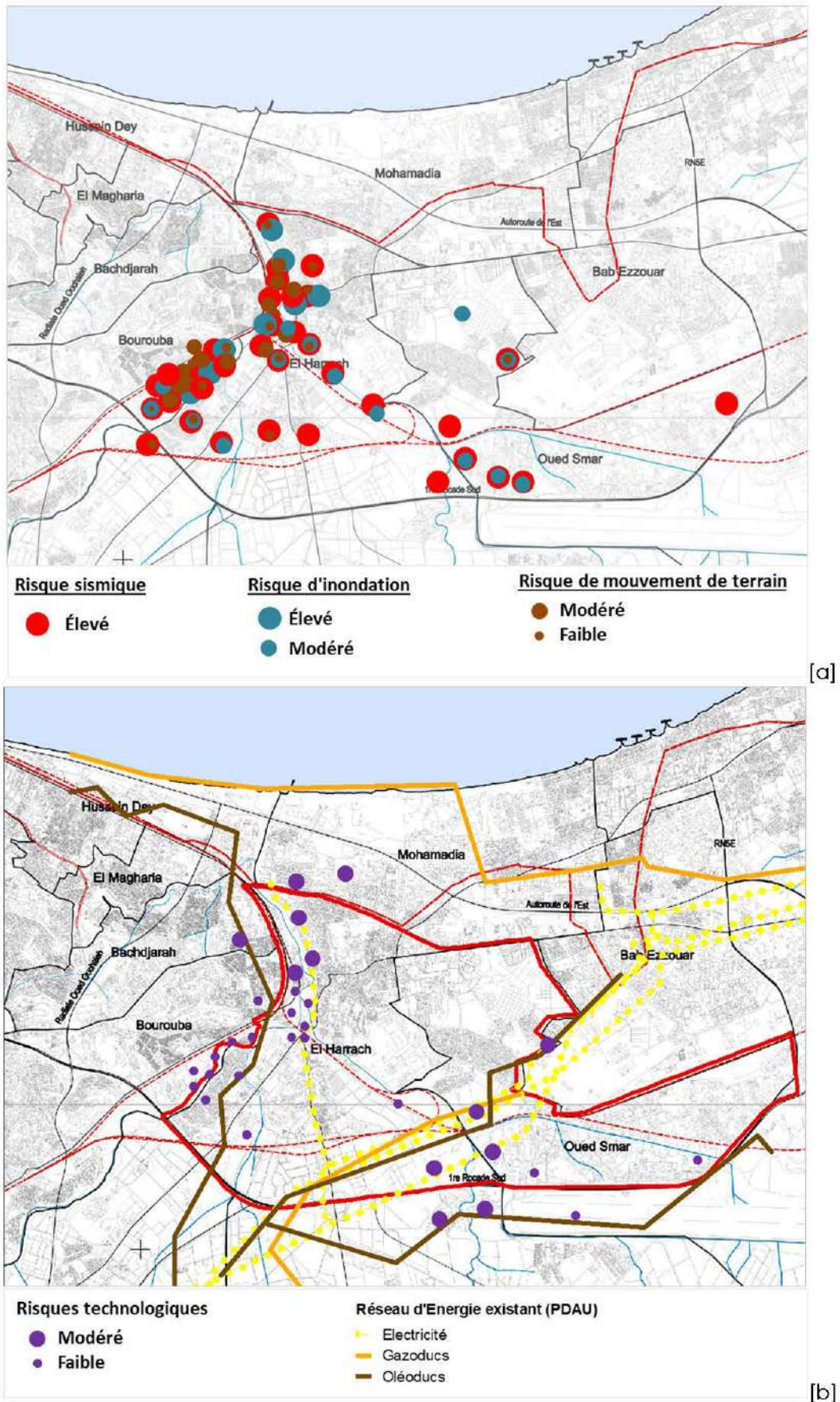


Figure 3.D : Cartes des risques majeurs dans le périmètre d'EH-OS : [a] Risques naturels ; [b] Risques technologiques (D'après PDAU, 2016)

Annexe 4 : Complément des résultats d'analyse des conditions d'intégration du projet "SU_r-BC" dans le système de planification locale à Alger

A4.1. Détails de l'analyse des expériences internationales en termes de politique et stratégies pour le développement des projets symbiotiques réussis

- **Stratégie de mise en place de la SU_r de " Kalundborg" au Danemark**

Les facteurs clés de succès de la SU_r de Kalundborg se manifestent principalement dans les politiques de planification à différents niveaux stratégiques :

Au niveau de la politique nationale

Le Danemark est l'un des pays pionniers dans les initiatives de croissance verte et le développement de solutions respectueuses du climat et de l'efficacité énergétique. Sa politique encourage l'évolution des projets symbiotiques locaux et elle repose principalement sur (Massard et al., 2014):

- Un système réglementaire consultatif, ouvert et flexible : Contrairement aux systèmes réglementaires de commande et de contrôle, le système réglementaire danois est consultatif. Les entreprises sont appelées à être proactives en soumettant au comté gouvernemental de supervision des plans détaillant leurs efforts pour réduire continuellement leur impact sur l'environnement. Les objectifs sont fixés à partir d'un dialogue entre les régulateurs et l'entreprise. Une relation de coopération plus souple est encouragée entre le gouvernement et les industries réglementées. Un aspect essentiel de cette flexibilité est que les exigences réglementaires prennent principalement la forme de normes de performance.
- Médiatisation et nomination des éco-villes: le Danemark a également développé un système de nomination "*Eco-cité*" pour la reconnaissance des villes danoises ayant les meilleures performances environnementales et (portant principalement sur l'énergie et les émissions de Gaz à Effet de Serre). Six villes ont été nommées en 2008 et 2009 et se sont fixé des objectifs ambitieux.

Au niveau de la politique publique locale

La politique locale de Kalundborg s'est principalement caractérisée par (Massard et al., 2014):

- L'ambition de "devenir « une ville industrielle verte » : La municipalité de Kalundborg se veut désormais une ville industrielle verte. *Dong Energy*, la plus grande installation de production d'énergie s'est fixé comme objectif de produire 85 % de son énergie à partir de sources renouvelables d'ici 2040.
- La désignation et la médiatisation du parc industriel de Kalundborg comme parc d'éco-innovation depuis le milieu des années 1990.

- Le rôle des coordinateurs locaux (institutions) : l'institut de symbiose de Kalundborg créé en 1996 pour encourager, faciliter et gérer les relations commerciales entre entreprises, avait un rôle important dans la mise en place de plus en plus de collaborations locales où des entreprises publiques et privées achètent et vendent des produits résiduels.
- La prise de conscience des entreprises de la valeur ajoutée des liens symbiotiques : les partenaires industriels ont réalisé que les échanges d'énergie et de matériaux pouvaient permettre à la fois un bénéfice économique mutuel et une réduction significative de l'impact environnemental dû à leurs grandes opérations industrielles.
- Une coopération et une coproduction dans les projets symbiotiques, basée sur la communication ouverte et la confiance mutuelle entre les partenaires. Les échanges sont motivés par un effort mutuel de réduction des coûts en recherchant des utilisations génératrices de revenus pour les produits "déchets".
- Le volontarisme et l'innovation des entreprises locales : Le système réglementaire national mis en place été à l'origine de la proactivité des entreprises. Les entreprises ont donc tendance à concentrer leurs énergies sur la recherche de moyens créatifs pour devenir plus respectueuses de l'environnement. Elles sont tenues donc d'être proactives en soumettant des plans détaillant leurs efforts continuels au comité gouvernemental de supervision.

Au niveau de planification et d'aménagement urbain

La diversité fonctionnelle et la proximité géographique des entreprises sont aussi des facteurs qui ont favorisé la réussite de la symbiose de Kalundborg.

- **Stratégie de mise en place de la SU_r d'Hammarby au Suède**

Les principaux facteurs de succès de la SU_r d'Hammarby, identifiés dans la littérature (Massard et al., 2014), se présentent à différents niveaux stratégiques et se rapportent principalement à :

Au niveau de la politique nationale

La Suède est considérée comme l'un des pays leaders en Europe en matière de développement de projets symbiotiques industriels et urbains. Sa stratégie nationale repose principalement sur :

- L'établissement du Programme National SymbioCity (2013), qui vise à mettre en œuvre des synergies au sein des systèmes urbains et se concentre sur de nombreux aspects tels que la valorisation énergétique des déchets, l'agriculture urbaine (agriculture verticale), la récupération de chaleur industrie-urbaine, la logistique, le transport et la construction durables, etc.
- La politique de taxation des décharges et l'interdiction de mise en décharge, qui ont favorisé le développement des activités de valorisation des déchets.
- Aide au financement des projets : Le projet de Hammarby a été partiellement financé par le programme d'investissement local, Programme, coordonné par l'Agence suédoise de protection de l'environnement (EPA).

- *Développement des activités des recherche sur les SI/SUr* : de nombreuses recherches sur les SI et l'EI sont menées dans les universités et instituts suédois¹¹⁷, ce qui a stimulé l'écinnovation dans le pays.

Au niveau de la politique publique locale

La réussite du projet d'Hammarby est aussi tributaire d'une politique locale caractérisé par :

- La force des autorités locales qui découle d'un pouvoir économique (issu du système fiscal) et d'un niveau élevé de confiance au sein de la société suédoise, ce qui facilité la mise en place de nombreux liens entre les communautés locales, l'industrie et les centres de recherches pour le développement des solutions communes.
- Le rôle des coordinateurs, à l'exemple du centre d'information sur l'environnement, *GlashusEtt* qui facilite la communication sur les considérations environnementales aux habitants de la région et présente Hammarby aux visiteurs internationaux (Suzuki et al., 2010 ; Massard et al., 2014).
- Le partenariat Public-Privé, pour le co-financement du projet : les entreprises privées ont financé 80 % du coût total de la construction.
- Un réseau de coopération solide entre l'administration publique, les promoteurs privés et les entreprises responsables des déchets, de l'énergie, de l'eau et des eaux usées, ainsi que **la coopération** avec les institutions scientifiques et technologiques.

Au niveau de la planification urbaine

- Intégration des principes de circularité dans la planification du projet : Pour réaliser le nouveau district d'Hammarby Sjöstad, la ville de Stockholm avait pour objectif d'intégrer une "*approche éco-cyclique*" dans sa planification urbaine. Un modèle spécifique ("*Modèle Hammarby*") a été conçu pour les solutions d'éco-cycle urbain appliquées dans le quartier (Massard et al., 2014). Ce nouveau modèle repose sur une programmation et une planification urbaines basée sur le bouclage du CMU en vue d'atteindre les objectifs liés à l'efficacité énergétique (réutilisation de la chaleur dans les eaux usées, le chauffage urbain), l'approvisionnement en énergies renouvelables (solaire, biomasse, déchets) ; la gestion de l'eau (récupération des eaux de pluie, réutilisation des eaux usées) ; la gestion des déchets (recyclage, des déchets à l'énergie) ; la construction (matériaux durables, l'isolation) ; la mobilité (transports publics, covoiturage) (Massard et al., 2014).

¹¹⁷ Par exemple, l'université de Lund (2013), l'université de Linköping (2013) dans la région de l'Östergötland, Division de l'écologie industrielle de l'Institut royal de Technologie à Stockholm (KTH 2013)) (Massard et al., 2014).

- **Stratégie de mise en place du modèle Barcelonais "district 22@"**

Au niveau de la politique nationale

L'Espagne est l'un des principaux acteurs en Europe dans le développement des projets environnementaux tels que la gestion de l'eau, la construction durable, l'industrie du biogaz et l'énergie solaire. Sa stratégie repose principalement sur (Massard et al., 2014) :

- Développement de plusieurs programmes régionaux visant à favoriser le développement durable.
- Financement de projets symbiotiques dans le cadre des programmes de coopération Européenne tel que, (i) le projet européen ECOSIND qui a financé plusieurs sous-projets d'écologie industrielle dans la région espagnole de Catalogne ; (ii) le projet MESVAL en Catalogne, visant la conception des réseaux permettant de connecter les centres technologiques de différents secteurs industriels et stimuler la mise en œuvre de SI (échange et réutilisation des flux de déchets) ; (iii) les projets MECOSIND qui a créé un programme directeur international en Écologie Industrielle ; (iv) et l'initiative ECOMARK auquel fait partie le projet du district 22@" .

Au niveau de la politique publique locale

Le projet du district 22@" est le résultat d'un programme régional visant à encourager le développement durable local et qui se caractérise par (Massard et al., 2014) :

- La médiatisation des projets : application du principe du "marketing vert", dont l'objectif est d'améliorer l'image du secteur industriel tout en réduisant son impact environnemental et de favoriser l'innovation par la mise en œuvre de systèmes de gestion améliorés et intégrés.
- Le rôle des coordinateurs : la société de gestion 22@Barcelona a été créée pour concevoir, gérer et promouvoir cette initiative. Elle collabore étroitement avec les institutions publiques et les secteurs privés.
- Coopération entre le gouvernement, le conseil municipal et implication des universités et des centres de recherche dans le processus de planification du projet.
- Information/sensibilisation : le projet 22@Barcelona bénéficie d'une forte composante de communication pour promouvoir le projet au sein des écoles et des universités. Des conférences destinées aux entreprises sont régulièrement organisées.

Au niveau de la planification urbaine

- Aménagement urbain innovant : le projet 22@Barcelone est un exemple d'aménagement urbain réussi à l'échelle d'un quartier. Grâce à des schémas d'aménagement urbain et de développement économique innovants, il a permis la régénération d'une zone industrielle obsolète à l'intérieur de la ville via l'optimisation de l'utilisation des sols et la densification des zones industrielles.
- Localisation, proximité et diversité : la réussite du projet revient aussi à d'autres facteurs, dont la localisation géographique du quartier de Poblenou à proximité d'un aéroport international et la diversité des activités urbaines, notamment, de transport public (métro, tramway, train) ainsi que de pistes cyclables (Ibid.).

- **Stratégie de mise en place de la SUR de Kawasaki au Japon**

À Kawasaki, le projet de SI/SUR s'inscrivait dans le cadre du Programme *Eco-Town* lancé en 1997 par le gouvernement japonais afin de favoriser l'évolution d'une société basée sur le recyclage (Van Berkel et al. 2009b ; Massard et al., 2014).

Le programme *Eco-Town* avait deux objectifs stratégiques (Massard et al., 2014) : (i) **Socio-économique**, pour stimuler les économies locales en favorisant la croissance des industries environnementales et en impliquant l'industrie, le secteur public et les consommateurs, dans le recyclage de la matière secondaire ; (ii) **Environnemental** pour créer des systèmes intégrés en harmonie avec l'environnement. Les principaux facteurs de succès de ce projet se rapportent essentiellement aux stratégies et outils mis en œuvre à différents niveaux stratégiques (Massard et al., 2014):

Au niveau de la politique nationale

La politique nationale japonaise a largement contribué à la réussite des projets symbiotiques. Elle s'est caractérisé par :

- La décentralisation : presque tous les projets symbiotiques réalisés au Japon sont initiés et menés par les municipalités.
- L'incitation financière : par le biais de subventions gouvernementales.
- L'encadrement juridique : le gouvernement japonais a établi un cadre juridique complet, dont la loi fondamentale pour l'établissement d'une société basée sur le recyclage, la loi sur la gestion des déchets, la loi pour la promotion de l'utilisation efficace des ressources, etc.

Au niveau de la politique publique locale

La mise en œuvre de la SUR à l'échelle locale repose sur :

- L'identification et la médiatisation des projets symbiotiques comme projets " *à zéro émissions*",
- La sensibilisation et l'éducation des communautés locales,
- La coopération avec les institutions scientifiques et technologiques.

Au niveau de la planification urbaine

La planification de la SUR de Kawasaki s'est basée principalement sur les principes :

- La proximité, en tirant profit de sa localisation auprès des installations énergétiques et les infrastructures de transport de la ville de Tokyo,
- La diversité et la mixité fonctionnelle, en tirant profit de la forte concentration de grandes entreprises industrielles ainsi qu'un grand nombre de petites et moyennes entreprises dans le domaine du recyclage des ressources et diverses installations liées à l'environnement.

- **Stratégie de mise en place de la SUR de "Ulsan" au Corée du Sud**

Les facteurs clés de succès de la SI/Ur d'Ulsan se manifestent principalement :

Au niveau de la politique nationale

Le gouvernement sud-coréen a adopté une stratégie nationale pour la croissance verte et a établi un cadre politique global (Massard et al., 2014) : (i) **économique**, qui repose sur les programmes de promotion des parcs éco-industriels visant à renforcer la croissance économique ; (ii) **environnemental**, qui repose sur des politiques environnementales et des législations plus strictes en faveur de l'éco-efficacité et la réduction de la pollution. Dans ce cadre une loi visant à promouvoir une structure industrielle respectueuse de l'environnement a été promulguée. Ainsi, tous les programmes de promotion des parcs éco-industriels sont basés sur les principes de la Production Propre (PP), de l'EI pour réduire les émissions industrielles ; (iii) et **social**, où **des campagnes de sensibilisation** ont été menée à l'échelle nationale en faveur de l'éco-efficacité et la réduction de la pollution.

La mise en œuvre de cette politique repose principalement sur (Massard et al., 2014) :

- La mise en place d'un système institutionnel et d'un programme national pour le développement de la Production Propre et des systèmes de gestion environnementale (SGE) comme ISO 14001. À cet effet, il a été créé le Centre national coréen pour une production plus propre et l'Institut coréen de technologie industrielle, lesquels ont lancé en 2005 un programme de 15 ans pour promouvoir les parcs éco-industriels.
- La décentralisation du programme à l'échelle locale : une agence nationale de supervision « *Industrial Complex Corporation* » a été créé pour la mise en œuvre de ce programme. Cette dernière a créé huit centres locaux EIP. Chaque centre a également désigné un champion de projet (expert universitaire ou chef d'entreprise) pour diriger le projet, encourager l'innovation industrielle localement.

Le soutien et la facilitation du gouvernement ont joué un rôle important dans la promotion et la coordination des projets symbiotiques.

Au niveau de la politique publique locale

Outre le rôle important des coordinateurs locaux (l'agence locale de mise en œuvre des projets et ses experts académiques), la politique locale mise en œuvre pour la réalisation de la Symbiose d'Ulsan s'est caractérisée par (Massard et al., 2014):

- Le rôle du gouvernement de la ville métropolitaine d'Ulsan et l'implication de nombreux acteurs locaux clés ;
- La coopération avec les institutions scientifiques et technologiques ;
- L'identification et la médiatisation des projets symbiotiques comme *projet* d'éco-innovation.
- La prise de conscience de la valeur ajoutée *des* symbioses industrielles : le gain financier a été l'un des forces motrices dans la mise en œuvre des liens symbiotiques.

Au niveau de la planification urbaine

- Localisation des projets basée sur les principes de *proximité* et de *diversité* ;

- Programmation et planification des projets de parcs éco-industries sur la base des principes de la PP, de l'IE et du SGE ;
- Intégration des méthodes d'analyse AFM dans les diagnostics.
 - **Stratégie de mise en place de la SI de Guiyang en Chine**

Depuis la fin des années 1990, la Chine a exploré le potentiel du développement éco-industriel, un concept introduit dans divers programmes de recherche avec un fort soutien du gouvernement central. L'objectif est de stimuler les performances économiques et environnementales grâce à des programmes d'efficacité des ressources (y compris l'énergie en cascade, la récupération des déchets, l'éco-conception, etc.), mis en place à différents niveaux stratégiques (Massard et al, 2014) :

Au niveau de la politique nationale

La stratégie chinoise nationale de développement repose principalement sur :

- L'aide au financement des projets symbiotiques : divers soutiens financiers et administratifs, tels que des crédits à faible taux, des allègements fiscaux ainsi que la priorité en termes d'offres foncières, sont mises à la disposition des entreprises grâce aux projets symbiotiques ;
- Une approche basée sur la mise en œuvre du développement scientifique par l'innovation écologique ;
- Un encadrement institutionnel et juridique : la stratégie chinoise est soutenue par un cadre institutionnel complexe comprenant diverses lois environnementales (sur la production plus propre, l'énergie, etc.), notamment la loi sur l'économie circulaire, largement basée sur l'approche de l'Écologie Industrielle. Cette loi a favorisé la mise en place de réseaux de collaboration et le développement de parcs éco-industriels. Sur le plan institutionnel, l'administration nationale de la protection de l'environnement (SEPA), prédécesseur du ministère de la protection de l'environnement a encouragé une approche plus intégrée par le développement de parcs éco-industriels.
- Lancement de programmes et projets visant à mettre en œuvre des approches d'Écologie Industrielle et d'Économie Circulaire. En 2001, quatre grands projets de démonstration ont été lancés à Dalian, Tianjin, Suzhou et Yantai. En 2005, la Commission nationale pour le développement et la réforme a lancé le premier lot de projets de démonstration pilotes consacrés à la mise en œuvre de l'économie circulaire.
- Élaboration de normes nationales : en 2006, la SEPA a publié la première norme nationale pour guider les parcs éco-industriels dans le monde".

Au niveau de la politique locale

Guiyang est l'une des villes sélectionnées comme projets pilotes de la Chine en matière d'Économie Circulaire et de ville à faible émission de carbone. Elle joue un rôle important dans la mise en œuvre du programme national de développement "d'éco-villes". Plus récemment, elle met en œuvre une série d'initiatives en faveur des projets symbiotiques. La plupart de ces initiatives sont dirigées et contrôlées par les gouvernements central et local en collaboration avec de grandes entreprises publiques (L. Dong et al., 2016 ; Fang et al., 2017 ; Massard et al., 2014).

Au niveau de la planification urbaine

Le Projet est planifié de manière à ce que les principales industries complémentaires soient situées à proximité les unes des autres.

- **Stratégie de mise en place de la SI de Guayama -USA**

Aux USA, plusieurs politiques et programmes nationaux et locaux ont contribué au développement des initiatives de projets symbiotiques. Ces politiques se sont caractérisées par (Massard et al., 2014) :

Au niveau de la politique nationale et locale

- Un cadre législatif favorable au développement des projets symbiotiques: par exemple, la loi sur les politiques de réglementation des services publics prévoit des incitations au développement de la cogénération des centrales électriques. Ces conditions réglementaires ont permis la création de la nouvelle centrale au charbon (AES) à Guayama favorisant l'utilisation des eaux usées municipales et la cogénération de la vapeur pour la raffinerie pétrochimique *Chevron-Phillips*¹¹⁸ (Massard et al., 2014).
- La décentralisation politique : certains États ont développé leur propre politique pour encourager les activités éco industrielles (Massard et al., 2014).
- Le rôle des Institutions Scientifiques : depuis des décennies, l'intérêt pour l'écologie industrielle est très fort dans les milieux de la recherche et des organisations aux États-Unis.
- La coopération publique-privé : plusieurs politiques et programmes menés par les gouvernements centraux et locaux, mais aussi par la société civile et le secteur privé ont contribué au développement d'initiatives d'éco-innovation. (Massard et al., 2014). Par ailleurs, les organisations d'entreprises locales " Sociétés de développement industriel" ayant aussi contribué au développement des projets symbiotiques et la gestion de leur mise en œuvre à l'exemple de *Puerto Rico Industrial Development Company (PRIDCO)* (Massard et al., 2014).
- Le rôle des coordinateurs : au niveau national, le Conseil Américain des affaires pour le développement durable (US-BCSD) a joué un rôle prépondérant dans la promotion des projets symbiotiques auprès du secteur privé et des décideurs politiques.
- Une aide au financement et des directives de mise en œuvre : en 1994, l'Agence américaine pour la protection de l'environnement (US EPA) a offert 300.000 USD de subventions pour la conception de parcs éco-industriels et a également fourni des lignes directrices pour la réussite de leur mise en œuvre.

Cependant, faute de l'insuffisance du soutien politique, plusieurs initiatives de projets symbiotiques ont échoué, ou été bloqués et abandonnés. La restructuration de l'EPA et la réduction du budget consacré à l'environnement a limité le développement des projets symbiotiques aux USA (Massard et al., 2014 ; Chertow 2007 ; Duret 2007). Heureusement que ces dernières années, il y a eu une recrudescence de projets symbiotiques. Le soutien politique fournit à nouveau des

¹¹⁸ Voir la sous-section 1.2.3 du chapitre 3

incitations financières et institutionnelles pour développer de nouveaux parcs et faire revivre des sites qui ont abandonné les concepts de l'EI (Massard et al., 2014).

Au niveau de la planification urbaine

La diversité des activités industrielles a été relevée comme facteur de succès pertinent dans le développement du projet symbiotique de Guayama (Massard et al., 2014).

- **Stratégie de mise en place de la SI de la région du Humber au Royaume-Uni (UK)**

Le Programme de SI de la région du Humber (HISP) a suscité l'intérêt de plusieurs autres régions et servi de plateforme pour le lancement du Programme National de SI (NISP). Son succès revient principalement aux cadres politiques favorables à l'évolution des réseaux symbiotiques au niveau national et leur développement à l'échelle locale (Massard et al., 2014).

Au niveau de la politique nationale

Le Royaume Uni a conduit des politiques et des initiatives publiques plus respectueuses de l'environnement pour faire face aux problèmes croissants de déchets. Sa politique nationale s'est principalement caractérisée par :

- La reconnaissance du concept de "symbiose industrielle" par le gouvernement national¹¹⁹ pour sa valeur ajoutée et ses avantages environnementaux, via un important soutien du gouvernement (Mirata, 2004) à travers le Programme National de Symbiose Industrielles NISP.
- Le NISP : un programme-cadre chargé de faire avancer les programmes de réseaux symbiotiques dans différentes régions et les mettre en relation en suivant une approche commune (Mirata, 2004). Il a été développé depuis l'an 2000, dans l'objectif d'accroître la récupération des sous-produits et des déchets par la mise en place de réseaux d'échange (Massard et al., 2014).
- Un cadre juridique favorable : la législation britannique comporte également des éléments qui imposent ou encouragent l'utilisation de ressources renouvelables, la gestion du cycle de vie des matériaux de production, la substitution de combustibles fossiles, etc.
- Le rôle des coordinateurs : le conseil des entreprises pour le développement durable du Royaume-Uni (BCSD-UK) a assuré un rôle de coordination important pour le développement du réseau symbiotique dans la région du Humber. Il a pris la charge pour établir des contacts avec les parties concernées (autorités locales, entreprises, associations d'entreprises, ...), pour mettre œuvre le programme, assurer sa pertinence, accroître la sensibilisation, attirer les investissements étrangers, étudier les synergies potentielles et les avantages de la collaboration qui peuvent être réalisés avec de nouvelles entreprises potentielles, etc. (Mirata, 2004 ; Massard et al., 2014). Ces efforts ont été couronnés de succès, et ont suscité l'intérêt des entreprises privées et des pouvoirs publics aussi bien au niveau local que national (Mirata, 2004). Le BCSD-UK s'est vu confier le rôle de coordination du NISP (Mirata, 2004).
- Une politique d'incitation fiscale pour le financement du programme : les principales sources de financement des SI sont issues des incitations fiscales, la taxe sur la mise en décharges et

¹¹⁹ dans un document gouvernemental, le rapport de Productivité des ressources (Mirata, 2004)

la taxe sur le changement climatique sont deux des plus importantes. La première incite à réduire la quantité de flux de déchets produits, à en récupérer une plus grande valeur et à trouver des moyens alternatifs pour leur traitement. Le "régime de crédit d'impôt pour la mise en décharge", qui fait partie de cette taxe permet aux exploitants de décharges de bénéficier de crédits d'impôt pour leurs contributions à des initiatives environnementales. Ce régime a constitué la principale source de financement pour les deux premières années du NISP (Mirata, 2004).

La taxe sur le Changement Climatique, d'autre part, incite les activités industrielles et commerciales à réduire les apports de certains sources énergétiques ou s'orienter vers des sources d'énergie plus respectueuses de l'environnement. Cette taxe avait des implications positives sur les synergies inter-organisationnelles notamment en ce qui concerne la cogénération d'électricité et de chaleur, encouragée par des réductions ou des exonérations fiscales pour les unités de production de chaleur et d'électricité. La chaleur et la vapeur sont considérées comme des vecteurs d'énergie non soumis aux taxes (Mirata, 2004).

- La coopération avec les institutions scientifiques et technologiques en ayant comme partenaire universitaire l'IIIEE l'Institut international de L'économie Environnementale Industrielle (IIIEE) de l'université de Lund, en Suède (Mirata, 2004).
- La collaboration avec les organismes gouvernementaux, les agences de développement régional (RDA), les organisations publiques et privées, ainsi que les associations industrielles et environnementales, qui soutiennent également ces programmes à des degrés et selon des modalités variables, manifestent un intérêt croissant pour les programmes régionaux et le NISP (Mirata, 2004).

Au niveau de la politique locale

- Le Programme de SI de la région du Humber (HISP) repose principalement sur (Massard et al, 2014):
- Le financement sur des fonds publics: le programme implique des centaines d'entreprises grâce à des financements publics (incitation politique et valeur ajoutée économique)
- L'incitation financière: les entreprises de toutes tailles et de tous secteurs sont en mesure de participer et de s'intégrer dans son réseau. Chose qui a largement contribué au succès du programme selon ses promoteurs (Massard et al, 2014).
- Le co-financement : dans leur démarche, les entreprises participantes sont tenues de signer un contrat pour leur participation au programme, les autorisant à canaliser un certain pourcentage de leurs gains économiques provenant d'éventuelles synergies vers l'organisme de coordination. Cet élément a suscité des réticences dans les entreprises locales, car elles ne se sentaient pas à l'aise pour prendre un tel engagement (Mirata, 2004).

Au niveau de la politique de planification urbaine

Les projets menés ou soutenus par le NISP comprennent également la conception et la mise en œuvre de nouveaux programmes de recyclage et de récupération d'énergie (Massard et al., 2014).

- **Stratégie de mise en place de la SI du Canton de Genève**

Les principaux facteurs de réussite des liens symbiotiques à Genève sont principalement liés à des cadres politiques et réglementaires fortement favorables à différents niveaux stratégiques (Massard et al., 2014) :

Au niveau de la politique nationale

- Un encadrement juridique favorable: en prenant appui sur la Convention Internationale de Bâle, la Suisse a mis en place un cadre politique et législatif qui régit les flux de déchets tout en facilitant la mise en place des liens symbiotiques¹²⁰. L'Écologie Industrielle a été introduite comme base juridique dans la loi de l'Agenda 21. Ainsi, plusieurs types de déchets ayant fait l'objet de lois et d'ordonnances spécifiques, portant notamment sur la définition de la notion de déchets, leurs types et les principes de leur traitement, les règles de contrôle de leur transfert, ainsi que les poursuites judiciaires en cas de non-respect. Dans ce cadre, la réutilisation et le recyclage sont obligatoires selon les possibilités techniques, et cela sans normes technologiques spécifiques.
- La décentralisation : tous les Cantons suisses élaborent et appliquent leurs propres politiques et législations, tout en respectant les orientations nationales. Par exemple, les cantons peuvent fixer leur propre prix de mise en décharge mais sont responsables de l'application de la taxe nationale de mise en décharge.
- La mobilisation des institutions nationales au profit d'une planification durable innovante : plusieurs départements fédéraux sont mobilisés dans des études de planification territoriale pour l'innovation en termes d'efficacité des ressources et des énergies renouvelables, la promotion des technologies propre et l'optimisation des procédures de production¹²¹ (Massard et al., 2014).

Au niveau de la politique locale

Au niveau Cantonal, la politique locale de Genève s'est principalement caractérisée par :

- La désignation claire de la Symbiose Industrielle comme projet d'éco-innovation.
- L'encadrement institutionnel avec : (i) la création d'un conseil consultatif impliquant les services de l'énergie, du développement durable, des déchets, du bâtiment et de la promotion économique ; (ii) la création du groupe de travail Ecosite qui a joué un rôle important dans la coordination des projets symbiotiques, et dont la mission porte sur la mise en œuvre des SI dans les zones industrielles au niveau national, le recyclage des matériaux inertes, le bon système de transport et sur les questions de gestion durable des ressources.

¹²⁰ L'article 12 de la loi, appelé Ecosite, stipule que " l'Etat facilite les synergies possibles entre les activités économiques afin de minimiser leurs impacts environnementaux " (Massard et al., 2014).

¹²¹ Le Département fédéral de l'économie, de l'éducation et de la recherche (EAER) et le Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC) ont présenté un plan directeur pour les technologies propres qui analyse le potentiel d'innovation et de *cleantech* en Suisse en termes d'efficacité des ressources et des énergies renouvelables (*Cleantech Masterplan - CMP*) (ibid.). L'Office fédéral de l'environnement (OFEV) a lancé une étude internationale sur les projets symbiotiques dans les zones industrielles et urbaines . L'Office fédéral du développement territorial (ARE) est également impliqué en matière d'innovation et de promotion économique pour un quartier durable (ibid.).

- L'incitation financière : le Canton de Genève a mis en œuvre de nombreuses mesures d'incitation visant à réduire le retour sur investissement et les risques pour les entreprises.
- La politique locale de taxation : en vertu du principe "pollueur-payeur", les entreprises sont responsables de la gestion de leurs déchets urbains et spéciaux.
- La coopération avec les institutions scientifiques et technologiques contribue également au succès des projets éco-industriels à Genève.
- La création du marché de recyclage : un marché privé du recyclage contrôle le transfert et la récupération des déchets. Les technologies de recyclage efficaces sont favorisées par un processus d'autorisation légale, ainsi que par le dialogue et la collaboration avec les parties intéressées.

Au niveau de la politique de planification urbaine

- La mise en œuvre d'une planification énergétique territoriale pour améliorer l'efficacité énergétique et promouvoir les vecteurs renouvelables telle que la récupération de la chaleur résiduelle des activités économiques.
- La densité : le développement de parcs industriels densifiés pour faire face aux contraintes de disponibilité de terrain.
- La recherche des liens symbiotiques potentiels repose sur l'analyse des flux de matières et d'énergie et les études de faisabilité à l'aide des outils informatiques et cartographiques (Sofies, 2011).

- **Stratégie de mise en place de la SI de Kwinana en Australie**

L'Australie s'oriente dans sa politique environnementale vers la résolution de ses problèmes de déchets. La plupart des États et des collectivités locales ont élaboré des politiques et des procédures visant à réduire le volume des déchets et à favoriser le recyclage. Notons que les mesures prises viennent en réponse à la pression accrue exercée par le gouvernement et la communauté pour gérer l'air et les bassins hydrographiques et protéger l'environnement marin sensible de la région.

Dans ce contexte, la stratégie mise en place pour la concrétisation de la SI de Kwinana repose principalement sur une politique locale soutenue par le gouvernement national et qui se caractérise par (Massard et al., 2014 ; Van Beers et al., 2007) :

Au niveau de la politique nationale

- Un soutien politique des SI : le gouvernement australien considère les symbioses industrielles comme un moyen de parvenir à un développement industriel plus durable".
- Un cadre institutionnel de soutien, de recherche et de coordination avec la création du Centre pour le traitement durable des ressources (*Centre for Sustainable Resource Processing CSRP*) qui constitue une initiative conjointe des États australiens, des collectivités locales, des agences gouvernementales, des entreprises de traitement des minéraux et des centres de recherche. Le CSRP vise à établir une plateforme scientifique et technologique pour l'industrie du traitement des minéraux afin de contribuer au développement durable. Le CSRP entreprend désormais des recherches fondamentales sur les outils et les technologies

habilitantes pour les synergies régionales et soutient leur développement et leur mise en œuvre.

- L'aide au financement : le projet " Synergies des industries de Kwinana " a été lancé avec le soutien d'un financement gouvernemental (Van Beers et al., 2007 ; Massard et al. 2014).

Au niveau de la politique locale

- Le rôle des coordinateurs locaux : le Conseil des industries de Kwinana *KIC (Kwinana Industries Council)* créé en 1991 dans objectif d'organiser la gestion collective de la qualité de l'air et de l'eau pour les industries de la région. Au début des années 2000, le KIC crée le projet "Synergies des industries de Kwinana" qui cherche à favoriser des interactions positives entre les entreprises membres, le gouvernement et la communauté au sens large et qui aborde un large éventail de questions communes aux principaux acteurs économiques de Kwinana.
- La coopération avec les institutions scientifiques et de la technologie : dont la collaboration du KIC avec le centre d'excellence pour une production plus propre de l'Université de technologie de Curtin. De telles collaborations permettent de renforcer les programmes éducatifs et contribuent à former une nouvelle génération de professionnels.
- La désignation et la médiatisation claire du projet en tant que parc d'éco-innovation.
- Prise de conscience de la valeur ajoutée économique.

Ainsi, la volonté des entreprise et les attentes de la communauté locale en matière de performance environnementale et de sécurité, constitue également des facteurs de succès majeurs dans le cas de Kwinana (Ibid.)

Au niveau de la politique de planification urbaine

D'un point de vue de planification, le parc éco-industriel de Kwinana se distingue par le nombre, la diversité, la complexité et la maturité des synergies existantes (Massard et al., 2014). Sa planification repose sur des études d'impact basée sur l'analyse des principaux flux de matériaux et d'énergie dans la zone et l'évaluation du niveau d'intégration industrielle (Ibid.).

A4.2. Complément des informations et des données relatives à l'analyse du système de planification urbaine à Alger (lois et décrets, institutions)

Outils politiques	Programmes d'action stratégiques	<ul style="list-style-type: none"> • PNAE-DD, CPDN, PNC, SNGID, PNME (2004), PNGDS pour la gestion des déchets spéciaux (2003), PDEREE (2015) pour le développement des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique) • SNAT
Cadre institutionnel	Institutions et organismes de coordination au niveau national et local	<p>Création de nouvelles institutions locales :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nouvelles directions et sous directions dans les départements ministériels notamment énergie et mines, industrie, agriculture, forêts, ressources en eau, transport, etc. (exemple du Comité Intersectoriel de la Maîtrise de l'Énergie (CIME)) • Nouvelles administrations et agences environnementales : Observatoire National de l'Environnement et du Développement Durable (2002), Commissariat Général à la Planification et à la Prospective (2003), agences locales de gestion et de régulation foncières urbaines (2003), Centre National d'Études & de Recherches Intégrées du Bâtiment CNERIB (2003), Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique CGS (2003), APRUE, Agence Nationale des Déchets AND (2002), Centre National des Technologies de Production plus Propres (2002), Centre de Développement des Ressources Biologiques, Agence Nationale des Changements Climatiques ANCC (2005), Conservatoire National de Formation en Environnement CNFE (2002), Agence Nationale de l'Urbanisme ANURB, etc.
Outils Financiers	Incitation /dissuasion fiscale	<p>Déchets :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Valorisation : Exonération d'impôt, Franchise TVA et exonérations de la taxe foncière au profit des activités de récupération de déchets recyclables ; • Collecte : Taxe d'enlèvement des ordures ménagères (TOM) ; Taxe sur les sacs en plastiques ; Taxe d'incitation au déstockage des déchets des activités de soins ; Taxe d'incitation au déstockage des déchets industriels spéciaux ; <p>Énergie :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Taxe sur les carburants ; <p>Air</p> <ul style="list-style-type: none"> • Taxe sur la pollution atmosphérique d'origine industrielle ; Taxe relative aux activités polluantes ou dangereuses pour l'environnement ;
Outils Juridiques et réglementaires	Lois, décrets	<p>Gestion des flux métaboliques : Déchets /Énergie/Air</p> <ul style="list-style-type: none"> • Loi n°01-19 du 12/12/2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets ; • Loi n°03-10 du 19/07/2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable ; • Loi n°99-09 du 28 juillet 1999 relative à la maîtrise de l'énergie ; • Loi n°04-09 du 14/08/2004 relative à la promotion des énergies renouvelables dans le cadre du développement durable ; • Loi n°04-20 du 24/12/2004 relative à la prévention et à la gestion des risques dans le cadre du développement durable ; • Loi n°02.02 relative à la protection et valorisation du littoral ; • Décret présidentiel n° n° 04-144 portant ratification du protocole de Kyoto à la convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques • Nouvelle version du règlement parasismique Algérien (RPA 2003) <p>Planification et développement territorial</p> <ul style="list-style-type: none"> • Loi n° 04.05 relative à l'aménagement et l'urbanisme modifiant et complétant la loi n°90-29 du 1er décembre 1990 relative à l'aménagement et l'urbanisme ; • Loi n°01- 20 du 12/12/2001 relative à l'aménagement et au développement durable du territoire ; • Loi n°02-08 du 08/05/2002 relative aux conditions de création des villes nouvelles et de leur aménagement ; • Loi n°06-06 du 20 /02/2006 portant loi d'orientation de la ville ; • Loi n°07-06 du 13 /05/2007 relative à la gestion, à la protection et au développement des espaces verts ; • Loi n°11-02 du 17 /02/2011 relative aux aires protégées dans le cadre du Développement durable ; • Loi n°04.20 relative à la protection contre les risques majeurs ; • Décret exécutif n° 05-318 sur les procédures d'élaboration et d'approbation des POS
Outils de Planification	Plans locaux	<ul style="list-style-type: none"> • Plans locaux de gestion des déchets urbains et industriels ; • PDAU d'Alger ; • Plans spécifiques (PPSMVSS pour les secteurs sauvegardés).
Cadre Organisationnel et de gestion	- Coopération internationale	<ul style="list-style-type: none"> • Projet PNUD : renforcement des capacités du pays pour la protection de l'environnement ; Projet de coopération avec GIZ-Allemagne pour la gestion des déchets ; Projet avec le fond mondial pour l'environnement : mise en place d'un système de gestion de la pollution pétrolière et élaboration de stratégie et programme national sur la diversité biologique ; Projet avec la banque mondiale : contrôle de la pollution industrielle (Annaba) ; etc.
	Formation, information, sensibilisation	<ul style="list-style-type: none"> • Organisation des campagnes nationales de sensibilisation ; Organisation de séminaires nationaux et internationaux (ONS, 2006) notamment sur la Gestion intégrée des déchets solides ; Environnement et pollution industrielle ; Charte des écoles ; Charte des entreprises ; etc. ;
	Approche collective/ Démarche participative	<p>Préparation et diffusion d'un Rapport national sur l'état et l'avenir de l'environnement (RNE) permettant aux acteurs socio-économiques et aux citoyens de participer à un large débat organisé au niveau des communes, villes et wilayas. Le débat, était destiné à accroître la participation de larges segments de la société pour une meilleure protection de l'environnement et à développer l'éco-citoyenneté ; (PNAE-DD, 2002) ;</p> <p>Conférence Nationale de Concertation sur le Climat le 28 juillet 2015, qui a réuni les collectivités locales, associations économiques, socioprofessionnelles, environnementales, ainsi que les acteurs institutionnels et socio-économiques (Berezowska-Azzag, 2016a ; CPDN, 2015).</p>
	Monitoring (contrôle et suivi)	<ul style="list-style-type: none"> • Renforcement du réseau de surveillance et de contrôle du territoire en matière d'environnement

Tableau 4. A : Outils de planification territoriale et environnementale mis en place pendant la période 2000-2020 (PNAE-DD, 2002 ; RNE, 2003 ; ONS, 2006 ; Aliouche-Hocine, 2019).