



Laboratoire Architecture et Environnement

Thèse de Doctorat en Sciences

Option Urbanisme et Environnement

EMPREINTE ECO-INSTITUTIONNELLE URBAINE

OUTIL D'AIDE A LA DECISION

POUR L'EVALUATION ET LE CONTROLE

DU METABOLISME URBAIN EN ALGERIE

Présentée et soutenue publiquement par :

DAKHIA Karima

Directeur de thèse : Pr. BOUSSOUALIM Aicha

Devant le jury :

Président : CHABBI-CHEMROUK Naima, Professeur à l'EPAU d'Alger
Examineur : DJELLOULI Yamna, Professeur des universités à l'Université du Maine
Examineur : LUC Adolphe, Professeur des universités à l'ENSA Toulouse
Examineur : LARID Mohamed, Dr, M.C.A à l'ENSSMAL Alger
Examineur : CHABOU-OTHMANI Meriem, Dr, M.C.A à l'EPAU d'Alger
Examineur : BOUSSOUALIM Aicha, Professeur à l'EPAU d'Alger

Alger le 15 Juin 2015

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

والحمد لله رب العالمين

A mes parents

Remerciements

Je remercie Professeur Aicha Boussoualim pour son encadrement et ses encouragements qui m'ont aidée à finir cette thèse.

Je n'oublie pas de remercier Professeur Ewa Berezowska qui a encadré les premières réflexions de cette recherche.

Mes remerciements les plus sincères et « durables » aux Professeurs Naima Chabi et Youssef Kehila, ainsi qu'à toute l'équipe du laboratoire LAE, pour leurs aide et encouragements.

Un grand merci à mon amie et collègue Imane Chabane pour ses précieux conseils.

Merci enfin à tous ceux qui m'ont soutenus et encouragés, amis et collègues de l'EPAU et d'ailleurs, tout le long de ce périple de recherche doctorale.

ملخص

أصبح البحث في مجال تحليل وتقييم الأيض الحضري يحظى بأهمية متزايدة في البحث المتخصص في المدينة و البيئة. غير أن مفهوم الأيض الحضري الذي طوّر فكر وتصوّر جديد للمدينة وبيئتها الطبيعية مازال متجاهلا من طرف التخطيط العمراني في الجزائر. هذا بالرغم من أنه قد تم اطلاق مشاريع مثل مخطط تهيئة الساحل للجزائر العاصمة PAC ومدينة بوغزول الجديدة (أول مدينة صفر كربون)، اللذان يعتمدان بطريقة غير مباشرة على منهج تقييم الأيض الحضري ومنهج النظام الإيكولوجي في التقييم البيئي. و هذا الأمر يثير تساؤلات و تحديات بشأن كيفية إدماج هذا النهج الجديد في منظومة التخطيط البيئي الحضري في الجزائر.

يرتكز بحثنا في هذا السياق حول إشكالية كيفية دمج تقييم الأيض الحضري في عملية التخطيط البيئي الحضري. وهدفنا هنا هو أولا تقديم حل تطبيقي لدمج تقييم الأيض الحضري في منظومة التخطيط البيئي الحضري في الجزائر و ثانيا المساهمة في البحث العلمي الجاري حاليا في هذا المجال و هذا من منظور التخطيط العمراني.

لمعالجة هذه الإشكالية، اتبعنا منهج الأنظمة المركبة. ووضعنا تصميمنا لنموذج منهجي يشمل النظام الإيكولوجي و الأيض الحضري. ساعد هذا النموذج للأيض الحضري في إعادة تفسير التقييم البيئي ليشمل، بالإضافة إلى تقييم ديناميكيات التدفق، تقييم قدرة التحكم فيها. و قد أعاننا هذا التفسير الجديد على تحديد حلقة مفقودة في التقييم البيئي الحضري مكملتا لتقييم تدفقات الأيض، و هي تقييم مستوى التحكم فيه.

بنانا على هذا الاستنتاج قمنا بتصميم هذه الحلقة المفقودة. فبالإضافة إلى البصمة البيئية التي تقيّم مستوى التدفقات، اقترحنا أداة البصمة المؤسسية التي تقيّم التحكم المؤسسي للأيض. لقد صممت أداة البصمة المؤسسية بناءً على النموذج المركب لمركز التحكم النظامي للأيض ووفقا لمنهج التحليل المتعدد المعايير. بعد ذلك، قمنا بدمج نتائج البصمة البيئية و البصمة المؤسسية في الأداة الثانية التي نقترحها : وهي لوحة القيادة للبصمة البيئية المؤسسية للمدينة. ثم قمنا بتصميم لوحة القيادة هاته كأداة استراتيجية لدعم القرارات لإدارة الأيض و هذا على جدول البيانات إكسل Excel. وأخيرا، أجرينا محاكاة جزئية لتقييم عنصر الطاقة و هذا لمدينتي الجزائر و بوغزول.

لقد ساهمنا بهذه الدراسة في إشكالية إدماج الأيض الحضري في منظومة التخطيط البيئي على المستويين النظري و العملي. فعلى المستوى العملي اقترحنا نموذجا نظاميا يسوغ تقييم الأيض بطريقة جديدة و هذا لإضافة تقييم التحكم في الأيض لتقدير ديناميكيات التدفق الحضري. وعلى المستوى العملي ، صممت أداتين اثنتين و هما : البصمة البيئية المؤسسية و لوحة القيادة الاستراتيجية لإدارة الأيض التي تشكل إطارا استراتيجيا لدعم القرارات المتعلقة بإدارة الأيض في منظومة التخطيط البيئي الحضري في الجزائر.

الكلمات المفتاحية: الأيض الحضري، نهج النظام الإيكولوجي، الأنظمة المركبة، التخطيط البيئي الحضري، التقييم البيئي، البصمة البيئية.

Abstract

These last years, a plethora of researches in urban metabolism assessment have been conducted by many disciplines developing new theories and tools. However, only few researches on urban metabolism assessment are developed from urban planning perspective. In Algeria, projects such as the coastal management plan (known as PAC) of Algiers and the new town of Boughezoul, introduced, yet unofficially, urban metabolism and urban ecosystem planning approaches inducing the challenge of their future integration into the environmental evaluation framework in Algeria.

Our research aims to answer this challenge by questioning the urban metabolism assessment integration into the environmental urban planning framework in Algeria. We propose a functional solution to integrate the urban metabolism assessment in the environmental urban planning framework and make a contribution in urban metabolism academic research from an urban planning perspective.

We first, designed a systemic model of the urban ecosystem with its metabolism and control centre. Our urban metabolism model helped us identifying the missing link between the flows assessment, currently in use, and the urban environmental planning. Hence, we proposed to fill this gap located in the urban metabolism control centre by reinterpreting the urban metabolism assessment to include, in addition to the flows' dynamic assessment, the assessment of the urban metabolism control.

On this basis, we proposed two tools. First, we complemented the Ecological Footprint (EF) in charge of evaluating flows level by the new Institutional Footprint (IF) tool, we designed, which would be in charge of evaluating the urban metabolism institutional control. We designed the IF based on the systemic model following a multicriteria analysis approach. Second, we proposed to integrate both tools the EF and the IF in the dashboard of the Eco-Institutional Urban Footprint (EIUF). We designed the dashboard using Excel as an urban metabolism strategic management planning tool and a support for decision making. At last, we performed a limited simulation for one flow of the urban metabolism applying the dashboard of EIUF to the cases of Algiers and new town of Boughezoul.

In this research, we reinterpreted urban metabolism assessment in order to incorporate urban metabolism control assessment from an urban planning perspective. We proposed the IF to complement the EF integrated into the EIUF dashboard as a new framework for the urban metabolism's control and planning.

Keywords: urban metabolism, environmental assessment, environmental urban planning, complex systems, ecological footprint.

Résumé

La recherche dans le domaine de l'analyse et l'évaluation du métabolisme urbain prend de plus en plus d'importance. Cependant, l'urbanisme reste absent de ce champ de recherche qui développe pourtant, un nouveau paradigme de la ville et de son environnement naturel. En Algérie, ce sont les projets inédits du PAC d'Alger et la nouvelle ville zéro carbone de Boughezoul qui introduisent l'évaluation du métabolisme urbain et l'approche écosystémique dans l'évaluation environnementale. Ils soulèvent ainsi des questionnements quant à l'intégration de cette nouvelle approche dans la planification environnementale urbaine en Algérie.

C'est dans ce contexte que se place notre recherche autour de la problématique des modalités d'intégration de l'évaluation du métabolisme urbain dans le processus de planification environnementale urbaine en Algérie. Notre objectif étant de proposer une solution opérationnelle pour intégrer l'évaluation du métabolisme urbain à la planification environnementale urbaine en Algérie tout en contribuant à la recherche dans ce domaine du point de vue urbanistique.

Pour répondre à cette problématique, nous avons, en premier lieu conçu un modèle systémique de l'écosystème et métabolisme urbain ainsi que de son centre de contrôle. Cette modélisation a permis de réinterpréter l'évaluation du métabolisme urbain pour inclure, en plus de l'évaluation de la dynamique des flux, l'évaluation du contrôle du métabolisme urbain. Cette nouvelle interprétation a permis d'identifier un chaînon manquant entre l'évaluation des flux, telle qu'elle est pratiquée actuellement, et la planification environnementale urbaine au niveau du centre de commande du métabolisme urbain.

Pour combler ce vide, nous proposons deux outils. En complément de l'EE, qui évalue le niveau des flux, nous proposons l'Empreinte Institutionnelle (EI) qui évalue le contrôle institutionnel du métabolisme urbain. Nous avons construit l'outil de l'EI en se basant sur notre modèle systémique du centre de contrôle du métabolisme urbain, selon une approche d'analyse multicritère. Par la suite, nous avons intégré les résultats de l'EE et l'EI dans le deuxième outil que nous proposons : le tableau de bord de l'Empreinte Eco-Institutionnelle Urbaine (EEIU). Nous avons conçu ce tableau de bord à l'aide de l'application Excel en tant qu'outil stratégique d'aide à la décision pour la gestion du métabolisme urbain. Enfin, nous avons effectué une simulation partielle de l'application de l'EEIU pour le flux énergie des deux villes Alger et Boughezoul.

Mots clés : métabolisme urbain, approche écosystémique, planification environnementale urbaine, évaluation environnementale, empreinte écologique, système complexe.

Sommaire

LISTE DES FIGURES	I
LISTE DES TABLEAUX	IV
ABRÉVIATIONS	V
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
1.1 INTRODUCTION	2
1.2 CONTEXTE DE LA RECHERCHE	6
1.3 QUESTIONNEMENT ET HYPOTHÈSES	7
1.4 OBJECTIFS	9
1.5 CADRE MÉTHODOLOGIQUE ET CONCEPTUEL	10
1.5.1 <i>Les paradigmes</i>	10
1.5.2 <i>Les frontières méthodologiques de notre recherche</i>	13
1.5.3 <i>Approche systémique</i>	15
1.5.4 <i>Approche multicritère</i>	21
1.6 STRUCTURATION DE LA THÈSE	22
PARTIE I : COMPRÉHENSION DES APPROCHES D'ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE ET LEUR INTÉGRATION À LA PLANIFICATION URBAINE	26
CHAPITRE 1. L'ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE SELON L'APPROCHE SECTORIELLE	27
1.1 INTRODUCTION	27
1.2 ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE URBAINE : DÉFINITION ET APPROCHES	27
1.3 ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE SELON L'APPROCHE RÉACTIVE : PROCESSUS ET OUTILS D'ÉVALUATION	29
1.3.1 <i>L'évaluation des impacts sur l'environnement (EIE)</i>	30
1.3.2 <i>L'évaluation environnementale stratégique (EES)</i>	33
1.3.3 <i>Synthèse comparative des EIE et EES</i>	35
1.4 INTÉGRATION DE L'ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE DANS LA PLANIFICATION URBAINE, CAS DU PEIA CHINOIS	37
1.5 ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE EN ALGÉRIE	41
1.5.1 <i>Etudes et notices d'impacts</i>	42
1.5.2 <i>Contenu et élaboration des études et notices d'impacts</i>	43
1.6 ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE ET PLANIFICATION URBAINE EN ALGÉRIE	45
1.7 CONCLUSION	52
CHAPITRE 2. L'ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE SELON L'APPROCHE STRATÉGIQUE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE	54
2.1 INTRODUCTION	54
2.2 ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE STRATÉGIQUE DANS LE CADRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE : PROCESSUS ET OUTILS D'ÉVALUATION	54
2.2.1 <i>Outils d'évaluation de la durabilité</i>	55
2.2.2 <i>Indicateurs d'évaluation de la durabilité</i>	59
2.2.3 <i>La représentation graphique de l'évaluation par les indicateurs</i>	63
2.2.4 <i>Cadre d'évaluation : Le tableau de bord</i>	66
2.3 L'ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE STRATÉGIQUE EN ALGÉRIE	70
2.3.1 <i>PAC de la côte Algéroise : Outil d'évaluation de la durabilité (outil d'évaluation et de gestion d'un écosystème)</i>	70
2.3.2 <i>Le nouveau PDAU d'Alger</i>	78
2.4 CONCLUSION	81

PARTIE II : MODÉLISATION DU MÉTABOLISME URBAIN ET IDENTIFICATION DES OBSTACLES DEVANT SON INTÉGRATION DANS LA PLANIFICATION URBAINE ENVIRONNEMENTALE	83
CHAPITRE 3. L'ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE DU MÉTABOLISME URBAIN : DÉFINITION ET ESSAI DE MODÉLISATION	84
3.1 INTRODUCTION	84
3.2 PRÉSENTATION DU NOUVEAU PARADIGME : TRANSDISCIPLINARITÉ ET NOUVEAUX CONCEPTS	85
3.2.1 <i>Les nouvelles disciplines</i>	85
3.2.2 <i>Nouvelle conceptualisation et nouveaux modèles</i>	89
3.2.3 <i>Controverse sur la métaphore du métabolisme urbain</i>	100
3.3 MODÉLISATION ET ANALYSE DU MÉTABOLISME URBAIN	101
3.3.1 <i>Modélisation de l'écosystème urbain</i>	101
3.3.2 <i>Modélisation du centre de commande du métabolisme urbain</i>	105
3.4 EVALUATION DU MÉTABOLISME URBAIN ET PLANIFICATION DE L'ÉCOSYSTÈME URBAIN 108	
3.5 CONCLUSION	110
CHAPITRE 4. OUTILS D'ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE DU MÉTABOLISME URBAIN ET DE LA PLANIFICATION URBAINE : RAISONS D'UN MALENTENDU... 111	111
4.1 INTRODUCTION	111
4.2 EVALUATION DES FLUX DU MÉTABOLISME URBAIN	111
4.2.1 <i>L'empreinte écologique, outil d'évaluation du métabolisme urbain</i>	114
4.2.2 <i>Critiques et limites de l'empreinte écologique</i>	123
4.2.3 <i>Comparaison des outils d'évaluation des flux : AFM et EE</i>	125
4.2.4 <i>L'Algérie et son empreinte écologique</i>	127
4.3 EVALUATION DU CONTRÔLE DU MÉTABOLISME URBAIN	129
4.3.1 <i>Le contrôle par la gestion des ressources</i>	130
4.3.2 <i>Le contrôle de la consommation par la réglementation environnementale</i>	131
4.3.3 <i>Les modalités de l'évaluation du contrôle du métabolisme urbain</i>	134
4.4 PRÉMICES D'UN CONTRÔLE DU MÉTABOLISME URBAIN EN ALGÉRIE ?	138
4.4.1 <i>Réglementation environnementale en Algérie</i>	138
4.4.2 <i>Cas de la nouvelle ville de Boughezoul : exemple d'intégration de l'évaluation du métabolisme urbain</i>	140
4.5 EXEMPLES D'INTÉGRATION DE L'ÉVALUATION DU MÉTABOLISME URBAIN DANS LA PLANIFICATION URBAINE ÉCOSYSTÉMIQUE DU MÉTABOLISME URBAIN – CAS DE LA MÉTHODE IRM DE ARUP	148
4.6 CONCLUSION	152
PARTIE III : PROPOSITION D'UN NOUVEL OUTIL D'ÉVALUATION DU MÉTABOLISME URBAIN INTÉGRÉ À LA PLANIFICATION URBAINE	153
CHAPITRE 5. PROPOSITION D'UN OUTIL D'ÉVALUATION DU CONTRÔLE DE L'ÉCOSYSTÈME URBAIN : L'EMPREINTE INSTITUTIONNELLE	154
5.1 INTRODUCTION	154
5.2 CONCEPTION DE L'OUTIL D'ÉVALUATION ET DE CONTRÔLE DU MÉTABOLISME URBAIN	155
5.3 EMPRUNTER L'OUTIL EMPREINTE ÉCOLOGIQUE POUR ÉVALUER LES FLUX	157
5.3.1 <i>Echelle du système à évaluer par l'empreinte écologique</i>	157
5.3.2 <i>Méthode et objectifs de l'EE</i>	158
5.3.3 <i>Représentation graphique des résultats de l'analyse par l'EE</i>	160
5.4 PROPOSITION D'UN NOUVEL OUTIL POUR L'ÉVALUATION DU CONTRÔLE INSTITUTIONNEL DU MÉTABOLISME URBAIN: L'EMPREINTE INSTITUTIONNELLE	162
5.4.1 <i>Identification des vannes institutionnelles de contrôle des flux</i>	163
5.4.2 <i>Choix de la méthode de l'analyse multicritère pour la construction de L'EI</i>	164

5.4.3	<i>Choix des critères d'évaluation du contrôle institutionnel des vannes</i>	169
5.4.4	<i>Choix des indicateurs d'évaluation du contrôle des vannes</i>	170
5.4.5	<i>Indice de contrôle institutionnel de flux</i>	183
5.5	CONCLUSION	195
CHAPITRE 6. PROPOSITION DU DASHBOARD DE L'EEIU COMME OUTIL D'ÉVALUATION STRATÉGIQUE ET D'AIDE À LA DÉCISION POUR LE CONTRÔLE DU MÉTABOLISME URBAIN.....		196
6.1	INTRODUCTION	196
6.2	DÉMARCHE DE CONCEPTION DE L'EEIU : CADRE D'INTÉGRATION DES EE ET EI	196
6.2.1	<i>Les indicateurs clés de l'évaluation du métabolisme urbain</i>	197
6.2.2	<i>Conception du tableau de bord EEIU: cadre d'intégration des deux indices clés de l'évaluation du métabolisme urbain</i>	201
6.3	CONCEPTION DU TABLEAU DE BORD « EEIU DASHBOARD » SUR EXCEL.....	208
6.3.1	<i>Feuille tableau de bord EEIU des métabolismes urbains A et B</i>	210
6.3.2	<i>Comparaison des EEIU de deux métabolisme urbain</i>	212
6.3.3	<i>Interface des données</i>	215
6.4	VALIDATION : VÉRIFICATION DE L'APPLICABILITÉ DE L'OUTIL	217
6.4.1	<i>Exemple de simulation : le cas de la ville d'Alger</i>	217
6.4.2	<i>Exemple de simulation le cas de la nouvelle ville de Boughezoul</i>	224
6.4.3	<i>Essai comparatif des Empreintes Institutionnelles Alger – Boughezoul</i>	234
6.5	INTÉGRATION DU « DASHBOARD EEIU » DANS LE PROCESSUS DE LA PLANIFICATION URBAINE ÉCOSYSTÉMIQUE EN ALGÉRIE	237
6.5.1	<i>Intégration dans la planification urbaine : cas d'une ville existante</i>	239
6.5.2	<i>Intégration dans la planification urbaine : cas d'une ville nouvelle</i>	242
6.6	CONCLUSION	246
CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES DE RECHERCHE.....		247
	CONCLUSION	248
	INTÉRÊT DE LA RECHERCHE	250
	PERSPECTIVES DE RECHERCHE	252
BIBLIOGRAPHIE.....		253
ANNEXES		265

Liste des figures

Figure 1: Méthodologie de la recherche	14
Figure 2: Schéma représentant la dynamique d'un système complexe (DeRosnay, 1975)	18
Figure 3: Schéma représentant le mécanisme de régulation d'un système complexe, cas de la dynamique d'un budget (De Rosnay, 1975)	19
Figure 4: Schéma d'un modèle systémique de l'écosystème urbain (modifié de : Dakhia, Azzag, 2004).....	20
Figure 5: Modèle primaire du centre de contrôle du métabolisme urbain	21
Figure 6: Structure de la thèse.....	25
Figure 7: Approches méthodologiques de l'EES (Partidàrio, 2007)	37
Figure 8: Intégration de l'EES à la planification urbaine et écologique (He et al., 2010)	38
Figure 9: Cadre d'intégration des processus d'évaluation et de planification (He et all., 2010).....	39
Figure 10: Organigramme décrivant le processus d'intégration de l'EES (PEIA) du Master plan de Shenzhen (Che et al., 2011).....	40
Figure 11: Schéma du processus et des acteurs de l'étude d'impact en Algérie	45
Figure 12: Schéma des relations et influences territoriales des outils et instruments environnementaux et d'aménagement urbain.....	51
Figure 13: Système d'indicateurs de développement durable développé par l'institut Wuppertal (Singh et al., 2012)	56
Figure 14: La pyramide de l'information (Information pyramid) (Hammond, 1995)	59
Figure 15: Graphe de type AMOEBA utilisé pour comparer de options (Ten Brink et al. 1991).....	64
Figure 16: Application de l'exercice AMOEBA (Larid, 2003).....	65
Figure 17: Exemple d'interface de tableau de bord (Pauwels et al. 2009)	67
Figure 18: Exemple de tableau de bord de durabilité : comparaison des indices de durabilité de la municipalité de Padau de 1998 à 2001 (Scipioni et al. 2009)	69
Figure 19: Carte de délimitation de la zone d'étude du PAC (PAC 2002).....	71
Figure 20: Limites physiques de la zone côtière du PAC (PAC 2005).....	71
Figure 21: Composition du comité de pilotage du PAC (Larid, 2005)	72
Figure 22: Les cinq étapes de l'analyse systémique de la durabilité (Bell and Morse, 2008, p.155).....	74
Figure 23: Les cinq étapes de la méthode Imagine (Bell and Morse, 2008, p. 156)	74
Figure 24: L'approche Imagine (Bell and Coudert, 2006, p.15)	75
Figure 25: Schéma radar du PAC d'Alger, 2003 (Coudert et Larid, 2006).....	76
Figure 26: Radars comparatifs des scénarios tendanciel et alternatif (Coudert et Larid, 2006).....	77
Figure 27: Carte du Masterplan d'Alger montrant les projets structurant selon les trois axes du développement durable, PDAU d'Alger (ParquExpo, 2011)	80
Figure 28: Modèle d'un écosystème industriel (Jelinski et al.1992)	88
Figure 29: Les composants de l'écosystème urbain (Marzluff et al. 2008)	90
Figure 30: composition de l'écosystème urbain (Alberti 1996)	90
Figure 31: Méthodes de recherche utilisées pour étudier le métabolisme urbain (Zhang, 2013).....	95

Figure 32: Modèle simple linéaire de métabolisme urbain (Wolman, 1965)	96
Figure 33: Modèle de métabolisme urbain linéaire et circulaire (Girardet, 1999)	97
Figure 34: Modèle élargi du métabolisme urbain (Newman et al, 1996)	98
Figure 35: Modèle conceptuel du processus d'un système de métabolisme urbain de l'énergie (Zhang et al., 2010)	99
Figure 36: Schéma d'un modèle systémique de la ville, modèle linéaire (De Rosnay, 1976).....	102
Figure 37: Modèle associé de l'écosystème urbain et du métabolisme urbain, (développé d'après DAKhia, Azzag, 2005)	103
Figure 38: Schéma de la vanne de commande de flux (De Rosnay, 1975).....	105
Figure 39: Modèle simplifié de CCMU	106
Figure 40: Modélisation du métabolisme urbain et de son centre de contrôle.....	107
Figure 41: Modèle du CCMU (évaluation et contrôle) du métabolisme urbain	108
Figure 42: Métabolisme de Bruxelles 1970, (Duvigneaud and Denayeyer-De Smet, 1977 in Kennedy, 2007)	113
Figure 43: Convergences et Divergences entre les méthodes MFA et EE (Curry et al. 2011).....	114
Figure 44: Empreinte Ecologique du métabolisme urbain de Métro-Vancouver (Moore et al., 2013)	120
Figure 45: Les deux méthodes d'analyse du métabolisme urbain : Analyse des Flux de Matières (AFM) et analyse de l'Empreinte Ecologique (AEE)	126
Figure 46: Evolution de l'Algérie d'un état de réserve écologique en 1961 à un état de déficit écologique en 2008 comparée aux autres pays méditerranéens, (Galli et al., 2013)	128
Figure 47: Schéma modélisant le rôle des outils d'évaluation et de contrôle des échanges du métabolisme urbain	133
Figure 48: Modèle détaillé du CCMU	136
Figure 49: Cadre des outils d'évaluation du métabolisme urbain existants et proposés.....	137
Figure 50: Boughezoul dans l'armature urbaine des Hauts plateaux, Source : SNAT 2025, présentation de Boughezoul Ateliers de lancement du projet FEM-Boughezoul Octobre 2011	140
Figure 51: Plan d'aménagement de la ville de Boughezoul, Source : Présentation de Boughezoul Ateliers de lancement du projet FEM-Boughezoul Octobre 2011.....	142
Figure 52: Structure institutionnelle de la mise en place du projet GEF-Boughezoul, (GEF 2010)	147
Figure 53: Schéma montrant la complexité des interdépendances des activités de la ville (Page et al., 2008)	148
Figure 54: Modèle du processus de l'IRM, (Roberts, 2010)	149
Figure 55: Solution optimale proposée par l'IRM à travers un processus itératif, (Roberts, 2010)	150
Figure 56 : Etapes de démarche pour la conception de l'Empreinte Eco-Institutionnelle Urbaine	156
Figure 57: Exemple de représentation de l'EE par un radar plein	161
Figure 58: Centre de contrôle du métabolisme urbain	162
Figure 59: Méthode de construction de l'EI.....	168
Figure 60: Histogramme des indicateurs d'évaluation du contrôle institutionnel, exemple fictif	180
Figure 61: Courbe de l'évaluation du contrôle institutionnel par flux	181

Figure 62: Radar de l'évaluation du contrôle des vannes institutionnelles.....	182
Figure 63: Radar plein de l'évaluation du contrôle des vannes institutionnelles	182
Figure 64: Les différents paliers de l'Indice de contrôle Institutionnel par flux.....	186
Figure 65: Représentation graphique qui associe l'échelle d'indice avec les indicateurs de contrôle pour chaque vanne pour le flux étudié.....	187
Figure 66: Echelle de l'indice de l'Empreinte Institutionnelle	189
Figure 67: Variation de l'indice après pondération, cas de contrôle moyen	192
Figure 68: Radar plein de l'Empreinte Institutionnelle (EI) du centre de contrôle du métabolisme urbain....	193
Figure 69: Indice de l'EI représenté par histogramme	194
Figure 70: L'indice de l'EI représenté par un speedometre	194
Figure 71: Processus d'évaluation et de contrôle du métabolisme urbain par l'Empreinte Eco-Institutionnelle Urbaine.....	197
Figure 72: Radar plein de l'EE décomposée par flux.....	198
Figure 73: Radar et speedometer de l'EI	199
Figure 74: Radar des indices de contrôle par flux.....	200
Figure 75: Rôle du tableau de bord de l'EEIU	205
Figure 76: Conception préliminaire de l'interface du Dashboard EEIU.....	207
Figure 77: EEIU Dashboard sur Excel	209
Figure 78: Section principale du EEIU Dashboard.....	210
Figure 79: Section secondaire du tableau de bord EEIU représentant les EI par flux.....	212
Figure 80: Tableau de bord comparatif de deux métabolismes urbains « EEIU Dashbord » sur Excel	214
Figure 81: Feuille de données du Dashboard EEIU sur Excel	216
Figure 82: Histogramme de l'EE du flux énergies d'Alger comparée aux valeurs limites	219
Figure 83: Radar Speedometre de l'EI de l'énergie niveau national Algérie	222
Figure 84: Tableau de bord EI partiel Energies cas d'Alger.....	223
Figure 85: Simulation et estimation de la réduction de la consommation des énergies fossiles par la ville nouvelle de Boughezoul, The GEF council letter	225
Figure 86: Organigramme du projet GEF-Boughezoul.....	226
Figure 87 : Radar de l'EI du controle du flux énergie de GEF- Boughezoul	232
Figure 88: Tableau de bord EI du flux « Energie » de Boughezoul.....	233
Figure 89: tableau de bord comparatif Alger – Boughezoul	235
Figure 90: Etapes de planification d'un métabolisme urbain.....	238
Figure 91: Procédure d'intégration de l'EEIU dans la planification urbaine, cas d'un projet urbain.....	241
Figure 92: Procédure d'intégration de l'EEIU dans la planification urbaine, cas d'une ville nouvelle	243
Figure 93: Schéma intégrant l'EEIU dans le cadre des outils et instruments environnementaux et d'aménagement urbain.....	245

Liste des tableaux

Tableau 1: Comparaison EIE et EES (adapté de Dalal-Clayton, Sadler 1999 et André et al. 2003).....	36
Tableau 2: Tableau récapitulatif des textes concernant l'urbanisme et l'environnement en Algérie	46
Tableau 3: Liste non exhaustive des principaux outils d'évaluation de durabilité urbaine (adapté de Duarte 2010, ARE 2004).....	58
Tableau 4: Types d'indicateurs (ARE, 2004)	61
Tableau 5: Les composants de l'Empreinte Ecologique (Simmons, 2003)	118
Tableau 6: EE de la ville d'Oslo en 2000 (Carlo et Norland, 2002).....	119
Tableau 7: Empreinte Ecologique de Cape Town (Gasson, 2002)	121
Tableau 8: Synthèse du calcul des flux énergies de Londres (Best Foot Forward, 2002).....	122
Tableau 9: Synthèse du calcul des flux matériaux de Londres (Best Foot Forward, 2002)	122
Tableau 10: EE de Londres par composants (Newman and Jennings, 2008).....	123
Tableau 11: Tableau comparatif des avantages et inconvénients de l'Empreinte Ecologique (Conor W. et al., 2006)	124
Tableau 12: Empreinte écologique et capacité de charge de l'Algérie (Galli et al., 2013 et WWF, 2014)	127
Tableau 13: Cadre institutionnel de la protection de l'environnement naturel en Algérie.....	139
Tableau 14: Synthèse des mesures de contrôle du métabolisme urbain du projet GEF-BOUGHEZOU.....	146
Tableau 15: Les cinq flux input et output pris en charge par l'EE.....	159
Tableau 16: Les cinq vannes institutionnelles du centre de commande du métabolisme urbain.	163
Tableau 17: Valeurs des indicateurs de contrôle pour la vanne institution	172
Tableau 18: Valeurs des indicateurs de contrôle pour la vanne règlement.....	172
Tableau 19: Valeurs des indicateurs de contrôle pour la vanne instrument.....	173
Tableau 20: Valeurs des indicateurs de contrôle pour la vanne programme et projet	174
Tableau 21: Valeurs des indicateurs de contrôle pour la vanne participation de tous les acteurs	177
Tableau 22: Valeurs des indicateurs de contrôle par vannes et par paliers de contrôle	178
Tableau 23: Valeurs des indicateurs de contrôle pour la vanne participation	178
Tableau 24: Valeurs des indicateurs de contrôle participatif par paliers de contrôle	179
Tableau 25: Exemple d'évaluation du contrôle institutionnel, cas fictif pour un flux n.....	179
Tableau 26: Matrice d'agrégation des 5 indicateurs d'évaluation des 5 vannes par flux	184
Tableau 27: Valeurs de l'indice de contrôle par paliers de contrôle.....	185
Tableau 28: Agrégation des indices de contrôle par flux	188
Tableau 29: Valeur de l'indice de contrôle institutionnel du métabolisme urbain par palier de référence..	189
Tableau 30: Indices de contrôle institutionnel avec pondération.....	191
Tableau 31: Tableau détaillé des indicateurs de contrôle institutionnel pour le flux Energie	215
Tableau 32: Valeurs de l'EE pour Alger (A. Galli et al., 2013; Mallem et al., 2009)	218
Tableau 33: Evaluation du contrôle des vannes institutionnelles du flux énergie	221
Tableau 34: Evaluation des indicateurs de contrôle des vannes du flux des énergies de Bougezoul.....	231

Abréviations

AFM : Analyse des Flux de Matières

AEE : Analyse par l'Empreinte Ecologique

APRUE : Agence pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie

CC : Capacité de Charge

CDER : Centre de Développement des Energies Renouvelables

CCMU : Centre de Contrôle du Métabolisme Urbain

CMEF: Common Monitoring Evaluation Framework

CNERU : Centre National d'Etudes et de Recherches en urbanisme

DD : Développement Durable

DPSIR : Driving force, Pressure, State, Impact, Response (Force motrice, Pression, État, Impact, Réponse)

EE : Empreinte Ecologique

EEIU : Empreinte Eco-Institutionnelle Urbaine

EES : Etude Environnementale Stratégique

EFA : Ecological Footprint Analysis

EI : Empreinte Institutionnelle

EIE : Etude d'Impacts sur l'Environnement

EIS : Etude d'Impact Stratégique

GIZC : Gestion Intégrée de la Zone Côtière

HEP : Human Exemptionalism Paradigm

IRM : Integrated Resources Management de Arup

NEP : New Ecological Paradigm

MATE : Ministère d'Aménagement du Territoire et de l'Environnement

OCDE : Organisation de Coopération et de Développement Economiques

PAC : Plan d'Aménagement Côtier

PAM : Plan d'Actions 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

PEIA : Planning Environmental Impact Assessment

PNUE : Plan des Nations Unis pour l'Environnement

POS : Plan d'Occupation des Sols

UMA : Urban Metablism Analysis

SDAAM : Schéma Directeur d'Aménagement de l'Aire Métropolitaine

SNAT : Schéma national d'aménagement du territoire

Introduction Générale

‘The world is sweet and verdant green, and Allah
appoints you to be His regents in it, and will see
how you acquit yourselves . . . ’
(Hadith)

1.1 Introduction

Depuis la révolution urbaine, la fondation de la cité a été guidée par la recherche d'un équilibre avec l'environnement naturel de la ville (Mumford, 1964). Le respect de la nature était considéré comme un facteur important et essentiel dans l'édification et la pérennité de la cité. Les villes traditionnelles entretenaient une relation d'équilibre avec leur environnement naturel. L'Homme n'ignorait pas cette dimension, bien au contraire, le choix des sites d'implantation des villes se faisait en fonction de l'environnement immédiat pour faciliter l'accès aux ressources naturelles (eau, nourriture...) et se protéger des risques naturels.

Ibn Khaldun ; dans sa *Muqadimma* écrite au 14^{ème} siècle (Ibn Khaldun, 1967), faisait déjà allusion à l'influence de l'environnement naturel sur la ville. Selon lui, pour l'établissement d'une ville, il faut préférer l'environnement naturel immédiat qui offre des ressources à la ville (eau douce, terres cultivables, pâturages...) ainsi que de l'air pur en prenant soin d'éviter la proximité des eaux stagnantes. Ibn Khaldun a même cité les villes de Bassora et Koufa pour imputer la cause de leur déclin, après la chute des dynasties régnantes, à l'absence de ressources naturelles suffisantes capables de soutenir leur essor. Ce discours tenu au IV^{ème} siècle est toujours d'actualité. Nous retrouvons la problématique des ressources, de la pollution et des risques qui nous rappelle que le développement, voire la survie des villes est tributaire d'une relation équilibrée ville - nature.

Avec l'avènement de la révolution industrielle dans le monde occidental, l'Homme a oublié ce discours pour privilégier celui de la force. Il a appris à domestiquer la nature, ses éléments et ses cycles pour servir son développement vorace en ressources naturelles. Il a conquis l'environnement naturel proche et lointain, colonisant et s'accaparant les richesses des terres bien au-delà des limites territoriales des nations. En conséquence, les villes occidentales se développèrent et se transformèrent en des villes modernes en croissance continue consommant et polluant sans limites.

En Algérie, c'est le choc de la colonisation française au XIX^{ème} siècle, qui importa et imposa la ville moderne européenne au pays et signa ainsi l'arrêt de mort de la ville traditionnelle et de sa relation équilibrée avec la nature. La ville moderne européenne devient la référence de ce qu'est une ville au XX^{ème} siècle, et à l'instar des autres villes occidentales, la ville algérienne se développera en croissance continue ; consommera et polluera sans limites.

L'urbanisation croissante de la terre, en ce XXI^{ème} siècle, selon le modèle de développement des villes occidentales génère de graves problèmes environnementaux. Parmi ces derniers, le problème de la pollution est le plus apparent ; la pollution de l'air, du sol et des eaux menace non seulement la nature et ses composants : faune et flore, mais aussi et surtout la santé de l'être humain, voire sa survie. Tout aussi préoccupant que la pollution, le problème de la surexploitation des ressources non renouvelables par les villes, qui sont les grandes consommatrices de ces ressources, devient alarmant. La surconsommation des ressources naturelles non renouvelables au rythme actuel mènera inéluctablement vers la faillite de la planète terre en tant que réserve des ressources et services naturels nécessaires pour la vie en général.

Déjà, à la moitié du siècle dernier, dans les pays occidentaux, des voix se sont levées en faveur d'une prise de conscience envers ces problèmes (Carson, 1962; Nasr, 1968). Par la suite, ce sont les experts et spécialistes qui ont tiré la sonnette d'alarme dans le rapport accablant du club de Rome (Meadows et al., 1972). En 1987, la Commission internationale pour l'environnement et le développement¹ dans son fameux rapport dit de Brundtland (WCED, 1987) préconise la promotion d'un développement durable pour maîtriser le développement et la croissance dans les limites des ressources de la planète. Par la suite, la voie du développement durable codifiée par l'agenda 21 est adoptée par les pays membres des nations unies, l'Algérie y compris, lors des sommets de la terre Rio 1992, Johannesburg 2002, Rio+20 2012. Cette adoption du développement durable comme seule voie de développement a introduit l'obligation de réduire les impacts néfastes sur l'environnement de tous les établissements humains.

Dans la perspective d'un développement durable, les villes sont pointées du doigt pour leur rôle néfaste dans l'aggravation de la dégradation de l'environnement. En effet, les villes qui

¹ En anglais: World Commission on Environment and Development (WCED)

produisent les services et les richesses pour améliorer le niveau de vie de leurs habitants, sont aussi responsables de la surexploitation des ressources et de la production des rejets et déchets nocifs à l'environnement (United Nations, 1996).

La recherche de l'équilibre perdu suit différentes méthodes basées sur l'évaluation du déséquilibre ville et environnement naturel. Pour remédier à ce déséquilibre l'évaluation a suivi plusieurs méthodes en fonction de la définition et de la conceptualisation du déséquilibre. La vision sectorielle de la ville et de l'environnement, qui définit ville et environnement comme deux entités différentes, évalue, à l'aide des outils d'études d'impacts certains projets architecturaux et urbains pour remédier à ces impacts négatifs.

Jusqu'à présent, les politiques environnementales en vigueur proposent des outils dédiés à l'évaluation des impacts néfastes sur l'environnement local de la ville. Rappelons toutefois, que l'impact négatif des villes sur l'environnement ne se limite plus au seul territoire limitrophe à la ville, il s'étend bien au-delà. Les enjeux environnementaux sont devenus transfrontaliers, proportionnellement au niveau du développement économique de villes. Celles-ci tissent leurs toiles de flux de ressources et de déchets sur d'autres territoires de plus en plus éloignés. Les villes importent, à chaque fois, plus de ressources et exportent plus de nuisances et pollution au-delà de leurs limites physiques. L'environnement naturel sous l'influence de la ville n'étant plus seulement cet environnement naturel inclus dans ses limites, il est devenu primordial de repenser la nature et échelle des impacts nocifs sur l'environnement, voire de la relation ville – environnement afin d'inclure cette nouvelle réalité.

Cette nouvelle problématique de la relation de la ville à son environnement, est au centre de plusieurs recherches dans différentes disciplines tels que : l'urbanisme, l'écologie, la géographie et l'économie environnementale... (Alberti, 2008 ; Barles, 2007 ; Newman, 2006 ; Wackernagel et al., 2006). La pluridisciplinarité qui caractérise la recherche sur ce thème rend compte de la complexité de l'objet de la recherche en perpétuel redéfinition. La ville n'est plus cet environnement bâti : ensemble de constructions et d'infrastructure support d'une dynamique socio-économique ; elle est bien plus. La ville est complexe, dynamique, vivante même. Elle est qualifiée de système urbain complexe (De Rosnay, 1975) ; d'écosystème urbain doté d'un métabolisme urbain (Wolman, 1965), ou d'un organisme vivant doté d'un métabolisme (Girardet, 1999). C'est justement cette nouvelle identité de la ville, ce changement de paradigme, qui est au cœur de notre recherche.

Ce changement de paradigme concernant la relation ville environnement naturel se décline sur deux niveaux. Le premier est d'ordre méthodologique. L'approche écosystémique étudie la ville en tant qu'écosystème urbain c.-à-d. : un système complexe, urbain et vivant (Newman and Jennings, 2008). Ainsi, la nouvelle approche ne décompose pas la ville en secteurs socio-économiques ou par entité environnement bâti et naturel, mais l'étudie en tant qu'un tout uni et complexe obéissant aux lois des systèmes complexes (De Rosnay, 1975).

Le second changement est d'ordre pratique et touche les outils d'évaluation des impacts de la ville sur l'environnement. Jusqu'à maintenant et selon la vision classique, les études d'impacts de la ville sur l'environnement ne concernent que certains projets et sont évalués à l'aide des outils classiques d'étude d'impacts sur l'environnement (André et al., 2003). Par contre, selon l'approche écosystémique, l'évaluation concerne tout le métabolisme urbain et cible son réseau des flux d'échanges, de, et, vers l'environnement naturel. Le but de l'évaluation étant de comparer le résultat à l'état d'équilibre souhaité. L'évaluation du métabolisme urbain se fait grâce à différents outils de quantification des échanges de flux du métabolisme urbain tel que l'analyse des flux de matières : Material Flow Analysis (MFA), ou l'analyse par l'Empreinte Ecologique (EE).

Jusqu'ici, l'urbanisme a eu pour mission de gérer la problématique environnementale par l'évaluation et la réduction des impacts de certains projets sensibles sur l'environnement. Désormais, les urbanistes font face au défi de planifier des villes pour assurer le bien-être, le confort et la sécurité aux habitants tout en préservant l'équilibre de l'écosystème urbain. Ce défi nécessite l'intégration dans le corpus urbanistique de l'approche écosystémique et des outils d'analyse du métabolisme urbain.

La présente recherche s'insère dans cette optique et explore la nouvelle problématique de l'intégration de l'approche écosystémique et de l'outil d'analyse du métabolisme urbain dans la planification urbaine. Elle s'associe à la pluridisciplinarité de la recherche sur ce thème d'un point de vue urbanistique. Enfin, notre recherche fait suite à notre réflexion entamée dans le cadre du magister relative à l'intégration de l'environnement dans la planification urbaine.

1.2 Contexte de la recherche

Notre thème de recherche ne répond pas seulement à des questionnements théoriques d'ordre général ; notre recherche s'insère dans les préoccupations actuelles et locales de l'urbanisme en l'Algérie. En effet, après les engagements pris en faveur d'un développement durable dans tous les secteurs ², l'Algérie a lancé des projets en vue d'intégrer la dimension environnementale dans la ville. Dans cette perspective, nous citons deux projets : le Plan d'Aménagement Côtier (PAC) (PNUE/PAM, 2006) de la zone côtière algéroise, et le projet de la nouvelle ville de Boughezoul.

Le PAC, initié par le Ministère d'Aménagement du Territoire et de l'Environnement (MATE) en association avec le Plan des Nations Unis pour l'Environnement (PNUE) et le plan d'Actions pour la Méditerranée (PAM), innove par la volonté de planifier la région côtière dans les limites de l'écosystème naturel selon une approche écosystémique et dans un cadre pluridisciplinaire. De même, le projet de la ville nouvelle de Boughezoul, première ville zéro carbone en Algérie, vise à créer une ville qui maîtrise ses rejets en carbone par une gestion rigoureuse de son métabolisme urbain. Ces deux projets témoignent du changement de vision dans la gestion et planification des villes en faveur de l'approche écosystémique.

Nous pensons que l'introduction, de fait, de l'approche écosystémique et de la notion du métabolisme urbain par ces deux projets place les acteurs de l'urbanisme en Algérie face au dilemme de planifier un écosystème urbain tout en maîtrisant la gestion et le contrôle de son métabolisme urbain et ce en l'absence de procédures et outils appropriés et clairement définis³. Cette situation interpelle, les acteurs de l'urbanisme (urbanistes, chercheurs et décideurs) en Algérie pour lancer une réflexion sur les modalités institutionnelles et opérationnelles de l'intégration de cette nouvelle approche. Dans ce sens, notre recherche s'insère dans cette réflexion et tente d'y participer par un apport théorique et opérationnel sur le thème.

² L'Algérie a ratifié les déclarations des sommets de la terre pour la protection et le développement durable (conférences mondiales sur le développement et l'environnement Rio 92 et Johannesburg 2002 et Istanbul 1996, Rio+20) Elle a aussi lancé l'Agenda 21 et le PNAEDD en 2002, (MATE, 2002).

³ Rappelons que les lois 90-29 et 04-05 relative à l'aménagement et l'urbanisme, et 02-08 relative aux conditions de création des villes nouvelles sont loin d'être en conformité avec les exigences de la loi 01-20 relative à l'aménagement du territoire et du développement durable dans la prise en charge des objectifs du développement durable et à l'intégration de l'environnement dans la planification urbaine

1.3 Questionnement et hypothèses

Le changement de paradigme introduit par la redéfinition de la ville en tant qu'écosystème urbain doté d'un métabolisme urbain interpelle l'urbanisme en vue de repenser sa démarche et ses outils liés à la problématique de l'environnement (Chrysoulakis et al., 2013; Dakhia and Berezowska-Azzag, 2010; González et al., 2013; Kennedy et al., 2011a; Pincetl, 2012; Pincetl et al., 2012). Notre recherche s'insère dans ce nouveau paradigme de la ville en questionnant le nouveau rôle de l'évaluation environnementale dans la planification urbaine de l'écosystème urbain. Nous pensons que dans cette nouvelle perspective, l'urbanisme doit offrir à la ville de nouveaux moyens institutionnels et opératoires pour contrôler, non seulement, ses impacts négatifs sur l'environnement naturel mais aussi pour contrôler son métabolisme urbain.

Jusqu'à présent, les outils d'évaluation environnementale disponibles ne ciblent que l'évaluation des impacts nocifs de certains projets architecturaux et urbains (André et al., 2003) ainsi que les impacts de certaines politiques sur l'environnement naturel (Wang et al., 2009a). Ces outils sont soit indépendants du processus de planification urbaine tel que les études d'impacts, soit intégrés dans le processus tels que les outils intégrés d'évaluation de la durabilité (Ness et al., 2007).

Notre position de départ est que l'évaluation des performances environnementales de la ville doit dépasser l'évaluation des impacts pour cibler l'analyse du métabolisme urbain. Cet outil d'analyse du métabolisme urbain doit être intégré dans le processus de planification urbaine selon une approche systémique afin d'appréhender l'écosystème urbain de manière holistique. Actuellement, les outils d'analyse du métabolisme urbain proviennent de diverses disciplines en dehors de l'urbanisme caractérisant l'interdisciplinarité de ce thème de recherche.

Le questionnement principal de notre recherche s'insère dans ce débat transdisciplinaire, mais du point de vue de l'urbanisme et pose la question suivante :

Comment et par quel outil intégrer l'évaluation du métabolisme urbain dans le processus de planification urbaine de l'écosystème urbain en Algérie ?

Cette question principale sous-entend les trois questions secondaires suivantes :

Qu'est-ce que l'évaluation du métabolisme urbain et quels sont les changements induits par son intégration à la planification urbaine environnementale, que ce soit dans le monde ou dans le cas particulier de l'Algérie?

Notre hypothèse de départ prend assise sur le changement de paradigme et suggère que l'évaluation environnementale d'un écosystème urbain ne peut être étudiée que selon l'approche écosystémique et par des outils d'analyse du métabolisme urbain. Cette hypothèse nous guide vers l'exploration du cadre conceptuel et interdisciplinaire des outils d'analyse du métabolisme urbain pour comprendre la nature des enjeux environnementaux urbains pris en charge par ces outils et la nature de l'approche écosystémique suivie.

De plus, et partant du constat induit par nos lectures et recherches antérieures, nous supposons que la planification urbaine environnementale, en vigueur en Algérie, n'est pas équipée pour intégrer l'approche écosystémique alors que les projets en cours affichent, au contraire, des objectifs dans le sens de cette intégration.

Quelles sont les raisons de la difficulté à intégrer ces outils d'évaluation du métabolisme urbain dans la planification urbaine ? et comment y remédier ?

Cette question sollicite une réponse qui vise à identifier les carences de l'approche écosystémique et des outils d'analyse du métabolisme urbain dans leur intégration à la planification urbaine environnementale. Pour cela, nous supposons que la raison principale concerne l'origine de ces outils issus de disciplines différentes de l'urbanisme et qui favorisent seulement l'analyse et l'évaluation du métabolisme urbain, alors que le champ de la planification urbaine environnementale est orienté, en plus de l'évaluation, vers la prise d'actions de planification et de contrôle urbains. Nous pensons ainsi, que la carence se situe dans l'absence de la prise en charge de la capacité de contrôle du métabolisme urbain après l'avoir évalué.

Quel est l'outil manquant et nécessaire pour l'intégration des outils d'évaluation du métabolisme urbain dans le processus de planification de l'écosystème urbain en Algérie?

Cette question finale vise à proposer une solution à la carence constatée par la proposition d'un outil complémentaire. Nous considérons que pour adopter une démarche écosystémique et intégrer l'outil d'analyse du métabolisme urbain, le cadre de cette approche doit dépasser le

stade de l'évaluation pour atteindre celui de la décision et du contrôle. Ainsi pour notre dernière hypothèse, nous supposons que l'outil manquant devra compléter l'outil d'évaluation des flux du métabolisme urbain qu'est l'empreinte écologique (EE) par l'évaluation de la propriété de son contrôle et proposer un cadre d'intégration de ces outils dans le processus de planification urbaine d'un écosystème urbain.

1.4 Objectifs

Notre problématique principale questionne les modalités d'intégration de l'évaluation du métabolisme urbain dans le processus de la planification urbaine. Pour répondre à cette problématique, et en se basant sur nos hypothèses, notre recherche vise, en plus d'un apport théorique sur le thème, à proposer un outil qui permette l'intégration de l'EE dans le processus de la planification urbaine.

Ainsi notre objectif peut être résumé en deux points :

- Sur le plan théorique : par notre participation à la réflexion sur ce thème, nous tentons d'enrichir les connaissances dans ce domaine en Algérie en vue d'aider à la compréhension du rôle de l'approche écosystémique et de l'analyse du métabolisme urbain dans la prise en charge des enjeux environnementaux urbains. Nous espérons que la synthèse des théories traitant de l'approche écosystémique vis-à-vis de l'urbanisme que nous présentons aidera à la compréhension de ce thème. Par la même, nous visons à introduire et vulgariser l'outil d'analyse du métabolisme urbain en vue de son application future en Algérie. Nous espérons que cet apport soit utile à l'ensemble des acteurs de l'urbain, y compris chercheurs et étudiants, confrontés à ce changement de paradigme qui redéfinit la ville et l'environnement.
- Sur le plan pratique : notre recherche vise à proposer un outil stratégique pour l'évaluation et le contrôle du métabolisme urbain que nous nommons « L'Empreinte Eco-Institutionnelle Urbaine» (EEIU). Cet outil intègre l'Empreinte Ecologique (EE) comme outil d'évaluation des flux du métabolisme et le nouvel outil que nous proposons : l'Empreinte Institutionnelle (EI) comme outil dédié à l'évaluation du contrôle du métabolisme urbain. Nous pensons que l'EEIU, une fois, intégrée dans le processus de planification de l'écosystème urbain comblerait le vide existant entre l'évaluation du métabolisme urbain d'une part et son contrôle et planification, d'autre part.

Nous sommes conscients des limites de notre recherche qui est confrontée à la difficulté de proposer un outil qui aspire à être opératoire sans pouvoir vérifier la justesse de son implémentation sur un cas d'étude en Algérie. Actuellement et en l'absence de recherches

abouties sur l'application de l'EE en Algérie, l'application réelle sur cas d'étude n'est pas envisageable et seule une simulation de l'application de l'outil est proposée pour valider nos hypothèses.

Nous considérons que notre travail constitue une introduction et une contribution préliminaire et nécessaire à la recherche de solutions pour l'intégration de l'analyse du métabolisme urbain dans la planification urbaine en Algérie. Rappelons que de par le monde, les recherches en cours dans ce domaine se font dans des laboratoires spécialisés et pluridisciplinaires, dans le cadre de programmes financés par des organismes publics nationaux ou régionaux (Chrysoulakis et al., 2013; González et al., 2013; Pinho et al., 2012). Dans cette optique, nous espérons, que dans le future, notre travail sera développé et complété par une équipe pluridisciplinaire dans le cadre d'un programme de recherche national.

1.5 Cadre méthodologique et conceptuel

Le choix du cadre méthodologique nécessite de se situer par rapport à une méthode de recherche qui intègre plusieurs approches et outils, mais pas seulement. Construire son cadre méthodologique, lorsqu'on étudie l'environnement dans une perspective communément admise de développement durable, nous intègre ipso-facto à un mode de pensée et à une prise de position théorique. Voilà pourquoi nous pensons qu'il est nécessaire d'aborder dans cette section les différents paradigmes qui s'intègrent dans le champ de la durabilité et préciser par la même, notre propre position dans cette recherche.

1.5.1 Les paradigmes

Il est important de situer la réflexion qui a donné naissance à la pensée environnementaliste par rapport aux courants de pensées idéologiques et philosophiques. La classification de Leitmann distingue plusieurs paradigmes qui donnent la primauté soit à l'homme, soit à la nature, ou bien recherche un équilibre (Leitmann, 1999).

a) Le paradigme de développement anthropocentrique :

Cette vision est la plus répandue actuellement, elle considère la relation ville/environnement d'un point de vue sectoriel. Même si on recherche confort et qualité environnementale, l'enjeu le plus important reste la recherche d'une relation gagnant/gagnant entre les exigences de la croissance économique et la protection de l'environnement naturel. Les enjeux environnementaux pour la ville sont souvent axés sur l'hygiène et la réduction de la pollution

qui a un impact sur la santé de la population. La planification environnementale intègre les études d'impacts sur l'environnement.

Une vision dite modérément anthropocentrique intègre en plus, la gestion des ressources : ce paradigme prône la conservation des ressources et la réduction des déchets. Les villes doivent réduire leur empreinte écologique et veiller à maîtriser leur croissance ; elles sont densifiées et compactes. Elles doivent être durables, respecter l'environnement et assurer à leurs habitants, y compris les plus démunis, un abri décent et un accès aux services urbains et sanitaires. Seul le développement durable peut veiller à donner une croissance économique viable.

b) Le paradigme écodéveloppement

Le paradigme écodéveloppement a une vision éco-centrique ; il prône le retour à la nature. On y retrouve la protection de l'environnement par la gestion des ressources associées à l'intégration de la nature dans les villes. En plus des parcs et jardins urbains, cette vision plaide pour l'intégration de l'agriculture urbaine. Rechercher, en même temps, le développement de l'homme et la protection de la nature. Veiller à minimiser le stress et les impacts du développement humain sur la nature, localement et à une échelle globale.

c) Le paradigme « deep ecology »

Cette vision dépasse l'éco-centrique, elle est bio-centrique. Homme et être vivants ont tous le même droit à la vie. Les adeptes de cette vision tirent la sonnette d'alarme sur la destruction des écosystèmes naturels causés par le développement humain et la société de consommation, devenue universelle. La ville est perçue comme la source de tous les maux, et de ce fait doit disparaître. On préfère les villages, qui ont un faible impact sur l'environnement et peuvent adopter un style de vie et de consommation proche de l'autarcie.

Une autre classification est présentée par McDonald (McDonald and Patterson, 2007) qui reconnaît deux grands paradigmes : The « Human Exemptionalism Paradigm (HEP) » et le « New Ecological Paradigm (NEP) », que nous présentons ci-après :

d) Le paradigme de l'expensionnalisme humain (the « Human Exemptionalism Paradigm (HEP) »)

On retrouve autour de ce paradigme les grandes disciplines « classiques »: sociologie urbaine, écologie urbaine (sociologique), géographie urbaine et l'économie urbaine. Ici, on ne

reconnait pas de rôle prépondérant à la nature. La vision est en faveur du développement et de la croissance continue et se base sur la partie prise envers la suprématie de l'Homme et de son intelligence capable de trouver des solutions ingénieuses aux problèmes environnementaux soulevés.

e) Le nouveau paradigme écologique « New Ecological Paradigm (NEP) »

Il est caractérisé par la nouvelle conception de la ville comme écosystème urbain doté de métabolisme urbain. Les recherches ciblent l'évaluation de la dynamique des flux de matières et d'énergies de la ville. Nous y retrouvons un nouveau champ de recherche en construction autour des disciplines de la nouvelle écologie urbaine et l'écologie industrielle.

f) Le paradigme de khilafa fi al-Arth الخلافة في الأرض

Devant les paradigmes et positions issues de la civilisation occidentale moderne et séculaire, il est intéressant de rappeler la vision de l'Islam quant à la protection de l'environnement. La vision n'est ni anthropocentrique, ni éco-centrique, elle est théocentrique. Ici, la protection de l'environnement (respect de la nature et de tous les êtres vivants) obéit à la sacralité de la création de Dieu. Dans la tradition musulmane, l'Homme est le vis-gérant (khalif خليفة) de Dieu sur terre. C'est à lui qu'incombe l'obligation du respect des limites instaurées par les lois divines. La destruction de la nature : déforestation, massacre des animaux, gaspillage, surconsommation, sont à proscrire par respect aux lois divines sur terre caractérisées par l'équilibre et la justice (mizan ميزان, housban حسيبان) (Nasr, 1968).

Ainsi, dans notre recherche, bien que très sensible et assez convaincu des principes de la deep-ecology, nous situons notre recherche dans le nouveau paradigme écologique (NEP) qui conçoit la ville en tant qu'écosystème urbain et dont le fonctionnement est métaphoriquement comparée à un métabolisme urbain. De plus, ce paradigme fait écho à celui de la vis-gérance sur terre de la « khilafa fi ElArth ». Nous considérons la recherche de l'équilibre du métabolisme urbain comme une réponse à la nécessité de respecter l'ordre, l'équilibre et la justice dans la création divine, qui est la mission de tout musulman qui a conscience d'être le khalif d'Allah sur terre.

1.5.2 Les frontières méthodologiques de notre recherche

Si faire de la recherche c'est « *explorer une frontière* »⁴, alors notre recherche vise à explorer la frontière qui sépare et unie les disciplines qui étudient la relation ville et environnement selon la perspective de l'urbanisme, mais le long des frontières de différentes disciplines telles que : l'écologie urbaine, l'écologie industrielle, l'économie environnementale ou la politique environnementale. Cette particularité de notre thème de recherche nous a mis devant la difficulté de construire un cadre méthodologique qui s'adapte à cette pluridisciplinarité. Ce cadre doit offrir les outils adéquats pour la validation de nos hypothèses. Il doit nous permettre d'analyser l'évaluation du métabolisme urbain vis-à-vis de la planification urbaine pour faire ressortir les problèmes tout en nous permettant de proposer l'outil complémentaire et indispensable pour l'intégration dans la planification urbaine.

Ainsi, pour répondre à notre problématique et valider nos hypothèses, nous avons construit un cadre méthodologique qui associe en plus de l'analyse bibliographique, l'approche systémique et l'analyse multicritère. L'analyse bibliographique nous a permis de dresser un état de l'art, non exhaustif, nécessaire à la compréhension de l'objet de recherche et pour identifier le changement de paradigme ses origines et ses conséquences sur l'urbanisme. L'approche systémique, nous a permis de modéliser l'objet de recherche : le métabolisme urbain selon un modèle de système complexe afin de l'étudier et d'analyser les modalités de son évaluation et de déceler les entraves à son intégration dans la planification urbaine. Enfin, l'analyse multicritère nous a permis de construire l'outil d'évaluation que nous proposons.

Précisons que dans cette section de l'introduction, nous ne présentons que les grandes lignes de notre cadre méthodologique (Figure 1). La modélisation du métabolisme urbain, qui nous est propre, ne peut être expliquée en totalité au début de ce manuscrit. Nous dédions donc le troisième chapitre à la modélisation finale de l'objet de recherche à la suite de l'introduction du nouveau paradigme et de ses caractéristiques.

⁴ Secchi in (Yannis Tsiomis dir., 2008)

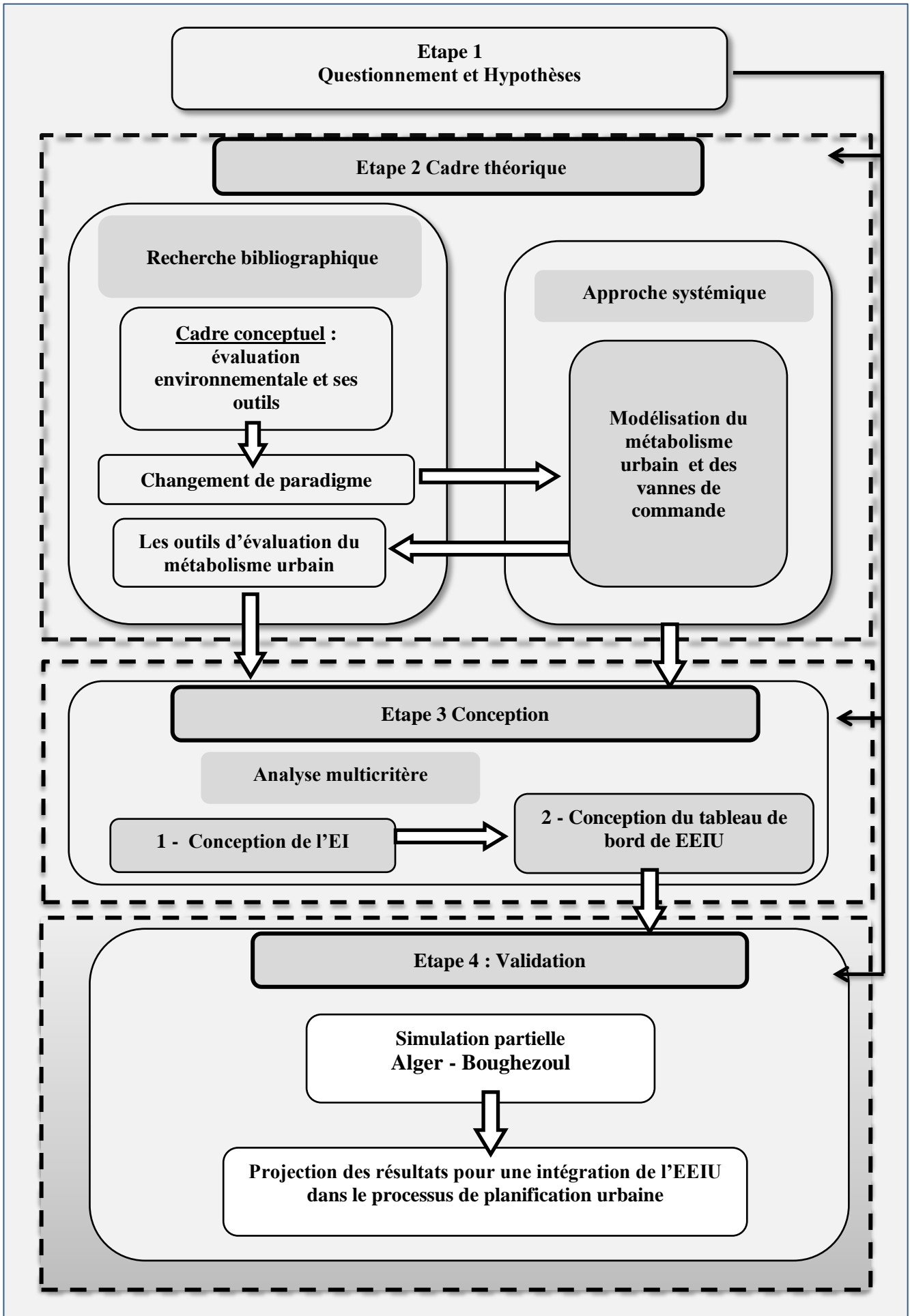


Figure 1: Méthodologie de la recherche

1.5.3 Approche systémique

Nous avons opté pour la théorie des systèmes complexes pour appréhender la complexité de l'écosystème urbain et de son métabolisme urbain qui, sans représentation, restent des concepts flous et étrangers à l'urbanisme. Grâce à la systémique, nous pouvons intégrer les dimensions de l'environnement naturel et de l'urbain dans une vision holistique loin de la vision sectorielle réductrice. Cette vision holistique conçoit l'environnement comme un système dont les éléments sont en interactions et qui représente « *un ensemble plus complet que la somme de ses parties* »⁵. Dans ce sens, la méthode systémique est bien appropriée car elle aide à l'organisation des connaissances autour de la totalité du système afin de comprendre sa dynamique et son fonctionnement et d'étudier les modalités de son évaluation et de son contrôle.

Pour notre recherche, nous nous basons sur l'étude du comportement dynamique des systèmes complexes (De Rosnay, 1975). Cette méthode comporte trois étapes :

1. **L'analyse** : elle définit les limites du système ainsi que sa structure (les éléments composants), flux, sources, puits et délais, sa dynamique et ses liaisons et interactions.
2. **La modélisation** : elle construit un modèle sous la forme d'un schéma qui résume les relations causales (causalité circulaire) pour étudier le comportement, dans le temps, du système. Le but final de cette modélisation est souvent de créer un langage de programmation.
3. **La simulation** : on étudie le comportement du système dans le temps.

Il apparaît que cette méthode vise seulement l'étude du comportement d'un système complexe en vue de simuler son comportement dans le temps. En somme, cette méthode ne vise qu'à décrire le système alors que, notre recherche poursuit le but non seulement de décrire pour comprendre mais surtout pour réfléchir à un problème et proposer une solution.

Voilà pourquoi nous avons modifié cette démarche en accord avec notre problématique. Nous avons adapté les étapes de cette démarche pour pouvoir analyser la structure et fonction du modèle du métabolisme urbain, modéliser sa dynamique pour déceler les problèmes qui

⁵ "The whole is greater than the sum of the parts", Ravetz, J., "City region 2020, integrated planning for sustainable environment", Earthscan, UK, 2000, 2001, p. 5

empêchent son intégration à la planification urbaine, enfin, proposer un outil complémentaire qui sera simulé afin de valider nos hypothèses en vue de vérifier sa faisabilité. Les étapes sont comme suit :

1. **L'analyse de l'écosystème urbain et de son métabolisme urbain** : L'analyse théorique de l'écosystème urbain et du métabolisme urbain a pour but de modéliser notre objet de recherche afin de créer un cadre conceptuel qui va guider notre recherche. L'analyse sert à définir les limites du système métabolisme urbain ainsi que sa structure ses sources et puits, sa dynamique de flux et feedbacks ainsi que ses vannes de régulation.
2. **La modélisation du métabolisme urbain** : nous utilisons ici les données de l'analyse pour construire un modèle afin d'étudier sa dynamique : le comportement des flux et des vannes. Le but final de cette modélisation est d'identifier le problème pour proposer une solution. La modélisation s'est faite à deux niveaux (voir chapitre 3).
 - a. Nous proposons, en premier lieu, un modèle systémique du métabolisme urbain (structure et dynamique). Il sert à guider notre recherche de l'évaluation des flux vers celle du contrôle du métabolisme urbain.
 - b. Puis, nous proposons un deuxième modèle systémique du centre de commande et de contrôle (vannes et feedback) du métabolisme urbain. Il sert à guider la proposition et la conception d'un nouvel outil, objet de notre contribution.
3. **Proposition d'un outil d'évaluation et de contrôle** : pour la proposition de l'outil, nous nous basons sur le modèle du centre de commande et de contrôle du métabolisme urbain que nous avons conçu. Nous proposons, à l'aide de l'analyse multicritère, un outil complémentaire à l'EE : l'Empreinte Institutionnelle (EI) (voir chapitre 5). Ces deux outils complémentaires sont intégrés, par la suite, dans un tableau de bord: l'Empreinte Eco-institutionnelle Urbaine (EEIU) qui est un cadre stratégique d'évaluation et de contrôle (voir chapitre 6).
4. **La simulation** : La simulation ici, concerne l'essai d'application de l'outil stratégique proposé : le tableau de bord et son intégration dans le processus de planification urbaine en Algérie. Notre but étant de vérifier nos hypothèses et prouver la faisabilité

de notre proposition (voir chapitre 6). L'outil proposé (tableau de bord) sur Excel⁶ pourrait constituer une base pour une recherche ultérieure de programmation et simulation par logiciel informatique.

1.5.3.1 *Système complexe*

Nous comprenons par système un « *...ensemble d'éléments en interaction dynamique, organisé en fonction d'un but* » (De Rosnay, 1975). Un système est complexe lorsqu'il est composé d'éléments en interactions qui représentent à leur échelle d'autres systèmes ou sous-systèmes et qui sont en interaction complexe et non linéaire. Ainsi, l'écosystème urbain est un système complexe et dynamique composé des sous-systèmes bâti, naturel, humain (socio-culturel) en interaction. Enfin, le système complexe est organisé dans un but précis, celui de maintenir un équilibre.

Le système est défini par sa structure qui détermine son organisation dans l'espace et sa fonction qui représente le processus d'échange.

Sa structure est composée de :

- Limite : qui définit le périmètre du système.
- Éléments : qui sont les composants du système.
- Réservoirs (sources et puits) : qui sont le lieu de stockage des éléments soumis aux échanges.
- Réseau de communication : qui achemine les éléments soumis aux échanges.

La fonction est composée de :

- Flux : éléments qui circulent entre les réservoirs (énergies, matières, information...)
- Vannes : les leviers qui assurent le contrôle des niveaux des stocks et du débit des flux.
- Boucle d'information (feedback) ou boucle de rétroaction. Elle renseigne les vannes sur le niveau des flux et des réservoirs. Elle guide le mouvement des flux
- Délais : c'est le temps de réponse du système au changement d'état. Il est défini en fonction du débit des flux, du stockage et des éléments échangés.

⁶ Logiciel Microsoft Excel 2010

Ainsi les systèmes complexes sont des systèmes dynamiques qui sont en perpétuel mouvement. La dynamique est représentée par le mouvement ou cycle des flux (de matières, d'énergies ou d'informations) qui vont vers ou des réservoirs et par le mécanisme de contrôle des vannes. Dans le but d'atteindre l'équilibre, le débit des flux ainsi que le niveau des réservoirs sont régulés par des vannes suivant le sens des boucles d'information (Figure 2). En résumé, la dynamique des systèmes complexes est fonction du flux, des réservoirs, ainsi que du contrôle des vannes et du feedback.

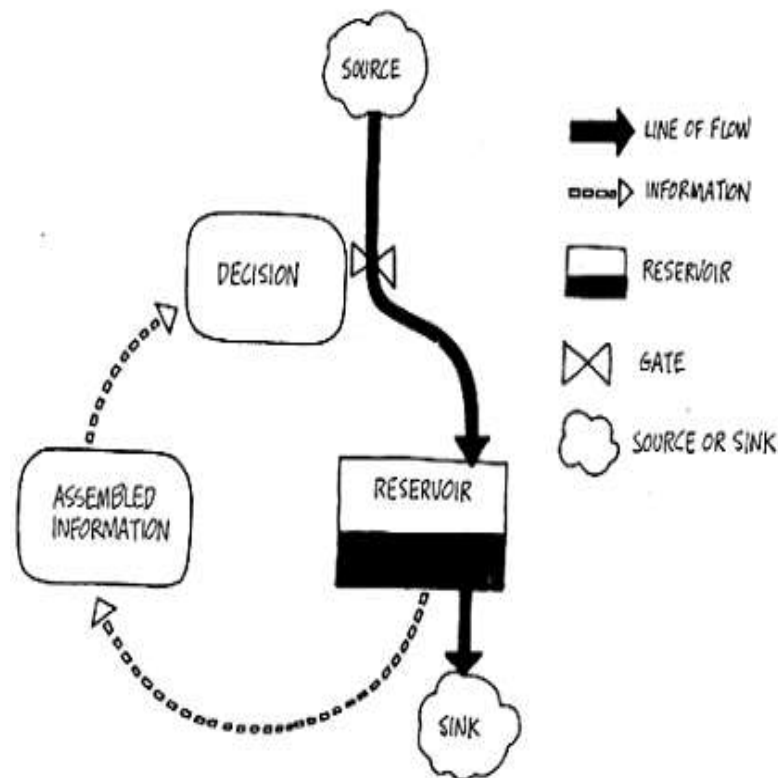


Figure 2: Schéma représentant la dynamique d'un système complexe (DeRosnay, 1975)

Le but des systèmes complexes est la recherche de l'équilibre. Le niveau d'équilibre recherché est un état stationnaire du niveau des réservoirs (Figure 3). L'équilibre est maintenu tout en alimentant le système grâce aux vannes qui contrôlent le débit des flux. Cet équilibre ne peut être atteint sans l'information nécessaire qui nous renseigne sur le niveau des réservoirs et sur le type d'action à prendre par les vannes : libérer plus le mouvement (feedback positif) ou au contraire le réduire (feedback négatif). Le feedback ou boucle de rétroaction représente donc l'information qui guide la prise de décision qui agit sur les vannes. Le feedback est dit positif si le contrôle est nul et laisse la dynamique aller dans le sens du mouvement actuel menant le système soit vers une expansion infinie ou un blocage total : le

chaos. Le feedback est dit négatif lorsque le contrôle est actionné de manière à stabiliser le système en freinant son mouvement actuel.

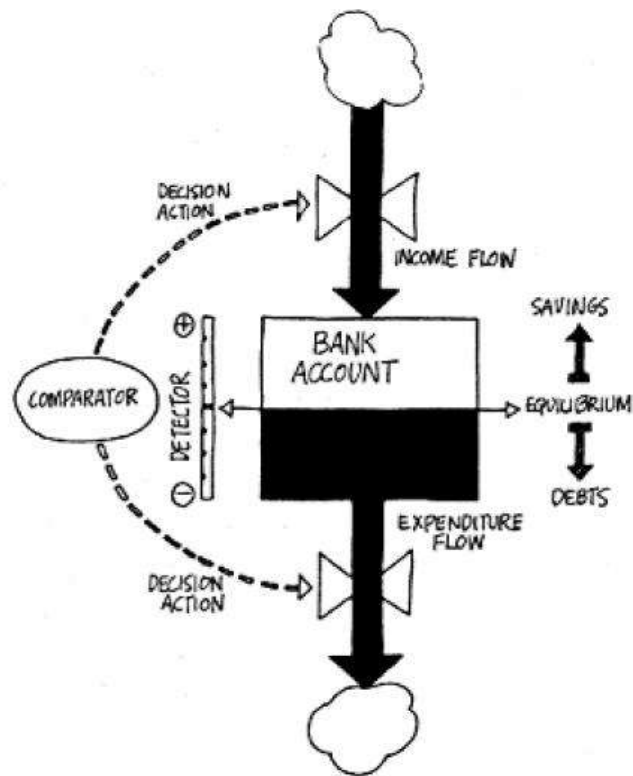


Figure 3: Schéma représentant le mécanisme de régulation d'un système complexe, cas de la dynamique d'un budget (De Rosnay, 1975)

1.5.3.2 *Ecosystème urbain*

En faisant l'analogie des propriétés des systèmes complexes avec ceux de l'écosystème urbain nous pouvons dire que l'écosystème urbain est un système complexe composé du sous-système urbain et du sous-système environnement naturel, que sa limite englobe ces deux sous-systèmes ainsi que le cycle de ses flux. La dynamique de l'écosystème urbain est composée du cycle des flux qui puise les ressources naturelles des stocks des sources pour les acheminer vers le sous-système urbain. Après transformation dans le sous-système urbain, le flux est rejeté vers les puits de l'environnement naturel selon le schéma suivant (Figure 4).

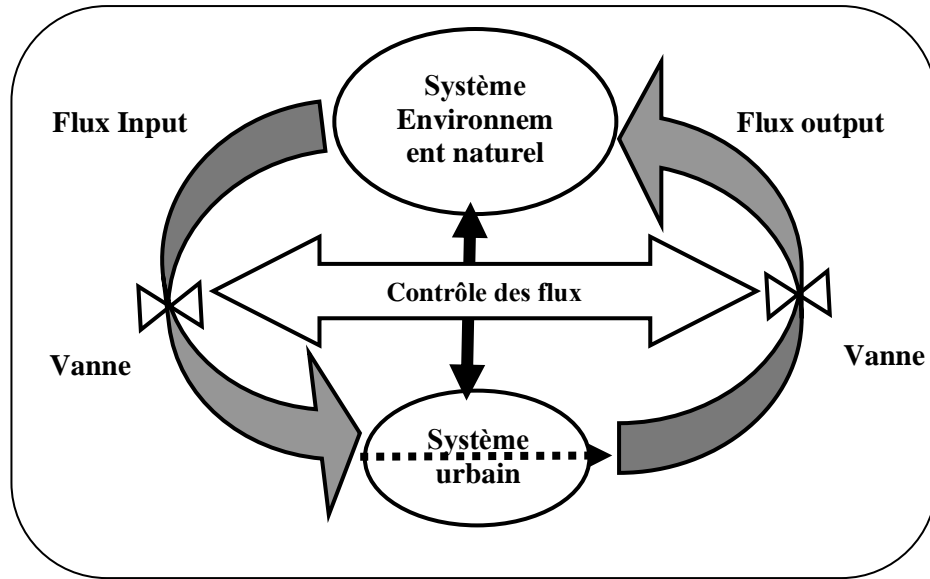


Figure 4: Schéma d'un modèle systémique de l'écosystème urbain (modifié de : Dakhia, Azzag,

De cette première modélisation de l'écosystème urbain nous pouvons conclure que la fonction ou la dynamique de ce système complexe représente ce que nous appelons le métabolisme urbain. De là, nous pouvons dire que pour la survie de l'écosystème urbain, le métabolisme urbain, qui représente la dynamique de l'écosystème urbain, doit poursuivre le but de l'équilibre entre les limites des réservoirs des ressources et celui des puits de l'environnement naturel. Cet équilibre est atteint grâce à l'action des vannes de contrôle suivant le feedback qui évalue l'information sur les niveaux des flux en comparaison avec celle des niveaux des réservoirs : sources et puits.

Ainsi, la recherche de l'équilibre du métabolisme urbain nécessite non seulement l'évaluation du débit de ces flux et du niveau de ses stocks et puits mais aussi et surtout une action de régulation par les vannes. Nous pouvons conclure ici qu'en plus de l'évaluation du cycle de flux, l'évaluation de la propriété de régulation des vannes s'impose à toute recherche d'équilibre du métabolisme urbain. Cette conclusion dirige notre recherche vers l'exploration du thème de l'évaluation environnementale en se basant non seulement sur l'évaluation des flux, mais aussi sur l'évaluation du contrôle du métabolisme urbain.

Ainsi, notre recherche théorique, en plus de l'exploration des concepts clés de notre thème de recherche, a été axée vers les outils d'évaluation du cycle de flux d'un métabolisme urbain et leur intégration à la planification urbaine ainsi que vers les outils d'évaluation de la propriété de régulation des flux et leur intégration à la planification urbaine. Le but étant de vérifier que

la propriété de régulation du métabolisme urbain nécessite d'être évaluée par un nouvel outil complémentaire aux outils existants d'évaluation des flux du métabolisme urbain.

Notons que pour la construction de ce nouvel outil, nous avons conçu un deuxième modèle systémique qui nous a aidés à comprendre la structure et fonction du système du centre de contrôle du métabolisme urbain (Figure 5). Ce modèle a guidé notre réflexion vers l'approche de l'analyse multicritère pour proposer notre outil d'évaluation et de contrôle du métabolisme urbain qui est notre contribution.

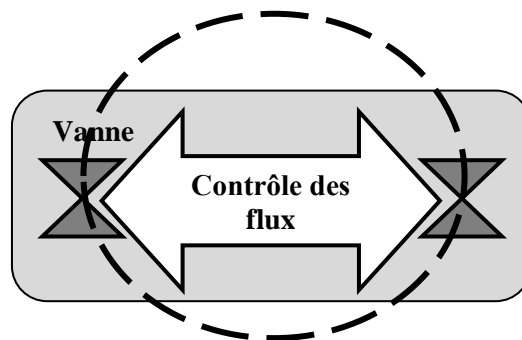


Figure 5: Modèle primaire du centre de contrôle du métabolisme urbain

Nous présentons les deux modèles systémiques du métabolisme urbain et de son centre de contrôle en détail dans le chapitre 3.

1.5.4 Analyse multicritère

Après avoir vérifié la nécessité d'un nouvel outil pour évaluer la fonction de contrôle du métabolisme urbain, nous avons opté pour l'analyse multicritère pour la construction de notre outil d'évaluation et de contrôle. Le choix de la méthode d'analyse multicritère est dicté par le besoin de construire un ensemble d'indicateurs dans un outil d'évaluation qui guidera la décision du contrôle selon un feedback positif ou négatif.

L'analyse multicritère est recommandée dans la prise de décision complexe qui fait intervenir une multitude de décideurs (les intervenants) et de leurs différents critères respectifs. La complexité de la décision implique qu'il ne peut y avoir de solution optimale (Roy and Bouyssou, 1993). Il ne s'agit donc pas de trouver la solution « juste », mais plutôt de trouver un compromis qui implique un arbitrage des choix selon un classement des critères par ordre de priorité ou d'importance convenue.

Afin de construire notre outil d'évaluation du métabolisme urbain, nous avons appliqué la démarche d'aide à la décision multicritère suivante (Roy and Bouyssou, 1993; Scharlig, 1985) :

1. Définir un modèle de la décision à prendre : quel est le problème ?
2. Dresser la liste des solutions possibles
3. Elaborer la liste des critères de choix
4. Faire l'agrégation des critères
5. Juger chacune des solutions selon les critères
6. Elaborer une matrice des solutions selon les critères
7. Agréger les jugements pour désigner la solution
8. Emettre des recommandations pour la prise de décision

Nous avons justement adapté cette démarche au cas de notre étude, comme expliqué, au chapitre cinq.

1.6 Structuration de la thèse

Nous organisons notre manuscrit en trois parties (Figure 6) :

La première partie intitulée « **Compréhension des approches d'évaluation environnementale dans la planification urbaine environnementale** » dresse un état de l'art, non exhaustif, de la littérature sur le thème de l'évaluation environnementale urbaine dans le monde et en Algérie. Elle est organisée en deux chapitres :

- Dans le **premier chapitre** dédié à l'évaluation environnementale selon la vision sectorielle, nous présentons les outils d'évaluation environnementale en vigueur tels que les outils d'études d'impacts. Nous montrons que cette planification, à travers son processus et ses outils, obéit à une vision sectorielle de l'environnement naturel. Ce chapitre, nous permet de présenter l'évaluation environnementale en vigueur en Algérie qui suit cette approche sectorielle. Nous y présentons un état des lieux de l'évaluation environnementale et abordons la planification urbaine et environnementale selon la réglementation et les outils en vigueur dans notre pays.

- Dans le **deuxième chapitre**, nous présentons l’approche stratégique de l’évaluation environnementale introduite par le développement durable et ses implications sur la planification urbaine environnementale. Nous présentons les outils d’évaluation de la durabilité qui intègrent l’environnement naturel. Puis, nous abordons le processus suivi avec les indicateurs, indices et tableaux de bords. Enfin, nous explorons un exemple d’application de cette approche en Algérie à travers le projet du PAC qui indique un début de changement vers l’évaluation de la durabilité.

La deuxième partie intitulée «**Modélisation du métabolisme urbain et identification des obstacles à son intégration dans la planification urbaine environnementale**» introduit l’évaluation du métabolisme urbain et a pour objectif de comprendre les raisons qui entravent son intégration dans la planification urbaine. La partie s’organise en deux chapitres.

- Dans le **troisième chapitre**, nous présentons le changement de paradigme introduit par l’approche écosystémique et les concepts d’écosystème urbain et de métabolisme urbain. Nous abordons les définitions et l’origine de l’approche et des concepts. Puis, nous concevons notre propre modèle du métabolisme urbain selon l’approche des systèmes complexes. Enfin, nous proposons la modélisation du Centre de Contrôle du Métabolisme Urbain (CCMU) qui va guider la proposition de l’outil dans la partie suivante. Cette modélisation nous permet, justement, de bien définir notre objet d’étude et d’orienter notre étude des outils d’évaluation du métabolisme urbain vers ses deux dimensions : l’évaluation des flux et l’évaluation du contrôle du métabolisme urbain.
- Dans le **quatrième chapitre**, nous cherchons à comprendre les raisons du malentendu entre l’évaluation du métabolisme urbain et la planification urbaine environnementale. Pour cela, nous abordons dans ce chapitre les deux dimensions de l’évaluation du métabolisme urbain. La première partie est dédiée à l’évaluation de la dynamique des flux : méthodes d’analyse et outils en vigueur. La deuxième partie, concerne l’évaluation du contrôle du métabolisme urbain où nous cherchons à déduire les mécanismes d’un hypothétique contrôle institutionnel du métabolisme urbain. Enfin, nous présentons le cas du projet de la nouvelle ville de Boughezoul comme prémices de l’intégration de l’approche écosystémique de l’évaluation du métabolisme urbain en Algérie.

La troisième partie intitulée « **Proposition d'un nouvel outil d'évaluation du métabolisme urbain intégré à la planification urbaine** » développe notre contribution qui est la proposition de l'outil de l'Empreinte Eco-Institutionnelle Urbaine (EEIU). Elle présente la méthode suivie et est composée de deux chapitres.

- **Le cinquième chapitre** présente la méthode suivie pour la conception de l'Empreinte Institutionnelle (EI), qui complète l'Empreinte Ecologique (EE) pour l'évaluation institutionnelle du contrôle du métabolisme urbain. Notre proposition se base sur le modèle systémique du Centre de Contrôle du Métabolisme Urbain (CCMU) développé au chapitre précédent. A l'aide de l'approche multicritère, nous avons construit les indicateurs, qui après agrégation et pondération nous ont donné l'indice final de l'EI.
- **Le sixième chapitre** est dédié, en premier lieu, à la conception du tableau de bord de l'Empreinte Eco-Institutionnelle Urbaine (EEIU) qui intègre les outils EE et EI dans un cadre dédié à l'évaluation et l'aide à la décision pour la planification du métabolisme urbain . En deuxième lieu, nous présentons dans ce chapitre un essai de validation de l'outil EEIU par une application partielle. Enfin, nous présentons une proposition d'intégration de l'outil dans le cadre de la planification environnementale et urbaine algérienne.

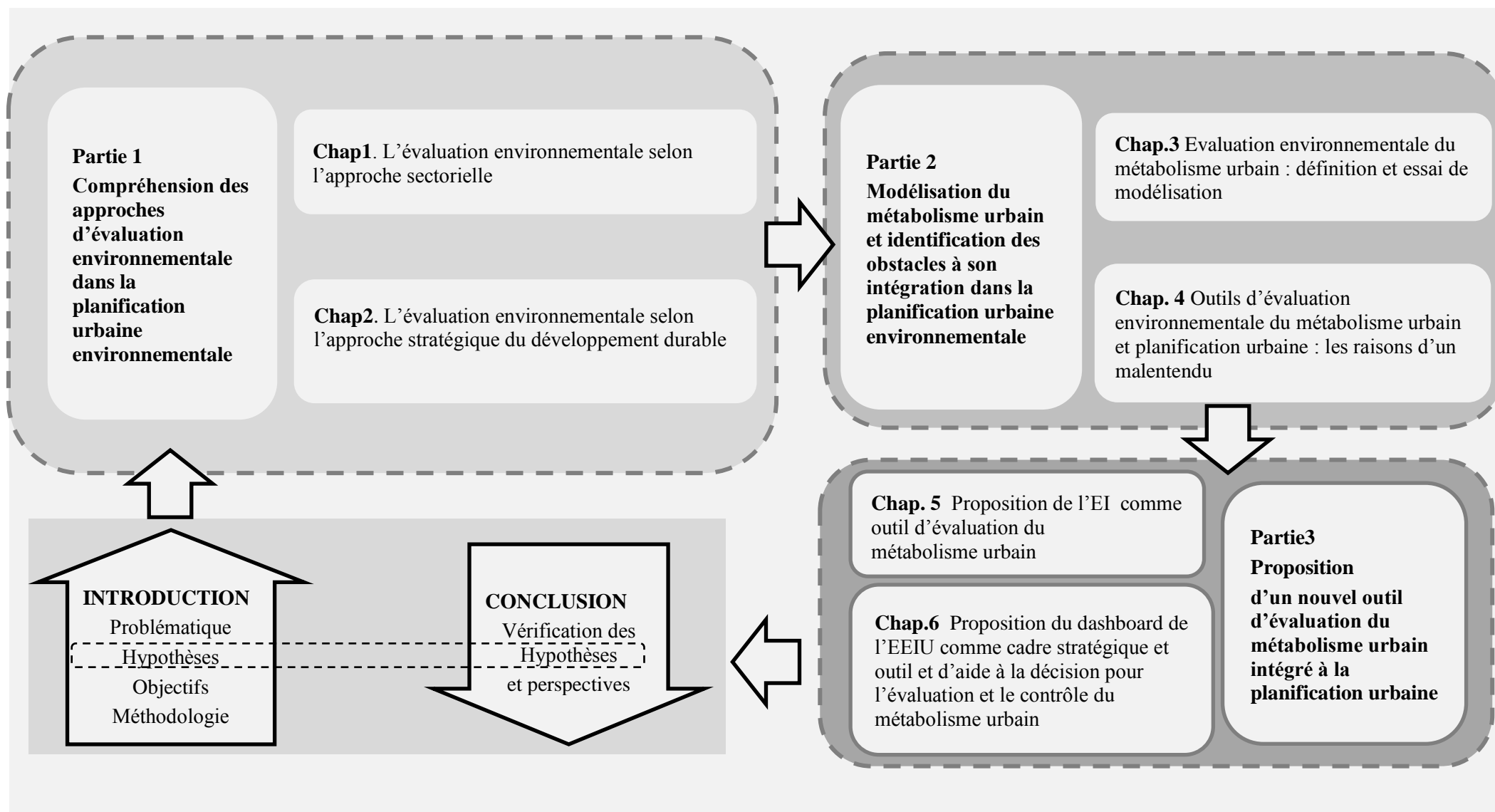


Figure 6: Structure de la thèse

PARTIE I : Compréhension des approches d'évaluation environnementale et leur intégration à la planification urbaine

Notre questionnement interroge l'intégration de l'évaluation du métabolisme urbain dans le processus de planification urbaine de l'écosystème urbain en Algérie. Suivant cette problématique, notre recherche s'appuie sur l'hypothèse que l'évaluation du métabolisme urbain intègre un changement de paradigme qui nécessite une nouvelle conception de l'évaluation environnementale et que celle-ci n'est pas prise en charge actuellement, en Algérie.

Dans ce sens, la première partie de ce manuscrit trace l'état de l'art de l'évaluation environnementale urbaine selon le paradigme actuel. Cette partie, partagée en deux chapitres, est dédiée à l'évaluation environnementale, actuellement en vigueur dans le contexte mondial et celui spécifique à l'Algérie, à sa définition, ses outils et son intégration à la planification urbaine.

Dans le premier chapitre, nous présentons l'évaluation environnementale selon l'approche réactive, qui aborde l'environnement d'un point de vue sectoriel. Nous y présentons ses outils ainsi que les modalités de son intégration à la planification urbaine. Dans le deuxième chapitre, nous présentons l'évaluation environnementale selon l'approche stratégique introduite par la vision du développement durable qui intègre l'environnement dans un système composé des trois éléments qui sont l'économique, le socio-culturel et l'environnemental. Nous abordons ainsi, les méthodes et les outils d'évaluation de la durabilité.

Chapitre 1. L'évaluation environnementale selon l'approche sectorielle

1.1 Introduction

Dans ce premier chapitre, nous introduisons d'abord et de manière générale, l'évaluation environnementale dans la planification urbaine selon le paradigme actuel par les deux approches sectorielle et stratégique. Puis, nous ciblons, en particulier, l'évaluation environnementale selon la vision sectorielle de l'environnement naturel et selon une approche réactive de la planification. Nous introduisons ses deux outils d'évaluation que sont: l'Etude d'Impact sur l'Environnement (EIE) et l'Etude Environnementale Stratégique (EES). Notre objectif est de comprendre le rôle de ces outils et les modalités de l'évaluation environnementale ainsi que les modalités de leur intégration dans la planification urbaine. Enfin, nous dressons un état de l'évaluation environnementale en vigueur en Algérie, son cadre institutionnel, ses outils et sa relation avec la planification urbaine.

1.2 Evaluation environnementale urbaine : définition et approches

La planification environnementale s'est développée dans les pays occidentaux à partir des années 60 du siècle dernier. Elle est apparue dans un contexte caractérisé par la prise de conscience envers les problèmes environnementaux et le développement des outils d'évaluation des impacts sur l'environnement. La planification urbaine environnementale est une planification qui intègre les résultats de l'évaluation environnementale dans le processus de la planification urbaine (Slocombe, 1993). Précisons qu'il est question, ici, de la planification urbaine dite rationaliste qui se base sur les plans et les procédures

techniques contrairement à la planification classique qui se base, elle, sur la forme et la composition urbaine⁷.

L'évaluation environnementale évalue l'état de l'environnement à travers les impacts des activités humaines sur celui-ci (Leitmann, 1999; Simos, 1990). Pour une définition plus précise de l'évaluation environnementale, il faudra aller au-delà de la définition générique de l'évaluation⁸ pour répondre aux questions suivantes : évaluer quoi ? À l'aide de quel outil ? Comment ? Et enfin pourquoi et par rapport à quoi ? En réponse à ces questions, nous définissons l'évaluation environnementale comme l'action de **mesurer** le niveau du phénomène environnemental étudié à l'aide d'outils ou d'**indicateurs précis**, en vue de prendre des **décisions** dans le but d'**améliorer** les résultats. Le but final étant de rapprocher les résultats de l'évaluation à des **objectifs** (prévus/prédéfinis) ou à des **normes** requises.

Ainsi, l'évaluation environnementale se définit par les attributs suivants :

- objet et objectif : le phénomène environnemental à évaluer ;
- outils d'évaluation qui intègrent des indicateurs dans un système d'information environnemental, ainsi que des normes qui fixent les valeurs limites de comparaison aux résultats obtenus ;
- modalités d'intégration de l'évaluation dans un processus d'aide à décision ; le but de l'évaluation étant d'améliorer les résultats obtenus.

Nous nous basons sur ces trois attributs de la définition pour orienter notre recherche vers les différentes approches de l'évaluation environnementale. Cette dernière a, en effet, évolué en différentes approches suivant le statut de la relation ville/environnement naturel. Leitmann (Leitmann, 1999) reconnaît deux approches : l'une est réactive et intègre des outils d'évaluation ex-post, qui interviennent après la programmation et/ou la mise en œuvre du projet ; l'autre est proactive et stratégique, elle intègre des outils d'évaluation ex-ante, qui interviennent bien avant la programmation des projets (Leitmann, 1999; Oliveira and Pinho, 2010).

⁷ Après la planification dite classique selon Geddes, la planification urbaine a été redéfinie par plusieurs théories : en anglais « rational planning, incremental planning, advocacy planning, transactive planning, negociative planning, communicative planning » (Innes, 1995) liste que nous pouvons compléter par la notion de « Just planning » (Campbell, 2006)

⁸ « Action de déterminer la valeur, le prix, l'importance de quelque chose » (Le petit Larousse, 2008)

Selon la vision sectorielle de l'environnement, l'évaluation environnementale suit une approche réactive et cible les phénomènes suivants :

1. les effets ou impact des activités ou de projets architecturaux, voire urbains, sur l'environnement naturel ;
2. les effets ou conséquences des politiques et stratégies adoptées sur l'environnement naturel.

L'évaluation environnementale réactive suit un processus de mise en œuvre indépendant de celui de la planification urbaine. Ses outils et ses indicateurs sont orientés vers l'évaluation des impacts nocifs sur l'environnement naturel de certains projets ou de certaines politiques. Les outils sont : l'étude d'impacts sur l'environnement ou les études d'impacts stratégiques environnementales que nous présentons dans ce chapitre.

Par contre, la vision holistique globale et intégrée de l'environnement naturel et de la ville favorise une approche proactive et stratégique de l'évaluation environnementale. Dans ce cas le phénomène environnemental évalué est :

1. l'état de l'environnement en général ;
2. la durabilité d'un projet (urbain) ou d'une ville.

L'évaluation ici, se fait de manière intégrée au processus de planification urbaine. L'évaluation ne cible pas seulement les effets nocifs sur l'environnement naturel d'un projet déjà programmé, mais le respect des principes d'un développement durable (voir chapitre 2).

Enfin, et au-delà de l'approche stratégique introduite par le développement durable, l'approche écosystémique de l'environnement naturel et de la ville présente une évaluation environnementale qui cible le métabolisme urbain. Cette nouvelle approche est proactive et écosystémique. Elle se base sur les contributions de la nouvelle écologie urbaine et de l'écologie industrielle (voir chapitre 3).

1.3 Evaluation environnementale selon l'approche réactive : processus et outils d'évaluation

L'évaluation environnementale selon l'approche réactive évalue les impacts des projets programmés par la ville sur son environnement naturel. Cette évaluation englobe tous les procédés de l'évaluation des effets sur l'environnement naturel induits par les activités de

l'Homme, des projets ou des politiques. Elle est définie comme étant «...*l'ensemble des études systématiques sur les impacts prévisibles directs et indirects qui peuvent résulter d'une intervention projetée où l'environnement est impliqué* » (Simos, 1990).

L'évaluation des impacts sur l'environnement a connu plusieurs phases d'évolution allant de l'étude des impacts de projets ponctuels, jusqu'à l'étude des politiques et stratégies (André et al., 2003) étudiés respectivement, par les outils de l'Etude d'Impacts sur l'Environnement (EIE) et Etude Environnementale stratégique (EES) que nous développons dans les sections suivantes.

1.3.1 L'évaluation des impacts sur l'environnement (EIE)

L'évaluation des impacts sur l'environnement cible un projet déjà programmé, allant de l'échelle architecturale à l'échelle urbaine. Elle est, actuellement, la démarche d'évaluation environnementale la plus utilisée de par le monde et aussi en Algérie.

L'étude d'impact est une procédure systématique d'évaluation de l'environnement, qui a vu le jour aux USA en 1970 avec la loi « National Environmental policy Act » (Jay et al., 2007). Depuis, d'autres pays industrialisés et en développement ont adopté cet outil tels que, la France en 1976, les pays de l'union européenne en 1985. L'Algérie, avait déjà intégré cet outil en 1983 avec la loi 83-03 relative à la protection de l'environnement⁹.

L'OCDE définit cet outil par « *une procédure qui permet d'examiner les conséquences, tant bénéfiques que néfastes, qu'un projet ou programme de développement envisagé aura sur l'environnement et de s'assurer que ces conséquences sont dûment prises en compte dans la conception du projet ou programme* ». En Algérie, et selon la loi 03-10 l'étude d'impact sur l'environnement est définie comme un outil pour la protection de l'environnement qui a pour objectif les connaissances et l'évaluation des incidences directes et ou indirectes d'un projet sur l'environnement et sur le cadre et la qualité de vie de la population. Enfin, nous pouvons dire que l'étude d'impact est considérée comme un outil de planification environnementale urbaine (C.Woo and C.E. Jones, 1997).

En général, l'étude d'impact sur l'environnement est lancée afin d'évaluer les impacts sur l'environnement d'un projet programmé. Le résultat de l'évaluation identifie les impacts

⁹ La loi 83-03 relative à la protection de l'environnement a été abrogée par la loi 03-10 du 19/07/03

nocifs directs ou indirects sur l'environnement pour recommander de revoir le projet afin d'intégrer les réformes et changements nécessaires pour minimiser les impacts identifiés. En ce sens, l'étude d'impact est aussi un outil d'aide à la décision, elle permet aux autorités chargées d'accorder ou de refuser le permis de construire ou d'exploitation. A la lumière des résultats de l'étude, l'autorité peut soit exiger l'atténuation de l'impact négatif du projet sur l'environnement, soit refuser le permis de construire si le projet de part son échelle, sa nature et sa dimension, constitue un risque pour l'environnement plus important que les bienfaits d'ordre économique apportées par ce projet.

En général, l'étude d'impact est élaborée suivant les étapes suivantes (C.Woo and C.E. Jones, 1997) :

1. Déterminer si l'étude d'impact est nécessaire (screening)
2. Décider de l'étendu de l'étude d'impact (scoping)
3. Décrire le projet et l'environnement
4. Evaluer l'importance des impacts
5. Présenter des alternatives ou des mesures d'atténuation
6. Faire une révision de l'étude d'impact
7. Faire une consultation et participation
8. Faire une synthèse des résultats de la consultation et prise de décision
9. Faire le monitoring des impacts du projet s'il est déjà construit

Les étapes 3, 4, et 5 de l'étude sont détaillées, ci-après, dans la structure suivie par l'étude d'impacts sur l'environnement selon le Manuel sur l'environnement (BMZ, 1996) :

1. Caractéristiques de la région concernée :
 - Climat et conditions météorologiques
 - Sols et eaux souterraines
 - Cycle hydrologique
 - Végétation et occupation des sols
 - Flore et faune
 - Population et habitat
 - Parties de l'écosystème à protéger

2. Pollutions et nuisances actuellement imposés à l'environnement et stabilité des écosystèmes/résistance au stress :
 - Pollution de l'air
 - Pollution et menaces de dégradation des sols et des eaux souterraines
 - Pollution et menaces de contamination des eaux superficielles
 - Bruits et vibrations
 - Pollution et menaces de dégradation de l'écosystème tout entier
 - Pollutions et menaces affectant certaines espèces (flore et faune)
 - Menaces particulières (épidémies, tremblement de terre, inondations...)
3. Description des effets négatifs à attendre du projet :
 - Description des procédés et activités du projet susceptibles de porter atteinte à l'environnement
 - Pollutions et nuisances directement causées par le projet
 - Effets indirects entraînés par le projet
4. Estimation de l'ensemble des pollutions et nuisances futures et de leurs conséquences :
 - Ensemble des pollutions et nuisances dans les différents sous-systèmes et comparaison avec leurs valeurs limites ou avec les normes de qualité en vigueur
 - Incidences des pollutions et nuisances futures sur les biens à protéger
 - Résumé et évaluation des pollutions et nuisances à attendre du projet en fonction du point 4, compte tenu s'il y a lieu de leurs contributions aux problèmes environnementaux d'importance globale.
5. Recommandations relatives à des solutions bénéfiques à l'environnement
 - Evaluation du site au regard de critères environnementaux
 - Modifications techniques de l'installation
 - Exigences en matière de sécurité et de protection de l'environnement à satisfaire par un projet du type proposé
6. Evaluation globale et recommandations
 - Les effets du projet peuvent-ils être anticipés et évalués ?
 - Comment faut-il évaluer le projet du point de vue de la protection de l'environnement?

- Est-il bénéfique pour l'environnement ?
- Sans importance,
- Acceptable, c.-à-d. tolérable moyennant d'éventuelles dispositions complémentaires,
- A rejeter parce que préjudiciable à l'environnement

Selon son contenu, l'étude d'impact est un outil composé d'indicateurs environnementaux qui évaluent la qualité des effets environnementaux évalués. Ils sont comparés aux « normes antipollution » qui s'appliquent aux éléments du système écologique suivant : atmosphère, pédosphère/lithosphère, hydrosphère, biosphère et anthroposphère. Les indicateurs concernent les catégories d'intervention (effluents, émission, déchets, pollution sonore...), et les critères de la qualité de l'environnement (qualité de l'air, qualité des eaux, qualité des sols...) (BMZ, 1996). Enfin, l'évaluation se fait par la comparaison des indicateurs aux normes en vigueur pour chaque point évalué.

Nous voyons ainsi que l'EIE est un outil d'évaluation environnementale dans son approche réactive et sectorielle. Elle est réactive parce qu'elle évalue les impacts sur l'environnement naturel d'un projet précis déjà programmé pour guider la prise de décision vers, soit le maintien du projet avec ou sans modifications à faire, soit le rejet du projet. L'approche est sectorielle parce qu'elle ne concerne que le volet environnemental du projet sans qu'il soit intégré à d'autres dimensions, qu'elles soient économique, sociale, ou surtout urbaine.

1.3.2 L'évaluation environnementale stratégique (EES)

L'évaluation des impacts sur l'environnement a connu une évolution avec l'apparition de l'évaluation environnementale stratégique connue aussi sous le terme de l'étude d'impacts stratégique (EIS). Bien que le terme désignant cet outil d'évaluation (*Strategic environmental Assessment* (SEA)) n'ait été mentionné pour la première fois qu'en 1989 par Wood and Djedoor (Partidário, 2007), l'évaluation environnementale stratégique a existé en parallèle avec l'EIA et a même été implicitement institutionnalisée en Amérique, en 1970, par la loi pour l'environnement (The National Environmental Policy Act) (Dalal-Clayton and Sadler, 1999; Gallopín, 1996). Depuis, l'outil n'a cessé d'évoluer pour des échelles et objectifs variés (Partidário, 2007). Il a aussi été adopté par de nombreux pays

occidentaux ainsi que par les organismes internationaux tels que les Nations unies et la Banque Mondiale (Partidário, 2000).

L'EES est définie comme «...un processus systématique d'évaluation des conséquences environnementales des politiques, plans et programmes proposés afin de s'assurer qu'elles soient totalement intégrées et prises en charge au tout début de l'étape de prise de décision en parallèle avec les considérations économiques et sociales¹⁰ » (Dalal-Clayton and Sadler, 1999). L'EES a été développé pour compléter les carences de l'EIE. Ainsi, au-delà de l'échelle et des objectifs de l'EIE, l'objet d'évaluation de l'EES n'est pas l'impact sur l'environnement d'un projet ponctuel à l'échelle locale, mais plutôt l'impact du cadre institutionnel d'une politique, de plans et de programmes dans leur échelle spatio-temporelle (Dalal-Clayton and Sadler, 1999; Partidário, 2000, 2007).

Ainsi, le cadre institutionnel couvert par l'EES intègre le politique, le plan et le programme, qui sont communément appelés les PPPs (Shepherd and Ortolano, 1996), selon la définition suivante : « *Le politique énonce les grands principes, le plan indique les objectifs à atteindre et le programme permet de concrétiser le tout.* » (André et al., 2003). Voilà pourquoi les EES peuvent aussi concerner un plan d'aménagement ou de développement d'une ville (Partidário, 2000).

L'élaboration de l'évaluation environnementale stratégique passe par six étapes qui sont (André et al., 2003) :

1. **Tri préliminaire** : juger, selon des critères, pour quel politique, programme ou projet, une évaluation environnementale s'avère nécessaire
2. **Cadrage** : cette étape a pour objectif de produire une directive. Elle définit les enjeux principaux recherchés par l'évaluation environnementale. Ces enjeux varient avec l'échelle considérée.
3. **Evaluation** : cette étape produit le rapport d'évaluation environnemental qui définit les activités des PPPs et leurs conséquences sur l'environnement ; évalue les impacts et les mesures à prendre pour les réduire ou les éliminer, proposer un

¹⁰ Traduction de l'auteur du texte original en anglais: "Strategic Environmental Assessment (SEA) is a systematic process for evaluating the environmental consequences of proposed policy, plan or programme initiatives in order to ensure they are fully included and appropriately addressed at the earliest appropriate stage of decision-making on par with economic and social considerations"

programme de monitoring, définir les projets issus du PPPs et qui nécessitent une étude d'impact, enfin, proposer les améliorations à apporter aux PPS.

4. **Examen** : produire un rapport d'examen des résultats
5. **Décision** : la prise de décision par l'autorité compétente
6. **Mise en œuvre** selon les exigences de l'étude

Le processus d'élaboration de l'EES décrit un outil d'évaluation réactif certes, mais qui cible une large échelle qui va du régional au national. De même, la prise en charge des PPPs sous-entend l'intégration et forcément la participation de différents acteurs dans le processus. L'évaluation environnementale stratégique peut aussi devenir un monitoring des impacts dans le temps. Enfin, l'outil fournit une aide à la prise de décision à un niveau stratégique.

1.3.3 Synthèse comparative des EIE et EES

Nous avons vu que les EIE et les EES sont des outils d'évaluation environnementale qui, même s'ils poursuivent le même objectif, diffèrent dans l'échelle et le processus suivi. En effet, l'EIE est un outil ex-post, qui suit un processus réactif limité dans le temps pour évaluer les impacts sur l'environnement d'un projet programmé. Son échelle est locale, limitée à celle du projet et seuls les intervenants concernés sont impliqués dans le processus. Les résultats de cette évaluation aident à la prise de décision dans le but de réduire les impacts négatifs du projet sur l'environnement naturel.

L'EES, par contre, suit un processus continu et cible une échelle plus grande et intègre plusieurs intervenants. C'est un outil stratégique qui évalue les impacts des politiques et programmes sur l'environnement naturel. Enfin, c'est un outil d'aide à la décision qui vise à maintenir un niveau choisi de qualité environnementale.

Nous présentons, en synthèse dans le Tableau 1 suivant, une comparaison des deux outils d'évaluation environnementale l'EIE et l'EES suivant leurs processus d'élaboration, objectif, impacts, échelle et intervenants.

Eléments	EIE	EES
Processus	Réactif à un projet préalablement proposé A un début et une fin	Processus continu qui vise à produire de l'information en temps voulu. Outil réactif, proactif dans le cas où il est associé à un processus de planification. Peut guider la proposition ultérieure de projets.
Objectifs	Evaluer les impacts sur l'environnement d'un projet spécifique avec le but de les réduire	Evaluer les effets des politiques, plans et programmes sur l'environnement. Produire un cadre dans lequel les impacts peuvent être mesurés Viser à maintenir un niveau choisi de qualité environnementale
Objet	Projets spécifiques	Zones, régions ou secteur de développement
Echelle	Perspective réduite avec un niveau élevé de détail	Perspective large avec un niveau réduit de détail pour un cadre et une image d'ensemble
Ecosystème	Micro à méso	Méso à macro
Aire d'étude	Locale ou régionale	Régionale, nationale ou plus
Impacts	Evalue les impacts directs	Evalue des impacts directs, indirects et cumulatifs et les conséquences pour un DD
Intervenants		
Nombre d'administrations concernées	Faible	Elevé
Nombre de personnes affectés	Faible	Elevé
Nombre d'organisations intéressées	Faible à moyen	Faible à élevé
Besoin de cibler les intervenants	Plus faible	Plus élevé

Tableau 1: Comparaison EIE et EES (adapté de Dalal-Clayton, Sadler 1999 et André et al. 2003)

L'EIE et l'EES sont des outils importants et complémentaires de la planification environnementale. Leurs résultats sont utiles à la prise de décision concernant les problèmes environnementaux de la ville. Et bien que leur principal défaut, soit d'être inscrit dans une vision sectorielle de l'environnement naturel qui rend difficile leur intégration dans la planification urbaine, l'EES possède, néanmoins, les atouts nécessaires qui plaident en faveur de cette intégration. Dans ce sens, nous allons explorer dans la section suivante, de nouvelles approches qui visent, justement, à intégrer l'EES dans la planification urbaine.

1.4 Intégration de l'évaluation environnementale dans la planification urbaine, cas du PEIA chinois

Contrairement à l'EIE qui cible des projets ponctuels, l'EES, de part l'objet de son étude, et de part son échelle stratégique, possède les potentialités nécessaires pour être intégrée à la planification urbaine. Sur le plan théorique, Partidario (2007) identifie deux méthodes d'élaboration de l'EES (Figure 7). D'une part la méthode classique (a) basée sur celle de l'EIE et qui implique l'évaluation des impacts des PPPs sur l'environnement naturel. D'autre part, une méthode stratégique (b) qui évalue non pas les impacts, mais les réponses des PPPs aux problèmes à résoudre et aux objectifs durables à atteindre (Partidário, 2007). Suivant la méthode (b), l'EES devient un outil stratégique d'aide à la décision qui suit une approche proactive et qui est intégrée dans un cadre de planification stratégique durable.

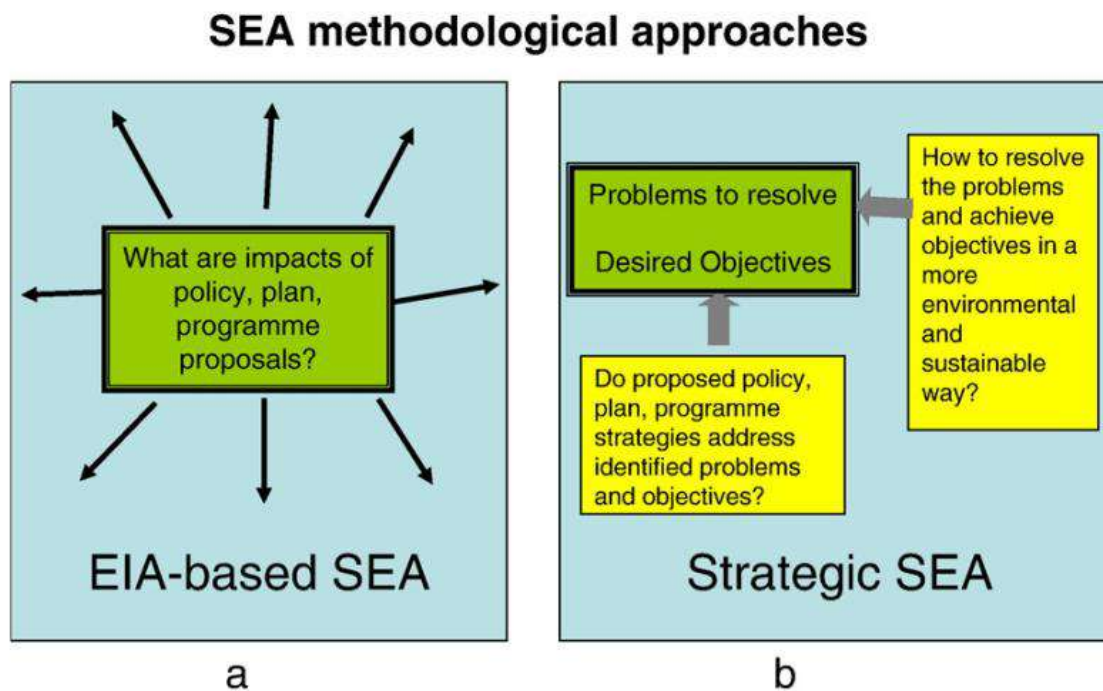


Figure 7: Approches méthodologiques de l'EES (Partidário, 2007)

Suivant cette deuxième approche (b) l'objectif de l'EES n'est pas seulement d'évaluer les impacts des PPPs sur l'environnement dans l'absolu, mais selon les objectifs et dans un cadre de planification durable bien défini. Pour illustrer nos propos, nous allons exposer un cas pratique tiré de l'expérience chinoise dans l'évaluation environnementale urbaine.

En Chine l'évaluation environnementale est intégrée dans la planification urbaine dans le cadre du Planning Environmental Impact Assessment (PEIA) (He et al., 2011; Wang et al., 2009b). Le PEIA est un outil d'évaluation d'impacts sur l'environnement dont l'objectif est similaire au SEA ie : l'évaluation des programmes et plans de développement par

rapport à leur impact sur l'environnement (Che et al., 2011). En réalité, et selon He, le PEIA chinois n'est rien d'autre qu'une EES intégrée à la planification urbaine et écologique (He et al., 2011).

Une première idée de l'intégration du PEIA à la planification urbaine implique que celle-ci soit soumise aux principes de la planification écologique et à l'évaluation de l'EES (Figure 8).



Figure 8: Intégration de l'EES à la planification urbaine et écologique (He et al., 2010)

Nous retrouvons ici l'approche proactive et stratégique proposée par Partidario (2007) où l'EES est intégré dans un cadre de planification environnementale ou écologique. Ce processus d'intégration de l'évaluation et la planification est expliqué en détail par He et al (2010) (Figure 9).

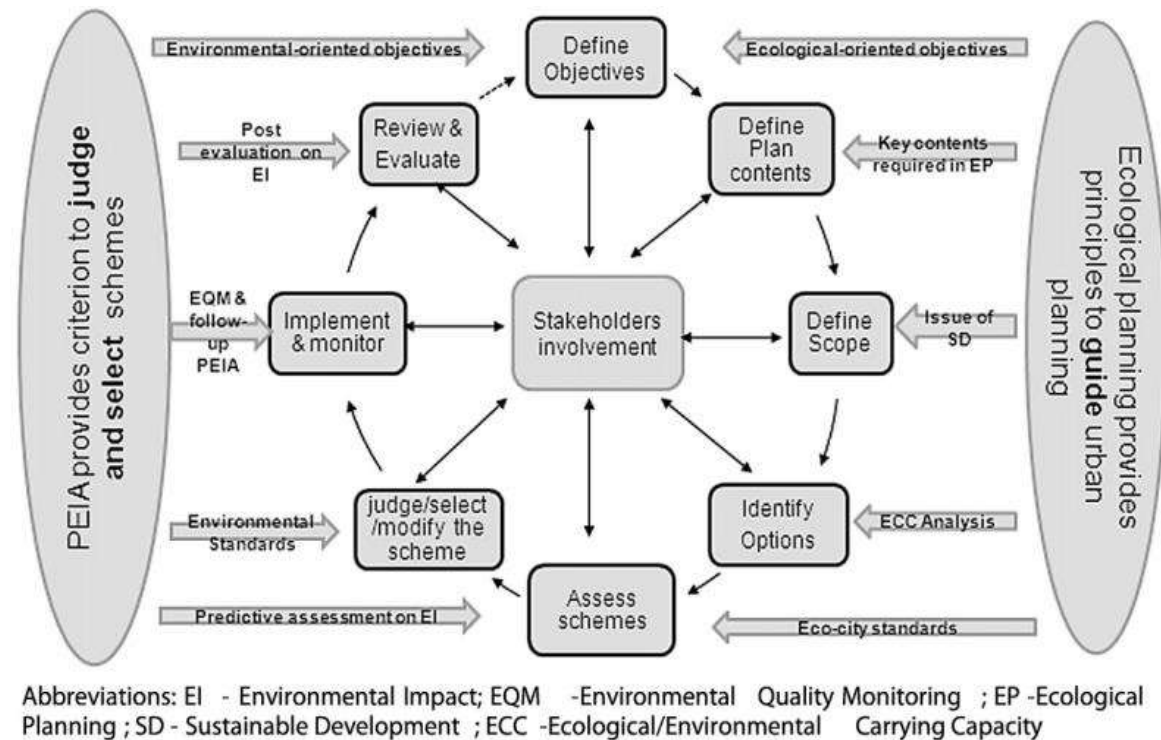


Figure 9: Cadre d'intégration des processus d'évaluation et de planification (He et all., 2010)

Ce cadre d'intégration associe la planification écologique (avec ses objectifs écologiques en fonction des limites de la capacité de charge environnementale de la ville) avec l'évaluation environnementale stratégique qui évalue les impacts tout en effectuant un monitoring de la qualité environnementale. Ce processus tourne autour des acteurs impliqués à qui il offre un outil d'aide à la décision qui est proactif et stratégique. Selon ce processus d'intégration, l'EES, ici le PEIA, devient un outil stratégique pleinement intégré au processus de planification environnementale urbaine.

Comme exemple pratique de cette intégration, nous citons le cas du Master Plan de la ville de Shenzhen 2010-2020. Le PEIA est appliqué lors du processus d'élaboration du master plan. Le but est, ici, d'adapter le développement de la ville (croissance urbaine et démographique) à la contrainte de la capacité de charge environnementale de la ville. Le processus suivi intègre le PEIA dans les trois étapes de la mise en œuvre du master plan (Figure 10).

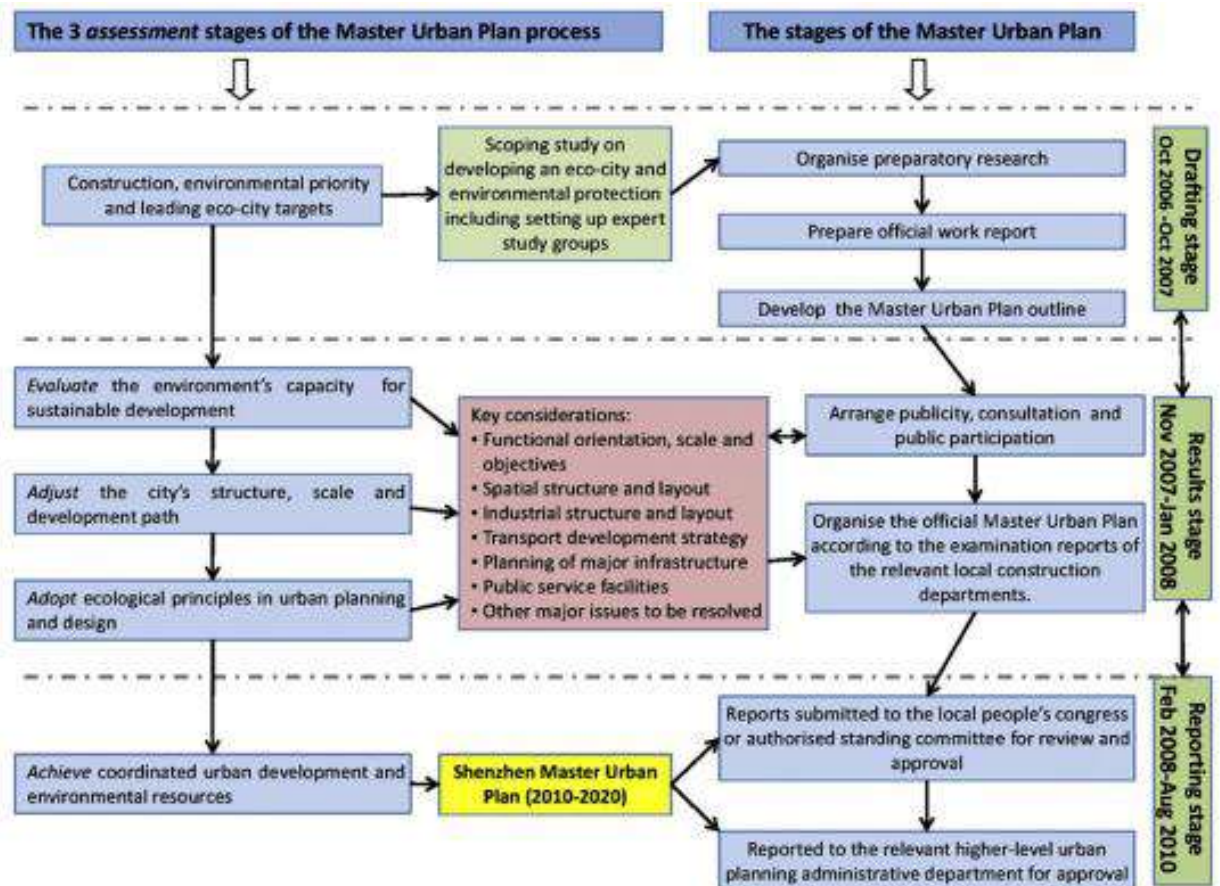


Figure 10: Organigramme décrivant le processus d'intégration de l'EES (PEIA) du Master plan de Shenzhen (Che et al., 2011)

Dans la première étape du plan préliminaire, le PEIA aide à définir les objectifs de la ville écologique (eco-city). Par la suite, ces objectifs vont guider, dans les étapes suivantes, l'évaluation des propositions du master plan pour les ajuster conformément aux objectifs définis. Enfin, le PEIA devra assurer un développement urbain et environnemental coordonné.

Pour évaluer les impacts des propositions du master plan sur l'environnement, plusieurs méthodes d'analyse qualitatives et quantitatives ont été utilisées afin de les comparer à un objectif de durabilité à atteindre. Cet objectif est représenté par un ensemble de 14 indicateurs environnementaux et des scénarios de développement en fonction de la capacité de charge et selon différentes valeurs de la population totale (Che et al., 2011).

Notons que l'élaboration de ce masterplan a dû faire face au problème de l'institutionnalisation du processus d'intégration du PEIA dans ses phases de coordination, monitoring et gestion (Che et al., 2011). Cette lacune a rendu difficile la communication

des données et décisions entre les différents secteurs de la ville concernés par le master plan ce qui nécessite des réformes en ce sens.

En conclusion, nous pouvons dire que l'EES possède les potentialités pour être intégrée dans le processus de planification urbaine. Les recherches et son application plaident pour son intégration dans un processus de planification urbaine écologique. En plus du rôle de l'évaluation, l'EES est appelée à assurer l'évaluation de tout le cadre de développement de la ville en accord avec ses limites écologiques (la capacité de charge). Soulignons enfin, la nécessité d'institutionnaliser le processus de l'intégration de l'EES à la planification urbaine et environnementale.

1.5 Evaluation environnementale en Algérie

En Algérie, l'environnement, considéré comme un thème secondaire, a toujours été associé et pris en charge par d'autres secteurs allant du Ministère de l'intérieur au Ministère de la recherche, en passant par le Ministère de l'hydraulique. Ce n'est qu'en 2001, à la veille du sommet de la terre 2 Johannesburg¹¹, que le Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement voit le jour. Depuis, l'environnement bénéficie de plans, programmes, ainsi que d'outils de gestion environnementale, notamment l'étude et notice d'impact.

Notons qu'en 2001 le MATE a lancé la charte locale pour l'environnement et le développement durable. Cette charte avait pour but d'introduire l'outil de l'agenda 21 comme outil de gestion de l'environnement dans le cadre du développement durable à l'échelle locale (MATE, 2001). Mais cette initiative n'a pas connu de suites et l'agenda 21 n'a pas été institutionnalisé pour différentes raisons (Dakhia, 2008). Ainsi, en Algérie, l'étude d'impacts sur l'environnement reste le seul outil de planification environnementale

¹¹L'environnement a été pris en charge par les institutions suivantes :

La direction de protection de la nature du Ministère de l'hydraulique en 1980

Ministère de l'intérieur et de l'environnement de 1988 à 1990

Ministère délégué à la recherche scientifique en 1990

Ministère délégué à la recherche, à la technologie et à l'environnement en 1992

Ministère de l'éducation nationale – Secrétariat d'Etat à la recherche scientifique de 1992 à 1993

Ministère délégué aux universités et à la recherche scientifique en 1993

Ministère de l'intérieur, des collectivités locales, de l'environnement et de la réforme administrative en 1994

Création du Haut Conseil de l'Environnement et du Développement Durable (HCEDD) en 1994

Création de L'inspection Générale de l'Environnement (IGE) en 1996

Création du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement en 2001

en vigueur. L'étude d'impact stratégique, quant à elle, n'a pas encore été reconnue dans la réglementation algérienne.

1.5.1 Etudes et notices d'impacts

L'étude d'impact est définie par la loi 03-10¹² comme un instrument de gestion de l'environnement. Il est défini et régi par le décret exécutif 07-145 du 19/05/07 qui détermine le champ d'application, le contenu et les modalités d'approbation des études et des notices d'impact sur l'environnement.

L'étude d'impact vise à « ...déterminer l'insertion d'un projet dans son environnement en identifiant et en évaluant les effets directs et/ ou indirects du projet, et vérifie la prise en charge des prescriptions relatives à la protection de l'environnement par le projet concerné.»¹³.

L'étude devra :

1. Identifier les effets directs et/ou indirects du projet sur l'environnement.
2. Evaluer ces effets sur l'environnement.
3. Vérifier la prise en charge par le projet des prescriptions relatives à la protection de l'environnement.

L'étude d'impact concerne des projets d'aménagement et de construction qui ont un impact important sur l'environnement allant de l'échelle de la ville à celle d'un projet architectural tels que¹⁴ :

- Projets de réalisation de villes nouvelles de plus de 100.000 habitants
- Projets d'aménagement de lotissement urbain dont la superficie est de plus de 10 ha.

¹²Loi 03-10 du 19/07/03 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable JORADP N°43.

¹³Décret exécutif 07-145 du 19/05/07 déterminant le champ d'application, le contenu et les modalités d'approbation des études et des notices d'impact sur l'environnement qui abroge l'ancien décret 90-78 relatif à l'étude d'impact.

- Projets d'aménagement et de réalisation de nouvelles zones d'activités industrielles et commerciales
- Projets d'aménagement et de construction dans les zones d'expansion touristique pour une superficie de plus de 10 ha.
- Projets de construction de complexes hôteliers de plus de 800 lits.
- Projets de construction et d'aménagement d'équipements culturels, sportifs ou de loisirs susceptibles d'accueillir plus de 5000 personnes
- ...

Les notices d'impacts, quant à elles, concernent des projets considérés comme ayant un faible impact sur l'environnement tel que les projets d'aménagement de lotissement urbain dont la superficie est de 3 à 5 ha ou certains projets architecturaux¹⁵.

Notons que la différence entre les études et notice d'impacts se situe dans l'importance du projet dans sa programmation et superficie du terrain. De plus, bien que les projets d'aménagement et de lotissement urbain soient concernés par les études d'impacts, ils sont considérés comme des projets ponctuels selon une approche sectorielle et réactive.

1.5.2 Contenu et élaboration des études et notices d'impacts

L'étude d'impact est élaborée par des bureaux d'études agréés par le Ministre chargé de l'environnement. Elle doit comporter des informations sur le projet et ses différentes phases de construction, d'exploitation et de post-exploitation, ainsi que sur la zone d'étude. L'évaluation des impacts concerne l'estimation des résidus, émissions et nuisances générées par le projet ; évaluation des impacts directs et indirects, à court, moyen et long terme ; ainsi que les effets cumulatifs sur l'environnement au cours des différents phases du projet. L'étude devra aussi renseigner sur les mesures envisagées pour réduire et/ou compenser les impacts négatifs ainsi que du plan de gestion de l'environnement censé faire le suivi de la mise en place de ces mesures¹⁶.

¹⁵ Tels que les projets de construction d'infrastructures hôtelières de 300 à 800 lits, projets de construction de centres commerciaux de 1000 à 5000 m² de surface bâtie, projets de construction de stades comprenant des tribunes fixes pour 5000 à 20.000 spectateurs...

¹⁶ Décret exécutif 07-145 du 19/05/07

En résumé, le contenu global comprend quatre grandes étapes¹⁷ :

1. Une analyse de l'état initial du site et de son environnement : richesses naturelles, espaces agricoles, forestiers, maritimes, hydrauliques, ou de loisirs affectés par les travaux aménagements ou ouvrages.
2. Une analyse des effets sur l'environnement : les sites et les paysages, la faune, la flore, les milieux naturels, et les équilibres biologiques, sur la commodité du voisinage (bruits, odeurs...) ou sur l'hygiène et la salubrité publique.
3. Les raisons pour lesquelles le projet présenté a été retenu.
4. Les mesures envisagées par le maître de l'ouvrage ou le pétitionnaire pour supprimer, réduire et compenser les conséquences dommageables du projet sur l'environnement ainsi que l'estimation des dépenses correspondantes

Jusqu'à l'étape de la décision, les études d'impact passent par trois grandes étapes : l'élaboration par le bureau d'études ; l'affichage des résultats pour l'enquête publique au niveau de la wilaya ; l'examen des résultats de l'étude d'impact ainsi que de l'enquête publique par les services du MATE. Enfin, l'étude d'impact est approuvée (ou rejetée) par le Ministre chargé de l'environnement¹⁸ et la décision est notifiée au promoteur du projet (Figure 11).

Nous retenons que l'étude d'impact est un outil de gestion de l'environnement naturel, qui dans son élaboration et adoption, n'est pas intégrée à la planification urbaine. L'EIE est conçue comme un outil indépendant de la ville. Il ne vise qu'à évaluer les impacts sur l'environnement de certains projets selon une approche réactive et sectorielle de la planification environnementale.

¹⁷ Toutefois, pour certains ouvrages, le contenu des études d'impacts peuvent être précisés par arrêtés interministériels pris par les ministères concernés.

¹⁸Notons que la notice d'impact est approuvée par le Wali.

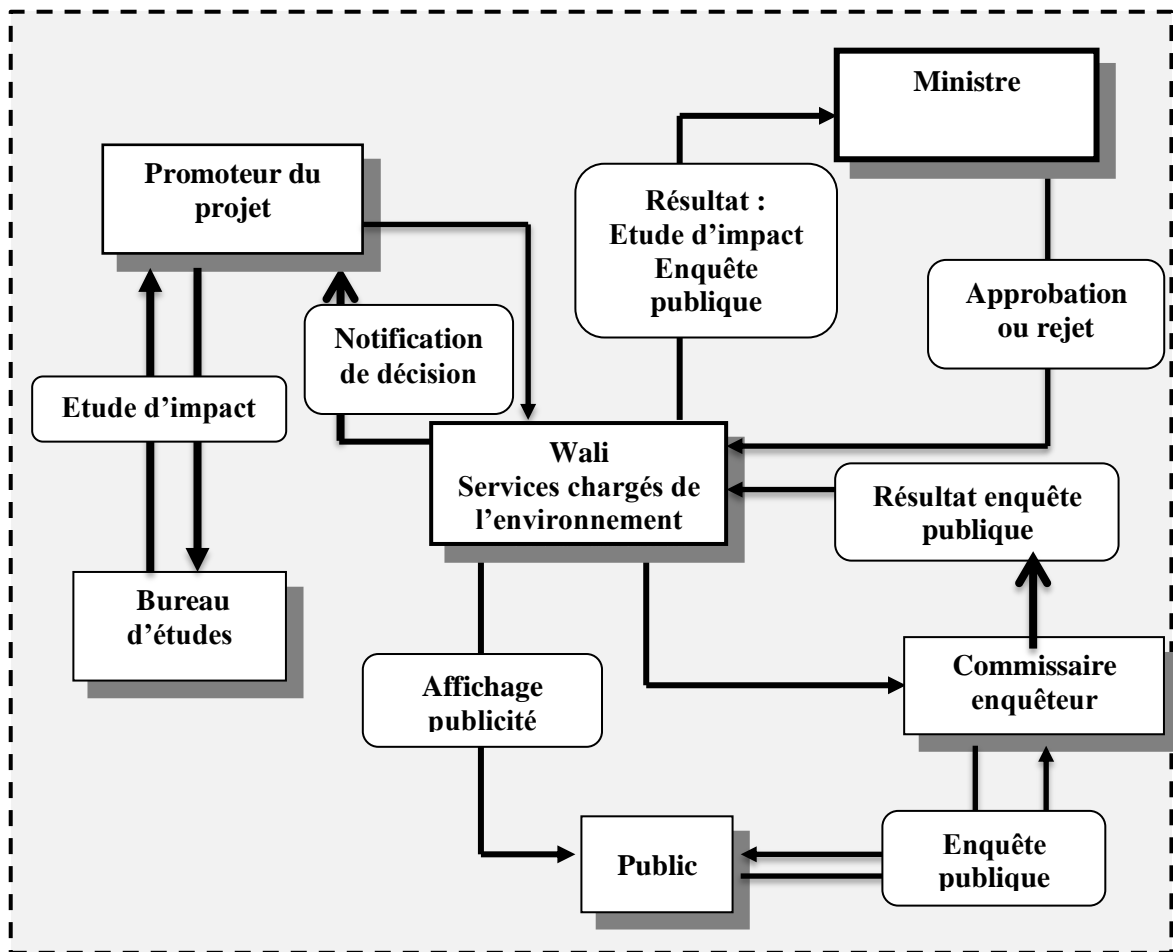


Figure 11: Schéma du processus et des acteurs de l'étude d'impact en Algérie

1.6 Evaluation environnementale et planification urbaine en Algérie

Nous avons vu qu'en Algérie l'EIE est le seul outil de d'évaluation environnementale en vigueur actuellement. Il concerne, en plus des projets à l'échelle architecturale, des projets à l'échelle urbaine, tels que des projets d'aménagement ou de lotissement urbain et même d'aménagement de ville nouvelle. Toutefois, cette prise en charge de la nécessité de préserver l'environnement naturel dans les opérations d'aménagement urbain ne bénéficie d'aucune procédure d'intégration de l'EIE dans le processus de la planification urbaine. En effet, les planifications urbaine et environnementale sont régies par plusieurs textes et bénéficient de plusieurs outils d'aménagement et de gestion qui sont indépendants les uns des autres (voir Tableau 2).

Aménagement -Urbanisme	Textes	<ul style="list-style-type: none"> – Loi 90-29 du 1^{er}/12/90 relative à l'aménagement et l'urbanisme. (MHU) – Décret exécutif N° 91-175 du 28/05/91 définissant les règles générales d'aménagement d'urbanisme et de construction. (MHU) – Décret exécutif N° 91-177 du 28/05/91 fixant les procédures d'élaboration et d'approbation du Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme (PDAU) et le contenu des documents y afférents. (MHU) – Décret exécutif N° 91-178 du 28/05/91 fixant les procédures d'élaboration et d'approbation des plans d'occupation des sols ainsi que le contenu des documents y afférents. (MHU) – Loi 01-20 du 12/12/01 relative à l'aménagement du territoire et au développement durable. (MATE) – Loi 02-02 du 05/02/01 relative à la protection et valorisation du littoral – Loi 02-08 du 08/05/02 relative aux conditions de création des villes nouvelles et de leur aménagement. (MATE) – Décret exécutif N°11-76 fixant les modalités d'initiation, d'élaboration et d'adoption du plan d'aménagement de la ville nouvelle. (MATE)
	Outils¹⁹	<ul style="list-style-type: none"> – PATW (Plan d'Aménagement de Territoire de Wilaya) (MATE) – SDAAM (Schéma Directeur d'Aménagement de l'Aire Métropolitaine) (MATE) – PAC (Plan d'aménagement côtier) (MATE) – PAVN (Plan d'Aménagement de la Ville Nouvelle) (MATE) – PDAU (Plan Directeur d'Aménagement et d'urbanisme) (MHU) – POS (Plan d'Occupation des Sols) (MHU)
Environnement	Textes	<ul style="list-style-type: none"> – Loi 03-10 du 19/07/03 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable – Décret exécutif 07-145 déterminant le champs d'application, le contenu et les modalités d'approbation des études et des notices d'impact sur l'environnement – abrogeant le décret 87-91 du 27 février 1987 relatif à l'étude d'impact d'aménagement du territoire
	Outils	<ul style="list-style-type: none"> – EIE (Etude d'impact sur l'environnement)

Tableau 2: Tableau récapitulatif des textes concernant l'urbanisme et l'environnement en Algérie

L'aménagement régional des villes est régi par les instruments suivants : le PATW (Plan d'Aménagement de Territoire de Wilaya), le Schéma Directeur d'Aménagement de l'Aire Métropolitaine (SDAAM²⁰), le Plan d'Aménagement de la Ville Nouvelle (PAVN), ainsi que le PAC (La Plan d'Aménagement Côtier). Ces trois instruments sont sous la tutelle des

¹⁹ Les outils : PATW, SDAAM et PAVN sont des instruments d'aménagement du territoire sous la tutelle des services du MATE, alors que les PDAU et POS sont des instruments d'aménagement urbain sous la tutelle des services du MHU.

²⁰ L'aire métropolitaine est définie par la loi 01-20 comme: « Le territoire qu'il faut prendre en considération afin de maîtriser et organiser le développement d'une métropole ». La métropole est « une agglomération urbaine dont la population totalise au moins 300 000 habitants et qui a une vocation, outre ses fonctions régionales et nationales, à développer des fonctions internationales » (Art 3).

services du MATE, chargés aussi d'élaborer les textes et outils concernant l'évaluation environnementale et l'EIE. D'un autre côté, l'aménagement urbain, avec les deux instruments PDAU (Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme) et POS (Plan d'Occupation des Sols), sont sous la tutelle des services du MHU.

Tel que nous l'avons vu, précédemment, L'EIE cible des projets, qui de part leur nature et échelle, sont soumis aux instruments d'aménagement de la ville et de sa région que sont : le PAC, le PAVN et le PDAU. Nous allons voir si ces outils intègrent, sous une forme ou une autre, l'évaluation environnementale dans le processus de mise en œuvre.

a. L'évaluation environnementale dans le PAC

Le Plan d'Aménagement Côtier (PAC²¹) est un plan d'aménagement qui concerne la région côtière. Son échelle est supérieure à l'échelle urbaine et peut concerner plusieurs villes. Il a pour objectif, en plus du développement durable de la zone côtière, de trouver des solutions aux problèmes environnementaux et de préserver les ressources de la zone²². Son processus d'élaboration comporte deux phases principales: planification et actions²³.

Dans la phase planification, l'analyse a pour but l'élaboration d'une typologie des espaces littoraux, avec un cadastre qui comporte une étude environnementale et foncière. Cette dernière comporte la préparation d'un bilan écologique qui intègre le recensement des ressources naturelles, les pressions sur les zones sensibles : agglomération, ZET, constructions..., le bilan des occupations : évaluation des pollutions, consommation des espaces, bilan de l'érosion et évaluation des risques.

C'est au cours de cette première phase que se fait la préparation des documents graphiques telles que les cartes des nuisances et sources de pollution et celles relatives aux espaces à caractère naturel. Après l'analyse, le plan d'action concerne les actions immédiates à prendre dans les zones ou espaces à protéger. Ces actions englobent la destruction,

²¹ La loi N° 02-02 du 05/02/01 relative à la protection et valorisation du littoral introduit dans son article 26 la nécessité de mettre en œuvre un plan d'aménagement et de gestion de la zone côtière.

²² MATE, « Plan d'aménagement côtier, Plan général de mise en œuvre du projet au niveau de wilaya », Alger, novembre 2002

²³ Voir cas du PAC d'Alger chapitre 2. Le PAC d'Alger concerne l'aménagement et la gestion de la zone côtière. Il a été élaboré avec la participation du Plan Bleu dans le cadre d'un programme de partenariat entre les villes méditerranéennes pour la préservation de l'environnement, <http://www.planbleu.org/vfrancaise/2-7.htm>

construction ou délocalisation d'activités avec, en conséquence, la révision des instruments de planification PDAU, POS et schémas de ZET en fonction des actions du PAC.

Nous voyons que pour le PAC, qui est sous la tutelle du MATE, l'évaluation environnementale est implicitement intégrée au processus d'élaboration du plan. Toutefois, cette évaluation est conduite, non pas par l'EIE, mais par un autre outil, le profil environnemental qui est un processus qui identifie les ressources disponibles et évalue les impacts nocifs sur l'environnement naturel. Notons que, contrairement à l'EIE, le profil environnemental n'est pas reconnu comme un outil de gestion et planification environnementale dans la réglementation algérienne.

b. L'évaluation environnementale dans le PAVN

Le PAVN²⁴, est initié par l'organisme chargé de la ville nouvelle et est élaboré par un bureau d'études agréé. Le plan délimite les périmètres d'urbanisation de la ville nouvelle, détermine le programme (habitat, services et activités), l'affectation des sols (localisation des quartiers, grands équipements, infrastructures et réseaux), les règlements d'urbanisme et le plan général, ainsi que ses servitudes et mesures de protections des risques urbain.

Le rapport d'orientation du plan d'aménagement de la ville nouvelle comprend: en plus du règlement qui fixe l'affectation des sols selon les types d'activités (occupation des sols avec les densités retenues : COS et CES, les servitudes à respecter ainsi que les conditions générales de construction et de prescription concernant les grands équipements), l'analyse du site d'implantation, avec présentation des variantes d'aménagement proposées et celle retenue ainsi que l'évaluation des impacts de cette dernière²⁵.

Dans le cas du PAVN, sous tutelle du MATE, l'évaluation environnementale est explicitement mentionnée avec l'intégration de l'évaluation des impacts des variantes d'aménagement proposées dans le processus d'élaboration. Cependant, aucune procédure particulière de l'EIE n'est appliquée dans le cas du PAVN qui le rapprocherait par exemple d'un EES tel que nous l'avons vu pour le cas de Schenzen.

²⁴ Conformément à la loi 02-08 et le décret exécutif N°11-76 qui fixe les conditions et modalités d'initiation, d'élaboration et d'adoption du plan d'Aménagement de la ville nouvelle.

²⁵ Loi 02-08 relative aux conditions de création des villes nouvelles et de leur aménagement et le décret exécutif N°11-76 qui fixe les conditions et modalités d'initiation, d'élaboration et d'adoption du plan d'Aménagement de la ville nouvelle.

c. L'évaluation environnementale dans le PDAU

L'outil de planification urbaine par excellence, en Algérie, reste le PDAU (Plan Directeur d'Aménagement et d'urbanisme), toutefois, il n'intègre pas le facteur environnement (Dakhia and Berezowska-Azzag, 2004). L'élaboration du PDAU selon la loi 90-29²⁶ et le décret 91-77²⁷ a pour but de définir la destination des sols en différenciant les zones d'intervention de celles à protéger. Elle nécessite la collecte et l'analyse de données techniques concernant l'évolution économique, démographique, sociale et culturelle, mais aussi concernant l'environnement urbain et naturel de l'aire du projet. Le but de ces analyses est d'élaborer des prévisions : présenter des variantes d'évolution d'occupation du sol pour chaque secteur dans le futur (Saidouni, 2000). Les autorités locales doivent choisir entre les variantes de développement en accord avec le projet de la commune, « *les tendances d'évolution souhaitables* »²⁸ et les moyens de la commune.

Dans l'élaboration du PDAU, l'évaluation environnementale n'est pas mentionnée en tant que telle. Seules des zones à protéger sont à signaler après analyse des données du site, pour différencier les zones de construction de celles protégées ou non constructibles, telles que les zones inondables ou présentant un quelconque danger naturel (glissement, éboulement, séisme, etc.).

Nous constatons que l'évaluation environnementale n'est pas intégrée, ni prise en charge par ces outils alors que l'EIE cible les échelles et projets concernés par le PDAU et le POS. De plus, ni le processus d'élaboration, ni le contenu de ces instruments ne prennent en charge les problématiques environnementales ni les résultats d'une évaluation environnementale par l'EIE.

En conclusion, nous constatons que les instruments PAVN et PAC, qui sont sous la tutelle du MATE, intègrent l'évaluation environnementale, mais différemment. Le PAVN intègre l'étude d'impact et donc l'EIE, mais sans spécifier de procédures particulières d'intégration. Le PAC, par contre, intègre une évaluation environnementale plus globale qui ne mentionne pas l'EIE mais plutôt le profil environnemental, qui jusqu'à maintenant

²⁶ Loi No. 90-29 du 01/12/1990 relative à l'aménagement et l'urbanisme

²⁷ Décret exécutif N° 91-177 du 28/05/91 fixant les procédures d'élaboration et d'approbation du plan directeur d'aménagement et d'urbanisme et le contenu des documents y afférents

²⁸ Saidouni, 2000, p150

n'a pas de statut codifié dans la réglementation algérienne. Quant au PDAU, qui est sous tutelle du MHU, il n'intègre pas l'évaluation environnementale dans sa procédure. De même, il ne prend pas en charge les résultats de l'EIE, pourtant obligatoire pour certaines opérations d'aménagement qui lui sont subordonnées. Voir en synthèse la Figure 12 des relations et influences entre les instruments d'aménagement territorial et urbain avec l'outil d'évaluation environnemental : l'EIE.

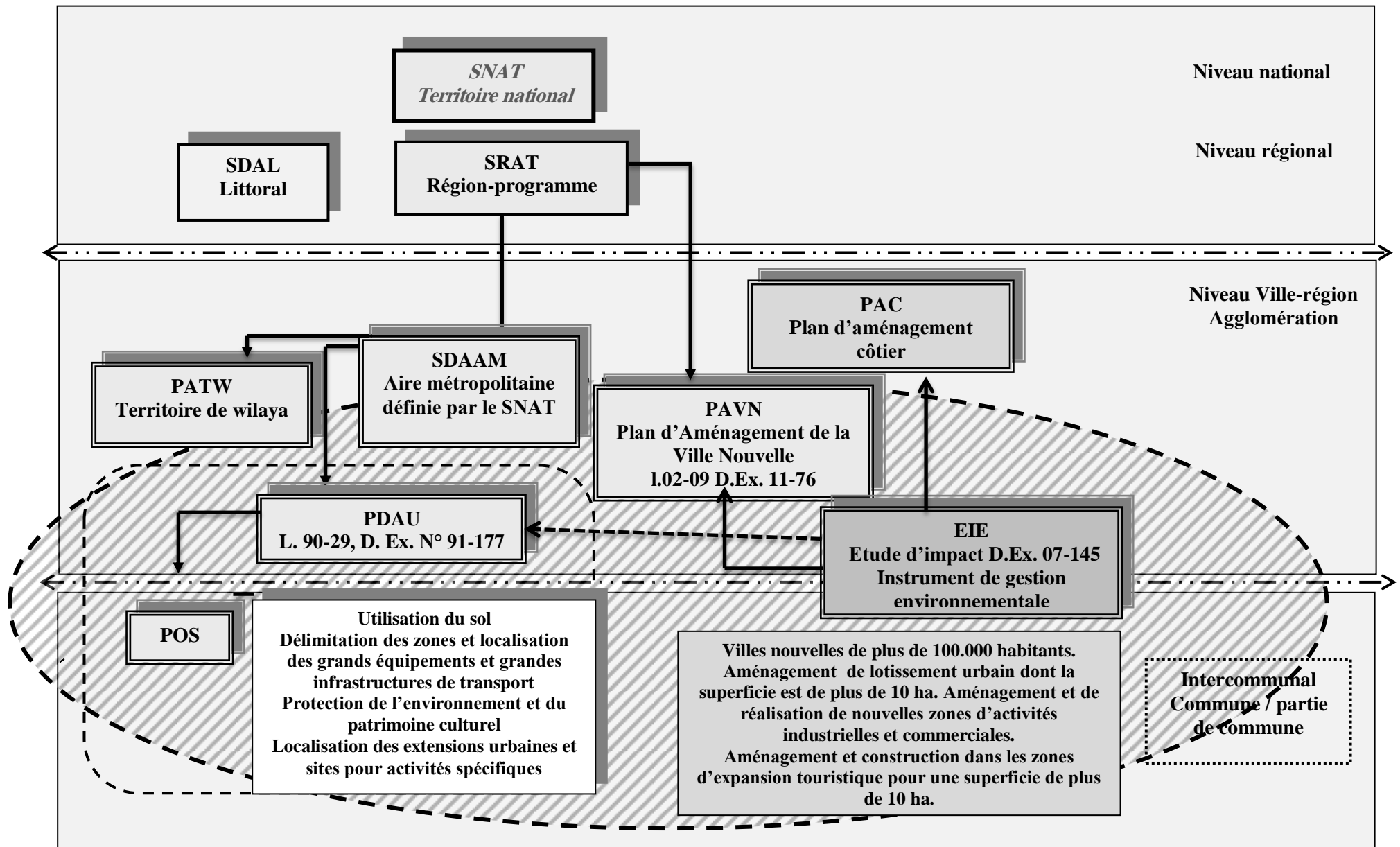


Figure 12: Schéma des relations et influences territoriales des outils et instruments environnementaux et d'aménagement urbain

1.7 Conclusion

Nous avons vu dans ce chapitre que l'étude de la planification urbaine avec une vision sectorielle de l'environnement adopte une approche réactive de l'évaluation avec ses deux outils l'EIE et l'EES. Les EIE n'évaluent que les impacts et conséquences de projets ponctuels sur l'environnement naturel alors que l'EES cible, sur une plus grande échelle spatio-temporelle, les impacts possibles sur l'environnement naturel de politiques et programmes de développement appliquées à la ville. Ces deux outils ne sont pas intégrés dans le processus de planification urbaine, bien que, l'EES, en tant qu'outil d'évaluation stratégique, possède les potentialités pour être intégré dans une planification urbaine sous conditions de l'institutionnaliser. En effet, l'application de l'EES dans le cas du PEIA chinois, intégré dans un cadre de planification écologique et durable plaide pour son intégration dans ce sens.

Actuellement, en Algérie c'est la vision sectorielle de la planification environnementale qui est en vigueur et ainsi l'étude d'impacts sur l'environnement est le seul outil de planification et gestion environnementale en application. L'EIE est un instrument de gestion réactif ; il est ultérieur au choix d'un projet spécifique et ne vise que la prise en charge des effets de ce projet sur l'environnement naturel. La version stratégique de l'EIE qui est l'EES n'est pas reconnue dans notre pays parce que cela implique l'adoption d'une vision intégrée et stratégique de la gestion et planification de la ville et de l'environnement naturel, qui est pour le moment inexistante.

Rappelons toutefois, que l'étude d'impact est obligatoire pour toute ville nouvelle de plus de 100.000 habitants. En effet, le PAVN intègre les études d'impacts pour les variantes d'aménagement proposées dans le processus d'élaboration, mais sans donner de procédures particulières d'élaboration. Nous pensons que l'étude d'impact appliquée au cas d'une ville nouvelle ne peut suivre les mêmes modalités que pour un simple projet architectural. Il ne peut concerner que les rejets, émissions et nuisances mais doit impérativement évaluer la consommation des ressources de l'environnement naturel. De plus, pour la ville nouvelle, l'étude d'impact doit dépasser la simple étude qu'on approuve ou qu'on rejette pour proposer un outil d'aide à la décision pour comparer les alternatives possibles de choix d'option d'aménagement.

Enfin, nous constatons que les instruments de planification urbaine et environnementale, en vigueur actuellement en Algérie, sont indépendants les uns des autres et ne sont intégrés

dans aucun cadre stratégique qui puisse les réunir. De plus, des outils tels que le PAC, à l'échelle régionale, ou le PDAU à l'échelle urbaine et qui affichent l'objectif de prendre en charge les enjeux environnementaux, n'intègrent pas l'EIE, et leur application intègre une approche plutôt stratégique tel que nous le verrons dans le chapitre suivant.

Chapitre 2. L'évaluation environnementale selon l'approche stratégique du développement durable

2.1 Introduction

Dans le but de comprendre les approches de l'évaluation environnementale urbaine, et après avoir présenté l'approche sectorielle au chapitre précédant, nous abordons dans celui-ci, l'approche stratégique dans le cadre du développement durable. D'abord, nous introduisons la vision du développement durable et son approche stratégique de l'évaluation environnementale; puis, nous présentons les principaux outils stratégiques d'évaluation environnementale. Notre but est de comprendre les mécanismes de cette évaluation pour aborder, par la suite, ses principaux éléments notamment les indicateurs, indices et tableau de bord. Enfin, nous essayerons de déceler dans la planification urbaine et environnementale appliquée en Algérie, à travers le PAC d'Alger et le projet du nouveau PDAU, les prémices d'une approche stratégique.

2.2 Evaluation environnementale stratégique dans le cadre du développement durable : processus et outils d'évaluation

Le concept de développement durable date, officiellement, de près de 30 ans. C'est en 1986, que la commission mondiale sur l'environnement et le développement « World Commission on Environment and Development (WECD) » a présenté son rapport « *Our Common Future* » dit de « *Brundtland*⁵² » qui a introduit et définit ce concept. Depuis, le développement durable est défini comme « un développement *qui répond aux besoins présents sans compromettre la possibilité pour les générations futures de répondre à leurs propres besoins* »⁵³ (World Commission on Environment and Development (WECD), 1986). Bien que cette définition reste générique, le rapport de Brundtland introduit une

⁵² Brundtland est le nom du premier ministre Danois qui présida le conseil

⁵³ Traduction de : « a development that meets the present needs without compromising the ability of future generations to meet their own needs », Our common future report, 1986

nouvelle manière de penser le développement en relation avec ses impacts spatio-temporels sur l'environnement naturel⁵⁴.

En définitif, le développement durable consacre l'interaction des sphères économiques, sociales et environnementales dans une vision holistique de la ville et de son environnement naturel. En conséquence, ce dernier n'est plus perçu comme un secteur indépendant mais comme un élément du tout ; et toute étude et évaluation de l'environnement doit s'insérer dans ce tout. Voilà pourquoi selon cette approche, les outils d'évaluation environnementale visent à évaluer l'environnement naturel intégré dans l'environnement urbain et socio-économique de la ville.

Nous allons introduire, dans les sections suivantes, ces outils dédiés à l'évaluation de l'environnement selon l'approche stratégique du développement durable.

2.2.1 Outils d'évaluation de la durabilité

Nous avons vu que l'évaluation de l'environnement naturel, dans une approche de développement durable, n'est qu'une dimension intégrée dans l'évaluation de toute la durabilité. Avec ce changement de perspective, au lieu d'évaluation environnementale, il est plus juste de parler d'évaluation de la durabilité urbaine qui cible les quatre dimensions de base de la durabilité représentés par : l'environnement, le social (santé, habitat, sécurité, emploi), l'économique (PIB, taux de croissance, coopération..) et l'institutionnel (participation, justice, inégalité) (Figure 13).

⁵⁴ Rappelons que le rapport de Brundtland fait suite à une succession de conférences autour du thème du développement et de la nécessité de protection de l'environnement naturel et de ses ressources : en 1968, se sont tenu les conférences « Biosphere Conference », sous l'égide de l'UNESCO à Paris et « Ecological aspects of international development conference », à Washington ; en 1970, s'est tenu le fameux congrès de Rome qui a réuni des scientifiques pour tirer la sonnette d'alarme sur l'avenir de la planète et plaider pour un nouveau modèle de développement. Bien que le club de Rome ne visait que la réduction de la consommation énergétique, la prise de conscience qui en découla engloba par la suite l'environnement naturel, puis finalement, l'économique et le social dans le discours du développement durable.

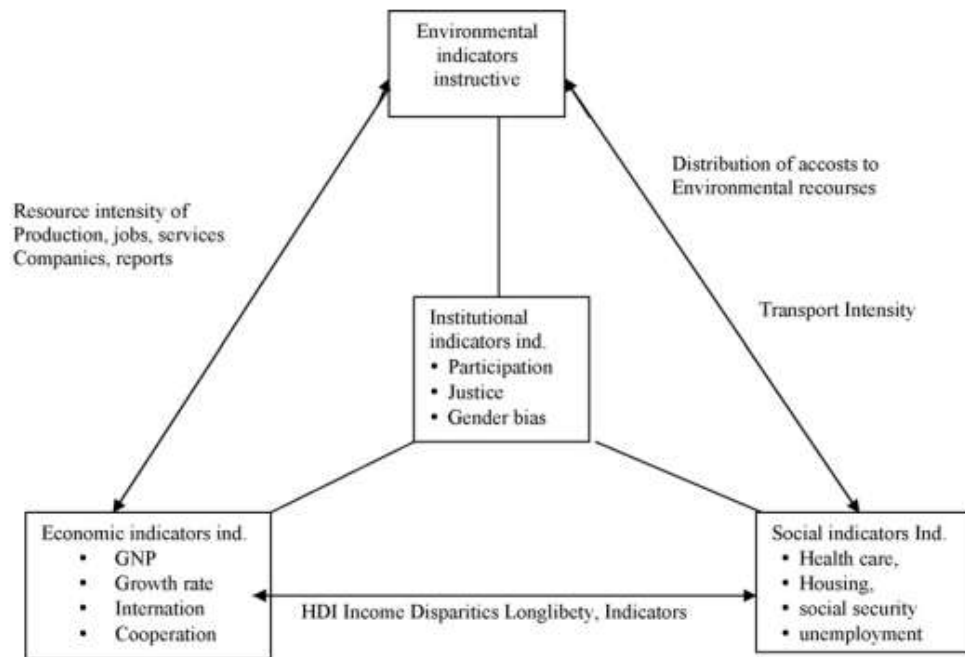


Figure 13: Système d'indicateurs de développement durable développé par l'institut Wuppertal (Singh et al., 2012)

Voilà pourquoi selon cette approche, il n'y a pas d'outil dédié, seulement, à l'évaluation de l'environnement naturel, mais plutôt une multitude d'outils d'évaluation de la durabilité urbaine (ARE, 2004; Duarte, 2010; Mori and Christodoulou, 2012; Ness et al., 2007b; Sharifi and Murayama, 2013; Singh et al., 2012). Certains outils sont qualifiés, suivant le résultat de leur évaluation, en des indices de durabilités (sustainability indexes). Ils visent à évaluer la performance d'une ville ou d'un ensemble urbain du point de vue de la durabilité.

L'indice est issu de l'agrégation de plusieurs indicateurs d'évaluation de la durabilité où l'environnement naturel est intégré aux autres secteurs de la ville. Les indices de durabilité se basent sur les dimensions du développement durable, (Figure 13), pour tirer leurs indicateurs et élaborer leur indice⁵⁵. Comme exemple, nous citons les indices de durabilité développés pour le cas de villes ou d'établissements urbains (Mori and Christodoulou, 2012; Singh et al., 2012):

- L'indice de développement des villes (City Development Index (CDI)) développé par UN-HABITAT et qui est basé sur les sous-indices : production de la ville, déchets, infrastructure, santé, éducation.

⁵⁵ Rappelons que quelques indices tels que the Environmental Vulnerability Index (EVI) et the Environmental Policy Index (EPI) n'évaluent que les performances des villes vis-à-vis l'environnement naturel

- Boussole d'indice de durabilité développé par Atkinson Inc pour la ville d'Orlando en Floride (USA) et qui est composé d'un système d'indicateurs répartis par : nature, économie, société et bien-être.
- Indice des villes durables développé pour l'évaluation et classement des villes britanniques.

De même que pour les indices, il n'y a pas d'outil générique standard pour l'évaluation de la durabilité urbaine, mais des outils divers et multiples qui avoisinent le nombre de 100⁵⁶. Ces outils de durabilité urbaine, appelés outils de DDU (Développement Durable Urbain) (SUD⁵⁷ tools) ont été souvent développés dans un contexte précis d'évaluation de la durabilité pour une ville ou une municipalité et parfois même pour un projet urbain spécifique tel que l'outil Solution pour le cas de Hammarby Sjöstad (Duarte, 2010). Ces outils sont développés soit par des institutions académiques, soit des partenaires industriels ou des agences non gouvernementales. Certains outils sont à but éducatif, d'autres sont à but commercial et propriété de l'agence qui les a développés.

Les outils d'évaluation de la durabilité urbaine les plus connus sont dédiés à la certification et sont développés et agréés par le pays d'origine, tels que CASBEE au Japon, BREEAM en Grande Bretagne et LEED-ND aux Etats Unis (Sharifi and Murayama, 2013). Les deux premiers outils interviennent à la fin d'un projet urbain pour certifier que le projet réponde aux critères d'un développement durable, par contre, LEED-ND est aussi intégré dans le projet (Hurley et al., 2007). L'outil européen HQE2R dédié à l'évaluation stratégique des projets urbains est aussi intégré aux projets (Duarte, 2010). Voir la liste non-exhaustive des outils d'évaluation de la durabilité urbaine (Tableau 3).

Tous ces outils, malgré leur diversité, sont développés sur la base d'un ensemble d'indicateurs d'évaluation de la durabilité (Bell and Morse, 2008). Ces indicateurs sont intégrés dans un système d'information, agrégés et pondérés pour donner une valeur finale mesurable intégré dans un système de notation. Le résultat final est illustré par un graphique : histogramme ou radar et inscrit dans une fiche, ou un tableau de bord intégré à des tableurs Excel. Enfin, les outils les plus développés sont intégrés à des plateformes SIG et CAD.

⁵⁶ Pour plus d'information consulter les bases de données suivantes qui regroupent les différents outils d'évaluation des projets urbains : CRISP (<http://crisp.estb.fr/database.asp>) PETUS (<http://www.petus.eu.com>) et BEQUEST (<http://research.scpm.salford.ac.uk/bqtoolkit/index2.htm>)

⁵⁷ SUD tools : Sustainable Urban Development tools

Outil	Institution	Objectif : design, planification, gestion	Software	Résultat output	Pays	Année
CASBEE-UD CASBEE for urban development CASBEE for cities	Japan Sustainable Building Consortium (JSBC), and Japan Green Building Council (JaGBC) Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency http://www.ibec.or.jp/CASBEE/english/overviewE.htm	Rénovations et développements urbains, et les îlots de chaleur urbains.		Certification Fiche d'évaluation (graphe et indice)	Japon	2001
LEED-ND Neighbourhood Development	USGBC, CNU, and NRDC http://www.usgbc.org/DisplayPage.aspx?CategoryID=19	Intégré au projet	SIG	Certification Classement	US	2007/ 2009
BREEAM Communities	Building Research Establishment (BRE) http://www.breeam.org/ http://www.breeam.org/communitiesmanual/#_frontmatter/breeam_communities.htm%3FTocPath%3D_____1	A la fin du projet pour certification		Certification Evaluation par notation	UK	2009
HQE2R	Sustainable Renovation of Buildings for Sustainable Neighbourhoods (CSTB)	Intégré au projet urbain		Certification	UE	2004
SOLUTION	SATURN, PROPOLIS	Développé spécialement pour un projet précis. (HammarbySjöstad)	SIG, et autres		UK	2009
ECOCITY	Projet de recherche académique européen	Guide		Radar	UE	2005
SEEDA Sustainability Checklist	SESC			Classement	UK	2003
SUL (Sustainable Urban Landscapes)	Académique	Guide			CA	2003
US (Urbanising Suburbia)	Académique		SIG		UK	2006
Facteur 21	Suisse Energie pour les communes	Evaluation de la politique communale en matière de développement durable	Excel	Indices et graphe radar	Suisse	2000
Boussole Bernoise du développement durable	D. Klooz, T. Schneider (Office de coordination pour la protection de l'environnement du Canton de Berne)	Profil des forces et faiblesses d'un projet sur la base de notations semi-quantitatives	Guide et tableur Excel	Boussole d'indices	Suisse	1999

Tableau 3: Liste non exhaustive des principaux outils d'évaluation de durabilité urbaine (adapté de Duarte 2010, ARE 2004)

2.2.2 Indicateurs d'évaluation de la durabilité

Nous avons vu que l'évaluation de la durabilité, quelque-soit l'approche suivie, utilise les indicateurs pour mesurer, évaluer, classer et certifier conforme à la norme de durabilité. Dans cette section, au-delà des outils, nous allons nous intéresser à l'évaluation de la durabilité de part ses indicateurs, ses indices, et ses tableaux de bords.

Un indicateur est défini comme « ... *une donnée observable permettant d'appréhender les dimensions, la présence ou l'absence de tel attribut dans la réalité étudiée.* » (Gravitz, 1972). Gallopin complète cette définition et explique comment les indicateurs véhiculent une appréciation sur l'information qui servira à la prise de décision. Selon lui « *La définition pragmatique d'une variable en tant qu'indicateur est généralement faite sur la base qu'une telle variable communique des informations sur les conditions ou tendances des attributs du système considéré, information qui est importante pour les besoins de la prise de décision à un niveau donné*⁵⁸. » (Gallopin, 1997). L'indicateur vérifie donc la présence d'un attribut et l'évalue dans le but de donner une information qui servira à la prise de décision.

Souvent, l'indicateur est défini, tour à tour, comme valeur, mesure, paramètre, variable ou quantité (Gallopin, 1996). Dans la pyramide de l'information, les indicateurs et indices sont placés au sommet des données (Figure 14).

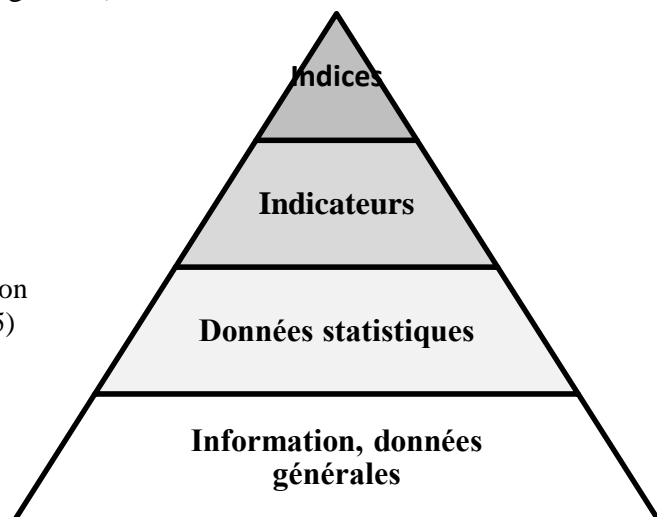


Figure 14: La pyramide de l'information (Information pyramid) (Hammond, 1995)

⁵⁸ « The particular pragmatic interpretation of a variable as indicator is usually made on the basis that such a variable conveys information on the condition and/or trend of an attribute (or attributes) of the system considered, information that is important for the purposes of decision-making at some level. » (Gallopin, 1996)

L'information d'ordre général se trouve à la base de la pyramide. A un niveau supérieur de l'information, nous trouvons les données statistiques qui sont des valeurs brutes qui ne véhiculent aucune information particulière à part leur valeur propre. Ensuite, lorsque ces données sont analysées et interprétées selon un objectif précis, nous obtenons des indicateurs qui nous renseignent sur les attributs étudiés (Hammond et al., 1995).

Enfin, l'agrégation de ces indicateurs en une valeur unique nous donne l'indice qui est la valeur finale de l'évaluation. Ainsi, l'indicateur est plus qu'une simple donnée statistique, il synthétise différentes données et informations (Newman, 2001) pour mesurer les attributs du phénomène étudié, pour les évaluer dans un temps donné ou pour les comparer à d'autres attributs de phénomènes étudiés. Ces indicateurs, par un jugement de valeur subjectif, sont transformés en seuil, cible (target), norme, ou benchmark (Gallopain, 1996).

2.2.2.1 Les types d'indicateurs

L'indicateur n'est pas seulement une valeur numérique. Il peut aussi présenter une valeur qualitative. En effet, Gallopain (1996) donne trois types de valeur d'indicateur :

- des valeurs métriques numériques,
- des valeurs nominales (qualitatives),
- et des valeurs « ordinale » de classement par échelles (ranking scale value).

Les indicateurs sont des valeurs qui mesurent un attribut du phénomène étudié selon des critères. Ces critères d'évaluation sont de différents types. Ils varient selon qu'ils soient des valeurs quantifiables objectives ou des données qualitatives non quantifiables. Le Tableau 4 nous donne un aperçu des types d'indicateurs quantitatif ou qualitatif et leurs avantages et inconvénients (ARE, 2004).

Types de critères	Avantages	Inconvénients
Indicateurs quantitatifs	La valeur est objective et factuelle. Elle peut ensuite être utilisée pour des comparaisons entre variantes, ou être transformée en note par exemple. Le résultat est reproductible quel que soit l'évaluateur	Il peut être parfois difficile d'obtenir toutes les données et être certain de leur fiabilité. Le risque existe que les critères soient surreprésentés pour les éléments mesurables et sous-représentés pour les aspects non quantifiables objectivement. Le lien entre chaque indicateur et la durabilité doit être précisé.
Indicateurs semi-quantitatifs	Ils ne demandent pas trop de temps pour récolter les données et permettent d'aborder facilement tous les aspects, même ceux qui sont difficilement mesurables.	L'appréciation est subjective et peut être différente suivant la personne qui fait l'évaluation. Afin de pallier à ce problème, on peut multiplier les observations et définir une procédure très précise avec des seuils prédéfinis pour obtenir la valeur. Le lien entre chaque indicateur et la durabilité doit être précisé.
Notations subjectives semi-quantitatives	Cette forme de notation ne demande pas trop de temps pour récolter les données et permet d'aborder facilement tous les aspects, même ceux qui sont difficilement mesurables. L'interprétation par rapport au développement durable est faite immédiatement (+ ou -).	L'appréciation est subjective et peut être différente suivant la personne qui fait l'évaluation. Afin de pallier à ce problème, on peut multiplier les observations. Les différents seuils devraient être définis le plus précisément possible. Implicitement, le destinataire se dit qu'un «-1» en matière de consommation de terrain devrait avoir la même «gravité» sur la gamme des possibilités qu'un «-1» en matière d'exclusion sociale par exemple. Il est important de faire attention aux effets de compensation en cas d'agrégation. L'évaluateur doit avoir une solide expérience dans le domaine.
Réponses oui/non à une question fermée	La récolte des données prend peu de temps. Ce type de critère est assez objectif si les questions sont bien posées. Il est directement interprétable en termes d'impact sur la durabilité. Suivant le type de questions, il peut être rempli par tout un chacun.	Il n'y a pas de place pour les nuances. Il est difficilement utilisable pour comparer des variantes. Il ne permet pas l'agrégation.
Réponses qualitatives	Cette formulation est possible même lorsque l'on n'a pas de données détaillées. Elle permet des réponses nuancées, suscite une réflexion et permet au destinataire de mieux comprendre les tenants et les aboutissants du projet.	Vue d'ensemble difficile. Beaucoup de subjectivité. Agrégation impossible. Comparaison de variantes difficile.

Tableau 4: Types d'indicateurs (ARE, 2004)

Nous comprenons ainsi, que les indicateurs quantitatifs donnent une valeur objective mesurable et peuvent facilement être comparée entre eux ou à une norme donnée. Toutefois, les valeurs quantifiables ne sont toujours pas disponibles et la comparaison avec des données non quantifiables peut s'avérer problématique. Enfin, les valeurs non mesurables peuvent ne pas être prises en compte lors de l'évaluation malgré leur importance.

Notons que contrairement aux indicateurs quantitatifs, les indicateurs semi-quantitatifs ont l'avantage d'aborder les phénomènes non mesurables et permettent une agrégation de tous les indicateurs pour une évaluation totale et générale. Pour ces indicateurs, il faut bien définir, au préalable, les seuils d'évaluation et les valeurs de pondération lors de l'agrégation.

Enfin, les critères en forme de réponse à des questions fermés ou ouvertes, donnent des indicateurs de valeur qualitative difficilement utilisable lors de procédure d'évaluation parce qu'il est difficile de les mesurer, comparer ou pondérer.

Les indicateurs environnementaux sont organisés dans un système d'indicateurs selon un modèle précis tel que le DPSIR³⁶ ou CMEF³⁷ (Bottero, 2011) pour servir une politique donnée. On reconnaît cinq groupes d'indicateurs environnementaux :

- **Indicateurs descriptifs** : évalue la tendance dans le temps, indicateur d'état, pression et impact.
- **Indicateurs de performance** : évalue le déficit entre valeur actuelle et l'objectif à atteindre, indicateur d'état, pression et impact.
- **Indicateurs d'efficacité** : évalue les résultats des procédés utilisés.
- **Indicateurs concernant l'efficacité des politiques** : évalue les politiques mises en place pour atteindre les objectifs, indicateur de réponse.
- **Indicateurs total du bien-être économique et social** : évalue l'environnement naturel et socio-économique.

Ces indicateurs selon le modèle et les objectifs choisis sont intégrés à des outils d'évaluation. Dans ce sens, les indicateurs de performances sont souvent intégrés dans un

³⁶ DPSIR acronyme pour : Drivers, Pressure, State, Impacts, Response.

³⁷ CMEF acronyme de modèle pour : Common Monitoring Evaluation Framework.

tableaux de bord qui, en plus de l'évaluation, permet le suivi et le contrôle de l'évolution des tendances vers les objectifs choisis.

2.2.2.2 *Les indices*

Nous avons vu que selon la pyramide de Hammond (Figure 14), les indices sont placés au sommet de la pyramide de l'information de part leur niveau de synthèse. En effet, c'est lorsque les indicateurs d'évaluation sont traités, combinés et synthétisés dans un but précis, qu'ils nous donnent des indices. L'indice est une valeur unitaire qui est le résultat de l'agrégation de plusieurs indicateurs d'évaluation. C'est un indicateur complexe, qui donne un résultat synthétisé, mais peut manquer de détails et d'informations qui peuvent être importants.

Retenons que les indices ont l'avantage de donner un aperçu rapide et synthétisé de l'évaluation selon un objectif défini. L'indice donne une information unitaire qui facilite le classement sur une échelle donnée et ainsi la comparaison avec d'autres indices évalués selon les mêmes critères. On retrouve ainsi les indices dans les échelles et les boussoles de performances comparés à des objectifs à atteindre.

2.2.3 **La représentation graphique de l'évaluation par les indicateurs**

Indices et indicateurs sont souvent représentés de manière graphique. Le but de la représentation graphique est de visualiser simultanément tous les indicateurs pour les mettre en relation et tirer une conclusion. La représentation graphique des indicateurs de l'évaluation environnementale stratégique se fait souvent à l'aide d'un graphe de type Radar tel que l'« AMOEBA³⁸ » (Ten Brink et al., 1991) (Figure 15).

L'AMOEBA transforme les indicateurs du profil environnemental en un vecteur : un ensemble de valeurs placées dans un espace cartésien ce qui facilite la comparaison des indicateurs les uns aux autres, à comparer deux entités analysées, enfin comparer entre deux scénarios d'évolution des indicateurs.

³⁸ L'approche AMOEBA a été développée par Brink (Brink et al. 1991) cet acronyme en néerlandais est tiré de l'expression traduite par « méthode générale de description et d'évaluation d'écosystème » ou « a general method of ecosystem description and assessment ».

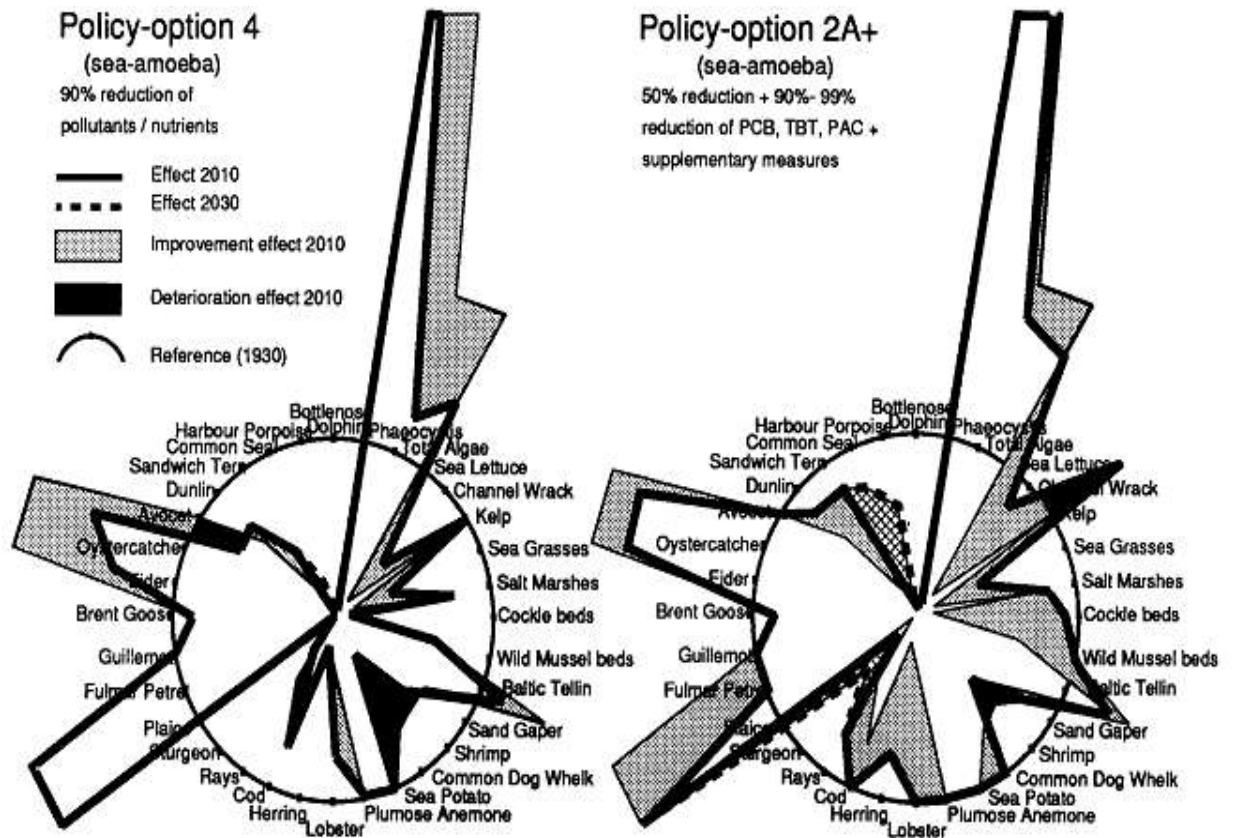


Figure 15: Graphe de type AMOEBA utilisé pour comparer de options (Ten Brink et al. 1991)

L'exemple du PAC d'Alger nous donne une représentation graphique à l'aide du graphe radar (Figure 16), qui a été utilisé pour visualiser les indicateurs par rapport à la zone d'équilibre recherché (voir section PAC d'Alger ci-après).

VALEURS REELLES

Indicateur	Minial	Maximum	Minimum	1980
Extraction de sable (1)	0	6000	5000	200000
Liminaire sables interdits à la baignade (3)	5	20	10	10
Alimentation en eau potable (8)	100	90	70	60
Réseau d'assainissement (9)	100	90	60	50
Taux d'urbanisation (17)	1	75	45	50,7
Liminaire côdier artificialisé (20)	1	25	15	20

ECHELLE

- 1 = très non durable par déficit
- 2 = non durable par déficit
- 3 = durable, limite inférieure
- 4 = durable
- 5 = durable limite supérieure
- 6 = non durable par excès
- 7 = très non durable par excès

à partir de cette échelle, on affecte aux valeurs réelles de la série que l'on veut représenter le n° correspondant à sa durabilité, comme ci-dessous.

CORRESPONDANCE EN DURABILITE

Extraction de sable	7	5	3	1
Liminaire sables interdits à la baignade	7	5	3	5
Alimentation en eau potable	7	5	3	2
Réseau d'assainissement	7	5	3	2
Taux d'urbanisation	7	5	3	4
Liminaire côdier artificialisé	7	5	3	4

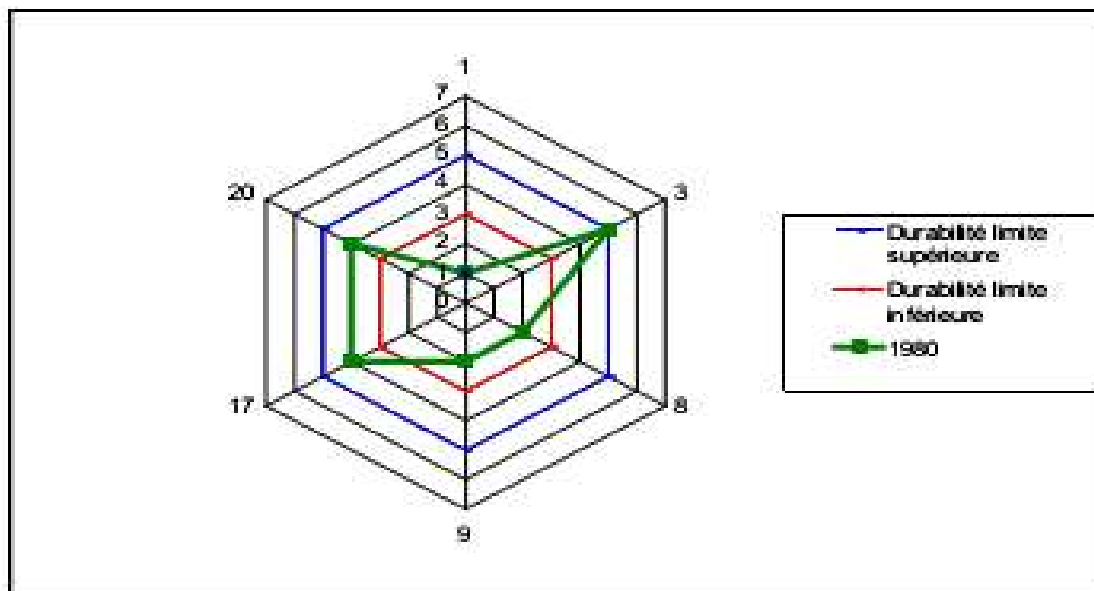


Figure 16: Application de l'exercice AMOEBA (Larid, 2003)

2.2.4 Cadre d'évaluation : Le tableau de bord

Souvent les indicateurs environnementaux et de durabilité dits de performance sont intégrés dans des tableaux de bord. Ces tableaux de bord sont de plus en plus intégrés aux outils de gestion stratégique de l'environnement naturel urbain (ARE, 2004). Le terme tableau de bord ou dashboard en anglais, fait tout simplement référence au tableau de bord des voitures qui regroupe les appareils visualisant les mesures qui rendent compte du fonctionnement de la voiture au temps réel (Pauwels et al., 2009).

Cette comparaison n'est pas fortuite, en effet, le tableau de bord de la voiture informe le conducteur (celui qui est aux commandes) sur l'état de son véhicule et de sa conduite. Le conducteur est ainsi en mesure de s'informer et de prendre des décisions pour choisir les actions nécessaires en temps réel. Par la même, le tableau de bord d'une gestion environnementale informe « ceux qui sont aux commandes » sur l'état de l'environnement et son devenir.

Le tableau de bord a été intégré, en premier, dans la gestion des entreprises et du marketing en tant qu'outil de communication et d'aide à la décision. Il est défini comme un outil d'analyse qui synthétise l'information provenant de plusieurs sources et la présente visuellement (Yigitbasioglu and Velcu, 2012) pour aider à la prise de décision. L'outil peut aussi être utilisé pour la gestion et le monitoring. Les données synthétisées dans le dashboard sont appelés les indicateurs clés de performance, en anglais les « Key Performance Indicators (KPI) ». Ces indicateurs, qui sont en réalité des indices, sont intégrés dans un système d'informations sur les performances d'une entreprise, où les données sont présentées de manière synthétique pour permettre la communication, la gestion et l'aide à la décision (Figure 17).

Par son utilité, le tableau de bord a dépassé le champ de la gestion des entreprises pour être intégré dans d'autres disciplines telles que l'évaluation environnementale et la durabilité des villes et régions tel que le dashboard of sustainability (Scipioni et al., 2009; Yigitbasioglu and Velcu, 2012).

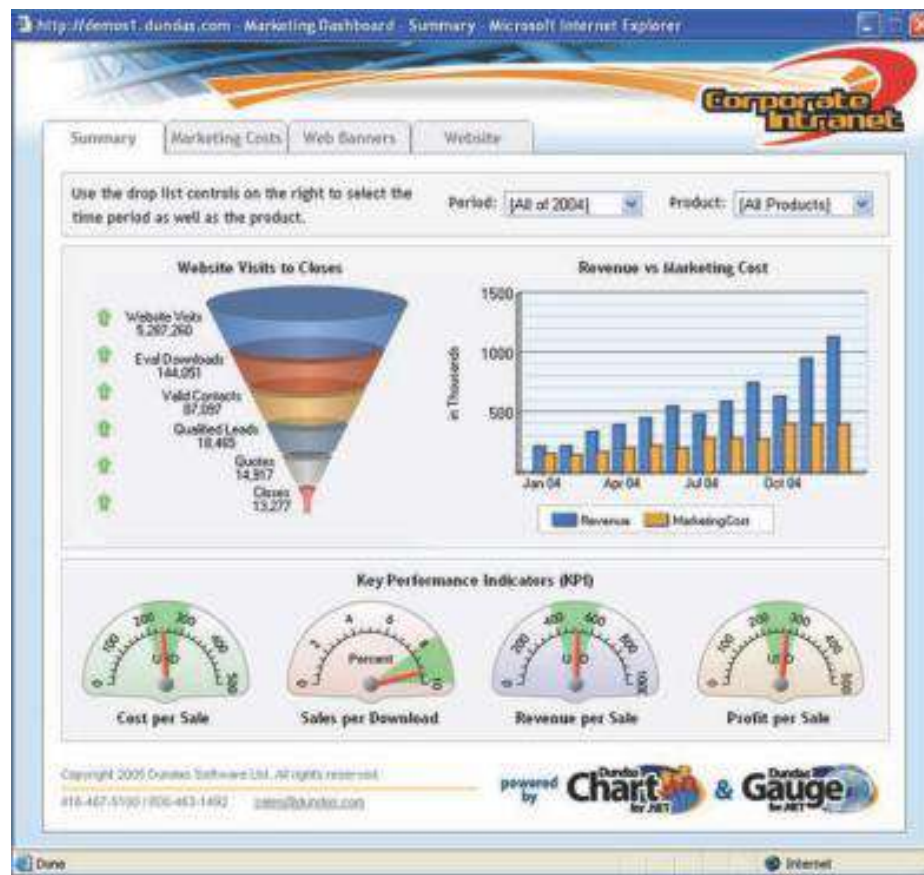


Figure 17: Exemple d'interface de tableau de bord (Pauwels et al. 2009)

Nous retiendrons que le tableau de bord (Dashboard) est un système d'information qui, dans une interface visuelle, regroupe les indices de performances les plus importants afin de permettre une évaluation générale et intégrée de la situation et permettre ainsi, une prise de décision stratégique.

2.2.4.1 Objectifs d'un tableau de bord

Selon Pauwels et al., 2009, l'objectif du tableau de bord n'est pas juste de communiquer une information claire et synthétisée sur l'état d'une performance pour répondre à la question quel est l'état actuel de la performance donnée ? Le tableau de bord doit aussi répondre aux questions suivantes :

- Pourquoi avons-nous atteint un tel niveau de performance ?
- Comment les résultats vont-ils évolués dans le temps ?
- Que faire pour améliorer les performances ?
- et quels sont les résultats escomptés après l'application des réformes nécessaires ?

Ainsi un tableau de bord doit répondre aux objectifs suivants (Pauwels et al., 2009) :

- Communiquer l'état actuel de la performance aux différents acteurs et décideurs.
- Faire le suivi des performances (monitoring).
- Planifier des actions pour améliorer la performance.

2.2.4.2 Conception du tableau de bord

La conception d'un tableau de bord passe généralement par les étapes suivantes (Pauwels et al., 2009) :

- Sélectionner des indicateurs clés de performance,
- Intégrer les données pour différentes périodes de temps,
- Etablir des relations entre les éléments du tableau de bord (cette mise en relation est l'étape qui permet de passer de la simple communication de l'information à l'interprétation de l'information qui est nécessaire pour l'aide à la décision),
- Faire des prévisions et simulation pour des planifications futures.

2.2.4.3 Exemple de tableau de bord

Comme exemple du tableau de bord nous prenons le « Dashboard of Sustainability » (DS) qui est un outil graphique et mathématique conçu dans les années 90 par un groupe de scientifiques dans le but d'évaluer la durabilité des pays et villes en procurant un résultat graphique facile à comprendre et qui peut servir comme outil d'aide à la décision (Figure 18). Le tableau de bord DS a été développé en partenariat par le « Consultative Group on Sustainable Development Indices (CGSDI) et le « Joint Research Center » (JRC). Le software de ce tableau de bord a été développé par le JRC.

Le DS organise l'information sur trois paliers ou niveaux. Le premier niveau est dédié aux indicateurs de valeur, le second niveau est dédié aux indices de groupes concernant les volets économique, social, et environnemental. Enfin, le dernier niveau concerne l'indice final qui synthétise toutes les valeurs des indicateurs. (Scipioni et al., 2009)

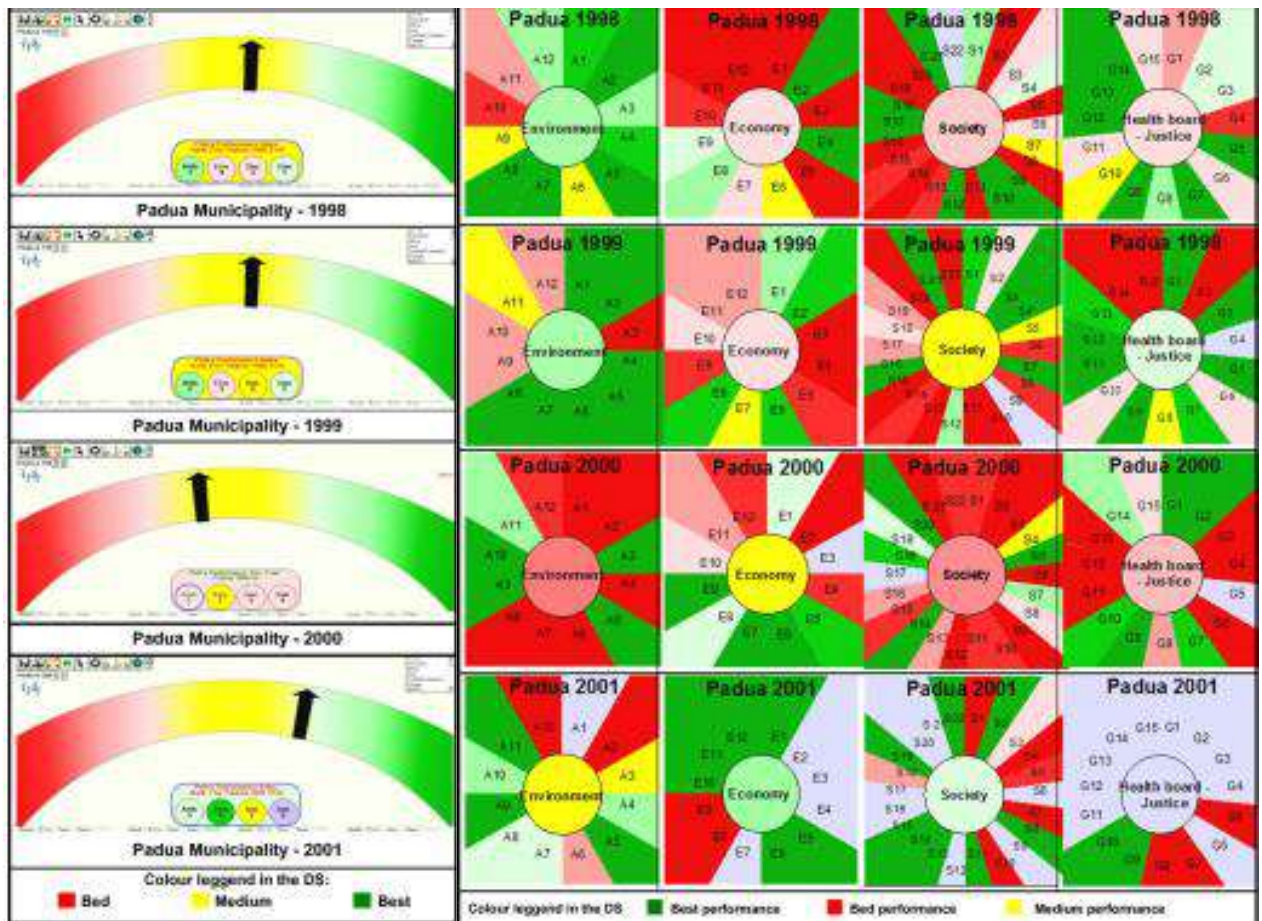


Figure 18: Exemple de tableau de bord de durabilité : comparaison des indices de durabilité de la municipalité de Padua de 1998 à 2001 (Scipioni et al. 2009)

2.3 L'évaluation environnementale stratégique en Algérie

Nous avons déjà vu, dans le chapitre précédant, que l'évaluation environnementale en Algérie obéit à une approche sectorielle de part la réglementation. Toutefois, certains projets, qui ont été développés ces dernières années, tels que le PAC de la région algéroise ou le projet du nouveau PDAU d'Alger 2011 de ParquExpo prônent les principes du développement durable et intègrent une vision stratégique de l'évaluation environnementale.

2.3.1 PAC de la côte Algéroise : Outil d'évaluation de la durabilité (outil d'évaluation et de gestion d'un écosystème)

Le Plan d'aménagement Côtier (PAC) qui introduit la gestion intégrée de la zone côtière algéroise est un bon exemple d'évaluation environnementale en Algérie. Après la ratification de la convention de Rio, l'Algérie³⁹ a mis en place plusieurs programmes dans le but de promouvoir un développement durable tel que le PNAEDD⁴⁰, à l'échelle nationale, et l'Agenda 21 à l'échelle locale.

Le PAC de la zone côtière algéroise a été lancé en 2002 par le MATE conjointement avec le Plan d'Action pour la Méditerranée (PAM). Ce plan, conformément à l'article 26 de la loi N° 02-02 du 05/02/01 relative à la protection et valorisation du littoral, a pour objectif, en plus du développement durable de la zone côtière, de trouver des solutions aux problèmes environnementaux et à la préservation des ressources (Figure 19).

Le PAC, vise l'aménagement et la gestion de la zone côtière composée de la wilaya d'Alger et 25 communes de la wilaya de Blida, 24 communes de la wilaya de Boumerdès et 18 communes de la wilaya de Tipaza (Figure 19). Nous voyons que l'échelle du territoire choisi pour ce plan ne s'intègre ni dans le découpage administratif ni dans l'échelle des instruments d'urbanisme PDAU et POS. Le territoire choisi obéit plutôt à l'unité du territoire de l'écosystème qui inclut la plaine de la Mitidja aux monts de l'atlas. Ce plan introduit ainsi sa propre échelle et ses propres limites indépendamment de la réglementation en vigueur en Algérie (Figure 20).

³⁹ Le développement durable ou soutenable a officiellement été introduit dans les écrits officiels en Algérie en 2001 avec l'adoption de la loi 01-20

⁴⁰ Plan National d'Action pour l'Environnement et le Développement Durable lancé par le gouvernement algérien lors d'une conférence internationale en juin 2002

2.3.1.1 La gestion intégrée des zones côtières (GIZC) du Plan d'Aménagement Côtier PAC

Le PAC est un exemple intéressant de gestion intégrée d'une région côtière en Algérie. L'étude suit le processus : analyse, programme et plan d'action. D'abord l'analyse est lancée dans le but d'élaborer une typologie des espaces littoraux, avec un cadastre qui comporte une étude environnementale et foncière, suivi par un programme puis par un plan d'action.

La gestion du PAC est suivie par un comité de pilotage composé de plusieurs acteurs qui représentent différents secteurs et différentes échelles de décision, placé sous la présidence du MATE et du comité scientifique national de l'environnement (Figure 21).

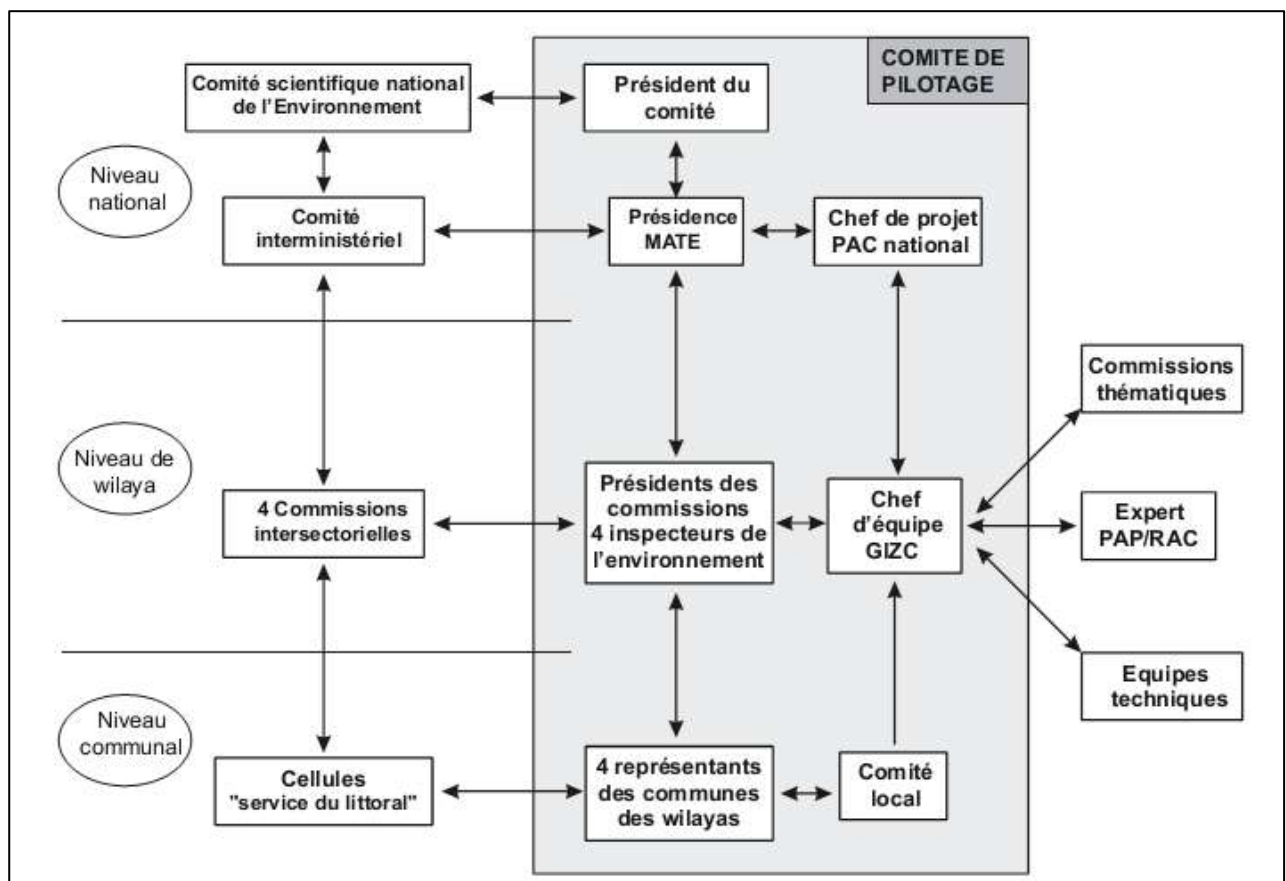


Figure 21: Composition du comité de pilotage du PAC (Larid, 2005)

Ce comité de pilotage représente une équipe pluridisciplinaire et multisectorielle composée des représentants des communes, inspecteurs environnementaux, experts techniques et décideurs scientifiques et administratifs et politiques. Cette architecture du comité de pilotage est inédite en Algérie, elle représente une exception propre au PAC qui n'est malheureusement pas institutionnalisée.

2.3.1.2 Méthodologie, l'approche imagine

Le PAC est un projet qui a pour but d'appliquer une Gestion Intégrée des Zones Côtières (GIGC) selon la méthode Imagine (Coudert and Larid, 2006). Cette méthode aide à bien définir le résultat recherché par les acteurs concernés et les moyens pour y parvenir. Ce résultat regroupe l'état futur de l'écosystème urbain qui doit être durable ainsi que les actions à mettre en place. Les actions sont regroupés dans un tableau de bord dont le but est de faire le suivi des progrès vers la durabilité souhaitée.

La méthode Imagine se base sur l'approche des systèmes souples (Soft Systèmes) de Checkland pour appréhender la complexité d'un sujet d'étude (Wilson, 2001). Elle concerne les problématiques complexes avec de multiples acteurs qui nécessitent des réflexions stratégiques (Bell and Morse, 2008). Elle a pour rôle de : « (...) *décrire, évaluer et explorer le niveau de durabilité d'un éco-socio-système dans le passé, le présent et l'avenir, au moyen d'indicateurs et dans une démarche participative considérant les acteurs comme experts à leur niveau.* » (Coudert and Larid, 2006).

A l'origine, la méthode Imagine développée par Bell et Morse suivait les cinq étapes suivantes (Figure 22):

1. Identifier les acteurs.
2. Identifier les indicateurs de durabilité.
3. Identifier la bande d'équilibre.
4. Développer le diagramme AMOEBA.
5. Mettre à jour l'AMOEBE en fonction des changements des valeurs des indicateurs de durabilité dans le temps.

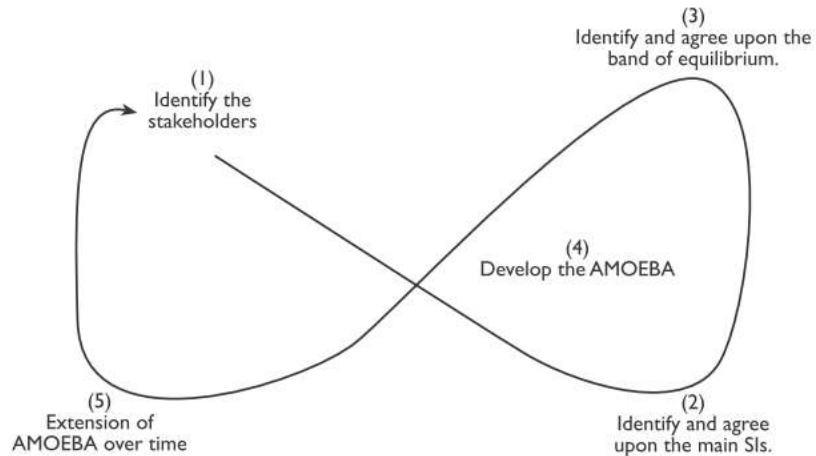


Figure 22: Les cinq étapes de l'analyse systémique de la durabilité (Bell and Morse, 2008, p.155)

Par la suite, et en partenariat avec le Plan Bleu la méthode a subi des modifications (Figure 23).

1. Comprendre le contexte.
2. Identifier les indicateurs de durabilité et la bande d'équilibre.
3. Développer le diagramme AMOEBA.
4. Mettre à jour l'AMOEBA et élaboration des scénarios.
5. Promouvoir et communiquer les résultats.

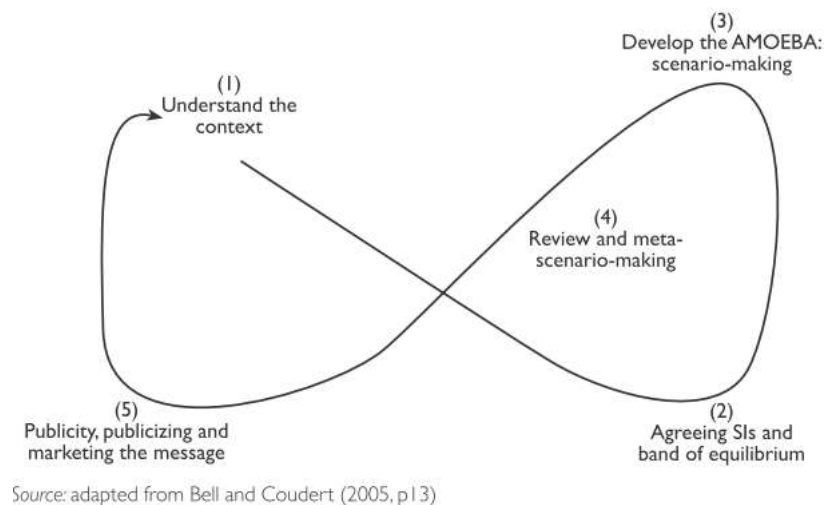


Figure 23: Les cinq étapes de la méthode Imagine (Bell and Morse, 2008, p. 156)

L'approche Imagine utilisée pour le PAC d'Alger, développe un processus qui se base sur celui de Bell et Morse et qui passe par quatre étapes qui sont (Coudert and Larid, 2006) (Figure 24):

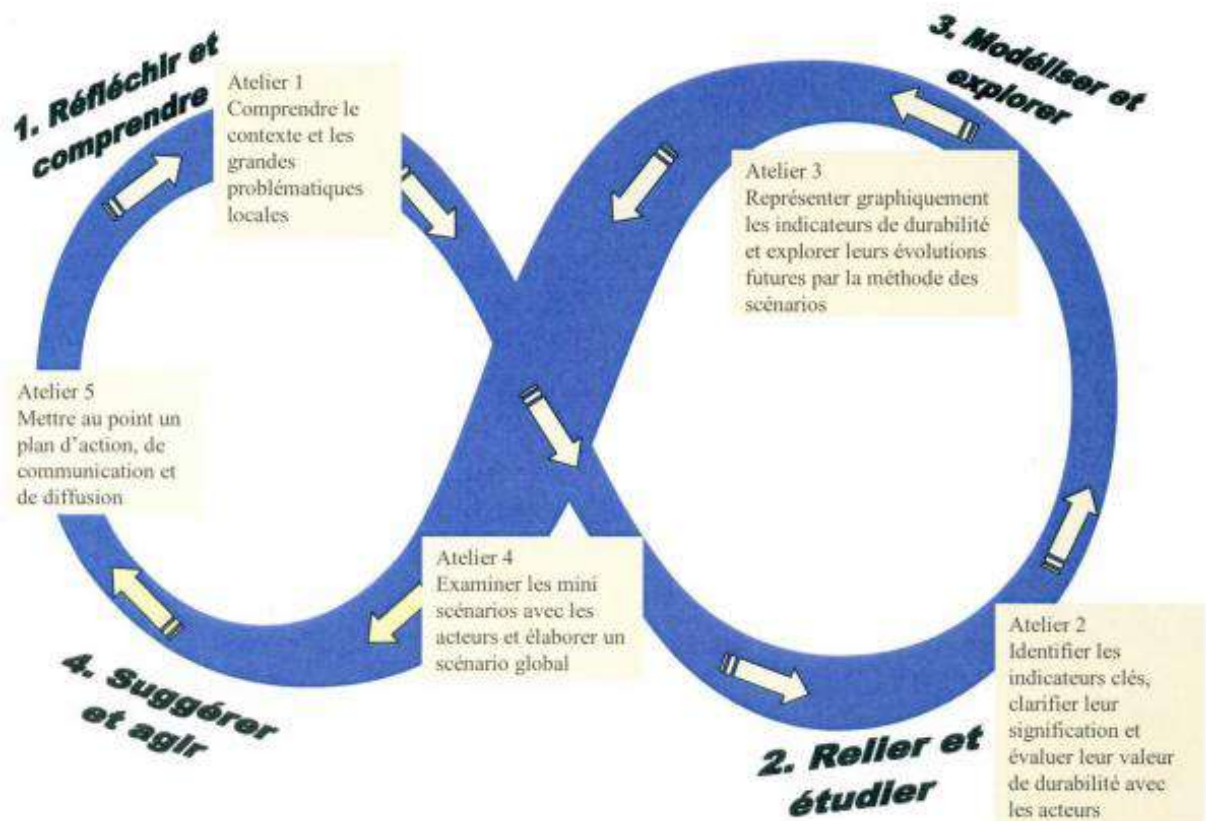


Figure 24: L'approche Imagine (Bell and Coudert, 2006, p.15)

Analyse :

- Réfléchir et comprendre** : comprendre le contexte et les grandes problématiques locales (1 atelier)
- Relier et étudier** : Identifier les indicateurs clés, les relier au système, les étudier pour clarifier leur signification et évaluer leur valeur d'équilibre et de durabilité avec les acteurs (1 atelier)

Prospective :

- Modéliser et explorer** : Présenter graphiquement par le graphe de type radar les indicateurs de durabilité et explorer leurs évolutions futures par la méthode des scénarios jusqu'à élaborer, avec les acteurs, un scénario global (2 ateliers)
- Suggérer et agir** : Mettre au point un plan d'action, de communication et de diffusion, ainsi que le suivi vers le développement durable du territoire. (1 atelier)

Les indicateurs de durabilité sont sélectionnés par les acteurs selon le modèle DPSIR⁴¹ «Force motrice – Pression – État – Impact – Réponses ». Par la suite, une zone d'équilibre et de durabilité est évaluée pour chaque indicateur. Cette zone d'équilibre devient la zone limite pour comparer l'état actuel aux objectifs de durabilité.

Le résultat est schématisé par un graphe Radar qui montre, simultanément, tous les indicateurs positionnés par rapport à la zone d'équilibre, ce qui nous renseigne sur les indicateurs placés en dehors de la zone d'équilibre et qui sont dans la zone critique.

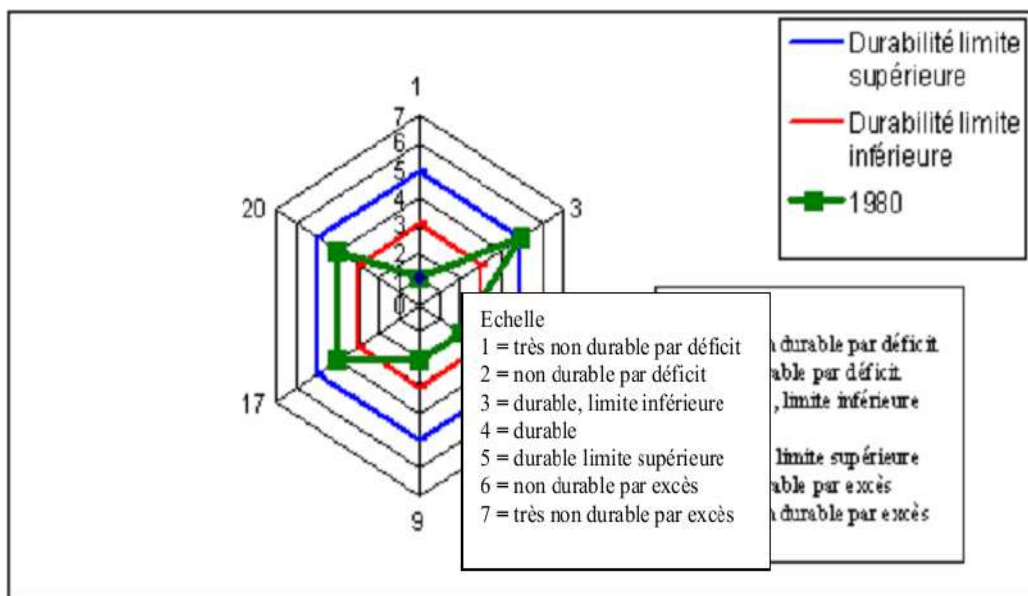


Figure 4. Schéma Radar – PAC Alger 2003. Indicateurs : (1) Extraction de sable ; (3) Linéaire sableux interdit à la baignade ; (8) Alimentation en eau potable ; (9) Réseau d'assainissement ; (17) Taux d'urbanisation ; (20) Linéaire côtier artificialisé.

Figure 25: Schéma radar du PAC d'Alger, 2003 (Coudert et Larid, 2006)

En plus de présenter l'état actuel comparé à la zone d'équilibre, le tableau de bord de la GIZC intègre aussi des graphes radars des scénarios tendanciel et alternatif (Figure 26).

⁴¹ DPSIR : Driving force, Pressure, State, Impact, Response (Force motrice, Pression, État, Impact, Réponse)

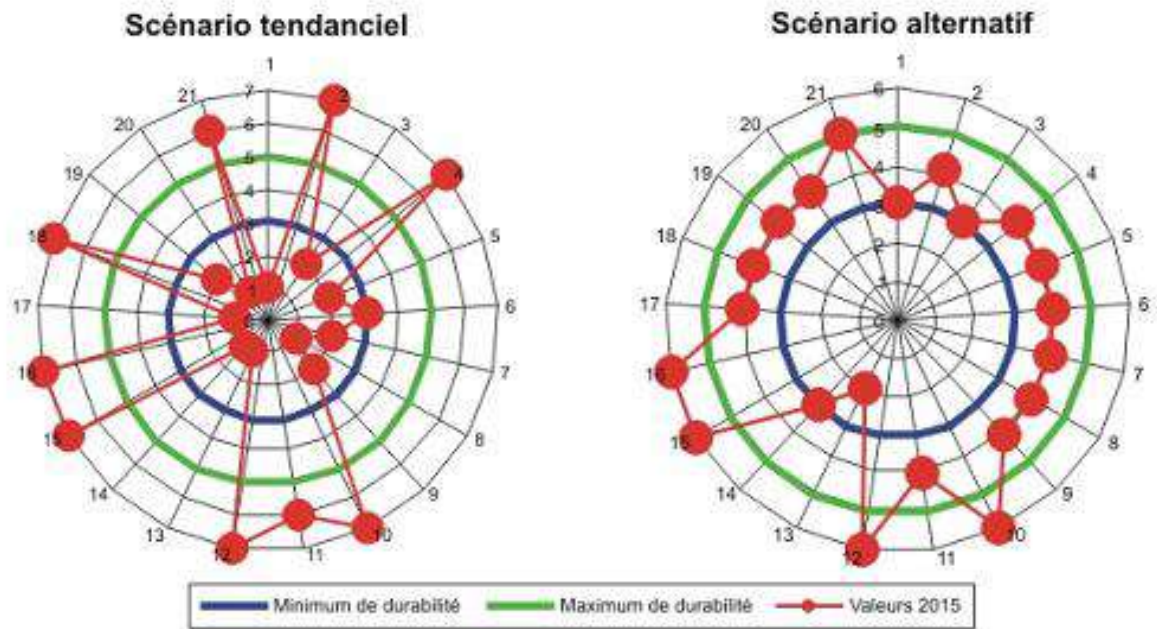


Figure 26: Radars comparatifs des scénarios tendanciel et alternatif (Coudert et Larid, 2006)

Le projet du PAC est un bon exemple d'outil d'évaluation de la durabilité. Le projet démontre la nécessité de l'intégration de l'approche adoptée, de part les outils et le cadre intersectoriel dans l'évaluation et l'action environnementale durable en Algérie. Il est important de noter que, malgré les résultats des plans d'actions proposés, le PAC s'est heurté aux difficultés de mise en œuvre et de suivi (Coudert, 2008). En effet, ce projet semble être artificiel, dans le sens qu'il ne s'intègre pas à la structure institutionnelle en vigueur en Algérie. La coordination de ce projet, a créé, pour les besoins du projet, un cadre artificiel par la mise en place d'un comité de pilotage, qu'on peut qualifier d'évènementiel, occasionnel, propre au projet du PAC. Ce projet est certes intéressant par sa méthode systémique, son analyse et son plan d'actions, mais il reste inefficace car conçu en dehors de toute institutionnalisation des procédés et actions.

En conclusion, cet exemple vérifie notre hypothèse qui souligne le besoin d'élaborer de nouveaux outils et démontre un déficit au niveau institutionnel quant à l'intégration de l'évaluation environnementale dans un nouveau cadre holistique, ici de développement durable.

2.3.2 Le nouveau PDAU d'Alger

Alger est régie par le Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme (PDAU) de 1995 élaboré par le Centre National d'Etudes et de Recherches en urbanisme (CNERU) selon une approche d'urbanisme rationaliste. Le PDAU est un plan qui gère l'utilisation du sol entre les besoins des différents secteurs de la ville selon une programmation d'habitat et d'équipements issue de la grille d'équipements.

La nouvelle révision du PDAU d'Alger par ParquExpo a proposé un nouveau PDAU qui s'intègre dans une perspective de développement durable (*PDAU d'Alger, Rapport d'orientation*, 2011). Le PDAU est présenté dans le rapport d'orientation comme un instrument de développement et de création de richesses. C'est un outil qui accompagne le développement d'Alger, il est stratégique par sa vision globale et future de la ville. Il est opérationnel par son modèle de programmation qui se base sur des projets structurants et sur son intervention continue. Enfin, c'est un outil réglementaire par son Masterplan de développement urbain.

La stratégie de cette proposition de PDAU intègre les principes du développement durable que nous retrouvons dans les six piliers du Masterplan :

1. Economique :
 - a. Développement économique compétitivité/emploi
 - b. Ouverture de la ville au monde/internationalisation
2. Social :
 - a. Cohésion territoriale/cohésion sociale/habitat
3. Environnemental :
 - a. Environnement /protection et valorisation
 - b. Modèle territorial
4. Institutionnel : Gouvernance

De plus, le nouveau PDAU d'Alger de ParquExpo⁴² a été présenté avec un plan stratégique de la ville d'Alger qui intègre les grands projets du Masterplan (Vies de Villes, 2012). Il

⁴² ParquExpo est le nom du bureau d'études Portugais chargé de l'élaboration du nouveau PDAU d'Alger 2011

est intéressant de remarquer que malgré le fait que la nouvelle proposition du nouveau PDAU n'a pas été adoptée officiellement, le plan stratégique a toutefois été lancé et des projets structurants sont en cours de réalisation.

Nous constatons que la nouvelle proposition du nouveau PDAU d'Alger rompt avec la planification rationaliste selon un programme issu de la grille d'équipement. C'est un exemple de planification stratégique dans une perspective de développement durable, (Figure 27). Ainsi, nous pouvons dire que le projet du nouveau PDAU d'Alger introduit dans la planification urbaine en Algérie, en plus des nouveaux concepts de développement durable, cohésion sociale, et équilibre de l'écosystème urbain ; des outils opératoires inédits tels que le Masterplan et le plan stratégique. Malheureusement, ces outils ne sont pas codifiés et ne bénéficient d'aucun support institutionnel dans la réglementation algérienne. La réglementation en vigueur relative aux instruments du PDAU et POS ne reconnaît pas ces outils. Sans l'intégration d'outils d'évaluation de la durabilité dans la procédure de planification urbaine, il semble difficile d'atteindre cet objectif de ville durable.

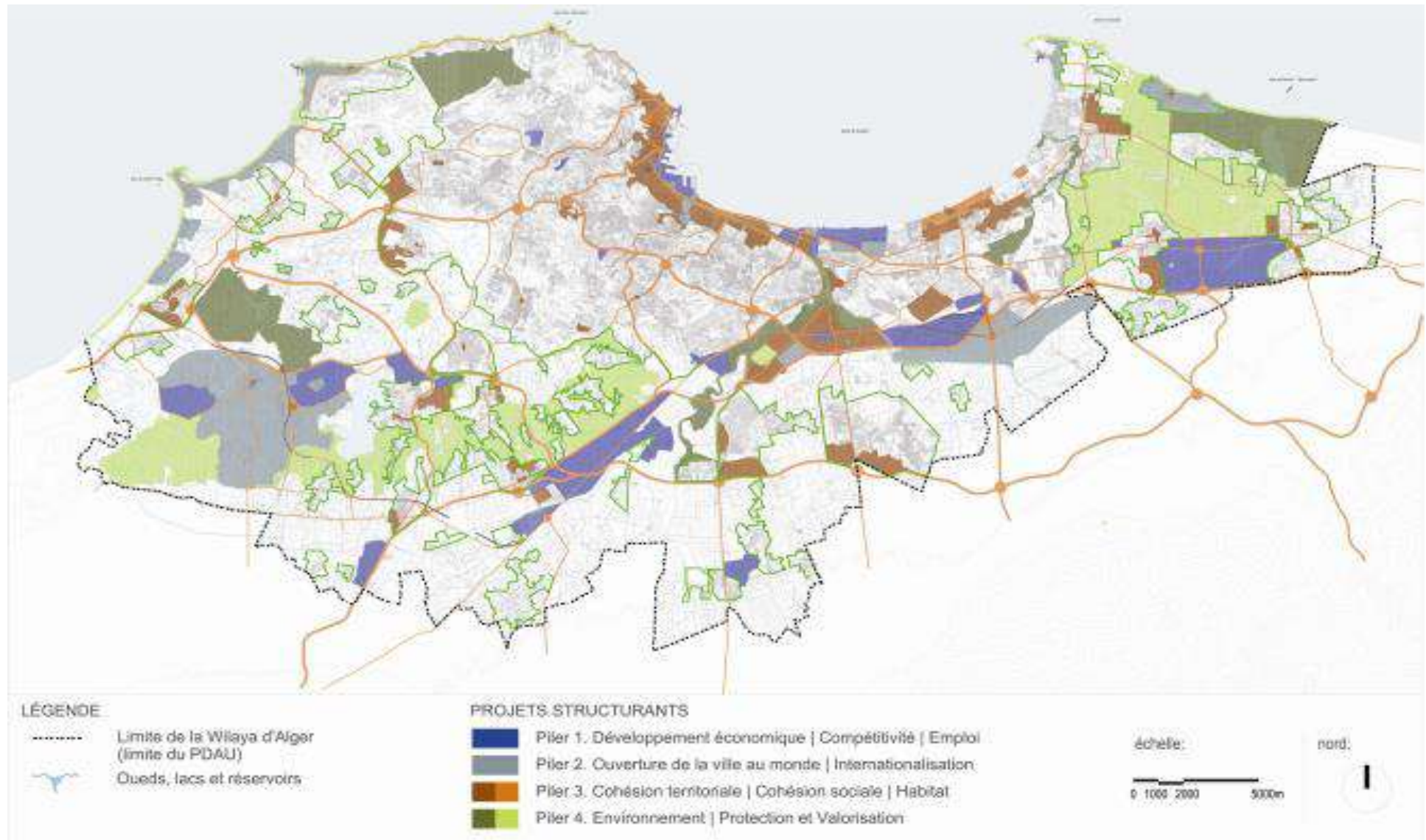


Figure 27: Carte du Masterplan d'Alger montrant les projets structurants selon les trois axes du développement durable, PDAU d'Alger (ParquExpo, 2011)

2.4 Conclusion

Contrairement à l'approche sectorielle, l'approche introduite par le développement durable intègre l'évaluation environnementale dans un cadre plus complet d'évaluation de la durabilité. C'est cette évaluation qui a fait l'objet de ce chapitre.

En premier lieu, nous avons montré qu'il existe plusieurs outils d'évaluation de la durabilité en vigueur actuellement dans le monde. Que ces outils visent tous à évaluer les performances d'un projet de développement urbain comparé à un objectif de durabilité préalablement défini. Certains outils ne visent que l'évaluation en vue de la certification, alors que d'autres sont intégrés dans le processus de planification urbaine. Ceux-là, visent en plus, le suivi et l'évaluation des alternatives pour aider à la prise de décision. Le résultat final de ces outils produit des fiches d'évaluation, des tableurs Excel, des tableaux de bord ou bien des programmes intégrés à des SIG et/ou CAD.

En second lieu, et sachant que derrière cette multitude d'outils d'évaluation environnementale, il y a un même mécanisme d'évaluation qui se base sur un système d'indicateurs de performance, nous avons présenté la méthode d'évaluation de la durabilité par les indicateurs et les indices. Ainsi, les indicateurs de performance sont les plus appropriés pour mesurer le déficit entre un état actuel et un objectif à atteindre. Ces indicateurs agrégés en indices de performances sont représentés sous forme graphique, de préférence un radar, et inscrit dans un tableau de bords qui synthétise le résultat de l'évaluation et offre une aide à la décision.

Enfin, nous avons montré, que bien que l'approche stratégique de l'évaluation de la durabilité ne soit pas règlementée en Algérie, elle apparait néanmoins, dans le projet du PAC et le projet de révision du PDAU 2011. Cependant, le PAC et sa démarche de GIZC, qui n'est pas reconnue et institutionnalisée comme outil d'évaluation de la durabilité, ne peut pas être intégré à une planification environnementale urbaine. De même que le projet du nouveau PDAU, instrument qui vise le développement durable de la ville, ne peut intégrer des outils d'évaluation de la durabilité, qui sont officiellement inexistantes en Algérie. Cette situation paradoxale traduit une incohérence dans la réglementation de planification environnementale urbaine algérienne par des applications qui intègrent des approches stratégiques alors que le cadre institutionnel est resté ancré dans une approche sectorielle. Ceci conforte notre hypothèse sur l'incapacité du cadre institutionnel en

vigueur, de prendre en charge les nouvelles approches et outils de planification urbaine environnementale.

Après avoir présenté l'évaluation environnementale selon l'approche stratégique de la durabilité, nous allons introduire, dans le prochain chapitre, l'évaluation du métabolisme urbain et le changement de paradigme qu'elle induit dans la planification urbaine.

Partie II : Modélisation du métabolisme urbain et identification des obstacles devant son intégration dans la planification urbaine environnementale

Dans la première partie du manuscrit nous avons dressé un état des lieux de l'évaluation environnementale urbaine en vigueur selon les approches sectorielle et stratégique. Nous avons situé, à chaque fois, le cas algérien à travers l'approche sectorielle du cadre institutionnel et officiel qui encadre ce champ et les outils et pratiques qui intègrent en plus l'approche sectorielle.

Dans cette deuxième partie, nous abordons le changement de paradigme introduit par la notion du métabolisme urbain à l'évaluation environnementale et développons notre propre modélisation du métabolisme urbain. Cette modélisation est indispensable pour la suite de notre recherche sur les modalités de son évaluation et intégration à la planification urbaine. Dans le troisième chapitre nous présentons d'abord, le cadre thématique retraçant les origines des concepts de l'écosystème urbain et du métabolisme urbain qui introduit les disciplines de l'écologie urbaine et l'industrie écologique. Puis, nous formulons notre propre modélisation de l'écosystème urbain et du métabolisme urbain afin de distinguer l'objet et les modes d'évaluation de celui-ci. En s'appuyant sur cette modélisation, nous explorons, dans le quatrième chapitre, l'évaluation du métabolisme urbain, ses outils et processus, selon ses deux dimensions de dynamique des flux et du contrôle institutionnel.

Par la suite, nous présentons quelques exemples d'évaluation du métabolisme urbain intégré à la planification urbaine et introduisons le cas de la nouvelle ville de Boughezoul : prémices d'une évaluation du métabolisme urbain en Algérie.

Chapitre 3. L'évaluation environnementale du métabolisme urbain : définition et essai de modélisation

3.1 Introduction

Dans les chapitres précédents de la première partie de notre manuscrit, nous avons abordé l'évaluation environnementale selon les approches sectorielle et stratégique. Nous avons vu que l'approche sectorielle de l'évaluation environnementale est indépendante de la planification urbaine et se base sur deux outils : l'EIE et L'EES. L'approche stratégique de l'évaluation environnementale dans le cadre du développement durable évalue, quant à elle, l'environnement intégré à la durabilité d'un projet urbain. Elle bénéficie d'une multitude d'outils, qui intègrent des indicateurs de durabilité, et servent à l'évaluation pour une certification et/ou pour une aide à la décision.

Dans ce chapitre, nous explorons l'objet de notre recherche, qui est l'évaluation environnementale du métabolisme urbain selon la nouvelle approche écosystémique de la ville et de l'environnement. Pour ce faire, nous présentons, en première partie de ce chapitre, le cadre thématique de cette approche à travers les nouvelles disciplines de l'écologie urbaine et écologie industrielle ainsi que les concepts de l'écosystème urbain et du métabolisme urbain (métabolisme urbain). En deuxième partie de ce chapitre, nous exposons notre méthode de modélisation du métabolisme urbain selon la méthode systémique. Cette modélisation de notre objet d'étude est une étape nécessaire pour notre recherche afin d'identifier les outils d'évaluation du métabolisme urbain et leur intégration dans la planification urbaine et que nous présentons dans le quatrième chapitre.

3.2 Présentation du nouveau paradigme : transdisciplinarité et nouveaux concepts

Les disciplines de l'écologie urbaine et de l'écologie industrielle ont introduit une nouvelle approche de conceptualisation de la ville et de son environnement naturel qui constitue un changement de paradigme, ou quasi-paradigme⁴³ (Dépelteau, 2011) pour l'étude de la ville et de son environnement naturel. Dans cette section, nous présentons le cadre disciplinaire de ces concepts ainsi que le développement historique de leur application dans le domaine de la recherche sur la ville et l'environnement naturel. Nous visons ainsi, la compréhension de l'approche et des modifications qu'elle introduit sur l'objet et les objectifs de l'évaluation environnementale.

3.2.1 Les nouvelles disciplines

Les concepts de l'écosystème urbain et métabolisme urbain se sont développés dans un cadre pluridisciplinaire de la recherche sur la ville et l'environnement naturel ou, pour être plus précis, dans un cadre transdisciplinaire de la recherche. En effet, la multidisciplinarité implique une multitude de disciplines qui étudient un objet commun selon la méthodologie de recherche de chacune et n'implique pas de coopération entre les disciplines. Par contre l'interdisciplinarité sous-entend une coopération des différentes disciplines, qui étudient un objet commun, par l'échange de savoir et même par un échange épistémologique. Cet échange et appropriation de concepts de l'autre crée un cadre « transdisciplinaire » des connaissances (Golubiewski, 2012), caractéristique de la recherche sur le métabolisme urbain. Nous présentons dans cette section la nouvelle écologie urbaine et l'écologie industrielle qui sont les deux disciplines les plus importantes de ce cadre transdisciplinaire de la recherche sur l'environnement urbain.

3.2.1.1 La nouvelle écologie urbaine

La nouvelle écologie urbaine tire ses origines de la science de l'écologie qui étudie l'abondance des organismes vivants, autres qu'humains et leur interaction avec leur

⁴³ Un quasi-paradigme est défini par Dépelteau comme un paradigme avec une influence assez restreinte qui « ...découle d'un consensus théorique et méthodologique au sein d'un groupe de chercheurs qui travaille dans l'ensemble de la communauté des chercheurs » p18, Dépelteau, 2011

environnement naturel⁴⁴ (Begon et al., 2005). L'écologie étudie, en général, les écosystèmes naturels en dehors de tout rapport avec l'homme considéré comme un agent externe et perturbateur de la nature. Toutefois, avec la prise en compte de la problématique environnementale dans les années 70 et celle du développement durable, dans les années 80, le besoin d'intégrer l'écologie et les sciences humaines dans la recherche sur la ville et l'environnement s'est peu à peu imposé.

Ainsi, au début du 21^{ème} siècle, en parallèle avec une prise de conscience globale de la nécessité de protéger l'environnement naturel, l'écologie a fait face au défi de comprendre le rôle joué par l'homme dans le développement des écosystèmes urbains. En conséquence, un nouveau champ d'étude de l'écologie dite urbaine qui intègre l'Homme dans ses modèles, a graduellement pris forme au cours des recherches sur ce thème (Alberti, 2008).

L'écologie urbaine se développe sur 3 axes (Marzluff et al., 2008):

- Écologie de la biosphère : écologie des organismes vivants dans les villes.
- Écologie de l'anthroposphère : écologie de l'Homme de la ville dans ses dimensions biologique, culturel, économique et politique.
- Étude de la ville en tant que système complexe particulier qui englobe les différentes sphères humaines et naturelles, et de leurs complexes interrelations.

C'est ce dernier axe concernant l'étude de la ville qui a développé des recherches visant à intégrer l'écologie et les sciences humaines dans l'étude de l'environnement urbain (Alberti et al., 2003).

Rappelons qu'avant cette approche, l'étude de l'environnement urbain était assurée, soit par l'écologie urbaine dite classique qui ne possède pas de méthodes pour modéliser les écosystèmes qui intègrent l'Homme et ses activités afin d'étudier leurs impacts sur l'écosystème urbain ; soit par les disciplines des sciences humaines, dont l'urbanisme et la géographie, qui étudient les pratiques et dynamiques de transformations de la ville sans prendre en compte les théories écologiques (Collins et al., 2000). Ainsi, la nouvelle écologie urbaine est venue combler le vide qui caractérisait l'étude de l'environnement

⁴⁴ Le terme écologie est cité en premier par Haeckel en 1869, et est définie comme : "l'étude scientifique des interactions entre les organismes et leur environnement" (ecology is the scientific study of the interactions between organisms and their environment" p12 (Begon et al., 2005).

urbain dans ses dimensions humaines et écologiques et qui nécessitait une méthode de recherche qui intègre les deux dimensions dans un objet d'étude commun : l'écosystème urbain.

Précisons ici que cette « nouvelle écologie urbaine », traduction de l'anglais de « the new urban ecology », est différente de l'écologie urbaine dite « classique » ou « orthodoxe » (Collins et al., 2000), qui étudie les écosystèmes urbains, mais traite exclusivement des espèces naturels et de leur habitat urbain sans aucune référence à l'Homme. Elle est aussi différente de l'écologie urbaine de l'école de Chicago, qui elle est d'orientation sociologique et n'intègre pas les préoccupations de l'écologie urbaine d'orientation naturelle écologique (Sukopp, 2002).

La nouvelle écologie urbaine, qui est devenue un nouveau champ de connaissance et de recherche en écologie, intègre l'Homme comme élément à part entière de l'écosystème urbain. Elle est définie en tant que « (...) sous-section intégrée de l'écologie. Elle traite des écosystèmes dominés par l'urbain : villes, banlieues, périphéries, villages qui sont reliés aux villes par le transport et les équipements, hinterlands touchés par les énergies et les matériaux venants du centre urbain ou de la périphérie⁴⁵ » (Marzluff et al., 2008). La nouvelle écologie urbaine nous permet d'étudier la ville en tant qu'écosystème urbain où l'urbain et le naturel s'entremêlent dans un seul et même système.

3.2.1.2 L'écologie industrielle

Apparue au début des années 90s, l'écologie industrielle est une discipline qui a connu beaucoup d'essor ces dernières années. Cette discipline s'est servi des résultats des travaux de l'écologie urbaine, de la physique et de la biologie pour intégrer industrie et écologie dans le cadre de la recherche sur la durabilité (Fischer-Kowalski, 2003; Kabongo, 2013).

L'écologie industrielle vise à changer la pratique industrielle (extraction, traitement, production, fabrication et rejet après consommation) en prenant comme modèle l'équilibre fonctionnel de l'écosystème naturel. Cette discipline cherche ainsi, à réduire les déchets industriels, non pas selon la formule « end of pipe » (qui vise les déchets rejetés à la fin de

⁴⁵ En anglais: "Urban Ecology is an integrative sub-discipline of ecology. It focuses on urban-dominated ecosystems: these include cities, suburbs, exurbs, villages connected to cities by transportation or utilities, and hinterlands managed or affected by the energy and material from the urban core and suburbs." (Marzluff et al., 2008)

leur cycle de vie), mais plutôt par la rationalisation de tous le processus : de la production à la mise en décharge (Erkman, 2004).

En effet, un écosystème industriel idéal est un écosystème qui ne produit pas de déchets proprement dit mais, seulement des ressources utilisées et réutilisées à divers niveaux de la production, transformation et consommation (Figure 28).

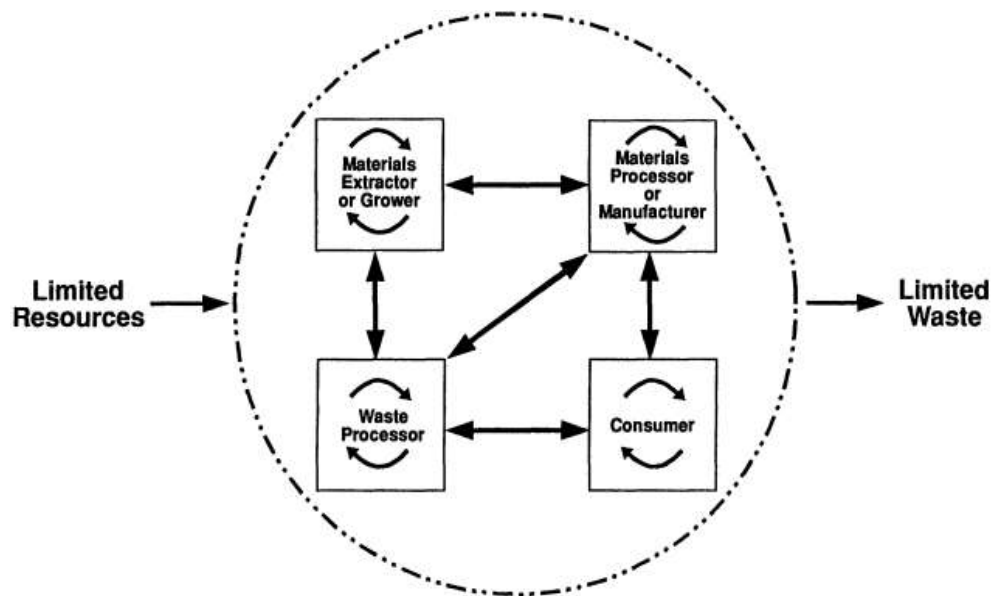


Figure 28: Modèle d'un écosystème industriel (Jelinski et al.1992)

Ce modèle sous-entend une coopération entre les différents acteurs du processus industriel. Cette coopération suit la règle des bonnes associations des activités industrielles appelée biocénose. Cette dernière est développée dans des parcs éco-industriels (Eco-industrial Parks EIP), qui sont des « zone(s) où les entreprises coopèrent pour optimiser l'usage des ressources. » (Erkman, 2004).

Enfin, l'écologie industrielle est à l'origine du développement des outils de quantification des flux de matières qui entrent dans le cycle de l'extraction, production, consommation, recyclage et déchets, tel que l'outil d'Analyse des Flux de Matières (AFM⁴⁶).

⁴⁶ En anglais MFA (Material Flow Analysis)

3.2.2 Nouvelle conceptualisation et nouveaux modèles

La nouvelle écologie urbaine et l'écologie industrielle ont introduit une nouvelle conceptualisation de l'environnement naturel urbain. Ce dernier n'est plus un secteur parmi d'autres ni un facteur intégré aux autres facteurs : social et économique, dans le triptyque du développement durable. Ces nouvelles disciplines intègrent environnement et ville dans un écosystème urbain et qualifient leurs échanges de métabolisme urbain.

3.2.2.1 L'écosystème urbain et l'approche écosystémique

Définir l'écosystème urbain n'est pas chose aisée selon que l'on parle de l'entité physique et naturelle ou du concept d'écosystème. Le concept d'écosystème, à qui nous devons la paternité à Tansley, 1935⁴⁷, définit le cadre ou l'ensemble qui permet de modéliser le système dans toute sa complexité. Le concept nous permet ainsi d'étudier l'entité physique qui apparaît avec une structure changeante et des frontières diffuses selon l'angle de vue de la discipline sujet de la recherche.

Ainsi, une définition générale englobe toutes les dimensions traitées par les différentes disciplines du champ de l'écologie urbaine. L'écosystème urbain est défini comme étant l'ensemble des sphères abiotiques (atmosphère, lithosphère, hydrosphère) et biotiques (biosphères et anthroposphère), (Marzluff et al., 2008) (Figure 29).

⁴⁷La paternité du concept « écosystème » est attribué à Tansley cité dans son article « *The use and abuse of vegetational concepts and term* » publié en 1935 in *Ecology*16:284–307 (Pickett et al. 2001).

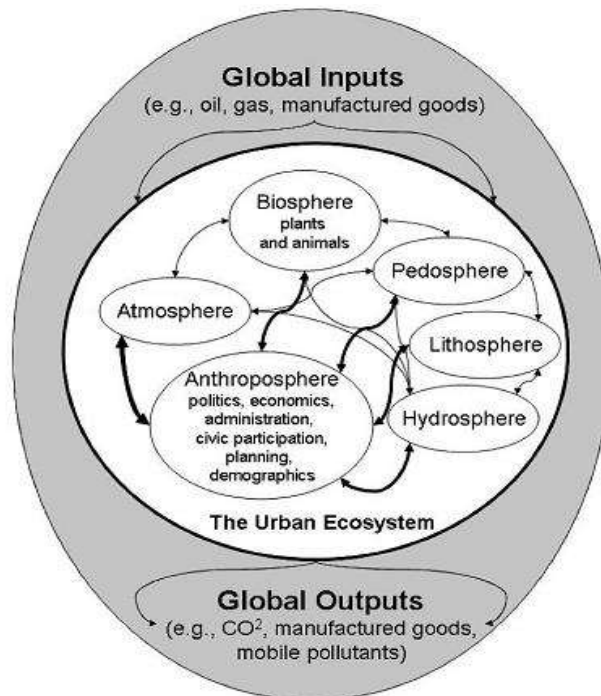


Figure 29: Les composants de l'écosystème urbain (Marzluff et al. 2008)

Alberti (Alberti and Susskind, 1996) propose une définition plus ciblée à la ville où l'écosystème urbain est composé d'un système urbain qui consomme énergies et matières et rejette émissions et déchets (Figure 30). Ce système puise matière et énergie des sources de la nature et rejette déchets et émissions vers les bassins naturels. Il intègre les sous-systèmes : environnement naturel, économie, infrastructure, population et communauté autour des activités : nutrition, habitat, industrie, transport et services (Figure 30).

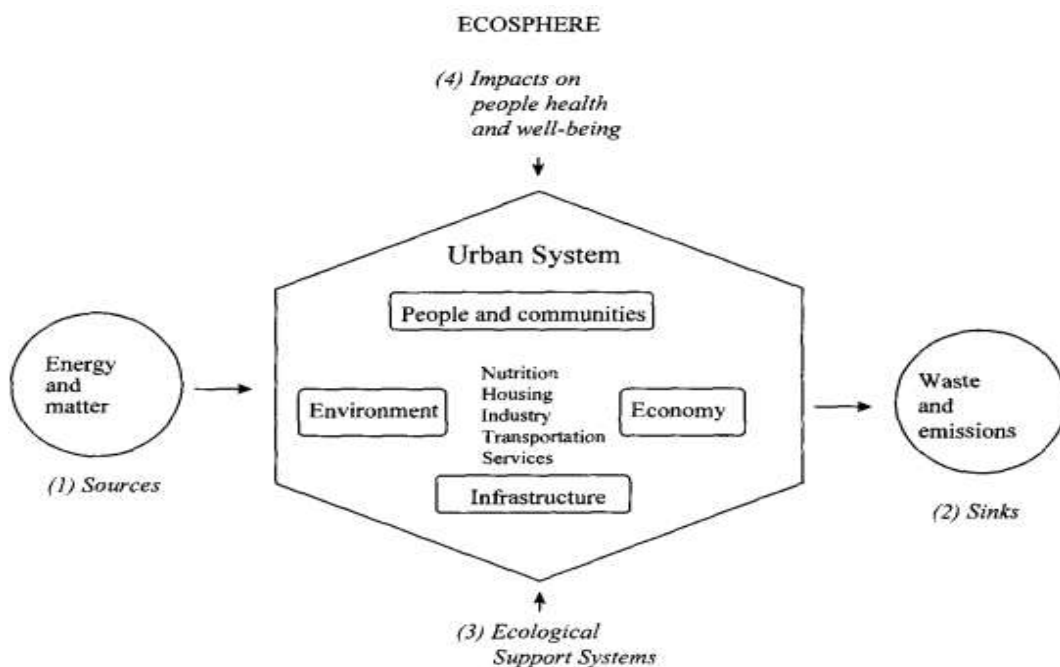


Figure 30: Composition de l'écosystème urbain (Alberti 1996)

Alberti reconnaît à l'écosystème urbain certaines caractéristiques particulières qui aident à appréhender sa structure et sa dynamique lors de sa modélisation. Ces caractéristiques sont (Alberti, 2008) :

- Hiérarchie : l'écosystème urbain peut être représenté par une hiérarchie spatiale allant du plus petit élément : la demeure, le bâtiment, et la niche d'habitat, à l'interaction de plusieurs l'ensemble de ces éléments qui donneraient le quartier ou un sous-bassin. Cette caractéristique donne la qualité de la « near-decomposability » qui permet de simplifier la complexité de l'écosystème urbain
- Propriétés émergentes : l'écosystème urbain présente des propriétés émergentes nouvelles et inédites à cet écosystème qui n'existe pas chez les éléments qui le composent.
- De plus il est caractérisé par : la multiplicité des équilibres, la non linéarité, la discontinuité, l'hétérogénéité spatiale et la résilience.

Certes, on peut penser que le terme écosystème n'est pas approprié pour la ville parce que dans les écosystèmes : «...les organismes producteurs et consommateurs (surtout les micro-consommateurs) coexistent dans une relation obligatoire d'interdépendance mutuelle qui assure une cascade d'énergie et un recyclage continu des nutriments chimiques à travers l'écosystème. » (Rees, 2003)⁴⁸ ; alors que pour la ville, la majorité des organismes qui soutiennent/supportent sa vie et son développement se trouvent en dehors des limites de l'espace de l'environnement urbain.

Toutefois, de cette critique, nous comprenons que l'écosystème urbain ne représente pas seulement la ville et son environnement immédiat, il intègre forcément un espace beaucoup plus grand qui englobe : « ...le capital naturel total des flux dont la ville dépend pour répondre aux besoins de ses habitants sur le long-terme »⁴⁹. Cet espace est appelé par Alberti « l'espace urbain écologique » “the urban ecological space” (Alberti and Susskind, 1996).

⁴⁸ En anglais “...producers and consumers organisms (particularly micro-consumers) coexist in a mutually interdependent obligatory relationship which ensures a cascade of energy and the continuous recycling of essential chemical nutrients through the ecosystem.” (Rees, 2003)

⁴⁹ En anglais “...the total natural capital and flows on which a city depends to meet the long-term needs of its inhabitant”, (Alberti, 1996)

En définitif, nous pouvons assumer que l'écosystème urbain dépasse la ville pour englober son hinterland nourricier le tout formant un système écologique urbain. L'écosystème urbain est un système. Ce n'est pas un ensemble ou une multitude de secteurs. C'est un système complexe qui peut être décomposé en plusieurs sous-systèmes. Ainsi, toute recherche sur l'écosystème urbain impose sa modélisation selon la méthode systémique.

3.2.2.2 *Le métabolisme urbain*

Le deuxième concept introduit par l'approche écosystémique de l'évaluation environnementale est le métabolisme urbain (métabolisme urbain). Le concept « métabolisme urbain » est une métaphore qui trouve son origine par analogie avec le métabolisme d'un organisme vivant. Un métabolisme en biologie, est l'« ...ensemble des processus complexes et incessants de transformation de matière et d'énergie par la cellule ou l'organisme, au cours des phénomènes d'édification et de dégradation organiques (anabolisme et catabolisme)⁵⁰. » (Larousse expression, 2002)

Ainsi, le métabolisme est un processus de transformation naturelle qui se produit dans un organisme vivant qui, pour les besoins de sa survie et son développement, puise des ressources vitales de son environnement naturel extérieur (oxygène, énergies, eau, matières) pour les transformer en énergie et tissu nécessaire à son développement, enfin la transformation finale de ces ressources aboutit à des déchets qui sont rejetés.

De même, la ville se développe et croît ; elle absorbe des ressources de la nature les transforme pour construire des tissus urbains et les décompose pour les rejeter comme déchets. La ville est perçue comme un organisme vivant (Girardet, 1999) et la dynamique de flux suit le même processus qui passe par les deux phases de transformation : l'anabolique qui construit les tissus de l'organisme et la catabolique qui détruit et rejette les déchets.

Emprunté à la biologie, ce concept a été introduit dans la recherche académique et transdisciplinaire de la durabilité urbaine comme métaphore basée sur l'analogie avec cette transformation des matières et énergies des organismes vivants. Cette métaphore

⁵⁰ Anabolisme : «ensemble des réactions chimiques aboutissant à la formation des constituants de l'organisme à partir des éléments simples de la digestion » ; catabolisme : l'«ensemble des réactions chimiques des organismes vivants, permettant la synthèse de substances à partir des éléments de base fournis par l'alimentation, et aboutissant à la construction ou au renouvellement des tissus.» Larousse expression, 2002

conceptualise la dynamique des flux entrant et sortant (input et output) dans une ville, ainsi que les processus de transformations de ressources pour la construction et le développement de ses tissus urbains.

La définition du concept a clairement évolué depuis celle donnée par Wolman en 1965 et qui selon lui «...les besoins/exigences métaboliques d'une ville peuvent être définis comme tous les matériels et commodités nécessaires pour subvenir aux besoins des habitants d'une ville, que ce soit chez soi, au travail, ou pour les loisirs. » (Wolman, 1965)⁵¹. Dans la littérature, le métabolisme urbain est généralement défini comme : « ...la conceptualisation d'une ville telle qu'un organisme ou écosystème urbain et l'identification des ressources entrant dans le système et les produits et déchets sortant du système⁵² » (Stefan Anderberg, 2012). Enfin Kennedy donne une définition plus vaste où le métabolisme urbain est « ...la somme totale des processus techniques et socio-économiques qui se produisent dans une ville pour engendrer de la croissance, la production d'énergie et l'élimination des déchets⁵³ » (Kennedy et al., 2007).

Ainsi, par analogie avec le monde vivant et la nature, la métaphore du métabolisme urbain est introduite et acceptée par la recherche académique pour décrire les échanges de matières et d'énergies entre la ville créée par l'Homme et son environnement naturel. Dans une perspective de ville durable, le concept est actuellement au centre de diverses recherches académiques transdisciplinaires (Broto et al., 2012a; Kennedy et al., 2011b; Zhang, 2013a)

a. Origine du concept

Il est communément admis que nous devons à Abel Wolman, ingénieur américain, la première introduction du concept de métabolisme urbain dans l'étude des échanges de flux d'une ville (Wolman, 1965). Toutefois, bien avant Wolman, le terme de métabolisme a été utilisé dans différents contextes. Ainsi, Karl Marx l'a introduit en 1883 (Golubiewski, 2012; Lin et al., 2012; Zhang, 2013a) dans son ouvrage le capital, mais pas en tant que

⁵¹ Texte original en anglais "The metabolic requirements of a city can be defined as all the materials and commodities needed to sustain the city's inhabitants at home, at work and at play." (Wolman, 1965)

⁵² Texte original en anglais: "Urban metabolism Involves conceptualizing a city as an organism or ecosystem and tracking resources that go into the system and products and wastes that leave it."

⁵³ Texte original en anglais "Urban metabolism may be defined as "the sum total of the technical and socio-economic processes that occur in cities, resulting in growth, production of energy, and elimination of waste" (Kennedy et al., 1997)

métaphore (McDonald and Patterson, 2007). Il faut attendre les années 20 du siècle dernier pour que des chercheurs en sociologie urbaine de l'école de Chicago, tels que Robert Park et Ernest Burgess, emploient ce concept en faisant l'analogie entre la ville et les organismes vivants dans leurs études, notamment Burgess dans son article « The growth of the city : an introduction to a research project » en 1925 (Lin et al., 2012).

En définitif, nous retiendrons que c'est Wolman qui a introduit en 1965 le concept de « métabolisme urbain » dans son sens actuel selon la perspective de l'écologie urbaine dans son article « *The metabolism of cities* » en lui donnant le sens de l'analogie entre les échanges de flux de la ville et de l'organisme vivant (Wolman, 1965). Selon Wolman, « ...les besoins/exigences métaboliques d'une ville peuvent être définis comme tous les matériaux et commodités nécessaires pour subvenir aux besoins des habitants d'une ville, que ce soit chez soi, au travail, ou pour leur récréation. » (Wolman, 1965)⁵⁴.

Dans cet article phare, Wolman a évalué le métabolisme d'une hypothétique ville américaine d'un Million d'habitants. Il a quantifié les flux input et output et a démontré que les villes américaines consomment beaucoup d'énergie et produisent par la même beaucoup de déchets et de pollution (Wolman, 1965). Bien que dans son article, Wolman se base sur une ville hypothétique et la méthode d'évaluation du métabolisme urbain utilisée omet certaines ressources, ces travaux sont devenus la référence en termes de métabolisme urbain. Par la suite, durant les années 70 et 90 du siècle dernier, diverses recherches sur le métabolisme urbain des villes réelles ont été initiées pour des villes telles que Tokyo, Bruxelles et Hong Kong (Kennedy et al., 2011).

Enfin, dans son ouvrage, « *Creating sustainable cities* », Girardet dans sa recherche d'une ville durable, réintègre le concept de métabolisme urbain et compare la ville à un super-organisme qui possède un métabolisme. Mais pour que la ville soit durable, son métabolisme urbain doit suivre non pas un processus linéaire mais circulaire (Girardet, 1999).

⁵⁴ En anglais «The metabolic requirements of a city can be defined as all the materials and commodities needed to sustain the city's inhabitants at home, at work and at play.» (Wolman, 1965)

b. Méthodes de recherche sur le métabolisme urbain

La recherche sur le métabolisme urbain connaît un grand intérêt dans le monde académique et se développe suivant différents axes. Zhang, dans sa synthèse de méthodes de recherche sur le métabolisme urbain, et considérant le métabolisme urbain comme un système complexe, a classé ces méthodes en quatre grands groupes, en fonction de l'éléments du système développé (Zhang, 2013) (Figure 31).

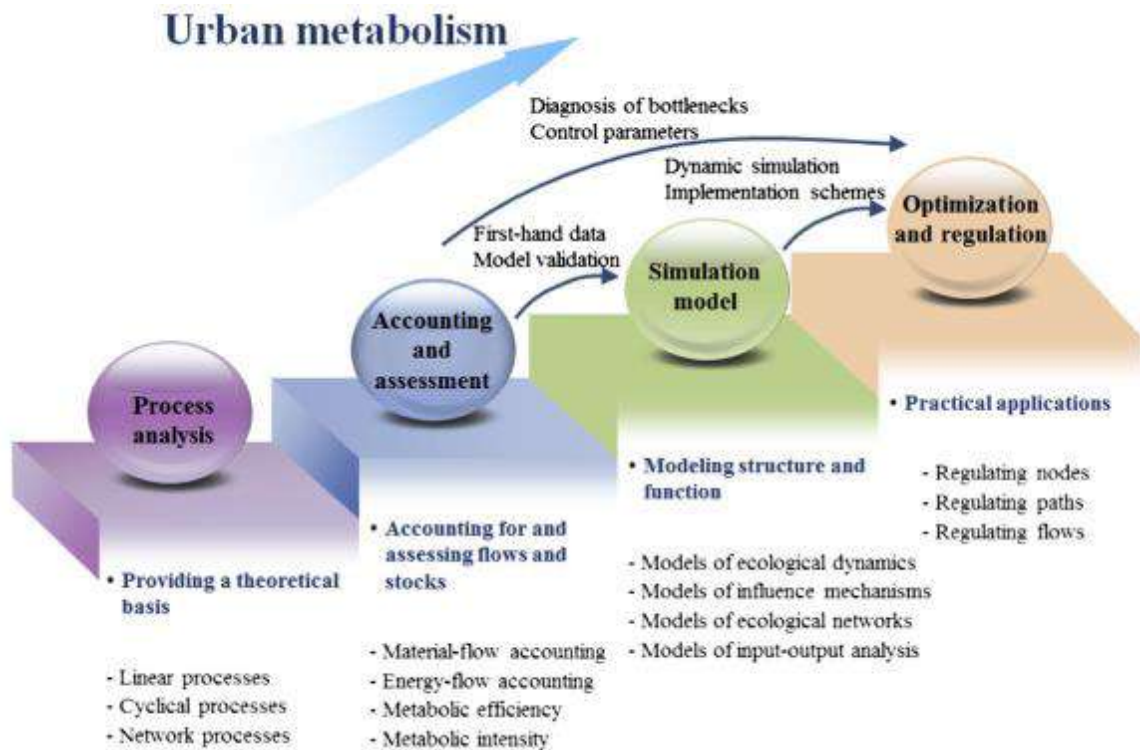


Figure 31: Méthodes de recherche utilisées pour étudier le métabolisme urbain (Zhang, 2013)

Ces quatre grands groupes sont :

- Analyse du processus : Les méthodes, ici, ciblent le processus suivi par la dynamique du système. Elles offrent une base théorique à la recherche telle que nous l'avons vue à travers les modèles de cycle, linéaire (Wolman, 1965), circulaire (Girardet, 1999) ou en réseau (Newman, 1999; Zhang, 2013)
- Evaluation et quantification : elles ciblent l'évaluation des flux et des niveaux de stocks en quantifiant matière et substances. Elles se basent sur les outils d'analyse du métabolisme urbain tels que : l'Analyse des Flux de Matière (AFM) ou l'empreinte écologique.

- Modèle de simulation : Les méthodes modélisent la structure et la dynamique du système du métabolisme urbain tel que le modèle en réseau. Elles se servent des données et résultats des recherches sur l'évaluation des flux pour validation.
- Optimisation et régulation : Les méthodes visent l'application pratique en ciblant la régulation des flux.

En prenant appui sur la synthèse de Zhang (2013), nous pouvons dire que la méthode que nous avons élaborée pour notre recherche, et que nous présentons dans la section suivante, propose une modélisation du métabolisme urbain, de sa structure et dynamique selon un processus circulaire. Elle intègre des méthodes d'évaluation des flux dans le but de proposer une application pratique de l'évaluation du métabolisme urbain qui soit intégrée au processus de planification urbaine.

c. Conceptualisation et modélisation du métabolisme urbain

La métaphore du métabolisme urbain reste un concept abstrait. Pour les besoins de la recherche sa modélisation est nécessaire. Justement sa modélisation est passée par plusieurs étapes. D'abord le modèle de la boîte noire (black box) proposé par Wolman. Le métabolisme urbain est conçu selon un modèle linéaire caractérisée par les flux input, qui alimentent la ville, conçue comme une boîte noire, et les flux outputs rejetés (Figure 32).



Figure 32: Modèle simple linéaire de métabolisme urbain (Wolman, 1965)

Dans une perspective de développement durable, Girardet a imaginé un métabolisme urbain circulaire (Figure 33). Bien que le modèle de Girardet fait intervenir la nécessité de réduire les flux input et output en favorisant un métabolisme urbain circulaire, le modèle reste celui de la boîte noire.

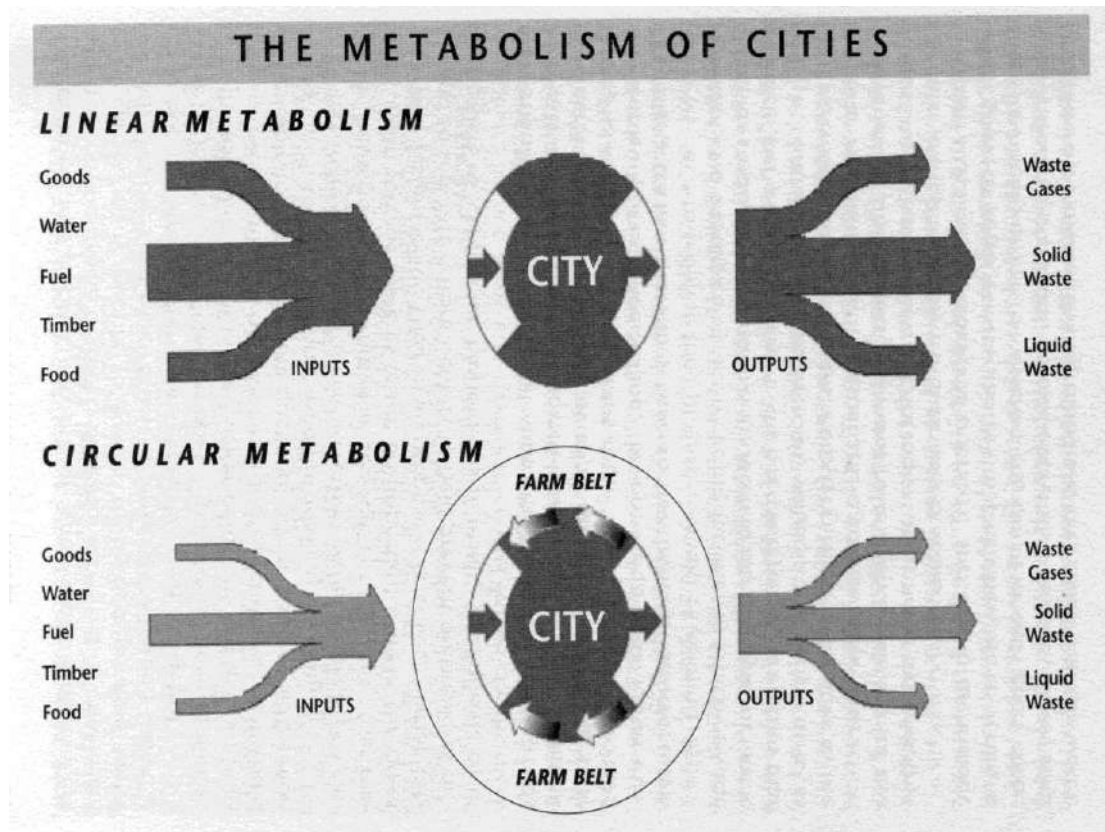


Figure 33: Modèle de métabolisme urbain linéaire et circulaire (Girardet, 1999)

Contrairement aux deux premiers cas, Newman (Newman, 2001, 1999) propose un modèle de métabolisme urbain qui dépasse la black box. Il propose un modèle qui identifie la ville en tant que système urbain (gouvernance, projet urbain, industrie, services, infrastructure...) qui intègre les données socio-économiques. De plus, il introduit la notion de qualité de vie. Selon Newman, les activités urbaines consomment certes, des ressources mais ne produisent pas que des émissions et déchets. La ville, par ses activités urbaines, produit une qualité de vie (livability), (Figure 34).

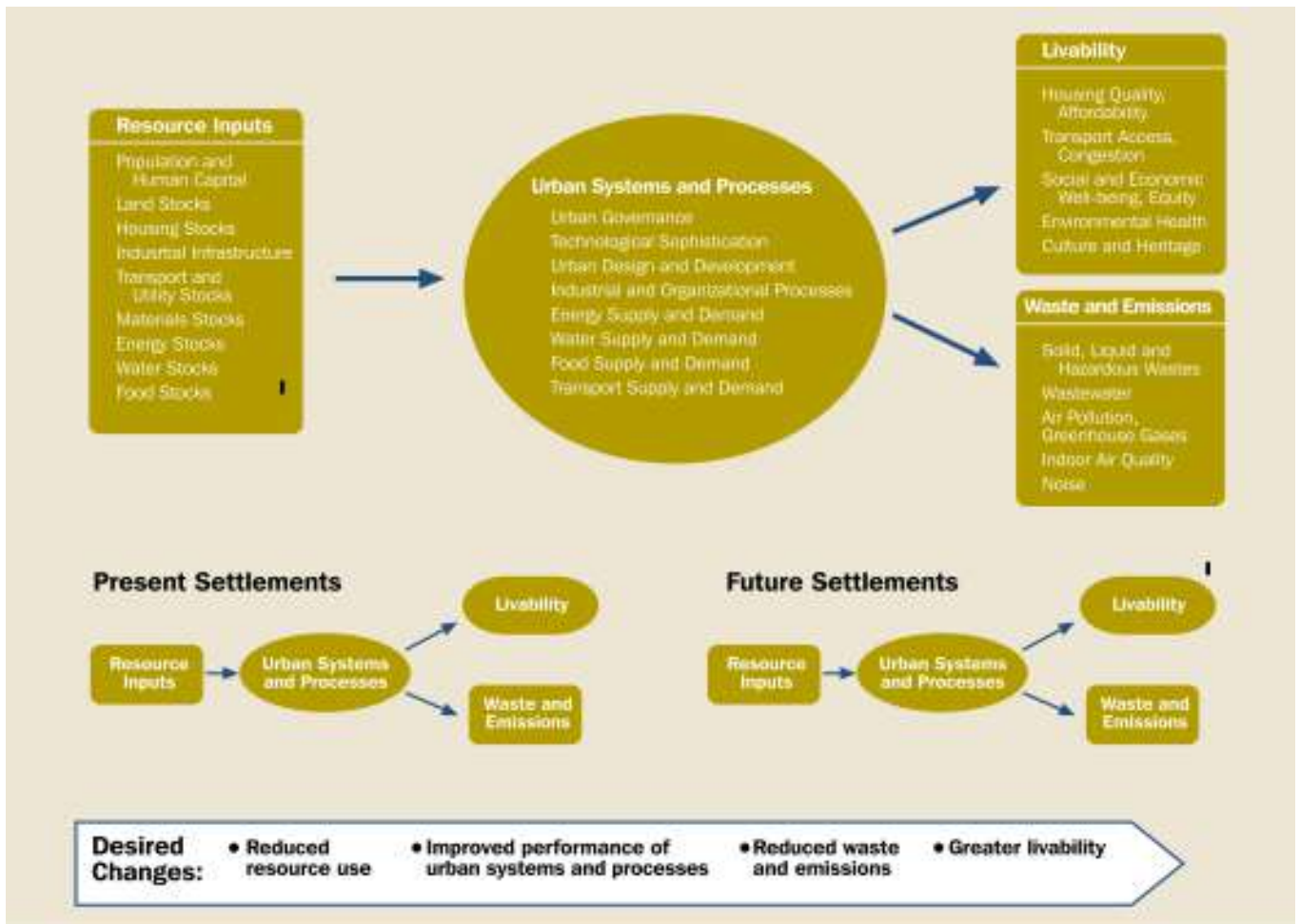


Figure 34: Modèle élargi du métabolisme urbain (Newman et al, 1996)

Le modèle de Newman rejoint celui proposé par Zhang de modèle ouvert qui explore la boîte noire. Il propose un système complexe de réseau qui englobe tous les composants de la ville et de l'environnement naturel (Zhang, 2013a; Zhang et al., 2010) (Figure 35).

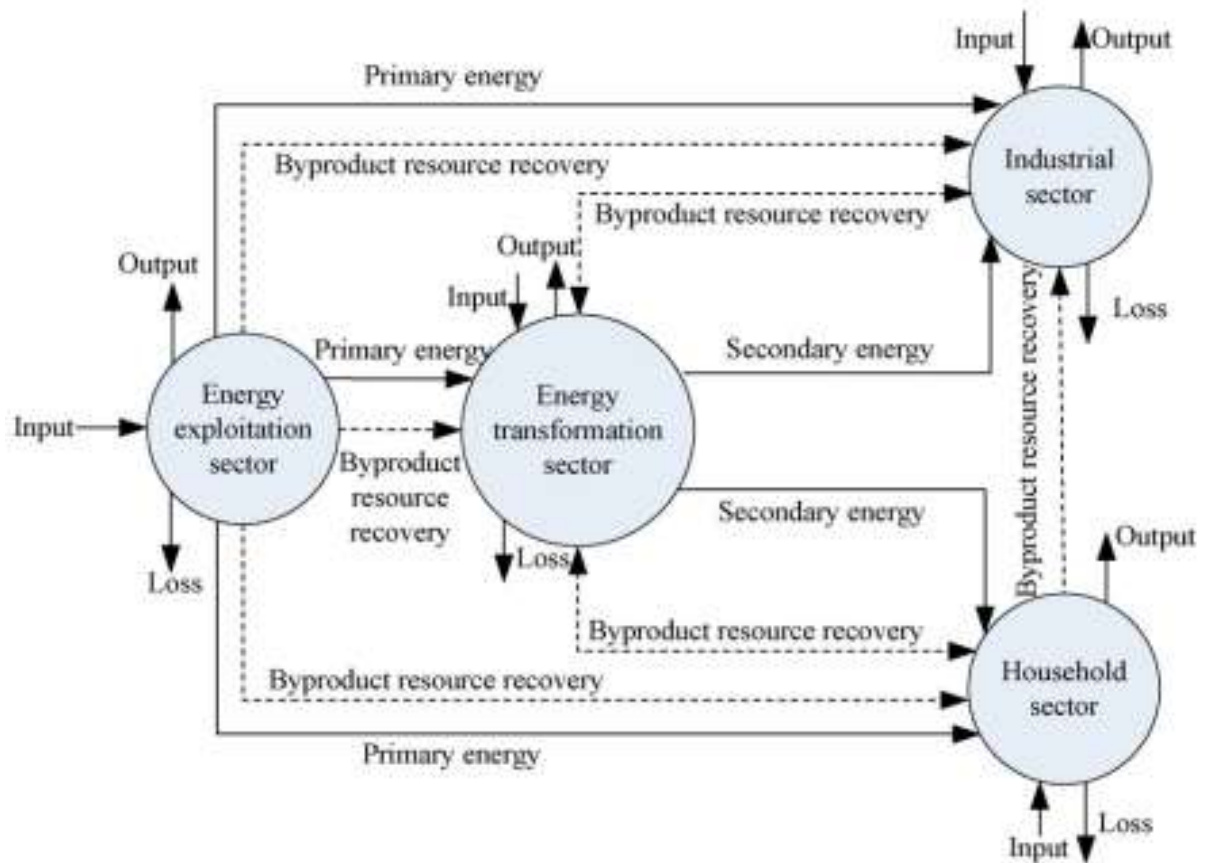


Figure 35: Modèle conceptuel du processus d'un système de métabolisme urbain de l'énergie (Zhang et al., 2010)

Nous voyons ainsi, que l'étude du métabolisme urbain, nécessite une modélisation selon la méthode systémique. Nous constatons que l'évolution de la modélisation du métabolisme urbain va dans le sens d'une plus grande complexité grâce à l'apport du cadre transdisciplinaire de la recherche sur ce thème. La modélisation du métabolisme urbain vise ainsi, deux points :

1. imposer un modèle circulaire pour maîtriser ses flux ;
2. dépasser la boîte noire pour comprendre et maîtriser les interactions entre ses composants.

Ces deux points vont guider la modélisation du métabolisme urbain que nous proposons en fin de chapitre.

3.2.3 Controverse sur la métaphore du métabolisme urbain

L'emploi de la métaphore du métabolisme ne s'est pas fait sans soulever certaines réticences dans le milieu académique. Il est important de comprendre pourquoi la recherche académique dans le domaine vaste et transdisciplinaire de la durabilité urbaine a choisi le concept de métabolisme urbain emprunté à la biologie, discipline si éloignée et si différente de la ville ? Pourquoi la recherche sur la ville et de son environnement naturel a-t-elle besoin de recourir à la métaphore ? Sachant que la métaphore est utilisée pour expliquer une chose ou un phénomène abstrait ou difficilement explicable, par analogie avec un autre plus concret⁵⁵, est-ce à dire que la ville est devenue un ensemble abstrait et difficilement explicable ?

Nous pensons que l'emploi de la métaphore du métabolisme urbain comparant la ville à un organisme vivant n'est pas un acte fortuit dans le monde académique. Cette métaphore renseigne, d'abord, sur la difficulté rencontrée pour définir la ville actuelle et peut être même pour la maîtriser. La ville n'est plus perçue comme un objet fini et maîtrisable. Dans sa complexité dynamique intimement liée à la nature, la ville est décrite avec les attributs d'un écosystème urbain ou d'organisme vivant possédant un métabolisme.

C'est justement cette affirmation que la ville est un écosystème urbain qui possède un métabolisme urbain qui est contestée par certains chercheurs. Golubiewski soulève la question : un écosystème urbain a-t-il un métabolisme ? (Golubiewski, 2012). Golubiewski introduit le paradoxe en rappelant que l'écosystème urbain est une métaphore issue de la discipline de l'écologie urbaine, alors que le métabolisme urbain est plutôt une métaphore issue de la biologie et sciences naturelles. Selon Golubiewsky ces deux concepts issus de deux disciplines différentes ne sont pas compatibles. Cette problématique n'est pas nouvelle, Fischerr-Kowalski (Fischer-Kowalski, 2003) nous rappelle qu'il y a toujours eu un désaccord entre les biologistes quant à l'utilisation du terme de métabolisme en dehors des organismes vivants. Et certains biologistes réfutent l'emploi du terme métabolisme aux écosystèmes.

Dans cette controverse, nous rejoignons l'avis de Kennedy (Kennedy, 2012), qui considère que c'est la transdisciplinarité du thème qui permet une telle association. Pour notre part,

⁵⁵ «Emploi d'un terme concret pour exprimer une notion abstraite par substitution analogique, sans qu'il y ait d'élément introduisant formellement une comparaison.» Larousse expression.

nous comprenons l'expression « métabolisme urbain » (métabolisme urbain) comme une métaphore qui puise dans l'analogie entre l'organisme vivant et la ville pour créer un concept qui permet de concevoir, puis de modéliser le processus d'échanges et de transformation des ressources naturelles entre la ville et son environnement naturel.

De plus, l'approche systémique permet de modéliser un système qui intègre les deux concepts. L'écosystème urbain décrit le mieux la structure du système complexe composé des deux sous-systèmes la ville et son environnement naturel ; le métabolisme urbain décrit le mieux la dynamique des flux de ce système complexe entre la ville et son environnement naturel. En effet, l'écosystème urbain décrit la ville en tant que structure en réseau de sous-système en interactions. Alors que le métabolisme urbain décrit la dynamique des flux et la recherche de l'équilibre.

Dans la section suivante de ce chapitre, l'écosystème urbain et le métabolisme urbain seront modélisés selon cette interprétation.

3.3 Modélisation et analyse du métabolisme urbain

Dans cette section, nous présentons la méthode que nous avons suivie pour modéliser le métabolisme urbain et son centre de contrôle. Le modèle que nous proposons se base sur l'approche systémique. Il schématise la structure et la dynamique de l'écosystème urbain et son métabolisme urbain. Ce modèle va orienter notre recherche, par la suite.

La modélisation que nous proposons du métabolisme urbain, vise à comprendre le mécanisme de son évaluation et à situer les outils d'évaluation qui sont en vigueur actuellement. Cette modélisation nous permettrait, ainsi, d'identifier les obstacles qui jalonnent le chemin vers l'intégration de l'évaluation du métabolisme urbain dans la planification urbaine.

3.3.1 Modélisation de l'écosystème urbain

Nous venons de voir que l'écosystème urbain est défini grâce à une analogie entre les établissements urbains et les écosystèmes naturels. Il est modélisé en un système complexe ouvert vers l'environnement naturel et renfermant plusieurs sous-systèmes. Le métabolisme urbain quant à lui, est comparé à un organisme vivant et il est modélisé selon un système linéaire, circulaire, ou en réseau ; ouvert ou fermé. Ecosystème urbain et

métabolisme urbain sont tous les deux modélisés selon un système complexe. Toutefois, ils ne sont jamais modélisés ensemble comme un tout.

En effet, jusqu'à ce jour, aucune tentative n'a été faite pour donner un modèle aux deux : l'écosystème et le métabolisme urbain. Nous pensons qu'il est important de modéliser les deux pour offrir un système capable de schématiser la complexité de la ville dans sa structure et dans sa dynamique.

Nous avons vu dans le chapitre méthodologie que tout système complexe est composé d'une structure et d'une fonction ou dynamique. Que la structure est composée des limites, éléments, réservoirs et réseaux de communication ; et que la dynamique est composée des flux, vannes, boucles de rétroaction, (Figure 36).



Figure 36: Schéma d'un modèle systémique de la ville, modèle linéaire (De Rosnay, 1976)

Si nous appliquons cette définition aux modèles des systèmes élaborés pour schématiser les écosystèmes et les métabolismes urbains, nous pouvons dire que si la ville est comparée à un système complexe et dynamique, alors sa structure schématise l'écosystème urbain et sa dynamique schématise son métabolisme urbain. Une telle modélisation a le mérite de proposer un modèle de fonctionnement qui ne dissocie pas la dynamique du métabolisme urbain de son support réel.

Ainsi, le schéma de la dynamique d'un système ouvert de DeRosnay ne suffit plus (Figure 36). Nous démarrons notre modélisation par le modèle suivant qui intègre l'écosystème urbain ainsi que le métabolisme urbain (Figure 37).

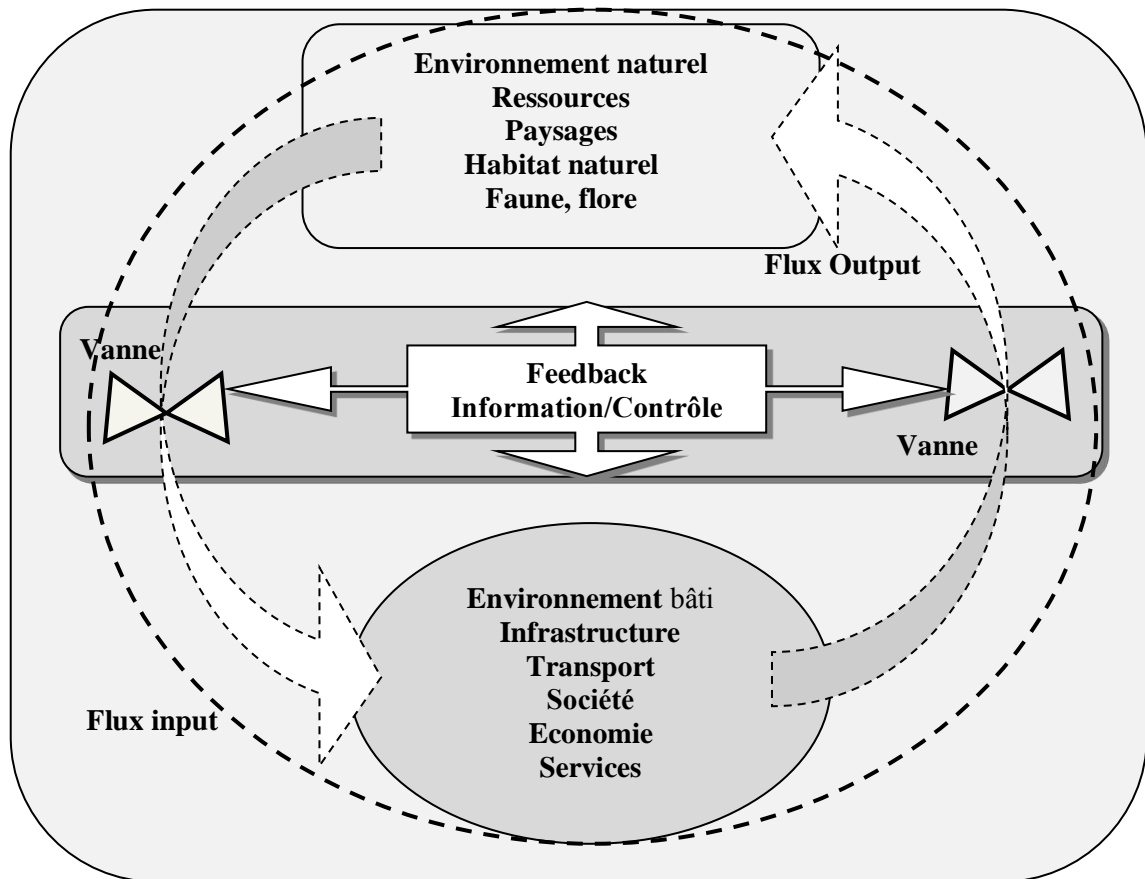


Figure 37: Modèle associé de l'écosystème urbain et du métabolisme urbain, (développé d'après Dakhia, Azzag, 2005)

L'écosystème urbain est composé de deux sous-systèmes :

- ville ou établissement urbain (environnement bâti, infrastructure, économie, services, transport, société),
- l'environnement naturel avec ses stocks de ressources qui alimentent la ville, faune, flore, paysage ainsi que les bassins dans lesquels se déversent les rejets de la ville.

Le métabolisme urbain est composé de :

- cycle des flux input et output,
- niveau des ressources,
- vannes de régulation.

La dynamique fonctionnelle de notre modèle d'écosystème urbain avec la transformation de ses flux input en flux output représente le métabolisme urbain. Le métabolisme urbain, à travers ses flux, est dans une dynamique continue qui va des stocks vers les bassins de l'hinterland ou environnement naturel. Le système est dans un état d'équilibre lorsque les niveaux des stocks et bassins sont dans un état d'équilibre stationnaire malgré la

dynamique des flux. Ce phénomène n'est possible que lorsque le débit des flux input et output est régulé en rapport avec la limite des stocks de ressources (pour les flux input) et le niveau d'absorption des bassins : la capacité de charge⁵⁶(pour les flux output).

Ainsi, le système écosystème urbain est dit équilibré lorsque, sa dynamique fonctionnelle, autrement dit son métabolisme urbain, est maintenu dans les limites des stocks et des bassins. En d'autres termes, l'écosystème urbain doit maîtriser son métabolisme urbain et trouver l'équilibre entre les besoins en services naturels (services procurés par la nature) du sous-système ville et le seuil de capacité de l'environnement naturel à répondre à ces besoins. Enfin, comme dans tout système complexe, l'équilibre de l'écosystème urbain est préservé grâce à l'action des vannes qui contrôlent son métabolisme urbain (sa dynamique des flux). Les vannes ont pour tâche de réduire ou d'augmenter le débit des flux en accord avec l'action du feedback.

En définitif, pour qu'un écosystème urbain soit équilibré il doit pouvoir réguler son métabolisme urbain : évaluer la valeur des échanges des flux en comparaison avec la valeur limite de la capacité de charge, puis réguler les échanges des flux en fonction de ses limites.

Il faut donc :

- évaluer la dynamique des flux en comparaison avec la limite de la capacité de charge de l'environnement naturel,
- contrôler la dynamique des flux par les vannes de l'écosystème urbain.

L'évaluation du métabolisme urbain en vue de son contrôle doit prendre en charge ces deux conditions ; voilà pourquoi la suite de notre recherche sur les outils d'évaluation du métabolisme urbain sera orientée pour répondre aux questions suivantes :

- Quels sont les outils et méthodes d'évaluation des flux du métabolisme urbain ?
- Quels sont les outils et méthodes d'évaluation du contrôle du métabolisme urbain ?

⁵⁶ "Ecologists define "carrying capacity" as the population of a given species that can be supported indefinitely in a given habitat without permanently damaging the ecosystem upon which it depends." "For human beings, carrying capacity can be interpreted as the maximum rate of resource consumption and waste discharge that can be sustained indefinitely in a given region without progressively impairing the functional integrity and productivity of relevant ecosystems." (Rees, 1992)

- Enfin, comment intégrer l'évaluation du métabolisme urbain à l'urbain ?

Pour répondre à ces questions nous avons besoin de compléter notre modèle conceptuel. Ce besoin s'impose parce que le modèle de l'écosystème et métabolisme urbain que nous avons proposé (Figure 37) ne définit pas le centre de contrôle, qui apparaît comme une boîte noire. Dans la section suivante, nous proposons un modèle de ce centre de contrôle du métabolisme urbain.

3.3.2 Modélisation du centre de commande du métabolisme urbain

Par analogie avec le centre de commande du système complexe (De Rosnay, 1975), nous considérons le centre de décision du métabolisme urbain comme le cerveau : le siège de l'apprentissage et la prise de décision ; là où circule les flux de l'information et des commandes de l'écosystème urbain.

Rappelons que selon De Rosnay, tous les systèmes complexes vivants sont en réalité des systèmes intelligents qui intègrent dans leur structure, un mécanisme de régulation des flux dans le but d'atteindre l'équilibre avec leur environnement vital (l'équilibre entre la demande en ressources des stocks et les limites d'absorption des bassins). Ce mécanisme de régulation représenté par les valves et les feedbacks (informations) est en fait le centre de l'intelligence de régulation du système (De Rosnay, 1975) (Figure 38).

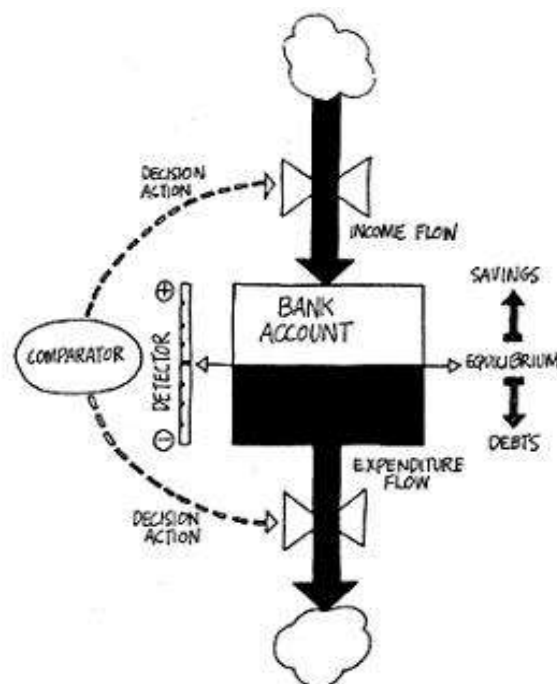


Figure 38: Schéma de la vanne de commande de flux (De Rosnay, 1975)

De même, l'écosystème urbain est un système intelligent qui possède un centre intelligent de régulation à qui nous donnons le terme de « Centre de Contrôle du Métabolisme Urbain » (CCMU). Nous présentons un modèle simplifié du CCMU (Figure 39).

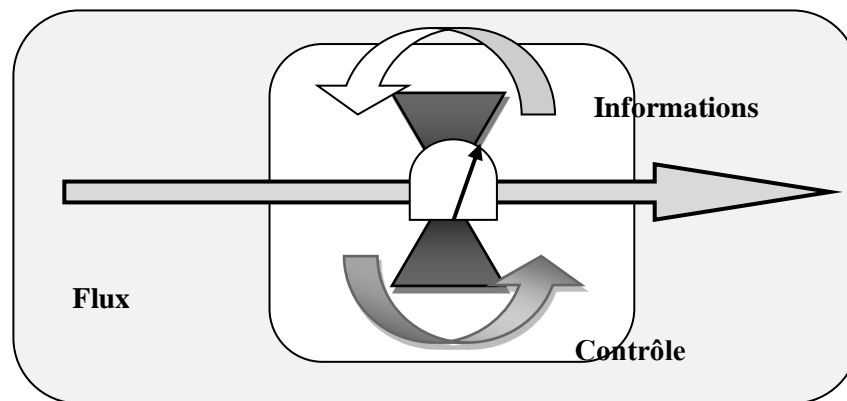


Figure 39: Modèle simplifié de CCMU

Ce que nous appelons le Centre de Contrôle du Métabolisme Urbain (CCMU) est en fait la vanne principale du système complexe « écosystème urbain » qui a pour rôle de contrôler le débit des flux de son métabolisme urbain. Selon DeRosnay « *Plus le système est complexe et plus le système de contrôle doit, lui aussi, être complexe* »⁵⁷ (De Rosnay, 1975). Cela est compréhensible sachant que le CCMU est là où les flux de l'information sur le niveau et seuil critique des bassins et stocks et du débit des flux sont traités et où est prise la décision du contrôle.

Le centre de commande dans le cadre du feedback, reçoit l'information sur les niveaux des flux, ainsi que sur le niveau des stocks et les bassins. Puis, il doit traiter cette information et la comparer avec la valeur d'équilibre du métabolisme recherchée (à l'aide d'un outil d'évaluation des flux) pour décider de la commande de régulation nécessaire pour atteindre l'équilibre recherché. Afin de modéliser cette dynamique, nous proposons un nouveau modèle de l'écosystème et métabolisme urbain (Figure 40).

⁵⁷ Page 130, J. DeRosnay, 1976

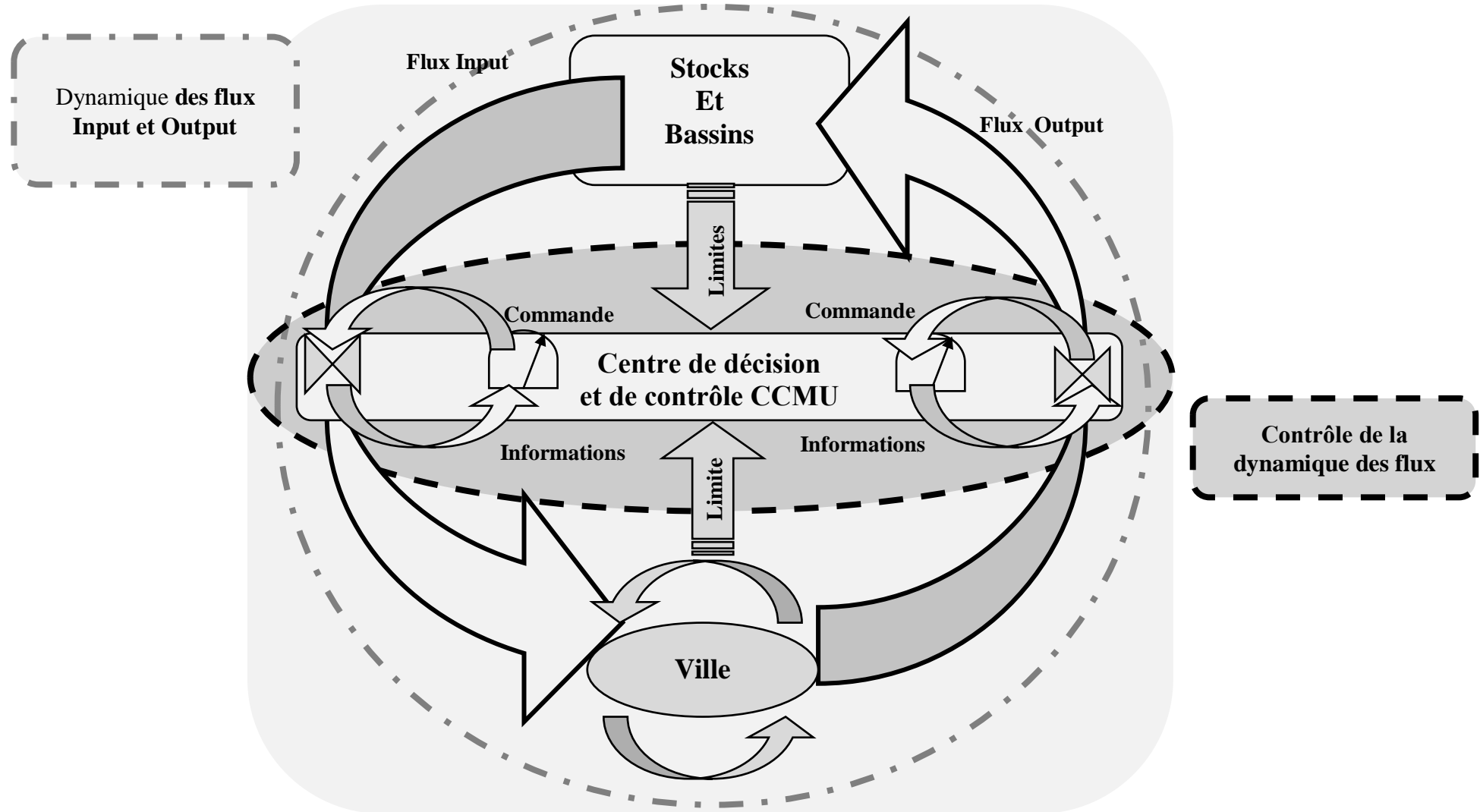


Figure 40: Modélisation du métabolisme urbain et de son centre de contrôle

Selon ce modèle, nous pouvons conclure que, si nous voulons contrôler le métabolisme, réduire ou augmenter le débit de ses flux, nous devons contrôler la dynamique des flux au niveau du CCMU. Ce dernier, par son pouvoir de décision et de contrôle, représente le siège de l'autorité de la ville, c'est-à-dire, l'autorité institutionnelle. Ce pouvoir institutionnel du CCMU représente, en fait, les vannes de régulation du métabolisme urbain (Figure 41).

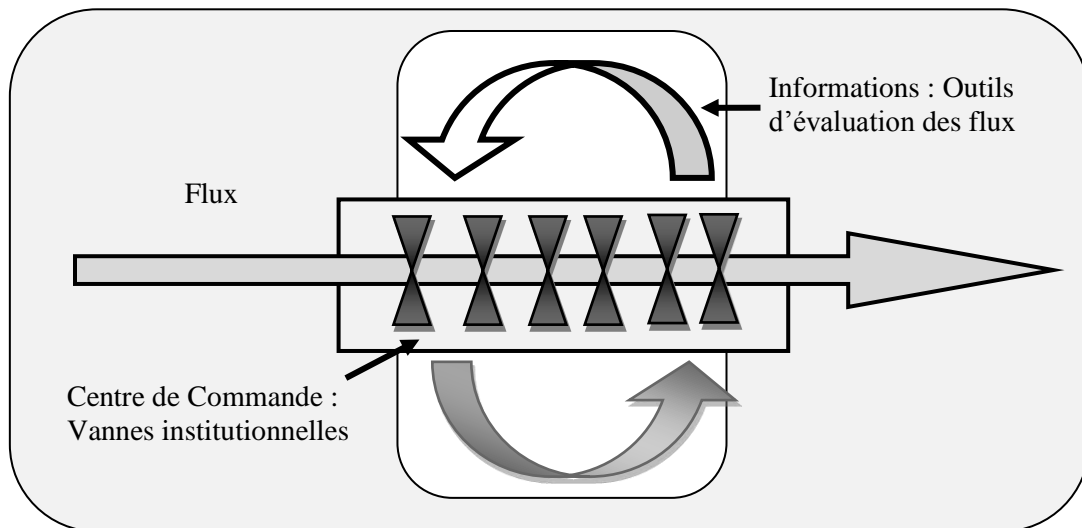


Figure 41: Modèle du CCMU (évaluation et contrôle) du métabolisme urbain

Si le système est incapable de contrôler son métabolisme urbain pour atteindre l'équilibre cela implique que le CCMU est déficient. Ainsi, évaluer le débit des flux et conclure de la nécessité de le réduire n'est plus suffisant pour atteindre un écosystème urbain équilibré. Il faut, en plus, évaluer la capacité institutionnelle du CCMU à assurer la tâche de régulation du métabolisme urbain. Ce qui rejoint notre hypothèse de départ : pour être intégré dans le processus de planification urbaine, l'évaluation du métabolisme urbain doit dépasser la simple évaluation des flux pour aller vers l'évaluation du contrôle du métabolisme urbain.

3.4 Évaluation du métabolisme urbain et planification de l'écosystème urbain

L'évaluation du métabolisme urbain qui évalue le niveau des flux et celui des stocks et bassins ainsi que du niveau de contrôle du métabolisme urbain constitue un outil de gestion et de planification urbaine, non pas environnementale, mais écosystémique. L'outil qui accomplira cette tâche d'évaluation des compétences du CCMU aidera à guider les choix des décideurs vers les réformes institutionnelles nécessaires pour la planification d'un métabolisme urbain durable.

Pour planifier et gérer un écosystème urbain en vue d'atteindre l'équilibre de son métabolisme urbain il est nécessaire de :

- Evaluer le métabolisme urbain : évaluer le niveau des flux comparé aux niveaux des stocks et bassins : autrement dit identifier et localiser les flux responsables (hors limites) et donc les secteurs à réguler.
- Programmer la régulation des flux, pour cela il faut comprendre les déficiences du processus de contrôle du métabolisme urbain c.-à-d. l'évaluation de la performance de l'action de contrôle du CCMU:
 - Evaluer le contrôle du CCMU.
 - Situer les déficiences du processus de contrôle et de régulation.
 - Programmer les actions institutionnelles nécessaires pour pouvoir mener à bien le programme de régulation.
 - Mettre en place un programme de régulation des flux.

Ainsi, en plus des outils d'évaluation du niveau des flux, nous avons besoin d'un deuxième outil qui évalue le niveau de contrôle des flux. Cet outil devra évaluer le niveau de contrôle des vannes du CCMU afin d'identifier et localiser ses déficiences. Enfin, il faudra penser à un cadre qui unit et intègre ces deux outils d'évaluation et permettre de proposer un programme d'actions pour un meilleur contrôle du métabolisme urbain.

La suite de notre recherche va axer, en premier, sur les outils d'évaluation des flux du métabolisme urbain et leur mode d'intégration à la planification urbaine ; en second, sur les outils de régulation des flux du métabolisme urbain (s'ils existent) et sur leurs modes d'intégration à la planification urbaine.

3.5 Conclusion

Dans ce chapitre de la deuxième partie dédiée à la compréhension de l'évaluation du métabolisme urbain et à sa modélisation, nous avons présenté le changement de paradigme introduit par les concepts de l'écosystème urbain et de métabolisme urbain, concepts inédits en urbanisme. Nous avons présenté le cadre transdisciplinaire à la base de cette nouvelle conception écosystémique de la ville, notamment des disciplines de la nouvelle écologie urbaine et de l'écologie industrielle. Nous avons donné les définitions de l'écosystème urbain et métabolisme urbain tout en abordant les différentes modélisations données de ces concepts.

En nous appuyant sur les définitions et modélisations déjà présentées, nous avons exposé notre position par rapport à la controverse « métabolisme urbain d'un écosystème urbain » en formulant notre propre modélisation. Pour ce faire, nous avons associé écosystème urbain et métabolisme urbain dans un même modèle de système complexe où l'écosystème urbain représente la structure du système alors que le métabolisme urbain représente sa dynamique. Nous avons aussi modélisé le cadre institutionnel qui compose le centre de commande du métabolisme urbain.

Grâce à ces modèles, nous avons pu appréhender l'évaluation du métabolisme urbain en tant que nouvelle approche écosystémique de l'évaluation de l'environnement. Nous concluons que cette évaluation du métabolisme urbain, dans le but d'une planification urbaine environnementale, doit prendre en charge, en plus de l'évaluation du niveau des flux, l'évaluation du niveau de contrôle du centre de commande. Nous rejoignons ainsi, notre hypothèse de départ sur la nécessité d'inclure l'évaluation du contrôle du métabolisme urbain.

Dans ce chapitre, nous avons introduit le changement de paradigme du métabolisme urbain et nous avons conçu notre propre modèle du métabolisme urbain et présenté notre vision de son évaluation. Dans le prochain chapitre, nous abordons l'évaluation du métabolisme urbain à travers les outils en vigueur, puis nous explorons les outils d'évaluation du contrôle du métabolisme urbain. Notre but est d'identifier la difficulté de l'intégration de cette évaluation dans la planification urbaine.

Chapitre 4. Outils d'évaluation environnementale du métabolisme urbain et de la planification urbaine : les raisons d'un malentendu

4.1 Introduction

Dans le chapitre précédant, nous avons formulé notre propre modélisation du système complexe écosystème urbaine / métabolisme urbain afin de guider notre recherche sur l'évaluation du métabolisme urbain. Grâce à notre modèle conceptuel, nous avons pu déduire que toute évaluation du métabolisme urbain nécessite, en plus, de l'évaluation de la dynamique des flux, l'évaluation de la capacité du contrôle institutionnel de ce métabolisme urbain. En s'appuyant sur cette déduction, nous présentons dans ce présent chapitre les deux dimensions de l'évaluation du métabolisme urbain. La première partie est dédiée à l'évaluation de la dynamique des flux : méthodes d'analyse et outils en vigueur. La deuxième partie, concerne l'évaluation du contrôle du métabolisme urbain où nous cherchons à déduire les mécanismes d'un hypothétique contrôle institutionnel du métabolisme urbain. Enfin, nous présentons le cas du projet de la nouvelle ville de Bougezhoul comme exemple d'un projet algérien qui intègre une approche écosystémique de l'évaluation du métabolisme urbain.

4.2 Evaluation des flux du métabolisme urbain

Actuellement dans le domaine de la recherche académique et pratique, l'évaluation environnementale du métabolisme urbain ne concerne que la seule évaluation des flux. Cette évaluation se fait selon deux méthodes : l'Analyse des flux de matières (AFM)⁵⁸ (Material Flow Analysis MFA)) (Kennedy et al., 2011), et l'Analyse par l'Empreinte Ecologique (AEE) (Ecological Footprint Analysis (EFA)) (Wackernagel et al., 2006). La première méthode calcule la quantité de matière qui transite par les flux input et output, la

⁵⁸ Cette méthode est aussi connue sous le terme d'Analyse du métabolisme urbain (Urban Metabolism Analysis (UMA))

deuxième quant à elle, évalue la matière consommée tout en la comparant au niveau des ressources de la ville. Rappelons que notre objectif, pour cette section, est d'identifier l'outil d'évaluation des flux qui peut être intégré dans le processus de planification urbaine. Pour cela, nous présentons, d'abord, et succinctement ces deux outils afin de justifier notre choix pour l'EE. Par la suite, nous développons l'outil de l'EE plus en détail.

L'Analyse des Flux de Matières (AFM) évalue les flux inputs et outputs selon deux méthodes de calcul (Anderberg, 2012; Kennedy et al., 2011) : une méthode basée sur l'énergie⁵⁹ suivant les travaux de Odum (Hammond, 2007) et une méthode basée sur la quantification des flux de matières. Cette dernière méthode reste la plus utilisée dans l'évaluation du métabolisme urbain (Zhang, 2013).

L'AFM procède à une quantification de la matière qui transite par les flux input et output. Cette méthode a été employée, en premier, par Wolman dans son évaluation du métabolisme urbain d'une hypothétique ville américaine (Wolman, 1965). Par la suite, l'AFM a été développée et enrichie par différentes recherches sur le métabolisme urbain pour des villes telles que Tokyo, Bruxelles, Hong Kong (Kennedy et al, 2011) et même pour le Paris du 18ème siècle (Barles, 2007), voir l'exemple schématisé du métabolisme urbain de Bruxelles (Figure 42).

⁵⁹ "Emergy analysis Emergy is the amount of energy, usually solar, that is directly or indirectly required to generate a given output flow. Emergy analysis allows analysis of the whole embodied environmental work expressed in a single unit and has been applied to flows in cities and other regions as well as different types of products and production processes." (Stefan Anderberg, 2012)

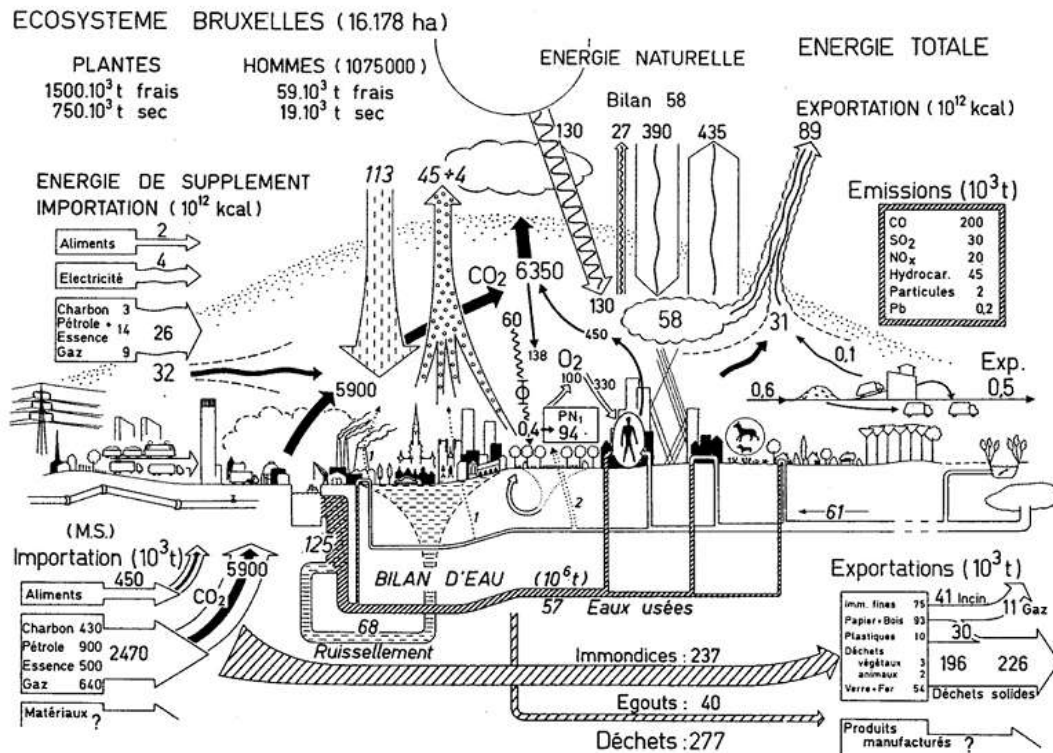


Figure 42: Métabolisme de Bruxelles 1970, (Duvigneaud and Denayer-De Smet, 1977 in Kennedy, 2007)

L'AFM cible le calcul des quantités des flux pour chaque matière qui compose le métabolisme urbain. Elle donne, ainsi, des résultats détaillés sur le comportement du métabolisme urbain, et permet même la prédiction de sa dynamique, toutefois, ses résultats ne sont pas mis en relation avec la dimension sociale et institutionnelle de la ville. Voilà pourquoi nous considérons que la méthode AFM ne donne pas de grandes perspectives quant à son application à la planification urbaine.

Contrairement à l'AFM, l'Empreinte Ecologique (EE) évalue la demande en services naturel des activités de la ville. Elle quantifie pour cela certains flux, les agrège en un index converti en surface de sol pour le comparer à la capacité de charge de l'environnement naturel de cette ville (Wackernagel and Rees, 1999). En outre, l'EE a été appliquée aux différentes échelles de la ville (Gasson, 2002; Hurley et al., 2007; Wackernagel et al., 2006, 2006; Wiedmann et al., 2003). De même que son institutionnalisation pour une intégration à la planification urbaine a fait l'objet de recherche (Collins et al., 2009).

En définitif, si les deux outils : AFM et EE évaluent les flux du métabolisme urbain, ils ne visent pas le même objectif. Selon Curry et al. (2011), l'AFM est orientée vers la mesure d'un état de fait des flux de matières au présent avec des prédictions pour le futur. L'EE, quant à elle, produit un index qui est comparé aux limites de la capacité de charge naturel ; ce qui rend cet outil propice à la recherche de l'équilibre tout en permettant la communication de ses résultats (Figure 43).

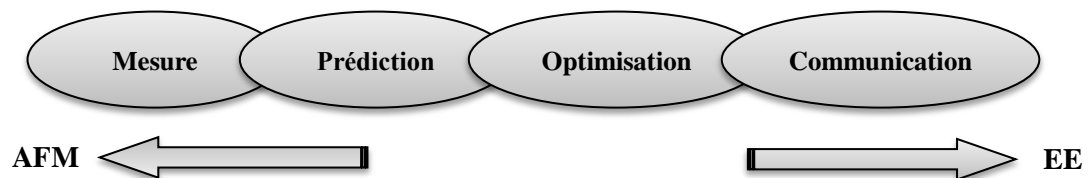


Figure 43: Convergences et Divergences entre les méthodes MFA et EE (Curry et al. 2011)

Bien que certaines recherches académiques plaident pour la combinaison des deux outils l'AFM et l'EE (Barrett et al., 2002; Curry et al., 2011; Moore et al., 2013), pour la suite de notre recherche, nous optons pour l'EE. Nous considérons que l'outil d'évaluation des flux du métabolisme urbain est le plus adapté pour être intégré à la planification environnementale urbaine.

4.2.1 L'empreinte écologique, outil d'évaluation du métabolisme urbain

L'empreinte écologique (EE), issue de l'économie environnementale, est un outil d'analyse du métabolisme urbain élaboré par Mathis Wackernagel et William Rees dans les années 90 du siècle dernier. Comme l'atteste ses concepteurs, l'EE répond à la question suivante : « *La productivité de la nature suffit-elle à satisfaire indéfiniment les demandes actuelles et anticipées de l'économie humaine ?* »⁶⁰ (Wackernagel and Rees, 1999). Ainsi, l'outil se propose d'évaluer la consommation des ressources et services naturels, d'une ville ou nation comparée aux ressources naturelles disponibles à l'échelle locale, régionale ou globale.

Plus spécifiquement, l'empreinte écologique d'une population donnée est définie en tant que: « *...surface totale des écosystèmes marins et terrestres requis pour produire les ressources que consomme une population, et pour assimiler les déchets générées par cette*

⁶⁰ (Wackernagel and Rees, 1999), p65

population quelle que soit la localisation sur terre des dits écosystèmes terrestres et marins » (Rees, 2001). L'EE mesure les flux input et output d'une ville et les convertis en hectares de surface globale.

La particularité de cet outil est qu'il permet de visualiser l'empreinte écologique d'une ville et de comparer ainsi, spatialement ses besoins en ressources et en services naturels à la capacité de charge⁶¹ locale et/ou globale disponible⁶². En ce sens, il permet la communication de ses résultats à un large public pour devenir «...un outil d'éveil de la conscience qui peut nous aider à développer une compréhension commune du problème et à explorer des solutions de remplacement » (Wackernagel and Rees, 1999)⁶³.

L'empreinte écologique est un indicateur qui peut aussi servir d'outil de gestion et d'aide à la décision. Selon Wackernagel et Rees « ...l'analyse de l'empreinte écologique peut aider à déterminer les contraintes écologiques à l'intérieur desquelles la société opère, pour formuler des politiques dans le but d'éviter ou de réduire le dépassement et pour mesurer le progrès sur la voie de la durabilité » (Wackernagel and Rees, 1999). L'outil peut aussi guider des options de conception urbaine (Wackernagel, Yount, 2000).

Actuellement, Global Footprint Network est le réseau en charge de promouvoir l'utilisation de l'EE afin d'en faire un outil d'aide à la décision pour une économie durable. Le réseau supervise des recherches, qui sont en cours pour standardiser les méthodes de calcul de l'outil (Ewing B. et al., 2010; Humphrey, 2012).

L'élaboration de l'empreinte écologique suit deux approches distinctes : l'approche « compound » développée par Global Footprint Network et « components » proposée par Best Foot Forward (Kates et al., 2001).

- L'approche « compound » est une approche « top-down ». Elle utilise les données générales à l'échelle régionale et nationale concernant la consommation totale d'un

⁶¹ La capacité de porter ou la capacité de charge est la « le maximum de population qui peut être entretenu dans un habitat donné sans causer de dommages permanents à la productivité de l'écosystème duquel dépend cette population » (Knoepfel and Nahrath, 2005; White, R. et al., 1992). C'est la valeur de la limite écologique au-delà de laquelle toute consommation n'est plus soutenable.

⁶² La biocapacité est la quantité disponible de ressources naturelles nécessaire pour soutenir la vie des humains. L'estimation originale de la biocapacité pour la méthode de l'EE exclue les déserts, océans et glaciers de plus la méthode déduit 12% des terres et mers pour la protection de la biocapacité tels que préconisé dans le rapport de Bruntland (Newman and Jennings, 2008).

⁶³ Op.cit. P.64

produit donné sans détails sur la consommation à l'échelle locale ou individuelle. Les données issues des statistiques nationales sont réputées complètes et donnent donc des résultats plus fiables.

- L'approche « component » est une approche « bottom-up ». Elle identifie les flux des produits et services, que consomment la population d'une ville donnée, pour calculer son EE en se basant sur les données liées au cycle de vie de chaque produit (Wackernagel et al., 2005). Les différentes EE des composants sont agrégés et converties en un indice final.

4.2.1.1 L'EE selon l'approche « compound »

La méthode composée de l'EE est la méthode d'origine élaborée par ses concepteurs. L'EE analyse la consommation des ressources, la quantifie pour la convertir en « global hectares hectares (gha) » : surface terrestre et maritime nécessaire pour produire ou générer ces services (Rees, 2001). Elle inclut, aussi bien la surface terrestre accaparée par la population pour son établissement, que les surfaces nécessaires à la production des services de la nature requis à sa survie et développement.

A l'origine la méthode de calcul proposait par Wackernagel et Rees suit la formule suivante (Wackerangel, Rees, 1999) :

$$\text{Consommation} = \text{Production} + \text{Importations} - \text{Exportations}$$

La valeur de la consommation du produit i est convertit en surface de terre ou de mer en hectare global nécessaire pour sa production selon la formule suivante :

- $sa_i = c_i / r_i$
- sa_i = Surface appropriée d'un produit i
- c_i = Moyenne de consommation annuelle de i en kg/ha
- r_i = Moyenne annuelle de la productivité ou rendement en kh/ha/an

Ce qui donne la formule finale de l'empreinte écologique (EE) totale d'un pays :

$$EE = \sum_{i=1}^n (sa_i)$$

Pour obtenir l'EE par personne, il suffit de diviser l'EE obtenue par le nombre d'habitants du pays.

La méthode de calcul se base sur les données de consommation pour les catégories suivantes :

- Alimentation (peut être affinée par rapport à la nature animale ou végétale ou origine locale ou d'importation selon la problématique ciblée).
- Logement (Peut inclure des sous-catégories par type de logement selon la consommation de sol, d'énergies ...).
- Transport (Public ou privé).
- Bien de consommation et services.

Les données de consommation sont tirées des rapports publiés par les agences de statistiques mondiales et nationales. Différentes sources sont utilisées concernant les statistiques de consommations directes, de dépenses privées, de production de déchets, de calcul des flux de métabolisme pour être, par la suite, croisés et comparés. La consommation est quantifiée, produit par produit.

Au niveau régional, Global Footprint Network a publié, sur son site, l'atlas mondial des EE des nations. Pour l'Algérie, l'EE par habitant est de 1.59 gha/hab avec une bio-capacité de 0.59 gha/hab (Ewing B. et al., 2010). Plusieurs pays ont calculé leur propre empreinte écologique en utilisant leurs données statistiques nationales.

4.2.1.2 L'EE selon l'approche « component »

Depuis son élaboration, l'EE a été calculée pour différentes entités (pays, villes, entreprises...) et à différentes échelles régionale, nationale et locale. Plusieurs villes ont fait l'objet de calcul de leur EE par des programmes de recherche universitaire. Mais de plus en plus de municipalité lancent des études de l'EE de leur ville pour s'en servir à des fins de choix stratégiques concernant l'environnement.

Si l'approche « compound » de l'EE est utile pour calculer l'EE des nations ou pays, elle reste toutefois, insuffisante pour calculer l'EE d'une ville. Pour celle-ci, on a, en effet, besoin d'utiliser des données plus localisées afin d'obtenir des résultats plus affinés et

détaillés. C'est justement lors d'applications de l'EE sur le cas de certaines villes que la méthode des composants a été développée.

Il faut dire qu'il n'y a pas de méthode type pour l'EE des composants, notamment pour le choix de ces dits composants. Voilà pourquoi, nous allons exposer quelques exemples d'application de cette approche tout en essayant de tirer les invariants d'une méthode des composants type.

L'approche « component » décompose l'EE d'une ville en fonction de cinq composants choisis. Selon Simmons (2003) la décomposition des flux peut atteindre le détail des produits manufacturés, toutefois, cette décomposition n'est pas très utile ; elle est très difficile à appliquer et surtout, onéreuse. Il est donc, plus judicieux de cibler les catégories de consommation sur lesquelles la politique de gestion de la ville a un impact direct tels que : nourriture, bâti, mobilité, produits et services. Ces cinq composants sont développés selon la méthode Stepwise (Simmons, 2003) (Tableau 5).

Composants	Energie	Récolte	Pâturage	Pêche	Forêt	Bâti
Nourriture à base végétale, animale,...						
Bâti bâtiments, électricité, gaz, produits pétrolier, chauffage : (bois, charbon, renouvelables, autres...)						
Mobilité voiture, motos, bus, chemin de fer, tramway, métro etc., maritime, aérien						
Produits produits manufacturés locaux, importés						
Services hôtels & restaurants, éducation & santé, culture, société, bureaux et administration, commerce, autres...						

Tableau 5: Les composants de l'Empreinte Ecologique (Simmons, 2003)

Nous constatons que pour cette approche, l'eau et l'énergie ne sont pas pris en compte, de même que les déchets, alors qu'ils ont un impact important sur l'EE et peuvent être pris en charge par les politiques locales.

Dans l'exemple de l'EE de la ville d'Oslo, les composants pris en compte sont les activités de la ville production locale, nourriture, produits, habitat, transport et enfin déchets (Aall and Norland, 2002) (Tableau 6).

<i>Local activities</i>	<i>Land types³⁰</i>						<i>Total</i>
	<i>Energy land</i>	<i>Arable land</i>	<i>Pasture</i>	<i>Forest</i>	<i>Built land</i>	<i>Sea</i>	
Local production	0.261				0.022		0.283
Consumption of food	1.139	0.798	0.831		0.104	0.614	3.486
Consumption of goods	0.251	0.002	0.059	0.211			0.522
Housing related consumption	0.356			0.541	0.047		0.944
Consumption of transport	1.569				0.014		1.583
Local waste treatment	0.014				0.001		0.014
Sub total	3.590	0.799	0.890	0.752	0.187	0.614	6.833
Global responsibility for the protection of biological diversity (+ 12 per cent)							0.932
Total							7.765

Tableau 6: EE de la ville d'Oslo en 2000 (Carlo et Norland, 2002)

Cette décomposition se rapproche de celle appliquée pour le cas de Vancouver (Moore et al., 2013). Cette recherche sur la ville de Vancouver identifie les composants suivants : produits consommés, nourriture, déchets, transport, bâti et introduit en plus, l'eau (Figure 44).

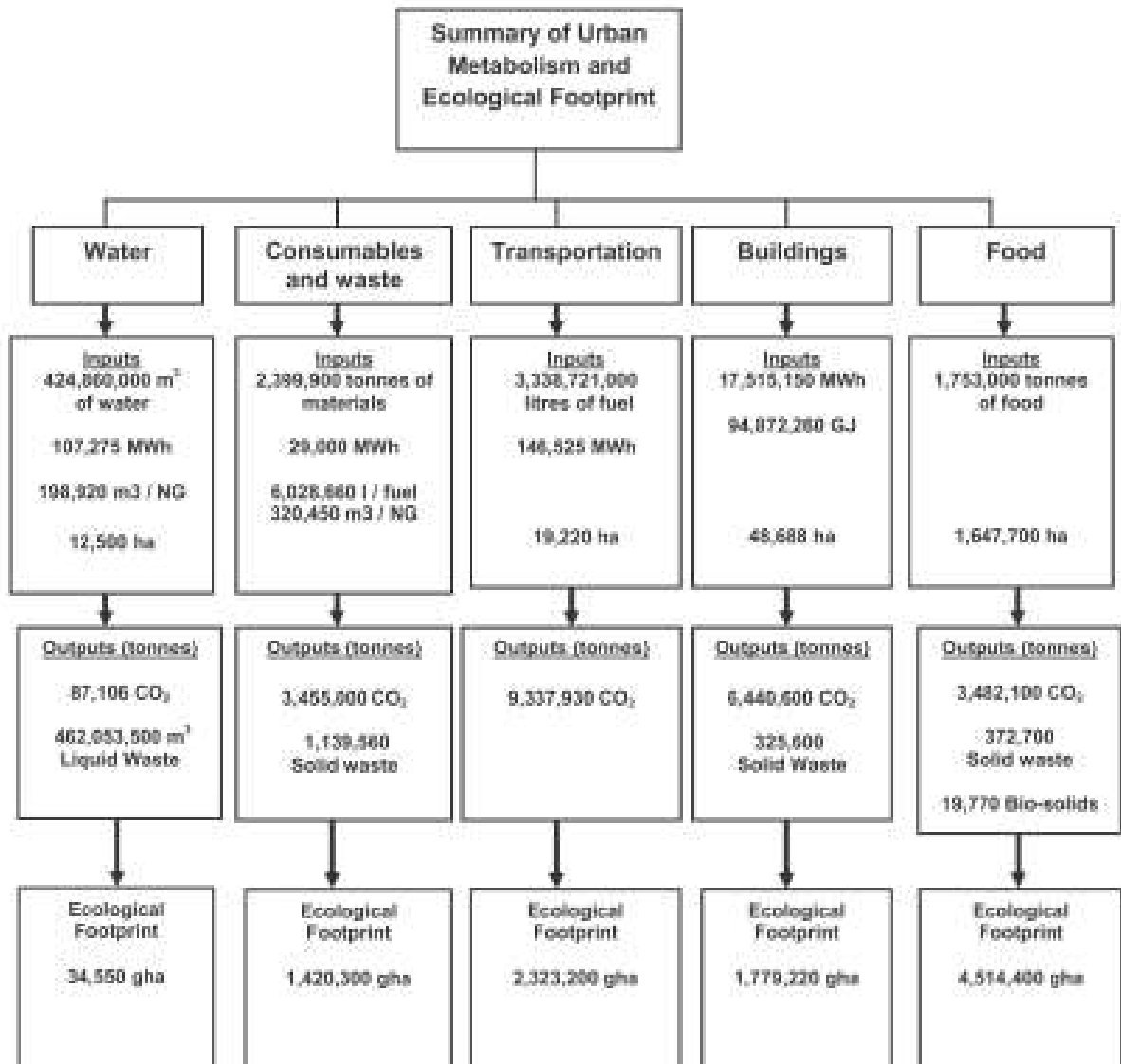


Figure 44: Empreinte Ecologique du métabolisme urbain de Métro-Vancouver (Moore et al., 2013)

Dans cette décomposition de l'EE, le flux énergie n'a pas été omis, mais intégré en « arrière-plan » dans les EE de chaque composant. Nous avons vu que selon les approches présentées, ci-avant, les composants représentent les activités de la ville et omettent les flux de l'eau et ou de l'énergie. Nous verrons, dans les cas suivants de l'application de l'EE pour Cape Town et Londres, les flux eau et énergies sont représentées différemment.

Dans le cas de la ville de Cape Town, nous retrouvons une autre approche qui décompose les composants en deux groupes : les inputs et les outputs du métabolisme urbain (Gasson, 2002). Dans les inputs, nous avons : l'eau, l'énergie et matériaux ; dans les outputs : les rejets liquides, solides et gazeux (Tableau 7).

Metabolic inputs	Tons	Areal conversion factors	Land area in sq km
Fresh water ¹	327 500 000	Reservoir catchment areas ⁵	1 430
Energy ²		100GJ = 1.25ha all fossil fuels ⁷	
Coal	378 732	1t = 28 Giga Joules ⁸	1 326
Oil	1 138 097	1t = 44.7GJ	6 359
Gas	21 816	1t = 35GJ	95
Wood	108 492	1t = 15GJ	660
Materials ³			
Building	5 994 113	Local mining area ⁹	31
Timber	69 844	Yield = 446t wood/ha ⁸	425
Paper	395 000	0.7t paper = 1.0t wood ⁷	3 091
Food ⁴	1 327 301	Yields in tons/ha various foods ¹⁰	112 349
Metabolic ouputs ⁵			
Liquid wastes	200 300 000	Area of WWTWs ¹¹	13
Solid wastes	2 050 800	Area of SW sites ¹¹	4,9
Gaseous wastes	5 209 200	Carbon fixation 21 t/ha/yr ⁸	2 480
Total ecological footprint			128 264 sq km
Jurisdic. Area ¹²			2 487 sq km
Built footprint ¹³			774 sq km
<p>Sources : 1 : DWAF, 1998; 2 : Wicking-Baird et al, 1997; 3 : Dept of Mineral & Energy Affairs, 1994; Corobrick; WP Masonary Manufacturers; PPC Ltd; Mondi; 4 : These figures are based either on national average per capita consumption figures multiplied by the metropolitan population, or on a pro rata metropolitan share of national consumption; 5 : CMC, 1998; Prof A.M. Stephen, 1998; Wicking-Baird et al, 1997; Wright-Pierce, 1999; 6 : Midgley et al, 1994; 7 : Wackemagel & Rees, 1996; 8 : Prof. W. Stock, UCT; 9 : CCT, 2000; 10 : Wackernagel et al, 1994; 11 : CCT pers. comm. 12 : CCT, 2001a; 13 : Gasson, 2000.</p>			

Tableau 7:Empreinte Ecologique de Cape Town (Gasson, 2002)

Dans ce cas, les composants coïncident avec les flux input et output du métabolisme urbain de la ville de Cape Town. La décomposition, ici, se démarque des activités et secteurs de la ville. Elle présente l'EE des produits par flux eau, énergies et matériaux indépendamment des secteurs de la ville. Cette approche s'intègre au métabolisme urbain de la ville, cependant, elle ne permet pas de connaître le rôle de chaque activité de la ville dans le déséquilibre du métabolisme urbain.

Un autre cas intéressant est celui de l'EE de la ville de Londres. Cette approche quantifie les flux et matières du métabolisme urbain (Best Foot Forward Ltd, 2002) (Tableau 8 et 9) et produit une EE décomposée qui intègre, en plus, des flux les activités de la ville bâti, transport et déchets (Newman and Jennings, 2008) (voir Tableau 10).

Energy type	Consumption (GWh)	Consumption ('000s of tonnes)	CO ₂ emissions ('000s of tonnes)
Electricity	32,848	2,824	14,434
of which...			
Domestic	17,335	1,490	7,617
Commercial	13,728	1,180	6,032
London Underground	1,095	94	481
Overground rail	690	59	303
Gas	85,494	7,351	17,266
of which...			
Domestic	49,450	4,252	9,987
Commercial	36,043	3,099	7,279
Liquid fuels	35,733	3,072	9,224
of which...			
Petrol	17,503	1,505	4,630
Diesel	9,744	838	2,441
Aviation fuel	3,635	313	936
Oil	4,852	417	1,217
of which...			
Domestic	188	16	47
Commercial	4,664	401	1,170
Renewable energy	205	17	6
of which...			
Solar	4	<1	<1
Incineration (excl. bio-MSW)	45	4	5
Anaerobic digestion (electricity)	49	4	0
Anaerobic digestion (heat)	43	4	0
Electricity from landfill gas	64	6	0
Small/micro-scale hydro power	<1	<1	<1
Wind	0	0	0
Fuel cells	0	0	0
Solid fuels	128	11	42
of which...			
Domestic coal	0	0	<1
Commercial coal	128	11	42
Total	154,407	13,276	40,972

Sources: AEAT, 2001; GLA, 2002a and Scullion, 2001 Note: Due to the rounding off of figures, totals may not add up

Tableau 8: Synthèse du calcul des flux énergies de Londres (Best Foot Forward, 2002)

Material category	Production	Imports	Exports	Apparent consumption	Waste	Stock
Construction	24,067	8,143	4,430	27,779	14,756	13,024
Crude materials	884	462	183	1,163	595	568
Wood	102	2,565	255	2,412	574	1,838
Metals	830	451	307	974	642	332
Chemicals	312	820	287	845	462	383
Misc. manufactures	3,404	3,960	2,395	4,969	3,269	1,700
Misc. articles	6,424	3,043	5,458	4,010	2,051	1,958
Unidentified waste					3,361	-3,361
Sub-total (excl. food)	36,024	19,444	13,315	42,152	25,710	16,442
Food	2,076	5,585	761	6,900	562	**
Total (incl. food)	38,100	25,029	14,076	49,052	26,273	16,442

** Data was either not available or was confidential and suppressed Note: Due to the rounding off of figures, totals may not add up

Tableau 9: Synthèse du calcul des flux matériaux de Londres (Best Foot Forward, 2002)

Component	Total EF (gha)	EF per capita (gha)
Direct energy	5,073,000	0.69
Materials & waste	22,465,000	3.05
Food	20,685,000	2.8
Transport	2,503,000	0.34
Water	160,000	0.02
Built land	348,000	0.05
Subtotal	51,234,000	6.95
Tourism's EF	-2,367,000	-0.32
Total	48,868,000	6.63

Tableau 10: EE de Londres par composants (Newman and Jennings, 2008)

Nous retrouvons, dans le cas de Londres, les six composants suivants : énergie, eau matériaux et déchets, nourriture, transport et sol bâti. On retrouve en plus, des flux input eau, énergies, nourritures et matériaux, les flux liés aux activités de la ville telle que : sol bâti, transport et déchets.

Ainsi, à la lumière de ces exemples, nous pouvons conclure que l'EE est un outil pertinent pour évaluer les flux du métabolisme urbain d'une ville. L'approche « component » est la plus appropriée pour le cas des villes. Même si, le choix des composants n'obéit pas à une méthode précise, il permet une liberté dans l'élaboration de la méthode. Celle-ci peut, en effet s'adapter à la conception du métabolisme urbain de la ville avec des composants qui font référence autant aux flux du métabolisme urbain qu'à certaines activités urbaines.

4.2.2 Critiques et limites de l'empreinte écologique

Bien que l'EE ait été adoptée par la recherche académique et par différents pays et organisations, elle reste cependant, critiquée par rapport à la méthode suivie ainsi qu'à la fiabilité de ses résultats.

En général, la méthode est critiquée pour être "pratique", "simpliste", et "fragmentaire". Elle n'a pas une vision systémique des services offerts par la nature et présente un résultat qui n'est pas très précis (Wackernagel, Yount, 2000). On lui reproche de ne pas prendre en compte la pollution sous toutes ses formes, déchets solides et accumulation de CO₂, bien que l'impact des émissions en CO₂ soit représenté par des terres fictives nécessaires pour

absorber les gaz rejetés. La consommation d'eau et la pression sur les ressources hydriques n'est pas comptabilisés. Une autre faiblesse de la méthode concerne la perte de biodiversité (loss of biodiversity). La méthode alloue 12% des terres à la biodiversité en accord avec les recommandations du rapport Brundtland, qui, selon certains chercheurs, ne repose sur aucune donnée scientifique sur le sujet (Wackernagel, Yount, 2000). Enfin, on peut ajouter que la problématique des risques naturels, importante pour l'écosystème urbain est inexistante.

L'EE est aussi critiquée par rapport à sa méthode de calcul. En effet, la disponibilité des données nécessaires au calcul de l'indice et leur fiabilité n'est pas toujours assurée. De même, la fiabilité des résultats est discutable sachant que la méthode, notamment le choix des facteurs de rendement du facteur hectare global manque de transparence.

Certaines critiques questionnent même son utilité. Selon Ledant (2005), l'EE est un indicateur qui ne sert qu'à démontrer une vérité que nous connaissons déjà (Ledant, 2005). C'est un indicateur de sensibilisation sur la surconsommation des ressources de la population d'une ville ou d'un pays et l'information est donnée sans proposer ou guider vers des solutions. Les avantages et inconvénients de la méthode ont été synthétisés par Conor et al. (Conor Walsh et al., 2006) (Tableau 11).

Advantages of footprinting	Disadvantages of footprinting
Single unit indicator that allows disaggregation.	Mostly hypothetical land uses
Widely applicable to activities	Can oversimplify resource use
Top down or bottom up	Detailed studies incur uncertainty, particularly at sub-national level.
Useful communication tool	Double counting is always a risk
Continually being updated and improved	Mostly snapshots of consumption
Demonstrates the finite nature of natural capital	Provides no clear policy guidance except to consume less or create additional productive land
Growing credibility as policy tool	Based on sometimes doubtful assumptions
	Can be difficult to reconcile annual consumption with the necessarily much slower provision of bio-capacity

Tableau 11: Tableau comparatif des avantages et inconvénients de l'Empreinte Ecologique (Conor W. et al., 2006)

Pour notre part, nous considérons que l'EE est un outil efficace qui évalue les flux du métabolisme urbain selon une méthode qui permet la communication de ses résultats et permet la sensibilisation des acteurs concernés. La fiabilité des résultats peut souffrir du manque de transparence de la méthode toutefois, nous sommes confiants au regard des recherches qui sont menées pour l'améliorer (Chen and Chen, 2007; Zhao et al., 2005).

De plus, des études comparatives de l'EE menées par la Stockholm Environment Institute (SEI), en grande Bretagne, à l'échelle d'un groupement d'habitation (Wiedmann et al., 2003) a montré le rôle positif de l'EE comme outil d'aide à la décision pour la réduction du déficit écologique constaté. En effet, l'étude, qui a concerné des groupements d'habitation standards comparés aux habitations de type « eco-homes » ainsi qu'à ceux du quartier de BedZed, a clairement démontré que l'adoption de mesures dites écologiques a un effet positif sur la réduction de l'EE des quartiers.

Enfin, nous estimons que l'inconvénient soulevé envers l'EE qui la qualifie d'outil qui dresse un constat, mais ne propose pas de solutions va dans le sens de notre hypothèse. En effet, cet inconvénient plaide pour son association à un outil qui lui serait complémentaire en proposant, justement, des solutions pour corriger le déséquilibre entre l'EE de la communauté étudiée avec sa capacité de charge naturelle.

4.2.3 Comparaison des outils d'évaluation des flux : AFM et EE

En synthèse, nous pouvons dire que l'évaluation du métabolisme urbain selon la recherche académique et opérationnelle concerne seulement l'évaluation des flux. Cette évaluation se fait selon deux outils : l'AFM (simple et selon l'énergie) et l'EE sous ses deux approches (compound et component) (Figure 45). Nous jugeons que l'outil d'évaluation des flux du métabolisme urbain qui répond à notre hypothèse est l'EE selon la méthode des composées ; et ce afin d'être associé à un outil d'évaluation du contrôle du métabolisme urbain qui reste à créer.

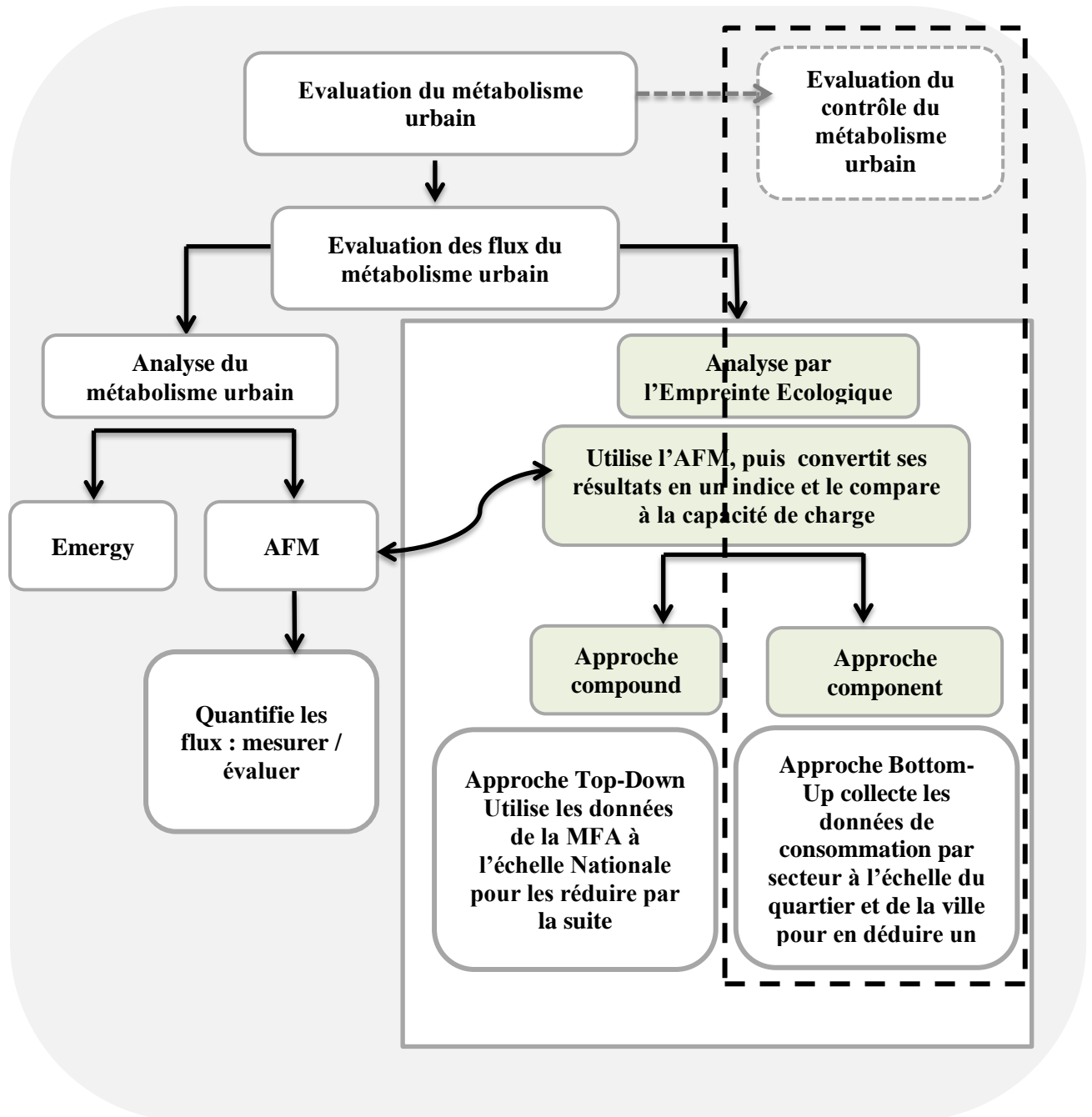


Figure 45: Les deux méthodes d'analyse du métabolisme urbain : Analyse des Flux de Matière (AFM) et analyse de l'Empreinte Ecologique (AEE)

4.2.4 L'Algérie et son empreinte écologique

L'EE, en tant qu'outil d'évaluation du métabolisme urbain, n'est pas reconnu en Algérie. De ce fait, il n'existe pas de données officielles sur la valeur de l'EE du pays ou des villes algériennes. Nous disposons, cependant, des valeurs calculées par la Global Footprint Network (Galli et al., 2013; Humphrey, 2012). Cette agence a, en effet, calculé les EE de la majorité des pays du monde et a produit des résultats qui synthétisent et comparent les EE des pays selon les régions ou dans le temps (Ewing B. et al., 2010; Galli et al., 2013; Humphrey, 2012; WWF, 2014).

Selon ces valeurs, l'Algérie avait, en 2008 une EE globale de 56.74M gha contre une bio-capacité globale de 19.34M gha ; ce qui nous donne une EE, par personne, de 1.65 gha contre une bio-capacité de 0.56 gha. Bien que l'EE de 1.65 gha reste en dessous de l'EE moyenne mondiale de 2.6 gha, l'Algérie est considérée en déficit écologique parce que son EE dépasse sa bio-capacité évaluée (Galli et al., 2013; WWF, 2014) (Tableau 12).

EE Algérie (gha)	Capacité de charge DZ (gha)	Valeur mondiale moyenne de biocapacité (gha)	EE moyenne mondiale (gha)
1,65	0,56	1,7	2,6

Tableau 12: Empreinte écologique et capacité de charge de l'Algérie (Galli et al., 2013 et WWF, 2014)

Ceci n'a pas été toujours le cas, si on examine l'évolution du rapport EE / bio-capacité entre 1961 et 2008 (Figure 46). Nous constatons, ainsi que l'Algérie, avec une EE actuelle 150 fois plus grande que sa bio-capacité, est passée, de l'état de réserve écologique en 1961 à celui de déficit écologique en 2008. Cet état est dû au développement du pays, à la croissance démographique, mais surtout à la croissance de la population urbaine, les villes étant le principale responsable de la hausse de l'EE.

Malheureusement, aucune ville algérienne n'a bénéficié d'une étude de son EE selon l'approche des composants. Pourtant, une telle étude à l'échelle locale, nous aurait permis de classer les villes entre celles en état de déficit écologique et celles en état de réserves écologique. Ce classement aiderait indéniablement, acteurs et décideurs à orienter le développement de ces villes vers un développement plus équilibré et durable.

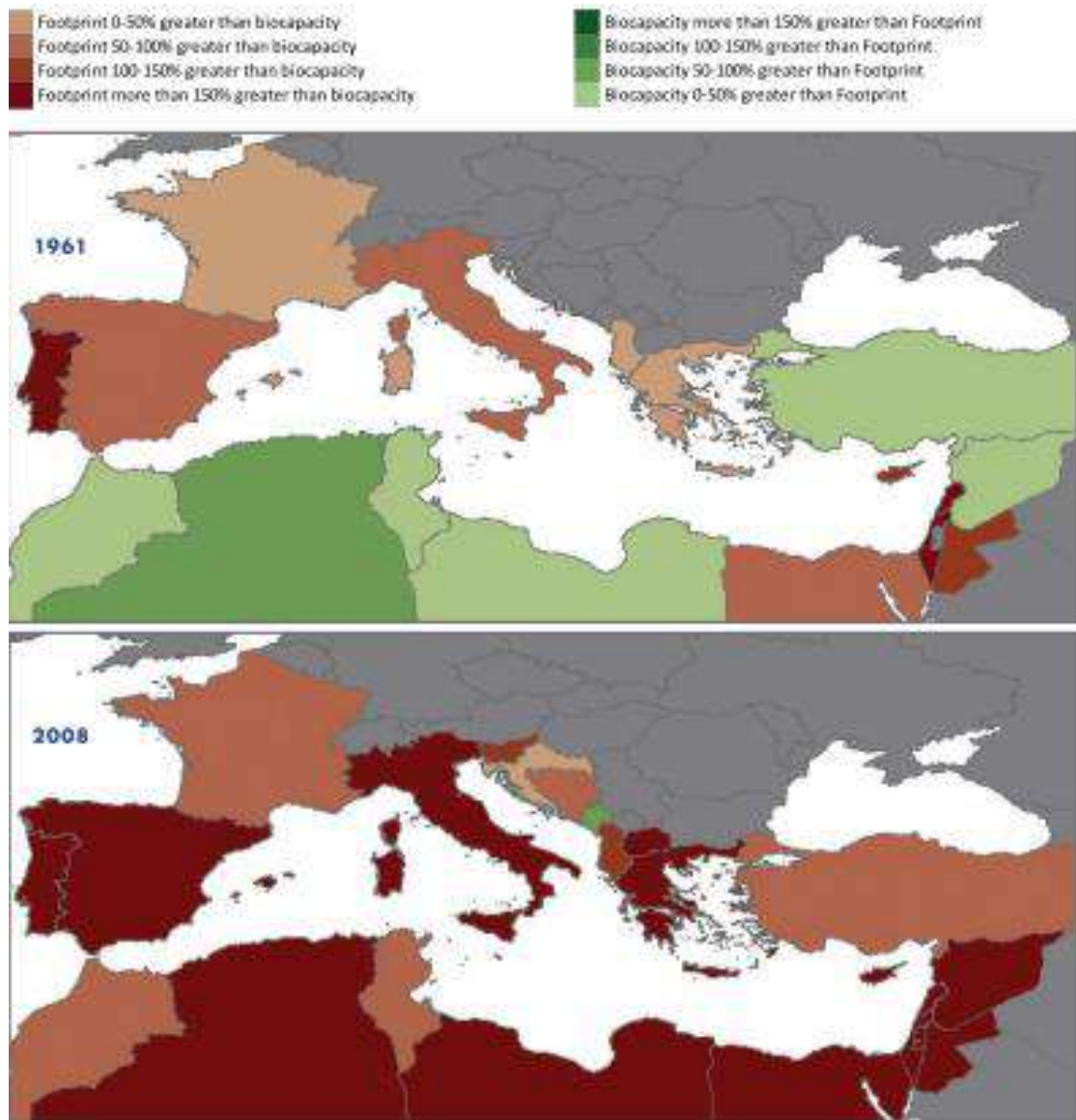


Figure 46: Evolution de l'Algérie d'un état de réserve écologique en 1961 à un état de déficit écologique en 2008 comparée aux autres pays méditerranéens, (Galli et al., 2013)

A ce stade de la recherche, nous avons été confrontés à l'absence d'études sur l'EE des villes algériennes et l'évaluation de la consommation des flux de matières composant leur métabolisme urbain. Bien sûr, avec la méthode composée on peut déduire l'EE d'une ville. Alger par exemple aurait une EE de 60 fois plus grande que sa superficie⁶⁴. Mais pour notre recherche, nous avons besoins de l'EE calculée par composant selon l'approche Bottom-up.

⁶⁴ La superficie de la wilaya d'Alger est de 809.22km² soit 80922 ha (RGPH, 2008) et compte 2987160 habitants. Ainsi, avec 1.65 gha par personne, Alger aurait une EE totale de 4928814 gha. Comparée à la surface de la ville de 80922 ha, (c-à-dire 4928814 gha / 80922 ha = 60, 90) Alger aurait une EE 60 fois plus grande que sa superficie.

La seule étude qui répond à cette exigence est celle menée par une équipe de l'Ecole Nationale Polytechnique (ENP) qui a effectué une tentative de calcul de l'EE du flux énergie pour la ville d'Alger (Mallem et al., 2009). Selon cette étude, basée sur les données de l'Agence pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie (APRUE), l'EE des énergies, ou l'empreinte carbone pour Alger serait de 0,85 gha. Elle dépasse ainsi, l'empreinte carbone moyenne nationale de 0.62gha et la limite de la bio-capacité nationale évaluée à 0.56 gha (Galli et al., 2013).

4.3 Evaluation du contrôle du métabolisme urbain

Conformément à notre modèle de métabolisme urbain, et après avoir présenté l'évaluation de ses flux, nous abordons, dans cette section, l'évaluation de son contrôle. Suivant notre recherche sur ce thème, nous pouvons dire que « évaluation du contrôle du métabolisme urbain » n'existe pas dans la littérature. De même, il n'existe pas d'outils spécialement conçu pour l'évaluation du contrôle du métabolisme urbain. En accord avec nos hypothèses, nous considérons que c'est justement ce vide qui doit être comblé par la proposition d'un outil dédié à l'évaluation du contrôle du métabolisme urbain.

Le but de cette section est donc de définir cette évaluation du contrôle du métabolisme urbain. Pour cela, nous prenons appui sur le modèle systémique du contrôle du métabolisme urbain, que nous avons conçu au chapitre 3 (Figure 41), pour identifier les vannes de contrôles et les modalités de leur contrôle. Il s'agit, donc de répondre aux questions suivantes : qui contrôle et comment ? Et comment ce contrôle peut-il être évalué ?

Comme nous l'avons déjà dit, il n'y a pas de contrôle de métabolisme urbain à proprement parler voilà pourquoi nous allons nous baser, plutôt, sur le contrôle des échanges entre la ville et l'environnement naturel. Nous cherchons à comprendre les mécanismes de la régulation en vigueur actuellement pour répondre à nos questionnements sur le contrôle.

La régulation institutionnelle des échanges entre la ville et l'environnement naturel existants actuellement se partagent en deux grandes catégories :

- la gestion des ressources qui intègre le contrôle de l'exploitation et des usages suivant les limites naturelles de leur renouvellement par les politiques publiques.

- la réglementation environnementale qui intègre l'évaluation des impacts sur l'environnement naturel ainsi que la rationalisation de la consommation et la protection des ressources.

C'est vers ces deux directions que nous orientons notre recherche pour comprendre les modalités de contrôle et tirer les critères de régulations institutionnelles qui vont nous aider à concevoir notre outil de contrôle du métabolisme urbain.

4.3.1 Le contrôle par la gestion des ressources

La gestion des ressources, par son objet, dépasse l'échelle de la ville. Elle dépasse aussi les prérogatives de la planification et gestion urbaine. Sa problématique peut être résumée en la tragédie des biens communs « the tragedy of the commons » (Hardin, 1968). La tragédie découle de la prise de conscience que les biens communs ne sont pas renouvelables et doivent ainsi, être exploités avec bon sens pour le bien commun de tous. La régulation pour préserver la pérennité des biens communs, par la rationalisation de l'exploitation et l'usage des ressources, ne peut se faire que par les politiques publiques.

Dans leurs travaux, Knopfler et Nahrath proposent le concept de Régime Institutionnel des Ressources (RIR) pour définir un cadre de gestion des ressources qui regroupe la politique publique, environnementale et l'économie institutionnelle. Cette gestion des ressources vise la protection des ressources, du paysage naturel et de la biodiversité par une exploitation rationnelle (Knoepfel and Nahrath, 2005).

La régulation, à cette échelle, est territoriale. L'environnement naturel est considéré comme un stock de ressources de biens et services naturels qu'il faut préserver en quantité et en qualité. Ce concept soulève le rôle des politiques publiques, droits de propriété et d'usage des ressources (Varone et al., 2008). La régulation sous-entend des mesures de politique publique, en fonction, de la gravité de la situation qui vont de mesures incitatives d'information à des mesures coercitives de privation de droits de propriétés (Varone et al., 2008). Cette régulation publique contient les droits de propriété, d'usage et d'exploitation ainsi que les programmes publics.

Bien que l'échelle de la gestion des ressources dépasse celle de notre recherche, nous pensons, néanmoins, nous en inspirer pour identifier les vannes de contrôle du métabolisme urbain. Par analogie avec notre modèle de métabolisme urbain, nous comprenons ainsi, que le contrôle des ressources se fait par la force publique locale à

l'échelle du métabolisme urbain, qui regroupe les institutions, lois, outils et instruments qui représentent, en fait, les vannes du centre de contrôle de notre modèle de métabolisme urbain.

Par ailleurs, les modalités de contrôle se font par des mesures appliquées de politique publique qui vont d'un contrôle faible, qui vise l'incitation à un contrôle fort et coercitif, qui vise l'application de sanctions et/ou la privation de droits. Dans le contrôle incitatif nous retrouvons toutes les mesures qui visent à favoriser la réduction de la consommation d'une ressource donnée. Dans le contrôle coercitif, nous avons la pénalisation de tout dépassement des limites.

En conclusion, la gestion des ressources nous a aidés à déterminer les vannes institutionnelles du CCMU et de leur mode de contrôle, toutefois, elle ne donne pas d'outils d'évaluation du contrôle du métabolisme urbain.

4.3.2 Le contrôle de la consommation par la réglementation environnementale

Tout comme la gestion des ressources, la gestion de la consommation de ces ressources par les services de la ville est gérée et contrôlée par des lois d'ordre public. Avant d'aborder le contrôle de la consommation, nous donnons un bref aperçu des régulations d'ordre économique, urbaine et architecturale qui contrôlent la consommation des ressources par la ville. La vision classique considère la ville comme un ensemble de secteurs : habitat et services, transport et industrie. Ces secteurs, qui consomment tous : énergie, eau, matière et sol et produisent : déchets liquides, solides et atmosphérique, sont soumis aux régulations d'ordre économique, juridique urbaine et architecturale suivantes (Figure 47) :

Habitat et Services :

- Réglementation économique par des taxes économiques sanctionnant une surconsommation, voire gaspillage, de l'énergie, eaux, sol.
- Réglementation urbaine et architecturale favorisant l'efficacité énergétique des bâtiments par des outils d'évaluation de l'efficacité ou de la durabilité de quartier ou ville (Leeds, HQE2R, BREEAM ...).

Transport:

- Réglementation économique : taxe contre l'usage excessif de l'automobile (vignette, accès au centre-ville payant, autoroutes payantes...).
- Réglementation urbaine : favoriser le transport en commun sur site propre, favoriser un aménagement à densité optimale autour des 400m (ville compacte et mixte).

Industries :

- Réglementation économique : taxes contre les rejets et pollution, régulation par les technologies plus propres.
- Planification urbaine : localisation dans des zones spécifiques.

Cette liste, loin d'être exhaustive, montre que sans une vision de métabolisme urbain, la ville contrôle ses échanges avec son environnement naturel selon les impacts de chaque activité sur cet environnement. L'intégration de la vision de métabolisme urbain mettrait en relation la réglementation pour le contrôle de l'exploitation et de la consommation des ressources et identifierait le besoin pour des outils d'évaluation des flux et du contrôle du métabolisme urbain de la ville (Figure 47).

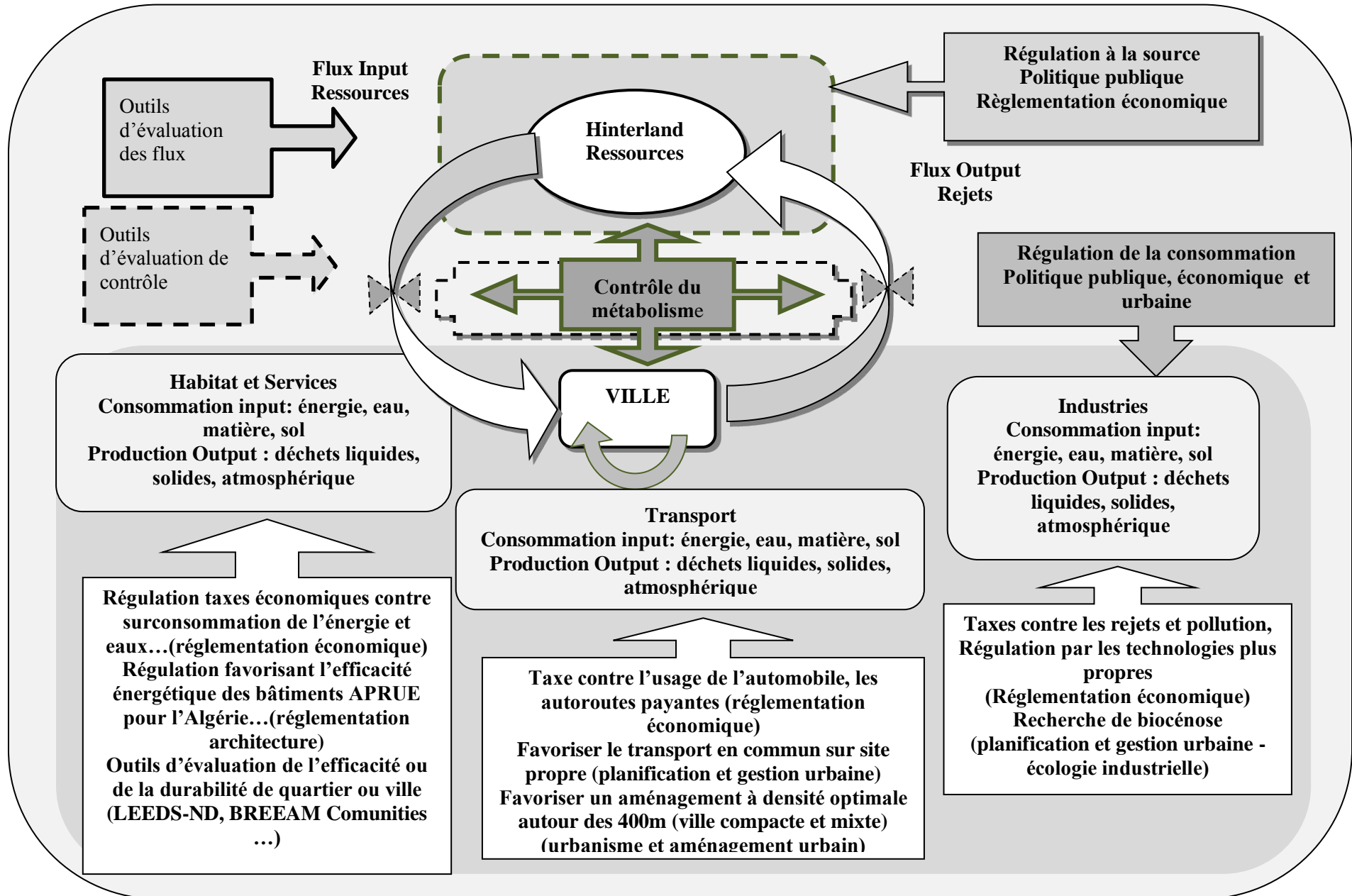


Figure 47: Schéma modélisant le rôle des outils d'évaluation et de contrôle des échanges du métabolisme urbain

Certes, le contrôle total et intégré des échanges du métabolisme urbain n'existe pas encore, et de ce fait n'est pas évalué, toutefois, l'évaluation environnementale stratégique et durable (voir chapitre un et deux) nous oriente vers des pistes à explorer.

Nous avons vu que, l'outil d'évaluation de l'EES, qui évalue les impacts des 3PS (politique, programme et projet), est un outil d'évaluation et de régulation de l'environnement (voir premier chapitre). L'EES, comme la gestion des ressources, identifie les vannes de contrôle. D'ailleurs, l'EES complète notre liste précédente des vannes de contrôle composée d'institutions, lois et outils par les programmes et projets.

De plus, et contrairement à la gestion des ressources, qui ne soulève pas le sujet de l'évaluation du contrôle, l'EES l'aborde par l'évaluation des impacts des 3Ps sur l'environnement. Même s'il n'évalue pas le contrôle, mais plutôt, les impacts de ces 3PS sur l'environnement naturel, l'EES reste un outil d'évaluation qui évalue les conséquences du contrôle des 3PS sur l'environnement à l'aide d'indicateurs d'états.

Par ailleurs, les outils d'évaluation de la durabilité évaluent le cadre stratégique de la durabilité à l'aide d'indicateurs intégrés dans un système (voir chapitre deux). Ces indicateurs peuvent être des indicateurs de performance (indicateur d'état, pression ou impact) ou des indicateurs concernant l'efficacité des politiques (indicateur de réponse) (Bottero, 2011). L'agrégation de ces indicateurs donne les indices de performance politique. Enfin, nous avons vu que ces indices de performance sont représentés graphiquement par des radars et intégrés à d'autres indices de performances dans des tableaux de bord pour des outils de contrôle et d'aide à la décision.

4.3.3 Les modalités de l'évaluation du contrôle du métabolisme urbain

C'est en nous appuyant sur la gestion des ressources et de l'évaluation environnementale stratégique et durable que nous avons pu définir la structure institutionnelle et fonctionnement du contrôle du métabolisme urbain.

La structure institutionnelle du contrôle identifie la force qui contrôle. En effet, l'action de commande pour le contrôle nécessite de posséder le pouvoir d'imposer et de sanctionner (autorité officielle), de collecter l'information (base de données) de définir des limites à respecter (lois) à l'aide d'instruments ou d'outils appropriés, selon une stratégie claire (programme, projet).

Nous en déduisons que les vannes de contrôle du CCMU sont :

- Vanne institution (autorité de pouvoir),
- Vanne règlement (lois, textes réglementaire),
- Vanne programme et projet (plan et stratégie),
- Vanne outil et instrument.

Le fonctionnement de ce contrôle institutionnel se fait par des mesures de force publique de niveaux variés. Ce contrôle est d'ordre croissant, il passe du faible (incitatif) au fort (coercitif). L'évaluation du contrôle se fera par des indicateurs qui seront agrégés en des indices de performance intégrés, à leur tour, dans un tableau de bord.

Dans un souci de placer notre recherche dans la recherche actuelle sur l'urbanisme (Campbell, 1996), il est important de relativiser la notion de contrôle. En effet, actuellement l'urbanisme, soulève les problématiques de la ville durable (Newman and Jennings, 2008) et de la ville juste (Campbell, 2006) qui donnent un rôle très important à la participation du public dans les décisions. Voilà pourquoi nous pensons qu'il est important d'évaluer le contrôle selon les principes de la gouvernance durable pour laquelle la participation du public est primordiale.

Ainsi conformément aux principes de la ville durable⁶⁵ (UNP-IETC, 2002), la participation des citoyens dans la prise de décision du CCMU sera représentée par une vanne qui mesure la qualité de participation des citoyens à la prise de décision. Cette vanne ne contrôle pas de flux du métabolisme urbain, mais contrôle la participation du public selon qu'elle soit faible ou forte.

En conclusion, nous avons pu identifier la structure institutionnelle du Centre de Contrôle du métabolisme urbain (CCMU), que nous avons modélisé au chapitre trois. Le CCMU est composé de cinq vannes institutionnelles (institution, règlement, outil, programme, participation) qui assurent un contrôle croissant du faible au fort (Figure 48). L'outil que nous allons proposer devra ainsi évaluer la capacité de contrôle du CCMU, c'est-à-dire, évaluer le niveau de contrôle exercé par chacune des cinq vannes pour le contrôle de chaque flux du métabolisme urbain.

⁶⁵ Principe N°7 : empower people and foster participation

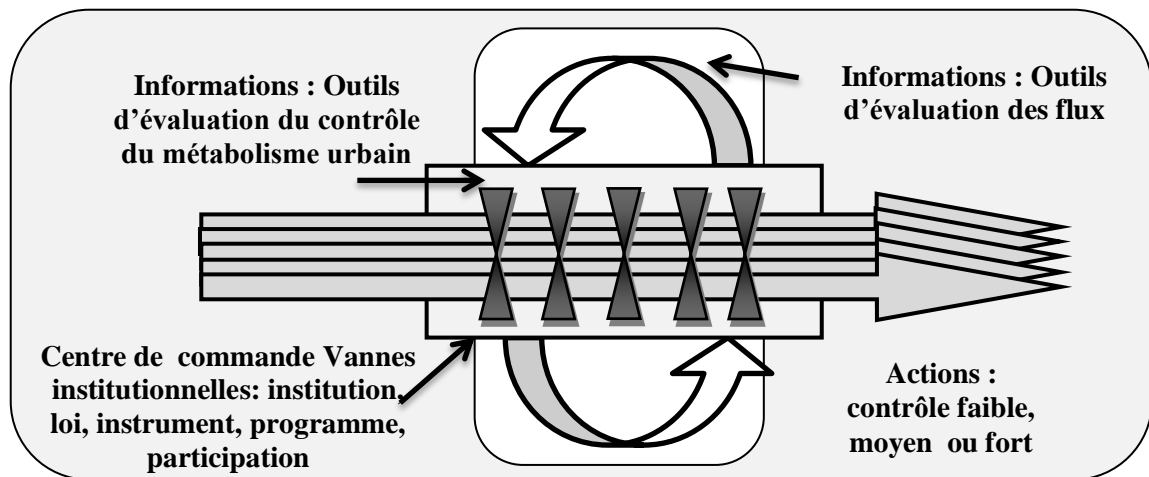


Figure 48: Modèle détaillé du CCMU

Notre outil de contrôle du CCMU vise ainsi à guider les choix des décideurs vers les réformes institutionnelles nécessaires pour la planification d'un métabolisme urbain durable. Ainsi, l'outil que nous proposons, l'empreinte institutionnelle, s'inscrit dans un cadre d'évaluation du métabolisme urbain composé aussi de l'EE (Figure 49).

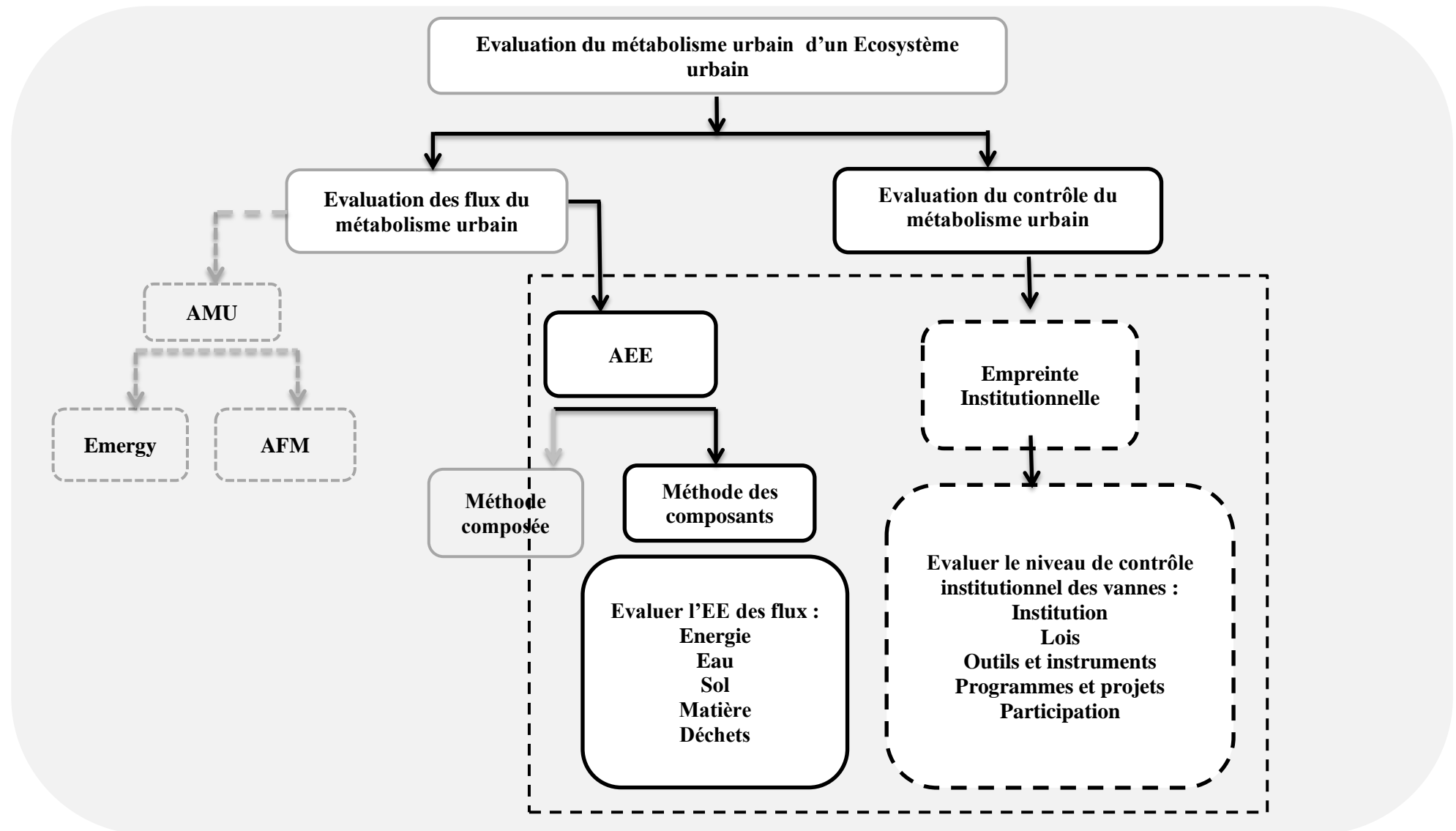


Figure 49: Cadre des outils d'évaluation du métabolisme urbain existants et proposés

4.4 Prémices d'un contrôle du métabolisme urbain en Algérie ?

Après avoir délimité la structure et le fonctionnement du contrôle du métabolisme urbain, nous nous interrogeons, pour le cas de l'Algérie, sur le contrôle des échanges entre la ville et l'environnement naturel en général et du métabolisme urbain en particulier. Pour cela, nous allons, d'abord présenter le cadre des réglementations environnementales en vigueur en Algérie. Puis nous allons présenter le projet de la nouvelle ville de Boughezoul qui nous interpelle par sa particularité de projet pilote qui va au-delà du cadre réglementaire environnemental existant vers une intégration partielle du métabolisme urbain.

4.4.1 Règlementation environnementale en Algérie

Nous avons vu que la vision écosystémique et de métabolisme urbain n'existe pas dans la réglementation environnementale en vigueur en Algérie. Toutefois, il existe un cadre de politiques environnementales qui cible la régulation de la consommation des ressources naturelles et des émissions nocifs à l'environnement et à l'homme et ce, en conformité avec les directives du sommet de Rio 92 (MATE, 2005, 2002).

Nous présentons les grandes lignes de ce cadre dans le Tableau 13 selon l'angle de vue du contrôle du métabolisme urbain que nous avons élaboré. Ainsi, les mesures de contrôles les plus importantes concernent les flux : énergies, eau, matières, sol et déchets, pour les vannes de contrôle respectives : institution, loi, programme, outil et participation.

Nous voyons ainsi, que tous les flux bénéficient d'institutions de contrôle, de lois et d'outils, et tout particulièrement les flux énergies, déchets et sol qui sont les mieux encadrés par l'ensemble des vannes, qui exercent un contrôle à des échelles différentes. En effet, seul le flux sol bâti bénéficie de contrôle à l'échelle locale de la ville, alors que les autres flux sont, plutôt intégrés dans une échelle nationale. Enfin, notons, l'absence de la vanne participation de ce cadre de contrôle.

En guise de conclusion, nous retenons que bien que ce cadre de réglementation environnementale existe en Algérie, il n'est pas intégré dans un cadre de contrôle propre à la ville. Nous pensons que notre proposition d'outil d'évaluation et de contrôle du métabolisme urbain devra prendre en charge cet état actuel afin de proposer un outil qui complète, adapte et intègre le cadre existant dans celui du contrôle du métabolisme urbain.

Eléments du cadre institutionnel/ Flux	Energie (bâtiment, industrie et transport)	Eau	Matière (nourriture, bois, fibres...)	Déchets	Sol (foncier protection du sol agricole)
Institution	Organisme pour la promotion de l'efficacité énergétique (APRUE) Fond National de la Maitrise de l'Energie (FNME) Observatoire de Maitrise de l'Energie Centre de développement des énergies renouvelables (CDER)	Agence des Eaux (ADE) SEAAL	Centre National de Production plus Propre (CNTPP)	Agence Nationale des Déchets (AND) Agence Nationale pour la Protection de l'Environnement et la lutte contre la Pollution (ANPEP) Fond National de l'Environnement et de Dépollution (FEDEP) Samasafia (réseau de surveillance de la qualité de l'air, MATE)	Agence foncière Duch Police de l'urbanisme
Lois	L 99-09 Maitrise de l'énergie	Loi N°05-12 4 août 2005 relative à l'eau.	-----	L 01-19 Contrôle et élimination des déchets Décret 06-138 réglementant l'émission dans l'atmosphère des gaz, vapeurs particules liquides ou solides, ainsi que les conditions dans lequel s'exerce leur contrôle Décret n° 02-372 du 11/11/2002 relatif à la gestion des déchets d'emballages	L. 90-29
Instrument/Outil:	Audit énergétique Taxes	Taxes	Le contrat de performance environnemental	Système national de reprise, de recyclage des déchets de l'emballage Eco-JEM (2) Plan Directeur de Gestion des déchets urbains Notice et étude d'impact Taxes	PDAU – POS Permis de construire, démolir, lotir.
Programme– projet	Conception d'une base de données des établissements Grands consommateurs d'énergie par l'APRUE Introduction de l'éclairage efficace dans le bâtiment Introduction de l'efficacité énergétique dans l'habitat collectif	-----	-----	Programme National pour la Gestion intégrée des Déchets municipaux (PROGDEM) Plans communaux de gestion des déchets municipaux Blanche Algérie	Agenda21 PAC (Alger)
Participation	-----	-----	-----	-----	-----

Tableau13: Cadre institutionnel de la protection de l'environnement naturel en Algérie

4.4.2 Cas de la nouvelle ville de Boughezoul : exemple d'intégration de l'évaluation du métabolisme urbain

Toujours dans le thème de la réglementation environnementale en Algérie, nous présentons le projet de la nouvelle ville de Boughezoul, qui s'inscrit dans le cadre du SNAT 2025⁶⁶. Ce projet a pour objectif d'équilibrer l'occupation du territoire qui est marquée par la surexploitation de la zone du littoral, et ce, par la mise en place d'une politique de développement orientée vers les zones des hauts plateaux et le Sud (Figure 50).



Figure 50: Boughezoul dans l'armature urbaine des Hauts plateaux, Source : SNAT 2025, présentation de Boughezoul Ateliers de lancement du projet FEM-Boughezoul Octobre 2011

La nouvelle ville de Boughezoul est un projet innovant qui a pour objectif de planifier la première ville algérienne Zéro carbone. En effet, en plus d'une occupation du sol qui intègre les espaces naturels vert et bleu (Figure 51), la nouvelle ville veut contrôler sa consommation énergétique. L'objectif annoncé étant de contrôler la consommation des énergies fossiles afin de diminuer les émissions en gaz à effet de serre et de là, diminuer l'EE de la ville nouvelle.

Il est utile de rappeler que l'EE, qui est citée dans les objectifs du projet, n'est pas reconnue en tant qu'outil d'évaluation dans la réglementation en vigueur. De plus, nous

⁶⁶ La loi N° 10-02 portant approbation du schéma National d'Aménagement du Territoire SNAT

considérons que les mots clés de ce projet : zéro carbone et réduction de EE insinuent que la ville poursuit l'objectif de contrôler son métabolisme urbain , ou du moins le flux des énergies dans le cadre du métabolisme urbain .

La nouvelle ville a une surface totale de 6000 Ha dont 4000 Ha urbanisable pour une population prévue de 350 000 habitants. Une superficie de 495 ha est dédiée à l'industrie de pointe (énergies nouvelles et renouvelables, l'agroalimentaire, électricité & électronique, biotechnologie, pharmaceutique et instruments médicaux, textile, résines synthétiques) ainsi que dans la recherche et développement (biotechnologie, agroalimentaire, pharmaceutique, instruments médicaux, énergies nouvelles et renouvelables, énergie nucléaire, ressources hydriques, environnement, sécurité nationale, NTIC et électricité & électronique et un centre incubateur d'entreprise) (MATE, 2011). L'aménagement de la ville nouvelle obéit aux principes du développement durable et respects de l'écosystème urbain. Il est structuré autour du lac et des réseaux bleu et vert qui organisent les différentes parties de la ville (Figure 51).

L'objectif le plus important de ce projet reste celui de minimiser son empreinte écologique et à rationaliser sa consommation d'énergies. Le projet de partenariat entre GEF-Boughezoul et l'EPIC Boughezoul a mis en place une approche intégrée pour un projet de développement à faible rejets en CO₂ dans la nouvelle ville de Boughezoul. Le projet concerne les sept volets suivants (GEF, 2010):

1. Politique d'énergies propres :

- a. Eliminer les obstacles à l'application de cette politique identifiés dans le cadre légal et institutionnel algérien.
- b. Etablir une plateforme (cadre) d'une politique de consultation : créer des comités de coordination intersectoriels.
- c. Prise en compte des résultats des études d'impacts sociaux et environnementaux dans le but de minimiser les impacts négatifs de ce projet sur l'environnemental et le social.
- d. Développer une méthodologie pour évaluer les impacts du changement d'usage des sols, conséquence de l'implantation de la nouvelle ville de Boughezoul, dans les émissions du CO₂.
- e. Développer un cadre réglementaire pour un support législatif et des mesures financières incitatives pour les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique.
- f. Former les acteurs intervenants dans la prise de décision aux énergies renouvelables et à l'efficacité énergétique.

2. Efficacité énergétique dans le bâtiment :

- a. Développer un code de conception de l'architecture bioclimatique (développement de normes d'efficacité énergétique, développer des guides / codes d'architecture bioclimatique adaptée à l'Algérie, organiser des workshops d'information sur les guides de l'architecture bioclimatique).
- b. Code d'efficacité énergétique pour la conception des bâtiments (compléter le code fait par l'APRUE, workshop de formation aux architectes et constructeurs).
- c. Développer de nouvelles normes concernant la production de l'eau chaude, chaleur et électricité par des énergies renouvelables.

3. Développement de plans de gestion urbaine adapté :

- a. Cahier des charges et termes de références pour la promotion des transports publics durables.
- b. Cahier des charges et termes de références pour la promotion de l'éclairage public efficace.

- c. Cahier des charges et termes de références pour l'utilisation de déchets dans la production d'énergies.
 - d. Cahier des charges et termes de références pour les espaces urbains verts, les espaces verts urbains sont des stocks de biodiversité à préserver et servent à la séquestration du carbone rejetée par la ville.
- 4. Développement de Master plan concernant les énergies renouvelables**
- a. Guide de développement des sources d'énergies renouvelables dans la région des hauts plateaux comme partie de la construction de la nouvelle ville de Boughezoul.
 - b. Cahier des charges et termes de références pour les projets de production d'énergie solaire.
 - c. Cahier des charges et termes de références pour les projets de production d'énergie éolienne.
 - d. Cahier des charges et termes de références pour les projets de production d'énergies par la biomasse.
- 5. La promotion de projets pilote dans l'efficacité énergétique (EE) et les énergies renouvelables (ER)**
- a. Un projet pilote : le siège de l'EPIC Boughezoul conçu et construit (ce projet pilote devra avoir une empreinte carbone réduite. Il servira à : vérifier la faisabilité des options techniques et financières adoptées, la mise en place de cahiers de charge et des termes de références et la mise en place d'un plan pour l'évaluation des performances du bâtiment.
 - b. Projet pilote d'éclairage urbain utilisant des lampes efficaces énergétiquement et un système photovoltaïque conçu et mis en place.
 - c. Projet pilote de chauffe-eau solaire.
- 6. Développer des compétences pour le transfert de technologies**
- a. Un centre d'excellence pour le transfert de technologie et la mise en place de Recherche et développement.
 - b. Initiative pilote de transfert de technologies.
 - c. Assistance technique assurée/offerte aux entreprises spécialisées dans les technologies propres pour le lancement de leur entreprise /affaire.
- 7. Prise de conscience et dissémination des meilleures bonnes pratiques :**
- a. Les décideurs publics et privés sont informés sur les bienfaits des énergies propres.
 - b. Un centre d'information sur les énergies propres.
 - c. La dissémination des outils développés pour ce projet vers de nouvelles villes nouvelles.

Pour mieux comprendre ce nouveau cadre de contrôle environnemental proposé par le projet GEF-Boughezoul, nous proposons la synthèse de ces mesures suivant notre modélisation du contrôle du métabolisme urbain selon les flux : énergies, sol et déchets et selon les vannes : institution, lois, instrument, programme et participation (Tableau 14).

Nous comprenons ainsi que le projet GEF- Boughezoul vise à contrôler une partie du métabolisme urbain de la ville, en l'occurrence le flux énergies principalement, et secondairement les flux sol et déchets urbains. Il vise, en plus, de renforcer les vannes suivantes : institutionnelle et réglementaire, programme, instrument et participation en proposant son propre cadre de régulation environnementale.

En effet, ce faisant, le projet se dote d'un cadre réglementaire particulier à la ville nouvelle de Boughezoul et en dehors de la réglementation environnementale en vigueur actuellement en Algérie. Ainsi, de nouveaux programmes et instruments sont proposés grâce à un cadre exceptionnel de pilotage du projet qui s'organise autour de comités intersectoriels qui intègrent les échelles locales communale et interministérielle (Figure 52).

Flux	Vanne				
	Institution	Lois	Instrument	Programme	Participation
Energies	<p>Eliminer les obstacles à l'application de cette politique identifiés dans le cadre légal et institutionnel algérien</p> <p>Création d'un centre d'information sur les énergies propres</p> <p>Création d'un centre d'excellence pour le transfert de technologie</p>	<p>Développer un cadre réglementaire pour un support législatif et des mesures financières incitatives pour les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique</p>	<p>Cahier des charges et termes de références pour les projets de production d'énergie solaire</p> <p>Cahier des charges et termes de références pour les projets de production d'énergie éolienne</p> <p>Cahier des charges et termes de références pour les projets de production d'énergies par la biomass</p> <p>Nouvelles normes concernant la production de l'eau chaude, chaleur et électricité par des énergies renouvelables</p> <p>Normes d'efficacité énergétique</p> <p>Cahier des charges et termes de références pour la promotion des transports publics durables</p> <p>Cahier des charges et termes de références pour l'utilisation de déchets dans la production d'énergies</p>	<p>Guide de développement des sources d'énergies renouvelables dans la région des hauts plateaux</p> <p>Code de conception de l'architecture bioclimatique + workshops d'information</p> <p>Compléter le code/guide d'efficacité énergétique pour la conception des bâtiments de l'APRUE + workshop</p> <p>Projet pilote le siège de l'EPIC Boughezoul</p> <p>Projet pilote d'éclairage urbain utilisant des lampes efficaces énergétiquement et un système photovoltaïque</p> <p>Projet pilote de chauffe-eau solaire</p> <p>Former les acteurs intervenants dans la prise de décision aux énergies renouvelables et à l'efficacité énergétique</p>	<p>Les décideurs publics et privés sont informés sur les bienfaits des énergies propres</p> <p>La dissémination des outils développés pour ce projet vers de nouvelles villes nouvelles</p> <p>Etablir une plateforme (cadre) d'une politique de consultation : créer des comités de coordination intersectoriels (<u>participation intersectorielle mais pas publique</u>)</p> <p>Prise en compte des résultats des études d'impacts sociaux et environnementaux dans le but de minimiser les impacts négatifs de ce projet sur l'environnemental et le social (<u>participation</u> : à défaut de renforcer la participation de la société dans la prise de décision, leurs doléances concernant le projet sont prises en charge dans le cadre de l'étude d'impact social et des résultats)</p> <p>Former les acteurs intervenants dans la prise de décision aux énergies renouvelables et à l'efficacité énergétique (<u>participation / formation</u>)</p>
Sol			<p>Cahier des charges et termes de références pour les espaces urbains verts</p>	<p>Développer une méthodologie pour évaluer les impacts du changement d'usage des sols, conséquence de l'implantation de la nouvelle ville de Boughezoul, dans les émissions du CO2</p>	
Déchets			<p>cahier des charges et termes de références pour l'utilisation de déchets dans la production d'énergies</p>		

Tableau 14: Synthèse des mesures de contrôle du métabolisme urbain du projet GEF-BOUGHEZOU

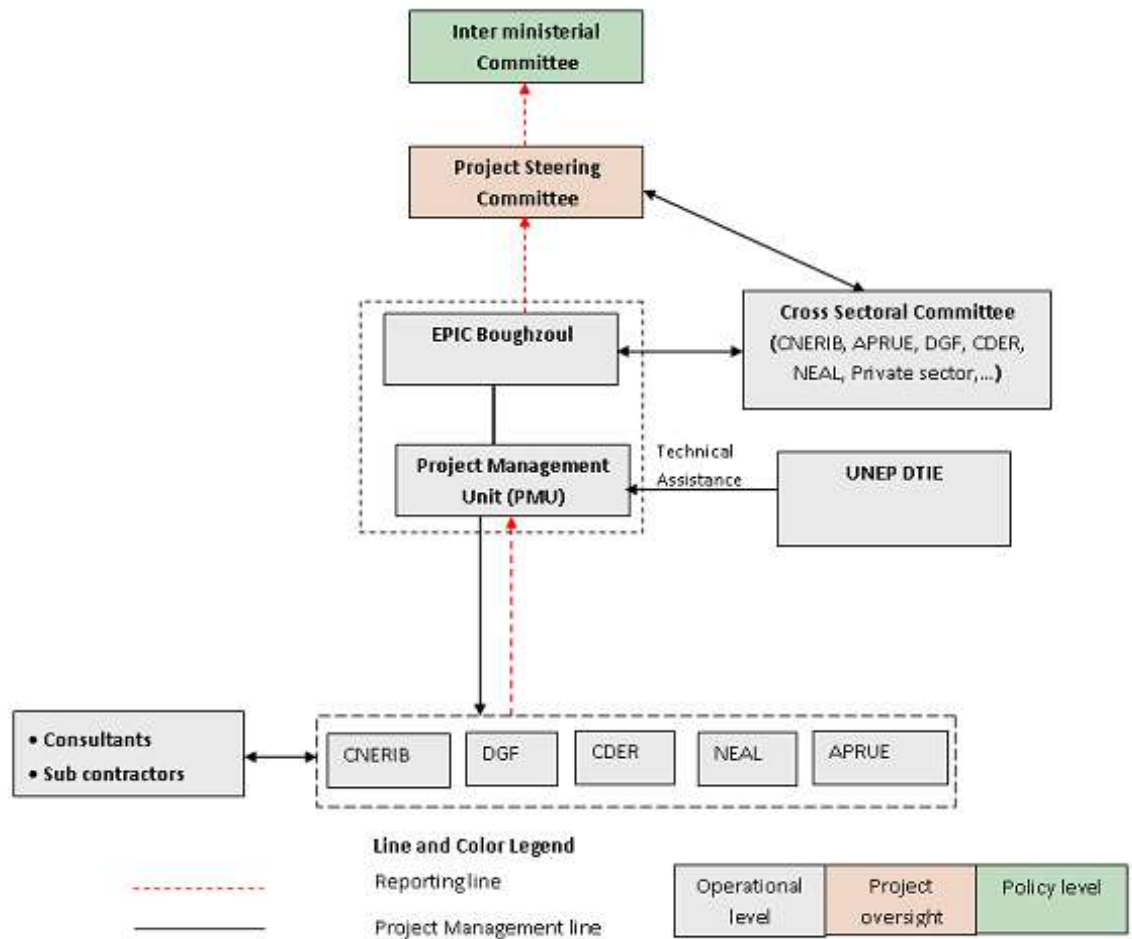


Figure 52: Structure institutionnelle de la mise en place du projet GEF-Boughezoul, (GEF 2010)

Le projet de la nouvelle ville de Boughezoul est un projet particulier en Algérie. Il introduit des notions de l'approche écosystémique. Nous retrouvons, ainsi, les concepts d'écosystème urbain et d'outils d'évaluation du métabolisme urbain telle que l'EE dans un cadre institutionnel et réglementaire exceptionnel et inédit au cadre de gouvernance algérien, qui ne reconnaît pas cette approche.

Ce projet, par ses objectifs et approche originale au cas algérien, conforte notre hypothèse sur la nécessité de proposer de nouveaux outils d'évaluation du métabolisme urbain qui s'intégreraient dans le processus de planification urbaine en Algérie.

Afin de maîtriser cette complexité, ARUP a élaboré l'outil IRM (Integrated Resource management) pour la gestion des ressources du métabolisme urbain des villes. L'IRM est un outil stratégique qui évalue la durabilité d'un projet urbain ou d'un masterplan d'une ville ou d'une région. Cet outil évalue les différentes options d'aménagement proposées par les équipes d'experts pluridisciplinaires participant au projet. Ces disciplines sont : la composition urbaine, la construction (architectes, ingénieurs...) le transport, l'énergie, l'eau, les déchets, la logistique et enfin le volet socio-économique, (Figure 55).

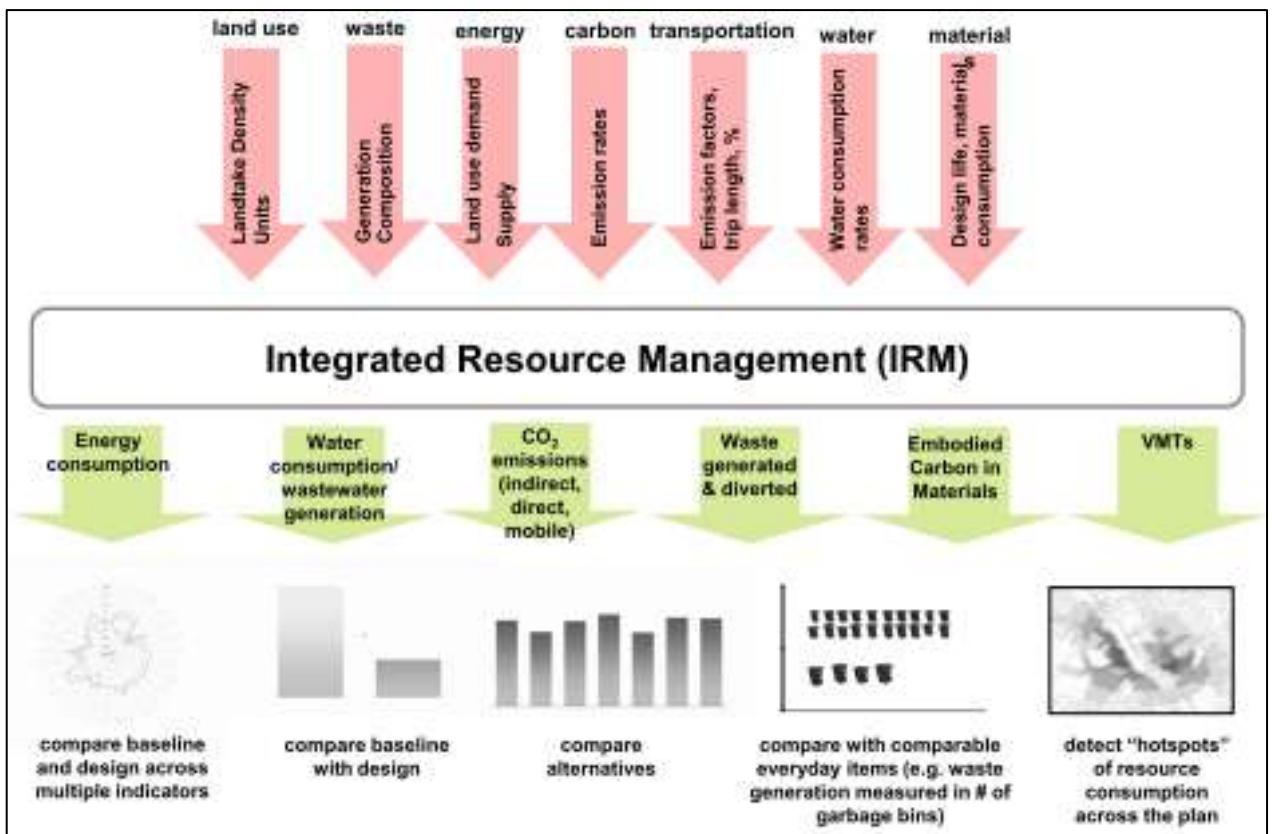


Figure 54: Modèle du processus de l'IRM, (Roberts, 2010)

L'IRM produit un modèle de données commun qui intègre les données de toutes les propositions des équipes d'experts qui participent dans le processus de planification urbaine. Son approche se base sur l'évaluation des scénarios proposés par rapport aux objectifs de durabilité choisis. Ces objectifs sont représentés par « les indicateurs clés de la performance de durabilité (KPIs) (Sustainability Key Performance Indicator) qui sont définis au préalable (Roger Evans associates, 2007). C'est aussi un outil d'aide à la décision, en effet, suivant les résultats de l'évaluation, l'IRM oriente les modifications des scénarios pour se rapprocher des objectifs dans un mouvement itératif, (Figure 55).

L'IRM se présente sous forme de logiciel indépendant qui évalue les propositions des équipes de manière à vérifier l'adéquation avec les objectifs choisis, et avec les propositions entre elles. Il offre, d'une part, une interface interne pour l'équipe du projet qui évalue les propositions des équipes d'experts avec les paramètres de durabilité choisis (KPIs) ; et d'autre part il offre une interface externe pour communiquer les résultats de l'évaluation au public. L'outil peut aussi être intégré dans un outil SIG plus complet (ARUP, 2006; Page et al., 2008; Roberts, 2010).

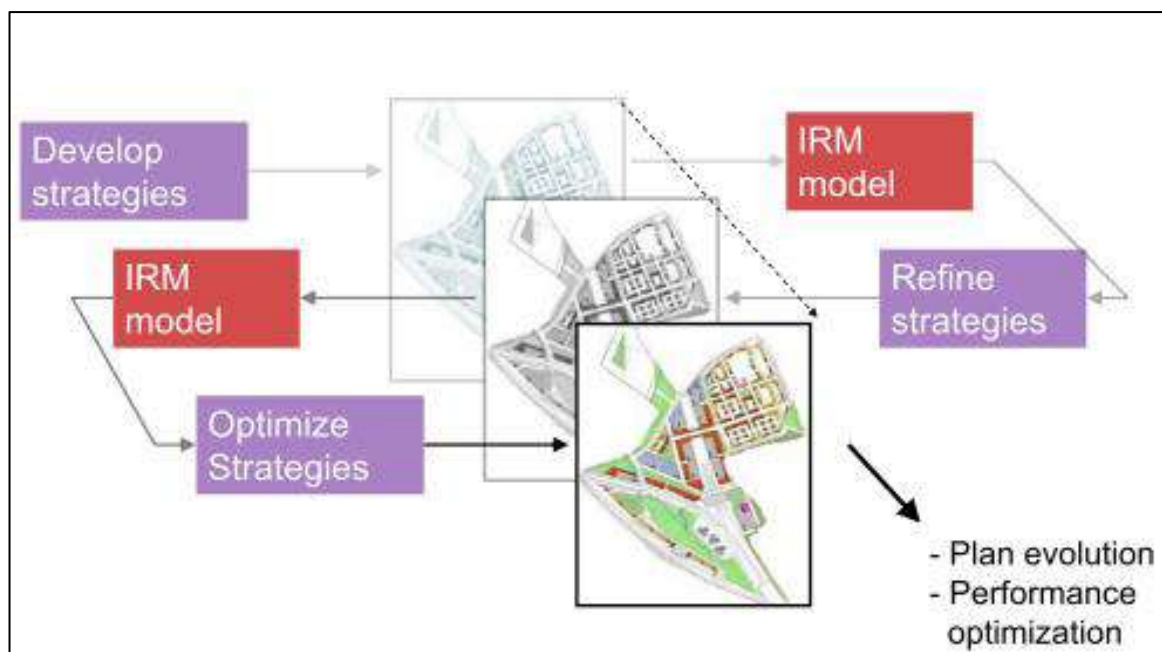


Figure 55: Solution optimale proposée par l'IRM à travers un processus itératif, (Roberts, 2010)

L'IRM est un exemple intéressant d'outil d'évaluation stratégique des projets urbains qui intègre la complexité du métabolisme urbain dans sa problématique. D'après les exemples de son application pour des projets tels que BedZED, Dongtan ou Qingdao Eco-block (ARUP, 2006; Roberts, 2010), l'outil intègre l'EE comme un indicateur clé de performance de durabilité. c'est un outil d'évaluation et d'aide à la décision, il évalue les propositions de planification urbaine par rapport aux limites de l'EE à atteindre, puis guide la modification des scénarios vers une solution stratégique optimale.

Nous constatons que la solution optimale nécessite des mesures que nous qualifions de l'ordre du contrôle du métabolisme urbain. En effet, des mesures telles que la réduction de la consommation énergétique des bâtiments ou des déplacements par voiture au profit du transport public ou par bicyclette pour atteindre des objectifs de durabilité choisis sous entendent qu'il y ait un cadre réglementaire officiel qui contrôle ces choix, or, ce n'est pas

toujours le cas. Les projets cités plus haut, dirigés par ARUP sont tous des projets pilotes qui, à travers, des propositions de planification et gestion urbaine du métabolisme urbain , créent en fait, leur propre cadre réglementaire à l'image du projet Bougezoul.

A travers notre proposition, nous cherchons justement, à identifier clairement ce qui est de l'ordre du contrôle institutionnel afin de proposer un outil qui évalue ce contrôle avant d'évaluer les solutions d'aménagement à proposer.

4.6 Conclusion

En se basant sur la modélisation de notre métabolisme urbain du chapitre précédent, et grâce auquel nous avons déduit que l'évaluation du métabolisme urbain nécessite, en plus de l'évaluation des flux, l'évaluation du contrôle des vannes institutionnelles ; ce chapitre a présenté les modalités et outils d'évaluation et de contrôle du métabolisme urbain .

En premier lieu, nous avons présenté les outils d'évaluation des flux du métabolisme urbain tout en insistant sur l'EE, qui de part ses attributs s'intègre facilement à la planification urbaine. Nous avons montré pourquoi l'EE composée apparaît être l'outil le mieux approprié pour analyser les flux du métabolisme urbain pour une ville. La méthode des composées, avec son approche bottom-up, et la plus adaptées pour l'échelle de la planification urbaine. De plus, les composants, tels que nous l'avons vu, coïncident avec les flux du métabolisme urbain que nous voulons évaluer.

En second lieu, et à défaut de présenter les outils de contrôle du métabolisme urbain parce que inexistant, nous avons exploré le champ du contrôle institutionnel qui régulent les échanges de flux entre la ville et son environnement naturel. Bien que ce champ obéisse à une toute autre vision de la ville qui n'est pas écosystémique, mais sectorielle, nous avons toutefois, pu identifier les caractéristiques des vannes de contrôle institutionnel qui doivent, selon notre modèle systémique, composer le CCMU.

En dernier lieu, nous avons présenté l'exemple de la nouvelle ville de Boughezoul comme un projet qui intègre une évaluation partielle du métabolisme urbain , avec l'emploi de l'EE comme outil d'évaluation du flux énergie. Cet exemple conforte notre hypothèse sur la pertinence d'un outil d'évaluation et de contrôle du métabolisme urbain en Algérie. De même, la présentation de l'outil IRM de ARUP pour la gestion des ressources durables a renforcé notre hypothèse d'un nouvel outil en complément de l'EE et qui sera dédié à l'évaluation et le contrôle du métabolisme urbain.

Partie III : Proposition d'un nouvel outil d'évaluation du métabolisme urbain intégré à la planification urbaine

Après avoir présenté, dans la première partie, l'évaluation environnementale selon les approches sectorielle et stratégique en vue de comprendre les approches actuelles et leur mode d'intégration à la planification urbaine, nous avons abordé, dans la deuxième partie, l'évaluation du métabolisme urbain et le changement de paradigme qu'elle introduit dans l'évaluation environnementale. Nous sommes parvenues à la conclusion que l'évaluation du métabolisme urbain doit prendre en charge les deux dimensions du métabolisme urbain, la dynamique du flux qui est prise en charge par l'EE et celle du contrôle du métabolisme urbain, qui ne bénéficie d'aucun outil. Dans la continuité de notre réflexion, la présente partie s'appuie sur les conclusions des parties précédentes, et introduit notre contribution qui est une proposition d'outil stratégique et intégré d'évaluation du métabolisme urbain. Cet outil intègre l'Empreinte Ecologique (EE) qui évalue les flux avec un nouvel outil inédit que nous proposons, l'Empreinte Institutionnelle des flux (EI) et qui évalue le contrôle institutionnel du métabolisme urbain.

Ainsi le premier chapitre est dédié à la construction de l'EI que nous proposons. Le deuxième chapitre présente l'outil stratégique d'évaluation intégré du métabolisme urbain que nous avons nommé l'Empreinte Eco-Institutionnelle Urbaine du métabolisme urbain, ainsi qu'un essai de simulation d'application partielle afin de valider l'outil que nous proposons. Enfin, et dans le but d'intégrer notre outil dans le cadre institutionnel algérien, nous exposons les possibilités d'intégration de l'EEIU dans le processus de planification urbaine environnementale en Algérie.

Chapitre 5. Proposition d'un outil d'évaluation du contrôle de l'écosystème urbain : l'empreinte institutionnelle

5.1 Introduction

Pour intégrer l'évaluation du métabolisme urbain dans la planification urbaine environnementale, nous avons émis l'hypothèse qu'il faut créer, en complément des outils d'évaluation des flux du métabolisme urbain, un outil d'évaluation du contrôle du métabolisme urbain. Nous avons vérifié dans le chapitre précédant que l'EE est l'outil approprié pour évaluer les flux du métabolisme urbain dans le cadre d'une planification urbaine environnementale. Nous avons, aussi conclu que l'outil d'évaluation du contrôle du métabolisme urbain à créer aura pour charge d'évaluer le niveau de contrôle des vannes qui composent notre modèle systémique du centre de contrôle du métabolisme urbain.

En nous appuyant sur les conclusions du chapitre précédant, nous présentons dans ce chapitre, les deux premières étapes de la démarche de conception de l'Empreinte Eco-Institutionnelle Urbaine (EEIU) qui en compte quatre : emprunter, créer, intégrer et valider. Dans la première section nous présentons l'EE que nous empruntons ; nous expliquons son rôle et la méthode de son application dans le cadre de notre outil stratégique. La seconde section concerne notre contribution qui est l'outil que nous créons pour l'évaluation du contrôle du métabolisme urbain : l'Empreinte Institutionnelle (EI). Nous introduisons la démarche suivie pour l'élaboration de cet outil : identifications des vannes de contrôle institutionnel, choix des indicateurs d'évaluation, mode d'agrégation et de pondération, et choix de représentation graphique.

5.2 Conception de l'outil d'évaluation et de contrôle du métabolisme urbain

Tel que nous l'avons déjà vu dans le quatrième chapitre, l'évaluation du métabolisme urbain bénéficie de plusieurs outils et méthodes (Kennedy et al., 2011a; Zhang, 2013b). Toutefois, l'évaluation du contrôle du métabolisme urbain n'a jamais été prise en compte et ne bénéficie, jusqu'à ce jour, d'aucun outil d'évaluation. Dans la présente recherche, nous visons justement, à remédier à cette carence par la proposition d'un outil d'évaluation du niveau de contrôle du métabolisme urbain que nous nommons l'Empreinte Institutionnelle (EI). Cet outil vise à compléter les outils d'évaluation et a pour tâche d'évaluer le contrôle des vannes institutionnelles chargées du contrôle du métabolisme urbain. Afin d'aider à la prise de décision pour le contrôle du métabolisme urbain, les évaluations des flux et du contrôle sont intégrées dans un cadre stratégique qui permet de traiter l'information collectée et donner un résultat synthétique accessible aux décideurs.

Pour la conception de ce nouvel outil nous avons voulu bénéficier de l'interdisciplinarité qui caractérise notre champ de recherche pour créer un cadre où les outils de différentes disciplines se complètent. Ainsi, en plus de proposer un nouvel outil : l'EI qui complète l'EE, nous proposons aussi un tableau de bord pour intégrer les résultats de ces deux outils. Ce tableau de bord (dashboard) constitue l'outil stratégique de monitoring et d'aide à la décision pour la régulation du métabolisme urbain, nous l'appelons l'Empreinte Eco-Institutionnelle et Urbaine (l'EEIU) (Figure 56).

En résumé, notre démarche pour la conception de l'outil EEIU, qui est notre contribution, emprunte et adapte un outil existant, crée en complément un nouvel outil, puis intègre les deux dans un cadre stratégique selon les étapes suivantes et représenté dans le schéma suivant (Figure 56) :

1. **Emprunter** un outil d'évaluation des flux : l'empreinte écologique (EE).
2. **Créer** un outil d'évaluation du contrôle du métabolisme urbain : l'empreinte institutionnelle (EI).
3. **Intégrer** les deux outils dans un cadre stratégique et opérationnel : le tableau de bord de l'Empreinte Eco-Institutionnelle (EEIU).
4. **Valider** essai d'application de l'EEIU sur un cas d'étude.

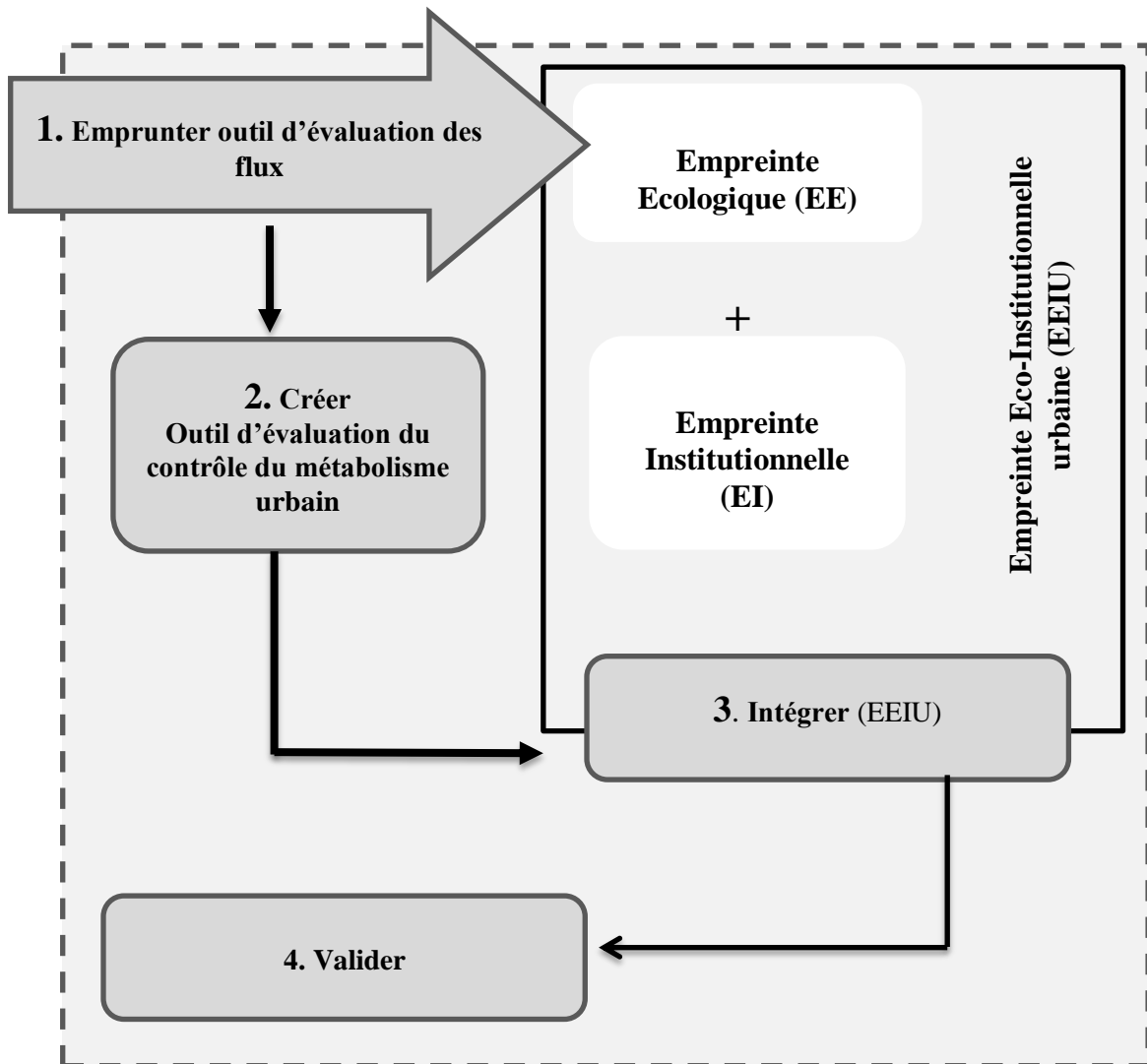


Figure 56 : Etapes de démarche pour la conception de l'Empreinte Eco-Institutionnelle Urbaine

Les deux premières étapes (1 et 2) seront présentées dans ce chapitre, tandis que les deux dernières étapes (3 et 4) seront présentées dans le chapitre suivant.

5.3 Emprunter l'outil empreinte écologique pour évaluer les flux

Nous avons vu dans la deuxième partie de ce manuscrit que les recherches sur l'évaluation du métabolisme urbain, qui se développent dans un cadre pluridisciplinaire, ont produit plusieurs outils (Broto et al., 2012b; Wiedmann and Barrett, 2010; Zhang, 2013b). Parmi ces derniers, nous avons porté notre choix sur l'EE comme outil approprié pour l'évaluation des flux du métabolisme urbain. L'analyse du métabolisme urbain par l'EE vise à quantifier les échanges des flux du métabolisme urbain entre l'établissement urbain étudiée et son environnement naturel qui supporte son développement. L'évaluation de ces échanges est agrégée en un index qui permet de comparer la valeur de cette évaluation à la capacité de charge de l'environnement naturel local et/ou global (Wackernagel and Rees, 1999; Wackernagel and Yount, 2010). Cette comparaison permet de visualiser la valeur de consommation des flux à la capacité d'offre réelle de ces services naturels par l'environnement naturel.

Depuis que l'outil d'analyse de l'EE a été adopté, il a été appliqué à différentes échelles, aussi bien à l'échelle des pays et régions que celle des villes et quartiers (Ewing, et al., 2010; Galli et al., 2013; Wilson and Anielski, 2005). Plusieurs recherches, en cours, visent à développer cet outil pour mieux l'adapter aux villes (Collins et al., 2009; Moore et al., 2013; Town and Gasson, 2003). Ces recherches insistent sur la pertinence de cet outil et plaident pour son intégration dans un cadre stratégique à la planification urbaine.

5.3.1 Echelle du système à évaluer par l'empreinte écologique

Le changement de paradigme qui s'impose au champ transdisciplinaire qui traite de l'évaluation du métabolisme urbain soulève le dilemme du choix de l'échelle et des limites de l'écosystème urbain étudié. En effet, l'échelle imposée par les entités formelles ou administratives de l'urbanisme telle que la ville et le quartier sont en déphasage avec l'entité écosystème urbain qui est l'échelle la mieux appropriée à l'évaluation du métabolisme urbain parce que cette échelle nous permet d'évaluer les flux du métabolisme urbain d'un écosystème urbain (ville ou quartier) sans le dissocier de son support naturel et nourricier. Voilà pourquoi nous préconisons un choix d'échelle qui, même s'il ne peut se libérer totalement des exigences administratives ou institutionnelles, intègre autant que possible, l'écosystème urbain au-delà des frontières administratives mais dans un cadre intersectoriel et intercommunal.

Ce choix d'échelle nécessite ainsi une nouvelle approche de la gouvernance qui adopte et institutionnalise un cadre intercommunal et intersectorielle dans les limites reconnues de l'écosystème urbain. Rappelons que cette approche a déjà été adoptée, de manière officieuse, lors de l'élaboration du PAC d'Alger qui a ciblé l'échelle de l'écosystème urbain.

5.3.2 Méthode et objectifs de l'EE

Nous avons déjà vu dans le quatrième chapitre que l'EE est calculée selon plusieurs méthodes, les plus importantes étant : la méthode composée et celle des composants. L'approche « compound » suit une approche top-down. Elle utilise les données de consommation recueillies à l'échelle nationale pour évaluer les valeurs de consommation pour la ville étudiée telle que l'EE de la ville de Londres (Girardet, 1999b) ou celle de Cape Town (Town and Gasson, 2003). Par la suite, les valeurs de l'analyse sont divisées par le nombre des habitants pour déduire l'EE par personne. Par contre, l'approche « component » suit une approche bottom-up ; elle collecte les données directement des valeurs de consommation des différents secteurs de la ville (tels que habitat, transport, services...) pour les synthétiser en un indice final d'EE.

En accord avec notre modèle systémique et l'échelle de notre écosystème urbain, nous pensons que l'outil de l'EE à emprunter est celui qui applique l'approche « component ».

5.3.2.1 Choix des flux

Le métabolisme urbain est le processus de transformation des flux input en flux output pour répondre aux besoins du développement du système urbain. Les flux du métabolisme urbain sont sélectionnés conformément à l'approche « component » par rapport à leur impact sur l'environnement, mais aussi par rapport à l'influence du politique et donc à la faisabilité de leur contrôle.

Nous avons constaté que la méthode composée appliquée aux villes n'obéit pas à des règles standards de choix des flux. D'une manière générale, les flux analysés sont les suivants :

- Eau
- Energies
- Matières, Matériaux
- Déchets (rejets métaboliques)
- Sol bâti
- Nourriture
- Transport

Dans notre cas nous optons pour les flux inputs et output qui s'intègrent au modèle conceptuel du métabolisme urbain que nous avons proposé. Nous excluons le transport parce que ce n'est pas un flux, mais un secteur et que sa consommation en énergies est déjà prise en charge par les flux énergies de même que les routes et infrastructures sont comprises dans le flux sol bâti. Quant au flux nourriture, nous considérons qu'il n'est pas du ressort de l'urbanisme. Ainsi, l'outil d'analyse l'EE que nous empruntons pour notre outil est basé sur la méthode composée pour les 5 flux (quatre flux input et un flux output) suivants (Tableau 15):

Flux input	Flux Output
Energie : consommée par les différents secteurs : résidentiel, industriel, services et transport.	Déchets : tout rejet non traité ou recyclé rejeté vers l'environnement naturel
Eau : consommée par les différentes activités de la ville. Bien que l'eau soit une ressource renouvelable, sa qualité et sa disponibilité restent dépendantes du mode de consommation des habitants.	
Sol bâti : le sol naturel, une fois consommé par l'urbanisation, viabilisé et construit est considéré comme perdu car ne servant plus aux services naturels de la nature.	
Matière : matière première, matériaux pour la construction, matière manufacturée importée.	

Tableau 15: Les cinq flux input et output pris en charge par l'EE

Notons que ces flux peuvent être décomposés à leur tour par nature et secteur, toutefois, pour les besoins de notre recherche nous nous limitons à ces 5 flux de base pour décomposer l'EE totale.

5.3.2.2 *Choix de la valeur limite de l’empreinte écologique*

L’empreinte écologique est basée sur une métaphore qui convertit les résultats chiffrés de l’analyse de la consommation des flux en une valeur de surface de sol naturel. Cette valeur de l’EE est toujours comparée à la valeur de la Capacité de Charge (CC) de l’écosystème urbain. Le métabolisme urbain dont l’EE dépasse la capacité de charge souffre d’un déséquilibre et donc toute action de régulation du métabolisme urbain devra cibler un état d’équilibre entre l’EE et la CC. Ainsi, il s’agit de définir la valeur limite admissible de l’EE en comparaison à la valeur de la CC. Cette comparaison est nécessaire parce qu’elle donne un sens à la valeur de l’EE et détermine le déficit à corriger pour le métabolisme urbain analysé. La comparaison de l’EE par flux à la CC permet aux décideurs de classer les flux par rapport à leur déficit.

De manière pratique, les décideurs devront répondre à la question suivante : de combien de Gha faut-il diminuer la valeur de l’EE ? La réponse est fonction de la valeur réelle de la bio-capacité de la ville et donc de sa capacité de charge. Elle est aussi fonction des objectifs de durabilité pris à l’échelle nationale, voire internationale. La valeur limite ou seuil de l’EE est dans l’idéal, la valeur de la capacité de charge de l’écosystème urbain, toutefois, atteindre cette valeur de prime abord peut être contraignant⁶⁸, voire impossible.

Voilà pourquoi nous préconisons des paliers de valeurs intermédiaires de l’EE limite pour le court, moyen et long terme. Ces valeurs paliers sont choisies par les décideurs de la ville, qui vont choisir une limite pour l’EE totale du métabolisme urbain ainsi que pour chaque flux selon les moyens et objectifs de développement de la ville. Ce choix implique de prendre des actions en vue de diminuer l’EE. La valeur de la diminution de l’empreinte écologique en Gha choisie devra se répercuter sur l’EE des flux.

5.3.3 **Représentation graphique des résultats de l’analyse par l’EE**

Nous préconisons de représenter le résultat de l’EE par un graphe radar (ou AMOEBA) qui indique l’EE totale de la ville décomposée en 5 flux : énergie, eau, sol bâti, matière et déchets (Figure 57). Ce type de graphique permet de visualiser l’EE totale du métabolisme

⁶⁸Diminuer l’EE au même niveau que la CC est un objectif limite qui ne peut être atteint à court terme parce que cela nécessite des changements drastiques dans le mode de production et de consommation de l’écosystème urbain.

urbain ainsi que l'EE de chaque composant comparée aux valeurs limites de l'EE (court, moyen et long terme). Ainsi, nous représentons sur le graphique du radar plein, l'EE par une tache de couleur grise sur fond des trois paliers d'EE limites à court, moyen et long terme respectivement de couleur jaune, vert clair et vert foncé.

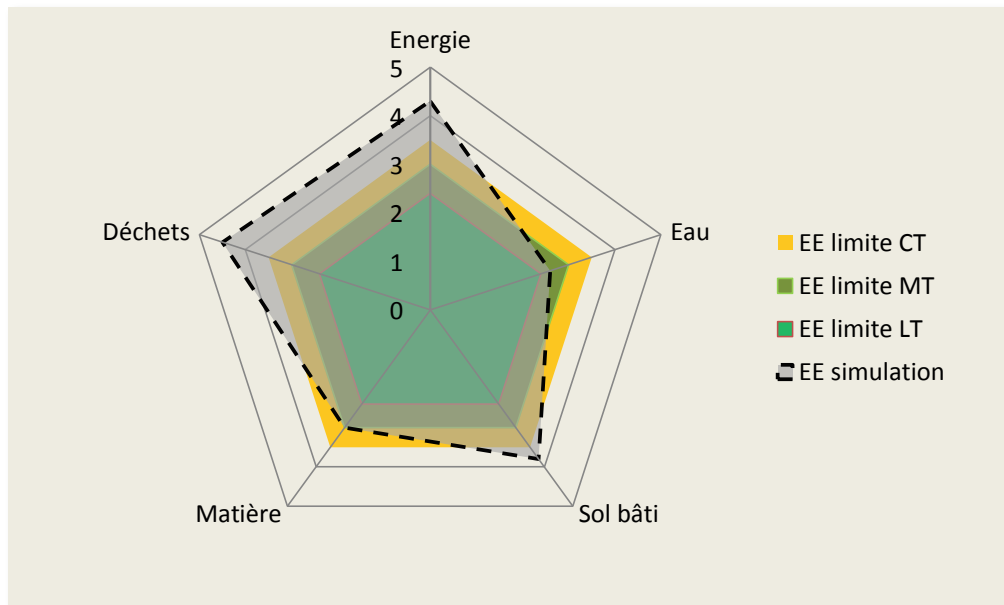


Figure 57: Exemple de représentation de l'EE par un radar plein

Cette représentation permet de visualiser les flux dont l'empreinte dépasse la limite admise tout en ayant une vision claire du comportement écologique de tout le métabolisme urbain. En effet, le graphe du radar plein aide à visualiser le déséquilibre du métabolisme urbain analysé par rapport aux limites de la capacité de charge naturelle de son écosystème urbain. Il permet aussi de classer les flux par rapport à leur EE ainsi que par rapport aux trois valeurs limites de l'EE. La représentation de l'EE des flux du métabolisme urbain par un radar plein transmet, non seulement, l'information sur le niveau de l'équilibre du métabolisme urbain comparé à l'EE limite de l'écosystème, mais permet aussi de comparer les flux les uns aux autres pour les classer et cibler le ou les flux à réguler d'urgence. Le radar plein est en effet une représentation visuelle efficace qui s'intègre parfaitement dans notre tableau de bord final comme outil d'aide à la décision.

5.4 Proposition d'un nouvel outil pour l'évaluation du contrôle institutionnel du métabolisme urbain: L'Empreinte Institutionnelle

Comme nous venons de le voir dans la section précédente, l'EE qui est l'outil d'analyse du métabolisme urbain, que nous empruntons, a pour but d'évaluer, classer et comparer les flux par rapport à leur EE. Conformément à notre méthode de conception de l'EEIU nous introduisons dans cette section l'Empreinte Institutionnelle (EI), qui est le nouvel outil que nous proposons pour compléter l'EE et qui vise à évaluer la capacité de contrôle institutionnel du métabolisme urbain.

Nous avons déjà montré que la prise de décision en vue de la diminution des EE des flux est tributaire de l'existence d'un centre de commande institutionnel pour le contrôle du métabolisme urbain. L'EI que nous proposons a, justement, pour rôle d'informer les décideurs sur l'existence ou pas des vannes de contrôle et sur le niveau de contrôle qu'elles exercent sur les flux à diminuer. L'EI est un outil qui évalue le déficit institutionnel de contrôle de l'écosystème urbain. Il identifie les vannes qui ont un contrôle faible, voire inexistant, pour guider les décisions et actions en vue du renforcement des capacités de contrôle de ces vannes.

Pour construire l'EI, nous nous sommes basés sur le modèle systémique du centre de contrôle du métabolisme urbain que nous avons conçu au chapitre quatre. L'EI doit ainsi évaluer le système de contrôle du métabolisme urbain composé des vannes institutionnelles exerçant un contrôle sur les 5 flux (énergie, eau, sol bâti, matières, déchets) (Figure 58).

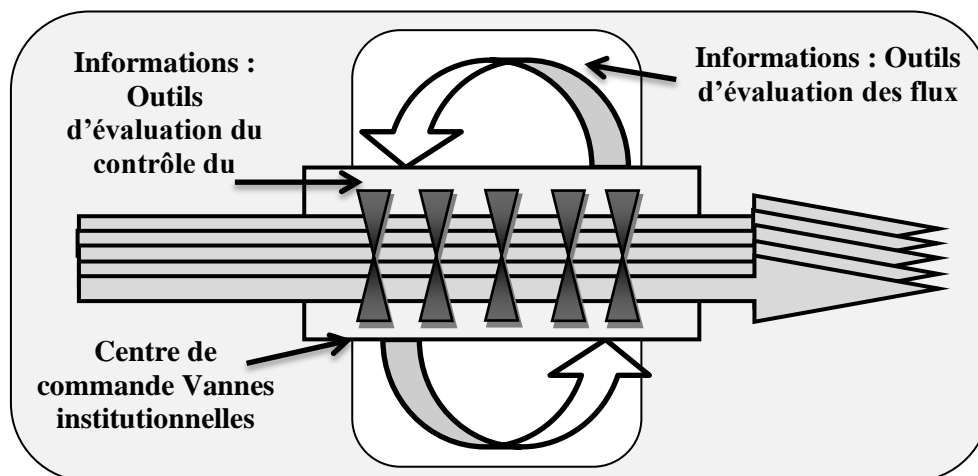


Figure 58: Centre de contrôle du métabolisme urbain

Ainsi, nous allons d'abord identifier les vannes institutionnelles, puis définir la démarche de choix des critères et des indicateurs d'évaluation à l'aide de l'analyse multicritère.

5.4.1 Identification des vannes institutionnelles de contrôle des flux

Le centre de contrôle du métabolisme urbain est composé de vannes institutionnelles au nombre des flux qui ont déjà été analysés par l'empreinte écologique et qui sont:

1. Energie
2. Eau
3. Sol bâti
4. Matières
5. Déchets

Suivant notre modélisation du centre de commande du métabolisme urbain (chapitre 4), les vannes institutionnelles de contrôle du métabolisme urbain représentent les moyens institutionnels qui ont le pouvoir de contrôler le métabolisme urbain.

Pour identifier ces vannes, nous nous inspirons des études stratégiques d'évaluation environnementales et reprenons leurs 3 Ps (politiques, programmes et projets). Dans notre cas, en plus des programmes et projets, nous identifions dans le politique les institutions, la réglementation et les instruments. Enfin, en accord avec les directives du développement durable, nous pensons qu'il est nécessaire d'introduire la vanne qui assure l'accord et l'adhérence du public à ce contrôle et qui est la vanne de la participation (Tableau 16).

Vannes	Composition
Institutions	Institution, organisme officiel (échelle nationale et locale)
Règlement	Texte législatif : loi, décret, ordonnance (échelle nationale, locale dans le cas des circulaires ou arrêtés de wilaya)
Outils et instruments	Outils officiels, qui ont force de loi mis en place dans le but d'appliquer les lois de contrôle de flux qui peuvent être intégré à une politique donnée de développement durable urbain (plan stratégique, masterplan...)
Programme et projets	Programme sectoriel ou intégré de développement urbain général qui peut concerner plusieurs institutions et instruments
Participation	Dans le cadre d'une gouvernance pour un développement durable cette vanne assure l'accord du public au contrôle

Tableau 16: Les cinq vannes institutionnelles du centre de commande du métabolisme urbain.

Après avoir identifié les vannes institutionnelles, nous allons présenter dans la prochaine section la démarche adoptée pour élaborer l'outil d'évaluation du niveau de contrôle de ces 5 vannes institutionnelles, qui est l'Empreinte Institutionnelle (EI).

5.4.2 Choix de la méthode de l'analyse multicritère pour la construction de L'EI

Pour évaluer le contrôle des vannes institutionnelles nous devons répondre au problème suivant : comment évaluer le niveau de contrôle de chacune des 5 vannes institutionnelles pour chacun des 5 flux et obtenir un indice final qui évalue le contrôle du métabolisme urbain?

La réponse nécessite l'élaboration d'un ensemble de critères et d'indicateurs d'évaluation que nous devons agréger en un indice final pour évaluer le contrôle de toutes les vannes pour chaque flux. C'est cet indice final que nous allons intégrer à l'indice de l'EE pour constituer l'outil de l'EEIU, outil d'évaluation et d'aide à la décision.

Pour construire notre outil, nous faisons appel à la méthode d'analyse multicritère pour élaborer les indicateurs, choisir les types d'agrégation et de pondération nécessaires à la construction de l'EI et l'EEIU. Nous nous sommes basés sur la démarche suivie par l'aide à la décision multicritère suivante (Roy and Bouyssou, 1993; Scharlig, 1985) :

1. Définir un modèle de la décision à prendre : quel est le problème ?
2. Dresser la liste des solutions possibles.
3. Elaborer la liste des critères de choix.
4. Faire l'agrégation des critères.
5. Juger chacune des solutions selon les critères.
6. Elaborer une matrice des solutions selon les critères.
7. Agréger les jugements pour désigner la solution.
8. Emettre des recommandations pour la prise de décision.

Dans notre cas, nous allons définir, en premier, le problème à solutionner, puis nous allons adapter cette démarche à notre propre problématique dans les sections suivantes.

5.4.2.1 *Problématique de tri et modèle de référence*

En premier lieu, nous devons définir un modèle de la décision à prendre : quel est le problème à solutionner par l'EI ? Quel est le problème à résoudre et quelles sont les solutions possibles ? Pour répondre à cette question, il est important de savoir dans quelle problématique de référence se trouve notre outil et sa solution :

Selon (Roy & Bouyssou, 1993), il y a trois problématiques :

- Problématique de choix de sélection.
- Problématique de tri et qui implique une procédure d'affectation.
- Problématique de rangement, de classement.

Dans notre cas d'évaluation du contrôle du métabolisme urbain, notre but est d'obtenir une valeur d'évaluation qui sera comparée aux valeurs de références des niveaux de contrôle fort ou faible pour prendre des actions en accord avec ce résultat. En d'autres termes, nous cherchons à trier les valeurs de contrôle des vannes institutionnelles du métabolisme urbain selon une échelle de contrôle qui varie du niveau faible au niveau fort. Ce tri vise l'affectation des vannes institutionnelles vers des niveaux de contrôle pour bénéficier des actions de régulation appropriées. Nous sommes ainsi dans une problématique de tri avec une procédure d'affectation.

Cette problématique nécessite un modèle de référence qui définit les valeurs limites des niveaux de contrôle auxquelles seront comparées les performances de contrôle des vannes évaluées. Le modèle de référence définit des valeurs de contrôle de référence, autrement dit, les valeurs limites qui définiront les catégories d'affectation. Appliqué à notre cas, le modèle de référence pour le contrôle du métabolisme urbain concerne les limites de contrôle nul et fort où les catégories d'affectation sont des paliers de contrôle : un contrôle nul parce que inexistant, ou fort (total) parce qu'il permet le contrôle total⁶⁹ des flux. Ce point concernant le modèle de référence et les catégories d'affectation seront plus détaillées par la suite.

⁶⁹ Notons qu'un contrôle fort du métabolisme urbain ne signifie pas que la solution est optimale. Un contrôle fort sans la prise en compte des agis (ceux qui vont subir l'action de la décision issue du choix des résultats de l'analyse multicritère) peut être autoritaire et problématique dans le cas d'une action urbaine qui se veut respectueuse des recommandations d'un développement durable. Ce point précis sera pris en compte et développé dans la section dédiée à la vanne participation.

5.4.2.2 Démarche suivie

Dans cette section, pour concevoir l'EI, nous adaptons une démarche qui nous est propre. Elle est basée sur la démarche multicritère avec problématique de tri. Rappelons que le but de notre outil l'EI est d'évaluer le contrôle institutionnel du métabolisme urbain, c'est-à-dire, évaluer le niveau de contrôle des vannes institutionnelles du centre de commande du métabolisme urbain pour obtenir un indice final. Cet indice final sera comparé à un modèle de référence dans le but de faire le tri par rapport au niveau de contrôle. Enfin, décider l'affectation d'une vanne institutionnelle à un niveau de contrôle donné implique une décision à prendre pour des actions de régulation du contrôle appropriées.

Après la définition du modèle de référence, nous passons à la définition des critères et indicateurs d'évaluation du contrôle pour les cinq vannes institutionnelles et pour les cinq flux. Ces vingt-cinq indicateurs sont agrégés, par la suite, en cinq indices de contrôle institutionnel pour les cinq flux. A ce premier niveau, il est possible de comparer ces indices au modèle de référence pour trier les flux par niveau de contrôle institutionnel. Enfin, à l'échelle de tout le métabolisme urbain, ces cinq indices sont repris en tant qu'indicateurs de contrôle par flux pour être agrégé une seconde fois afin d'obtenir l'indice final de contrôle institutionnel de tout le métabolisme urbain et qui est l'indice de l'EI. Notons que cette deuxième agrégation est accompagnée par une mesure de pondération à l'attention de certains flux qui ont une EE critique (Figure 59).

Ainsi, notre démarche de construction de l'EI suit les dix étapes suivantes :

1. Identifier le modèle de la décision à prendre : problématique de tri avec procédure d'affectation.
2. Adopter un modèle de référence pour le contrôle institutionnel du métabolisme urbain.
3. Définir les critères de contrôle pour les cinq vannes institutionnelles selon le modèle de référence adopté.
4. Dédire les indicateurs de contrôle des cinq vannes institutionnelles pour les cinq flux.
5. Première agrégation des vingt-cinq indicateurs pour tirer les indices de contrôle institutionnel pour cinq flux.
6. Tirer les cinq indices de contrôle des cinq flux.
7. Première comparaison au modèle de référence pour le tri selon le niveau de contrôle fort ou faible.

8. Deuxième agrégation avec pondération des indicateurs de contrôle institutionnel des cinq flux.
9. Tirer l'indice de contrôle institutionnel final du métabolisme urbain : indice de l'empreinte institutionnelle.
10. Comparer l'indice de l'EI aux valeurs du modèle de référence du contrôle du métabolisme urbain.

Notre démarche de construction de l'EI (Figure 59) sera plus détaillée, étape par étape, dans les prochaines sections de ce chapitre.

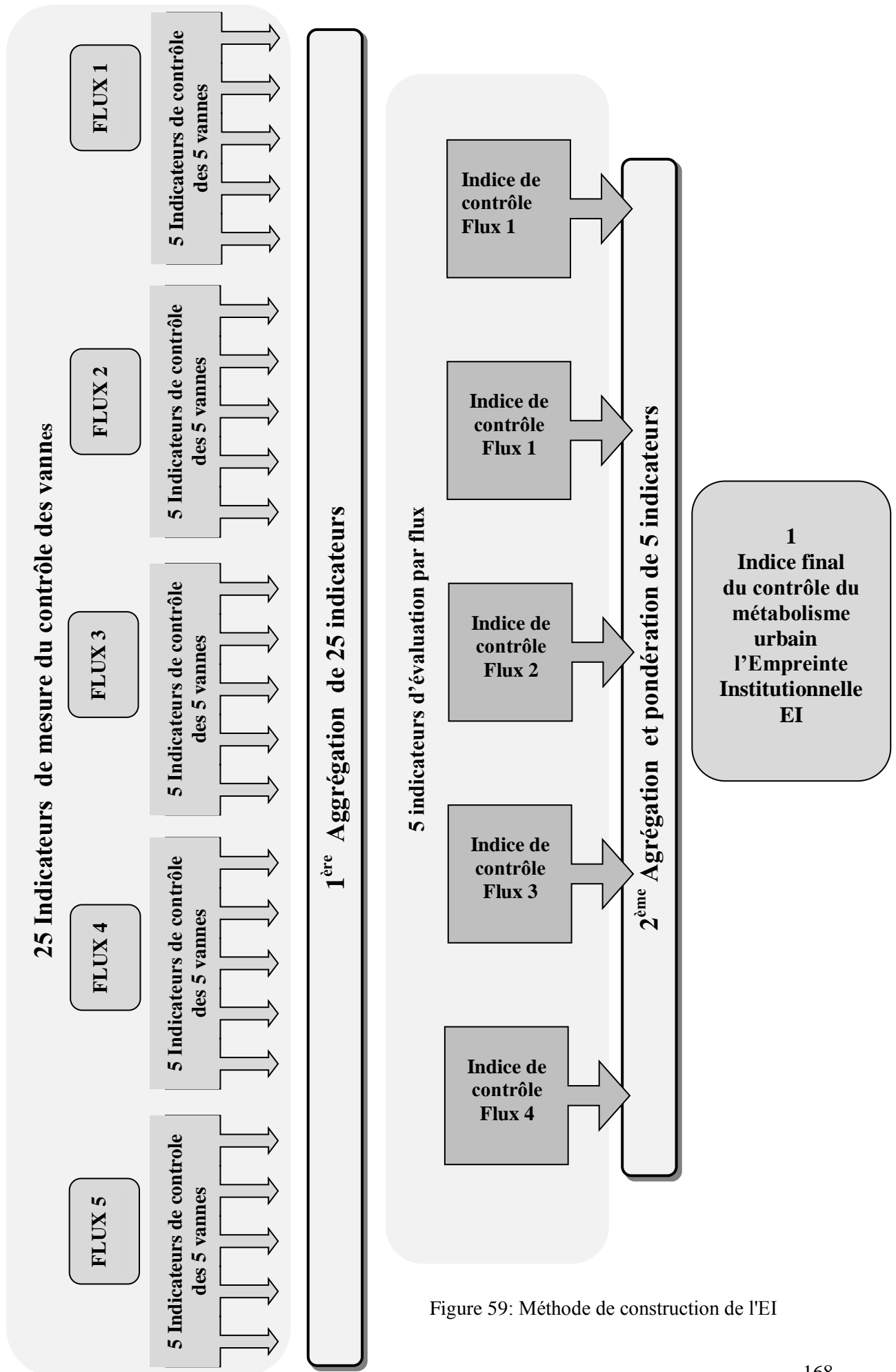


Figure 59: Méthode de construction de l'EI

5.4.3 Choix des critères d'évaluation du contrôle institutionnel des vannes

Nous présentons dans cette section la démarche suivie pour la définition des critères de contrôle pour les cinq vannes institutionnelles et qui est l'étape trois de notre démarche.

1. Identifier le modèle de la décision à prendre : problématique de tri avec procédure d'affectation.
2. Adopter un modèle de référence pour le contrôle institutionnel.
- 3. Définir les critères de contrôle pour les cinq vannes institutionnelles selon le modèle de référence adopté.**
4. Dédire les indicateurs de contrôle des cinq vannes institutionnelles pour les cinq flux.
5. Première agrégation des vingt-cinq indicateurs pour tirer les indices de contrôle institutionnel pour cinq flux.
6. Tirer les cinq indices de contrôle des cinq flux.
7. Première comparaison au modèle de référence pour le tri selon le niveau de contrôle fort ou faible.
8. Deuxième agrégation avec pondération des indicateurs de contrôle institutionnel des cinq flux.
9. Tirer l'indice de contrôle institutionnel final du métabolisme urbain : indice de l'empreinte institutionnelle.
10. Comparer l'indice de l'EI aux valeurs du modèle de référence.

Pour l'évaluation du contrôle institutionnel du métabolisme urbain nous faisons appel à la gestion environnementale des ressources qui identifie les différents types de contrôle. Le contrôle varie entre les deux niveaux extrêmes de l'absence de contrôle au contrôle total dit coercitif. Entre ces deux niveaux limites, il y a deux niveaux intermédiaires : un niveau faible, celui du libre choix caractérisé par le partage de l'information avec les différents acteurs du métabolisme urbain ; et un niveau moyen, qui est celui de l'incitation caractérisé par des mesures diverses d'encouragement pour la régulation.

Ainsi le critère de contrôle institutionnel varie ; il peut être nul, faible, incitatif ou coercitif.

- **Absence de contrôle** : Absence de contrôle institutionnel, aucune information ni donnée n'est disponible - **le contrôle est nul.**
- **Contrôle faible de persuasion (information)** : Collecte de données, Informer et laisser faire. L'action du contrôle de la vanne, ici, est entre les mains des consommateurs, qui sont seuls décideurs sur la réduction ou pas et sur la valeur limite de consommation : le libre choix - **le contrôle est faible.**
- **Contrôle incitatif** : Collecte de données, définir le niveau optimal des vannes, informer, donner libre choix mais inciter à choisir la réduction moyennant des avantages. L'action du contrôle de la vanne, ici, est entre les mains des

consommateurs, mais qui sont influencés par les autorités qui suggèrent et encouragent la régulation. - **le contrôle est moyen.**

- **Contrôle coercitif:** Collecte de données, définir le niveau optimal des vannes, monitoring, imposer le contrôle des limites avec des pénalités aux contrevenants. Ici l'action du contrôle de la vanne est coercitive : forte. – **le contrôle est fort.**

Ces différentes valeurs du critère de contrôle institutionnel sont qualitatives et nécessitent des indicateurs appropriés pour les mesurer.

5.4.4 Choix des indicateurs d'évaluation du contrôle des vannes

Après avoir défini les critères de contrôle, nous passons à l'étape quatre de notre démarche.

1. Identifier le modèle de la décision à prendre : problématique de tri avec procédure d'affectation.
2. Adopter un modèle de référence pour le contrôle institutionnel.
3. Définir les critères de contrôle pour les 5 vannes institutionnelles selon le modèle de référence adopté.
- 4. Dédire les indicateurs de contrôle des 5 vannes institutionnelles pour les 5 flux.**
5. Première agrégation des 25 indicateurs pour tirer les indices de contrôle institutionnel pour 5 flux.
6. Tirer les 5 indices de contrôle des 5 flux.
7. Première comparaison au modèle de référence pour le tri selon le niveau de contrôle fort ou faible.
8. Deuxième agrégation avec pondération des indicateurs de contrôle institutionnel des 5 flux.
9. Tirer l'indice de contrôle institutionnel final du métabolisme urbain : indice de l'empreinte institutionnelle.
10. Comparer l'indice de l'EI aux valeurs du modèle de référence.

Pour évaluer le niveau de contrôle institutionnel des vannes, nous utilisons des indicateurs de contrôle. Nous savons que les critères sont évalués par des indicateurs qui varient selon qu'ils soient des valeurs quantifiables objectives ou des données qualitatives non quantifiables (ARE, 2004). Les indicateurs semi-quantitatifs sont les mieux appropriés pour mesurer la valeur de contrôle des vannes institutionnelles du centre de contrôle du métabolisme urbain. Les indicateurs semi-quantitatif nous permettent, en effet, d'évaluer les phénomènes non mesurables et permettent une agrégation de tous les critères pour une évaluation finale totale. Nous optons pour les indicateurs semi-quantitatifs de contrôle, qui sont des valeurs de type ordinal de classement par échelle (ranking scale value) (Gallopín, 1996). Ces indicateurs nécessitent des valeurs de seuils d'évaluation définis au préalable et des valeurs de pondération lors de l'agrégation. Ces valeurs seuils correspondent au modèle de référence nécessaire à la problématique de tri de notre démarche d'analyse

multicritère. Nous considérons que le contrôle est compris dans une échelle qui va du contrôle inexistant et qui a la valeur de l'indicateur la plus faible, à un contrôle coercitif qui a la valeur d'indicateur la plus forte.

Les vannes du cadre institutionnel seront évaluées suivant le critère de leur action sur le contrôle du métabolisme urbain. L'indicateur va de 0 à 3 selon la nature de l'action qu'elle soit de persuasion, d'incitation, ou de coercition.

Pour ce critère nous adoptons des valeurs selon une échelle qui va du 0 : absence de contrôle, à 3 : Contrôle total. L'indicateur de contrôle mesurera ainsi 4 valeurs de critère de contrôle qui sont :

- Absence de contrôle : 0
- Persuasion (Information et libre choix) : 1
- Incitation : 2
- Contrôle total par coercition : 3

Dans les sections suivantes, nous détaillons les combinaisons de critères et indicateurs pour les cinq vannes : institution, règlement, outil et instrument, programme et enfin participation.

5.4.4.1 Valeurs du critère de contrôle de la Vanne Institution

La vanne institution est la vanne qui exerce un contrôle institutionnel sur le débit des flux. Elle représente tout organisme, agence, ou office qui a la charge de contrôler un flux donné. L'évaluation du contrôle de cette vanne informe, en premier lieu sur l'existence d'une institution chargée de contrôler ce flux, ensuite elle évalue le niveau de contrôle exercé par cette institution et qui peut varier de la simple récolte de données et information au contrôle coercitif. Le tableau 17 synthétise les critères et indicateurs correspondants pour la vanne institution.

Indicateurs du critère contrôle par les institutions	Valeur
Pas d'institution chargée de contrôler ce flux	0
Persuasion Existence d'institutions Objectif : Collecte de donnée sur le flux analysé : informer, sensibiliser	1
Incitation Collecte de données. Définir le niveau optimal du débit du flux. Informer, et inciter à choisir la réduction par des programmes, outils et instruments.	2
Contrôle coercitif Collecte de données, Définir le niveau optimal de la consommation, monitoring, imposer le contrôle des limites avec des pénalités aux contrevenants	3

Tableau 17: Valeurs des indicateurs de contrôle pour la vanne institution

5.4.4.2 Valeurs du critère de contrôle de la vanne Règlement

La vanne règlement est la vanne qui exerce un contrôle réglementaire de droit sur le débit des flux. Elle représente tous les textes de lois, décrets qui codifient le contrôle du débit d'un flux donné. L'évaluation du contrôle de cette vanne informe sur l'existence de ces textes réglementaires ainsi que sur le degré de contrôle qu'ils introduisent du libre choix au pouvoir coercitif selon le tableau 18. Le degré de contrôle varie en fonction des objectifs de ces textes. Le contrôle est fort (coercitif) lorsque les normes limites de consommation du flux sont fixées dans le but de forcer le respect de ces normes.

Indicateurs du critère contrôle par les règlements	Valeur
Inexistence de textes (lois, décret...) chargés de contrôler ce flux	0
Libre choix Objectif des textes : Sensibilisation et persuasion. Fixer les règles de collecte de données sur le débit du flux et sur les modalités de sensibilisation	1
Incitation Objectif des textes : incitation. Fixer le niveau optimal du débit du flux, établir des normes de limite de production / consommation du flux, inciter les usagers au respect des normes optimales par des mesures incitatives (financières, fiscales...)	2
Contrôle coercitif Objectif des textes : le contrôle. Fixer des normes limites de débit de flux, définir les programmes et instruments pour appliquer ces normes et effectuer le monitoring de leur application, imposer le contrôle des limites avec des pénalités aux contrevenants (mesures coercitives financières et légales)	3

Tableau 18: Valeurs des indicateurs de contrôle pour la vanne règlement

5.4.4.3 Valeurs du critère de contrôle de la vanne des instruments

La vanne instrument est la vanne qui exerce un contrôle opérationnel sur le débit des flux. Elle représente tout instrument, outil et norme qui est codifié par un texte réglementaire et qui vise à contrôler un flux donné. Nous incluons aussi les cahiers de charge et termes de référence des projets voués au contrôle des flux. L'évaluation du contrôle de cette vanne informe sur l'existence d'un instrument dédié au contrôle d'un flux donné et sur le degré de contrôle qui peut varier du libre choix à un pouvoir de contrôle coercitif selon le tableau 19.

Indicateurs du critère contrôle par les instruments	Valeur
Inexistence d'instruments de contrôle	0
Libre choix Existence d'outils de sensibilisation du public	1
Incitation Existence d'instruments pour l'incitation au respect des normes de consommation ou production d'un flux pour atteindre le niveau optimal défini par loi : instrument réglementaire, financier, fiscale...	2
Contrôle coercitif Existence d'instruments et outils qui ont la force et le pouvoir d'imposer le respect de la norme limite, d'effectuer le monitoring de leur application avec pénalités aux contrevenants.	3

Tableau 19: Valeurs des indicateurs de contrôle pour la vanne instrument

5.4.4.4 Valeurs du critère de contrôle de la vanne Programmes et projets

La vanne programme et projet est la vanne qui exerce un contrôle opérationnel sur le débit des flux. Elle représente tout programme ou projet initié par l'autorité (sectorielle ou centrale) qui vise le contrôle et la gestion d'un flux donné. Ces programmes concernent la mise en place de normes d'utilisation efficace (durable), de procédure ou de formation des usagers de ce flux. Dans cette vanne nous trouvons aussi les guides et codes élaborés dans le but de contrôler un flux ainsi que l'organisation de workshops dans le cadre de formation qui vise le même objectif. L'évaluation du contrôle de cette vanne informe sur l'existence de ce type de programme et sur son degré de contrôle qui peut varier du libre choix à un pouvoir de contrôle coercitif selon le Tableau 20.

Critère contrôle par les programmes et projets	Valeur
Inexistence de projets	0
Programmes/ projets (événements, journées portes ouvertes de sensibilisations...) qui visent à sensibiliser le public Libre choix	1
Programmes et projets qui visent à inciter les concernés à choisir la réduction pour atteindre le niveau optimal défini par loi : guide, procédure, formation, workshop de formation... Incitation	2
Programmes et projets qui visent des flux particuliers avec des instruments qui imposent le respect du niveau limite de l'usage du flux Contrôle coercitif	3

Tableau 20: Valeurs des indicateurs de contrôle pour la vanne programme et projet

5.4.4.5 Critère d'évaluation de la vanne gouvernance et le rôle de la participation

La démarche suivie pour l'étude du métabolisme urbain est holistique, elle intègre tous les composants du métabolisme urbain en un tout homogène et dans une démarche cohérente. Dans ce sens elle bannit toute vision sectorielle de la ville et du métabolisme urbain. Voilà pourquoi la gouvernance du centre de prise de décision du contrôle du métabolisme urbain doit elle aussi adopter une vision intersectorielle qui favorise l'intégration des différents secteurs dans la prise de décision pour le contrôle du métabolisme urbain.

a. Participation des acteurs

Cette intégration dans la vanne gouvernance nécessite la représentation des différents acteurs de l'urbain dans le processus de prise de décision du contrôle du métabolisme urbain. L'intégration de tous les acteurs doit se faire dans un cadre cohérent qui assure une prise de décision concertée par les différents acteurs de l'urbain, qui sont :

- Acteurs public :
 - Aménagement urbain, foncier
 - Habitat
 - Industries/commerce
 - Patrimoine et culture
 - Protection de l'environnement / gestion des déchets
 - Forêts et espaces naturels

- Energies
- Eaux ...
- Acteurs privés : Investisseurs (industriels, promoteurs immobiliers...)
- Public (société civile, citoyens)

L'existence de ce cadre cohérent de concertation qui assure une gouvernance intersectorielle est le critère de la gouvernance participative. Ce cadre cohérent est assuré par, en premier lieu, l'existence d'un centre de commande de contrôle du métabolisme urbain qui intègre la participation des différents acteurs et qui leur donne le droit de participer à la prise de décision. Ce cadre de cohérence doit être institutionnalisé et non pas réuni occasionnellement ou exceptionnellement pour certains projets.

b. Participation des citoyens

La participation des citoyens au contrôle du métabolisme urbain est une condition nécessaire pour s'assurer que le contrôle des vannes institutionnelles (institution, règlement, instrument, programme) ne se fasse pas de façon autoritaire. En effet, plus le contrôle du métabolisme urbain est fort et plus il est coercitif. Cette force de contrôle doit être équilibrée par la participation de la population concernée qui doit adhérer à ce projet de contrôle afin d'assurer un large consensus démocratique selon l'esprit d'un développement durable. Pour s'assurer la qualité de durabilité à l'action de contrôle du métabolisme urbain, la population doit avoir la possibilité de participer au contrôle du métabolisme urbain et à la prise de décision finale.

La participation des citoyens est aussi importante que l'intégration sectorielle⁷⁰. Pour définir les critères de durabilité et choisir la valeur de l'indicateur de participation, nous nous basons sur l'échelle de participation de Arnstein (Arnstein, 1969).

Selon Arnstein (1969), la participation du peuple ou l'accès à la citoyenneté effective concerne le partage de pouvoir. Le pouvoir ici est pris sous le sens de tout ce qui concerne la politique publique : comment l'information est communiquée, comment les objectifs des différentes politiques sont choisis, comment les budgets de l'état sont alloués à tel

⁷⁰Principe N° 7: Empowerment Empower people and foster participation.

Ce principe plaide pour renforcer la participation des acteurs sociaux et surtout des pauvres et faibles afin de faire entendre leur voix et d'avoir une large base populaire derrière le projet de ville durable.

programme ou projet, enfin, comment les programmes et projets sont choisis. Dans la réalité, le pouvoir accordé aux citoyens d'intervenir dans la planification et gestion urbaine varie selon les cas. Pour mesurer cette participation, Arnstein propose une échelle de participation qui comporte huit niveaux qui sont :

1. **Non-participation** : le degré 0 de la participation, aucune participation n'est accordée au peuple.
 - a. **Manipulation** : la participation prend l'apparence d'une opération de relation publique par les tenants du pouvoir (powerholders).
 - b. **Thérapie** : les thérapies de groupes visant les pathologies causés par les problèmes liés à l'usage et gestion du territoire ⁷¹.
2. **Coopération symbolique** (tokenism).
 - a. **Information** : Ici l'information est dans un seul sens, sans retour (feedback) et sans pouvoir de négociation. Par le biais d'articles de journaux, prospectus...
 - b. **Consultation** : consulter les citoyens par des rencontres débat ou des sondages et enquêtes sans aucune assurance que leur avis soit pris en compte.
 - c. **Conciliation/ concertation** (placation) : consultation des acteurs dans le but de concilier les différentes positions.
3. **Différents degrés de contrôle citoyen** :
 - a. **Partenariat** (partnership) : après négociation, citoyens et décideurs se mettent d'accord sur les bases des modalités de responsabilité dans la prise de décision et gestion de projet une fois pour toute sur la structure en charge.
 - b. **Délégation de pouvoir** (delegated power) citoyens et décideurs / pouvoir public négocient la mise en place de sociétés de gestion mixte, qui assurent un rôle important aux citoyens dans le prise de décision, mais aussi auxquelles les pouvoirs publics doivent rendre compte du déroulement des projets. Les citoyens sont bien représentés avec accès au pouvoir de prise de décision.
 - c. **Contrôle citoyen** (citizen control) : les citoyens ont un contrôle total sur le processus.

⁷¹ L'auteur cite l'exemple des USA où des thérapies de groupes sont organisées pour discuter de pathologies causées par les problèmes liés au territoire. Ces rencontres sont qualifiés de malhonnêtes et arrogantes par l'auteur parce que leur but n'est pas d'éliminer les causes du problème, juste à simuler la prise en charge affective. Notons qu'en Algérie, certaines émissions télévisuelles ou radiophoniques qui prennent en charge les doléances des citoyens sur les problèmes urbains de leurs quartiers, sont du même registre.

Afin de respecter le système d'évaluation choisi pour les autres vannes institutionnelles, nous optons pour 4 critères d'évaluation de la participation au contrôle du métabolisme qui seront mesurés par des indicateurs semi-quantitatifs (ordinaux) de classement qui vont de 0 à 3.

Pour cela, nous synthétisons les 7 niveaux détaillés de l'échelle d'Arnstein en 4 niveaux qui définissent les critères d'évaluation de la participation et qui vont d'absence de participation avec l'indicateur 0 à la participation avec pouvoir effectif des citoyens et contrôle citoyen pour un indicateur égal à 3 selon le tableau 21.

- Pas de participation et pouvoir sur le contrôle du métabolisme : 0
- Participation par information et consultation : 1
- Participation par la négociation et le partenariat : 2
- Participation par la délégation de pouvoir : 3

Critère contrôle par la participation des acteurs	Valeur indicateur
La participation des acteurs de l'urbain dans le CCMU n'existe pas ou n'est pas intégrée de manière institutionnalisé = 0 Recherche du soutien public par : relations publiques ou publicité	0
Information : sens unique Consultation : information avec feedback mais sans assurance que l'avis des acteurs et citoyens soit pris en compte. la participation des acteurs de l'urbain ne concerne que l'information, et parfois elle ne vise que la consultation = 1 (les acteurs consultés donnent leur avis sur le projet proposé)	1
Négociation , Partenariat par la négociation de la planification des opérations la participation des acteurs de l'urbain participe à la prise de décision par la négociation = 2 (les acteurs consultés négocient les changements au projet proposé)	2
Le contrôle citoyen Délégation de pouvoir (droit de veto aux citoyens) Participation totale dans la prise décision par le partenariat / la délégation de pouvoir = 3 (tous les acteurs participent à la mise en en place des termes de référence du projet et à son application)	3

Tableau 21: Valeurs des indicateurs de contrôle pour la vanne participation de tous les acteurs

L'évaluation de la vanne participation, contrairement aux autres vannes institutionnelles n'évaluent pas le contrôle mais plutôt l'ouverture de la participation des citoyens. Ainsi, si le contrôle des flux est positif pour les vannes institutionnelles de contrôle, pour la vanne participation c'est plutôt l'ouverture vers une plus grande participation qui est positive. Ce qui nous donne le modèle de référence suivant.

5.4.4.6 *Modèle de références des valeurs limites du contrôle des vannes institutionnelles*

Après la définition des valeurs des indicateurs d'évaluation des vannes institutionnelles et de participation, nous obtenons les valeurs de références limites des critères de contrôle suivants. Pour les vannes : institutions, règlements, instruments, programmes, les valeurs limites sont les indicateurs qui vont de 0 à 3.

- La valeur d'indicateur de contrôle égale à 0 signale l'absence de contrôle et correspond à l'inexistence de cette vanne institutionnelle.
- L'indicateur 3 signale un contrôle optimal et correspond à un contrôle coercitif appliqué par la vanne en question.

Les valeurs de références limites pour les critères de contrôle sont résumées dans le tableau 22:

Vannes	Modèle de référence	Valeur de l'indicateur de contrôle
Institution Règlement Instrument Programme/projet	pas de contrôle	V=0
	le contrôle est faible	0 < V ≤ 1
	le contrôle est moyen	1 < V ≤ 2
	le contrôle est fort	2 < V ≤ 3

Tableau 22: Valeurs des indicateurs de contrôle par vannes et par paliers de contrôle

La vanne participation à la gouvernance contrôle selon les valeurs limites qui vont de 0 à 3. L'indicateur 0 correspond à l'absence de participation dans le contrôle; la valeur 3 correspond à une participation forte aux décisions de contrôle et qui se traduit par un contrôle citoyen effectif (Tableau 23).

Vannes	Modèle de référence	Valeur de l'indicateur de contrôle
Participation	pas de participation	V=0
	la participation est faible	0 < V ≤ 1
	La participation est moyenne	1 < V ≤ 2
	La participation est forte	2 < V ≤ 3

Tableau 23: Valeurs des indicateurs de contrôle pour la vanne participation

L'adoption du même système d'évaluation qui varie de 0 à 3 adapté aux vannes de contrôle institutionnelles et de participation nous permet de les intégrer dans le même outil

d'évaluation de l'EI. Ainsi l'adoption de ce modèle de référence pour toutes les vannes nous donne l'échelle d'évaluation suivante :

Vannes	Modèle de référence	Valeur de l'indicateur de contrôle
Institution	Pas de contrôle (ni par l'autorité, ni par la participation du public)	V=0
Règlement	le contrôle est faible	0 < V ≤ 1
Instrument	le contrôle est moyen	1 < V ≤ 2
Programme/projet	le contrôle est fort et optimale (contrôle participatif par l'autorité et les citoyens)	2 < V ≤ 3
Participation		

Tableau 24: Valeurs des indicateurs de contrôle participatif par paliers de contrôle

5.4.4.7 Représentation graphique des indicateurs de contrôle des vannes institutionnelles

Nous avons vu que les résultats de l'évaluation institutionnelle par flux sont des indicateurs numériques. Ces indicateurs, que nous avons classés selon le niveau de contrôle institutionnel de chaque vanne, nécessitent une interprétation en comparaison avec les modèles de références adoptés. La représentation graphique, par la schématisation des résultats aide à la compréhension du niveau de contrôle pour chaque flux.

Pour les besoins de la simulation de la représentations graphique de l'évaluation du contrôle institutionnel, nous prenons comme exemple le cas fictif d'un flux n. Ce cas est caractérisé par l'existence d'institution forte, mais sans instruments opérationnels, avec un contrôle moyen par les lois et les projets et une participation quasi-inexistante. Les résultats de la simulation de l'évaluation sont résumés dans le Tableau 25:

Vannes	Modèle de référence	Indicateur de contrôle
Institution	V=3 le contrôle est fort	3
Règlement	1 < V ≤ 2 le contrôle est moyen	2
Instrument	0 < V ≤ 1 le contrôle est faible	1
Programme/projet	1 < V ≤ 2 le contrôle est moyen	2
Participation	0 < V ≤ 1 le contrôle est faible	1

Tableau 25: Exemple d'évaluation du contrôle institutionnel, cas fictif pour un flux n

La représentation graphique des résultats de l'évaluation peut prendre la forme d'un histogramme, d'une courbe ou d'un radar. Nous optons pour la représentation radar et

expliquons les raisons de notre choix en énumérant les avantages et inconvénients de chaque mode de représentation.

Histogramme

L'histogramme de l'évaluation du contrôle institutionnel du flux « n » permet de visionner la valeur de l'évaluation de chaque vanne institutionnelle comparée aux limites de référence ainsi qu'aux valeurs d'évaluation du contrôle institutionnel pour les autres vannes.

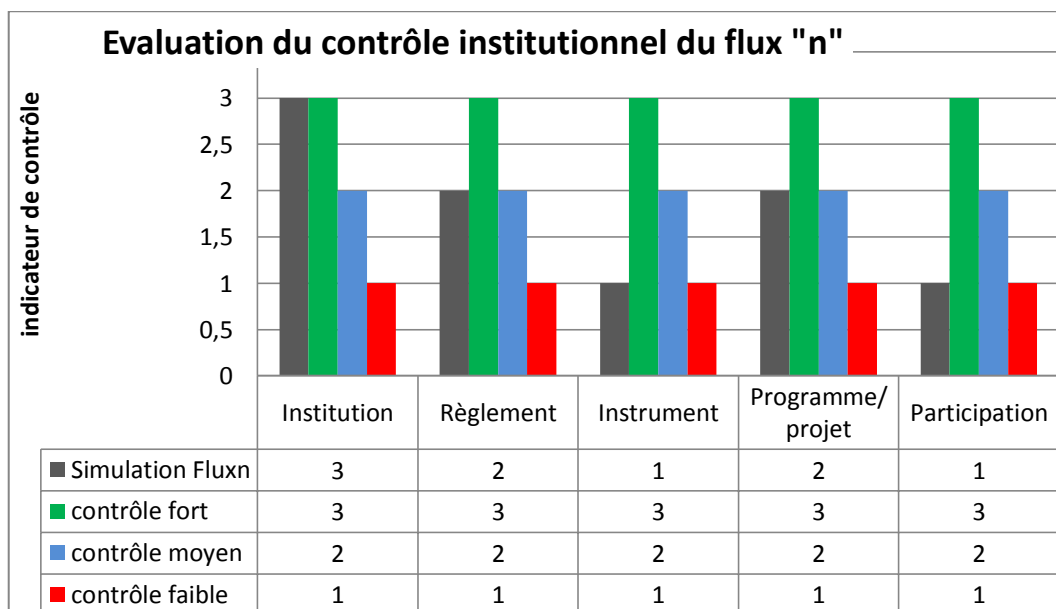


Figure 60: Histogramme des indicateurs d'évaluation du contrôle institutionnel, exemple fictif

Dans cet exemple fictif (voir Figure 60), nous voyons que les vannes instruments et participation ont un contrôle faible, alors que la vanne instrument bénéficie d'un contrôle fort. L'histogramme décompose les résultats d'évaluation pour chaque vanne, mais ne nous permet pas d'avoir une vue d'ensemble du contrôle pour toute les vannes.

Courbe

La matrice des indicateurs est représentée graphiquement par une courbe qui représente la valeur des indicateurs de contrôle de chaque vanne institutionnelle comparée aux valeurs limites de contrôle de référence : contrôle faible, moyen et fort. Dans la Figure 61, la courbe représente l'évaluation du contrôle des vannes pour un flux n (Tableau 25). Un seul indicateur est sur la ligne du contrôle fort, alors que deux indicateurs sont sur la ligne de

contrôle moyen et deux sur la ligne du seuil d'alerte du contrôle faible. Cette représentation est intéressante parce qu'elle permet de visualiser le comportement du contrôle de chaque vanne en comparaison aux limites du modèle de référence.

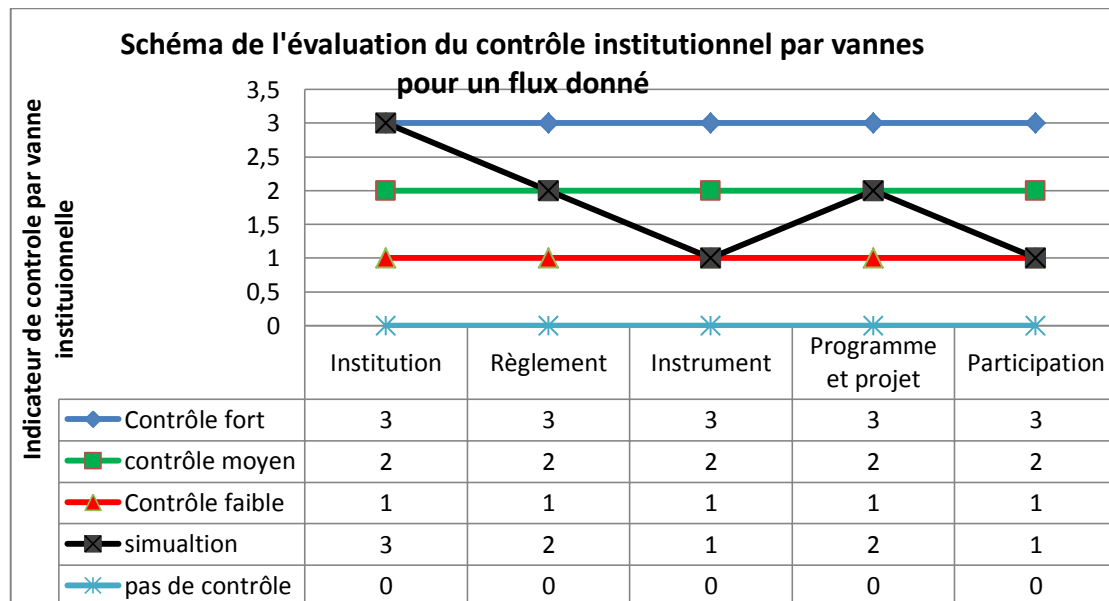


Figure 61: Courbe de l'évaluation du contrôle institutionnel par flux

Radar

Le radar traduit les valeurs des indicateurs de contrôle institutionnel en une empreinte de contrôle qui nous identifie clairement la (ou les) vannes institutionnelles responsables du degré du niveau de contrôle.

Nous constatons que le schéma sous forme de Radar (simple ou plein) donne une meilleure représentation du contrôle qui dessine une empreinte sur la toile constituée des différents indices de contrôle délimitant les limites de contrôle (voir Figure 62, Figure 63). Cette simulation indique les vannes instrument et participation sont dans la zone de contrôle faible. Toute tentative d'amélioration du contrôle du flux évalué nécessite de développer le contrôle de ces deux vannes.

La représentation graphique sous forme de radar plein visualise les 3 paliers de contrôle institutionnel. Au centre et en rouge le palier de contrôle faible, puis en bleu le palier du contrôle moyen, enfin à l'extérieur et en vert le palier du contrôle fort. Le schéma de l'évaluation du contrôle institutionnel du flux apparaît telle une empreinte qui nous

renseigne visuellement sur le niveau de contrôle du flux et surtout sur le niveau de contrôle exercé par chaque vanne institutionnelle.

Pour la représentation de notre outil l'EI, nous optons pour le radar plein. Nous utilisons le terme empreinte exprès et à juste titre afin de rappeler que l'Empreinte Institutionnelle traduit les résultats de l'évaluation du contrôle institutionnel des flux en une empreinte qui couvre une partie ou la totalité du palier de contrôle correspondant.

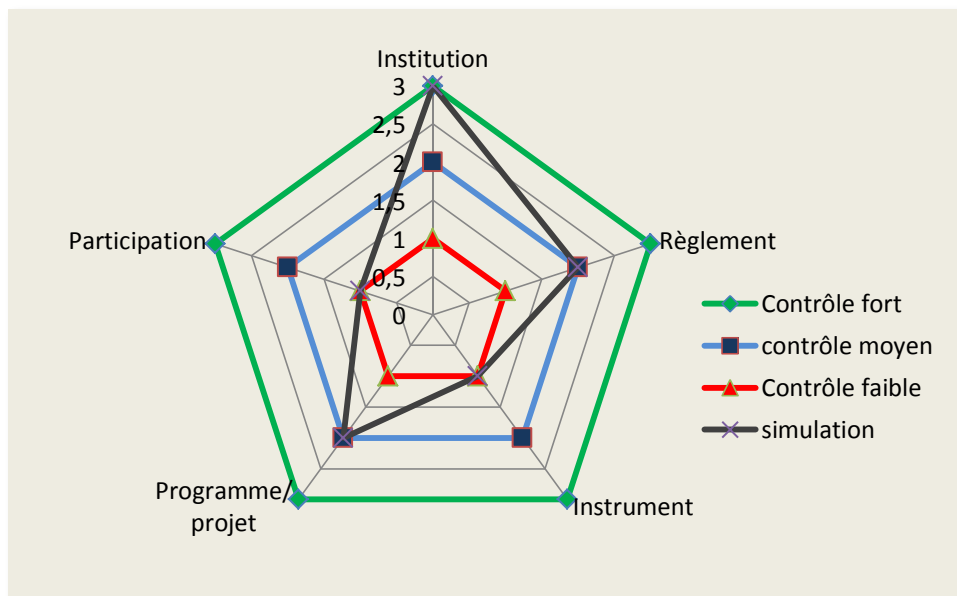


Figure 62: Radar de l'évaluation du contrôle des vannes institutionnelles

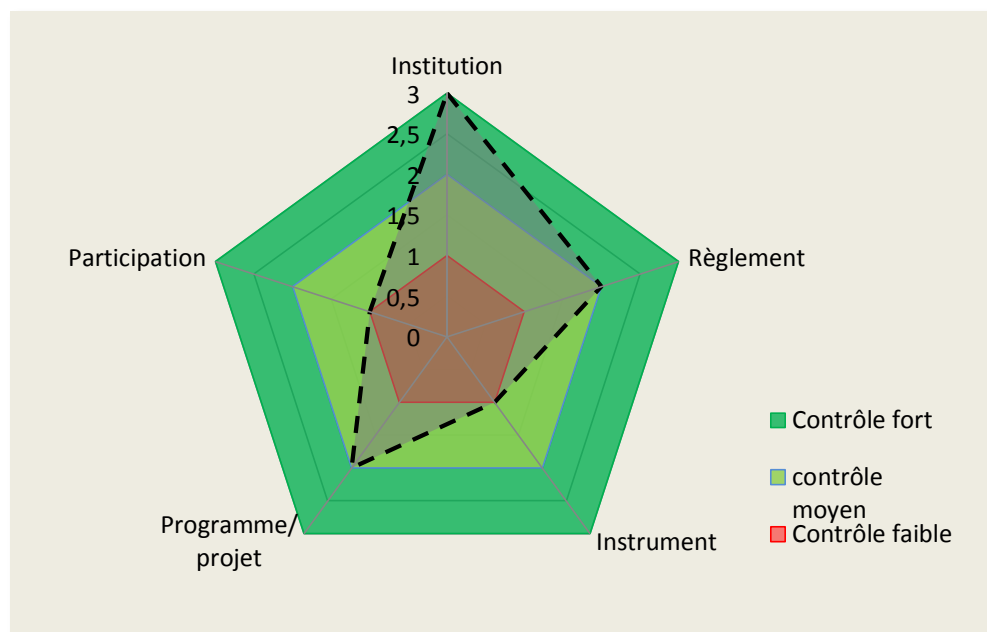


Figure 63: Radar plein de l'évaluation du contrôle des vannes institutionnelles

5.4.5 Indice de contrôle institutionnel de flux

Après avoir tiré les indicateurs de contrôle des cinq vannes pour les cinq flux, nous passons aux étapes cinq et six de notre démarche.

1. Identifier le modèle de la décision à prendre : problématique de tri avec procédure d'affectation
2. Adopter un modèle de référence pour le contrôle institutionnel
3. Définir les critères de contrôle pour les 5 vannes institutionnelles selon le modèle de référence adopté
4. Dédire les indicateurs de contrôle des 5 vannes institutionnelles pour les 5 flux
- 5. Première agrégation des 25 indicateurs pour tirer les indices de contrôle institutionnel pour 5 flux**
- 6. Tirer les 5 indices de contrôle des 5 flux**
7. Première comparaison au modèle de référence pour le tri selon le niveau de contrôle fort ou faible
8. Deuxième agrégation avec pondération des indicateurs de contrôle institutionnel des 5 flux
9. Tirer l'indice de contrôle institutionnel final du métabolisme urbain : indice de l'empreinte institutionnelle
10. Comparer l'indice de l'EI aux valeurs du modèle de référence

Les indicateurs vont nous servir à tirer l'indice de contrôle institutionnel par flux. Cet indice est le résultat de l'agrégation des vingt-cinq indicateurs de contrôle institutionnel des cinq flux. Il témoigne du niveau de contrôle institutionnel pour chaque flux. Dans cette section nous développons la méthode d'agrégation suivie pour la construction de l'indice ainsi que le modèle de référence qui en découle pour le tri des résultats. Enfin, nous abordons le volet de la représentation graphique des résultats de ce premier niveau de l'évaluation par flux.

5.4.5.1 Agrégation des indicateurs de contrôle des vannes institutionnelles

Après avoir attribué à chaque vanne ses critères et indicateurs de contrôle et identifié les modèles de références limites, nous rassemblons les indicateurs de toutes les vannes dans une matrice. Cette dernière correspond à l'évaluation du contrôle des cinq vannes d'un seul flux (Tableau 26).

Critère/Indicateur	Nul 0	Faible 1	Moyen 2	Fort 3	Simulation flux n
CI : Critère Institutions	0	1	2	3	3
CR : Critère règlement	0	1	2	3	2
CO : Critère Outils/ Instruments	0	1	2	3	1
CP : Critère Programmes et projets	0	1	2	3	2
CGP : Critère Gouvernance/ Participation	0	1	2	3	1
Agrégation par somme Σ	0	5	10	15	9

Tableau 26: Matrice d'agrégation des 5 indicateurs d'évaluation des 5 vannes par flux

A cette matrice, nous choisissons d'appliquer l'agrégation par sommation. Le but de l'agrégation est de synthétiser les indicateurs en une seule valeur numérique qui définit la valeur de l'indice de contrôle institutionnel par flux. L'agrégation par sommation des indicateurs de contrôle de chaque vanne institutionnelle nous donne un indice de contrôle institutionnel qui varie de 0 à 15. Ainsi, l'indice de contrôle institutionnel de flux n, que nous avons utilisé pour une simulation dans la section précédente (Tableau 25), nous donne un indice de 9.

5.4.5.2 Modèles de référence, valeurs de seuils d'alerte

Pour donner un sens à la valeur de l'indice issu de l'agrégation des indicateurs de contrôle du métabolisme urbain, nous nous basons sur le modèle de référence d'évaluation adopté précédemment par analogie avec les valeurs d'évaluation des vannes institutionnelles. Ainsi, nous adoptons l'interprétation suivante des niveaux de contrôle par valeur d'indice (Tableau 27).

Indice contrôle des vannes par flux	Niveau de contrôle	Valeur de l'indice de contrôle
Indice = agrégation des indicateurs de contrôle $\Sigma = CI + CR + CI + CP + CGP$	Pas de contrôle.	V=0
	Le contrôle est faible et correspond à un contrôle institutionnel faible (information et sensibilisation) et à une faible participation.	0 < V ≤ 5
	Le contrôle est moyen: correspond à un contrôle institutionnel moyen (incitation) et à une participation moyenne (partenariat).	5 < V ≤ 10
	Le contrôle institutionnel et participatif est fort.	10 < V < 15
	Le contrôle institutionnel est optimal (coercition et forte participation)	V= 15

Tableau 27: Valeurs de l'indice de contrôle par paliers de contrôle

L'agrégation des indicateurs passe de 0, pas de contrôle, à une valeur de 15 qui signifie que le contrôle est optimal. Entre ces deux valeurs extrêmes nous avons 3 paliers d'indice de contrôle institutionnel du flux évalué. Ces paliers, par analogie avec les valeurs de contrôle de chaque vanne, déterminent le niveau de contrôle institutionnel de chaque flux qu'il soit faible, moyen ou fort.

5.4.5.3 Représentation graphique de l'indice de contrôle institutionnel de flux

La Figure 64 schématise graphiquement l'échelle d'évaluation de l'indice de contrôle et identifie les valeurs extrêmes de contrôle ainsi que les 3 niveaux de palier de contrôle.

- 0 pas de contrôle
- $0 < V \leq 5$: contrôle institutionnel faible
- $5 < V \leq 10$: contrôle institutionnel moyen
- $10 < V < 15$: contrôle institutionnel fort
- 15 : contrôle optimal (le contrôle est coercitif et participatif)

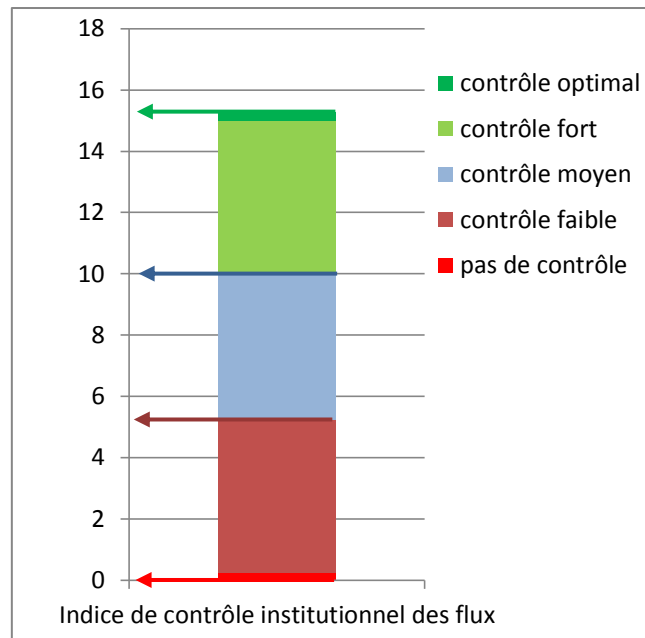


Figure 64: Les différents paliers de l'Indice de contrôle Institutionnel par flux

Ces valeurs d'indice nous permettent de trier les flux selon leur niveau de contrôle institutionnel dans le but de les affecter à un groupe d'actions particulier.

De manière succincte, nous pouvons dire que pour un flux dont l'indice de contrôle se situe dans le palier de contrôle institutionnel faible, il est indispensable et urgent de renforcer la capacité de son contrôle institutionnel pour la renforcer vers un contrôle fort et durable afin d'avoir les moyens de diminuer son EE dans les limites définies.

De même, un flux qui a un indice compris entre 5 et 10 est soumis à un contrôle institutionnel moyen ; toute action en vue de diminuer son EE, qui dépasse la valeur limite, nécessite de renforcer la capacité de contrôle institutionnel des vannes déficitaires en vue d'atteindre un contrôle fort et durable.

L'indice du flux n de la simulation (Tableau 25 p.179) est égal à 9. Situé entre 5 et 10, cet indice se trouve dans le palier du contrôle moyen. Le contrôle du flux n nécessite des réformes institutionnelles afin de renforcer les capacités de contrôle. Toutefois, cette représentation graphique ne donne pas toutes les informations nécessaires à la compréhension de la valeur de l'indice notamment la (ou les) vanne institutionnelle responsable du déficit de contrôle.

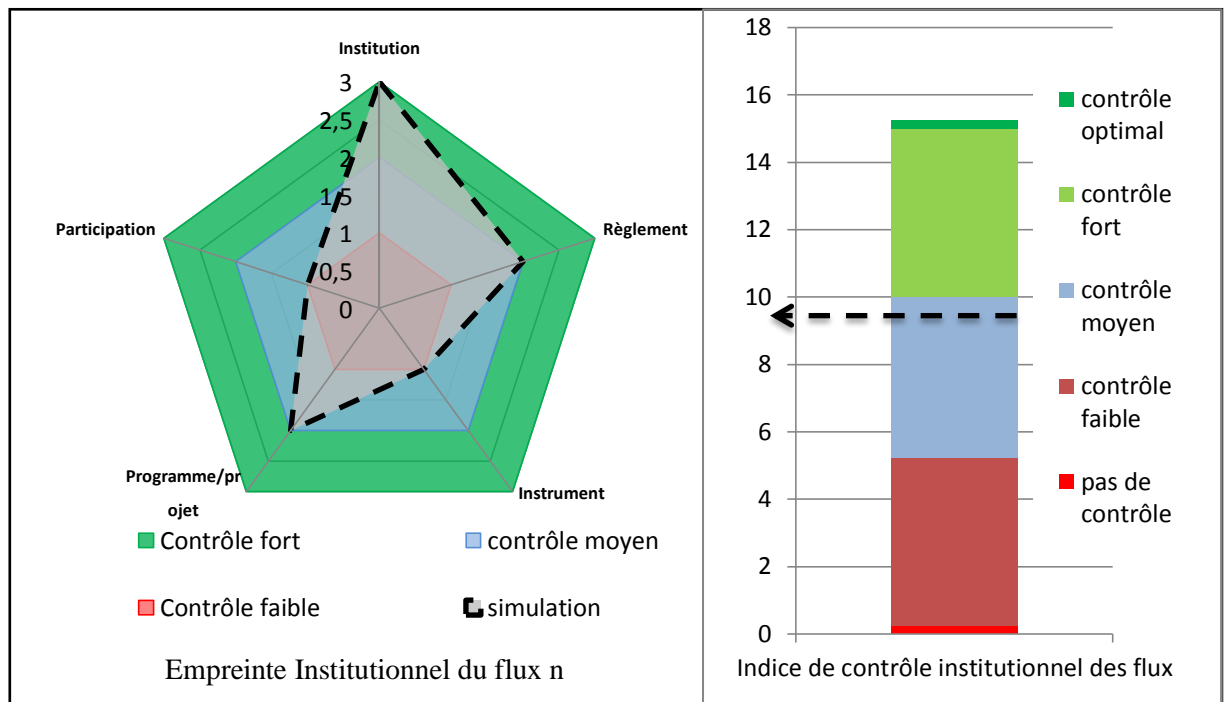


Figure 65: Représentation graphique qui associe l'échelle d'indice avec les indicateurs de contrôle pour chaque vanne pour le flux étudié

Nous proposons donc d'associer à l'échelle d'indice le radar de l'empreinte du contrôle institutionnel pour pouvoir visualiser en même temps le niveau de contrôle par vannes.

Ainsi en associant ces deux graphiques nous comprenons que bien que le flux « n » a un indice de contrôle situé dans le niveau de contrôle moyen, les vannes instruments et participation sont situés dans le palier de contrôle faible et nécessitent donc des mesures d'urgence.

5.4.5.4 Agrégation des indices de contrôle des vannes par flux

Nous sommes parvenus à la dernière étape de la construction de notre outil. Après avoir tiré les cinq indices d'évaluation du contrôle institutionnel par flux, nous allons tirer l'indice final qui évalue le contrôle institutionnel du métabolisme urbain. Cet indice est obtenu par l'agrégation des cinq indices de contrôle institutionnel des cinq flux qui composent notre métabolisme urbain.

1. Identifier le modèle de la décision à prendre : problématique de tri avec procédure d'affectation
2. Adopter un modèle de référence pour le contrôle institutionnel
3. Définir les critères de contrôle pour les 5 vannes institutionnelles selon le modèle de référence adopté
4. Dédire les indicateurs de contrôle des 5 vannes institutionnelles pour les 5 flux
5. Première agrégation des 25 indicateurs pour tirer les indices de contrôle institutionnel pour 5 flux
6. Tirer les 5 indices de contrôle des 5 flux
7. Première comparaison au modèle de référence pour le tri selon le niveau de contrôle fort ou faible
- 8. Deuxième agrégation avec pondération des indicateurs de contrôle institutionnel des 5 flux**
- 9. Tirer l'indice de l'empreinte institutionnelle final du métabolisme urbain : indice de l'empreinte institutionnelle**
- 10. Comparer l'indice de l'EI aux valeurs du modèle de référence**

Nous arrivons aux dernières étapes (8, 9 et 10) de notre démarche de construction de l'EI et qui concernent la deuxième agrégation pour tirer l'Indice de Contrôle final (IC) du métabolisme urbain et le comparer aux valeurs de référence. La matrice des flux et indices de contrôle met en relation les différents flux du métabolisme urbain avec leur indice de contrôle institutionnel. L'agrégation par sommation de ces Indices de Contrôle nous donne la formule suivante : $IC = \sum ICf_n$ pour l'indice final du contrôle institutionnel du métabolisme urbain (Tableau 28).

Indice	0 = Nul	5= Faible	10 = Moyen	3 = Fort
Flux Energies	0	5	10	15
Flux Eau	0	5	10	15
Flux Sol	0	5	10	15
Flux matières	0	5	10	15
Flux Déchets	0	5	10	15
Agrégation par sommation : $\sum ICf_n$	0	25	50	75

Tableau 28: Agrégation des indices de contrôle par flux

La valeur de l'indice varie entre 0 et 75 avec des niveaux paliers de 25 et 50. Cette valeur nécessite d'être interprétée suivant le modèle de référence (Tableau 29).

Vannes	Modèle de référence	Valeur de l'indice de contrôle institutionnel du métabolisme urbain
Agrégation par sommation : \sum des indices de flux $\sum ICf_n$	Absence de contrôle institutionnel du métabolisme urbain	V = 0
	Le contrôle est faible. Nous sommes dans la zone négative dangereuse où aucun contrôle ne se fait sur le métabolisme urbain (contrôle institutionnel faible + faible participation)	0 < V ≤ 25
	le contrôle est moyen : correspond à un contrôle institutionnel moyen (incitation) et à une participation moyenne (partenariat). Notons que dans ce cas de figure le contrôle institutionnel sur certains flux peut être bon et faible pour d'autres.	25 < V ≤ 50
	Le contrôle institutionnel et participatif est fort. Correspond à un contrôle institutionnel assez fort qui bénéficie du support populaire par une forte participation.	50 < V < 75
	Correspond à un contrôle institutionnel optimal du métabolisme urbain (coercition et forte participation)	V = 75

Tableau 29: Valeur de l'indice de contrôle institutionnel du métabolisme urbain par palier de référence

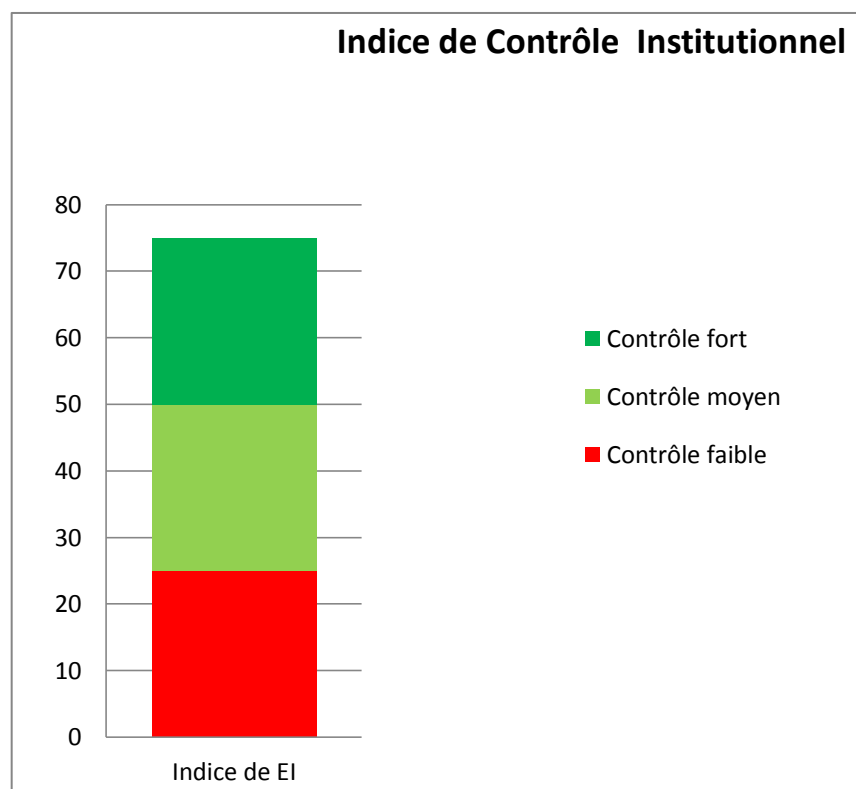


Figure 66: Echelle de l'indice de l'Empreinte Institutionnelle

Rappelons que le but de l'Empreinte Institutionnelle est d'évaluer le contrôle institutionnel du métabolisme urbain dans le but de diminuer les flux ayant une EE supérieure à la valeur limite. Ainsi la valeur de l'indice de contrôle du métabolisme urbain doit être mise en relation avec l'EE des flux. Pour cela, nous préconisons une pondération des indices de contrôle des flux en fonction de leur EE dans l'évaluation de l'indice final de l'Empreinte Institutionnelle.

5.4.5.5 *Pondération des données*

Dans les analyses multicritères, le poids de la pondération est un choix, qui dépend des objectifs et des enjeux de l'analyse (Roy and Bouyssou, 1993; Scharlig, 1985). Notre objectif final étant d'obtenir un résultat qui traduise le niveau de contrôle institutionnel et écologique du centre de commande du métabolisme urbain. Nous appliquons une pondération aux indices de contrôle des flux en fonction des valeurs de leur EE.

Pour un contrôle total du métabolisme urbain, institutionnel et écologique, nous considérons que le contrôle total doit être égal à 100. Cette valeur limite de l'indice indique que toutes les vannes institutionnelles ont un contrôle fort sur le métabolisme urbain et que son EE est en dessous de la valeur limite admise. Ainsi, la pondération que nous introduisons vise à s'assurer que même si le contrôle institutionnel est fort, l'indice ne peut atteindre la valeur de 100 que si tous les flux contrôlés ont une EE inférieure à la valeur limite admise.

Dans ce sens, la formule de l'indice de l'EI pondéré est :

$$\mathbf{IEI} = \sum \mathbf{IC}_n + \mathbf{P}_n$$

IEI = Indice de l'Empreinte Institutionnelle

IC_n = Indice de contrôle institutionnelle d'un flux n

P_n = Pondération donnée aux flux qui ont une EE < la valeur limite admise

Nous attribuons à la pondération la valeur maximale de 5 points par flux ce qui donne un total de 25 points. Le total de la pondération ajouté au nombre de 75 donne un total de 100 pour l'indice de EI (Tableau 30).

Indices de contrôle	25=Faible	50 =Moyen	75= fort	Valeur de pondération
Flux Energies	5	10	15	0/5
Flux Eau	5	10	15	0/5
Flux Sol	5	10	15	0/5
Flux matières	5	10	15	0/5
Flux Déchets	5	10	15	0/5
Agrégation par sommation : $IC_f = \sum IC_n$	$0 < V \leq 25$	$25 < V \leq 50$	$50 < V \leq 75$	
Somme des Pondérations	0→25			
Agrégation par sommation après pondération : $IEI = \sum IC_n + P_n$	$0 < V \leq 50$	$50 < V \leq 75$	$75 < V \leq 100$	

Tableau 30: Indices de contrôle institutionnel avec pondération

La pondération des indices de contrôle des flux se fait au profit des flux qui ont une EE en dessous de la valeur limite admise et qui bénéficient d'un contrôle institutionnel moyen ou fort. Même si leur indice de contrôle institutionnel est fort, il ne sera majoré que si leur EE ne dépasse pas la valeur limite.

Si par exemple, les 5 flux ont un indice de contrôle fort mais leur EE est en dessous de la valeur limite, ces flux ne bénéficieront pas de pondération positive et ainsi l'Indice de Contrôle du métabolisme n'atteindra pas la valeur de 100. Par contre, si tous les flux ont une EE inférieure à la valeur limite et un indice de contrôle moyen, ils bénéficieront tous de pondération et l'EI sera positionné dans le palier de contrôle fort.

Cas possibles de pondération

L'indice de l'EI est dans le palier de contrôle faible.

- **L'indice est inférieur ou égale à 25**, sans pondération la valeur de l'indice est dans le palier de contrôle faible (Figure 67).

L'indice de l'EI est dans le palier de contrôle moyen.

- **L'indice est égal à 25** : avec pondération sa valeur variera de 30 si un seul flux bénéficie de la pondération, à 50 si tous les flux bénéficient de la pondération. Dans ce cas la nouvelle valeur de l'indice est toujours dans le palier de contrôle moyen.

- **L'indice est égal à 50** : avec pondération, il variera de 55 si un seul flux bénéficie de la pondération, à 75 si tous les flux bénéficient de pondération. La nouvelle valeur de l'indice passe ainsi dans le palier de contrôle fort. Le contrôle institutionnel par flux peut ne pas être coercitif mais efficace dans le sens où il a atteint le but de réduire l'EE de tous ou une majorité des flux.

L'indice de l'EI est dans le palier de contrôle fort.

- **L'indice est égal à 75** : avec pondération, il variera de 80 si un seul flux bénéficie de la pondération, à 100 si tous les flux bénéficient de pondération. Le contrôle institutionnel par flux est coercitif, participatif et total. Il a atteint le but de réduire l'EE de tous les flux.

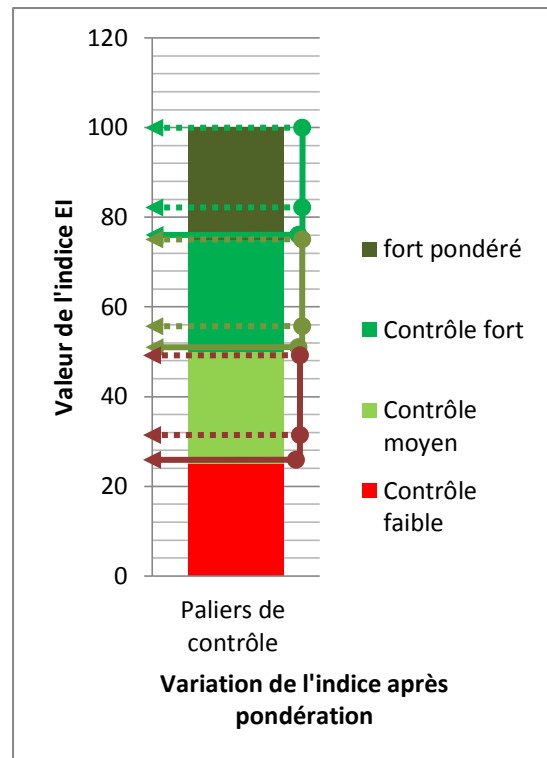


Figure 67: Variation de l'indice après pondération, cas de contrôle moyen

5.4.5.6 Représentation graphique de l'indice de l'EI

L'indice de l'empreinte institutionnelle du métabolisme urbain résultat de l'agrégation des indices de contrôle des flux est représenté graphiquement par un histogramme, une échelle d'indice et un graphe de type AMEOBA.

Le radar plein

L'AMOEBEA traduit l'indice de contrôle du métabolisme urbain en une empreinte graphique qui identifie clairement et rapidement les flux qui souffrent d'un faible degré de contrôle institutionnel. En effet, l'AMOEBEA schématise l'indice en relief et permet de visualiser l'Empreinte du contrôle Institutionnel du métabolisme urbain et de la comparer aux 3 paliers de contrôle institutionnel des différents flux (Figure 68).

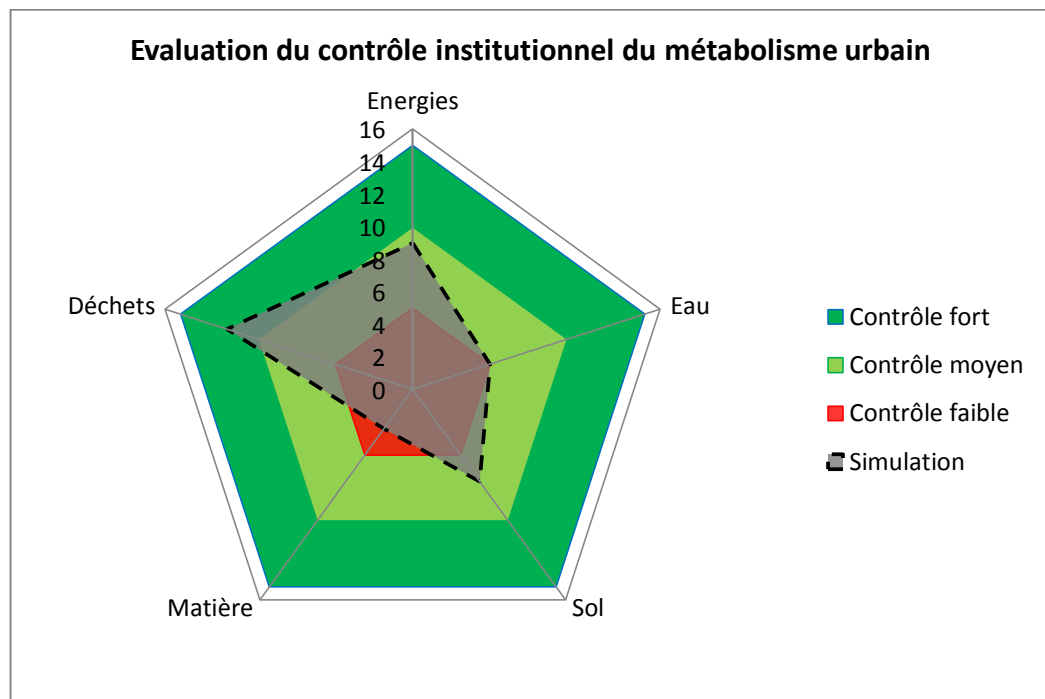


Figure 68: Radar plein de l'Empreinte Institutionnelle (EI) du centre de contrôle du métabolisme urbain

Le radar plein associé⁽²⁾ à l'échelle des indices de contrôle donne une représentation graphique complète du contrôle institutionnel du flux. L'échelle des indices nous renseigne que le contrôle est dans le palier moyen, l'AMOEBEA trace l'empreinte de contrôle détaillée par vannes institutionnelles et distingue les vannes qui ont un contrôle faible, à cibler en priorité. L'empreinte sera indiquée par un graphe radar (AMOEBEA) et en une échelle d'indice.

Dans cet exemple de simulation nous voyons clairement que l'EI identifie les flux eau et matières dans le palier du contrôle faible. Cela indique que les vannes institutionnelles qui sont censées contrôler ces flux ont un faible pouvoir de contrôle. Seul le flux déchets est dans le palier du contrôle fort. Ainsi les flux sol bâti, énergies, transport et matières nécessitent des actions de renforcement, mais les flux eau et énergies nécessitent des actions prioritaires.

Speedometer

L'échelle de l'indice de contrôle de l'EI représente de manière graphique la valeur finale du contrôle du métabolisme urbain comparée à l'échelle de contrôle qui varie de 0 à 100. Elle est divisée en trois paliers de contrôle : faible de 0 à 25, moyen de 25 à 50 et fort de 50 à 75 et fort avec pondération de 75 à 100 (Figure 68).

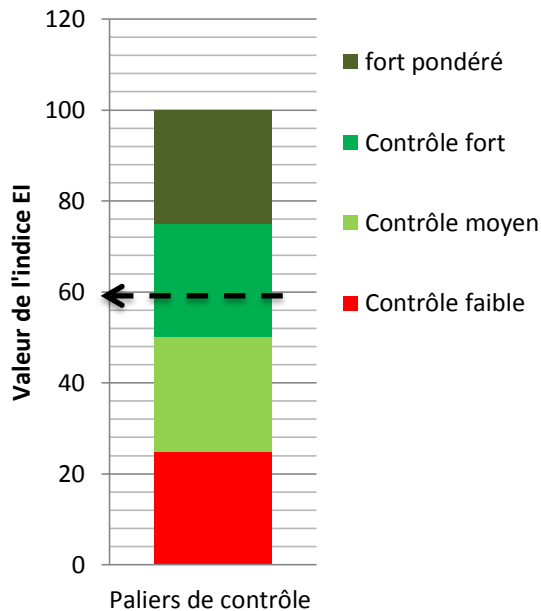


Figure 69: Indice de l'EI représenté par histogramme

Pour la représentation de l'indice de l'EI, nous préférons toutefois le speedometer qui représente un cadran partagé en quatre secteurs correspondant aux paliers de contrôle du métabolisme urbain et d'un pointeur (ou curseur) qui pointe la valeur exacte de l'EI. Le speedometer est utilisé dans les tableaux de bord ; il est conçu à l'aide du programme d'Excel.

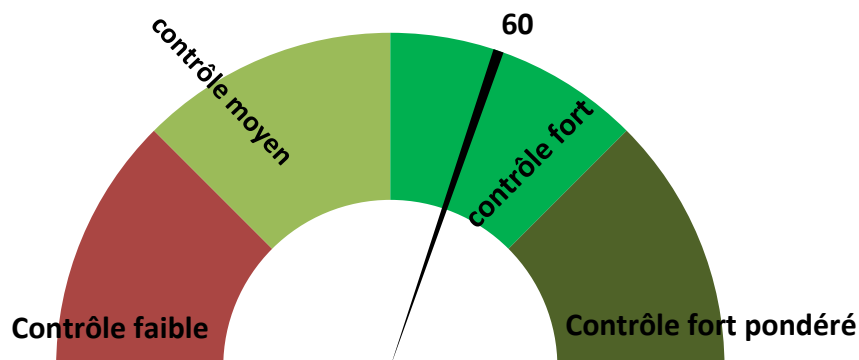


Figure 70: L'indice de l'EI représenté par un speedometre

5.5 Conclusion

Afin d'intégrer l'évaluation du métabolisme urbain dans la planification urbaine environnementale, nous avons émis l'hypothèse d'intégrer, en plus de l'évaluation du métabolisme urbain, l'évaluation de sa capacité de contrôle. Nous avons conclu dans les chapitres précédant que cette évaluation ne peut se faire qu'à l'aide d'un outil supplémentaire qui viendrait en complément de l'outil de l'EE évaluer la capacité de contrôle institutionnel du métabolisme urbain.

Dans ce chapitre, nous avons présenté cet outil d'évaluation du métabolisme urbain que nous proposons pour répondre à ce besoin. Nous avons, d'abord, expliqué la démarche transdisciplinaire suivie pour concevoir le cadre stratégique qui se base sur quatre étapes :

1. emprunter l'EE,
2. créer l'EI,
3. intégrer les outils EE et EI
4. et valider.

Puis nous avons présenté les deux premières étapes.

Ainsi, après avoir présenté l'EE que nous empruntons, et expliqué les modalités de son application, nous avons introduit notre contribution l'EI. Nous avons expliqué les dix étapes de la méthode de construction de l'EI qui se base sur la méthode d'analyse multicritère. Nous avons présenté la démarche d'élaboration des indicateurs d'évaluation de contrôle pour chaque vanne, ainsi que le choix du mode d'agrégation et de pondération pour tirer l'indice final d'évaluation du contrôle institutionnel qui constitue l'empreinte institutionnelle du métabolisme urbain. Enfin, nous avons présenté et expliqué notre choix du radar plein pour la représentation graphique de l'EI et du speedometre pour la représentation de l'indice final.

Les troisième et quatrième étapes de la démarche d'élaboration de l'EEIU dédiée à l'intégration des deux outils, EE et EI, dans un tableau de bord qui constitue l'outil stratégique d'évaluation et de contrôle institutionnel du métabolisme urbain ainsi que l'essai de simulation pour la validation sera présenté dans le sixième chapitre.

Chapitre 6. Proposition du Dashboard de l'EEIU comme outil d'évaluation stratégique et d'aide à la décision pour le contrôle du métabolisme urbain

6.1 Introduction

Dans le chapitre précédent, nous avons présenté la démarche suivie pour la construction de notre contribution : l'outil EI qui vise à compléter l'outil de l'EE et son évaluation des flux par l'évaluation du contrôle institutionnel du métabolisme urbain. Dans ce chapitre, nous achevons notre contribution et présentons le tableau de bord « Dashboard EEUU » qui représente l'outil stratégique qui intègre les deux outils l'EE, que nous avons emprunté et l'EI que nous avons créé. Nous expliquons, d'abord, la démarche qui a guidé la conception de ce tableau de bord et sa présentation à l'aide du tableur Excel. Puis, nous proposons une validation de l'outil par une simulation d'application partielle pour les villes d'Alger et de Boughezoul. Enfin, nous proposons une procédure d'intégration dans le processus de planification urbaine en Algérie.

6.2 Démarche de conception de L'EEIU : cadre d'intégration des EE et EI

Après avoir emprunté l'outil de l'EE pour l'analyse du métabolisme urbain et après avoir créé l'outil de l'EI pour l'évaluation du contrôle institutionnel du métabolisme urbain, nous avons atteint l'étape de l'intégration de ces deux outils dans un cadre qui a pour objectif l'aide à la décision pour le contrôle du métabolisme urbain (Figure 71).

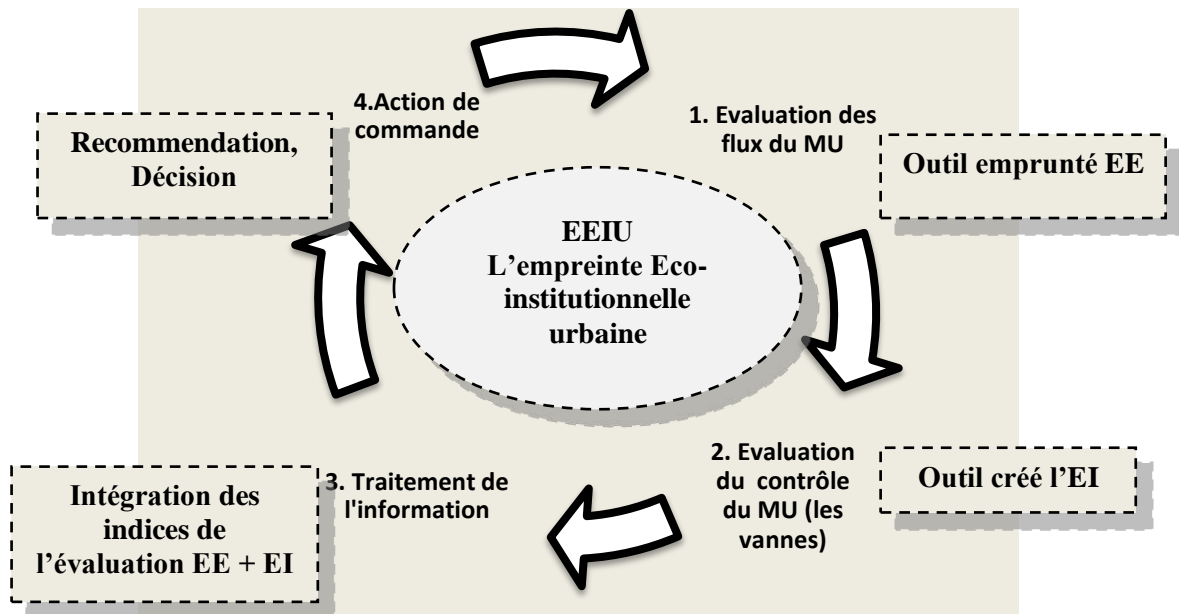


Figure 71: Processus d'évaluation et de contrôle du métabolisme urbain par l'Empreinte Eco-Institutionnelle Urbaine

L'Empreinte Eco-Institutionnelle Urbaine (EEIU) intègre, dans un cycle continu, les quatre étapes suivantes :

1. Evaluation des flux du métabolisme urbain par l'empreinte écologique EE.
2. Evaluation du contrôle institutionnel par l'Empreinte Institutionnelle (EI).
3. Intégration des deux indices de contrôle (Empreinte Ecologique et Empreinte Institutionnelle). C'est la phase du tri des indices pour l'affectation à des niveaux de contrôle.
4. Elaboration des recommandations pour chaque niveau de contrôle pour la prise de décision : action de réduction du débit des flux cibles et renforcement institutionnel pour les vannes de contrôle déficientes.

6.2.1 Les indicateurs clés de l'évaluation du métabolisme urbain

Dans notre recherche, nous soutenons que l'évaluation du métabolisme urbain nécessite l'évaluation des flux par l'EE et l'évaluation de son contrôle, par l'EI. Les valeurs des indices de l'EE et de l'EI représentent les indicateurs clés de l'évaluation du métabolisme urbain.

6.2.1.1 L'indice de l'Empreinte Ecologique (EE)

Comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, pour l'évaluation des flux du métabolisme urbain nous avons opté pour l'outil de l'EE. L'EE est un indice agrégé de plusieurs indicateurs qui évaluent les flux consommés (énergie, eau, sol bâti, matières) ainsi que les flux rejetés (déchets) par un métabolisme urbain. Cet indice, qui est une valeur numérique, est évalué en unité de sol (Global Hectare (Gha)) et il est comparé à la capacité de charge de l'environnement naturel de l'écosystème urbain. Un métabolisme urbain équilibré est celui dont l'EE ne dépasse pas la limite de la Capacité de Charge (CC) de son environnement naturel. Nous avons identifié trois niveaux d'EE limite pour lesquelles la valeur de la CC est la limite à long terme avec deux valeurs intermédiaires à court, et moyen termes. Ces valeurs limites sont choisies par les décideurs dans le but d'étaler dans le temps les réductions nécessaires selon la faisabilité des moyens et objectifs.

L'analyse du métabolisme urbain par l'EE identifie les flux dont l'EE dépasse la valeur limite admise et qui nécessitent des actions de régulation en vue de diminuer leur débit. Nous représentons le résultat graphiquement par un radar plein (Figure 72). Le radar expose visuellement les EE des flux sur un fond qui identifie les paliers de l'EE limite à court, moyen et long terme.

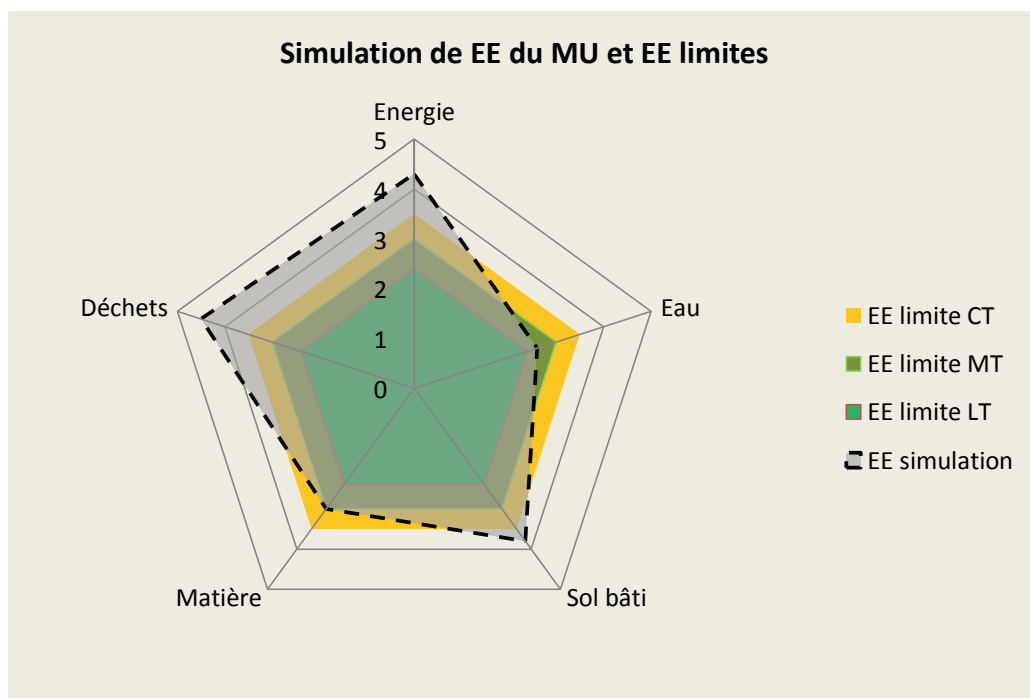


Figure 72: Radar plein de l'EE décomposée par flux

6.2.1.2 L'indice de l'empreinte institutionnelle (EI)

Pour l'évaluation du contrôle des vannes nous avons proposé un nouvel outil que nous avons nommé : l'Empreinte Institutionnelle (EI). Le résultat final de l'analyse par l'EI est un indice qui est une valeur numérique qui évalue le contrôle institutionnel du métabolisme urbain. Cet indice est issu de l'agrégation d'autres indices secondaires qui évaluent, pour chaque flux (énergie, eau, sol bâti, matières, déchets) son niveau de contrôle institutionnel (institution, lois, instrument, projet, participation).

L'EI nous renseigne sur les carences de contrôle de chaque flux et identifie les vannes institutionnelles déficientes ou qui exercent un faible contrôle sur les flux identifiés. Pour classer les niveaux de contrôle institutionnel, nous avons identifié trois niveaux de contrôle : faible (0 à 25), moyen (de 25 à 50), fort (de 50 à 75). Ce dernier atteint la valeur de 100 après pondération en fonction des valeurs de l'EE. A chaque niveau de contrôle institutionnel, correspondent des recommandations pour la mise à niveau du contrôle institutionnel du flux cible.

Pour la représentation graphique de l'EI, nous avons opté pour le radar plein qui traduit les résultats en une empreinte projetée sur les trois paliers de niveaux de contrôle par flux. L'empreinte, par la surface de la « tache », permet de visualiser clairement « l'ampleur » du contrôle du métabolisme urbain tout en identifiant le niveau de contrôle de chaque flux. Le niveau de l'EI est aussi représenté de manière synthétique par un « speedometer » (Figure 73).

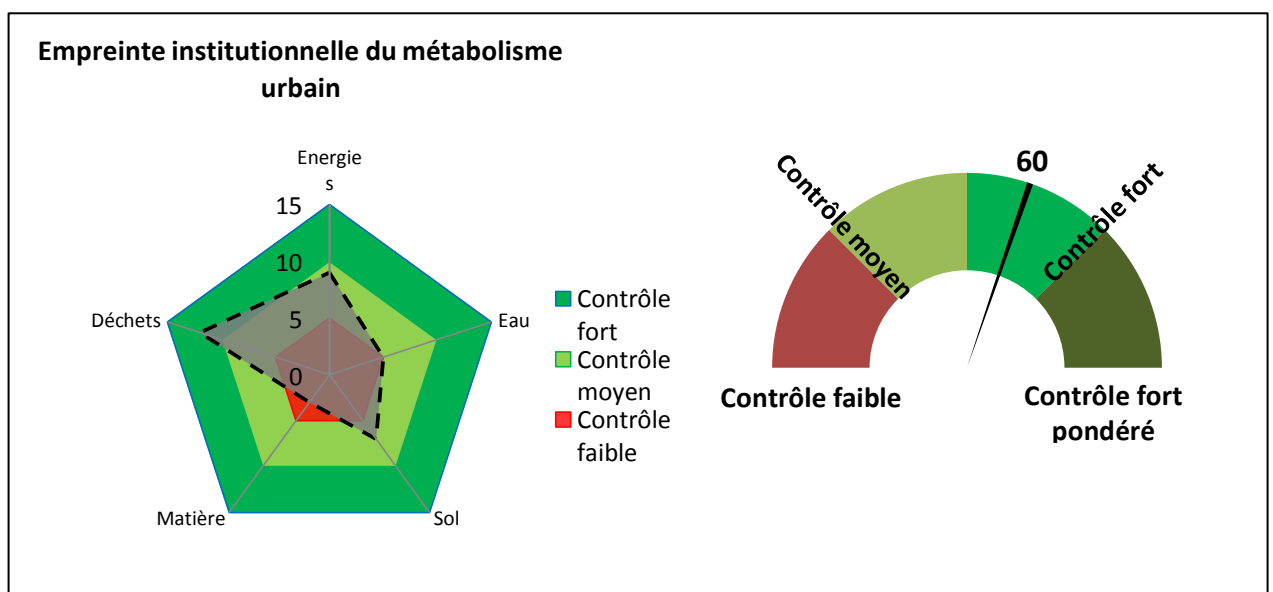


Figure 73: Radar et speedometer de l'EI

A un deuxième niveau, la décomposition de cette empreinte par flux identifie les vannes institutionnelles responsables de ce niveau de contrôle par flux (Figure 74).

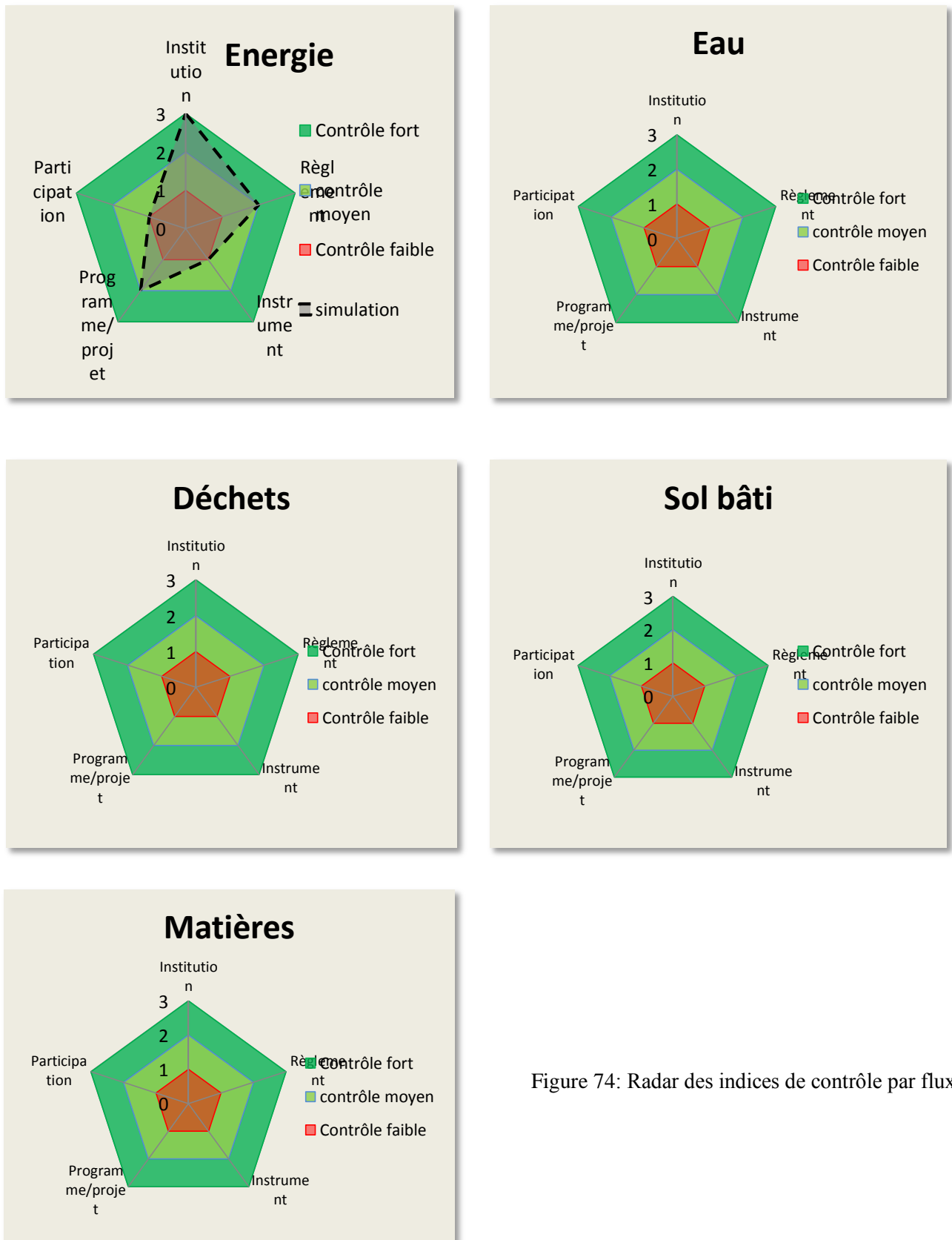


Figure 74: Radar des indices de contrôle par flux

6.2.2 Conception du tableau de bord EEIU: cadre d'intégration des deux indices clés de l'évaluation du métabolisme urbain

L'intégration des deux outils EE et EI réside dans l'intégration de leur résultat dans un cadre complémentaire. Nous avons vu que l'indice de l'EE, traduit graphiquement par un radar plein, identifie les flux qui dépassent l'EE limite. L'indice de l'EI complète le résultat de l'EE et explique, en termes de contrôle institutionnel, pourquoi ces flux ne sont pas régulés conformément aux limites admises. Elle évalue, en effet, le niveau de contrôle institutionnel pour chaque flux et identifie les vannes institutionnelles qui posent un problème de déficience de contrôle.

Nous considérons les deux indices de l'EE et l'EI comme les indicateurs clés de l'évaluation du métabolisme urbain que nous intégrons dans un tableau de bord. Nous voulons que ce dernier soit un outil stratégique d'aide à la décision pour l'évaluation et le contrôle du métabolisme urbain que nous nommons : l'Empreinte Eco-Institutionnelle Urbaine (EEIU). Nous avons choisi l'appellation d'Empreinte Eco-Institutionnelle Urbaine parce que le terme « Empreinte » décrit le mieux l'interface visuelle que représente le tableau de bord qui intègre les deux empreintes écologique et institutionnelle d'un métabolisme urbain .

Pour concevoir le tableau de bord de l'EEIU, nous nous sommes basés sur la définition du tableau de bord qui, du point de vue de la gestion économique, est défini comme un outil qui synthétise l'information provenant de plusieurs sources et la présente visuellement (Yigitbasioglu and Velcu, 2012) pour aider à la prise de décision.

Nous admettons que le tableau de bord est un système d'informations, où les données sont croisées et présentées de manière synthétique orientée vers la communication visuelle et l'aide à la décision. Le choix de conception du tableau de bord dépend de ses utilisateurs et de ses objectifs (Pauwels et al., 2009).

Nous présentons dans les sections suivantes les utilisateurs et les objectifs de cet outil pour expliquer notre démarche de conception et de représentation du tableau de bord.

6.2.2.1 Les utilisateurs

Notre tableau de bord de l'EEIU vise la communication et l'aide à la décision. Dans sa dimension d'outil de communication, il s'adresse à toute personne qui cherche une information rapide et claire sur l'état du métabolisme urbain. Il devient ainsi un outil d'information et de vulgarisation et s'adresse, en plus des autorités politiques, à tous les acteurs de l'environnement, les chercheurs, universitaires et au grand public. Dans cet objectif, le tableau de bord doit présenter une information synthétisée et visuelle compréhensible par le grand public.

Dans sa dimension d'outil d'aide à la décision le Dashboard de l'EEIU s'adresse aux décideurs, aux autorités publiques qui ont la responsabilité ainsi que le droit de contrôler et de décider des actions de régulation du métabolisme urbain et de son contrôle institutionnel. Les décideurs, selon les cas, sont les politiciens, spécialistes et techniciens ainsi que les acteurs du privé et du public qui participent dans la prise de décision.

Notre tableau de bord vise à répondre aux attentes de ces utilisateurs dans l'accès à une information rapide, ciblée et compréhensible qui puisse les aider à prendre les décisions nécessaires.

6.2.2.2 Les objectifs

Nous avons vu que notre tableau de bord de l'EEIU est un outil de communication et d'aide à la décision. Les objectifs de l'EEIU sont de communiquer sur l'état actuel de l'évaluation du métabolisme urbain et de permettre la prise de décision pour la régulation du métabolisme urbain. Plus concrètement et de manière détaillée, il vise les objectifs suivants (Figure 75): communication, monitoring, comparaison et simulation.

a. Communication

Le tableau de bord EEIU, qui intègre les deux indices EE et EI du métabolisme urbain, vise à communiquer l'état du contrôle éco-institutionnel du métabolisme urbain. Le Dashboard EEUI doit communiquer sur une même interface graphique une information simple et synthétisée donnée par l'EE et l'EI pour assimiler rapidement le déficit de l'EE ainsi que les carences de contrôle du métabolisme urbain. Le but de la communication est d'exposer au grand public l'état actuel du métabolisme urbain tout

en offrant aux spécialistes et décideurs les données nécessaires pour aider à la prise de décision vers une meilleure régulation du métabolisme urbain.

b. Monitoring

L'un des objectifs de notre dashboard EEUI est de faire le suivi des EE et EI du métabolisme urbain. Le tableau de bord EEUI permet l'accès aux données qui sont à la base de l'élaboration des EE et EI pour permettre la mise à jour continue de ces données. Tout changement des données se répercute sur l'interface principale du tableau de bord ce qui permet le suivi des changements en temps réel. Ceci permet de fournir aux décideurs des informations justes, précises et mises à jour.

c. Comparaison

Notre Dashboard EEUI vise aussi à comparer le contrôle éco-institutionnel de deux métabolisme urbain en mettant côte à côte leur EE et EI. Il peut comparer pour une même ville les performances du métabolisme urbain pour des périodes de temps différentes pour mesurer l'évaluation du contrôle de ce métabolisme urbain. Comme il peut comparer les performances du métabolisme urbain de deux villes différentes. Cette comparaison de deux villes sert à apprendre les bonnes pratiques d'autres villes qui ont su réguler leur métabolisme urbain en comprenant quel type de contrôle institutionnel est nécessaire pour atteindre cet objectif.

d. Simulation et planification

Le dernier objectif est de servir à planifier des actions de régulation du métabolisme urbain. Dans le cas où l'EE présente un déficit par rapport aux objectifs de l'EE limite, le dashboard donne l'information nécessaire aux décideurs pour prendre une décision et planifier les actions de régulation du métabolisme urbain. Selon la valeur des indices de l'EEIU, un renforcement institutionnel est indispensable. Les réformes varient d'intensité de force selon le niveau de cet indice.

Rappelons que les institutions, lois et instruments sont les vannes institutionnelles qui doivent bénéficier d'un renforcement au préalable de toute opération de contrôle du métabolisme urbain. Sans ce cadre institutionnel tout objectif de réduction de l'EE serait vain. Dans les cas limite de faible contrôle, il faudra mettre en place tout ce cadre

institutionnel. Souvent, et dans le cas de l'existence de ce cadre, seul un renforcement est nécessaire dans le but de rendre le contrôle plus fort et efficace.

La participation aussi doit être renforcée institutionnellement afin d'équilibrer les efforts de contrôle coercitif avec les objectifs d'un développement durable. Elle doit être intégrée dans les procédures d'adoption (voir conception et mise en place) des instruments, programmes et projets.

Les projets et programmes peuvent être créés sur mesure à l'échelle du métabolisme urbain étudié afin de répondre à l'objectif de le contrôler. C'est justement cette vanne institutionnelle qui peut être intégrée dans la planification urbaine et devra, bien sûr, s'adosser au cadre institutionnel (institution, loi,...). Ces projets peuvent être inscrits ou règlementés dans des instruments adaptés, tels que le master plan ou peuvent être le cadre d'intégration des instruments de contrôle des différents flux. La participation sera renforcée dans les procédures d'adoption de ces instruments et de mise en place des projets et programmes particuliers.

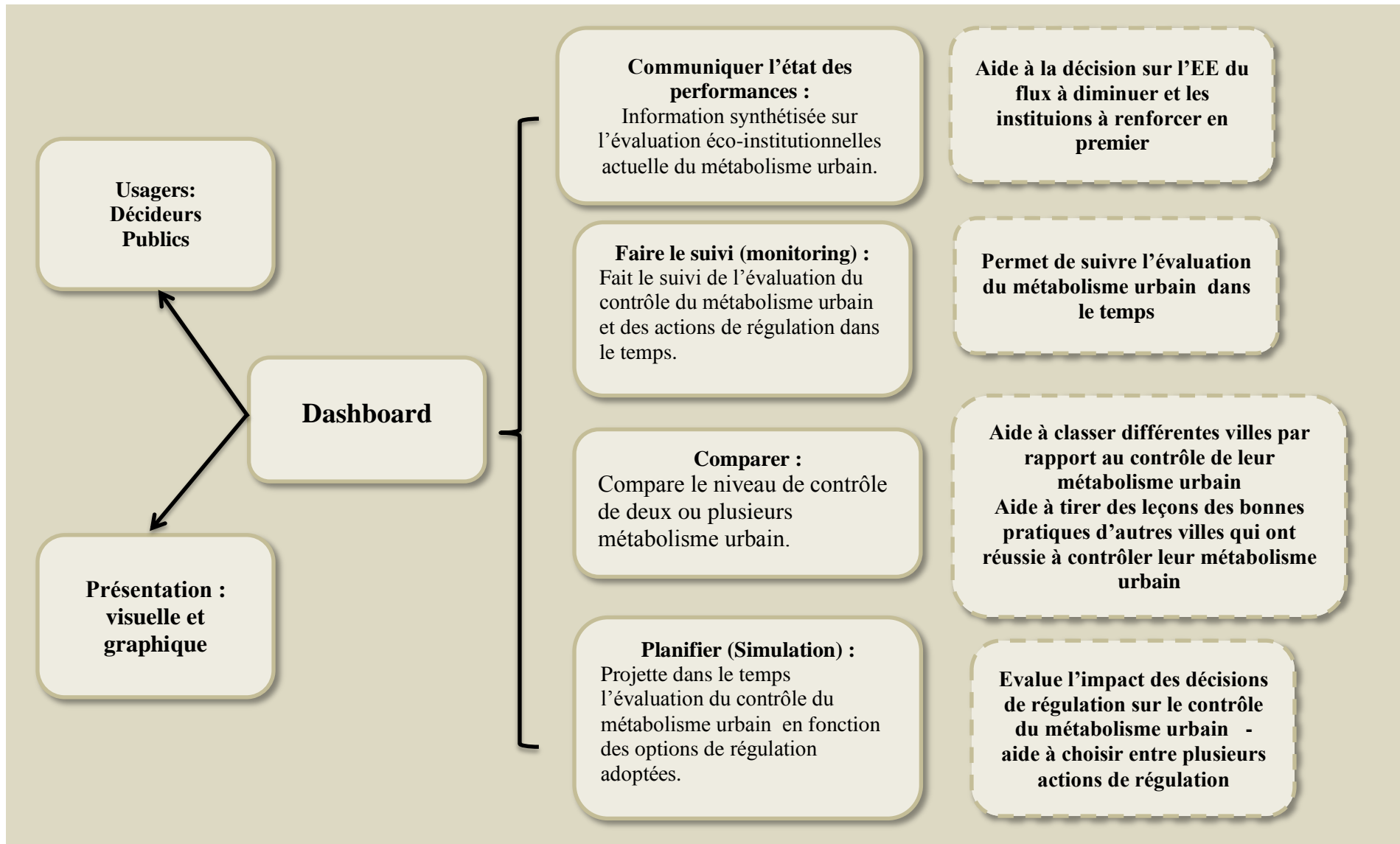


Figure 75: Rôle du tableau de bord de l'EEIU

6.2.2.3 Composition de l'interface du tableau de bord

Nous avons conçu notre tableau de bord comme un outil visuel qui traduit les résultats de l'évaluation du métabolisme urbain en une interface graphique simple et facile à lire par tous les utilisateurs. La représentation graphique présente les deux indices clés de contrôle du métabolisme urbain : EE et EI. Ces deux empreintes associées donnent un outil complet composé des EE et EI du métabolisme urbain qui permettent, en même temps, l'évaluation et le contrôle du métabolisme urbain.

Nous imaginons l'interface du tableau de bord composée de trois grandes sections distinctes qui identifient clairement et graphiquement les indicateurs clés de l'évaluation du métabolisme urbain : l'EE et l'EI (Figure 76) :

- La première section présente le radar de l'EE et identifie l'EE du métabolisme urbain comparé aux valeurs limites de l'EE.
- La deuxième section présente le radar de l'EI du métabolisme urbain comparé aux niveaux de contrôle limite. Dans cette même section nous présentons le speedometer de l'EI qui donne la valeur et le niveau de contrôle institutionnel du métabolisme urbain.
- Enfin, une troisième section regroupe les indices de contrôle institutionnel de chaque flux du métabolisme urbain qui fournit l'information détaillée de l'EI. Cette dernière section permet aussi de suivre le contrôle institutionnel pour certains flux indépendamment de l'évaluation du contrôle institutionnel du métabolisme urbain.

Dans le cas où les données complètes pour l'évaluation du métabolisme urbain ne sont pas disponibles à l'exception de données de quelques flux, voir un seul, l'EI de ce flux peut toujours être évalué et des recommandations peuvent être émises dans le but de renforcer le contrôle institutionnel.

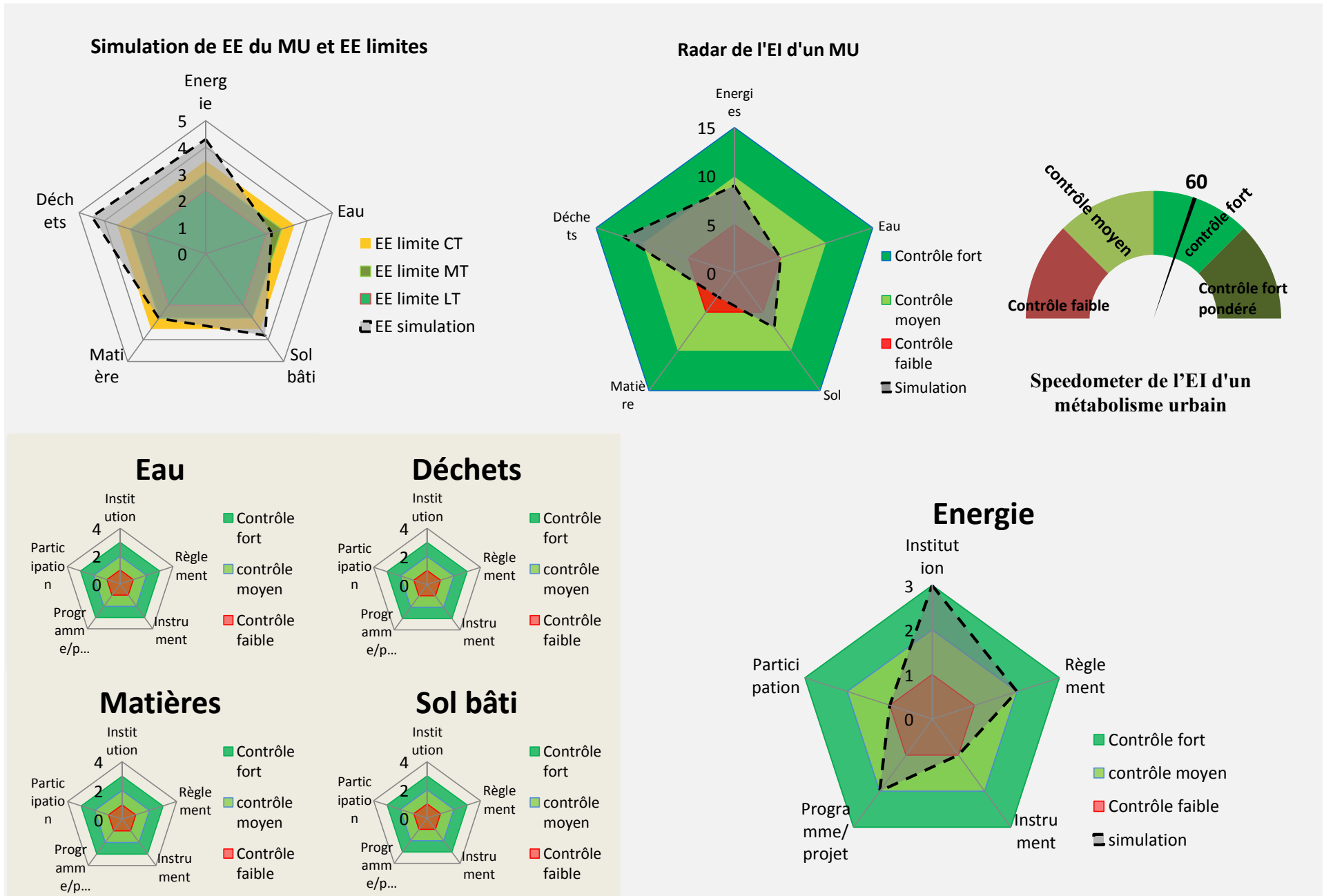


Figure 76: Conception préliminaire de l'interface du Dashboard EEIU

6.3 Conception du tableau de bord « EEIU Dashboard » sur Excel

Après avoir conçu la composition de l'interface du tableau de bord « EEUI Dashboard », nous avons construit le tableau de bord à l'aide du tableur Excel. Ce choix est dicté par la simplicité du logiciel qui ne nécessite pas d'apprendre un langage de programmation spécial. En outre, nous nous sommes basés sur l'exemple d'outils similaires d'évaluation et d'aide à la décision qui ont été développés à l'aide d'Excel (ARE, 2004) tels que "Facteur 21"⁷², ou la "Boussole de développement durable"⁷³. Enfin, il est important de souligner que nous nous sommes aussi inspiré de l'outil the "Dashboard of Sustainability" (Scipioni et al., 2009) dans son interface visuelle même si c'est un logiciel basé sur un autre langage de programmation.

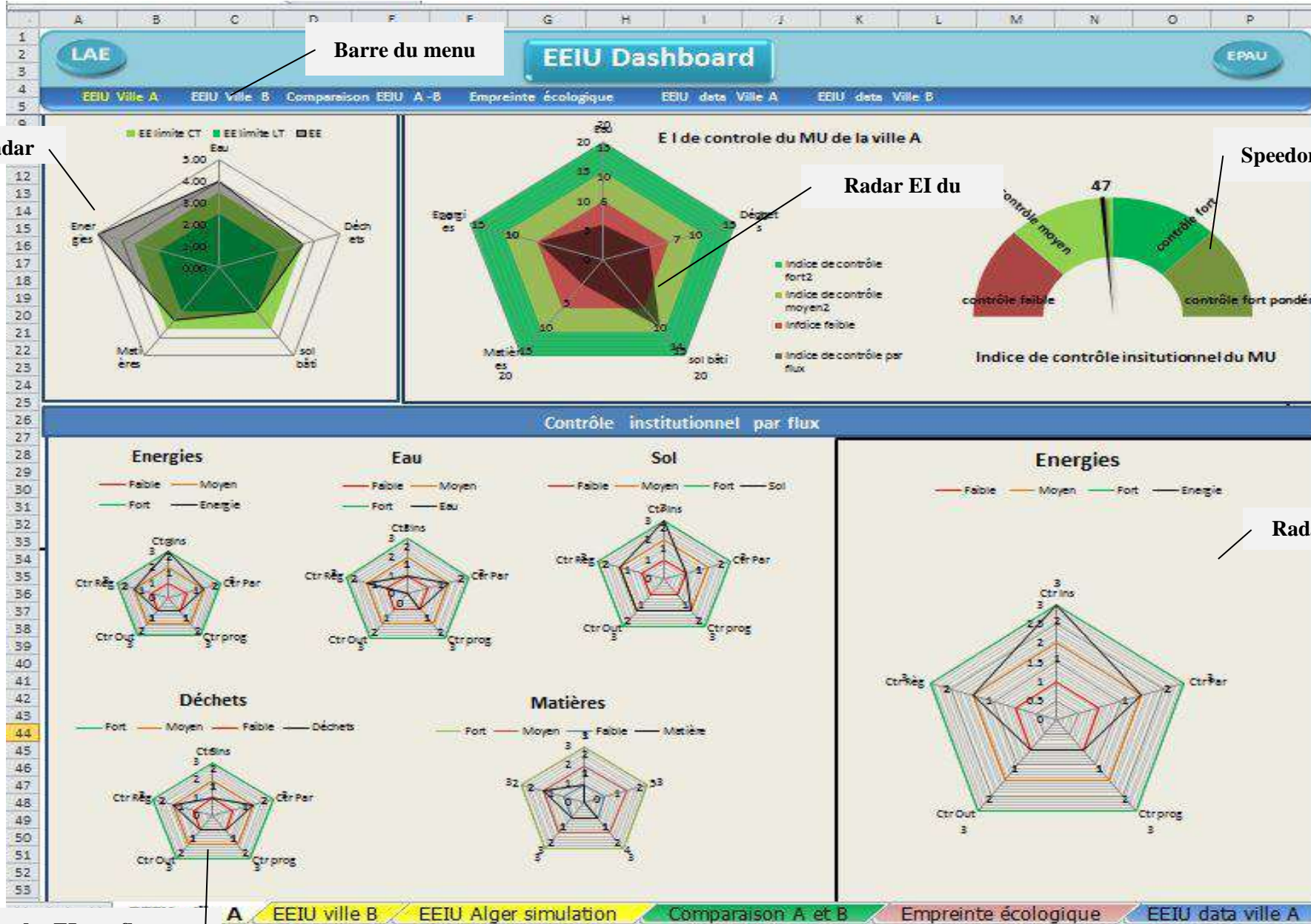
Nous avons conçu notre tableau de bord de manière à présenter une interface simple et clair pour les utilisateurs (Figure 77). Notre outil « EEUI Dashboard » se présente comme un dossier Excel dont les feuilles regroupent toutes les données des indicateurs et indices du métabolisme urbain étudié. Les deux premières feuilles représentent en fait le tableau de bord proprement dit avec une interface visuelle regroupant les résultats de l'EEUI pour le métabolisme urbain de la ville étudié. Nous avons conçu l'interface du tableau de bord pour présenter, côte à côte, les graphiques de l'EE et de l'EI, avec une barre de menu qui permet de sélectionner les six choix suivants (Figure 77)⁷⁴:

- Tableau de bord A : feuille de l'EEIU de l'écosystème urbain A.
- Tableau de bord B : feuille de l'EEIU de l'écosystème urbain B.
- Tableau de bord comparatif : Comparaison des EEIU des deux écosystèmes urbains A et B.
- Feuille data EE : regroupe les données concernant les EE des villes A et B.
- Feuille data EI A : regroupe les données des indicateurs et indices de l'EI de la ville A.
- Feuille data EI B : regroupe les données des indicateurs et indices de l'EI de la ville B

⁷² « Facteur 21 » est développé par SuisseEnergie pour « ...l'évaluation de la politique communale en matière de développement durable »

⁷³ Développée par Cantons de Berne, Bâle-Campagne et Soleure pour faire le "profil des forces et faiblesses d'un projet sur la base de notations semi-quantitatives

⁷⁴ Voir les feuilles détaillées sur Excell en Annexes.



Radar des EI par flux

Figure 77: EEIU Dashboard sur Excel

L'interface principale offre un menu de choix qui permet d'accéder aux différents tableaux de bord relatifs au métabolisme urbain des villes A et B ou dédié à la comparaison de deux métabolismes urbains des deux villes A et B. Le menu permet aussi un accès restreint (seulement pour les spécialistes autorisés) aux feuilles data, qui regroupent les indices et indicateurs de l'EE et l'EI. La modification et mise à jour des données se répercutent directement sur le tableau de bord correspondant.

Nous présentons dans les sections suivantes une description plus détaillée des feuilles principales.

6.3.1 Feuille tableau de bord EEIU des métabolismes urbains A et B

La feuille principale consacrée à l'EEUI du métabolisme urbain d'une ville (A, B,...) constitue le tableau de bord proprement dit. Elle présente, en plus de la barre des menus de choix, trois sections importantes dédiées respectivement à l'Empreinte Ecologique, l'Empreinte Institutionnelle du contrôle du métabolisme urbain et de son Indice de Contrôle, et enfin à l'Empreinte de Contrôle Institutionnelle détaillée par flux.

Dans la section principale nous donnons l'information la plus utile et regroupons les indicateurs clés de l'évaluation du métabolisme urbain, l'EE et l'EI (Figure 78). Cette section présente la valeur de l'EE du métabolisme urbain par flux comparé aux limites à court, moyen et long terme par le moyen d'un radar plein.

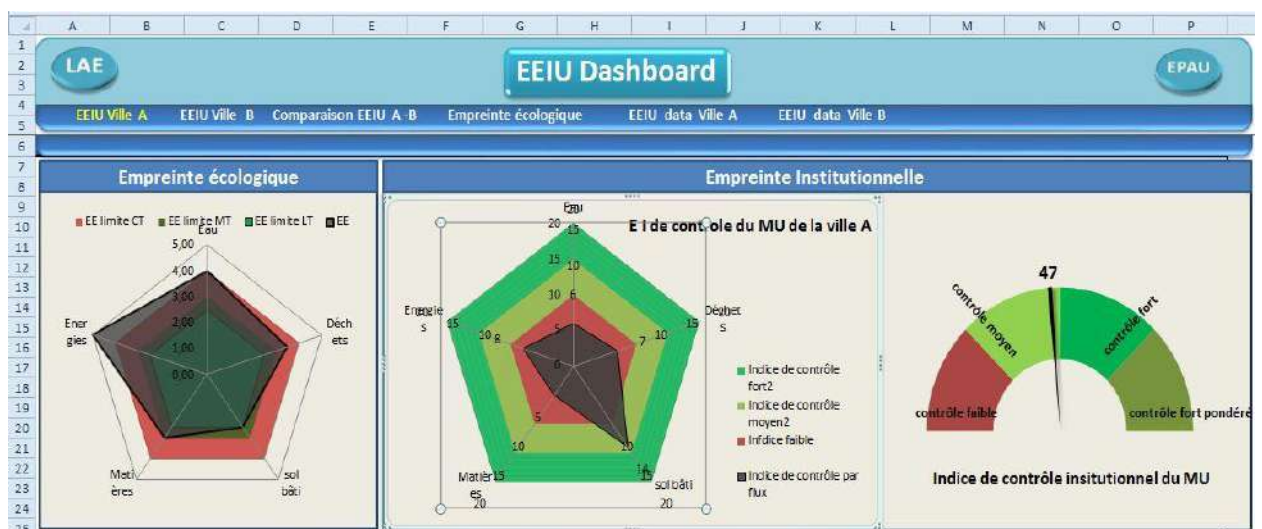


Figure 78: Section principale du EEIU Dashboard

La partie dédiée à l'Empreinte Ecologique présente un radar plein qui mesure la valeur de l'EE pour les cinq flux du métabolisme urbain (énergies, eau, sol urbain, matières, déchets). Le radar plein présente deux paliers de valeurs limites de l'EE : l'EE limite intermédiaire et qui correspond à la limite de l'EE à court terme représenté par la couleur rouge, à moyen terme représenté par la couleur vert clair et l'EE limite à long terme qui correspond à la valeur réelle de l'EE limite, selon les limites des capacités de charge de l'écosystème urbain étudié et représenté par la couleur vert foncé. La valeur réelle de l'EE est représentée par une empreinte de couleur grise en transparence qui permet la lecture du niveau de l'EE comparée aux valeurs limites de l'EE.

La partie de cette section dédiée à l'EI intègre le radar plein qui présente les valeurs de l'EI par flux sous la forme d'une empreinte grise en transparence comparée aux niveaux de contrôle faible, moyen ou fort. La valeur de l'EI est aussi représentée par un Speedometre dont l'aiguille pointe vers la valeur de l'EI du métabolisme urbain indiquant par la même le niveau de contrôle institutionnel du métabolisme urbain.

Cette section donne l'information nécessaire pour connaître l'EE du métabolisme urbain par flux ainsi que le niveau de contrôle institutionnel auquel est soumis le métabolisme urbain par flux. Cette information nous indique quels sont les flux qui dépassent l'EE limite et quels sont les flux qui souffrent d'un faible contrôle institutionnel. Nous pouvons ainsi cibler les flux à réguler d'urgence.

Nous dédions la deuxième section du tableau de bord principal à l'EI détaillée par flux. Après l'information donnée dans la section principale, cette section vient la compléter en donnant le niveau de contrôle institutionnel pour chaque flux. Ainsi, dans cette section, nous y présentons les radars pleins qui indiquent le niveau de contrôle institutionnel de chaque flux, comparé aux niveaux de référence : faible, moyen ou fort (Figure 79). Les radars indiquent le niveau de contrôle pour chaque vanne institutionnelle : institution, règlement, outil, programme et participation.

La première section nous aide à identifier les flux qui dépassent l'EE et ceux qui souffrent d'un faible contrôle institutionnel. La deuxième section donne pour chaque flux son niveau de contrôle et indique clairement la ou les vannes institutionnelles qui souffrent de carence dans le contrôle.

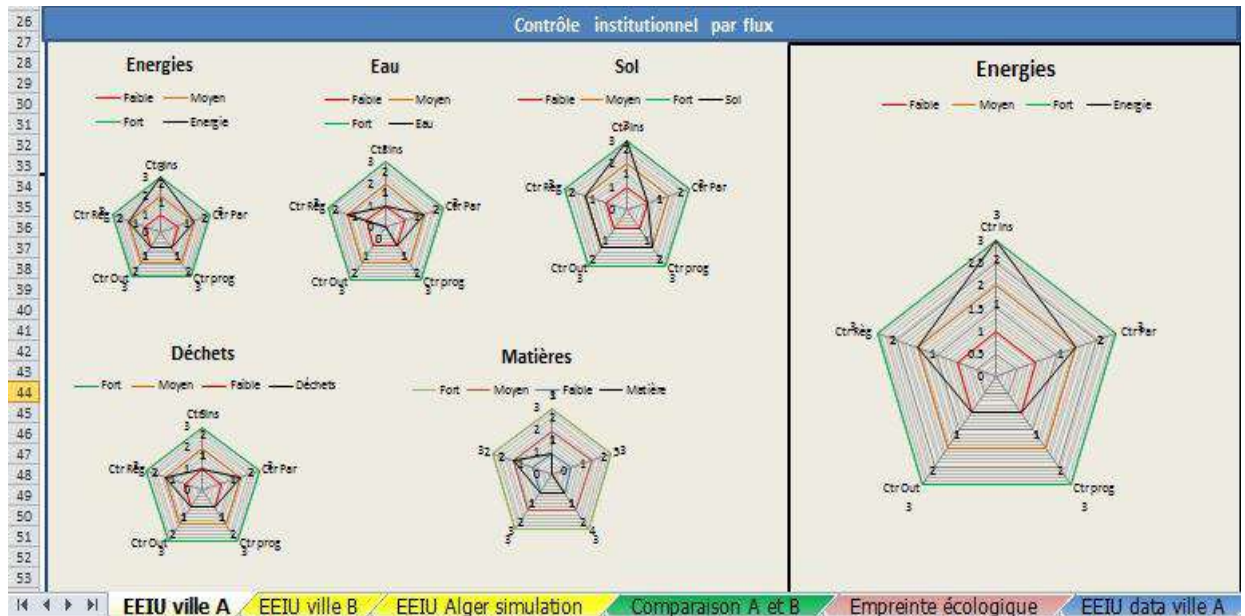


Figure 79: Section secondaire du tableau de bord EEIU représentant les EI par flux

Maintenant, nous savons quels sont les flux qui dépassent l'EE, qui souffrent d'un faible contrôle institutionnel et quelle est la vanne responsable. De là, nous pouvons classer les flux et planifier des actions de régulation.

6.3.2 Comparaison des EEIU de deux métabolisme urbain

Notre outil tableau de bord EEUI intègre la fonction de comparaison de deux métabolismes urbains. Cette fonction permet aussi bien de comparer l'évolution d'un même métabolisme urbain dans le temps que de comparer deux métabolismes urbains différents. Cette dernière est utile afin de comprendre les raisons du succès de telle ou telle ville dans la maîtrise de son métabolisme urbain par rapport à la maîtrise de son contrôle institutionnel. La comparaison aide, ainsi, à tirer des leçons à suivre, des actions de contrôle et de régulation pour les planifier.

Nous concevons le tableau de bord de comparaison des métabolismes urbains en deux sections intégrant les indices clés de l'évaluation éco-institutionnelle (EE et EI) des deux métabolismes urbains à comparer (Figure 80). Nous intégrons ces deux sections côte à côte pour permettre de comparer les EE et les EI pour les deux villes comparées aux niveaux limites de ces indices.

La comparaison d'un même métabolisme urbain à deux temps différents de son histoire permet de suivre l'évolution de son comportement éco-institutionnel. Elle permet de

montrer l'évolution dans le temps de l'EE comparée à l'évolution du niveau de contrôle institutionnel de ce même métabolisme urbain.

Enfin, la comparaison de deux métabolismes urbains avec des EE et des niveaux de contrôle institutionnel différents permet de comprendre l'influence du niveau de contrôle institutionnel d'un métabolisme urbain sur le contrôle du niveau de son EE et ce afin de tirer les leçons des bonnes pratiques à appliquer.

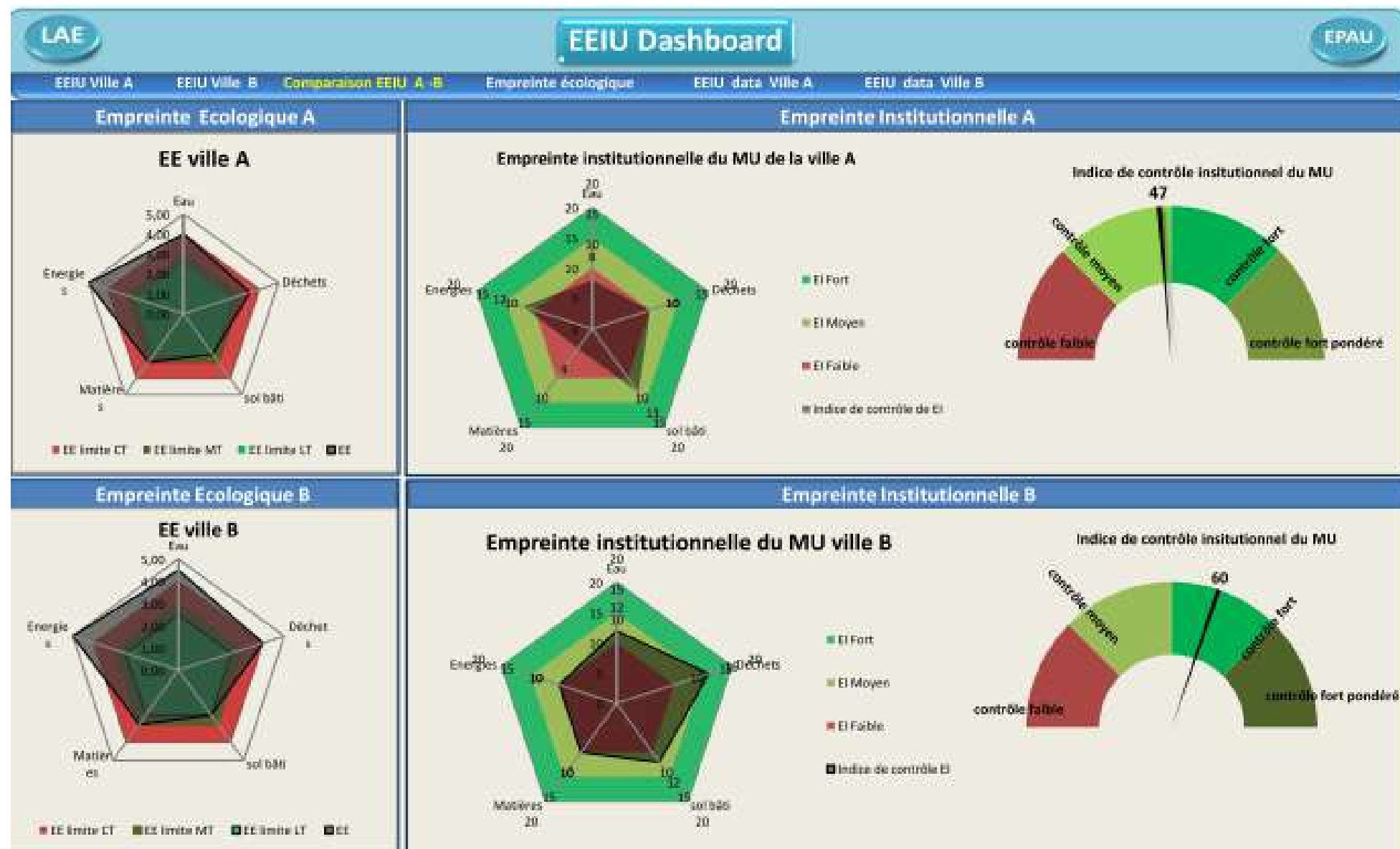


Figure 80: Tableau de bord comparatif de deux métabolismes urbains « EEIU Dashbord » sur Excel

6.3.3 Interface des données

Notre outil de tableau de bord EEUI intègre des feuilles de données dédiées aux indices de l'EE et de l'EI pour chaque métabolisme urbain étudié. Ces feuilles regroupent les indices ainsi que tous les indicateurs qui ont servi à évaluer ces indices. La feuille de donnée d'une ville donnée « A » est constituée de quatre tableaux détaillés pour chaque flux du métabolisme (énergies, eau, sol bâti, matières et déchets). Dans chaque tableau, on trouve les valeurs des indicateurs de contrôle pour chaque institution, les indicateurs de référence ainsi que l'indice de contrôle institutionnel final (Tableau 31).

7	ENERGIES							
8	Composai	Ctr Ins	Ctr Règ	Ctr Out	Ctr prog	Ctr Par	Indice de cou	
9	Faible	1	1	1	1	1	1	5
10	Moyen	2	2	2	2	2	2	10
11	Fort	3	3	3	3	3	3	15
12	Energie	2	2	2	1	0	7	
13								

Tableau 31: Tableau détaillé des indicateurs de contrôle institutionnel pour le flux Energie

Un tableau de synthèse regroupe les indices de contrôle institutionnel des cinq flux, les valeurs de pondération, l'indice de l'EI final et les valeurs de références. Ces tableaux sont interactifs. Le tableau de synthèse est relié aux tableaux des flux. ; et toute modification de valeur sur un tableau est automatiquement modifiée sur le tableau de synthèse.

De même, les graphes radars et le speedometre représentés sur l'interface principale du Dashboard, sont liés aux valeurs de ces tableaux.

Enfin, ces feuilles de données sont protégées et ne sont accessibles qu'aux spécialistes pour la mise à jour des données des indicateurs et indices des évaluations (Figure 81). En plus de la mise à jour, ces feuilles de données permettent la simulation des actions de régulation institutionnelles afin de vérifier leurs conséquences sur l'indice de contrôle de l'EI du métabolisme urbain. Ces simulations permettent de connaître quelles sont les valeurs d'indicateurs qui influent sur les indices selon les objectifs des actions de régulation.

LAE		EEIU Dashboard					EPAU									
EEIU Ville A	EEIU Ville B	Comparaison EEIU A - B		Empreinte écologique		EEIU data Ville A	EEIU data Ville B									
ENERGIES																
Composants	Ctr Ins	Ctr Rég	Ctr Out	Ctr prog	Ctr Par	Indice de contrôle institutionnel										
Faible	1	1	1	1	1	1	5									
Moyen	2	2	2	2	2	2	10									
Fort	3	3	3	3	3	3	15									
Energie	1	1	1	1	1	2	12									
EAU																
Composants	Ctr Ins	Ctr Rég	Ctr Out	Ctr prog	Ctr Par	Indice de contrôle institutionnel										
Faible	1	1	1	1	1	1	5									
Moyen	2	2	2	2	2	2	10									
Fort	3	3	3	3	3	3	15									
Eau	2	2	1	1	1	2	8									
SOL BATI																
Composants	Ctr Ins	Ctr Rég	Ctr Out	Ctr prog	Ctr Par	Indice de contrôle institutionnel										
Faible	1	1	1	1	1	1	5									
Moyen	2	2	2	2	2	2	10									
Fort	3	3	3	3	3	3	15									
Sol	1	2	2	2	0	0	9									
MATIERES																
Composants	Ctr Ins	Ctr Rég	Ctr Out	Ctr prog	Ctr Par	Indice de contrôle institutionnel										
Faible	1	1	1	1	1	1	5									
Moyen	2	2	2	2	2	2	10									
Fort	3	3	3	3	3	3	15									
Matière	1	2	1	0	0	0	4									
DECHETS																
Composants	Ctr Ins	Ctr Rég	Ctr Out	Ctr prog	Ctr Par	Indice de contrôle institutionnel										
Fort	3	3	3	3	3	3	15									
Moyen	2	2	2	2	2	2	10									
Faible	1	1	1	1	1	1	5									
Déchets	3	2	2	2	1	1	10									
RESUME																
Composants	EE	Ctr Ins	Ctr Rég	Ctr Out	Ctr prog	Ctr Par	Indice de contrôle institutionnel	Indice de contrôle faible	Indice de contrôle moyen	Indice de contrôle fort	Pondération	Indice de contrôle de EI	EI Faible	EI Moyen	EI Fort	
Eau	4,00	2	2	1	1	1	2	8	5	10	15	0	8	10	15	20
Energies	5,00	3	3	1	3	3	2	12	5	10	15	0	12	10	15	20
Matières	3,00	1	2	1	0	0	0	4	5	10	15	0	4	10	15	20
sol bâti	2,50	3	1	2	2	2	0	8	5	10	15	5	13	10	15	20
Déchets	1,50	3	2	2	2	2	1	10	5	10	15	0	10	10	15	20
							42	25	50	75		47	50	75	100	

Figure 81: Feuille de données du Dashboard EEIU sur Excel

6.4 Validation : vérification de l'applicabilité de l'outil

Rappelons que le but de notre recherche est de combler le vide qui existe entre l'évaluation des flux du métabolisme urbain et l'application d'actions pour la régulation de ce métabolisme urbain. Pour cela, nous avons proposé un nouvel outil dédié à l'évaluation du contrôle du métabolisme urbain : l'Empreinte Institutionnelle (EI) dans le but de compléter l'outil d'analyse des flux du métabolisme urbain : l'EE.

Nous avons parachevé notre contribution par l'outil « EEIU Dashboard » que nous proposons et qui intègre les deux outils : l'EE et l'EI pour permettre l'évaluation et l'aide à la décision en vue d'un contrôle éco-institutionnel du métabolisme urbain.

Après avoir élaboré notre proposition d'outil, nous arrivons à la phase de vérification de son applicabilité. C'est justement à ce niveau de notre recherche que nous faisons face à la difficulté de la transdisciplinarité de notre thème. Toute simulation d'application sur un cas algérien nécessite, en effet, l'accès à des études préalables d'évaluation du métabolisme urbain en Algérie. Malheureusement, ces données ne sont pas disponibles. Jusqu'à ce jour, aucune évaluation complète d'un métabolisme urbain n'a été faite en Algérie, que ce soit dans un cadre officiel ou universitaire. Devant cet état de fait, nous décidons d'adopter une démarche de simulation partielle des flux du métabolisme urbain en fonction des données disponibles. Voilà pourquoi notre simulation ne concerne que le flux des énergies pour les cas de la ville d'Alger et de la ville nouvelle de Boughezoul.

Cette simulation nous servira à vérifier l'applicabilité de l'outil et à penser le processus d'intégration de notre outil dans la démarche de la planification éco-institutionnelle urbaine.

6.4.1 Exemple de simulation : le cas de la ville d'Alger

Pour la simulation partielle du cas de la ville d'Alger, nous avons adopté les valeurs de l'EE totale et celle du flux énergies issus de travaux existants (A Galli et al., 2013; Mallem et al., 2009), puis nous avons évalué l'EI de la ville d'Alger selon la démarche que nous avons proposée.

6.4.1.1 Empreinte Ecologique des énergies de la ville d'Alger

Jusqu'à présent, aucune étude d'évaluation de l'EE d'Alger n'a été effectuée. Pour cela, nous adoptons pour notre simulation, la valeur de 1,65 Gha (Galli et al., 2013), qui est la valeur de l'EE totale de l'Algérie⁷⁵ évaluée par la fondation Global Footprint Network. Quant au flux des énergies, nous adoptons la valeur de 0.85 Gha⁷⁶ évaluée par les travaux de (Mallem et al., 2009). Nous avons réuni les valeurs de l'EE (totale et énergies) d'Alger avec les valeurs de référence algérienne et mondiale (Tableau 32).

EE Algérie	EE énergies	Capacité de charge DZ	Valeur mondiale moyenne de biocapacité	EE moyenne mondiale	CC moyenne mondiale
1,65	0.85	0,56	1,8	2,7	2,1

Tableau 32: Valeurs de l'EE pour Alger (A. Galli et al., 2013; Mallem et al., 2009)

Comparée à l'EE limite mondiale de 2,7 Gha, l'EE d'Alger ne souffre d'aucun déficit, bien au contraire, elle dépasse même la valeur de l'EE limite mondiale qui est de 2,1Gha. Toutefois, comparées à la capacité de charge de l'Algérie, les deux EE (totale et énergies), respectivement égale à 1,65 Gha et 0.85 Gha (Mallem et al., 2009), dépassent la limite de référence de la CC égale à seulement 0.56 Gha (Galli et al., 2013). Si nous adoptons la CC comme limite de référence, les deux EE nécessitent une réduction. L'EE des énergies, notre objet d'étude, devra diminuer de moitié.

Pour la représentation graphique de la simulation partielle de l'EE d'Alger, nous avons préféré l'histogramme au radar. L'évaluation partielle du seul flux de l'énergie ne nous permet pas, en effet, de représenter l'EE du flux énergie comparée à l'EE totale et à la limite de la CC par un radar (Figure 82).

⁷⁵ La valeur de l'EE varie de 1.65 Gha à 1.9 Gha selon les références et les années des données transmises.

⁷⁶ L'empreinte carbone pour l'Algérie a été estimée à 0.81 Gha (Ecological Footprint Atlas, 2009)

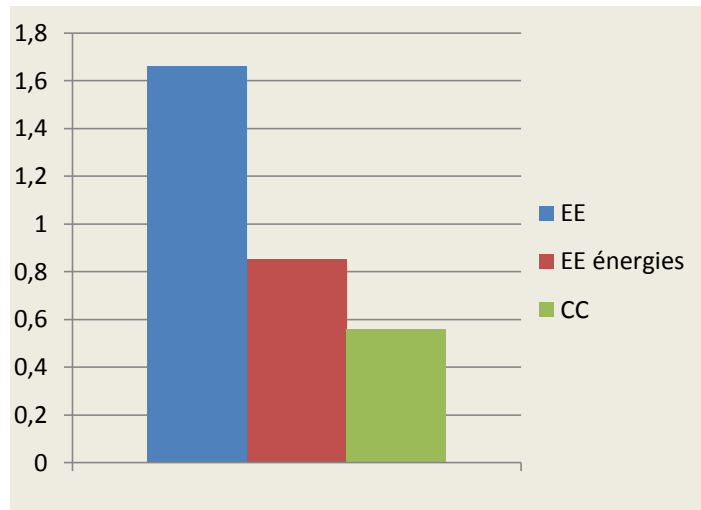


Figure 82: Histogramme de l'EE du flux énergies d'Alger comparée aux valeurs limites

En prenant comme limite sa CC, Alger devra, indéniablement, veiller à diminuer ses deux empreintes. La question qui s'impose donc est : *est-ce que la ville d'Alger a les moyens institutionnels pour planifier la réduction de l'EE de son flux énergies ?* C'est justement ce à quoi va répondre la prochaine section dédiée à l'évaluation du contrôle institutionnel du flux énergies d'Alger.

6.4.1.2 Evaluation de l'Empreinte Institutionnelle des énergies pour Alger

Après avoir évalué l'EE du flux énergies, nous allons évaluer le contrôle institutionnel de ce flux en vigueur pour la wilaya d'Alger. Pour cela notre recherche a identifié les vannes institutionnelles et situé leur échelle de contrôle : échelle nationale, régionale ou de wilaya et commune. Nous avons synthétisé les résultats de notre recherche (Tableau 33).

Les résultats montrent qu'à l'échelle locale (wilaya et commune), le contrôle institutionnel du flux des énergies est inexistant. Ainsi, la ville d'Alger n'a aucun organisme qui soit chargé de la collecte, du suivi et de la régulation de sa consommation d'énergie. Ce contrôle institutionnel du flux énergies ne se fait qu'au niveau national par des institutions telles que l'Observatoire de Maitrise de l'Énergie⁷⁷ et l'APRUE⁷⁸. Avec un indice de contrôle institutionnel du flux « énergies » égale à 0, nous pouvons conclure tout simplement que pour réduire son EE, Alger doit d'abord mettre en place un cadre

⁷⁷ Loi n°99-09 du 28 Juillet 1999 relative à la maîtrise de l'énergie

⁷⁸ Décret 85-235 du 25 Aout 1985 portant création d'une Agence pour la Promotion et la Rationalisation de l'Énergie

institutionnel de contrôle de son flux énergies (ou métabolisme urbain) avec des organismes, lois, décrets, programmes et instruments dédiés à cet objectif et avec l'appui d'une participation effective du public. Mais nous préférons poursuivre notre recherche pour évaluer le contrôle institutionnel du flux énergie en vigueur à l'échelle nationale en Algérie. Cette évaluation nous aidera à comprendre quelles sont les réformes nécessaires pour renforcer ce contrôle à l'échelle nationale et la nécessité de penser des mécanismes de contrôle à l'échelle locale.

6.4.1.3 Evaluation du contrôle institutionnel du flux « énergie » à l'échelle nationale

Nous présentons dans cette section l'évaluation du contrôle du flux « énergie » en Algérie en vigueur à l'échelle nationale. Nous présentons les cinq vannes que nous évaluons pour tirer l'indice de contrôle du flux « énergie » à l'échelle nationale, tout en essayant de comprendre son impact sur le contrôle à l'échelle locale (Tableau 33).

La vanne institution est représentée par l'APRUE qui est une EPA (Entreprise Publique à caractère Administrative) placée sous la tutelle du Ministère de l'énergie. Elle a pour objectif la collecte de l'information sur la consommation des énergies, telle que la conception d'une base de données des établissements grands consommateurs d'énergie. L'APRUE initie et gère les programmes et instruments pour la régulation et le contrôle de l'énergie. Elle vise l'information et l'incitation. Son contrôle est moyen de type incitatif.

Au niveau réglementaire, la loi 99-09 pour la maîtrise des énergies⁷⁹ consacre le caractère national de cet objectif de contrôle de la consommation des énergies à travers les plans nationaux de maîtrise de l'énergie. Elle cible un contrôle de niveau incitatif grâce à l'octroi d'aide par le Fond National de la Maîtrise de l'Energie (FNME).

Concernant les programmes, en plus du Programme National pour la Maîtrise de l'Energie (PNME), citons les programmes spécialisés tels que : Eco-lumière, Ecobat, Al-Sol, Prop-Air et Top-industrie, qui sont gérés par l'APRUE. L'audit énergétique⁸⁰ des établissements grands consommateurs d'énergie est un instrument initié par l'APRUE. Il vise la collecte d'information et l'assistance pour l'amélioration du bilan énergétique de ces établissements.

⁷⁹ Loi n°99-09 op. cit.

⁸⁰ Décret exécutif n°05-495 relatif à l'audit énergétique des établissements grands consommateurs d'énergie.

Enfin, le contrôle institutionnel du flux énergie n'intègre pas de mécanisme de participation que ce soit à l'élaboration ou à l'adoption des objectifs ou des programmes. Le public est considéré comme l'utilisateur qu'il s'agit d'informer ou d'inciter par des moyens financiers, à diminuer sa consommation d'énergies.

Vanne / niveau de contrôle	Echelle locale	Echelle nationale
Institutions	Pas d'institution =0	Objectif : Collecte de données, informer, donner libre choix mais inciter à choisir la réduction (par des programmes et instruments) Observatoire de Maitrise de l'Energie Fond National de la Maitrise de l'Energie (FNME) Agence pour la promotion et la rationalisation de l'utilisation de l'énergie (APRUE) Incitation = 2
Règlements	Pas de textes = 0	L 99-09 Objectif : Maitrise de l'énergie Fixer le niveau optimal de la consommation Instaurer, les instruments et programmes voués à inciter les concernés à choisir la réduction pour atteindre le niveau optimal défini par loi. Niveau de contrôle : Incitation Incitation =2
Instruments	Pas d'instrument = 0	Existence d'instruments pour faciliter la sensibilisation du public : Audit énergétique Sensibilisation =1
Programmes et projets	Pas de programme = 0	Existence de programmes - Objectif : inciter les concernés à choisir la réduction pour atteindre le niveau optimal défini par loi Programme National pour la Maitrise de l'Energie (PNME) Conception d'une base de données des établissements Grands consommateurs d'énergie par l'APRUE Programme Eco-lumière Programme Ecobat Programme AI-Sol Programme Prop-Air Programme Top-industrie Introduction de l'efficacité énergétique dans l'habitat collectif PNM Incitation =2
Participation	Pas de participation =0	Pas de participation =0
Indice de contrôle	$\sum = 0 / 15$	Indice de contrôle $\sum = 7 / 15$ 5 < 7 < 10 : contrôle moyen

Tableau 33: Evaluation du contrôle des vannes institutionnelles du flux énergie

Les résultats de l'évaluation du contrôle institutionnel du flux énergie donnent un indice nul au niveau de la ville, et égale à 7/15 à l'échelle nationale. Le radar et le speedometre de l'EI de l'énergie indique un contrôle moyen de type incitatif (voir Figure 83). Nous constatons que pour les vannes institutions, règlement et programme, le contrôle institutionnel a atteint le niveau deux du contrôle et qui correspond à un contrôle incitatif. La vanne instrument n'est qu'à un niveau 1.

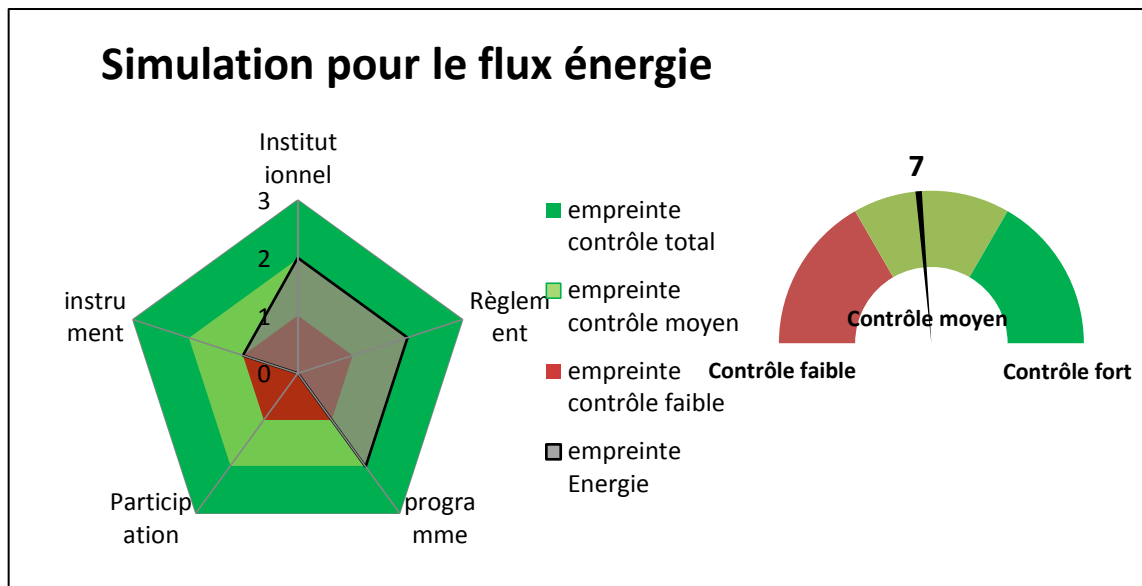


Figure 83: Radar Speedometre de l'EI de l'énergie niveau national Algérie

A l'échelle nationale, les vannes institutions, règlement et programme n'exercent qu'un contrôle incitatif de niveau moyen, les instruments d'application ont un faible contrôle et la participation est tout simplement inexistante. De plus, ce contrôle institutionnel de l'énergie est sectoriel et n'intègre pas de vision écosystémique. Enfin, il est national et ne prévoit pas de procédure de prise en charge de l'échelle locale de la ville.

6.4.1.4 Tableau de bord de l'Empreinte Eco-Institutionnelle du flux « énergie » pour Alger

Nous avons intégré l'EE et l'EI du flux énergie dans notre tableau de bord (Figure 84). Ce tableau de bord regroupe et synthétise les indices de référence de la consommation du flux énergie pour Alger : l'EE et l'EI partiel avec l'indice de niveau de contrôle.

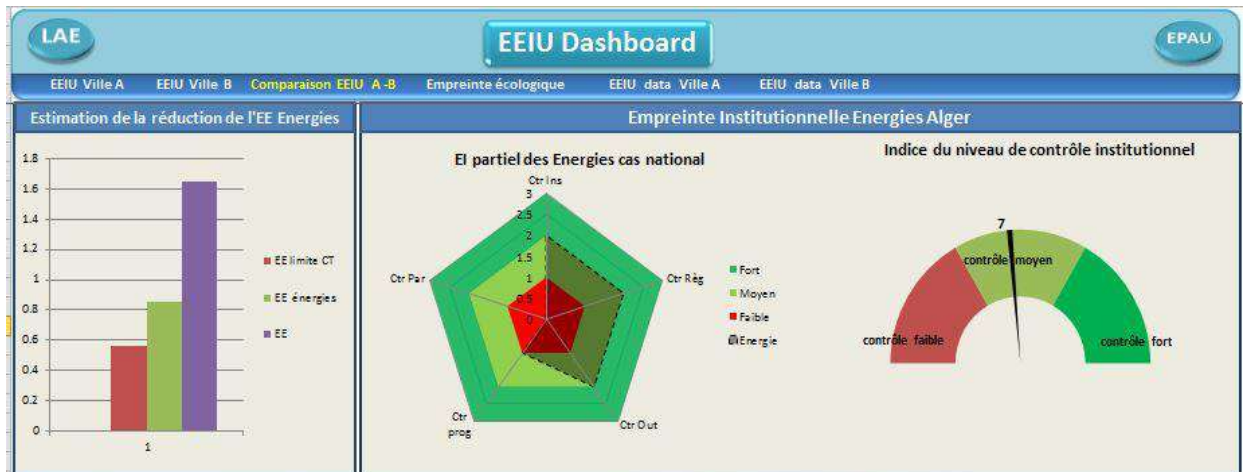


Figure 84: Tableau de bord EI partiel Energies cas d'Alger

Le tableau de bord révèle que l'EE du flux énergie de la ville d'Alger dépasse la limite de la capacité de charge du pays. L'évaluation du contrôle du flux énergie au niveau local est nulle, alors qu'au niveau national, l'indice de contrôle institutionnel est égal à 7/15 pour un niveau de contrôle moyen.

Ainsi, à l'échelle d'Alger le métabolisme urbain n'a tout simplement pas de centre de contrôle. Ce dernier est instauré à l'échelle nationale et vise des objectifs nationaux loin des besoins et spécificités de la ville d'Alger. Cette absence de contrôle institutionnel du flux énergie à l'échelle locale implique que la ville d'Alger n'a aucun moyen institutionnel qui lui permette de faire, par elle-même, le suivi de la consommation de l'énergie comparée à son EE limite et encore moins de programmer ou de planifier des actions en vue de réguler son métabolisme urbain.

De ce fait, pour réduire le flux énergie dans une vision écosystémique, Alger doit se munir à son échelle locale d'un centre de commande et de contrôle du flux énergie. Ce centre devra bénéficier des cinq vannes institutionnelles et d'un niveau de contrôle coercitif pour la réduction de la consommation tout en mettant en place une participation effective de tous les acteurs citoyens afin de permettre une réduction de l'EE avec l'accord et adhésion de tous.

6.4.2 Exemple de simulation le cas de la nouvelle ville de Boughezoul

Pour notre deuxième cas pratique, nous prenons comme exemple de simulation partielle la nouvelle ville de Boughezoul : première ville zéro carbone en Algérie. La nouvelle ville ambitionne de contrôler et diminuer sa consommation d'énergie fossile afin de diminuer les émissions en gaz à effet de serre et diminuer ainsi son empreinte écologique. Cet objectif fait de la nouvelle ville un cas d'étude pertinent pour une simulation d'évaluation du niveau de contrôle institutionnel du flux énergie.

Pour notre évaluation partielle, nous nous basons sur le rapport du projet GEF-Boughezoul (GEF, 2010) qui présente les modalités du partenariat entre la GEF et l'épic Boughezoul et explique l'approche intégrée pour la promotion d'un développement faible en rejets de CO₂ appliquée à la nouvelle ville de Boughezoul⁸¹. Le projet ne cible pas tout le métabolisme urbain de la ville, mais seulement le flux des énergies par la promotion d'une politique d'énergie renouvelable et d'efficacité énergétique.

6.4.2.1 *Evaluation de l'Empreinte écologique du flux énergie du projet GEF-Boughezoul*

Le projet GEF-Boughezoul donne des estimations sur la consommation d'énergies de la ville et sur la réduction de la consommation projetée à l'horizon 2020. Selon ses estimations, afin d'atteindre l'objectif d'une ville énergétiquement auto-suffisante, et « zéro émission » Boughezoul devra consommer 40% moins d'énergie qu'une autre ville moyenne algérienne (Figure 85).

⁸¹ «Integrated Approach for Low Emission Project Development in the New Town of Boughzoul» (GEF, 2010)

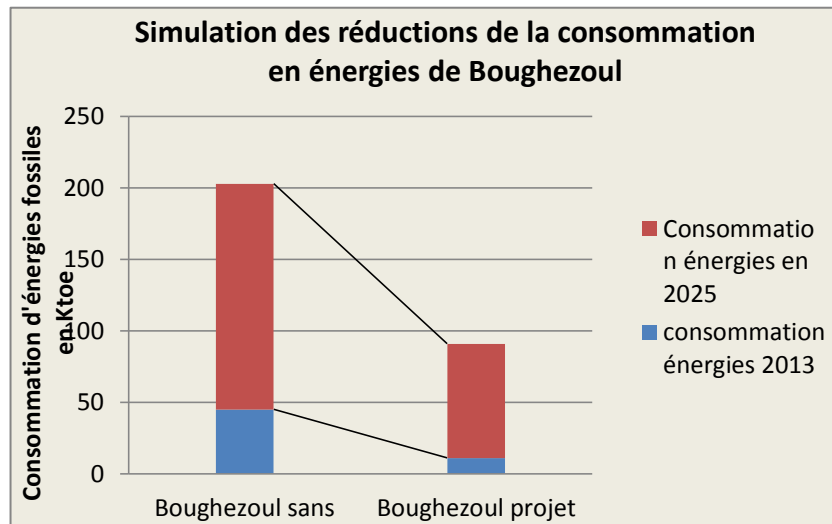


Figure 85: Simulation et estimation de la réduction de la consommation des énergies fossiles par la ville nouvelle de Boughezoul, The GEF council letter

Certes, le projet ne donne aucune valeur de l'EE de la nouvelle ville, mais les estimations données de la consommation en énergies, présentes et futures, sont suffisantes pour notre évaluation. Voilà pourquoi pour notre simulation partielle nous intégrons cette estimation, donnée par le projet GEF-Boughezoul, dans notre tableau de bord de l'évaluation écosystémique du flux énergies.

6.4.2.2 *Evaluation de l'empreinte institutionnelle du contrôle du flux énergie du projet GEF-Boughezoul*

Pour atteindre l'objectif de la réduction de la consommation des énergies fossiles, le projet GEF-Boughezoul a mis en place un cadre institutionnel pour la régulation de la consommation de ces énergies, contrairement à la ville d'Alger, qui n'en possède aucun. Le projet GEF-Boughezoul propose la mise en place d'un cadre de régulation avec des objectifs, qui s'inscrivent dans une approche d'aménagement durable et intégré (GEF, 2010). Ces objectifs sont :

- Promouvoir des normes d'efficacité énergétique dans le bâtiment et le transport.
- Produire de l'énergie renouvelable.
- Conduire des projets pilotes pour expérimenter les mesures d'efficacité énergétique à promouvoir (ou diffuser, généraliser).
- Créer des stocks de carbone (carbon sink) par la reforestation de la zone urbaine et péri-urbaine.
- Favoriser le transfert technologique.

Bien que le but ultime soit de réduire la consommation d'énergie fossile, le projet ambitionne aussi de rationaliser la gestion de ses ressources naturelles y compris l'eau et le sol⁸². Dans la section suivante, nous allons évaluer par notre outil l'EI le contrôle institutionnel du flux énergie tel que préconisé par le projet GEF-Boughezoul. Pour cela, nous allons identifier les vannes institutionnelles ciblées par le projet et évaluer leur indicateur de niveau de contrôle sur le flux énergie selon une échelle de valeurs allant de 0 à 15 pour des niveaux de contrôle allant de faible, moyen à fort.

a. Vanne institutionnelle

Concernant la vanne institutionnelle, le projet GEF-Boughezoul a institutionnalisé une démarche intégrée pour le contrôle du flux énergie. Selon l'organigramme du projet GEF-Boughezoul (Figure 86), l'EPIC Boughezoul et l'unité de gestion de projet (Project Management unit (PMU)), qui sont partenaires au cœur du suivi du projet, ont associé à leurs tâches des comités intersectoriels. Ces comités intègrent des agences spécialisées telles que le CNERIB, l'APRUE ou le CDER... qui ont chacun un rôle à jouer dans la régulation et le contrôle du flux énergie. Nous voyons ici, que le projet GEF-Boughezoul a institutionnalisé un cadre intersectoriel pour une gestion intégrée du flux énergies afin de s'assurer les moyens de mettre en place les mécanismes de régulation nécessaires.

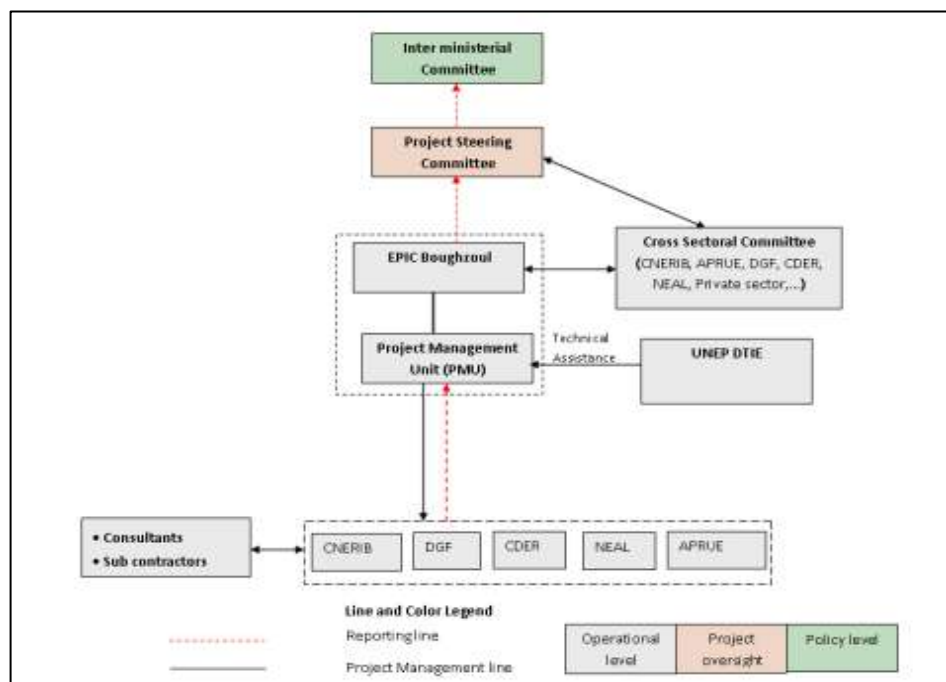


Figure 86: Organigramme du projet GEF-Boughezoul

⁸² GEF, "...the rational management of available natural resources, including water and soil..."

En outre, le projet GEF-Boughezoul prévoit de créer un centre d'information sur les énergies propres, ainsi qu'un centre de transfert de technologies qui ont pour but d'informer et de former pour inciter à choisir une solution énergétiquement efficace.

La vanne institution représente, donc, dans le cas de Boughezoul, le cadre multisectoriel de gestion intégrée créé spécialement pour le suivi de ce projet ainsi que les nouveaux centres d'information et de transfert technologique.

Ainsi, l'évaluation de la vanne institution révèle que, d'une part, l'évaluation du contrôle exercé par les deux centres qui visent l'information et le transfert de technologies est incitatif et est donc de niveau moyen. D'autre part, l'évaluation du contrôle exercé par le cadre institutionnel créé pour la gestion et contrôle intégré du projet GEF-Boughezoul révèle que ce cadre multisectoriel possède les moyens de décider et d'appliquer, à l'échelle locale, un contrôle fort sur le flux énergie⁸³. De ce fait, nous pouvons conclure que l'indicateur de contrôle dépasse le niveau moyen, c'est un contrôle fort. Nous admettons ainsi que l'indicateur de contrôle de la vanne institutionnelle est fort avec une valeur de 3/3.

b. La vanne réglementaire :

Dans le volet réglementaire, le projet GEF-Boughezoul ambitionne à institutionnaliser sa politique d'efficacité énergétique dans le but de diminuer les émissions de CO₂. Pour cela, il vise à se doter du cadre réglementaire adéquat à l'application de la politique adoptée comme il vise à éliminer du cadre légal et institutionnel algérien tout ce qui peut retarder ou empêcher l'application de la politique d'efficacité énergétique⁸⁴. Le cadre réglementaire mis en place comprend des textes législatifs ainsi que des mesures financières incitatives à l'intégration et à l'adoption de cette politique. Pour cette vanne, nous admettons que le contrôle est de niveau moyen incitatif. La valeur de l'indicateur de contrôle est de 2/3.

⁸³ Nous voyons ici un exemple où l'institutionnalisation du centre de commande du métabolisme urbain dépasse la création d'une simple institution pour atteindre la mise en place d'un cadre de coordination intersectoriel pour la gestion et le contrôle du métabolisme urbain.

⁸⁴ Il est intéressant de rappeler que l'objectif du projet d'éliminer du cadre légal et institutionnel algérien de tout ce qui peut retarder ou empêcher l'application de la politique d'efficacité énergétique corrobore notre hypothèse de départ sur la nécessité de créer un cadre institutionnel particulier pour le contrôle des flux du métabolisme urbain

c. La vanne Programme

Le contrôle par les programmes et projets, dans le cadre du projet GEF-Boughezoul se décline en plusieurs variations tels que des : guides, projet pilote ou workshop de formation. Nous allons présenter ces projets, puis nous évaluerons leur niveau de contrôle.

Le projet prévoit l'élaboration d'un guide de conception architecturale bioclimatique avec des workshops de formation. Il vise aussi à compléter le guide d'efficacité énergétique préalablement conçu par l'APRUE et à préparer ses workshops de formation destinés aux architectes et constructeurs. De plus, le projet envisage d'élaborer un guide de développement des énergies renouvelables, pas seulement pour Boughezoul, mais pour toute la région des hauts plateaux. Ces guides et workshops ont pour objectif l'information et la formation et ciblent l'incitation.

En outre, des projets pilotes sont prévus : tels que le projet du siège de l'EPIC de Boughezoul, qui est un projet pilote pour les bâtiments tertiaires adoptant les recommandations de l'efficacité énergétique et qui devront avoir une empreinte carbone réduite⁸⁵. Nous citons aussi les projets pilotes pour le chauffe-eau solaire ou à l'échelle urbaine, le projet pilote de l'éclairage urbain utilisant des lampes efficaces énergétiquement et alimentées par un système photovoltaïque.

Enfin, le projet donne des programmes de formation en direction des acteurs intervenants dans la prise de décision dans le cadre de la politique d'efficacité énergétique et des énergies renouvelables.

Pour l'évaluation des vannes programmes et projet, le contrôle exercé par les guides, workshop de formation ainsi que les projets pilotes représentent des mesures incitatives pour le contrôle de flux énergies. Nous admettons que l'indicateur de contrôle par la vanne programme est de niveau moyen avec une valeur de 2/3.

⁸⁵ Ce projet servira à vérifier la faisabilité des options techniques et financières adoptées, la mise en place de cahiers de charge et des termes de références et la mise en place d'un plan pour l'évaluation des performances du bâtiment.

d. La vanne instrument

Le projet GEF-Boughezoul intègre, pour certains projets définis, des cahiers de charges et termes de références qui obligent les partenaires à intégrer les mesures d'efficacité énergétique et d'intégration des énergies renouvelables⁸⁶. Les cahiers de charge sont des instruments qui concernent les projets de production des énergies solaire, éolienne, et de biomasse. Notons que le projet intègre aussi l'adoption des normes d'efficacité énergétique ainsi que des normes de production d'électricité, chaleur et eau chaude par les énergies renouvelables.

Concernant l'énergie consommée par la ville, le projet prévoit la préparation d'un cahier des charges et termes de références pour la promotion des transports publics durables et la promotion de l'éclairage public efficace. Dans ce projet, les déchets urbains sont considérés comme une source potentielle d'énergie, voilà pourquoi un cahier des charges est élaboré pour l'utilisation de déchets dans la production d'énergies. Enfin, pour la promotion des énergies renouvelables, le projet prévoit des cahiers de charge et termes de références pour les projets de production d'énergie solaire, éolienne et biomasse.

Dans ce projet, les normes et cahiers de charges visent l'efficacité énergétique en exerçant un contrôle coercitif et fort. Nous admettons donc pour l'indicateur de contrôle des vannes instrument, une valeur de 3.

e. La vanne participation

Nous avons déjà vu que le projet intègre, à travers les comités de coordinations intersectorielles, une participation des acteurs de l'administration et des spécialistes dans un cadre politique de consultation des différents services et secteurs partenaires. Toutefois, la participation des citoyens n'est pas mentionnée dans le projet GEF-Boughezoul. La seule allusion faite à la prise en compte de l'avis du public concerne les résultats des études d'impacts sociaux et environnementaux. En d'autres termes, à défaut de renforcer la participation du public dans la prise de décision, les doléances des citoyens concernant le projet sont prises en charge de manière indirecte dans le cadre de l'étude d'impact social. Nous rappelons ici que l'étude d'impact social ne bénéficie pas encore d'un cadre

⁸⁶ Le projet propose aussi des cahiers de charge qui concernent aussi les transports publics durables et l'utilisation des déchets dans la production d'énergie.

réglementaire en Algérie, contrairement à l'étude d'impact environnementale qui, elle, bénéficie d'outils réglementaires.

Certes, la création d'un cadre intersectoriel intégré au suivi du projet est positive, toutefois, elle ne remplace pas la participation du public. Ce dernier, en effet, est seulement informé, et son avis n'est pris en compte que de manière indirecte. Le contrôle par la participation des citoyens est donc faible. Nous admettons pour l'indicateur du contrôle par la participation, la valeur de 1.

6.4.2.3 L'Empreinte Institutionnelle du flux énergies de la nouvelle ville de Bougezoul

Nous passons maintenant à l'évaluation de l'EI du contrôle du flux énergie du projet GEF-Bougezoul. Le tableau 34 synthétise les indicateurs de contrôle des vannes et évalue la valeur de l'EI partielle du flux énergie.

L'évaluation du contrôle institutionnel du flux énergie donne un indice de l'EI = 11/15 (Voir Tableau 34). Cette valeur indique que le contrôle du flux énergie mis en place par le projet GEF-Bougezoul est un contrôle fort, même s'il est à la limite du niveau moyen.

Vanne / niveau de contrôle	Valeur indicateur	Type et niveau de contrôle
Institutions	Coercitif I = 3	Création d'un cadre de consultation intersectoriel Création d'un centre d'information sur les énergies propres Création d'un centre d'excellence pour le transfert de technologie
Règlements	Incitatif =2	Eliminer les obstacles à l'application de cette politique identifiés dans le cadre légal et institutionnel algérien Développer un cadre réglementaire pour un support législatif et des mesures financières incitatives pour les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique
Instruments	Coercitif =3	Cahier des charges et termes de références pour les projets de production d'énergie solaire Cahier des charges et termes de références pour les projets de production d'énergie éolienne Cahier des charges et termes de références pour les projets de production d'énergies par la biomass Cahier des charges et termes de références pour la promotion des transports publics durables cahier des charges et termes de références pour l'utilisation de déchets dans la production d'énergies Nouvelles normes concernant la production de l'eau chaude, chaleur et électricité par des énergies renouvelables Normes d'efficacité énergétique
Programmes et projets	Incitatif = 2	Guide de développement des sources d'énergies renouvelables dans la région des hauts plateaux Code de conception de l'architecture bioclimatique + workshops d'information Compléter le code/guide d'efficacité énergétique pour la conception des bâtiments de l'APRUE + workshop projet pilote le siège de l'PEIC Boughezoul Projet pilote d'éclairage urbain utilisant des lampes efficaces énergétiquement et un système photovoltaïque Projet pilote de chauffe-eau solaire Former les acteurs intervenants dans la prise de décision aux énergies renouvelables et à l'efficacité énergétique
Participation	Information =1	Les décideurs publics et privés sont informés sur les bienfaits des énergies propres La dissémination des outils développés pour ce projet vers de nouvelles villes nouvelles Etablir une plateforme (cadre) d'une politique de consultation : créer des comités de coordination intersectoriels (<u>participation intersectorielle mais pas publique</u>). Prise en compte des résultats des études d'impacts sociaux et environnementaux dans le but de minimiser les impacts négatifs de ce projet sur l'environnemental et le social (<u>participation</u> : à défaut de renforcer la participation de la société dans la prise de décision, leurs doléances concernant le projet sont prises en charge dans le cadre de l'étude d'impact social et des résultats). Former les acteurs intervenants dans la prise de décision aux énergies renouvelables et à l'efficacité énergétique (<u>participation / formation</u>)
Indice de contrôle	$\Sigma = 11 / 15$	Indice de contrôle $\Sigma = 11 / 15$ 10 < 11 < 15 : contrôle fort

Tableau 34: Evaluation des indicateurs de contrôle des vannes du flux des énergies de Boughezoul

a. Discussion des résultats

Le radar de l'EI partielle du projet GEF-Boughezoul montre une empreinte forte sur les deux vannes institution et instrument, moyenne sur les deux vannes réglementation et programme, et enfin faible sur la vanne participation (Figure 87).

Ainsi la force du contrôle est garantie grâce aux deux vannes institutions et instrument. La vanne institutions, qui profite d'un cadre institutionnalisé de gestion intégrée et intersectorielle donne au projet un pouvoir local fort capable de prendre les actions nécessaires pour atteindre ses objectifs. D'autre part, la vanne instruments à travers les cahiers de charges destinés à certains projets, qui définissent les termes de références à appliquer impérativement, applique un contrôle coercitif à ces projets.

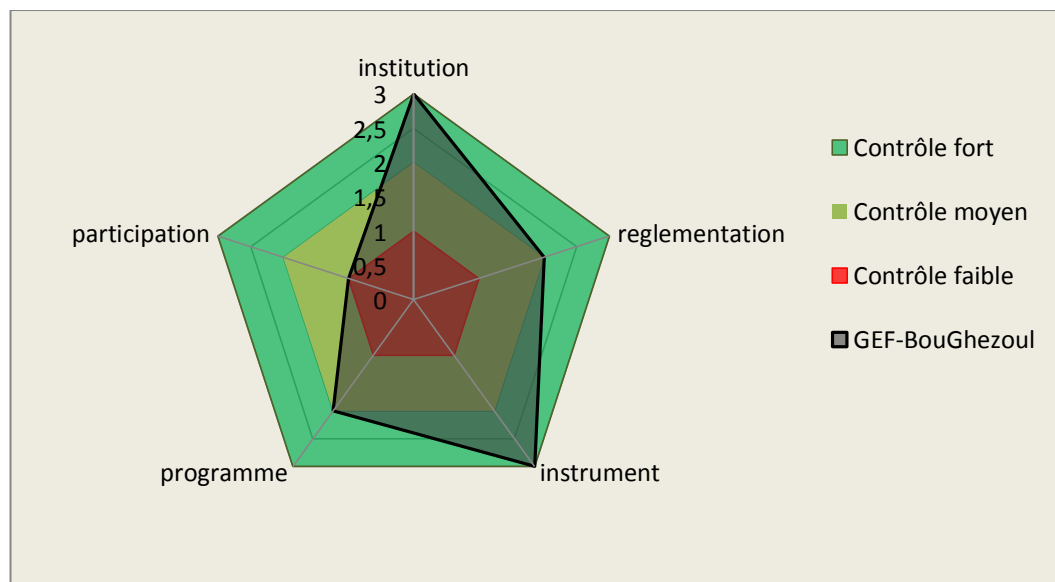


Figure 87 : Radar de l'EI du contrôle du flux énergie de GEF- Boughezoul

Les vannes programme et réglementation présentent un contrôle de niveau incitatif. La vanne réglementaire, bien qu'elle vise, théoriquement, l'élimination des obstacles à l'application de la politique de contrôle d'efficacité énergétique prônée par le projet, ne concerne, en fin de compte, que la promotion des mesures financières incitatives qui accompagnent le projet GEF-Boughezoul.

Pour atteindre un contrôle fort il faudra donc, dépasser les mesures incitatives et aller vers des mesures réglementaires coercitives pour l'application de l'efficacité énergétique. De même, la vanne programme, pour dépasser le niveau moyen incitatif, devra viser plus que

l'information et la formation à travers ces guides et workshops et cibler des programmes intégrant des contrats qui contraignent le partenaire public à appliquer le programme d'efficacité publique.

Enfin, la participation reste le point négatif du contrôle institutionnel du flux énergie. Le projet souffre d'un contrôle citoyen assez faible et court ainsi, le risque de ne pas bénéficier de l'appui et du support du public. Pour remédier à ce point négatif, le projet devra penser à intégrer dans son cadre de gestion institutionnel et des comités intersectoriels, des représentants du public.

b. Le tableau de bord EI GEF-Boughezoul

Pour cette évaluation partielle, nous présentons un tableau de bord partiel élaboré sur Excel qui illustre un histogramme du niveau de consommation du flux énergie comparé à la valeur limite à atteindre avec le radar du niveau de contrôle institutionnel comparé aux valeurs limites (Figure 88). Ce tableau de bord nous indique que le contrôle institutionnel du flux énergie mis en place par le projet GEF-Boughezoul, dans le but de diminuer la consommation d'énergie de la nouvelle ville à l'horizon de 2020, est de niveau fort. Le contrôle peut être renforcé pour le contrôle moyen des vannes réglementation et programme. Toutefois, le contrôle par la participation doit, impérativement, être renforcé si nous voulons un contrôle institutionnel fort qui bénéficie de l'appui du public.

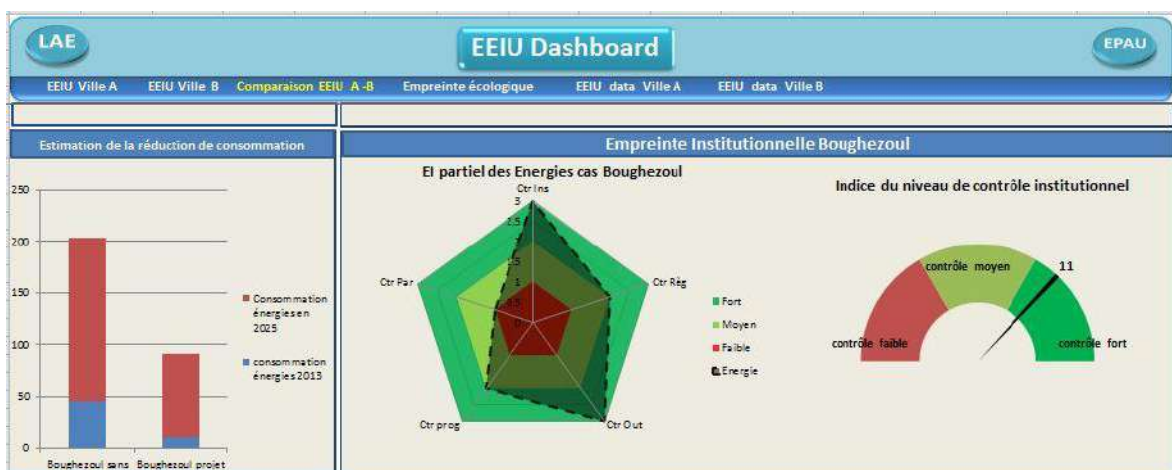


Figure 88: Tableau de bord EI du flux « Energie » de Boughezoul

6.4.3 Essai comparatif des Empreintes Institutionnelles Alger – Boughezoul

Après avoir évalué les EI partielles des flux énergies de la ville d'Alger et de la nouvelle ville de Boughezoul, nous allons effectuer un essai comparatif comparer des Ei des deux villes⁸⁷. Selon le tableau de bord comparatif, les deux villes doivent diminuer leur consommation d'énergie, mais les deux ne bénéficient pas du même niveau de contrôle institutionnel exercé sur le flux énergie (voir Figure 89).

Le tableau de bord comparatif, à défaut d'intégrer l'EI propre à la ville d'Alger⁸⁸, intègre l'EI du contrôle du flux énergie en vigueur à l'échelle nationale et à laquelle est assujettie Alger. Cette EI nationale a un indice de contrôle institutionnel égal à 7 et donc de niveau moyen, alors que Boughezoul a un indice égale à 11 avec un contrôle assez fort.

Grâce au radar de l'EI partiel, qui détaille le contrôle institutionnel par vannes, nous observons que Boughezoul a renforcé son contrôle pour les vannes institution et outils alors que pour Alger elles n'ont qu'un contrôle moyen. D'autre part, le contrôle est moyen incitatif pour les deux vannes règlement et programme pour Boughezoul, alors que pour Alger la vanne programme ne présente qu'un contrôle faible. Enfin, les deux villes présentent un faible contrôle par la participation du public, qui est quasi nul pour Alger.

De plus, concernant l'approche du contrôle institutionnel, pour le cas d'Alger, le contrôle institutionnel du flux énergie obéit à une logique « top down ». Ce sont les décisions qui sont prises à l'échelle nationale, selon les directives générales des programmes d'efficacité énergétique, qui sont appliquées à l'échelle de la ville ou des communes. Alors que dans le cas de la ville de Boughezoul ce sont les objectifs locaux de la ville qui sont traduits par des institutions, règlement, instruments... En outre, la nouvelle ville vise, même, à influencer sur le cadre réglementaire de l'efficacité énergétique nationale. Contrairement pour le cas d'Alger, nous sommes ici dans une logique « bottom up ».

⁸⁷ Nous sommes conscients que suivant les données disponibles, nous ne sommes pas capables de faire une comparaison des EI des deux villes. Voilà pourquoi nous précisons que c'est un essai comparatif qui doit être mis dans le contexte de l'essai de validation de l'utilité de l'outil de l'EI que nous proposons.

⁸⁸ Nous avons vu que la ville d'Alger ne possède pas de centre de contrôle du flux énergie ; ce qui implique que son EI est égale à 0

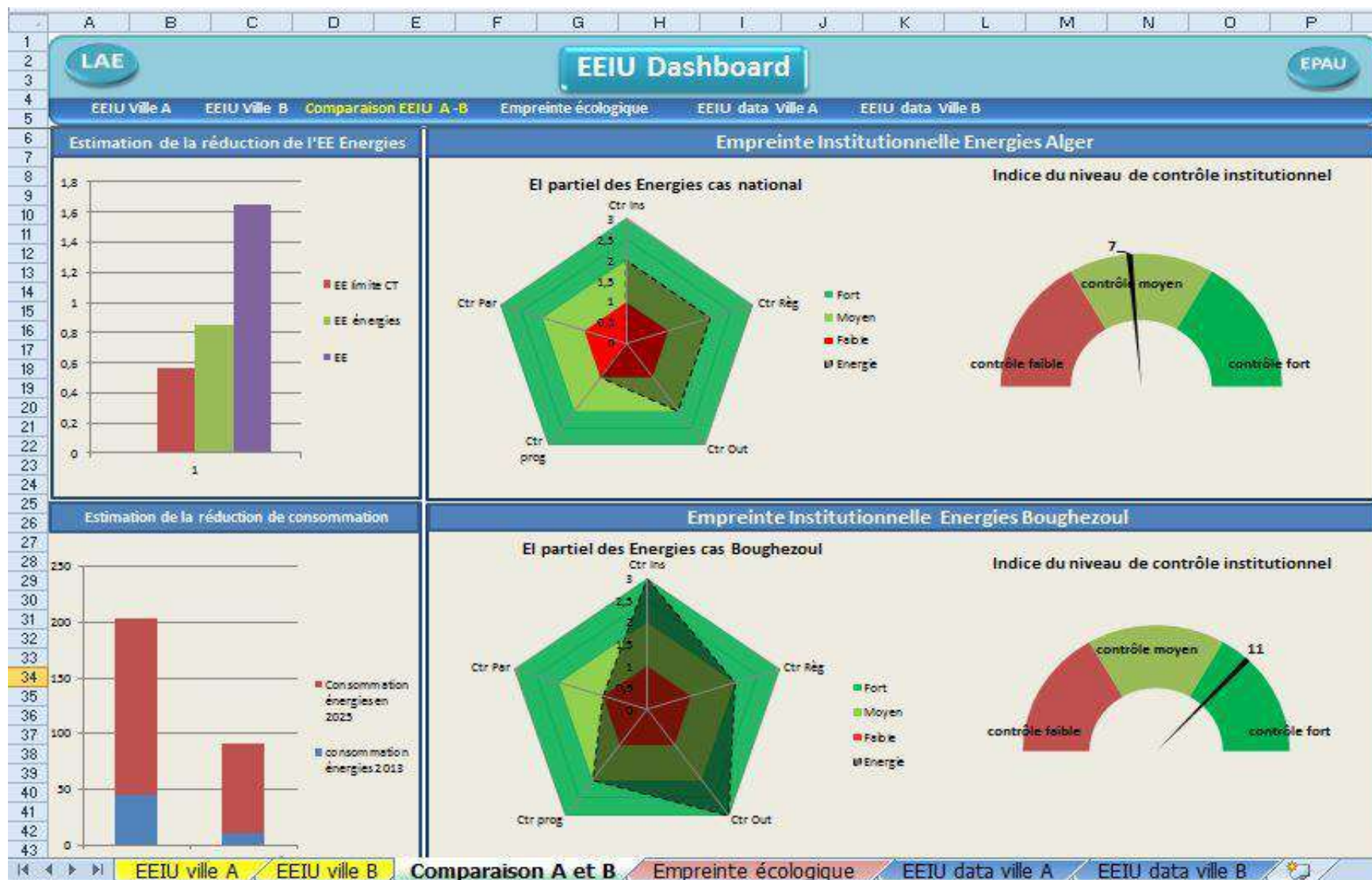


Figure 89: tableau de bord comparatif Alger – Bougeuzoul

En résumé, ce tableau de bord comparatif expose les réformes institutionnelles qui ont été nécessaires au projet Boughezoul pour atteindre ses objectifs de contrôle du flux énergie. En effet, le projet de la nouvelle ville ne s'est pas contenté du cadre de contrôle institutionnel pour le flux énergie en vigueur actuellement en Algérie, il a mis en place son propre cadre de contrôle institutionnel selon une approche bottom up inédite en Algérie. Cette comparaison des EI identifie les carences du contrôle institutionnel du flux énergie en Algérie et guide les réformes nécessaires qu'il faut introduire pour un contrôle des flux des villes en Algérie.

Cet exemple de cas d'application de l'EI et du tableau de bord de l'EEIU, même s'il est partiel, montre clairement que tout contrôle des flux, et par là du métabolisme urbain, nécessite le renforcement d'un centre de contrôle institutionnel des flux, instauré selon une approche top down où l'échelle de la ville – de l'écosystème urbain – est l'échelle principale du contrôle.

Enfin, le projet de Boughezoul avec sa nouvelle vision de contrôle de la consommation énergétique, introduit dans le champ urbanistique en Algérie la nécessité de changer de perspective et de paradigme concernant la planification environnementale de la ville. Si nous parlons de zéro carbone et de réduction de flux d'énergie, nous sommes dans une logique de métabolisme urbain et c'est d'évaluation et de contrôle de métabolisme urbain qu'il s'agit. Planifier une ville destinée à être zéro carbone, écologique ou durable nécessite ainsi l'intégration dans le processus de planification d'outil capable d'évaluer et de contrôler le métabolisme urbain. Nous pensons que l'outil du tableau de bord EEIU que nous proposons peut jouer ce rôle et permettre à l'Algérie à aller même au-delà de la ville zéro carbone vers la ville écologique qui maîtrise tout son métabolisme urbain.

Nous passons, dans la section suivante, à l'essai de proposition des modalités d'intégration de cet outil dans le processus de la planification urbaine en Algérie.

6.5 Intégration du « Dashboard EEIU » dans le processus de la planification urbaine écosystémique en Algérie

Nous avons vu précédemment, dans l'application partielle de notre outil sur la nouvelle ville de Boughezoul que le tableau de bord l'EEIU est un outil pertinent pour l'évaluation et le contrôle du métabolisme urbain. Toutefois, pour être efficace, cet outil d'analyse du métabolisme urbain et d'aide à la décision pour son contrôle, doit être intégré dans le processus même de planification environnementale urbaine. Dans cette section, nous proposons une démarche de planification environnementale urbaine qui intègre les outils EE et EI ainsi que le tableau de bord EEIU.

Nous avons vu que notre outil du tableau de bord EEIU présente les résultats de l'évaluation de l'EE et de l'EI du métabolisme urbain en vue de prendre des actions de régulation de ce dernier. Cette évaluation éco-institutionnelle du métabolisme urbain adopte la démarche suivante (Figure 90) :

- Analyser le métabolisme urbain par des outils d'évaluation du métabolisme et comparer aux valeurs limites choisies de l'EE à CT, MT, LT. Choisir des objectifs à atteindre concernant les flux et leur EE (outil : EE).
- Analyser le niveau de contrôle institutionnel du centre de contrôle du métabolisme urbain (outil : EI).
- Intégrer et traiter les résultats de l'évaluation de l'EE et EI pour identifier les vannes institutionnelles à renforcer (outil : tableau de bord).
- Planifier et appliquer les nouvelles politiques sur les vannes et flux.
- Evaluer les progrès (outil : tableau de bord)

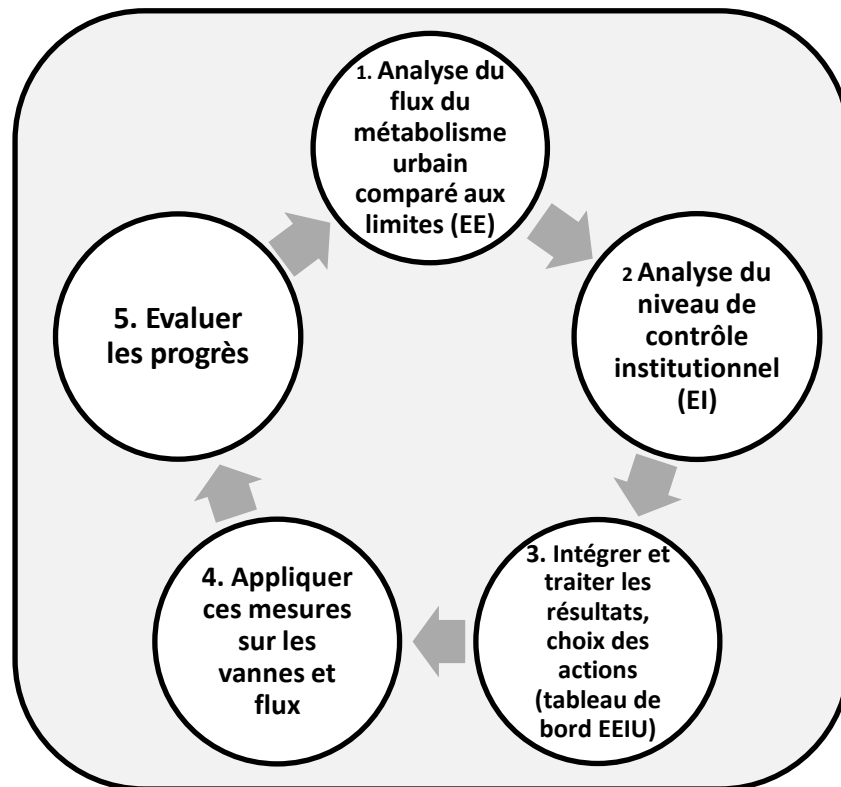


Figure 90: Etapes de planification d'un métabolisme urbain

Ainsi, le tableau de bord EEIU, que nous proposons, est utile aussi bien pour la phase d'analyse du métabolisme urbain que pour les phases de choix des actions et la phase finale de monitoring, ce qui plaide pour son intégration dans le processus de planification environnementale urbaine. Toutefois, nous devons rappeler que notre outil s'inscrit dans une nouvelle perspective de planification environnementale urbaine introduite par le changement de paradigme dans la prise en compte de la ville en tant qu'écosystème urbain. Voilà pourquoi, nous pensons qu'il est vain de vouloir intégrer, impérativement, ce nouvel outil dans le processus de planification urbaine existant en Algérie sans procéder à des réformes sur l'approche et les instruments existants.

Nous avons vu que dans le contexte algérien, bien que la volonté existe de cibler des objectifs de préservation de l'environnement naturel, la vision reste sectorielle et la planification urbaine est toujours dirigée par des instruments qui ne facilitent pas l'intégration de ces objectifs comme nous l'avons vu pour le PAC d'Alger (voir Chap. 2).

L'intégration de l'EEII dans le processus de planification urbaine nécessite une nouvelle approche qui l'intègre pleinement dans ce processus. Nous proposons l'approche suivante

qui explique les phases d'une planification urbaine orientée vers le contrôle et l'équilibre du métabolisme urbain qui serait une planification urbaine éco-institutionnelle pour le cas d'un projet urbain dans une ville existante et celui d'une ville nouvelle.

6.5.1 Intégration dans la planification urbaine : cas d'une ville existante

L'EEIU que nous proposons permet aux villes qui ont un mauvais score par rapport à l'EE d'identifier les causes de ce problème et de cibler des actions de renforcement institutionnel environnemental en vue d'atteindre les objectifs environnementaux fixés. L'outil peut être intégré au master plan d'une ville nouvelle ou d'une ville en cours de renouvellement qui a pour objectif le contrôle de son métabolisme urbain et la réduction de son EE.

Nous prenons le cas d'un projet urbain inscrit dans une ville existante qui possède son propre masterplan. Nous proposons les étapes de l'évaluation éco-institutionnelle et son intégration avec la planification urbaine de cette ville (Figure 91).

– Phase 1 : Analyse et diagnostic

- Choix des objectifs de durabilité (EE limite admissible à CT, MT ou LT).
- Evaluation de l'EE du métabolisme urbain de la ville existante + simulation de l'EE du nouveau projet urbain à projeter (outil : EE).
- Evaluation de l'EI (outil : EI).

– Phase 2 : Traitement des données / stratégie

- Identifier les flux déficitaires qui dépasseraient l'EE limite et qui seront les flux cibles : à réduire à moyen ou long terme.
- Identifier les réformes institutionnelles qui doivent assurer la faisabilité de ces objectifs. Les réformes peuvent être fortes telles que la création de nouvelles institutions, lois et instruments, ou moyennes telle que la création de projets et programmes qui vont intégrer et accompagner ce nouveau projet urbain dans un programme de réduction des flux. Enfin, renforcer la participation du public là où la participation ne bénéficie que d'un faible contrôle.

- **Phase 3 : Action et monitoring**
 - Créer un programme / projet de réduction de l'EE des flux cibles qui s'adosse au cadre institutionnel fort existant ou à créer/renforcer.
 - Réorienter le projet urbain en vue de répondre aux objectifs du programme de réduction des EE. Intégrer projet urbain et programme dans une même procédure inscrite dans le master plan du projet urbain.
- **Phase 4 : Evaluation/ monitoring** : ces trois phases seront suivies d'évaluation des résultats et comparaison avec les objectifs préalablement définies. Ce monitoring servira à guider les corrections nécessaires, qu'elles soient de l'ordre institutionnelles ou conceptuelles.

Cette procédure permet d'intégrer les réformes conceptuelles de projet urbain aux réformes institutionnelles nécessaires à la faisabilité et la viabilité des objectifs du projet urbain. Nous avons vu que sans ce cadre institutionnel de contrôle du métabolisme urbain, aucun projet de réduction et de contrôle du métabolisme urbain ne peut être mis en place. Cette procédure clairement définie et renforcée par des programmes et instruments intégrés à un cadre institutionnel claire, assure que les projets qui visent des objectifs dits écologiques, environnementaux ou durables ne soient pas que des vœux pieux ou de simples slogans qui accompagnent des actions médiatiques de certaines politiques. Bien au contraire, l'intégration de notre outil l'EEIU dans une procédure de planification urbaine (écologique ou durable) assure la faisabilité et la viabilité de l'objectif d'un métabolisme urbain équilibré en dehors des bouleversements ou changements politiques.

Cas du métabolisme urbain d'un projet urbain d'une ville.

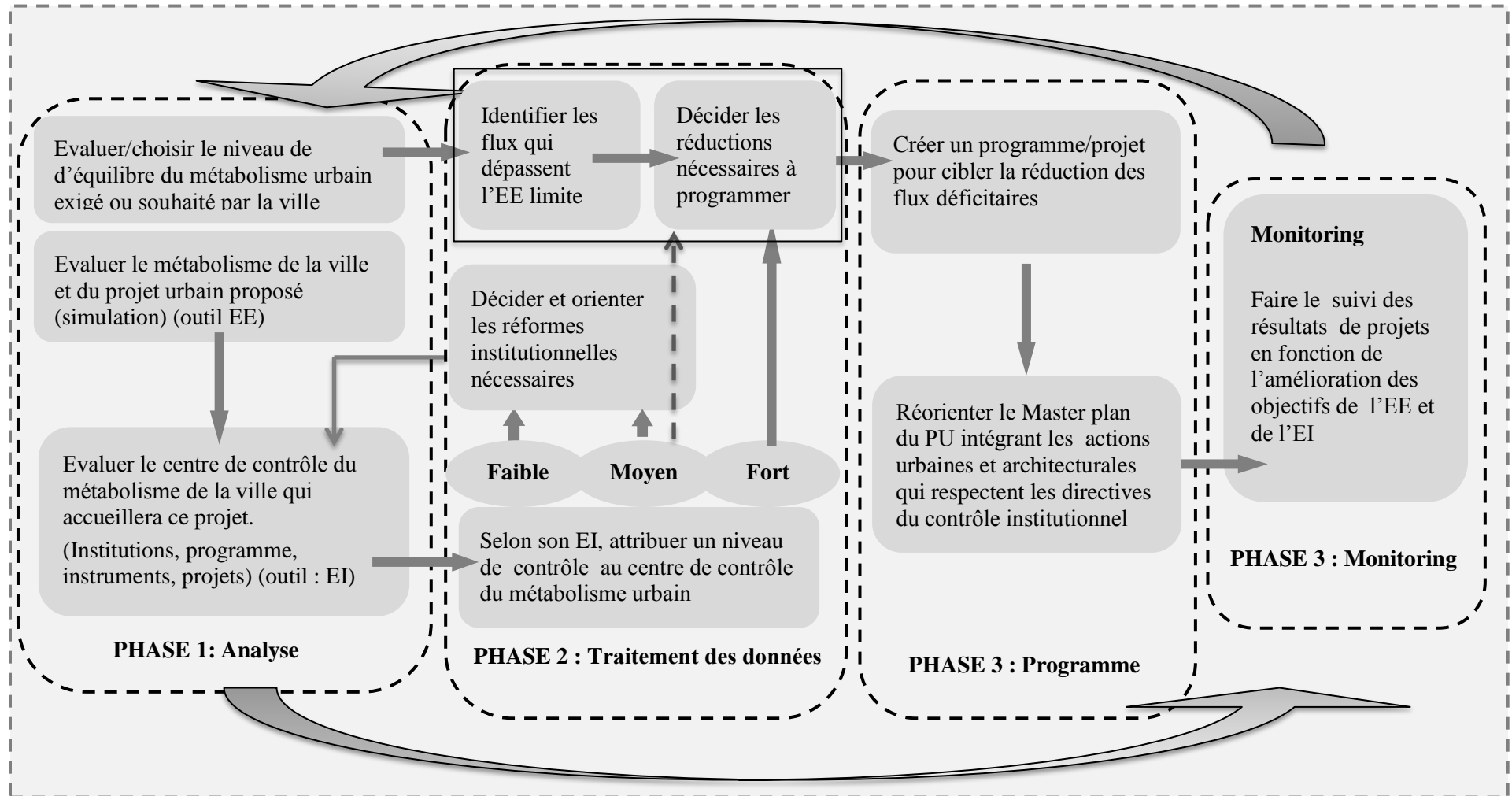


Figure 91: Procédure d'intégration de l'EEIU dans la planification urbaine, cas d'un projet urbain.

6.5.2 Intégration dans la planification urbaine : cas d'une ville nouvelle

Pour l'intégration de l'EEIU dans le processus de planification d'une ville nouvelle, nous adaptons le processus déjà mentionné, dans la section précédente, et proposons les quatre étapes suivantes (Figure 92):

Phase 1 : Analyse

- Choix des objectifs du niveau d'équilibre du métabolisme urbain (EE limite admissible à CT, MT ou LT).
- Simulation de l'évaluation de l'EE de la ville nouvelle par rapport à sa taille et nombre de population.
- Evaluation de l'EEI (cadre institutionnel existant).

Phase 2 : Traitement des données / Actions

- Identifier les flux qui dépassent l'EE limite.
- Suivant la valeur de l'EI, attribuer un niveau de contrôle au centre de contrôle du métabolisme urbain faible, moyen ou fort :
 - Si niveau faible (ou moyen), identifier les réformes institutionnelles nécessaires (création de nouvelles institutions, et lois et instruments, renforcer la participation du public). Puis réévaluer le nouveau EI.
 - Si niveau moyen ou fort, décider les réductions de flux nécessaires à programmer.

Phase 3 : Programme

- Créer un programme / projet de réduction de l'EE des flux cibles qui s'adosse au cadre institutionnel existant ou créé.
- Intégrer le projet de la ville nouvelle et programme de réduction de l'EE dans une même procédure inscrite dans le Masterplan du projet de la ville nouvelle.

Phase 4 : Monitoring

- Ces trois phases seront suivies d'évaluation des résultats et comparaison avec les objectifs préalablement définis. Ce monitoring servira à guider les réformes nécessaires, qu'elles soient de l'ordre institutionnelles ou conceptuelles.

Cas d'une ville nouvelle :

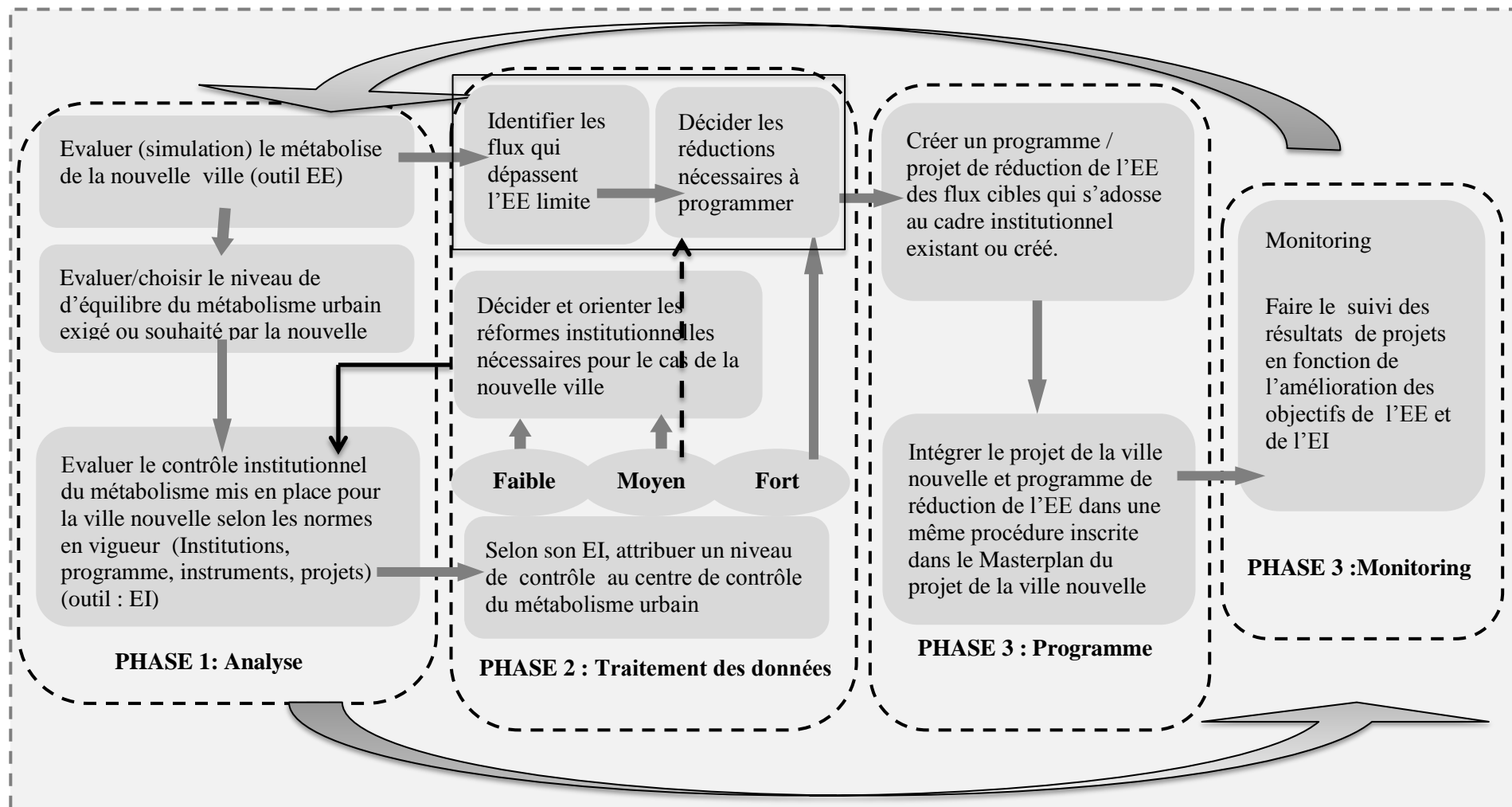


Figure 92: Procédure d'intégration de l'EEIU dans la planification urbaine, cas d'une ville nouvelle

Nous avons vu dans le cas de la nouvelle ville de Boughezoul comment il était nécessaire d'intégrer, dans l'échelle des commandes, différents services et hiérarchies allant jusqu'au conseil des Ministres pour introduire des réformes institutionnelles concernant la capacité de contrôle du métabolisme urbain au cours de la mise en œuvre du projet. Nous pensons que si l'outil de l'empreinte éco-institutionnel urbaine (l'EEIU) du métabolisme urbain avait été appliqué à la nouvelle ville de Boughezoul, au préalable, il aurait aidé à identifier les carences du système de contrôle du métabolisme urbain ainsi que les réformes institutionnelles à mettre en œuvre. De plus, avec le tableau de bord comparatif, on aurait pu comparer l'EEUI de la nouvelle ville à celle d'autres villes considérées comme des villes durables ou écologiques pour bénéficier de leurs expériences respectives.

Il est clair que l'intégration du tableau de bord EEIU comme outil d'évaluation et de contrôle du métabolisme urbain d'un écosystème urbain, nécessite une révision du processus même de la planification urbaine qui devra évoluer pour devenir une planification éco-institutionnelle urbaine. Cette dernière devra intégrer:

- l'échelle de l'écosystème urbain,
- le métabolisme urbain comme concept qui identifie la dynamique des flux de la ville vers son environnement naturel nourricier,
- l'outil de l'EE comme outil d'analyse de la dynamique des flux,
- la limite de capacité de charge de l'environnement naturel comme limite d'équilibre du métabolisme urbain,
- l'outil de l'EI pour l'évaluation des capacités de contrôle institutionnel du métabolisme urbain,
- intégrer le tableau de bord EEIU comme cadre stratégique et outil d'aide à la décision pour l'évaluation et le contrôle du métabolisme urbain.

Nous schématisons dans la Figure 93 le niveau d'intégration de l'EEIU dans le cadre de planification environnementale urbaine en Algérie. Le niveau d'intégration est celui de l'écosystème urbain qui lui permet d'être associé au processus d'aménagement pour des instruments aussi divers que le SDAAM, le PAVN ou le PAC.

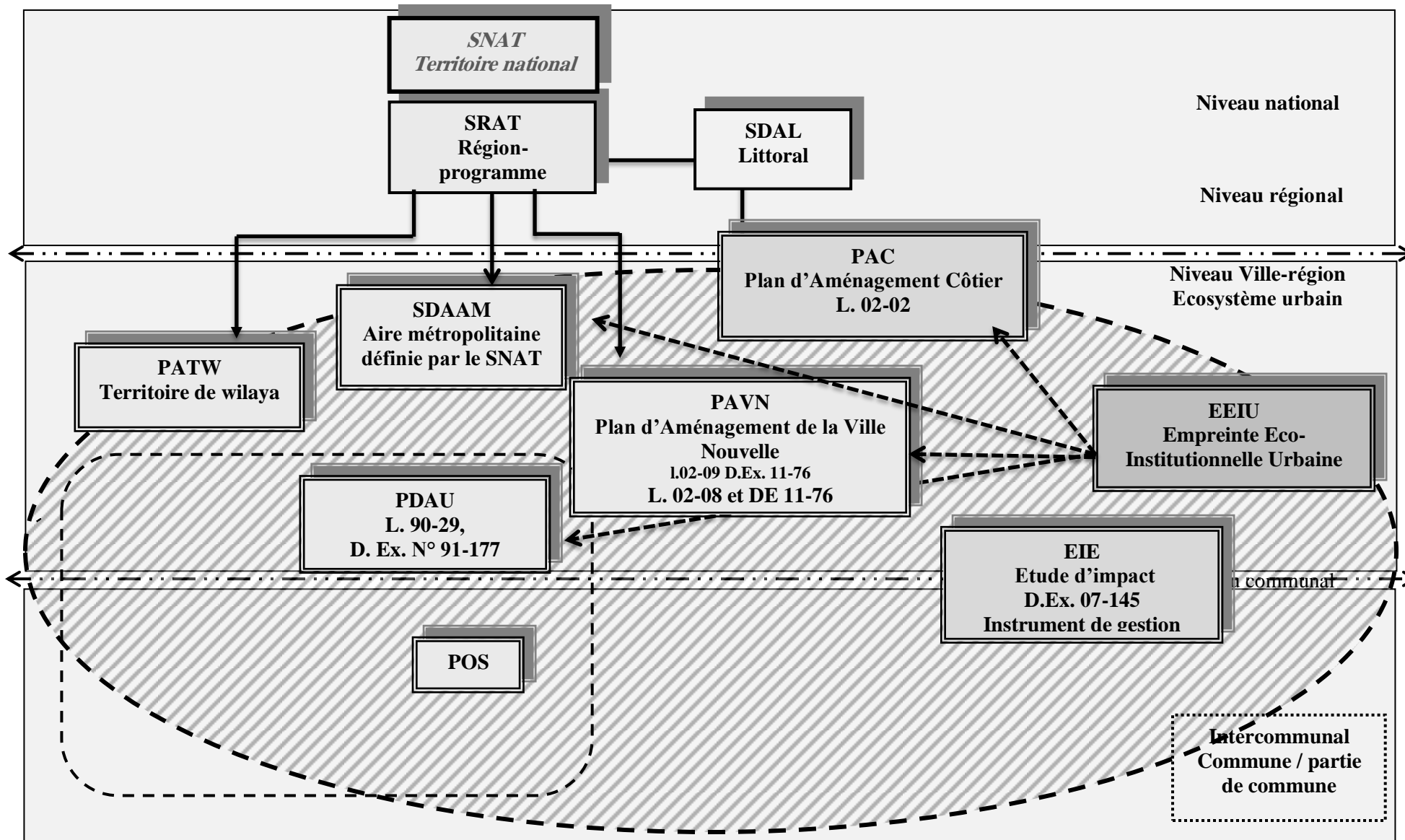


Figure 93: Schéma intégrant l'EEIU dans le cadre des outils et instruments environnementaux et d'aménagement urbain

6.6 Conclusion

Dans ce dernier chapitre, nous avons finalisé la réponse au questionnement de départ : Quel est l'outil manquant et nécessaire pour l'intégration des outils d'évaluation du métabolisme urbain dans le processus de planification de l'écosystème urbain en Algérie? Nous avons ainsi vérifié notre hypothèse qui soulignait la nécessité d'intégrer l'évaluation de la propriété de contrôle du métabolisme urbain pour pouvoir intégrer les outils d'évaluation du métabolisme urbain dans le processus de planification urbaine par la proposition du tableau de bord EEIU.

Ainsi, dans ce chapitre, nous avons présenté la procédure de la mise en œuvre du dashboard EEUI, ainsi qu'une proposition de son intégration dans le processus de planification urbaine.

En premier, nous avons présenté le tableau de bord EEIU qui constitue la finalité de notre contribution dans cette recherche. Nous avons présenté la démarche de l'élaboration du tableau de bord à l'aide d'Excel. Nous avons, aussi, expliqué comment le tableau de bord intègre les deux indices clés de l'évaluation du métabolisme urbain : l'EE et l'EI. Nous avons montré que notre Dashboard s'adresse aussi bien au public en général qu'aux décideurs et spécialistes. Il vise, en effet, en plus de la communication de l'état actuel, l'évaluation de l'environnement, son suivi dans le temps, ainsi que l'aide à la décision par sa capacité à proposer des comparaisons et des simulations de monitoring sur l'état éco-institutionnel de métabolisme urbain.

Deuxièmement, et afin de valider notre outil, nous avons présenté une simulation partielle de métabolisme urbain. La simulation, qui a concerné le flux des énergies pour le cas d'Alger et celui de la ville nouvelle de Boughezoul, a démontré l'utilité d'un tel outil pour l'évaluation d'un métabolisme urbain d'une ville ainsi que pour la comparaison de deux évaluations de métabolisme urbain.

Enfin, nous avons présenté les modalités d'intégration du Dashboard EEIU dans le processus de planification urbaine en Algérie que ce soit dans le cas d'un projet urbain ou d'une ville nouvelle. Nous avons expliqué que ceci trace les lignes d'une nouvelle planification qui serait une planification éco-institutionnelle urbaine en Algérie.

Conclusion Générale et perspectives de recherche

Conclusion

Avec la nouvelle ville de Boughezoul, la première ville zéro carbone, l'Algérie lance le défi de planifier une ville nouvelle qui maîtrise sa consommation d'énergies et ses rejets de carbone. Même si le terme n'est pas cité, le projet vise, de manière indirecte, à contrôler le métabolisme urbain de la ville nouvelle. Le PAC d'Alger aussi, a introduit une nouvelle approche écosystémique de l'évaluation de la durabilité dans le champ de la planification urbaine en Algérie. L'objectif écologique de ces projets annonce un changement de vision dans la planification urbaine environnementale en Algérie.

Toutefois, la planification urbaine en Algérie n'est pas préparée à adopter cette nouvelle vision environnementale qui est une planification de plan, rationnelle et fortement sectorielle. En effet, le seul instrument de gestion environnemental reconnu en Algérie est l'étude d'impact qui rappelle le parti sectoriel de la planification environnementale. Cette introduction de fait de la vision écosystémique de la ville et de son métabolisme urbain dans la planification environnementale urbaine en Algérie, soulève plusieurs questionnements quant à sa faisabilité d'un point de vue réglementaire et opérationnel.

Sur le plan académique, l'analyse ou l'évaluation du métabolisme urbain est un champ de recherche qui prend de plus en plus d'importance. Les recherches dans ce domaine se développent sur plusieurs fronts de différentes disciplines, l'écologie urbaine, l'écologie industrielle, la géographie urbaine et l'économie environnementale. Ces disciplines investissent l'évaluation de la dynamique des flux sous différents angles créant leur propre théorie et outil. Cependant, l'urbanisme reste absent de ce champ de recherche qui se joue pourtant sur son terrain de prédilection : la ville. En effet, peu de recherches en urbanisme s'intéressent au rôle de l'évaluation du métabolisme urbain et de sa relation avec la planification urbaine.

C'est dans ce contexte de recherche guidé par des questionnements d'ordre opérationnel et théorique que se place notre travail. Notre recherche vise à répondre à des questionnements propres aux besoins de la planification environnementale du métabolisme urbain en Algérie tout en investissant un axe de la recherche académique peu exploité, jusqu'à ce jour, sur l'évaluation du métabolisme urbain d'un point de vue urbanistique.

Notre problématique s'interroge sur les outils et les modalités d'intégration de l'évaluation du métabolisme urbain dans le processus de planification urbaine de l'écosystème urbain en Algérie ?

Dans cette recherche, nous avons montré que l'évolution environnementale, qui suit l'évolution de la conception de la ville et de son environnement naturel, vit une révolution avec le changement de paradigme introduit par le concept de métabolisme urbain. Ainsi nous sommes passés de l'évaluation des impacts sous l'angle de l'approche sectorielle, à l'évaluation de la durabilité pour enfin arriver à l'évaluation du métabolisme urbain avec de nouvelles théories et de nouveaux outils opératoires. De plus, nous avons vu que la planification environnementale en Algérie est toujours au stade de l'évaluation des impacts, bien que les projets du PAC d'Alger et de la ville nouvelle de Bougezhoul augurent d'un intérêt pour l'approche écosystémique et les outils d'analyse du métabolisme urbain. En outre, nous avons vu que l'évaluation du métabolisme urbain, actuellement en vigueur dans le monde, concerne surtout l'évaluation de la dynamique des flux et omet d'inclure le contrôle du métabolisme urbain. Enfin, nous avons vérifié que l'évaluation du contrôle du métabolisme urbain est la seule capable d'adresser les objectifs d'une planification environnementale urbaine et que cette évaluation nécessitait un nouvel outil particulier.

La méthodologie suivie pour répondre à notre problématique et vérifier nos hypothèses s'est basée en grande partie sur l'approche systémique, qui nous a permis de concevoir un modèle systémique de l'écosystème et métabolisme urbain ainsi que du centre de commande du métabolisme urbain. Ce modèle nous a aidés à comprendre les objectifs de l'évaluation du métabolisme urbain, situer l'échelle de ses outils et leur relation avec la planification environnementale urbaine. Cette modélisation nous a permis de comprendre que l'évaluation du métabolisme urbain en vigueur actuellement dans le monde, vise la dynamique des flux et exclue son contrôle.

Après avoir situé le vide ou le chaînon manquant entre l'évaluation des flux, telle qu'elle est pratiquée actuellement, et la planification urbaine au niveau du centre de contrôle du métabolisme urbain, nous avons proposé deux outils. D'abord, et en complément de l'Empreinte Ecologique (EE), qui évalue le niveau des flux, nous avons proposé l'Empreinte Institutionnelle (EI) qui évalue le contrôle institutionnel du métabolisme urbain. Nous avons construit l'outil de l'EI grâce à notre modèle systémique du centre de

commande du métabolisme urbain, selon une approche d'analyse multicritère. Par la suite, nous avons intégré les résultats de l'EE et l'EI dans le deuxième outil que nous avons proposé : le tableau de bord de l'Empreinte Eco-Institutionnelle Urbaine EEIU et que nous avons conçu sur tableur Excel.

Pour vérifier la faisabilité et l'utilité de notre outil et valider ainsi notre proposition et nos hypothèses, il aurait fallu faire une application de l'outil sur le métabolisme urbain d'un cas pratique. Cette application, comme nous l'avons déjà indiqué, est rendue difficile en premier lieu par la transdisciplinarité de notre recherche et en second lieu par son caractère inédit en Algérie. Toutefois, et à défaut d'une application sur tout un métabolisme urbain, nous avons proposé une simulation partielle pour un seul flux du métabolisme urbain : celui des énergies, et ce pour les villes d'Alger et de Boughezoul. Cette simulation partielle, loin de pénaliser notre recherche, nous a confortés dans nos hypothèses de départ.

En effet, pour le cas d'Alger, les résultats de la simulation partielle pour le flux énergie, ont montré que le contrôle institutionnel du métabolisme urbain est quasi nul à l'échelle de la wilaya. A l'échelle nationale, le contrôle est moyen et souffre d'une faible intégration intersectorielle et d'une participation inexistante. Par contre, pour le contrôle institutionnel mis en place par le projet de la nouvelle ville de Boughezoul, bien que de niveau moyen pour la participation, les résultats ont montré un contrôle assez fort du flux énergie. Ce qui est en grande partie dû au fait que le projet a mis en place ses propres mécanismes de contrôle indépendamment du cadre institutionnel en vigueur en Algérie. De plus, l'essai de comparaison entre les deux EEIU des deux villes place le cas de Boughezoul comme un exemple de bonne pratique de contrôle institutionnel du flux énergie qui pourrait guider de futures réformes dans ce sens pour Alger et les autres villes du pays. Enfin, les résultats de la simulation partielle nous ont permis de découvrir que l'EEIU peut aussi être utilisé pour l'évaluation partielle du contrôle institutionnel d'un seul flux du métabolisme urbain.

Intérêt de la recherche

Notre contribution est en premier lieu, méthodologique : en se basant sur les systèmes complexes, nous avons proposé un modèle systémique qui réinterprète l'évaluation du métabolisme urbain de manière à intégrer, en plus, de l'évaluation de la dynamique des flux, l'évaluation du contrôle du métabolisme urbain.

En second lieu, notre contribution est opérationnelle avec la proposition de deux outils qui forment un cadre stratégique qui intègre les deux dimensions du MU qui sont la dynamique du flux et sa régulation. Notre contribution se situe à deux échelles :

- d'abord, nous avons conçu l'Empreinte Institutionnelle (EI) comme outil d'évaluation du contrôle institutionnel du métabolisme urbain pour compléter l'EE dédiée à l'évaluation des flux,
- puis, nous avons conçu un deuxième outil stratégique : l'EEIU, qui est un tableau de bord d'évaluation et de contrôle du métabolisme urbain et qui intègre les deux outils dédiés à l'évaluation des flux et du contrôle du métabolisme urbain. Nous voulons que le tableau de bord de l'EEIU soit un outil stratégique d'évaluation et d'aide à la décision pour le contrôle et la gestion du métabolisme urbain.

Par ces deux outils, notre contribution réinterprète l'évaluation du métabolisme urbain pour aller au-delà de la simple évaluation des flux et inclure l'évaluation du contrôle du métabolisme urbain dans un cadre intégré et stratégique afin de répondre aux attentes des urbanistes.

Notre contribution du tableau de bord de l'EEIU s'avère être d'un grand intérêt pour les autorités locales qui semblent intéressées, de par les projets du PAC et Bougezhoul, par l'approche écosystémique de la planification environnementale de la ville. L'outil peut être utilisé par les autorités qui veulent maîtriser le métabolisme urbain de leur ville pour évaluer le niveau de contrôle institutionnel exercé sur tout le métabolisme urbain ou sur un flux seulement. Il peut servir à comparer l'évaluation des métabolisme urbain de différentes villes qui affichent des EE différentes pour tirer des leçons des bonnes pratiques. L'outil peut aussi servir à renforcer le contrôle institutionnel des villes qui visent des objectifs de performance écologique tels que Bougezhoul.

Sur le plan académique, rappelons que jusqu'à nos jours, la plus grande partie des recherches qui est faite concerne la dimension de l'évaluation de la dynamique des flux. Notre proposition de l'empreinte Eco-Institutionnelle Urbaine complète ces travaux d'un point de vue urbanistique. Ainsi notre recherche vient étoffer la recherche transdisciplinaire sur le thème de l'évaluation du métabolisme urbain.

Perspectives de recherche

« Faire de la recherche c'est explorer une frontière ». Tout le long de notre recherche nous avons été inspirés par cette phrase. Arrivés à la fin de notre recherche, nous découvrons que le peu de savoir que nous avons acquis et la modeste contribution qui a finalisé notre travail n'ont fait que déplacer la frontière vers d'autres directions et disciplines créant de nouvelles perspectives de recherche.

Ainsi, sur le plan pratique, différents axes de recherche se profilent tels que : le développement de l'outil EEIU dans le cadre d'un outil SIG dédié à l'évaluation et le contrôle du métabolisme urbain et l'intégration de l'EEIU dans les Masterplans des projets urbains et villes. De même le projet d'évaluation du métabolisme urbain d'une ville pilote peut faire l'objet d'un projet de recherche national autour d'une équipe pluridisciplinaire qui vise en premier lieu à appliquer, tester, développer et compléter l'EEIU ; et en second lieu à guider la réforme nécessaire du cadre institutionnel de l'évaluation et gestion environnementale en Algérie.

Sur le plan théorique, nous pensons qu'il serait intéressant de poursuivre la recherche sur le métabolisme urbain en se basant sur le modèle systémique proposé. Les axes de recherche cibleront la régulation du métabolisme urbain et son centre de commande pour explorer les mécanismes de la gouvernance locale. La recherche pourrait cibler chacune des vanes institutionnelles pour chaque flux afin de les développer. Quel outil, et programme pour contrôler les flux énergies, eau, sol bâti, et déchets ? Comment développer la participation au niveau du contrôle du métabolisme urbain?

Enfin, tracer les contours d'un nouveau champ de recherche transdisciplinaire sur la ville et l'environnement en Algérie afin de participer au rapprochement entre les champs de l'écologie urbaine, l'écologie industrielle, l'économie environnementale et de l'urbanisme.

Bibliographie

- Aall, C., Norland, I.T., 2002. The Ecological Footprint of the City of Oslo – Results and Proposals for the Use of the Ecological Footprint in Local Environmental Policy. ProSus, Norway.
- Abaza, H., Bisset, R., Sadler, B., 2004. Environmental Impact Assessment and Strategic Environmental Assessment: Towards an Integrated Approach. UNEP/Earthprint.
- Adi Setia, 2007. The inner dimension of going green: articulating an Islamic deep ecology. *Islam and Science* 5, 117–149.
- Adler, F.R., Tanner, C.J., 2013. *Urban Ecosystems: Ecological Principles for the Built Environment*. Cambridge University Press.
- Aitkenhead-peterson, J., Volder, A., 2010. *Urban Ecosystem Ecology*. Amer Society of Agronomy.
- Alberti, M., Susskind, L., 1996. Managing urban sustainability: an introduction to the special issue. *Environ impact assess rev* 213–221.
- Alberti, M., 1999a. Modeling the urban ecosystem. A conceptual framework. *Environment and Planning B* 26, 605–630.
- Alberti, M., 1999b. Urban Patterns and Environmental Performance: What Do We Know? *Journal of Planning Education and Research* 19, 151–163.
- Alberti, M., Marzluff, J.M., Shulenberger, E., Bradley, G., Ryan, C., Zumbrunnen, C., 2003. Integrating Humans into Ecology: Opportunities and Challenges for Studying Urban Ecosystems. *BioScience* 53, 1169–1179.
- Alberti, M., 2008. *Advances in urban ecology*. Springer.
- Alberti, M., Waddell, P., 2000. An integrated urban development and ecological simulation model. *Integrated Assessment* 1, 215–227.
- Anderberg, S., 2012. Natural Resource Flows and Sustainability in Urban Areas, in: Meyers, R.A. (Ed.), *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology*. Springer, pp. 6853–6864.
- André, P., Delisle, C.E., Revéret, J.-P., 2003. *L'évaluation des impacts sur l'environnement: processus, acteurs et pratique pour un développement durable*. Presses inter Polytechnique.

- Arnstein, S.R., 1969. A Ladder of Citizen Participation. *Journal of the American Planning Association* 35, 169–224.
- ARUP, 2006. Towards an Eco Age – Lessons Learnt. Available from: <http://portal.ppj.gov.my/c/document_library/get_file?p_l_id=17335&folderId=27605&name=DLFE-4732.pdf>
- ARUP, 2011. Making cities work for people. Available from: <www.arup.com, accessed 05/05/2011>
- Arvind Kumar, 2006. Towards an Integrated Sustainability. Assessment of the Built Environment: The Convergence of Ecological footprint and Spatial Analysis to Map the Urban Dynamics of a City. The University of New South Wales, UK.
- Awais L Piracha, Peter J Marcotullio, 2003. Urban Ecosystem Analysis, Identifying Tools and Methods. United Nations University Institute of Advanced Studies.
- Baas, L., Boons, F., October. An industrial ecology project in practice: exploring the boundaries of decision-making levels in regional industrial systems. *Journal of Cleaner Production* 12, 1073–1085.
- Barles, S., 2007. Urban metabolism and river systems: an historical perspective—Paris and the Seine, 1790–1970. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions* 4, 1845–1878.
- Barles, S., 2010. Society, energy and materials: the contribution of urban metabolism studies to sustainable urban development issues. *Journal of Environmental Planning and Management* 53, 439–455.
- Barrett, J., Vallack, H., Jones, A., Haq, G., 2002. A Material Flow Analysis and Ecological Footprint of York. SEI Stockholm Environment Institute.
- Beatley, T., 2000. Green urbanism. Island Press.
- Begon, M., Townsend, C.R., Harper, J.L., 2005. From individuals to ecosystems. Blackwell Publishers, Malden, MA.
- Bell, S., Coudert, E., 2006. Guide d'utilisation de "Imagine" Analyse Systémique et Prospective de Durabilité (Cahiers No. 3), Cahiers du Plan Bleu. Plan Bleu.
- Bell, S., Morse, S., 2008. Sustainability Indicators: Measuring the Immeasurable? Earthscan.
- Best Foot Forward Ltd, 2002. City limits, A resource flow and ecological footprint analysis of Greater London. IWM (MB).
- Birch, R., 2007. From Masterplans to Local Strategies - High and Low level Applications of the Ecological Footprint. Presented at the International ecological footprint conference, Cardiff.
- Blum, A. and Grant, M. 2006. Sustainable neighbourhoods: Assessment tools for renovation and development. *Journal of International Research Publications: Ecology and Safety*, 1. 37-54.
- BMZ, 1996. Manuel sur l'environnement - Documentation pour l'étude et l'évaluation des effets sur l'environnement, GTZ. ed. Vieweg.

- Bottero, M., 2011. Indicators assessment systems, in: *Landscape Indicators: Assessing and Monitoring Landscape Quality*. Springer, pp. 15–29.
- Breuste, J., Qureshi, S., 2011. Urban sustainability, urban ecology and the Society for Urban Ecology (SURE). *Urban Ecosystems* 14, 313–317.
- Broto, V.C., Allen, A., Rapoport, E., 2012. Interdisciplinary Perspectives on Urban Metabolism. *Journal of Industrial Ecology* 16, 851–861.
- Brunner, P.H., 2007. Reshaping Urban Metabolism. *Journal of Industrial Ecology* 11, 11–13.
- Campbell, H., 2006. Just Planning. The Art of Situated Ethical Judgment. *Journal of Planning Education and Research* 26, 92–106.
- Campbell, S., 1996. Green cities, growing cities, just cities? Urban planning and the contradictions of sustainable development. *J. Am. Plan. Assoc.* 62, 296–312.
- Carson, R., 1962. *Silent spring*. Fawcett publications.
- Che, X., English, A., Lu, J., Chen, Y.D., 2011. Improving the effectiveness of planning EIA (PEIA) in China: Integrating planning and assessment during the preparation of Shenzhen's Master Urban Plan. *Environ. Impact Assess. Rev.* 31, 561–571.
- Chen, B., Chen, G.Q., 2007. Modified ecological footprint accounting and analysis based on embodied exergy—a case study of the Chinese society 1981–2001. *Ecological Economics* 61, 355–376.
- Cherqui F., 2005. *Méthodologie d'évaluation d'un projet d'aménagement durable d'un quartier* Méthode ADEQUA. Université de La Rochelle Pôle Sciences et Technologie.
- Chrysoulakis, N., Lopes, M., San José, R., Grimmond, C.S.B., Jones, M.B., Magliulo, V., Klostermann, J.E.M., Synnefa, A., Mitraka, Z., Castro, E., González, A., Vogt, R., Vesala, T., Spano, D., Pigeon, G., Freer-Smith, P., Staszewski, T., Hodges, N., Mills, G., Cartalis, C., 2013. Sustainable urban metabolism as a link between bio-physical sciences and urban planning: The BRIDGE project. *Landscape and Urban Planning*, 100–117.
- CITET, 2000. *Evaluation du système d'étude d'impact sur l'environnement de la république Algérienne Démocratique et Populaire*. Centre International des technologies de l'environnement de Tunis.
- Collins, A., Cowell, R., Flynn, A., 2009. Evaluation and environmental governance: the institutionalisation of ecological footprinting. *Environment and Planning A* 41, 1707–1725.
- Collins, J.P., Kinzig, A., Grimm, N.B., Fagan, W.F., Hope, D., Wu, J., Borer, E.T., 2000. A New Urban Ecology Modeling human communities as integral parts of ecosystems poses special problems for the development and testing of ecological theory. *American Scientist* 416–425.
- Collins, A., Jones, C., Munday, M., 2009. Assessing the environmental impacts of mega sporting events: Two options? *Tourism Management* 30, 828–837.
- Collins, J.P., Kinzig, A., Grimm, N.B., Fagan, W.F., Hope, D., Wu, J., Borer, E.T., 2000. A New Urban Ecology Modeling human communities as integral parts of ecosystems poses

- special problems for the development and testing of ecological theory. *American Scientist* 416–425.
- Collins, R., 2007. Energy Footprints of Cork City Council's "Sustainable City Campus." pp. 8–10.
- Coudert, E., 2008. *Les atouts de la méthode Imagine - Analyse Systémique et Prospective de Durabilité*. Plan Bleu, Sophia Antipolis, France.
- Coudert, E., Larid, M., 2006. IMAGINE: un ensemble de méthodes et d'outils pour contribuer à la gestion intégrée des zones côtières en Méditerranée. *Vertigo* Vol7.
- Curry, R., Maguire, C., Simmons, C., Lewis, K., 2011. The use of material flow analysis and the ecological footprint in regional policy-making: application and insights from Northern Ireland. *Local Environment* 16, 165–179.
- Dakhia, K., 2008. Towards a sustainable urban management and environmental planning system in Algeria, in: *Techniques and Technologies for Sustainability: Proceedings: International Conference and Summer School 2007*. Presented at the Techniques and technologies for sustainability: proceedings: international conference and summer school 2007, Univerlag tuberlin, Berlin, pp. 194–204.
- Dakhia, K., Berezowska, E., 2004. *Intégration de l'environnement dans la planification urbaine en Algérie (Magister)*. Ecole Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme (EPAU), Algiers, Algeria.
- Dakhia, K., Berezowska, E., 2005. Systemic model for a sustainable city. Presented at the PLEA 2005, The 22nd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Beirut, Lebanon.
- Dakhia, K., Berezowska-Azzag, E., 2010. Urban institutional and ecological footprint: A new urban metabolism assessment tool for planning sustainable urban ecosystems. *Manag. Environ. Qual. Int. J.* 21, 78 – 89.
- Dalal-Clayton, B., Sadler, B., 1999. *Strategic environmental assessment: a rapidly evolving approach*. International Institute for Environment and Development Environmental Planning Issues.
- De Rosnay, J., 1975. *Le microscope*. Seuil, Paris.
- Dépelteau, F., 2011. *La démarche d'une recherche en sciences humaines*, 2e éd. ed. De Boeck Université, Canada.
- Duarte, J.P., 2010. A review of urban design sustainability evaluation tools, in: *DDSS*. Presented at the International Conference On Design And Decision Support Systems In Architecture And Urban Planning, Eindhoven.
- Dunn, B.C., Steinemann, A., 1998. Industrial Ecology for Sustainable Communities. *Journal of Environmental Planning and Management* 41, 661–672.
- Ehrenfeld, J., October. Industrial ecology: a new field or only a metaphor? *Journal of Cleaner Production* 12, 825–831. doi:10.1016/j.jclepro.2004.02.003
- Erkman, S., 2004. *Vers une écologie industrielle*, 2e éd. ed. Charles Léopold Mayer.

- Ewing B., D. Moore, S. Goldfinger, A. Oursler, A. Reed, M. Wackernagel, 2010. Ecological footprint atlas 2010. Global Footprint Network, Oakland.
- Fischer-Kowalski, M., 2003. On the history of industrial metabolism. *Perspectives on industrial ecology* 35–45.
- Fischer-Kowalski, M., Hüttler, W., 1998. Society's Metabolism. *Journal of Industrial Ecology* 2, 107–136.
- Francis, R.A., Chadwick, M.A., 2013. *Urban Ecosystems: Understanding the Human Environment*. Routledge.
- Galli, A., Moore, D., Brooks, N., Iha, K., Cranston, G., 2013. Mediterranean ecological footprint trends. Global Footprint Network, Oakland.
- Gallopín, G., 1996. Environmental and sustainability indicators and the concept of situational indicators. *A systems approach. Environmental Modeling and Assessment* 1, 101–117.
- Gandy, M., 2004. Rethinking urban metabolism: water, space and the modern city. *City* 8, 363–379.
- Gasson, B., 2002. The ecological footprint of Cape Town: Unsustainable resource use and planning implications. Presented at the National Conference of the South African Planning Institution, Durban, pp. 17–20.
- GEF, 2010. CEO Endorsment project - Integrated Approach for Zero Emission Project Development in the New Town of Boughzoul. GEF.
- Gibbs, D., Deutz, P., 2007. Reflections on implementing industrial ecology through eco-industrial park development. *Journal of Cleaner Production* 15, 1683–1695.
- Girardet, H., 1999. *Creating sustainable cities*. Green books.
- Goldfinger, S., 2008. Africa, ecological footprint and human well-being. Global Footprint Network.
- Golubiewski, N., 2012. Is there a metabolism of an urban ecosystem? An Ecological Critique. *AMBIO* 41, 751–764.
- González, A., Donnelly, A., Jones, M., Chrysoulakis, N., Lopes, M., 2013. A decision-support system for sustainable urban metabolism in Europe. *Environmental Impact Assessment Review* 38, 109–119.
- Gravitz, M., 1972. *Méthodes des sciences sociales*. Dalloz, France
- Haberl, H., Fischer-Kowalski, M., Krausmann, F., Weisz, H., Winiwarter, V., 2004. Progress towards sustainability? What the conceptual framework of material and energy flow accounting (MEFA) can offer. *Land Use Policy* 21, 199–213.
- Haberl, H., Wackernagel, M., Krausmann, F., Erb, K.H., Monfreda, C., 2004. Ecological footprints and human appropriation of net primary production: A comparison. *Land Use Policy* 21, 279–288.

- Hammond, A. Adriaanse, E. Rodenburg, D. Bryant, R. Woodward, 1995. Environmental indicators: A systematic approach to measuring and reporting on environmental policy performance in the context of sustainable development. World Resources Institute, Washington DC.
- Hammond, G.P., 2007. Energy and sustainability in a complex world: Reflections on the ideas of Howard T. Odum. *International Journal of Energy Research* 31, 1105–1130.
- Hardin, G., 1968. The Tragedy of the Commons. *Science* 162, 1243–1248.
- He, J., Bao, C.-K., Shu, T.-F., Yun, X.-X., Jiang, D., Brwon, L., 2011. Framework for integration of urban planning, strategic environmental assessment and ecological planning for urban sustainability within the context of China. *Environmental Impact Assessment Review* 31, 549–560.
- Huang, S.-L., Chen, C.-W., 2009. Urbanization and Socioeconomic Metabolism in Taipei. *Journal of Industrial Ecology* 13, 75–93.
- Huang, S.-L., Yeh, C.-T., Chang, L.-F., 2010. The transition to an urbanizing world and the demand for natural resources. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 2, 136–143.
- Humphrey, S., 2012. Africa ecological footprint report. WWF.
- Hurley, J., Horne, R., Grant, T., 2007. Ecological Footprint as an Assessment Tool for Urban Development. Presented at the State of Australian Cities conference, University of South Australia, Australia.
- Ibn Khaldun, 1967. *Al Muqaddima, Discours sur l’histoire universelle*. Sindbad, Beirut.
- Idrus, S., Hadi, A.S., Shah, A.H.H., Mohamed, A.F., 2008. Spatial urban metabolism for livable city.
- Innes, J. 1995, Planning Theory’s Emerging Paradigm: Communicative action and interactive practice, *Journal of Planning Education and Research* 14, pp. 183–90.
- Collins, J.P., Kinzig, A., Grimm, N.B., Fagan, W.F., Hope, D., Wu, J., Borer, E.T., 2000. A New Urban Ecology Modeling human communities as integral parts of ecosystems poses special problems for the development and testing of ecological theory. *American Scientist* 416–425.
- Jay, S., Jones, C., Slinn, P., Wood, C., 2007. Environmental impact assessment: Retrospect and prospect. *Environ. Impact Assess. Rev.* 27, 287–300.
- Kates, R.W., Clark, W.C., Corell, R., Hall, J.M., Jaeger, C.C., Lowe, I., McCarthy, J.J., Schellnhuber, H.J., Bolin, B., Dickson, N.M., Faucheux, S., Gallopin, G.C., Grübler, A., Huntley, B., Jäger, J., Jodha, N.S., Kasperson, R.E., Mabogunje, A., Matson, P., Mooney, H., Moore, B., O’Riordan, T., Svedin, U., 2001. Sustainability. *Science* 292, 641–642.
- Kennedy, C., 2012. A mathematical description of urban metabolism, in: *Sustainability Science*. Springer, pp. 275–291.
- Kennedy, C., 2012. Comment on article “Is there a metabolism of an urban ecosystem?” by Golubiewski. *AMBIO: A Journal of the Human Environment* 1–2.

- Kennedy, C., Baker, L., Dhakal, S., Ramaswami, A., 2012. Sustainable Urban Systems An Integrated Approach. *J. Ind. Ecol.* 16, 775–779.
- Kennedy, C., John Cuddihy, Engel-Yan, J., 2007. The Changing Metabolism of Cities. *Journal of Industrial Ecology* 11, 43–59.
- Kennedy, C., Pincetl, S., Bunje, P., 2011. The study of urban metabolism and its applications to urban planning and design. *Environmental Pollution* 159, 1965–1973.
- Kennedy, C., Pincetl, S., Bunje, P., 2012. Reply to “Comment on ‘The study of urban metabolism and its applications to urban planning and design’ by Kennedy et al.(2011).” *Environmental Pollution* 167, 186.
- Kitzes, J., Moran, D., Galli, A., Wada, Y., Wackernagel, M., 2009. Interpretation and application of the Ecological Footprint: A reply to Fiala (2008). *Ecological Economics* 68, 929–930.
- Kitzes, J., Peller, A., Goldfinger, S., Wackernagel, M., 2007. Current methods for calculating national ecological footprint accounts. *Science for Environment & Sustainable Society* 4, 1–9.
- Kitzes, J., Wackernagel, M., 2009. Answers to common questions in Ecological Footprint accounting. *Ecological Indicators* 9, 812–817.
- Knoepfel, P., Nahrath, S., 2005. Pour une gestion durable des ressources urbaines: des politiques de protection de l’environnement vers les régimes institutionnels des ressources naturelles (RIRN), in: *Enjeux Du Développement Urbain Durable*. Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, pp. 199–255.
- Krausmann, F., Fischer-Kowalski, M., Schandl, H., Eisenmenger, N., 2008. The Global Sociometabolic Transition. *Journal of Industrial Ecology* 12, 637–656.
- Larid, M., 2003. Analyse de durabilité dans le cadre du Analyse de durabilité dans le cadre du PAC “Zone côtière algéroise” (Algérie). Plan Bleu, Sophia-Antipolis, France.
- Ledant, J.P., 2005. «L’empreinte écologique, un indicateur de... quoi?». Document de l’Institut pour le Développement Durable, Available from : <[http : www. iddweb. be](http://www.iddweb.be)>
- Leitmann, J., 1999. *Sustaining cities*. McGraw-Hill.
- Lin, L., Liu, M., Luo, F., Wang, K., Zhang, Q., Xiang, W.-N., 2012. Comment on “The study of urban metabolism and its applications to urban planning and design” by. *Environmental Pollution* 167, 184–185.
- Lowe, E.A., Evans, L.K., 1995. Industrial ecology and industrial ecosystems. *Journal of Cleaner Production* 3, 47–53.
- Malle, O., Lassel, I., Chitour, C.E., 2009. L’empreinte écologique; quelques valeurs de l’Algérie. Presented at the 13ème journée de l’énergie, Algeria.
- Marzluff, J.M., Shulenberg, E., Endlicher, W., Alberti, M., Bradley, G., Ryan, C., 2008. *Urban ecology An international perspective on the interaction between humans and nature*. Springer.

- MATE, 2001. Agenda 21. Alger.
- MATE, 2002, « Plan d'Aménagement Côtier, Plan général de mise en œuvre du projet au niveau de wilaya », Alger
- MATE, 2002. Plan National d'Actions pour l'Environnement et le Développement Durable (PNAE-DD). Algeria.
- MATE, 2005. Rapport sur l'état et l'avenir de l'environnement 2005 (RNE 2005).
- MATE, 2011. "Approche intégrée pour un objectif faibles émissions dans le cadre de l'aménagement de la ville nouvelle de Boughezoul." Présenté dans les Ateliers de lancement du projet FEM-Boughezoul, Alger
- McDaniel, J., Alley, K.D., 2005. Connecting local environmental knowledge and land use practices: A human ecosystem approach to urbanization in West Georgia. *Urban Ecosystems* 8, 23–38.
- McDonald, G.W., Patterson, M.G., 2007. Bridging the divide in urban sustainability: from human exemptionalism to the new ecological paradigm. *Urban Ecosyst* 10, 169–192.
- McGregor, A.I., Roberts, C., 2003. Using the SPeAR TM Assessment Tool in Sustainable Master Planning. Available from :
<http://www.arup.com/_assets/_download/download129.pdf>
- Mcintyre, N.E., Knowles-Yáñez, K., Hope, D., 2000. Urban ecology as an interdisciplinary field: differences in the use of "urban" between the social and natural sciences. *Urban Ecosystems* 4, 5–24.
- Meadows, D.H., Meadows, D.L., Randers, J., Behrens, 1972. *The Limits to Growth: A Report to the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind*. Universe Books, New York.
- Moles, R., Foley, W., Morrissey, J., O'Regan, B., February. Practical appraisal of sustainable development--Methodologies for sustainability measurement at settlement level. *Environmental Impact Assessment Review* 28, 144–165.
- Monfreda, C., Wackernagel, M., Deumling, D., 2004. Establishing national natural capital accounts based on detailed Ecological Footprint and biological capacity assessments. *Land Use Policy* 21, 231–246.
- Moore, J., Kissinger, M., Rees, W.E., 2013. An urban metabolism and ecological footprint assessment of Metro Vancouver. *Journal of Environmental Management* 124, 51–61.
- Moran, D.D., Wackernagel, M., Kitzes, J.A., Goldfinger, S.H., Boutaud, A., 2008. Measuring sustainable development — Nation by nation. *Ecological Economics* 64, 470–474.
- Mori, K., Christodoulou, A., 2012. Review of sustainability indices and indicators: Towards a new City Sustainability Index (CSI). *Environmental Impact Assessment Review* 32, 94–106.
- Mostafavi, N., Farzinmoghadam, M., Hoque, S., Weil, B., 2013. Integrated Urban Metabolism Analysis Tool (IUMAT). *Urban Policy and Research* 1–17.

- Mumford, L., 1964. *La cité à travers l’histoire*. Editions du Seuil, Paris, France.
- Nakamura, S., Kondo, Y., 2009. *Waste Input-Output Analysis: Concepts and Application to Industrial Ecology*, 1st ed. Springer.
- Ness, B., Urbel-Piirsalu, E., Anderberg, S., Olsson, L., 2007. Categorising tools for sustainability assessment. *Ecological Economics* 60, 498–508.
- Newman, P., 2001. Urban Indicators and the Management of Cities, in: Westfall, M.S., Villa, V.A.D. (Eds.), *Urban Indicators for Managing Cities: Cities Data Book*. Asian Development Bank, Manila, Philippines.
- Newman, P., 2006. The environmental impact of cities. *Environment and Urbanization* 18, 275–295.
- Newman, P., Jennings, I., 2008. *Cities as Sustainable Ecosystems: Principles and Practices*. Island Press.
- Niccolucci, V., Bastianoni, S., Tiezzi, E.B.P., Wackernagel, M., Marchettini, N., 2009. How deep is the footprint? A 3D representation. *Ecological Modelling* 220, 2819–2823.
- Office fédéral du développement territorial (ARE), 2004. *Guide des outils d’évaluation de projets selon le développement durable*. Suisse.
- Oliveira, V., Pinho, P., 2010. Evaluation in Urban Planning: Advances and Prospects. *Journal of Planning Literature* 24, 343–361.
- Page, J., Grange, N., Kirkpatrick, N., 2008. The Integrated Resource Management (IRM) model—a guidance tool for sustainable urban design.
- ParquExpo, PDAU d’Alger, Rapport d’orientation, 2011. PARQUEXPO, Alger.
- Partidário, M., 2000. Elements of an SEA framework— improving the added-value of SEA. *Environmental Impact Assessment Review* 20, 647–663.
- Partidário, M.R., 2007. Scales and associated data — What is enough for SEA needs? *Environmental Impact Assessment Review* 27, 460–478.
- Paulo Ferrao, John E. Fernandez, 2009. *Urban metabolism an integrated assessment model initiative*. Portugal.
- Pauwels, K., Ambler, T., Clark, B.H., LaPointe, P., Reibstein, D., Skiera, B., Wierenga, B., Wiesel, T., 2009. Dashboards as a Service Why, What, How, and What Research Is Needed? *Journal of Service Research* 12, 175–189.
- Pincetl, S., 2012. Nature, urban development and sustainability – What new elements are needed for a more comprehensive understanding? *Cities, Current Research on Cities* 29, Supplement 2, S32–S37.
- Pincetl, S., Bunje, P., Holmes, T., 2012. An expanded urban metabolism method: Toward a systems approach for assessing urban energy processes and causes. *Landscape and Urban Planning* 107, 193–202.

- PNUE/PAM, 2006. Programme d'Aménagement Côtier (PAC) de la «zone côtière algéroise». Grèce.
- Pugh, C.D.J., 2000. Sustainable cities in developing countries. Earthscan.
- Rees, W., 2003. Understanding Urban Ecosystems: An Ecological Economics Perspective, in: Understanding Urban Ecosystems, a New Frontier For Science and Education. New York: Springer-Verlag, pp. 115–136.
- Rees, W.E., 2001. Ecological Footprint, Concept of, in: Encyclopedia of Biodiversity. Elsevier, New York, pp. 229–244.
- Richards, J., 2012. GREEN BUILDING: A Retrospective on the History of LEED Certification. Available from: <<http://enviroinstitute.org/wp-content/uploads/2012/09/GREEN-BUILDING-A-Retrospective-History-of-LEED-Certification-November-2012.pdf>>
- Robert U. Ayres, Leslie W. Ayres (Eds.), 2002. A Handbook of Industrial Ecology. Edward Elgar Publishing Limited.
- Roberts, C., 2010. Spatially-linked Integrated Resource Management (IRM) A tool to inform sustainable city planning.
- Roger Evans associates, 2007. Using an integrated resource management model Dongtan New Town, Shanghai, China, in: Urban Design Compendium 2.
- Roy, B., Bouyssou, D., 1993. Aide multicritère à la décision : Méthodes et cas. Economica, Paris.
- Saidouni, M., 2000. Eléments d'introduction à l'urbanisme. Casbah, Alger.
- Scharlig, A., 1985. Décider sur plusieurs critères, Panorama de l'aide à la décision multicritère. Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne.
- Scipioni, A., Mazzi, A., Mason, M., Manzardo, A., 2009. The Dashboard of Sustainability to measure the local urban sustainable development: The case study of Padua Municipality. Ecological Indicators 9, 364–380.
- Sharifi, A., Murayama, A., 2013. A critical review of seven selected neighborhood sustainability assessment tools. Environmental Impact Assessment Review 38, 73–87.
- Shepherd, A., Ortolano, L., 1996. Strategic environmental assessment for sustainable urban development. Environmental Impact Assessment Review 16, 321–335.
- Simmons, C., 2003. The Regional Stepwise ecological footprint model – a conceptual framework.
- Simos, J., 1990. Evaluer l'impact sur l'environnement, une approche originale par l'analyse multicritère et la négociation. Presses polytechniques et universitaires romandes.
- Singh, R.K., Murty, H.R., Gupta, S.K., Dikshit, A.K., 2012. An overview of sustainability assessment methodologies. Ecological Indicators 15, 281–299.

- Slocombe, D.S., 1993. Environmental planning, ecosystem science, and ecosystem approaches for integrating environment and development. *Environmental Management* 17, 289–303.
- Suh, S., 2009. *Handbook on Input-Output Economics in Industrial Ecology*. Springer.
- Sukopp, H., 2002. On the Early History of Urban Ecology in Europe. *Preslia Praha* 373–393.
- Ten Brink, B.J.E., Hosper, S.H., Colijn, F., 1991. A quantitative method for description & assessment of ecosystems: The AMOEBA-approach. *Marine Pollution Bulletin* 23, 265–270.
- The Brethren of Purity, 2009. *The case of the animals versus Man before the king of Jinn*. Oxford university press, New York.
- Town, C., Gasson, B., 2003. The ecological footprint of Cape Town: unsustainable resource use and planning implications 18–20.
- Tsiomis, Y. dir., 2008. *Matières de ville - Projet urbain et enseignement*, Editions de la Villette. ed. Paris, France.
- United Nations, 1996. *Habitat Agenda and Istanbul Declaration*. New York.
- UNP-IETC, 2002. *Melbourne principles for sustainable cities*. Melbourne, Australia.
- Varone, F., Nahrath, S., Gerber, J.-D., 2008. Régimes institutionnels de ressources et théorie de la régulation. *Revue de la régulation. Capitalisme, institutions, pouvoirs*.
- Viesdevilles, *Les projets qui transforment Alger*, 2012. Viesdevilles hs 03.
- Wackernagel et al., 2005. National Footprint and biocapacity Accounts 2005: The underlying calculation method, Global footprint network. Available from <<http://www.footprintnetwork.org/download.php?id=5>>
- Wackernagel, M., 2009. Methodological advancements in footprint analysis. *Ecological Economics* 68, 1925–1927.
- Wackernagel, M., Kitzes, J., Moran, D., Goldfinger, S., Thomas, M., 2006. The Ecological Footprint of cities and regions: comparing resource availability with resource demand. *Environment and Urbanization* 18, 103–112.
- Wackernagel, M., Onisto, L., Bello, P., Callejas Linares, A., Susana López Falfán, I., Méndez García, J., Isabel Suárez Guerrero, A., Guadalupe Suárez Guerrero, M., 1999. National natural capital accounting with the ecological footprint concept. *Ecological economics* 29, 375–390.
- Wackernagel, M., Rees, W., 1999. *Notre empreinte écologique Comment réduire les conséquences de l'activité humaine sur terre. écosociété*.
- Wackernagel, M., Yount, J.D., 2000. Footprints for Sustainability: The Next Steps. *Environment, Development and Sustainability* 2, 21–42.

- Walsh, C., McLoone, A., O'Regan, B., Moles, R., Curry, R., 2006. The application of the Ecological Footprint in two Irish urban areas: Limerick and Belfast. *Irish Geography* 39, 1–21.
- Wang, S., et al., 2009. The strategic ecological impact assessment of urban development policies: a case study of Rizhao City, China. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 23, 1169–1180.
- White, R. Whitney, J., Stren,R., 1992. Sustainable cities, urbanization and the environment in international perspective, Westview Press. ed.
- Wiedmann, T., Barret, J., Cherret, N., 2003. Sustainability rating for homes - The ecological footprint component. SEI Stockholm Environment Institute. Available from: <<http://www.york.ac.uk/sei/IS/EcoHomes.pdf>>
- William E. Rees, 2003. understanding urban ecosystems: An ecological economics perspective, in: *Understanding Urban Ecosystems*.
- Wilson, B., 2001. *Soft systems methodology*. John Wiley & Sons Ltd, UK.
- Wilson, J., Anielski, M., 2005. *Ecological Footprints of Canadian Municipalities and Regions. The Canadian Federation of Canadian Municipalities, Canada.*
- Wolman, A., 1965. The metabolism of cities. *Scientific American* 3, 179–190.
- World Commission on Environment and Development (WECD), 1986. *Our common future*. Oxford University Press, Oxford, UK.
- Wu, J., 2014. Urban ecology and sustainability: The state-of-the-science and future directions. *Landscape and Urban Planning*. doi:10.1016/j.landurbplan.2014.01.018
- WWF, 2014. *Living Planet Report 2014, species and places, people and spaces*. Gland, Switzerland.
- Yang, Z., Zhang, Y., Li, S., Liu, H., Zheng, H., Zhang, J., Su, M., Liu, G., 2014. Characterizing urban metabolic systems with an ecological hierarchy method, Beijing, China. *Landscape and Urban Planning* 121, 19–33.
- Yigitbasioglu, O.M., Velcu, O., 2012. A review of dashboards in performance management: Implications for design and research. *International Journal of Accounting Information Systems* 13, 41–59.
- Young, R., 2009. Interdisciplinary foundations of urban ecology. *Urban Ecosystems* 12, 311–331.
- Zhang, Y., 2013. Urban metabolism: A review of research methodologies. *Environmental Pollution* 178, 463–473.
- Zhao, S., Li, Z., Li, W., 2005. A modified method of ecological footprint calculation and its application. *Ecological Modelling* 185, 65–75.

Annexes

Feuille EEIU ville A

Feuille EEIU ville B

Feuille data ville A

Feuille data ville B

Feuille comparaison de l'EEIU de deux villes

Feuille essai de comparaison des EI (énergie) d'Alger et de Bougezoul