



HAL
open science

Modélisation d'un système d'indicateurs pour l'évaluation de la capacité de charge urbaine relative aux ressources hydriques de la wilaya d'Alger

Meriem Naimi Ait-Aoudia

► To cite this version:

Meriem Naimi Ait-Aoudia. Modélisation d'un système d'indicateurs pour l'évaluation de la capacité de charge urbaine relative aux ressources hydriques de la wilaya d'Alger. Architecture, aménagement de l'espace. Ecole Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme, Alger, 2016. Français. NNT : . tel-01280379

HAL Id: tel-01280379

<https://hal.science/tel-01280379>

Submitted on 29 Feb 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme
Laboratoire VUDD Ville Urbanisme et Développement Durable

DOCTORAT ES SCIENCES

Spécialité : Architecture et Environnement

Meriem NAIMI-AIT-AOUDIA

Modélisation d'un système d'indicateurs pour l'évaluation de la capacité de charge urbaine relative aux ressources hydriques de la wilaya d'Alger

Thèse dirigée par le Professeur Ewa BEREZOWSKA-AZZAG

Soutenue publiquement le 18/01/2016

Membres du Jury :

M. BAOUNI Tahar	Professeur	EPAU, Alger	Président
M. KETTAB Ahmed	Professeur	ENP, Alger	Examineur
M ^{me} . DJELLAL Nadia	Professeur	EPAU, Alger	Examinatrice
M. DJEMILI Abderrezak	Professeur	Université Sétif	Examineur
M ^{me} . SASSI-BOUDEMAGH Souad	Professeur	Université Constantine	Examinatrice
M ^{me} . BEREZOWSKA-AZZAG Ewa	Professeur	EPAU, Alger	Directrice de thèse

Résumé

Sous un climat semi-aride à aride, nos villes, connaissant une forte croissance urbaine, devraient faire face au problème de la rareté de la ressource en eau. Pis encore, cette situation déjà assez problématique est appelée à s'aggraver compte tenu de la menace du réchauffement climatique, dont l'une des conséquences serait l'augmentation de la fréquence des épisodes de sécheresse. L'eau est par voie de conséquence, sans conteste, le facteur auquel il importe d'accorder une plus grande attention lors de la programmation de la croissance urbaine.

Globalement, dans une démarche à visée anticipatrice et préventive, la croissance urbaine devrait être dictée par la capacité de l'écosystème urbain à soutenir cette croissance. Le concept de capacité de charge urbaine vient, à cet égard, exprimer le niveau de croissance qui pourrait être atteint eu égard cette capacité d'une part, mais également la demande en matière de services de l'écosystème urbain, d'autre part. S'agissant de la question relative à l'approvisionnement en eau, les seuils de croissance seraient donc déterminés par la disponibilité naturelle de la ressource, par la capacité à mobiliser ou à produire de l'eau, par la capacité à gérer, du secteur, et enfin par les niveaux de consommation retenus.

Le nombre considérable d'éléments mis en jeu se rapportant aux aspects sus cités, témoigne de la complexité de la question de capacité de charge urbaine relative aux ressources hydriques, et par-là de la nécessité de tenir compte de cette complexité lors de son évaluation. C'est dans cette optique que s'inscrit la présente recherche, qui s'est fixée comme objectif de proposer une démarche pour développer un outil prenant la forme d'un système d'indicateurs afin d'aider à la compréhension et à l'évaluation de la capacité de charge étudiée. Le modèle du système sera construit à partir d'une base de données décrivant les déterminants aussi bien de l'offre que de la demande, deux volets clefs caractérisant la problématique d'approvisionnement en eau. La méthodologie sera appliquée à la wilaya la plus peuplée de notre pays, et qui connaît jusqu'à l'heure actuelle une forte croissance urbaine, en l'occurrence la capitale Alger. La simulation se servira de la méthode par analyse morphologique pour évaluer la capacité de charge.

Mots clefs : capacité de charge urbaine, ressources hydriques, modélisations systémique, système d'indicateurs, Alger.

Abstract

Under a semi-arid to arid climate, our cities, which are experiencing rapid urban growth, should face the problem of water resources scarcity. Even worse, this situation already enough problematic should be exacerbated due to the threat of global warming whose one of the consequences is an increase in the frequency of droughts. Water is consequently and undoubtedly the factor to which it is important to pay more attention when programming urban growth.

Globally, in a process aimed to proactive and preventative issues, urban growth should be driven by the ability of the urban ecosystem to support this growth. The concept of urban carrying capacity comes, in this regard, expressing the level of growth that could be achieved given on the one hand this ability and the demand of the urban ecosystem services in the other hand. Regarding the issue of water supply, growth thresholds are therefore determined by the natural resource availability, the ability to mobilize or produce water, the ability to manage the sector and finally by the retained consumption levels.

The considerable number of elements involved relating to aspects mentioned above, reflects the complexity of the question of urban carrying capacity relative to water resources, and thereby the need to take into account this complexity in the evaluation. It is in this context that this research stems, and which has set a goal to provide a process to develop a tool in the form of a system of indicators aiming to assist in the understanding and the assessing of the carrying capacity study. The system model will be built from a database describing the determinants of both the supply and demand, two key aspects characterizing the water supply problem. The methodology will be applied to the most populous city of the country which experiences until now a strong urban growth. The simulation will be based on the morphological analysis method that allows the evaluation of the studied carrying capacity.

Key words: urban carrying capacity, water resources, systemic modelling, indicators system, Algiers.

المخلص

في ظل ظروف مناخية تتميز بالشبة جفاف و الجفاف، يتوجب على مدننا التي تشهد نموًا حضريًا سريعًا ان تواجه ندرة الموارد المائية. والأسوأ من ذلك أن هذا الوضع قد يتفاقم نظرا لخطر الاحترار العالمي الذي من احدى نتائجه أنه قد يتسبب في ازدياد وتيرة موجات الجفاف. لذا يعدّ الماء بلا شكّ العامل الذي يجب ان يحضى بعناية خاصة عند برمجة النمو الحضريّ.

عموما، و في إطار نهج توقعي و وقائي، يترتّب على النمو الحضريّ أن تملكه قدرة النظام البيئي الحضري على دعمه. في هذا الصدد يأتي مفهوم القدرة على التحمّل الحضريّ، معربا عن مستوى النموّ الذي من الممكن تحقيقه أخذا بعين الاعتبار قدرة النظام البيئي الحضريّ، ولكن يحدّده أيضا طلب خدمات هذا الاخير من جهة أخرى. أمّا فيما يتعلق بمسألة إمدادات المياه، فإنّ تعيين الحدود القصوى للنموّ يرتبط بتوفّر الموارد المائية، بالقدرة على استخراج او انتاج المياه، جلبها و معالجتها، بقدرة ادارة القطاع، بالإضافة الى مستويات الاستهلاك المقرّرة.

إنّ العدد الكبير من العناصر التي ترتبط بمسألة قدرة التحمّل الحضريّ بالنسبة للموارد المائية، والمتعلّقة بالجوانب المذكورة أعلاه، يعكس مدى تعقيد هذه المسألة، وبالتالي الحاجة إلى مراعاة هذا التعقيد في تقييمها. ففي هذا السياق يأتي هذا البحث بهدف تقديم طريقة انشاء أداة تتمثّل في نظام للمؤشّرات الهدف منه فهم و تقييم القدرة على التحمّل المدروسة. ويتمّ بناء نموذج النّظام من قاعدة معطيات تصف محدّدات كل من العرض والطلب، المكوّنان الرئيسيّان الذان تتميّز بهما مشكلة إمدادات المياه. يتمّ تطبيق هذه المنهجية على ولاية الاكثر اكتظاظا بالسكّان في البلاد، والتي مازالت حتّى الآن تشهد نموًا حضريًا قويًا، ألا و هي الجزائر العاصمة. و من اجل القيام بالمحاكاة لتقييم قدرة التحمّل يتمّ اللّجوء الى التّحليل المورفولوجي.

الكلمات المفتاحية: قدرة التحمل الحضري، الموارد المائية، النمذجة النظامية، نظام للمؤشّرات، الجزائر العاصمة.

Introduction générale	1
1. Contexte de la recherche	1
2. Problématique et hypothèses de recherche	7
3. Objectifs et méthodologie	10
4. Structure de la thèse	13
CHAPITRE I. Enjeux de la problématique des ressources hydriques en milieu urbain : cas d'Alger	15
I.1. Evolution historique de l'approvisionnement en eau d'Alger	15
I.1.1. Entre le XIème et XVIème siècles.....	15
I.1.2. Un système d'eau organisé durant le règne des Ottomans	16
I.1.3. Sous l'occupation française	23
I.1.4. Evolution de l'approvisionnement de la capitale après l'indépendance.....	25
I.2. Description du système actuel d'approvisionnement en eau potable	32
I.2.1. Les disponibilités naturelles	32
I.2.2. La mobilisation des ressources en eau	36
I.2.3. Les ressources non conventionnelles : Le dessalement.....	38
I.3. Contraintes sur l'approvisionnement en eau.....	42
I.3.1. Surexploitation des nappes souterraines	42
I.3.2. Pollution.....	44
I.3.3. La sécheresse.....	47
I.3.4. Problèmes dans le système d'alimentation.....	48
I.4. L'offre de l'eau face à la demande à Alger	49
I.4.1. Les secteurs de consommation	49
I.4.2. Evaluation des quantités d'eau allouée à Alger par le système d'approvisionnement.....	50
I.4.3. Niveau de consommation Domestique (LPCD)	52
I.4.4. Politique de l'offre et croissance durable.....	53
I.5. Synthèse et conclusion du chapitre	55
CHAPITRE II. Concepts liés à la capacité de charge urbaine relative aux ressources hydriques	58
II.1. Croissance durable et concept de capacité de charge.....	58
II.1.1. Genèse et évolution du concept de capacité de charge	58
II.1.2. Eléments caractérisant la capacité de charge humaine	67

II.2. Caractérisation de la capacité de charge urbaine.....	70
II.2.1. Définition.....	70
II.2.2. Composantes de la capacité de charge urbaine.....	71
II.2.3. La capacité de charge et la planification urbaine durable.....	75
II.3. Evaluation de la capacité de charge.....	77
II.3.1. Evaluation du nombre de population limite.....	77
II.3.2. Evaluation de l'impact sur l'environnement.....	80
II.3.3. Indicateurs.....	82
II.3.4. Tableau récapitulatif de méthodes d'évaluation de la capacité de charge.....	83
II.4. Concept de la capacité de charge relative aux ressources en eau.....	84
II.4.1. Définition.....	84
II.4.2. Indices de pénurie des ressources hydriques.....	85
II.5. Synthèse et conclusion du chapitre.....	90
CHAPITRE III. Démarche conceptuelle de modélisation d'un système d'indicateurs.....	92
III.1. L'approche systémique. Définition et concepts de base.....	92
III.1.1. La systémique et le développement durable.....	92
III.1.2. Système et approche systémique, définition.....	94
III.1.3. Concepts de base de l'approche systémique.....	95
III.1.4. Outils de la démarche systémique.....	99
III.2. La modélisation, outil de la démarche systémique.....	102
III.2.2. Les étapes de la modélisation systémique.....	103
III.2.3. La causalité, outil de la modélisation systémique.....	106
III.2.4. La simulation.....	115
III.3. Indicateurs : variables du modèle systémique.....	119
III.3.1. Concepts généraux des indicateurs.....	119
III.3.2. Construction des indicateurs : nécessité d'un cadre systémique.....	126
III.4. Synthèse et conclusion du chapitre.....	138
CHAPITRE IV. Sélection des indicateurs et modélisation de la capacité de charge urbaine relative aux ressources hydriques à Alger.....	140
IV.1. Méthode d'évaluation de la CCURH.....	140
IV.2. Vers un modèle systémique de la capacité de charge urbaine relative aux ressources hydriques.....	141
IV.2.1. Etapes de la modélisation du système d'indicateurs.....	141
IV.2.2. Les frontières du système.....	142
IV.2.3. Les composantes de la capacité de charge urbaine relative aux ressources hydriques.....	144
IV.3. Modèle conceptuel de la capacité de charge des ressources hydriques.....	159
IV.3.1. Le modèle conceptuel comme outil de construction des indicateurs.....	159

IV.3.2. Description du modèle conceptuel	160
IV.4. Désagrégation du modèle et sélection des indicateurs.....	165
IV.4.1. Indicateurs de la composante déterminants de l'offre.....	165
IV.4.2. Indicateur Offre	168
IV.4.3. Indicateurs de la composante déterminants de la demande	169
IV.4.4. Le niveau de service : LPCD n'est pas un indice absolu.....	171
IV.4.5. Capacité de charge	172
IV.5. Synthèse et conclusion du chapitre	176
CHAPITRE V. Evaluation de la capacité de charge urbaine relative aux ressources hydriques de la wilaya d'Alger : Simulations	178
V.1. Etude des relations entre indicateurs.....	178
V.1.1. L'analyse structurelle.....	179
V.1.2. Indicateurs clefs du système	184
V.1.3. Indice vectoriel de capacité de charge	188
V.2. Analyse morphologique pour la simulation des scénarios	195
V.2.1. Principes d'élaboration des scénarios	195
V.2.2. Micro-scénarios	196
V.2.3. Scénarios globaux de capacité de charge.....	203
V.2.4. Analyse des résultats de simulation des scénarios	209
V.3. Synthèse et conclusion du chapitre	210
CHAPITRE VI. Planification du développement urbain d'Alger face à la capacité de charge hydrique.....	212
VI.1. Stratégie du PSDA pour le développement de la capitale et la question de la capacité de charge hydrique.....	212
VI.1.1. Orientations générales du Plan stratégique du développement d'Alger.....	212
VI.1.2. Les quatre étapes du plan stratégique.....	217
VI.2. Scénarios de l'offre en eau face à la demande industrielle et agricole	218
VI.2.1. Quantification des besoins en eau à l'horizon 2029	218
VI.2.2. Confrontation des besoins aux scénarios de l'offre	221
VI.2.3. Discussion des résultats	224
VI.3. Leviers d'actions pour la politique de l'eau	225
VI.3.1. Renforcer l'offre de l'eau.....	225
VI.3.2. Protection des nappes phréatiques	226
VI.3.3. La réduction de la demande.....	227
VI.4. Capacité de charge hydrique au cœur de la planification du développement urbain	229
VI.5. Synthèse et conclusion du chapitre	230
Conclusion générale	232

Bibliographie	236
Liste des figures	260
Liste des tableaux	263
Liste des abréviations.....	265
Annexe A. Organismes du secteur de l'eau en Algérie	
Annexe B. Lois et décrets	
Annexe C. Textes relatifs au système d'information sur l'eau	
Annexe D. Evolution de la structure de la consommation d'eau à Alger	
Annexe E. Référentiel des indicateurs	

1. Contexte de la recherche

La croissance dans un monde fini

Il est avéré que le monde connaît une croissance démographique soutenue. Aujourd'hui la population mondiale s'élève à 7,3 milliards de personnes et devrait atteindre 8,1 milliards en 2025 et 9,6 milliards en 2050, selon le rapport des Nations Unies « Perspectives de la population mondiale : révision de 2012 » (ONU, 2015). Lorsque l'on voit les dommages infligés à l'environnement sous le poids de l'explosion démographique que connaît l'humanité depuis le XIXe siècle, ainsi que l'expansion économique qui l'accompagne, d'aucuns ne pourront s'empêcher de s'interroger sur le devenir de l'environnement et de la planète. Hardin (1968) donne une vision alarmiste de cette situation dans une communication sous le titre épique de « tragedy of the commons ». Cette préoccupation est d'autant plus légitime qu'elle soulève la question de l'approvisionnement des populations futures en ressources nécessaires à leur survie, en premier lieu la nourriture (Brown L. R., 1963), et de notre responsabilité envers leur sort (Jonas, 1985).

La croissance démographique et économique, a pour corollaire un autre phénomène majeur qui prend également de plus en plus d'ampleur depuis la moitié du siècle dernier, à savoir l'urbanisation de la population. En effet, plus de la moitié de la population mondiale, selon les estimations de la Banque Mondiale (Groupe Banque mondiale, 2015), vivent dans les établissements urbains, et si l'on croit les prévisions de l'Organisation des Nations Unies parues en 2008, le taux d'urbanisation mondiale atteindra près de 60 % en 2030 et avoisinera les 70 % en 2050. Un phénomène considéré comme inquiétant pour l'environnement, même s'il est difficile de distinguer les impacts liés à la croissance urbaine de ceux liés à la croissance démographique et économique. Il n'en demeure pas moins, que les villes sont le moteur du développement économique et de la croissance démographique. En concentrant les populations et les activités, elles constituent le principal lieu de consommation d'énergie, de ressources, d'espace et d'émission de polluants et des déchets. L'étalement urbain qui caractérise bon nombre de villes entraîne la diminution des terres cultivables et la perte de la biodiversité. Selon la FAO (Food and Agriculture Organization), entre 1995 et 2030, 100 millions d'hectares de

terres seront perdus au profit de la réalisation de logements et infrastructures nécessaires à la croissance de la population urbaine.

Les effets environnementaux de la croissance démographique dans les villes, ainsi que leurs répercussions sur la qualité de vie et la santé des populations sont plus accentuées dans les pays pauvres ou en voie de développement, car souvent dans ces pays les autorités locales ne disposent pas suffisamment de moyens financiers ni les compétences nécessaires pour affronter les problèmes engendrés par la croissance urbaine. Ce qui se manifeste par l'incapacité à fournir des services de base comme un approvisionnement adéquat en eau salubre, un assainissement adéquat, la gestion du ramassage des ordures et le contrôle des rejets polluants. Du fait de l'absence d'une hygiène élémentaire conjuguée à une pollution endémique, la santé des résidents, notamment les catégories les plus fragiles, de ces villes se trouvent mise en péril. A titre d'exemple, chaque année 1,8 millions d'enfants de moins de 5 ans meurent faute d'un accès adéquat à l'eau potable (Planetoscope, 2012), alors que le nombre de décès liés à la pollution atmosphérique enregistré par l'OMS en 2012 s'élève à 4 millions d'individus (OMS, 2014).

Dans les pays développés, une qualité de vie est globalement assurée aux citoyens. Les habitants des villes jouissent de la salubrité du milieu dans lequel ils vivent selon des standards communément admis. Mais du fait d'un mode de vie caractérisé par la surconsommation, des effets négatifs se ressentent sur l'environnement, dépassant souvent de loin l'échelle locale ou même régionale.

En tout état de cause, qu'il s'agisse de pays pauvres ou riches, les impacts préjudiciables de la croissance sur l'environnement sont indéniables. L'urbanisation étant inévitable tout comme l'accroissement démographique, les moyens devront être mis pour accompagner ce développement dans le respect de l'environnement au sens large. La croissance urbaine devrait même être perçue comme synonyme de développement socioculturel. La ville n'est-elle pas le lieu par excellence de foisonnement culturel et intellectuel, d'innovation et de créativité. Ibn Khaldoun (1377, p. 272), en évoquant la question de la création artistique, proclama dans ses prolégomènes que *"Les arts se perfectionnent dans une ville à mesure du progrès de la civilisation et de l'accroissement de la population"*. A ce titre, l'objectif ne devrait aucunement être de freiner la croissance urbaine mais de veiller à ce qu'elle n'atteigne pas un niveau au-delà duquel les pressions exercées sur l'environnement y causeront des dommages irréversibles du fait du dépassement de sa capacité de support, autrement dit il faudrait déterminer les limites de la croissance urbaine locale.

Concept de capacité de charge, nouveau paradigme de la planification urbaine

La question de la population limite n'est pas nouvelle. Elle prend racine à partir de préoccupations qui remontent au 18^{ème} siècle, quant à l'inadéquation entre une démographie galopante et des ressources naturelles limitées par définition. La préoccupation majeure était de déterminer la taille limite de la population qu'un environnement donné pourrait supporter, d'où le concept de capacité de charge. Celui-ci exprime l'utilisation maximale par les populations et leurs activités qu'un environnement pourrait supporter sans perdre son aptitude à assurer cette utilisation indéfiniment (Catton, 1993). La capacité de charge traduit donc un niveau de croissance déterminé par des seuils ultimes qui constituent des limites au-delà desquelles des dommages sérieux et irréversibles sont causés à l'environnement (Kozlowski & Hill, 1993; Berezowska-Azzag E. , 2005). C'est ainsi que le rythme d'utilisation des ressources ne devrait pas dépasser celui de la régénération des ressources renouvelables, et de remplacement des ressources non renouvelables; de même le taux d'émission des polluants devrait rester en dessous des limites d'absorption de l'environnement (Daly & Cobb Jr, 1989).

La civilisation humaine se trouvera menacée de disparition, dans le cas où ces seuils viennent à être franchis. C'est notamment la thèse soutenue par Jared Diamond dans son ouvrage "*Collapse : How societies choose to fail or succeed*" (Diamond, 2005). Il cite comme preuve la population polynésienne des Rapa-Nui qui a vécu sur l'île de Pâques. Cette civilisation aurait été éteinte, selon l'auteur, suite à un désastre écologique provoqué par une agriculture sur abattis-brulis dévastatrice.

Transposé au contexte urbain, le concept de capacité de charge ne se borne pas à considérer seulement les limites imposées par l'environnement naturel, mais tient compte également de la capacité des systèmes artificiels à satisfaire les besoins de la population urbaine et de ses activités : La capacité de charge urbaine est définie par Godschalk & Parker (1975), comme étant l'*aptitude* aussi bien des *systèmes naturels* qu'*artificiels* à supporter les demandes des diverses utilisations. De cette définition il ressort que la détermination de la capacité de charge (ou le niveau limite de la croissance) se fait par la mise en adéquation des disponibilités des services de ces systèmes avec les utilisations de ces services. Aussi la disponibilité d'un service de l'écosystème en tant que tel n'est pas révélatrice de la capacité de cet écosystème à soutenir la croissance, si l'on ne considère pas le niveau d'utilisation de ce service. D'ailleurs la capacité de charge est inversement proportionnelle au niveau d'utilisation, qui peut varier d'une société à une autre selon ses spécificités culturelles et socio-économiques. Concrètement, ceci signifie que pour une même offre d'un service de l'écosystème urbain, il pourrait exister plusieurs seuils de croissance et surtout qu'il

serait possible de repousser la limite de la croissance en agissant sur la demande mais également en ayant recours à la technologie dont l'apport peut être utile aussi bien dans l'amélioration de l'offre que l'optimisation d'utilisation du service de l'écosystème urbain.

La connaissance anticipée de la capacité de charge ou du niveau limite de la croissance autorisée par un territoire est au cœur du développement durable urbain, dans la mesure où elle permet de définir le niveau d'utilisation des services de l'écosystème urbain de sorte à préserver l'environnement naturel et à être en adéquation avec l'offre du système artificiel et les possibilités de son amélioration. Il s'agit d'une démarche de planification urbaine novatrice, dont le principe est de démarrer la planification de la croissance urbaine non à partir d'un nombre de population prévisionnelle à l'horizon donné avec les activités rattachées, mais de fixer en amont l'offre des systèmes naturels et artificiels de l'écosystème urbain pour programmer la croissance future (Berezowska-Azzag E. , 2005). Dans le cas où les limites seront atteintes, il faudrait s'employer dans le cadre de la planification urbaine à identifier les voies et les moyens d'assurer la croissance urbaine en dehors du périmètre urbain en question (Berezowska-Azzag, 2011b).

L'eau, facteur de limitation de la croissance

La capacité de l'écosystème urbain à supporter la croissance se décline en un certain nombre de "capacités" qui se rapportent aux facteurs de limitation "*limiting factors*". Un facteur de limitation représente tout élément dont la carence peut constituer une entrave à la croissance : nourriture, eau, foncier, etc. (Starr & McMillan, 2013). L'étude de la capacité de charge consiste donc à déterminer les limites de la croissance que définissent ces facteurs. Dans certaines régions certains facteurs sont plus déterminants que d'autres. Aspeslagh (1994) préconise de privilégier l'analyse en profondeur du facteur le plus déterminant. Il s'agit notamment des cas où le facteur en question est problématique pour une région donnée et mérite donc d'être traité avec la plus grande attention lorsque l'on planifie le développement urbain. C'est ainsi, qu'en réponse au problème de la pénurie d'eau qui frappe la Chine, le concept de capacité de charge des ressources en eau est né.

L'accès à l'eau potable constitue une préoccupation majeure pas uniquement en Chine, mais dans plusieurs pays à travers le monde. Et pour cause, la survie de l'être humain en dépend intégralement, de même que les activités économiques et socioculturelles. Les grandes civilisations de l'antiquité se sont du reste développées là où l'on avait aisément accès à l'eau, en l'occurrence à proximité des cours d'eau. Mais la croissance démographique et économique que connaît l'humanité depuis le siècle dernier, a eu pour conséquence l'accroissement des pressions sur les ressources hydriques, conduisant à des pénuries sévères, notamment dans les régions souffrant de la rareté de

cette ressource vitale. Pis encore, une exploitation excessive des ressources hydriques met en danger leur pérennité, en entravant le processus de régénération naturelle des nappes souterraines. La situation de pénurie est davantage exacerbée du fait des pollutions et dégradations subies. Selon la FAO (2007), en 2025, 1,8 milliards de personnes vont vivre dans des pays ou des régions avec une pénurie d'eau aigue, et les deux tiers de la population mondiale seront sous des conditions du stress hydrique, avec toutes les incidences que cela comporte pour la santé, le cadre de vie des populations, ainsi que leur développement socio économique.

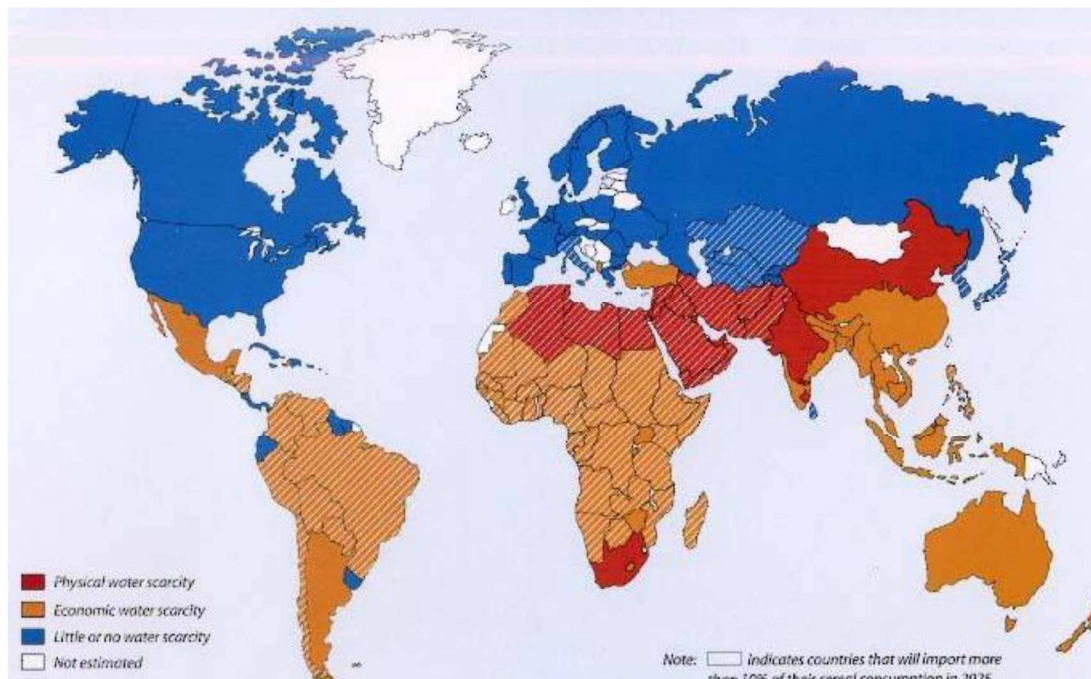


Figure 1. Prévisions de la disponibilité des ressources en eau en 2025

Source. IWMI International Water Management Institute <http://www.iwmi.cgiar.org/>

Il va sans dire que les situations de pénurie d'eau ne sont pas dues qu'aux seules pressions exercées par les populations et leurs activités. Comme les ressources hydriques ne sont pas équitablement réparties à travers le monde, certaines régions sont plus sujettes aux pénuries d'eau. C'est le cas des pays de la rive sud de la Méditerranée et du Moyen Orient ainsi que bon nombre de pays ou régions dans le monde qui sont confrontés au déficit en matière de ressources hydriques du fait du climat aride qui y domine (Saint-Just, 2011). Cette situation, déjà assez problématique, pourrait être accentuée, avec la menace du réchauffement climatique, dont l'un des effets serait l'augmentation de la fréquence des épisodes de sécheresse dans ces régions (Jiménez Cisneros, et al., 2014). Dans ces circonstances, il est clair que dans les années à venir, il va falloir faire face au défi de satisfaire la demande de populations croissantes et des différentes activités socio-économiques, et de répartir les allocations entre les différents usages en compétition en prenant en considération les ressources en eau disponibles (Kettab, 2001). L'efficacité dans l'utilisation de l'eau s'avère une nécessité pour une

gestion durable des ressources. Les pays riverains de la méditerranée ont adopté à cet égard, des objectifs chiffrés proposés par le plan bleu à l'horizon 2025 (Blinda, 2012), en matière d'efficacité d'utilisation de l'eau dans le cadre de la stratégie méditerranéenne pour le développement durable.

Par ailleurs, la question de la sécurisation de l'approvisionnement en eau et de la gestion durable de cette ressource se doit de ce fait d'être inscrite au rang des priorités de toute stratégie de développement. A ce titre, l'Algérie a abrité à Alger en Mars 2015 la première conférence ministérielle du Dialogue 5+5 sur l'eau pour définir la nouvelle stratégie de l'eau en méditerranée occidentale (Délégation de l'union européenne en Algérie, 2015). L'accent a été mis sur l'adoption d'une vision commune pour traiter les problématiques de l'eau afin d'assurer un développement durable de la ressources en eau dans cette région caractérisée, surtout dans la rive sud, par une rareté de l'eau.

A un niveau plus global et pour une gestion durable des ressources en eau, le concept GIRE (Gestion Intégrée des Ressources en eau) connu au niveau international sous la dénomination IWRM (Integrated Water Resources Management), a été promu en 2000 par le Partenariat Mondial de l'eau (GWP¹ - Global Water Partnership) en collaboration avec le Conseil Mondial de l'Eau² (World Water Council) dans le cadre de son second forum international organisé à La Haye aux Pays-Bas (Conseil Mondial de l'Eau, 2000). Contenu formulé par le Partenariat mondial pour l'eau, la GIRE : *"est un processus qui encourage la mise en valeur et la gestion coordonnées de l'eau, des terres et des ressources associées, en vue de maximiser le bien-être économique et social qui en résulte d'une manière équitable, sans compromettre la pérennité des écosystèmes vitaux"*³. L'objectif étant de satisfaire les besoins des différents usages tout en préservant la pérennité des ressources et des écosystèmes qui en dépendent.

¹ Le GWP a été créé en 1996 avec le soutien de la Banque mondiale, du Programme des Nations unies pour le développement (PNUD) <http://www.gwp.org/en/>.

² *"Le Conseil mondial de l'eau est une plate-forme multilatérale créée en 1996 à l'initiative des organisations internationales et des spécialistes du secteur de l'eau reconnus à travers la planète, dans l'intention de résoudre les problèmes liés à l'eau qui préoccupent, de manière croissante, la communauté internationale."* Ce conseil organise un forum international lié aux problématiques de l'eau tous les trois ans. Le dernier en date s'est tenu en Corée du Sud en Avril 2015. <http://www.worldwatercouncil.org/fr/presentation/vision-mission-et-strategie/>

³ <http://www.gwp.org/fr/TOOLBOX/GIRE/Comment-definir-la-GIRE/>

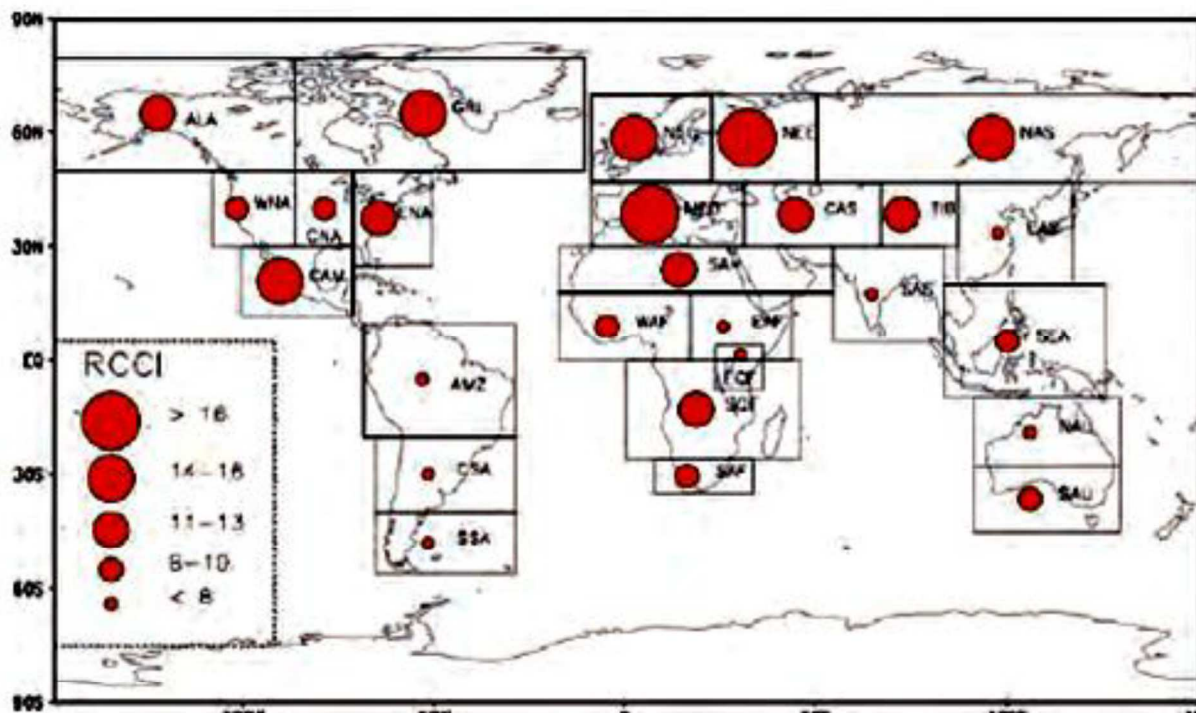


Figure 2. Indice régional de changement climatique à l'horizon 2080-2099

Source. (Giorgi, 2006)

2. Problématique et hypothèses de recherche

En ce qui concerne notre pays, le pronostic en matière de disponibilité des ressources hydriques n'est pas très rassurant. Déjà, avec une disponibilité moyenne inférieure à 500 m³/habitant/an (FAO, 2015), l'Algérie est bien en dessous du seuil de rareté fixé à 1000 m³/habitant/an (Falkenmark, 1989), et la situation sera amenée à s'aggraver en raison du réchauffement climatique lequel, comme nous avons vu, entraîne une récurrence accrue des épisodes de sécheresse. Une situation qui aura de vastes répercussions sur la santé et le bien être des populations ainsi que le développement socio-économique du pays. Les effets se manifesteront notamment au niveau des centres urbains où les pressions sur les ressources hydriques locales ne cessent d'augmenter avec l'accroissement effréné des populations urbaines.

Le cas d'Alger, objet de notre étude, est édifiant. La ville ne cesse de croître. De quelques 990000 habitants en 1965, la population algéroise est passée à plus de 3 millions en 2014 selon les projections de l'UN-DESA (2012) dans les limites de la wilaya. L'accroissement de la demande en eau fut tel que les ressources locales que constituaient les nappes souterraines ne suffisaient plus à satisfaire les besoins élémentaires de la ville. Le gouvernement algérien s'orienta alors vers les ressources superficielles, et investit largement dans la mise en œuvre de systèmes de transfert (système SPIK incluant les barrages Keddara, Hamiz et Beni Amrane; système SAA constitué des barrages de Boukedane, Bouroumi et Ghrib, et système Taksebt du nom du seul barrage

le constituant) acheminant l'eau à partir de sites de retenue situés à des kilomètres de la capitale. Parallèlement, la mise en place du dessalement de l'eau de mer s'est imposée pour pallier au problème du déficit en apport naturel d'eau, dans cette région soumise aux épisodes récurrents de sécheresse. Un procédé couteux sur le plan énergétique, et dont on connaît mal l'impact à long terme sur les écosystèmes aquatiques.

Suite aux efforts consentis, les algérois jouissent aujourd'hui d'une eau courante assurée 24 heures sur 24 (SEEAL, 2011). Toutefois, ce relatif confort en matière d'approvisionnement en eau potable, demeure sujet à caution, à plus d'un titre, dans la mesure où : les nappes souterraines, du fait d'une exploitation au-delà de leur potentiel, sont menacées d'épuisement et sujettes, comme elles sont côtières, au phénomène d'intrusion marine; environ la moitié du volume d'eau allouée à la capitale provient de ressources superficielles située dans les wilayas limitrophes qui se voient contraintes de concéder une partie de leurs ressources hydriques au détriment de leur propre développement (Chikhr Saïdi, 1997); les sécheresses récurrentes affectent considérablement l'apport de ces ressources superficielles alors que le dessalement de l'eau de mer ne peut constituer une solution sûre et durable en raison d'une part des couts qu'il entraîne tant sur le plan économique qu'environnemental, et des incidents imprévisibles qui peuvent survenir sur les installations et causer l'arrêt de la production de l'eau, comme cela s'est passé en Décembre 2014 à Malé capitale des Maldives et qui n'a dû son salut qu'au pont aérien mis en place par ses voisins pour l'approvisionnement en eau⁴.

Ce système d'approvisionnement en eau assez vulnérable devrait affronter, dans un avenir proche, la demande, d'une population sans cesse croissante qui atteindra les 4 millions à l'horizon 2025 (UNDESA, 2012), ainsi que de divers projets de développement socio-économiques préconisés par le plan stratégique du développement de la wilaya d'Alger à l'horizon 2029. Un programme ambitieux qui vise aussi bien le bien-être de la population métropolitaine, qu'à donner à Alger le cachet d'ouverture sur le monde. Si l'offre s'avérait insuffisante pour satisfaire ces différents besoins, une réponse classique à cette situation serait d'augmenter la capacité d'approvisionnement en eau, en construisant de nouvelles infrastructures et en intensifiant les prélèvements. Solution palliative car à partir d'un moment donné l'on se heurtera à la limite naturelle de la disponibilité des ressources en eau. C'est ainsi que la programmation du développement urbain qui se veut durable, passe par la connaissance préalable des limites aussi bien des moyens de mobilisation ainsi que des possibilités de les améliorer, que de disponibilité naturelle de cette ressource et les seuils de prélèvements. Ce sont ces limites qui déterminent, comme nous l'avons vu, le niveau de croissance et donc la capacité de

⁴ Article de Libération (Journal français). "Maldives troisième jour sans eau potable pour les habitants de la capitale", 07/12/2014.

charge tolérée. Dès lors, la question qu'il conviendrait de poser, au sujet de la wilaya d'Alger, est celle **de savoir si le niveau de développement planifié sera dans les limites de la capacité de charge urbaine relative aux ressources hydriques** ou l'excèdera-t-il, et quelle est donc la capacité de charge de la wilaya au regard de l'approvisionnement en eau et les possibilités de l'améliorer?

Globalement, la capacité de charge s'exprime par le nombre maximum de population lequel détermine le rapport entre la disponibilité de la ressource et le niveau de consommation, mais également le développement socio-économique adéquat, dont les activités sont aussi demandeuses de cette ressource.

Afin de mieux apprécier la capacité de charge et de situer les facteurs la déterminant, certaines approches ont privilégié la mise en place d'indicateurs pertinents. Rappelons qu'un indicateur "*est une variable observable utilisée pour rendre compte d'une réalité*" (Boulangier, 2004). Il constitue un outil d'aide à la décision dont la mission première est d'explicitier sous une forme synthétique les phénomènes complexes qu'on cherche à appréhender, afin d'en faciliter la compréhension par les différents groupes d'individus. Suite à la conférence de Rio et la montée en puissance du développement durable, les indicateurs ont fait leur entrée dans les politiques urbaines afin de mesurer les progrès des territoires vers la voie de la durabilité (Bovar, et al., 2008). Le rôle des indicateurs se manifeste dès la conception des stratégies de développement, puis ils serviront, dans les étapes ultérieures, au suivi de la mise en œuvre de ces stratégies et à leur évaluation (Pingault & Prévault, 2007).

S'agissant de la capacité de charge, des indicateurs de seuils ont été développés pour décrire les facteurs déterminant la croissance urbaine (Aspesslagh, 1994). Ceux-ci portent essentiellement sur les capacités environnementale, des infrastructures et institutionnelle, comme c'est le cas du tableau de bord d'indicateurs de capacité de charge urbaine proposé par le "National Institute of Urban Affairs" de New Delhi (1997), et pour la capacité de charge urbaine relative aux ressources hydriques par Joardar (1998). Mais s'il est vrai que la capacité de charge est étroitement liée à la capacité de l'écosystème urbain à fournir les services nécessaires aux populations et à leurs activités, il n'en demeure pas moins, comme nous l'avons déjà souligné, que les niveaux et modes d'utilisation de ces services sont aussi déterminants du niveau de croissance. Aussi, il paraît clair que la capacité de charge dépend d'une multitude de facteurs qui s'enchevêtrent et interagissent mutuellement. Ceci dénote la complexité de cette question et nous mène à nous interroger **quels sont les facteurs pertinents qui déterminent la capacité de charge étudiée**, en l'occurrence celle relative aux ressources hydriques, et la manière dont ils affectent la capacité de charge, et quels sont

les indicateurs permettant de les mesurer et comment vont-ils être utilisés pour calculer le niveau de croissance exprimé par la population limite.

Pour traiter les interrogations soulevées ci-dessus, nous formulons trois hypothèses qui guideront l'ensemble de notre recherche :

Première hypothèse : Etant prouvé que la capacité de charge hydrique dépend aussi bien de la disponibilité de la ressource en eau que du niveau de son utilisation, nous avançons que *sa représentation revient à identifier les indicateurs décrivant les facteurs qui déterminent la capacité d'approvisionnement en eau, c'est-à-dire des indicateurs de seuils, ainsi que ceux de l'utilisation de la ressource en eau.*

Deuxième hypothèse : La question de la capacité de charge urbaine relative aux ressources hydriques met en jeu un certain nombre de facteurs en interaction dont découle le niveau de croissance urbaine dépendant de la ressource. Nous avançons par conséquent que *la mise en relation de ces facteurs peut être assimilée à un système complexe dont la représentation nécessite la construction d'un modèle systémique d'indicateurs aux fins de décrire le comportement du phénomène étudié en vue d'en prédire l'évolution.*

Troisième hypothèse : Face à une demande en eau sans cesse croissante et le nombre de projets de développement prévus par le Plan stratégique de développement d'Alger à l'horizon 2029, nous supposons que *le modèle ainsi construit pourrait constituer un outil d'aide à la décision au service de la planification de développement urbain d'Alger, afin de déterminer si le système algérois d'approvisionnement actuel serait en mesure de supporter les besoins de croissance prévue.*

3. Objectifs et méthodologie

Dans cette thèse, nous nous assignons comme objectif de proposer une démarche de modélisation d'un système d'indicateurs pertinents pour le contexte d'étude, en l'occurrence la wilaya d'Alger, en vue d'évaluer sa capacité de charge urbaine relative aux ressources hydriques. Un outil pour guider l'élaboration des stratégies de développement de la wilaya.

Pour atteindre cet objectif et en réponse aux hypothèses formulées, nous adoptons un protocole de démonstration qui s'articule autour des deux approches que nous décrivons ci-après :

Approche de recherche basée sur l'état de savoir

A partir de l'étude de l'état de l'art sur le concept de capacité de charge dans le contexte humain, se dégagent deux classes de facteurs caractérisant et déterminant la capacité de charge : ceux relatifs à la disponibilité ou l'**offre de la ressource** et ceux se

rapportant aux modes et **niveaux de consommation**. Cette étude a été appuyée par une recherche théorique sur la question de l'alimentation de la ville en eau, dont les facteurs liés au couple offre/demande sont au cœur de cette problématique.

Approche d'analyse systémique

Nous avons opté pour l'approche d'analyse systémique pour tenter d'appréhender la complexité des mécanismes en œuvre dans la détermination de la capacité de charge étudiée. Cette approche prend forme dans le processus de modélisation permettant de construire le modèle qui constitue une transcription abstraite du système étudié. L'objectif étant de décrire l'organisation structurelle (les composantes du système) et fonctionnelle (les interactions entre les composantes) du système en vue de prédire son évolution.

La légitimité de l'indicateur tient justement de sa capacité à être intégré dans un modèle de prévision et de simulation (OCDE, 1993). La modélisation systémique va donc permettre de guider la sélection des indicateurs en les organisant en un tout cohérent, un modèle. A cet égard, deux approches supplémentaires ont été sollicitées à savoir l'approche par analyse structurelle et l'approche par analyse morphologique :

Approche par analyse structurelle

L'approche par analyse structurelle s'attache à identifier et à expliquer les relations causales qu'entretiennent les éléments du modèle entre eux dans l'objectif d'expliquer le fonctionnement du système. En plus de guider et valider le choix des indicateurs, elle permet d'en établir une classification et de dégager les indicateurs clefs pour la problématique étudiée et à partir desquels s'effectuera la simulation prospective.

Approche par analyse morphologique

Subséquente à l'analyse structurelle, l'analyse morphologique vise à explorer le champ des possibles et dégager les scénarios pertinents pour le calcul effectif de la capacité de charge urbaine relative aux ressources hydriques, objet de cette étude. Les simulations effectuées permettront de mettre en exergue les effets des facteurs décrits par les indicateurs sur le niveau de croissance, et par là même de confirmer le choix des indicateurs et la validation du modèle.

Le travail se déroulera selon les étapes schématisées dans la figure suivante :

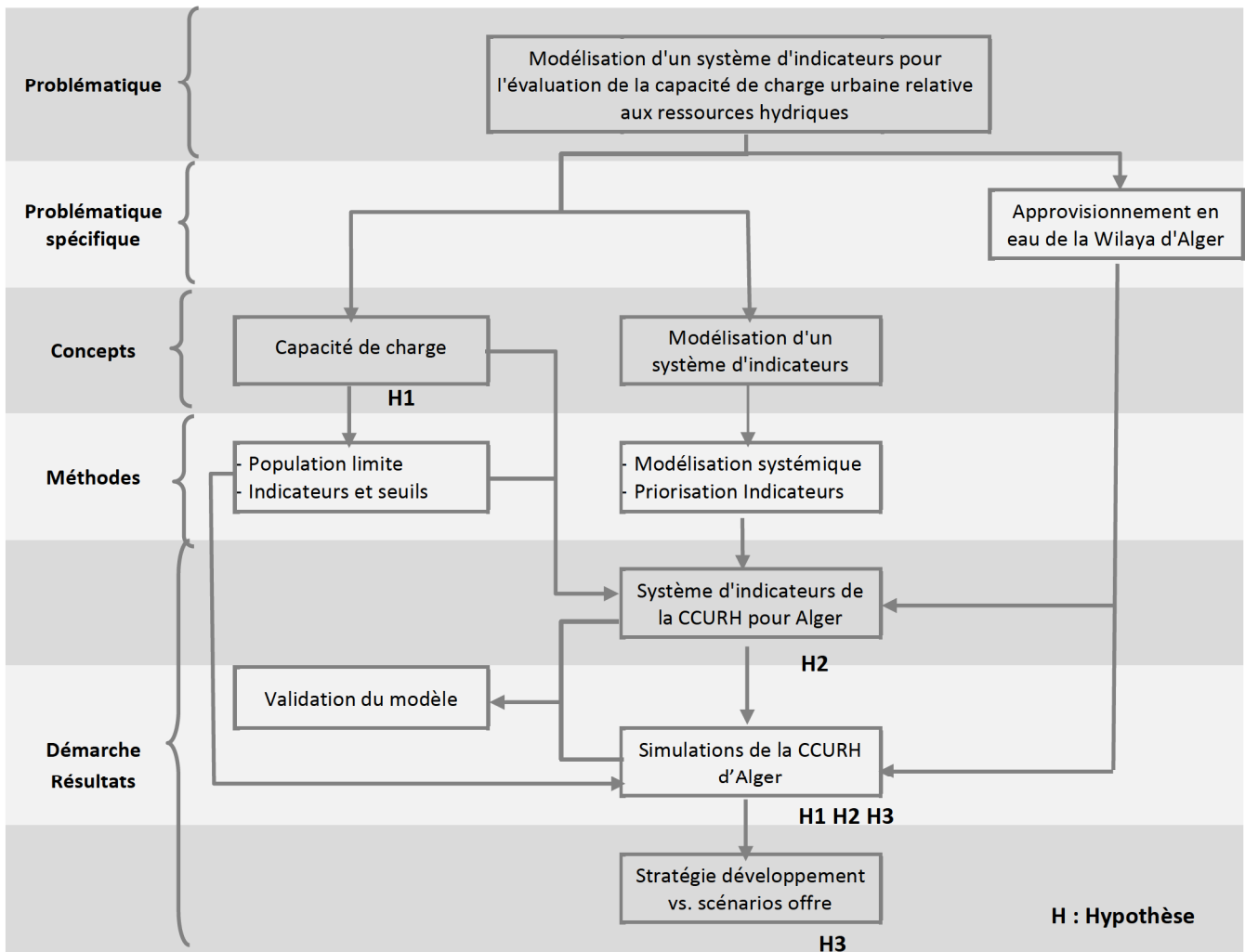


Figure 3. Schéma de la démarche méthodologique de la recherche.

En s'appuyant sur ces approches suscitées, nous avons adopté une démarche méthodologique axée sur la définition des concepts clefs de la thèse en l'occurrence : capacité de charge et modélisation d'un système d'indicateurs, d'une part, et l'étude de cas : l'approvisionnement en eau de la wilaya d'Alger d'autre part. La revue globale des concepts énoncés nous a permis de prendre connaissance des principales méthodes d'évaluation de la capacité de charge ainsi que les méthodes de modélisation systémique et de priorisation des indicateurs, et par voie de conséquence de confectionner notre modèle pour la question étudiée, tout en se référant au contexte du cas d'étude. Le modèle ou le système développé a été exploité dans une phase ultérieure pour effectuer des simulations afin d'évaluer la capacité de charge urbaine relative aux ressources hydriques, lesquelles ont permis à leur tour de valider le modèle et le choix des indicateurs. En en dernier lieu, comme la wilaya envisage un programme ambitieux pour le développement socio-économique et la modernisation de la capitale dans le cadre du Plan stratégique de développement d'Alger à l'horizon 2029, dans lequel de grands projets sont prévus –certains sont en cours de réalisation– qui aura pour effet l'augmentation des pressions sur les ressources en eau, nous avons procédé à la

confrontation de la demande générées suite à la réalisation des projets et les scénarios de l'offre possibles, en vue d'analyse la capacité à supporter le développement préconisé. C'est ainsi, chemin faisant que les hypothèses formulées ont pu être vérifiées.

De ce qui précède, il est clair que le raisonnement adopté s'insère dans le cadre de l'approche de type déductif qui part de théories donc un savoir déjà existant, et de conditions initiales i.e. un état des lieux pour aboutir à des prédictions et des explications. Aussi dans le cadre de ce travail, dont la question fondamentale est d'évaluer la capacité de charge urbaine relative aux ressources hydriques de la wilaya d'Alger, nous prenons appui sur les concepts liés à la capacité de charge et à la modélisation systémique pour développer un outil permettant de répondre à la question énoncée.

4. Structure de la thèse

Cette thèse est structurée en six chapitres :

Le premier chapitre est consacré à la problématique d'approvisionnement en eau de la wilaya d'Alger. L'eau a en effet de tout temps été parcimonieusement allouée aux résidents de la capitale qui a connu et connaît encore une croissance effrénée. Nous soulignerons également les efforts considérables consentis par l'Etat qui a investi largement dans les infrastructures de mobilisation et de production de l'eau potable, pour sécuriser l'alimentation de la capitale. Mais en dépit de cela, le système d'approvisionnement en eau reste vulnérable notamment aux aléas climatiques. Ce qui révèle les limites d'une politique axée exclusivement sur l'augmentation de l'offre, dont les coûts économique, environnemental et social sont particulièrement conséquents.

Le deuxième chapitre traite des concepts généraux de la capacité de charge humaine ainsi que les éléments la caractérisant. Nous retraçons les conditions d'émergence de ce concept et son évolution dans le contexte humain en général et spécifiquement dans le contexte urbain, avec en toile de fond, la nécessité de contrôler la croissance de manière à ce qu'elle soit en adéquation avec les limites des écosystèmes. L'étude du concept de capacité de charge humaine a permis de valider l'hypothèse de départ qui stipule que deux types de facteurs la déterminent : ceux liés à la capacité d'approvisionnement de la ressource et ceux liés au niveau de la demande. Les méthodes d'évaluation seront également explicitées à travers le calcul de la population limite, de l'impact sur l'environnement, et les indicateurs de durabilité. Nous concluons ce chapitre par un aperçu spécifique sur le concept de capacité de charge relative aux ressources hydriques.

Dans le chapitre trois, nous aborderons la démarche de modélisation d'un système d'indicateurs en général. Nous débuterons le chapitre avec une présentation globale de

l'approche systémique qui sous tend cette recherche. L'accent sera mis par la suite sur la modélisation outil majeur de la démarche systémique dont l'aboutissement est un système d'indicateurs, modèle de l'objet étudié. La dernière partie de ce chapitre est dédiée aux concepts généraux sur les indicateurs, variables du modèle systémique.

Nous présenterons dans le chapitre quatre les phases successives de notre démarche de sélection des indicateurs représentant la question de la capacité de charge urbaine relative aux ressources hydriques pour le cas d'étude : la prise de connaissance de la question étudiée, ses caractéristiques et ses composantes; l'élaboration du modèle conceptuel; et enfin la désagrégation des composantes du modèle en indicateurs.

La finalisation de la construction du système d'indicateurs ainsi que son utilisation dans le calcul prospectif de la capacité de charge étudiée pour Alger, seront exposées au chapitre cinq. Pour cela nous prenons appui sur deux outils comme énoncé dans le protocole de démonstration en l'occurrence l'analyse structurelle et l'analyse morphologique. Le premier permet d'analyser les interactions entre les indicateurs, de valider par là leur choix, et de faire émerger les indicateurs clefs du système. Quant au second, il sert à construire les simulations de la capacité de charge. A la fin de cette étape la capacité de charge urbaine relative aux ressources hydriques sera estimée. C'est ainsi que la deuxième hypothèse qui sous tend cette recherche à savoir la nécessité de représenter la capacité de charge par un modèle de système d'indicateurs sera confirmée. Parallèlement l'évaluation de la capacité de charge urbaine relative aux ressources hydriques permet de confirmer également la troisième hypothèse qui estime que le système actuel d'approvisionnement en eau d'Alger n'est pas en mesure de supporter la croissance future de la population algéroise.

Dans le chapitre six nous aborderons la question du développement global d'Alger à l'horizon 2025. Nous passerons en revue les orientations générales du Plan Stratégique du développement d'Alger. Le bien-être des populations passe en effet par la réalisation de divers équipements et aménagements relatifs aux sphères économique, écologique et sociale. Les besoins en eau des secteurs dits industriel et agricole seront évalués sur la base des projections de la vision stratégique voulue pour Alger. Ces besoins seront confrontés aux disponibilités qui ressortent des scénarios élaborés pour l'estimation de la capacité de charge objet du précédent chapitre. L'étude fait ressortir l'incapacité du système d'approvisionnement en eau actuel à supporter les projets de développement prévus dans le cadre du Plan Stratégique. Ce qui confirmera la troisième hypothèse. Les résultats fourniront matière à une discussion sur les leviers d'action d'une politique de l'eau pour améliorer la capacité de charge de la wilaya.

CHAPITRE I. Enjeux de la problématique des ressources hydriques en milieu urbain : cas d'Alger

"Afin de faciliter aux citoyens la jouissance des commodités de la vie, il faut faire attention à plusieurs choses, et, en premier lieu, à l'eau."

Ibn Khaldoun

L'objectif de cette recherche étant la conception d'un modèle permettant dans une étape ultime d'évaluer la capacité de charge urbaine relative aux ressources hydriques pour le cas de la wilaya d'Alger, il serait donc opportun de présenter la situation de l'approvisionnement en eau dans ce contexte. Ce chapitre, débutant par un rappel historique, portera ensuite une attention particulière à la description du système d'approvisionnement en place, à sa capacité de répondre aux besoins de la wilaya et enfin à ses limites. En plus, l'examen des options politiques menées jusqu'à nos jours fait apparaître que les pouvoirs publics ont longtemps privilégié l'accroissement de l'offre au détriment des limites naturelles d'approvisionnement. Nous aborderons en fin de ce chapitre les limites d'une telle politique et ses retombées sur l'alimentation en eau de la wilaya d'Alger.

I.1. Evolution historique de l'approvisionnement en eau d'Alger

I.1.1. Entre le Xième et XVIème siècles

Alger ou "*Djezair Beni Mezghenna* جزائر بني مزغنا" fut fondée en 960 par Bologhine ibn Ziri, fondateur de la dynastie Zirides, sur les ruines de l'ancienne ville au nom romain Icosium. La ville dépendait de l'eau de sources et rivières avoisinantes transportée par des porteurs ou des animaux. Les renseignements parcimonieux de cette époque, concernant Alger, proviennent essentiellement de textes de géographes décrivant plusieurs villes du monde connu.

Une des premières descriptions fut donnée par Ibn Hawqal en 977, dans son fameux ouvrage "*Configuration de la terre* صورة الارض ". Il y évoqua la présence des

sources d'eau douce pour les usages quotidiens⁵. Pratiquement un siècle plus tard, Al Bakri⁶, historien et géographe andalou, donna une description d'Alger quasi-similaire, dans son œuvre rédigé en 1068 et intitulée "*Kitāb al-Masālik wa-al-Mamālik* كتاب المسالك والممالك" traduite par "*Livre des routes et des royaumes*".

Al-Idrisi⁷, le célèbre géographe, connu également sous le nom latin de Drees donne une description plus détaillée d'Alger, en mentionnant ses sources d'eau douce et ses puits⁸ pour les usages courants, dans son ouvrage datant de 1157 et intitulé "*Kitāb nuzhat al mushtāq fi-ikhtirāq al-afāq* كتاب نزهة المشتاق في اختراق الأفاق" ("*Livre du divertissement de celui qui désire parcourir le monde*")¹⁰.

Au XIII^{ème} siècle également, un écrivain anonyme connu juste par sa ville de résidence Marrakech, décrit sommairement les cours d'eau de la ville d'Alger dans son livre "*Kitab al-istibsar fi A'ja'ib al-amsar* كتاب الاستبصار في عجائب الأمصار : description de la Mecque, de Médine, de l'Egypte et de l'Afrique septentrionale".

1.1.2. Un système d'eau organisé durant le règne des Ottomans

Au début XVI^{ème} siècle, commença le règne des ottomans. La ville continua à reposer pour un temps pour son approvisionnement en eau sur les sources et cours d'eau. Hassan El-Wazzan dit Léon L'Africain, rapporte vers 1520, dans son œuvre "Description de l'Afrique" concernant Alger : "... et de la partie du levant se voient des moulins, sur un petit fleuve, qui sert à toutes les commodités de la cité, tant à boire, comme à autre chose." (Léon L'Africain, 1520, p. 60).

Après l'établissement définitif des ottomans, la ville, qui prit d'ailleurs sous leur domination figure de capitale, se dota d'un système d'adduction élaboré (Cresti, 1992). L'alimentation se faisait au moyen de quatre aqueducs, qui acheminaient l'eau puisée de l'aquifère du Sahel où ont été aménagées plusieurs sources. Deux premiers aqueducs furent construits au XVI^{ème} siècle. L'aqueduc de Telemly vers 1550, d'une longueur de 3,8 km captait les eaux souterraines au sud d'Alger et arrivait jusqu'au dessous de Bab Djedid. Le second, celui de Birtraria, plus court et n'excédant pas 1,7 km fut construit en 1573. Il puisait dans les nappes situées à l'ouest de Bab El Oued et recueillait, le long de

⁵ "... و لها عيون على البحر طيبة و شربهم منها." (Ibn Hawqel, 977, p. 78)

⁶ Al-Bakri géographe et historien de l'Andalousie, est né en 1014 à Huelva et mourut à Cordoue en 1094.

⁷ Al-Idrisi est un géographe et botaniste, né à Sebta (Ceuta pour la dénomination espagnole), vers 1100, et serait probablement mort vers 1165 en Sicile. Il est l'un des pères fondateurs de la cartographie telle qu'on la connaît de nos jours. Un logiciel SIG (Systèmes d'Information Géographique) très connu, développé à l'université de Clark aux Etats-Unis, porte son nom.

⁸ "... و مدينة الجزائر على ضفة البحر و شرب أهلها من عيون على البحر عذبة و من آبار ... " (Al-Idrisi, 1157, p. 62)

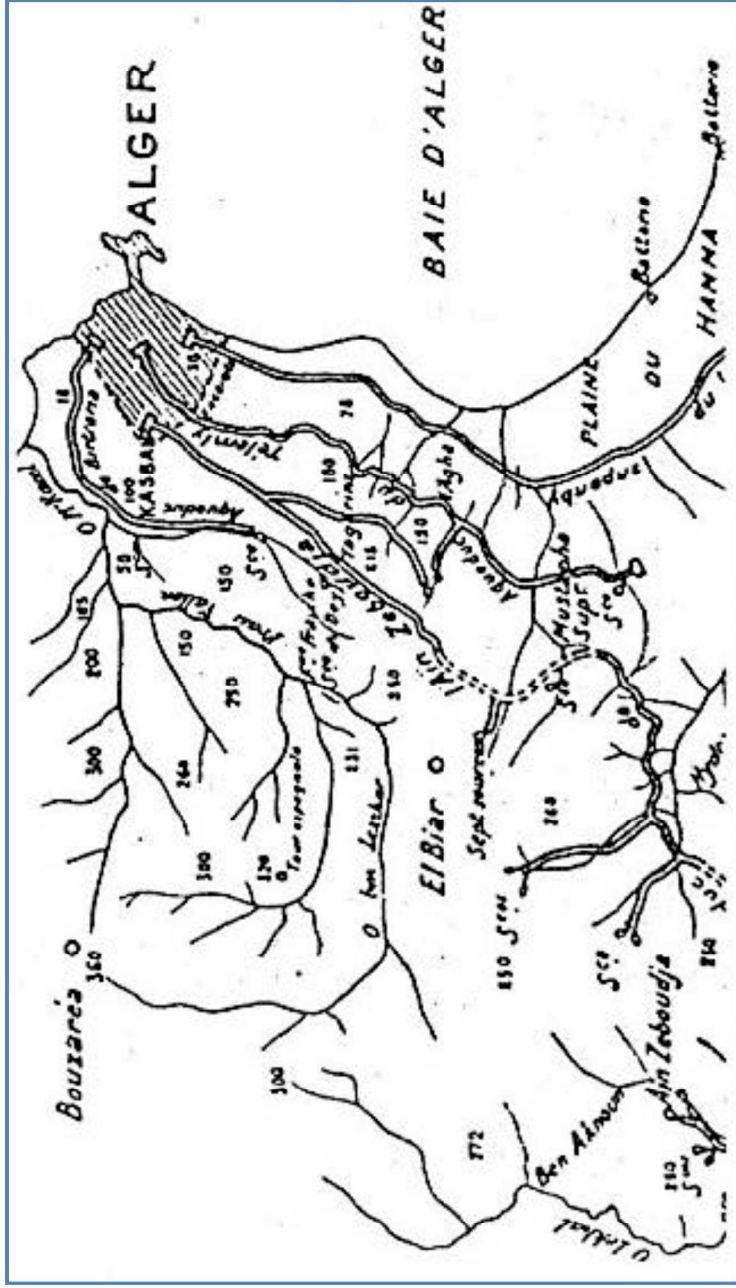
⁹ Cette œuvre majeure est connue dans le monde occidental sous le titre de "Livre de Roger" en référence à Roger II, roi normand de Sicile qui avait commandé cet ouvrage pour illustrer son planisphère d'argent.

¹⁰ La description des "sept climats" (description de lieux sous sept bandes de latitudes du monde connu) à été ensuite reprise au XIV^{ème} siècle par Ibn Khaldoun dans ses prolégomènes.

son parcours, les eaux de sources du Frais Vallon. L'aqueduc arrivait jusqu'à Bab El Oued et permettait ainsi d'alimenter la partie nord de la ville.

Vers 1611 fut construit l'aqueduc du Hamma. Long de 4,3 km, il acheminait l'eau de la source du Hamma à Bab Azzoun. Le dernier, l'aqueduc de Ain Zeboudja (la source de l'olivier sauvage) date du milieu de XVIII^{ème} siècle est le seul dont les vestiges subsistent encore. Mesurant 10 km, il fut le plus long des quatre aqueducs. Il ramenait l'eau de la source de Zeboudja sur les hauteurs de Ben Aknoun, et collectait le long de son parcours, l'eau de plusieurs sources (Dalloni, 1928). Il atteignait la ville en son point le plus élevé, à la hauteur de la Casbah.

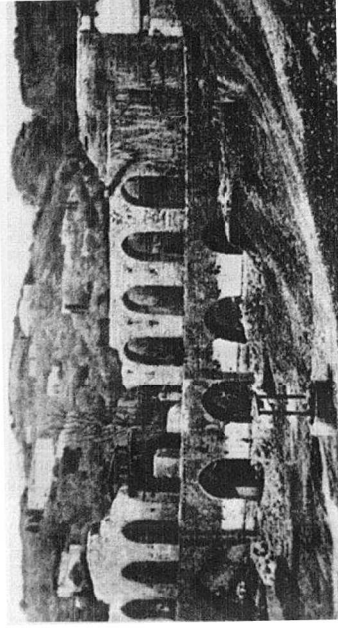
Les eaux des aqueducs étaient destinées à alimenter un grand nombre de fontaines publiques qui se répartissaient dans chaque quartier. Le transport de l'eau jusqu'aux maisons était assuré, là encore, par des porteurs. Les édifices importants tels que la Casbah, la Janîna, les grandes mosquées ainsi que quelques casernes, possédaient quant à eux, leurs propres fontaines (Cresti, 1992). Si les habitants n'avaient pas le droit de jouir directement, chez eux, de l'eau provenant des aqueducs, ils devaient construire des citernes (le mot en arabe au singulier *djeb*) pour recueillir les eaux de pluies, ou creuser des puits (le mot arabe au singulier *bir*) pratique en vigueur avant l'arrivée des Ottomans (Dalloni, 1928). Guyot-Duclos affirmait que dans toutes les maisons d'Alger il existait une citerne ou bien un puits, et souvent les deux, le nombre de citernes s'élevant selon l'auteur à 1100 (Guyot-Duclos, 1840). Les plans d'une maison commune dans la médina d'Alger avec puits (désigné par la lettre C) et citerne (désigné par la lettre B) sont illustrés dans la figure I.3.



Tracé des aqueducs d'Alger à l'époque Ottomane, D'après M. Dalloni



L'aqueduc de Birtraria, Gravure publiée par Otth, 1839.



Ruines de l'aqueduc du Hammam, Guiauchain, 1905.



Aqueduc de Ain Zeboudja, Cresti, 1992

Figure I.1. Le système de l'eau à Alger pendant la période Ottomane, XIV-XIX siècles.

Source. (Dalloni, 1928), (Otth, 1839), (Guiauchain, 1905), (Cresti, 1992)



Figure I.2. Porteur d'eau à la Casbah d'Alger.

Source. Tableau par Jean Raymond Hippolyte Lazerges (1878)

Ainsi le système d'approvisionnement en eau potable paraît rigoureux et organisé durant le règne des ottomans. Un système qui a été à même de subvenir aux besoins de la population d'El-Djezaïr des siècles durant dans une région où les ressources en eau sont peu abondantes. Cette rareté a conduit l'administration turque à adopter des lois sévères pour protéger les installations hydrauliques. C'est ainsi qu'on coupait la main droite à toute personne ayant détérioré une conduite. *Qâid* (ou *khûjat*) *al`uyûn* veillait à l'application des lois. *Présidant la corporation jamâ'at al-sâqaiyya* – qui faisait en quelque sorte figure de branche de l'administration-, ce préposé avait également la charge de la gestion des installations hydrauliques, de même que les biens *habous* dont le revenu était destiné à l'entretien de ces installations (De Voulx, 1852). Ce principe était d'ailleurs commun à plusieurs villes de cette époque (Alep, Damas, Mossoul, Le Caire) où l'intervention du pouvoir central ottoman ou local est forte (Raymond, 1985). L'activité de corporations de métiers spécialisées, la participation des *Waqfs* ou *Habous* se combinèrent pour permettre la gestion de l'alimentation en eau des grandes villes.

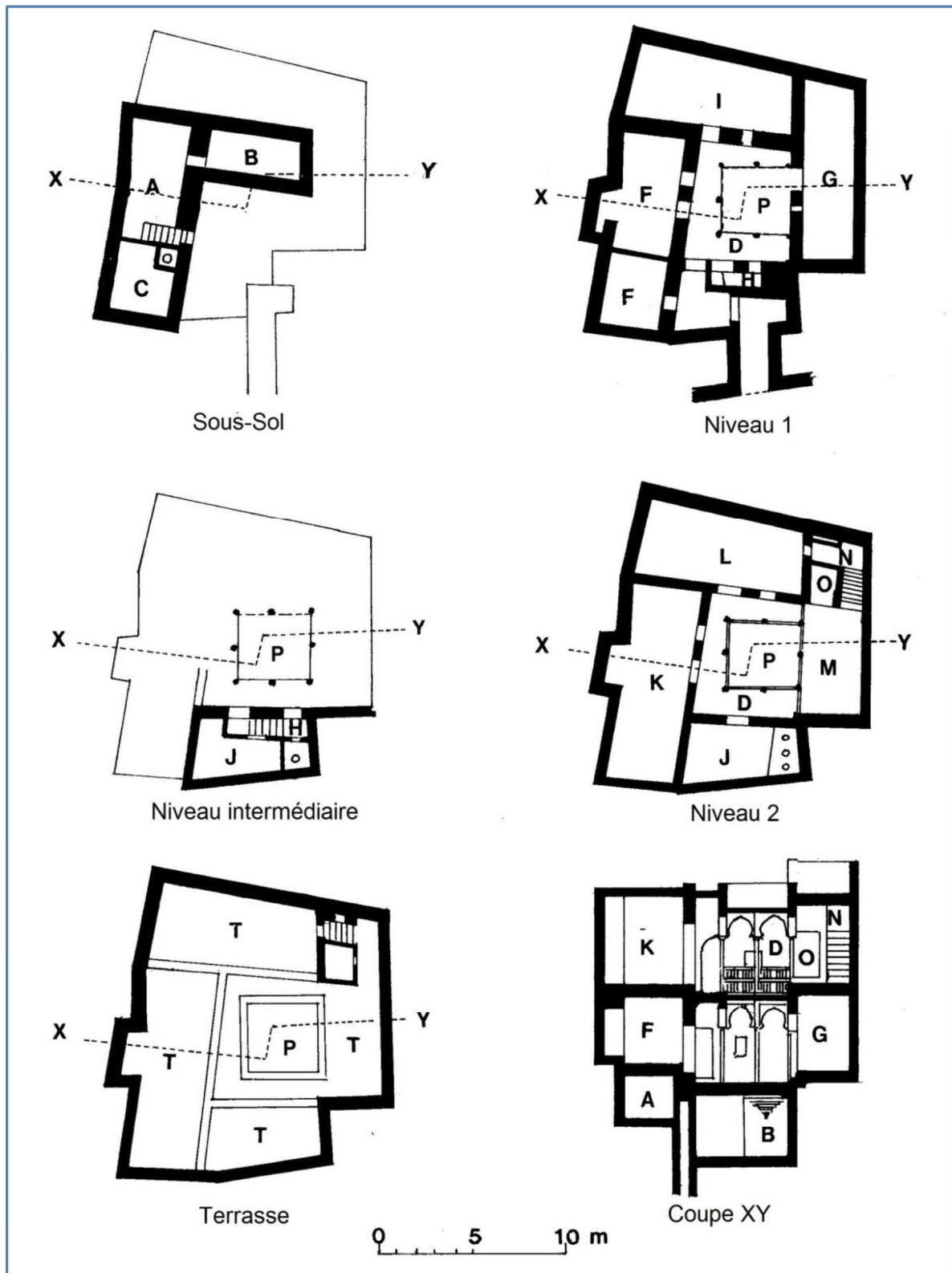


Figure I.3. Plans d'une maison commune dans la médina d'Alger

Source. (Golvin, 1988)

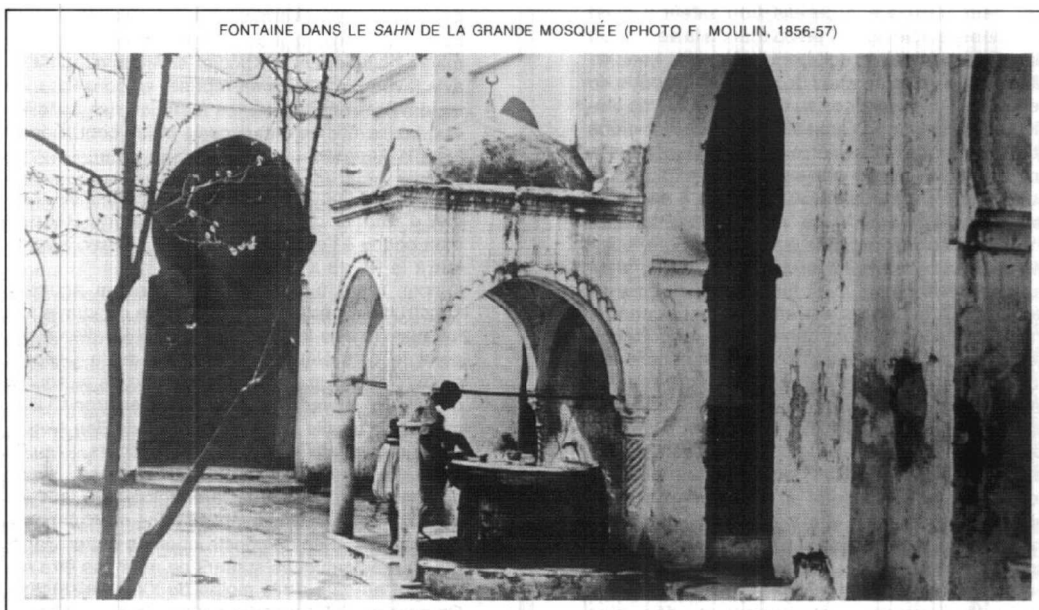
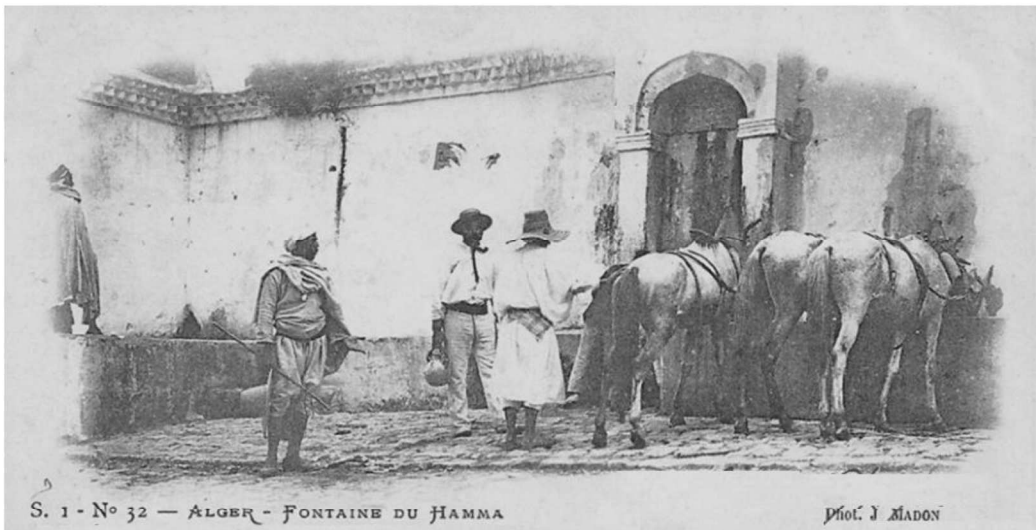
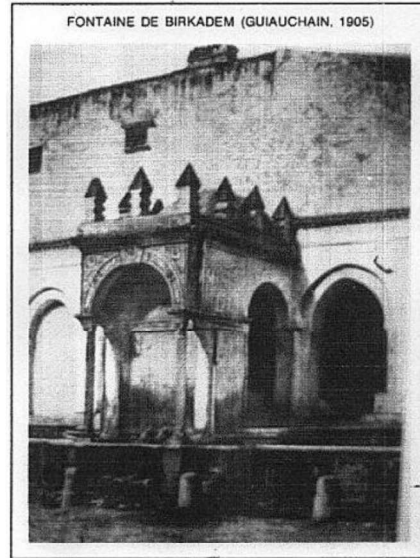
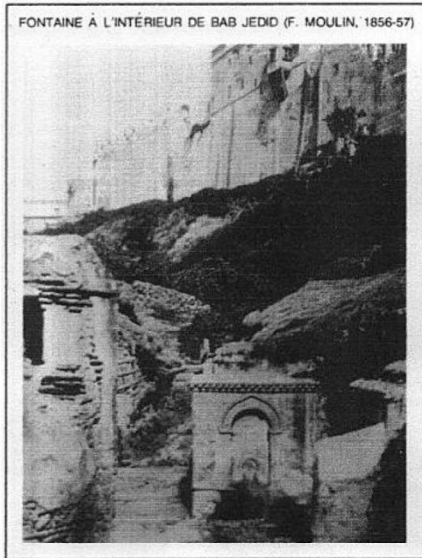


Figure I.4. Fontaines anciennes à Alger

Source. (Moulin, 1856-1857; Guiauchan, 1905 ; Madon ; Moulin, 1856-1857)

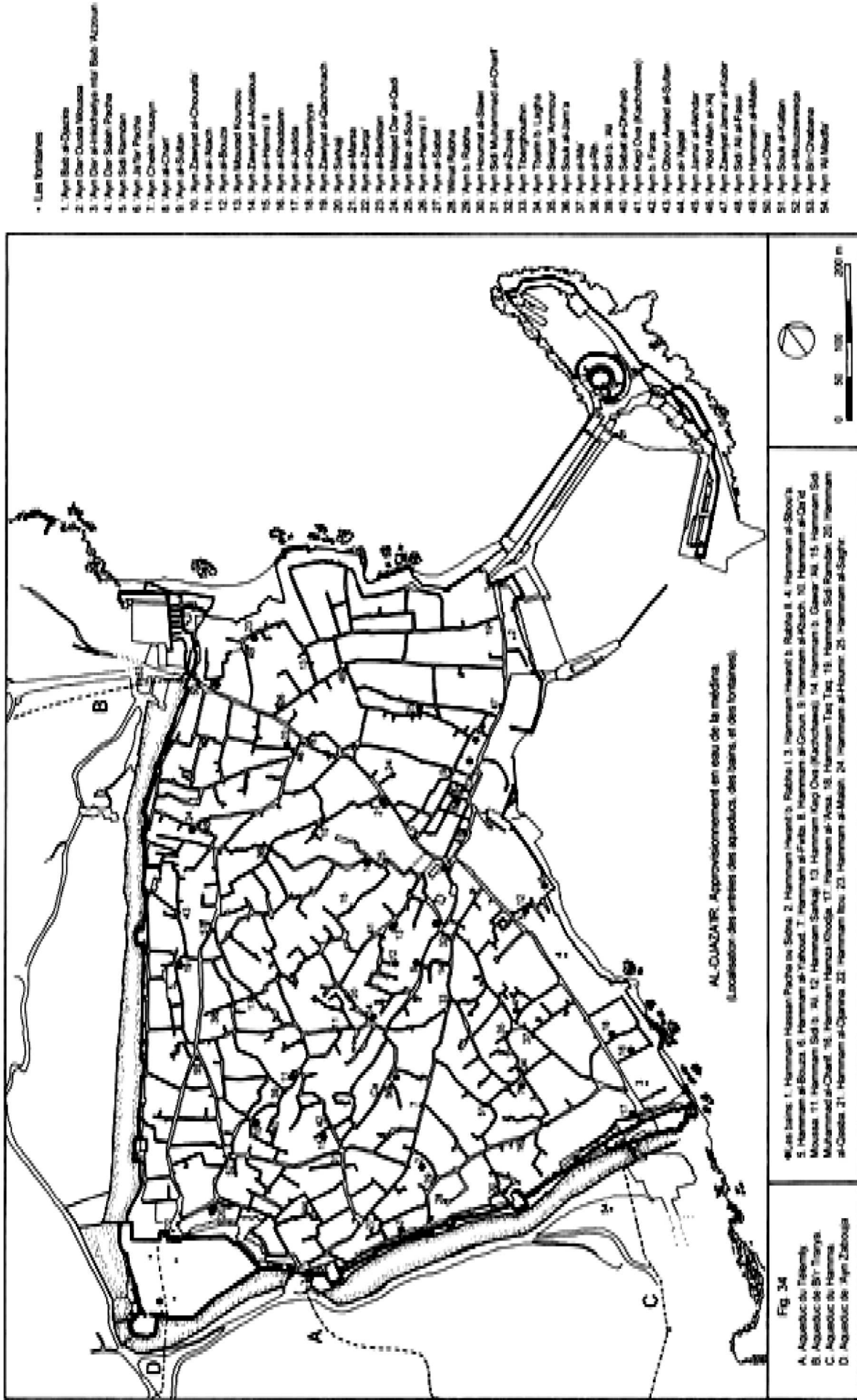


Figure 1.5. Localisation des entrées des aqueducs, des bains et des fontaines.

Source. (Missoum, 2003)

I.1.3. Sous l'occupation française

L'installation de la colonisation apporta des modifications majeures tant sur les plans socio économique que spatial, qui nécessiteront en somme une restructuration profonde du système d'alimentation en eau potable de la ville.

En effet, l'arrivée des militaires d'abord, suivis des Français et des Européens a eu pour conséquence de modifier la structure de la population algéroise. Afin de renforcer le système d'approvisionnement en place, l'administration coloniale, incarnée par le conseil municipal, entreprit la réalisation de nouveaux ouvrages : des galeries de captages et des réservoirs ainsi que l'aménagement de nouvelles sources; parallèlement à des travaux de rénovation des aqueducs et des conduites, dans une tentative d'améliorer, autant que faire se pouvait, le système créé par le Turcs. Les choses persistèrent ainsi jusqu'au 1880, et l'alimentation s'appuyait essentiellement sur les ressources en eau historiques provenant des sources du Sahel. Mais celles-ci ne suffisaient plus à satisfaire la demande sans cesse croissante. En 1876, la dotation journalière n'était que de 32 litres par habitant par jour selon Dalloni (1928); la population était rationnée, privée d'eau la nuit. Ce qui conduira l'administration coloniale à s'orienter vers les eaux artésiennes de la Mitidja. On creusa dès lors des forages dont on peut citer, sans être exhaustif, ceux de Baraki, de Houch Flit, de l'oued Adda, de Haouch Bel Abbès, de Trois Caves et de Mazafran. Parallèlement, des réservoirs ont été construits pour recevoir et stocker les eaux provenant de la Mitidja. C'est ainsi que le réservoir de Kouba fut opérationnel en 1880, le réservoir de l'oued Kniss en 1902 et le réservoir de Telemly en 1910 (Lespès, 1930).

Si au départ l'objectif de l'exploitation de la nappe de la Mitidja était d'apporter l'appoint à une ville soumise à la pénurie permanente, ces eaux constituaient, à partir de 1888 la majeure partie de l'alimentation de la ville (Dalloni, 1928). Et cette situation durera des années après l'indépendance, avant que nos gestionnaires ne se rendent compte que la situation de la pénurie dans la capitale, devenue intenable en raison de la croissance démographique, ne pourrait se résoudre en se contentant de pomper les eaux des nappes phréatiques.

Pour revenir à l'époque coloniale, il semblerait que le recours aux eaux de la Mitidja a permis à l'administration coloniale de pallier le problème d'alimentation en eau de la capitale même si les dotations journalières de la ville d'Alger n'étaient pas à la hauteur des villes de la France métropolitaine; par exemple, Paris pouvait fournir à cette époque 250 litres/hab/jour. Cela dit les ressources en eau disponibles à Alger ne permettaient

pas de telles dotations. Mais une ségrégation¹¹ apparaissait dans la distribution et donc dans le niveau de satisfaction des besoins entre populations européennes et musulmanes (Chikhr Saïdi, 1997) qui, de toute évidence, n'habitaient pas les mêmes quartiers. En dépit de toutes les mesures prises pour améliorer l'approvisionnement en eau de la capitale, les habitants des quartiers musulmans demeuraient dépendants de l'eau des fontaines publiques.

Année	Population	Eau amenée en mètres cubes par 24 h.	ORIGINE DE L'EAU		Eau distribuée en litres par habitant
			Sahel	Mitidja	
1830	35.000	»	»	»	»
1841	44.500	1.600	1.600	»	36
1866	60.000	2.592	2.592	»	40
1876	62.000	2.080	2.080	»	32
1881	»	»	»	2.143	»
1886	65.000	»	»	2.625	»
1889	71.199	4.446	2.000	2.446	50
1893	84.000	7.000	2.700	4.300	71
1896	96.642	7.512	2.512	5.000	65
1900	97.400	7.500	2.000	5.500	50
1902	»	8.000	2.000	6.000	70
1906	150.000	10.800	2.530	8.270	66
1912	173.000	13.500	3.800	9.700	70
1915	180.000	14.000	4.000	10.000	65
1919	190.000	14.000	4.500	9.500	73
1920	»	14.000	4.500	9.500	73
1921	206.595	14.200	4.500	9.700	60
1922	»	15.250	4.300	10.950	74
1923	»	16.980	4.300	12.680	82
1924	215.000	17.560	4.600	12.960	81
1925	»	17.270	4.500	12.790	80
1926	225.000	17.620	4.700	12.920	78
1927 ...	»	17.690	4.400	13.290	78

Tableau I.1. Quantité d'eau amenée et distribuée à Alger 1830-1927

Source. (Dalloni, 1928)

Il convient de signaler que durant la colonisation un certain nombre de barrages-réservoirs ont été construits. Le barrage du Hamiz qui se situe à 35 km au Sud-est d'Alger, est l'un de ces barrages hérités de l'époque coloniale. Construit en 1883, l'ouvrage n'était, toutefois, pas utilisé pour alimenter la capitale mais pour l'irrigation des riches terres de la plaine de la Mitidja.

¹¹ Benblidia (2013) rapporte à cet égard que l'orientation principale qui guidait l'action de l'administration française était de subvenir en priorité aux besoins des populations européennes.



Figure I.6. Photo du barrage du Hamiz datant de 1905.

Source. Geiser (1905)

I.1.4. Evolution de l'approvisionnement de la capitale après l'indépendance

La prise en compte de la problématique de l'eau après l'indépendance est liée à des phénomènes de croissance démographique et spatiale sous l'effet des migrations nouvelles et du fort taux d'accroissement naturel.

I.1.4.1. Evolution démographique et spatiale de la wilaya d'Alger

En effet, après l'indépendance, la capitale Alger a connu un important afflux de populations venant de l'intérieur du pays, en quête de qualité de vie meilleure. Sur le plan spatial, cette croissance démographique conjuguée à une économie en plein essor, n'a pas tardé à entraîner un bouleversement de l'organisation spatiale de la ville, dont l'extension urbaine demeure l'expression la plus significative. Au départ la ville s'est étendue, selon les recommandations du COMEDOR¹², reprises par le POG¹³ en 1975, vers l'Est au détriment des riches terres agricoles que renferme la Mitidja. Ces mesures de développement ont *ipso facto*, encouragé d'autres à venir s'installer dans la capitale. Le Plan d'Urbanisme Directeur PUD¹⁴ établi en 1983, a opéré un changement de cap dans la direction du nouveau développement spatial, lequel devrait désormais se faire vers le Sud-ouest sur les collines du Sahel Algérois pour épargner le bassin agricole.

Pendant la décennie noire, l'Algérie entra dans une période de crise, durant laquelle tous les secteurs de développement furent paralysés. Le PDAU¹⁵ initié en 1991, fut adopté en 1995 sans une réelle vision stratégique (Berezowska-Azzag, 2007). L'administration, sous la menace terroriste, ne pouvait continuer à assumer son rôle de

¹² COMEDOR : Comité permanent d'études de développement, d'organisation de l'agglomération algéroise (Ordonnance N° 68-625 du 20 Novembre 1968).

¹³ POG: Plan d'Orientation Générale de développement et d'aménagement de l'Agglomération d'Alger (Ordonnance N° 75-22 du 27 Mars 1975).

¹⁴ PUD: Plan d'Urbanisme Directeur.

¹⁵ PDAU: Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme.

régulateur de la croissance urbaine, qui prenait un rythme accéléré en raison de l'afflux des populations fuyant le terrorisme. La ville s'étend alors de manière anarchique dans tous les sens impliquant une dilapidation, sans précédent, du foncier urbain et agricole. La prolifération des lotissements individuels, construits sans cahiers de charge préétablis, défigurera à jamais le visage urbain de la capitale.

La dynamique du développement au niveau local et régional a entraîné des changements dans le découpage administratif du territoire; tantôt on ajoutait des communes à la wilaya, tantôt on les lui enlevait pour les rattacher aux wilayas voisines. En 1984¹⁶, le nombre de communes de la wilaya est de 33. Avec la création du Gouvernorat du Grand Alger¹⁷ en 1997, le nombre passe à 57¹⁸ communes. En 2000 Alger reprend le statut de wilaya mais garde ses limites administratives définies dans le cadre du gouvernorat.

La croissance qu'a connue la capitale n'a pas été sans conséquences sur l'augmentation de la demande et les pressions sur les ressources en eau. Une situation qui prenait de l'ampleur au fil du temps, menant les pouvoirs en place à se rendre compte de la nécessité d'une prise en charge réelle de la problématique de l'eau.

¹⁶ Loi n° 84-09 du 4 février 1984 relative à l'organisation territoriale du pays modifiée et complétée et décret n° 84-365 du 1er décembre 1984 fixant la composition, la consistance et les limites territoriales des communes. Les 33 communes sont : Alger Centre, Sidi M'Hamed, El Madania, Hamma-Annasers, Bab El Oued, Bologhine, Casbah, Oued Koriche, Bir Mourad Raïs, El Biar, Bouzareah, Birkhadem, El Harrach, Baraki, Oued Smar, Bourouba, Hussein Dey, Kouba, Bachdjerrah, Dar El Beïda, Bab Ezzouar, Ben Aknoun, Dely Ibrahim, Hammamet, Raïs Hamidou, Djasr Kasentina, El Mouradia, Hydra, Mohammadia, Bordj El Kiffan, Magharia, Beni Messous, Les Eucalyptus.

¹⁷ Ordonnance n°97-15 du 31 Mai 1997 fixant le statut particulier du Gouvernorat du Grand Alger.

¹⁸ En intégrant 24 communes qui dépendaient des wilayas de Boumerdes, Tipaza et Blida. Les communes absorbées sont : Bordj-El-Bahri, Rouiba, Réghaia, H'raoua, Ain-Taya, El-Marsa, Aïn Benian, Cheraga, Ouled Fayet, Hammamet, Saoula, Mahelma, Rahmania, Souidania, Staoueli, Zeralda, Baba Hassen, Douera, El Achour, Draria, Khraïssia, Birtouta, Ouled Chebel, Tessala El Merdja, Sidi Moussa.

Recensement	1966	1977	1987	1998	2008
Population	989526	1436141	2015374	2561992	2988145 ¹⁹

Tableau I.2. Croissance de la population d'Alger.

Source. ONS²⁰.

1.1.4.2. De l'indépendance à 1976 : Période d'insouciance

Durant cette période, le système d'alimentation hérité de la période coloniale semblait suffire à subvenir aux besoins des populations de la capitale. C'était la période de l'absolue insouciance, et l'eau était cédée à des prix symboliques, si bien que les populations adoptèrent des comportements de gaspillage. Ce qui ne sera pas sans conséquences négatives sur les ressources hydriques locales. La question de l'eau n'était pas à l'ordre du jour; les instruments de planification au niveau de la wilaya ne prenaient pas en ligne de compte les ressources hydriques; enfin, aucune stratégie de gestion de l'eau ne fut mise en place. Seul le Plan d'Orientation Général POG, élaboré en 1975 par le COMEDOR, mentionnait la question d'approvisionnement en eau sans toutefois apporter des solutions aux problèmes de l'eau (Chikhr Saïdi, 1997).

1.1.4.3. De 1977 à 1992 : Prémices d'une stratégie de l'eau

L'absence d'une politique de l'eau n'a pas tardé à se faire sentir. En effet, avec la croissance démographique, la pression sur les ressources hydriques s'est accrue, et le système en place n'était plus à même de répondre à cette demande croissante; on entra dans l'ère de la pénurie de l'eau. Dès 1978, un programme de rationnement a été mis en place, lequel devenant de plus en plus drastique à mesure que la pression sur les ressources augmentait. La distribution se faisait par tranches horaires, avec une durée moyenne de 6 heures par jour ; certains quartiers n'étaient alimentés qu'un jour sur deux. Devant cette situation, les responsables réalisèrent, enfin, qu'on ne pouvait faire l'impasse sur une prise en charge réelle de la problématique de l'eau et une gestion rationnelle des ressources hydriques. C'est ainsi que le ministère des ressources hydriques fut créé en 1977²¹. Durant la même année, la gestion de l'approvisionnement en eau potable et de l'assainissement de la capitale fut confiée à la compagnie publique SEDAL²².

La prise de conscience des enjeux liés à la gestion de l'eau s'est traduite par une série de mesures qui consistaient d'une part, en la création des agences et institutions œuvrant dans des domaines de compétences différents pour la gestion des ressources

¹⁹ Population résidente des ménages ordinaires et collectifs selon la wilaya de résidence et le sexe et le taux d'accroissement annuel moyen (1998-2008) /archive/. Données du recensement général de la population et de l'habitat de 2008 sur le site de l'ONS.

²⁰ ONS: Office Nationale des Statistiques

²¹ Ministère de l'hydraulique: décret 77-73 du 23 Avril 1977.

²² Créée par décret du Wali d'Alger le 18 octobre 1977.

hydriques, et d'autre part l'élaboration d'un cadre juridique adéquat à la question de l'eau. En 1981, fut créée l'Agence Nationale des ressources hydrauliques ANRH²³, à qui est incombée la tâche d'étudier et d'évaluer les ressources en eau. La loi portant code des eaux²⁴, visait à instaurer une politique nationale de l'eau, dont le fondement est une utilisation rationnelle de ce bien en vue d'une meilleure satisfaction des besoins de la population et un meilleur support de l'économie.

Eu égard à la situation de pénurie qui touchait l'ensemble du territoire national, et dans une tentative d'augmenter la production d'eau potable, le plan hydraulique de 1981, préconisa expressément la réalisation de plusieurs barrages. Suite à cela, l'Agence Nationale des Barrages et Transferts ANBT²⁵, fut créée en 1985 pour prendre en charge la responsabilité de mobiliser et de transférer les ressources en eau vers les lieux d'utilisation.

Il était devenu clair que la sécurisation de l'eau de la capitale ne pouvait se résoudre à uniquement puiser l'eau des nappes souterraines ; on s'orienta dès lors vers les ressources en eau de surface quand bien même situées à des kilomètres de la capitale. Le premier système de transfert le SPIK, pour alimenter la capitale, fut mis en service en 1987; il englobe les barrages de Keddara, Hamiz et Beni Amrane. Sans entrer ici dans des détails de description de ce système qui fourniront la matière de propos à venir, il convient de souligner que les volumes annuels mobilisés étaient loin de la capacité de production de ce système. En effet, en 1989, sur 564 millions de m³ par an mobilisables, seulement 262 millions sont régularisés; ce chiffre descend à 240 en 1992 (EPEAL, 1993) (Chikhr Saïdi, 1997). Ceci peut être expliqué par le fait que les eaux de surface, à l'inverse des eaux souterraines, sont très sensibles aux variations pluviométriques. C'est ainsi que l'amélioration de l'approvisionnement de la capitale, connaissant alors une croissance démographique soutenue, ne sera que de courte durée. Le rationnement demeurerait comme le seul moyen de gérer la pénurie en eau de la capitale. Cette pénurie aggrava le clivage social, population aisées favorisées et populations pauvres défavorisées. Les quartiers huppés, pourtant situés sur les hauteurs de la ville, bénéficiaient d'une dotation journalière de 100 litres et plus par habitant ; en d'autres termes l'eau coulait du robinet 24/24 (Chikhr Saïdi, 1997).

A partir de 1992, la gestion de l'eau et de l'assainissement de la capitale, ainsi que les wilayas limitrophes Tipaza et Boumerdes, revenait à la compagnie publique à caractère commercial EPEAL²⁶. Selon Chikhr Saïdi (1997), cette gestion commune répond

²³ ANRH: Agence Nationale des Ressources Hydriques, <http://www.anrh.dz/>

²⁴ La loi portant code des eaux 83-17 du 16 juillet 1983.

²⁵ ANBT créée en 1985 par le décret 85-163 du 11 juin 1985.

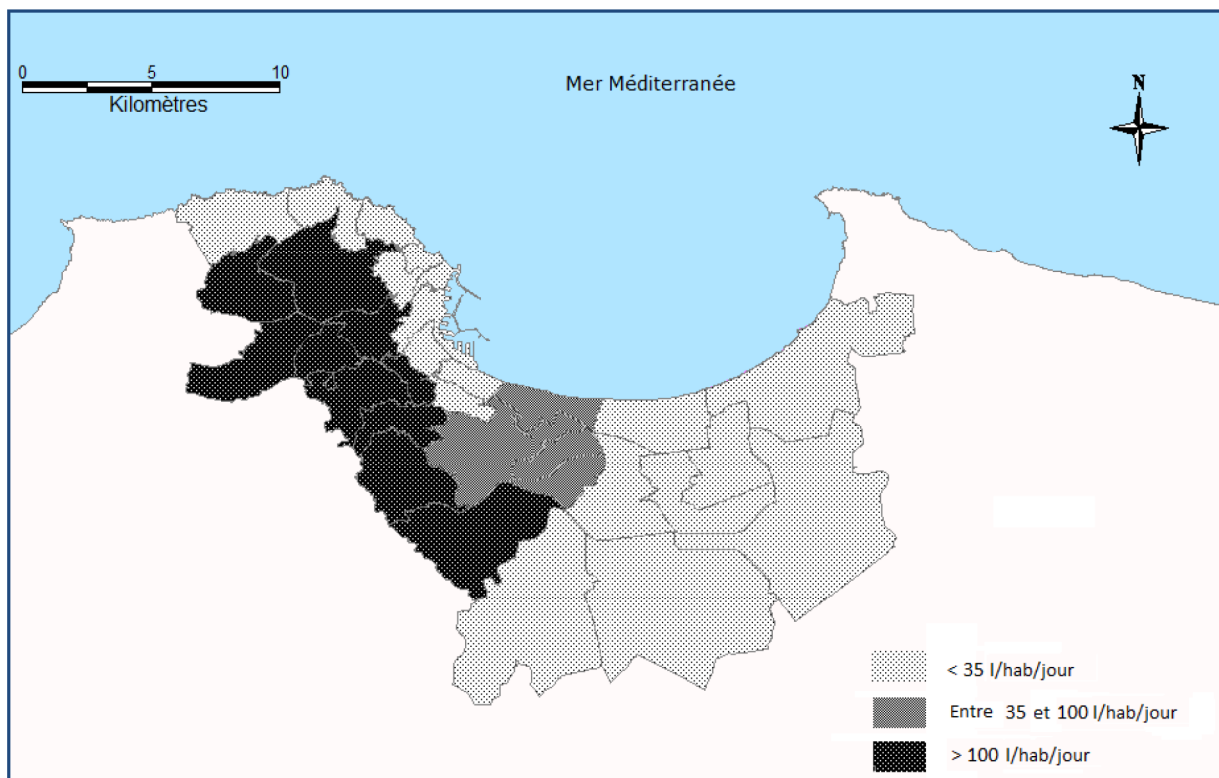
²⁶ EPEAL: Entreprise de Production et de distribution d'Eau d'Alger.

à une stratégie hydraulique visant à accorder la priorité à la capitale dans l'attribution de l'eau provenant en majorité de ces deux wilayas.

1.1.4.4. De 1993 à 1999: Les années de crise

En plus de l'instabilité politique, le pays connaissait une crise financière sans précédent. En conséquence de quoi, tous les programmes de développement furent interrompus. En raison du manque d'eau, les autorités continuaient à pratiquer la politique de rationnement²⁷. En 1999, la dotation journalière moyenne au niveau de la wilaya d'Alger était de l'ordre de 67,9/h/j; pis Vingt huit (28) communes sur les 57 avaient des dotations inférieures à la moyenne de la wilaya, nombreux étaient les quartiers approvisionnés chaque deux jours voire un sur trois.

Cette période sera marquée toutefois par l'organisation pour la première fois des Assises nationales de l'eau en 1995, dans le cadre desquelles ont été jetées les bases de la stratégie nationale. De son côté, le Gouvernorat du Grand Alger, institution administrative mise en place en 1997, aborda dans son « rapport d'orientation du développement de la capitale (1997) » les actions à mener pour pallier aux problèmes récurrents d'approvisionnement en eau.



²⁷ La crise d'eau était telle qu'une chanson fut composée pour l'occasion par le célèbre humoriste Salah Ougrout, décrivant le quotidien des algériens se livrant au sport de remplissage de jerricans, bidons et récipients divers.

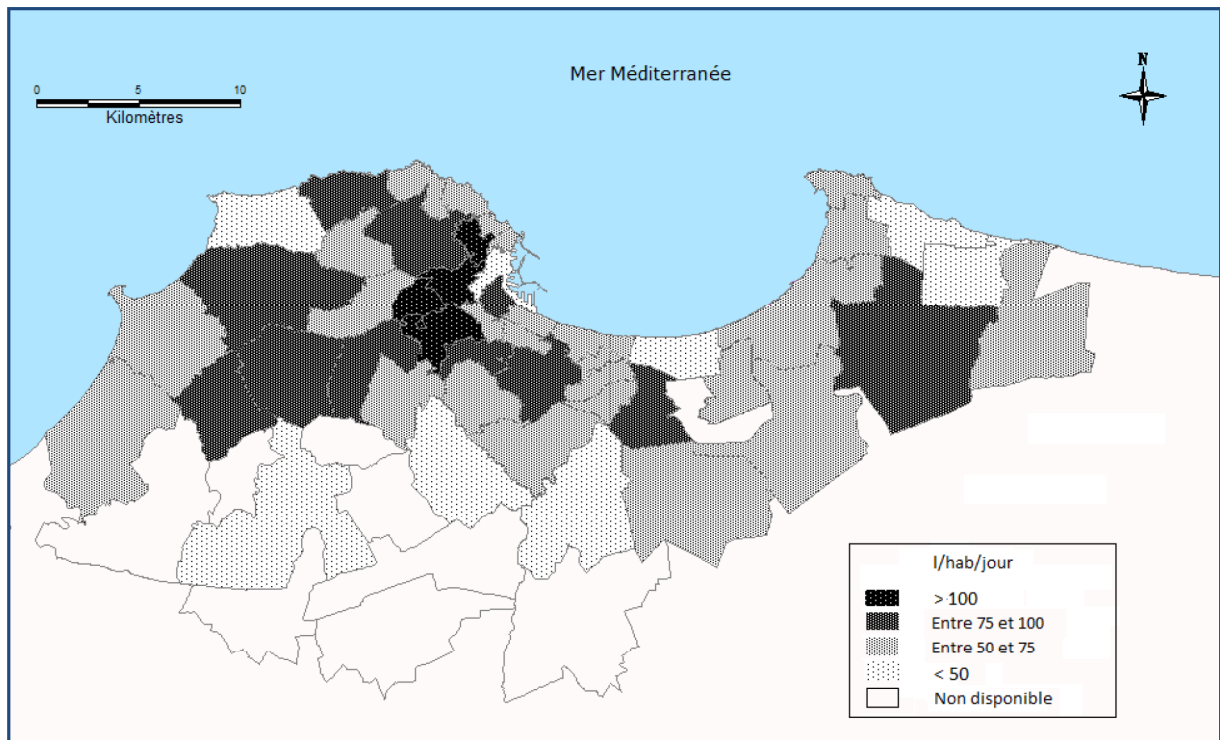


Figure I.9. Consommation journalière en 1999

Source. Carte SIG Auteur sur données (PAC, 2004)

I.1.4.5. A partir de 2000 : augmenter l'offre à tout prix

La paix retrouvée, la question de l'eau devenait une des priorités du gouvernement. En 2000, fut créé le Ministère des ressources en eau MRE²⁸, qui depuis, est le principal responsable de la politique nationale de l'eau. La mission du ministère est de gérer et de coordonner toutes les activités en rapport avec la recherche, l'exploitation, la production, le stockage, la distribution de l'eau pour tous les usages, ainsi qu'à l'évacuation et à l'épuration des eaux usées. Au niveau local, la gestion des services de l'eau fut retirée, en vertu du décret exécutif n°01-101 du 21 avril 2001, des mains des communes pour la confier à l'Algérienne des Eaux (ADE), établissement public sous tutelle du MRE. De même la gestion de l'assainissement fut transférée à l'Office Nationale de l'Assainissement (ONA).

Fort de la bonne santé financière, rendue possible grâce notamment aux recettes pétrolières, l'Etat algérien a pu reconduire les projets hydrauliques gelés durant la décennie noire. C'est dans ce contexte que fut achevé le deuxième transfert destiné à l'alimentation de la capitale. Le système SAA (Sécurisation de l'Alimentation en eau d'Alger), constitué des barrages de Boukerdane, Bouroumi et Ghrib, est opérationnel depuis 2002. Mais en dépit des efforts déployés, la question de l'alimentation de la

²⁸ Ministère des ressources en eau créé en 2000 par le décret exécutif n°2000-325, en date du 25 octobre 2000. Le remaniement ministériel opéré en Mai 2015 y adjoignit le secteur de l'environnement.

capitale restait entière. La sécheresse qui avait frappé la région aggrava la situation de pénurie, en ce qu'elle a réduit considérablement les apports en eau de surface. Le dessalement de l'eau de mer apparut dès lors, sous l'empire de la nécessité, comme l'ultime recours pour régler le problème d'alimentation en eau de la wilaya d'Alger. A partir de 2008, l'eau de dessalement devint une part non négligeable de l'alimentation de la capitale avec la mise en service notamment de l'installation du Hamma en 2008, et de Fouka en 2011. La mise en service du transfert de Taksebt en 2008 a permis de son côté d'accroître les volumes alloués à la capitale.

Cette période sera marquée également par le renforcement du cadre juridique afin de prendre en compte les évolutions économiques du pays, et les principes de développement durable dans la gestion des ressources en eau. Aujourd'hui la gestion du secteur de l'eau relève principalement de la nouvelle loi relative à l'eau²⁹. Cette loi donne pour la première fois la possibilité de concession ou de délégation du service public de l'eau à des personnes morales de droit public ou privé. En vertu de ces nouvelles dispositions, l'association entre l'Algérienne des Eaux (ADE), l'Office National de l'Assainissement (ONA) et SUEZ environnement a vu le jour; la SEEAL³⁰ est depuis 2005 chargée de la gestion de l'eau à Alger.

La revue de l'évolution de l'alimentation de la capitale en eau potable, montre une prise de conscience progressive aux enjeux liés à cette problématique dans un contexte où les pressions sur les ressources en eau sont en constante augmentation, qui aboutit en fin de compte à la mise en place du système actuel d'approvisionnement.

1.2. Description du système actuel d'approvisionnement en eau potable

Le système actuel d'approvisionnement en eau d'Alger repose sur trois sources majeures : les ressources souterraines, les ressources superficielles et les ressources non conventionnelles.

1.2.1. Les disponibilités naturelles

Les disponibilités naturelles (eaux de surface, nappes phréatiques) sont tributaires des conditions climatiques. De ce fait, l'approvisionnement peut se retrouver drastiquement réduit à cause des épisodes de sécheresse récurrents. Le phénomène global du réchauffement climatique ne fera qu'exacerber cette situation. L'évaluation de l'état des réserves en eau superficielle et souterraine passe nécessairement par la connaissance du régime pluviométrique. L'ANRH dispose de 18 postes pluviométriques dans le bassin versant côtier Algérois et 4 postes dans le bassin versant Isser. Les

²⁹ La loi relative à l'eau 05-12 du 04 aout 2005.

³⁰ SEEAL: Société des Eaux et de l'Assainissement d'Alger.

relevés pluviométriques donnent les moyennes annuelles suivantes : entre 600 et 800 mm sur les côtes et 400 à 900 mm à l'intérieur, dans le bassin versant côtier Algérois; et entre 700 à 800 mm, dans le bassin versant Isser. Les précipitations se concentrent de septembre à mai avec un maximum unique hivernal (Météo Algérie, 2012).

En premier abord ces chiffres semblent flatteurs et pourraient donner à croire que la région aussi bien arrosée ne manque pas de ressources en eau; si on omet deux éléments importants caractérisant la région, en l'espèce : la sécheresse et la température estivale. En effet, La période de juin à septembre est caractérisée par un déficit global des ressources en eau avec un maximum en juillet/août. Cette indigence des précipitations en été, conjuguée à une forte évaporation liée aux températures particulièrement élevées durant cette période de l'année, affecte dramatiquement le régime des cours d'eau, et donc l'apport en eau de surface. L'augmentation de la capacité de stockage pourrait paraître une solution pour pallier cette irrégularité de l'apport en eau, or la région ne dispose pas suffisamment de sites de retenues, l'utilisation rationnelle de ce liquide semble, dès lors, le seul moyen de garantir un approvisionnement équitable et durable des populations (ANRH, 2011).

Un autre phénomène vient compliquer la situation. En effet la région est sujette aux épisodes récurrents de sécheresse, lesquels sont appelés à s'accroître dans le contexte actuel de changement climatique. Il faut juste signaler qu'un phénomène de sécheresse qui s'étale sur plusieurs années n'affecte pas uniquement les ressources superficielles, mais les aquifères perdront également de leur potentiel faute de recharge.

Dans les paragraphes qui suivent, nous donnerons une description brève des ressources naturelles dont dispose la région, et qui concourent à l'alimentation de la capitale.

1.2.1.1. Les ressources souterraines

De tout temps, les ressources souterraines ont alimenté la capitale. Ce fut d'abord le Sahel durant le règne des Ottomans, la nappe de la Mitidja quant à elle fut exploitée par les Français. Celle-ci, de part sa taille qui est de 90 km de longueur et 15 km de largeur, est la plus importante nappe alimentant la capitale. Elle s'étend au sud d'Alger entre Hadjout et Réghaïa, dans la direction Ouest-Sud-ouest, Est-Nord-est, et passe ainsi par quatre wilayas à savoir Alger, Blida, Boumerdès et Tipaza. Au nord et au sud, la Mitidja est bordée respectivement par les collines du Sahel et l'Atlas blidéen.

Beaucoup plus petits, environ 157 km², les deux aquifères du Sahel sont situés en bordure nord du Sahel. Le plus important est situé entre le mont Chenoua et Aïn-Benian (Sahel-Ouest), le second, s'étend entre Aïn-Taya et Boudouaou-Bahri (Sahel-Est). Les potentialités de ces deux aquifères sont données dans le tableau ci-après.

Aquifère	Code National	Potentialités ³¹ 10 ⁶ m ³ /an
Mitidja	APMIT	170
Dunes du Sahel (AlgerOuest)	ADSAA	14.6
Dunes du Sahel (Alger Est)	ADSAB	3.9

Tableau I.3. Potentialités de la Mitidja et du Sahel.

Source. (GIRE, 2010)

I.2.1.2. Les ressources superficielles

La connaissance des ressources en eau de surface s'inscrit dans un cadre qui va au-delà des limites de la zone d'étude en l'occurrence du bassin hydrographique. Notre pays compte 17 bassins versants³², dont trois font alimenter la capitale en eau de surface : Côtier Algérois 02a, Côtier Algérois 02b et Isser 09.

D'une superficie de 11,972 km², le bassin versant du Côtier-Algérois comprend deux parties distinctes : Côtier-Algérois (02a) à l'Ouest, Côtier-Algérois (02b) à l'Est. Tous les cours d'eau qui forment le côtier algérois se jettent au Nord, dans la Méditerranée. Les oueds Mazafran, El Harrach et le Sébaou constituent les plus importants oueds du bassin. Les autres principaux oueds sont les oueds El Hachem, Nador, Hamiz, Reghaia et Boudouaou.

Le bassin de l'Isser (09) occupe une superficie de 4 149 km². L'oued du même nom s'écoulant du sud vers le nord constitue le principal cours d'eau du bassin. Les affluents principaux de l'oued Isser sont les oueds Soufiat et Djemaâ-amont (qui se jettent dans l'Isser en amont de la ville de Lakhdaria), et les oueds Bou Hamoud et Djemmaâ-aval qui rejoignent l'Isser à Isser ville.

Les apports annuels de ces deux bassins sont donnés dans le tableau ci-après.

Bassin versant	Code National	Superficie Km ²	Année normale 10 ⁶ m ³ /an	Année sèche 10 ⁶ m ³ /an
Côtiers Algérois	02	11,972	2,850	1,536
Isser	09	4,149	520	312

Tableau I.4. Apport en eau de surface des bassins

Source. MRE (2012)

³¹ Egis Bceom International (2010) GIRE

³² 01 Cheliff, 02 Côtier Algérois (02a, 02b), 03 Côtier Constantinois (03a, 03b, 03c), 04 Côtier Oranais (04a, 04b, 04c), 05 Chott El Hodna, 06 Chott Melhrir, 07 Hauts Plateaux Constantinois, 08 Hauts Plateaux Oranais, 09 Isser, 10 Kebir Rhumel, 11 Macta, 12 Medjerdah, 13 Sahara, 14 Seybousse, 15 Soummam, 16 Tafna, 17 Zahrez.

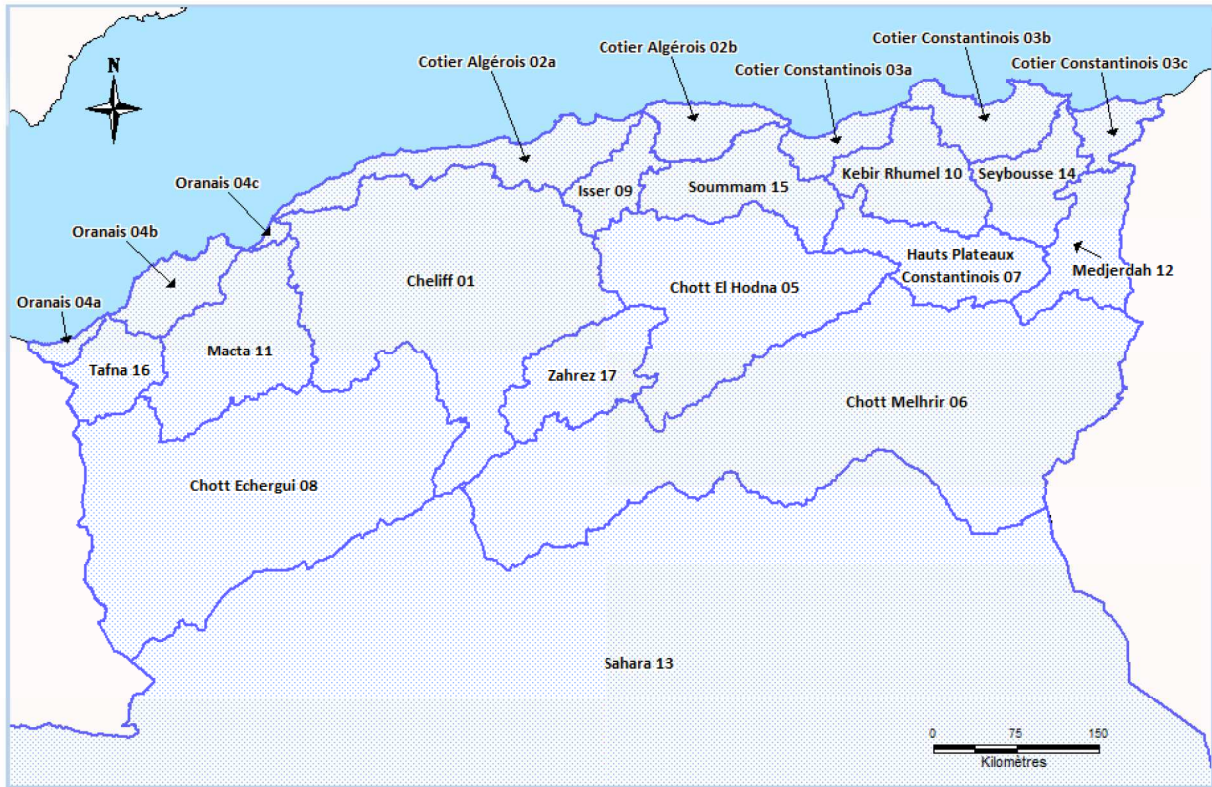


Figure I.10. Les bassins versants en Algérie

Source. Carte SIG Auteur sur la base des données ANRH (2011)



Figure I.11. Bassins hydrographiques côtier algérois (02a et 02b) et Isser (09)

Source. Carte SIG Auteur sur la base des données ANRH (2011)

I.2.2. La mobilisation des ressources en eau

I.2.2.1. La mobilisation des eaux souterraines

La production est assurée au moyen de forages situés dans des localités des wilayas d'Alger, Blida, Tipaza et Boumerdes. Les principaux champs de captage alimentant la capitale sont ceux de Mazafran 1 et 2, Baraki, Hamiz et Haouch Flit, à Alger; Ouled-El-Alleug, Larbaa et Bouréa; Boufarik à Blida; et Koléa, Lac Halloula à Tipaza (ANRH, 2011). Le tableau ci après donne les prélèvements dans les aquifères de la Mitidja et du Sahel. Nous remarquons que les prélèvements dans la nappe de la Mitidja qui sont de l'ordre de 434 hm³/an dépassent de loin sa potentialité de 170 hm³/an (GIRE, 2010). Ceci témoigne de l'exploitation intensive de la nappe qui pourrait mener à terme à son épuisement.

Aquifère	Wilaya approvisionnés		Prélèvement (10 ⁶ m ³ /an)
	Usage urbain	Irrigation	
Mitidja	Alger, Blida, Tipaza, Boumerdes	Alger, Blida, Tipaza, Boumerdes	434
Sahel-Est	Alger, Boumerdes	Alger, Boumerdes	10
Sahel-Ouest	Alger, Tipaza	Alger, Tipaza	8

Tableau I.5. Prélèvements totaux par aquifère; destination et usage de l'eau.

Source. (GIRE, 2010)

I.2.2.2. La mobilisation des eaux de surface : Les transferts

Les ressources en eau de surfaces étant situées à des kilomètres de la capitale, des systèmes de transferts ont été réalisés afin d'acheminer l'eau des sites de retenue vers la wilaya. Trois systèmes permettent d'alimenter la capitale :

Système de Production Isser Keddara (SPIK)

L'eau est pompée de l'oued Isser sur le site de la retenue de Béni Amrane, puis refoulée par une conduite jusqu'à la retenue de Keddara, de même du barrage du Hamiz sont dérivées par une galerie ses eaux excédentaires vers le barrage de Keddara. De la retenue de Keddara, une conduite gravitaire transporte l'eau jusqu'à la station de traitement de Boudouaou, permettant le mélange des ressources superficielles et souterraines. Cette eau est ensuite amenée par des conduites d'adduction vers les réservoirs d'arrivée (ANBT, 2011).

Système Sécurisation de l'Alimentation en eau d'Alger (SAA)

Il permet le transfert des eaux à partir du barrage de Boukourdane et du complexe Ghrib-Bouroumi. Les eaux des barrages de Boukourdane et de Bouroumi, sont

transportées à la station de traitement d'Attatba. Ce transfert permet d'alimenter les wilayas d'Ain Defla, Tipaza, Blida et Alger

Transfert Taksebt

Le barrage de Taksebt est situé sur l'axe de l'Oued Aïssi, affluent principal de l'oued Sébaou dans la wilaya de Tizi-Ouzou. Le transfert des eaux du barrage de Taksebt vise l'alimentation en eau potable des wilayas de Tizi-Ouzou, de Boumerdes et d'Alger.

Les volumes régularisés des barrages, wilayas desservies ainsi que les usages sont donnés dans le tableau ci-après :

Bassin	Barrage	Wilaya approvisionnés		Volume régularisé (10 ⁶ m ³ /year)
		Usage urbain	Irrigation	
Côtier Algérois	Keddara	Alger	-	145
	Hamiz	Alger	Alger, Blida, Boumerdes	17
	Boukourdane	Alger, Tipaza	Blida, Tipaza	49
	Bouroumi	Alger, Ain-Defla, Blida	Blida, Tipaza	98
	Douera	-	Alger, Blida, Tipaza	87
	Taksebt	Alger, Boumerdes, Tizi-Ouzou	-	180
	Meurad	-	Tipaza	1
Isser	Béni Amrane	Alger	-	15
	K. Acerdoune	Bouira, Médéa, Msila, Tizi-Ouzou	Bouira, Boumerdes	178
	Ladrat	-	Médéa	5

Tableau I.6. Volumes régularisés des barrages; destination et usage de l'eau.

Source. (ANBT, 2014)

En optant pour ramener l'eau des localités lointaines, le gouvernement algérien a dû utiliser les gros moyens dans une visée de pallier la pénurie d'eau qui sévissait à la capitale. Cette dernière s'est mise ainsi en concurrence avec les wilayas voisines sur ce précieux liquide qui est le leur. Si Tizi-Ouzou et Boumerdes sont copieusement arrosées et peuvent par voie de conséquence léguer une partie de leur bien, il n'en va pas de même pour les wilayas de l'ouest où la pluviométrie n'est pas abondante. A l'heure actuelle, on y souffre toujours de rareté d'eau. En définitif, la mise sur œuvre de ces trois systèmes a incontestablement contribué à améliorer l'approvisionnement de la capitale. Cependant, l'apport des barrages reste tributaire des conditions climatiques lesquelles peuvent varier sensiblement d'une année à l'autre ; et un déficit pluviométrique pourrait, comme précédemment vécu, assener un coup sévère à l'apport en eau de surface. Le recours au dessalement de l'eau n'est certes pas la meilleure solution, mais, nécessité fait loi!

I.2.3. Les ressources non conventionnelles : Le dessalement

Dernièrement, le dessalement de l'eau de mer est devenu une option stratégique afin d'améliorer l'alimentation de la wilaya d'Alger. En effet, les ressources naturelles dans notre pays sont limitées, même si l'on réussit l'exploit de mobiliser tout ce qui est mobilisable. La situation pourrait être exacerbée, nous l'avons vu par les déficits pluviométriques. Les eaux de mer sont, quant à elles illimitées, heureusement que l'Algérie dispose de 1600 km de façade maritime!

L'eau de dessalement provient principalement de la station du Hamma qui dispose d'une capacité théorique de production de 200000 m³ par jour. La station de dessalement de Fouka qui se situe dans la wilaya de Tipaza, lègue la moitié de sa production à la capitale. Cinq autres stations mono-blocs, de capacité théorique de production de 12000 m³ par jour chacune, concourent à l'alimentation de la wilaya en eau potable (SDAAM, 2010).

Station	Code	Capacité 10 ⁶ m ³ /an
Hamma	DS0202	73
Fouka	DS0203	43.8
SDEM		4.56
Ain-Benian-1	DS0204	
Ain-Benian-2	DS0205	
Palm Beach	DS0206	
Zeralda-1	DS0207	
Zeralda-2	DS0208	

Tableau I.7. Capacité théorique de production des stations de dessalement
Source. Calculé sur la base des données journalières, d'après (SDAAM, 2010)

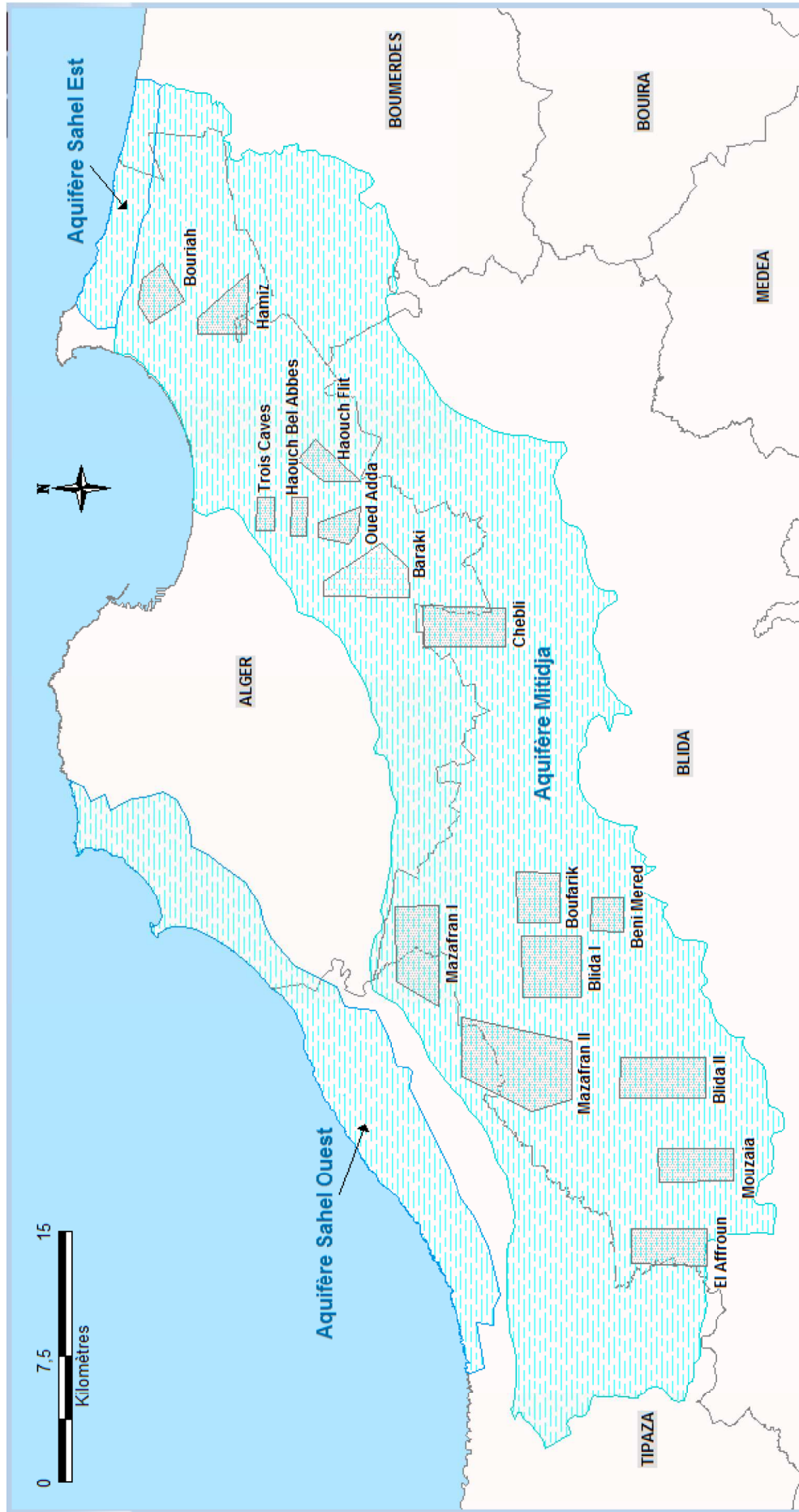


Figure I.12. Principaux champs de captage.
Source. Carte SIG Auteur, d'après ANRH (2011)

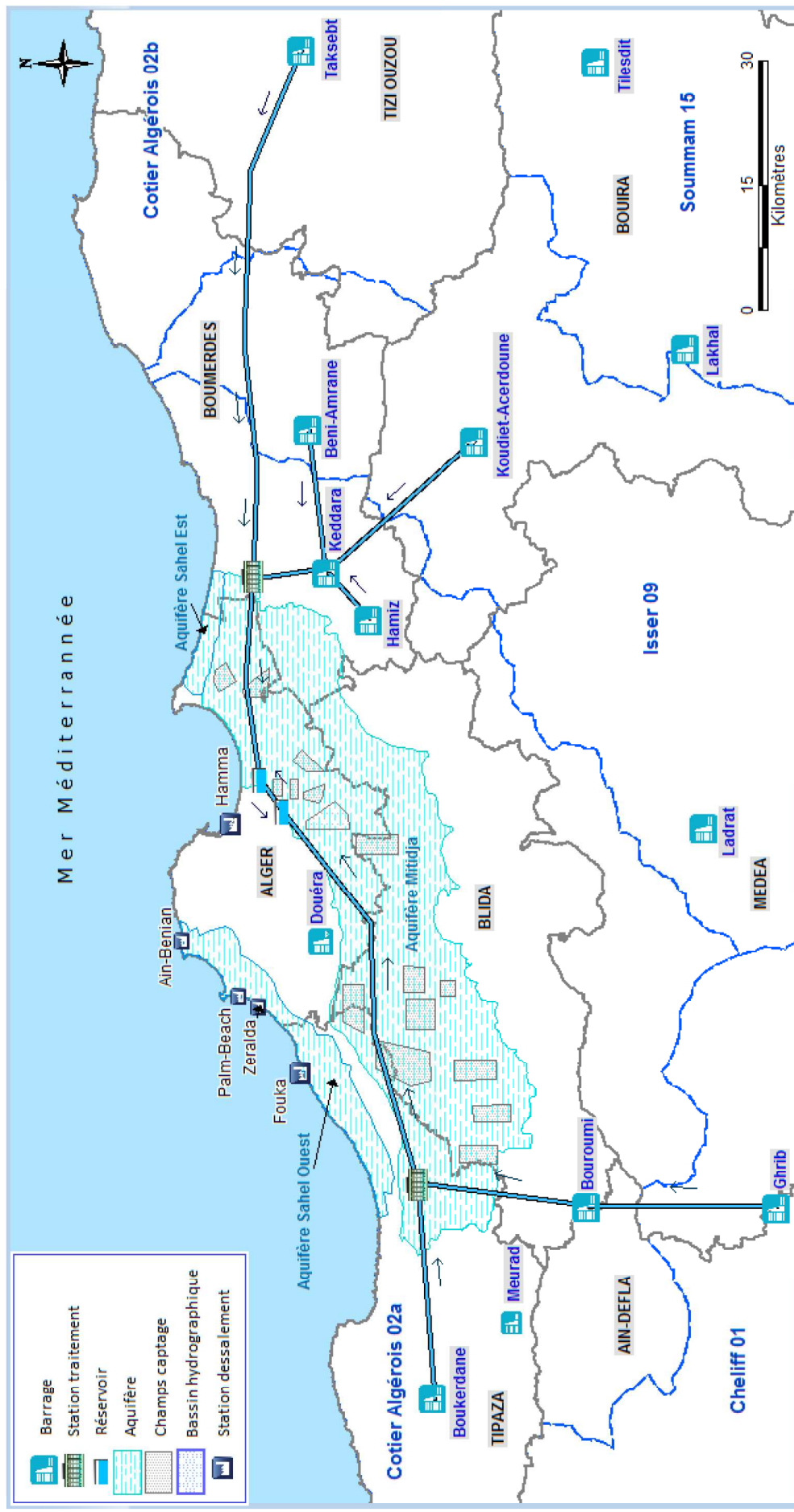


Figure I.13. Système d'approvisionnement en eau d'Alger.
 Source: Carte SIG Auteur, d'après ANRH (2011)

I.3. Contraintes sur l'approvisionnement en eau

I.3.1. Surexploitation des nappes souterraines

Nous avons vu que les nappes de la Mitidja et du Sahel constituaient les sources historiques d'approvisionnement de la capitale, et continuent jusqu'à nos jours à fournir une part importante de l'eau potable aux localités situées au droit de ces nappes. Aujourd'hui ces nappes sont menacées d'épuisement en raison du pompage excessif. La nappe de la Mitidja, considérée comme la principale réserve d'eau souterraine de la région, est fortement sollicitée. Les prélèvements dans cette nappe, tous usages confondus, sont passés de 242 hm³/an en 1969 (Binnie & Partners, 1983) à 369 hm³/an en 1990 (MacDonald & Partners, 1992) et à 434 hm³/an en 2009 selon les estimations du GIRE (2010). C'est ainsi que la Mitidja, après avoir perdu son artésainisme, voit son potentiel diminuer au fil du temps. Les rabattements enregistrés sont alarmants, à titre d'exemple: entre 1970 à 1981 les niveaux ont baissé de 10 à 15 m autour du champ captant de Mazafran I et 5 à 10 m autour de Mazafran II (Binnie & Partners, 1983). La situation s'est toutefois sensiblement améliorée entre 2001 et 2010, avec des rabattements de l'ordre de 4 et 7 m pour Mazafran I et Mazafran II, respectivement. Toutefois, cela ne veut, en aucun cas laisser entendre, loin s'en faut, que la nappe a retrouvé son potentiel perdu. En effet si les prélèvements ont été réduits, dans le souci de préserver la nappe, il n'en va pas de même pour les ouvrages illicites qui échappent à tout contrôle.

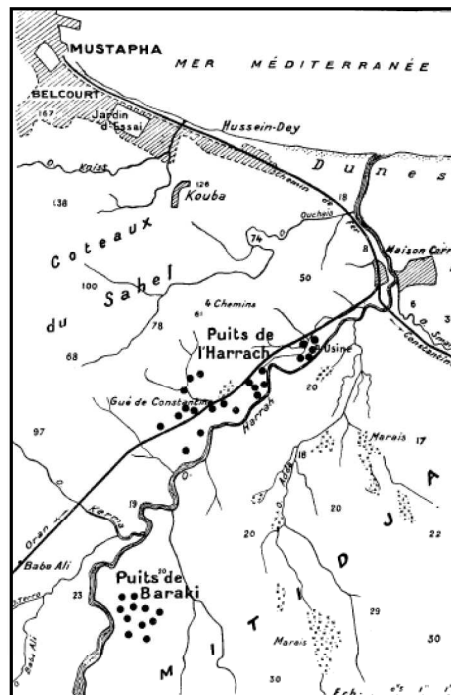


Figure I.15. Puits artésiens de la ville d'Alger durant l'époque coloniale

Source. (Dalloni, 1928)

Actuellement, sur la quasi-totalité des points du réseau piézométrique de l'ANRH, la piézométrie s'établit à un niveau inférieur à celui du niveau de la mer (ANRH, 2010). Au niveau du champ captant du Hamiz par exemple, la chronique piézométrique depuis 1995 révèle une baisse significative du niveau piézométrique, atteignant les 15 m sous le niveau de la mer en 2008 (ibid.). Ceci représente un réel problème quand la nappe est côtière, auquel cas le sens d'écoulement des eaux sera inversé, de la mer vers le continent, c'est le phénomène d'intrusion marine. La carte des conductivités de 2009 établie par l'ANRH révèle que le biseau salé se situerait à environ 4 km des côtes. Aujourd'hui, selon un responsable de la SEEAL, plusieurs champs de captage dont Boureah et du Hamiz sont atteints ; l'eau qui y est prélevée présente un degré de salinité élevé, et si l'on ne sent pas la salinité c'est parce qu'elle est mélangée avec l'eau des barrages.

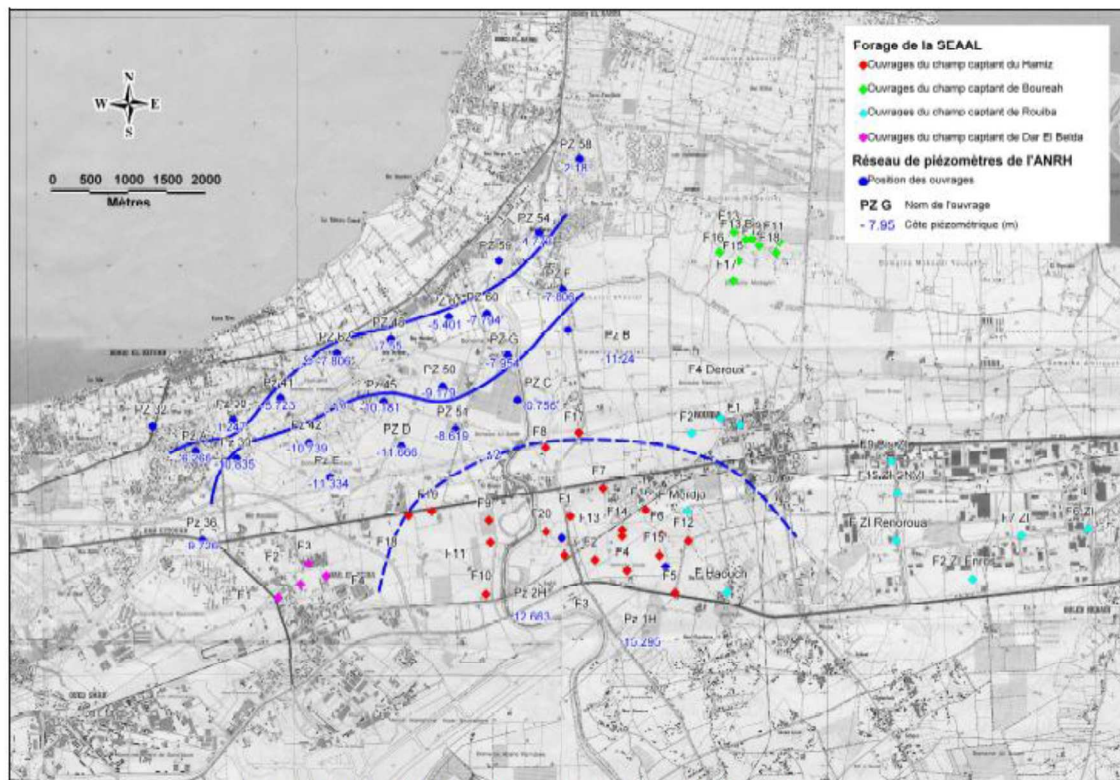


Figure I.16. Esquisse piézométrique de la nappe de Janvier 2010

Source. (SOGREAH, 2010)

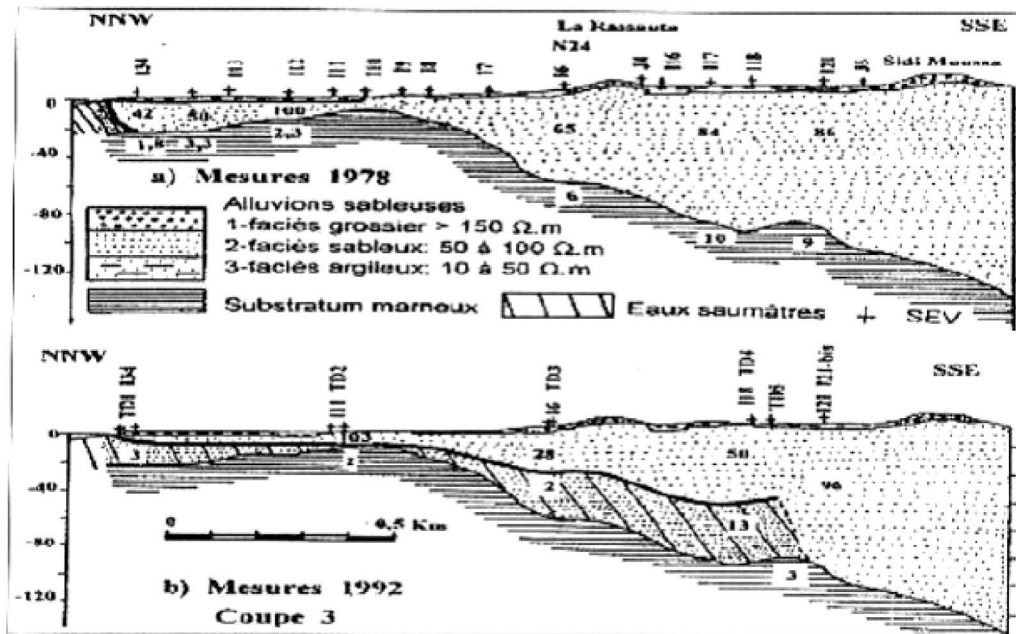


Figure 1.17. Coupe géo électrique illustrant l'invasion marine de l'aquifère de la Mitidja.

Source. (Toubal, 1998)

1.3.2. Pollution

La pollution par les nitrates (NO_3) est l'une des menaces les plus graves qui pèsent sur les ressources souterraines. L'agriculture intensive utilisant massivement les engrais nitrates et l'assainissement autonome constituent les principales sources de pollution en nitrates de la Mitidja. Toutes les études récentes confirment cette pollution de la nappe par les nitrates, dont les teneurs dépassent la norme de 50 mg/l fixée par la réglementation algérienne. A titre d'illustration, lors de sa campagne de mesure dans la zone du Hamiz, l'ANRH a relevé que plus de 75 piézomètres présentant de fortes teneurs en nitrates. Selon le GIRE (2010), la proportion des forages produisant une eau conforme, dans ce champ de captage, est seulement de 22%. La SEEAL se trouve dans l'obligation de mélanger l'eau des forages pollués avec d'autres ressources à faible teneur en nitrates. Cette situation ne peut être redressée avant plusieurs décennies de pratiques agricoles économes en azote, affirme le même rapport.

L'activité industrielle est source de pollution par les métaux lourds (Fer, Manganèse, Cadmium, etc.). Les eaux des nappes au droit des unités industrielles au nombre de 689, sont sujettes à la pollution en raison des rejets anarchiques dans les cours d'eau.

Les eaux des barrages pourraient être polluées si l'eau des oueds qui les alimentent l'est, par les rejets des eaux usées. De plus, le dépôt des sédiments dans les retenues des barrages y engendre l'eutrophisation des eaux, qui est la cause de l'appauvrissement

en oxygène dissous. Globalement, les barrages alimentant la capitale ne présentent pas de pollutions significatives, eu égard les valeurs fournies par l'ANRH.

Barrage	PH	RS	O ₂ D	NO ₃	NO ₂	NH ₄	PO ₄	DBO ₅	DCO	MO
Keddara	7,4	2 004	67,8	6,9	0,062	0,235	0,230	-	38	7,2
Ghrib	7,6	812	68,5	12,5	0,364	0,282	0,233	-	19	4,5
Bouroumi	7,8	538	69,3	1,2	0,075	0,054	0,168	-	9	2,2
Boukourdane	7,4	1 249	71,0	3,9	0,075	0,393	0,217	-	9	6,7
Taksebt	7,9	373	82,4	1,1	0,058	0,577	0,217	-	21	6,1
Standard de concentration	≤8,5	≤1200 mg/l	≥50 %	≤20 mg/l	≤0,1 mg/l	≤0,1 mg/l	≤0,1 ₃ mg/l	≤10 mg/l	≤40 mg/l	≤10 mg/l

Tableau I.8. Qualité des eaux de barrages

Source. ANRH (2012)

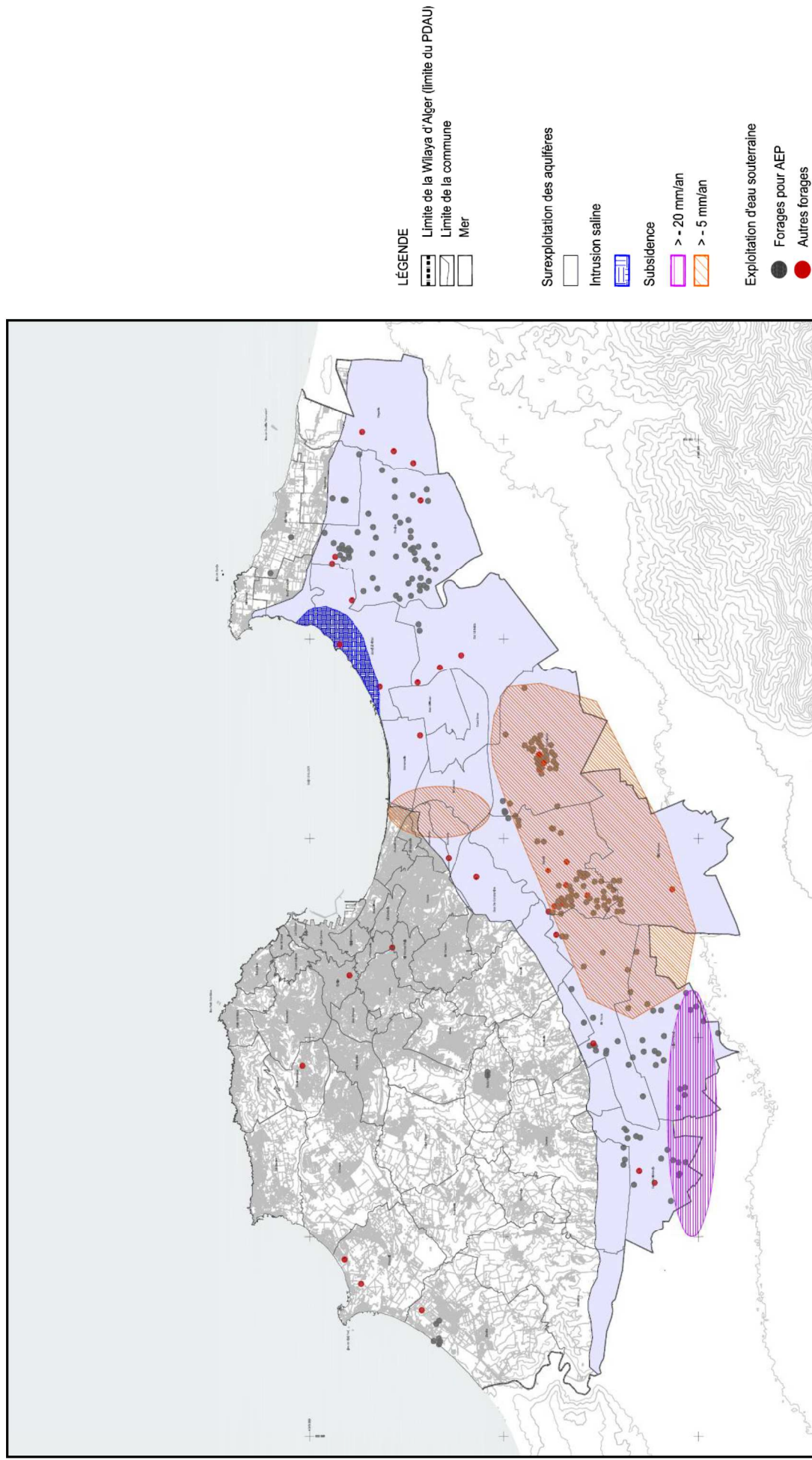


Figure I.18. Menaces sur les nappes phréatiques
Source: PDAU (2011)

I.3.3. La sécheresse

S'il faut désigner l'élément auquel il faut accorder le plus d'attention dans la question de l'alimentation en eau potable, il serait sans aucun doute la sécheresse ; et pour cause, c'est un phénomène qui échappe complètement à la volonté de l'homme et il est appelé à s'accroître dans un contexte de changement climatique qui affecte la planète tout entière (Kundzewicz, et al., 2008). L'Algérie, comme beaucoup d'autres pays, est confrontée à des épisodes de sécheresse.

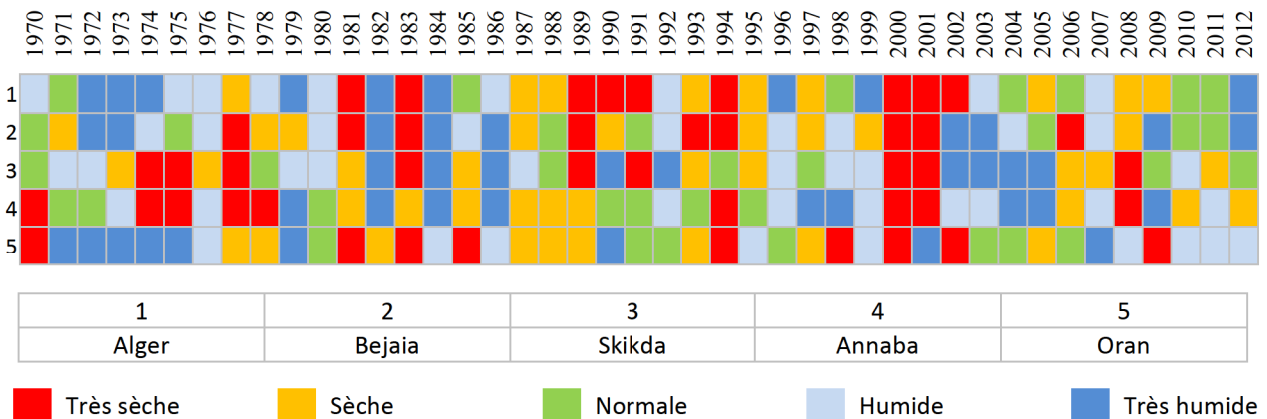


Tableau I.9. Pluviométrie sur quatre décennies de quelques villes côtières Algériennes³³.

Source. (Nouaceur, Laignel, & Turki, 2013)

Les épisodes de sécheresse marquée, qui ont sévi dans le pays ces 30 dernières années, ont eu un impact négatif sur les régimes d'écoulement des cours d'eau et, *ipso facto*, sur l'apport des barrages, dont la contribution dans l'alimentation en eau potable est déterminante. Nouaceur et al. (2013) ont donné une caractérisation de la pluviométrie sur quatre décennies de quelques villes côtières d'Algérie. A l'instar des autres villes du pays, la capitale s'est retrouvée, durant les années sèches, en pénurie d'eau prolongée qui n'était pas sans conséquences sur la vie socio-économique. Le système SPIK peut servir à ce sujet d'exemple : durant la période de sécheresse de 2001/2002, les précipitations enregistrées au niveau des barrages formant ce système, Keddara, Hamiz et Beni Amrane, ont été nettement inférieures à la moyenne interannuelle. Le rendement du système a été des plus faibles depuis sa mise en service en 1987. Les réserves d'eau au niveau du barrage de Keddara, le plus important du système,, sont passées de 18,19 millions de m³ en septembre 2001 à 3,05 millions de m³ au mois d'août 2002, réserves représentant respectivement 13% et 2% de la capacité du barrage qui est 145 millions de m³.

³³ Une année normale est une année où la quantité des précipitations se rapproche de la moyenne des quantités annuelles de pluie sur 30 ans ; une année sèche est une année où la quantité des précipitations correspond à une durée de retour égale à 5 ans et une année très sèche est une année où la quantité des précipitations correspond à une durée de retour égale à 10 ans.

A la suite de la situation de pénurie d'eau accentuée par la sécheresse, les pouvoirs publics ont lancé un programme d'urgence qui comprend, entre autres, la réalisation des stations de dessalement, déjà évoquée.

I.3.4. Problèmes dans le système d'alimentation

Le rendement du système d'approvisionnement de la capitale se trouve compromis par un certain nombre de problèmes engendrant des déperditions importantes des eaux de consommation, qui touchent aussi bien aux barrages qu'aux réseaux de transfert et de distribution. Une partie des eaux, soit 12%, serait perdue lors de son transfert. Mais la défectuosité des réseaux de distribution, dont une partie remonte à l'époque coloniale, est responsable de fuites importantes, 30% selon la SEEAL qui place la recherche et la réparation des fuites au centre de ses priorités. Ce taux de perte est très élevé pour un pays en manque d'eau. A titre comparatif, Berlin, où les ressources hydriques sont abondantes, le taux de fuites est passé de 25% à 5% (Heinzmann, 2004).

A cela s'ajoute une réduction de la capacité de mobilisation causée par l'envasement des barrages. L'Algérie perd en moyen 45 à 50 millions de m³ chaque année par l'envasement. Les Barrages du bassin hydrographique Chéllif –Zahrez, où l'érodabilité est importante, sont les plus touchés par le phénomène d'envasement, avec un taux de sédimentation annuelle moyen de 27% (Remini, 2010). Le barrage du Ghrib du même bassin (bassin du Chellif) présente un taux d'envasement de 58,46 % (IME, 2010); sa capacité est passée de 280,00 Hm³, lors de sa mise en service en 1939, à 116,32 Hm³ en 2005. L'envasement des barrages dans les bassins Côtier Algérois et Bas Isser est relativement faible, mais une accumulation continue des sédiments dans les retenues des barrages conduira indubitablement, à terme, à des pertes considérables de leurs capacités de mobilisation. Le problème est d'autant plus grave dans un pays qui manque de sites favorables à la réalisation de nouveaux barrages. Des actions curatives, quand bien mêmes coûteuses, tel le dévasement par dragage, s'avèrent obligatoires. Et, mieux vaut prévenir que guérir, certaines actions doivent être menées pour prévenir l'envasement, comme la réalisation des petites retenues à l'amont des barrages; reboisement, fixation des berges, etc. dans le bassin versant.

Barrage	Envasement moyen annuel (Hm ³)	Envasement dernier levé (Hm ³)	Taux d'envasement %
Bouroumi	0,31	6,14	3,27
Boukourdane	0,08	1,00	1,03
Keddara	0,17	3,21	2,20
Beni-Amrane	0,24	4,15	25,94
Hamiz	0,08	5,47	26,05
Taksebt	0,00	0,00	0,00
Ghrib	3,20	163,68	58,46
K.Acerdoune	0,00	0,00	0,00

Tableau I.10. Envasement des barrages alimentant Alger (dernier levé Bathymétrique, 2005)

Source. (IME, 2010)

I.4. L'offre de l'eau face à la demande à Alger

I.4.1. Les secteurs de consommation

La demande en eau peut être catégorisée selon les secteurs domestique, industriel et agricole. Cette classification est traditionnellement utilisée dans les bases de données d'usage de l'eau (Gleick, 1993; Shiklomanov, 2000; Hoekstra & Chapagain, 2007; Blinda, 2012)

I.4.1.1. Usage domestique

L'usage domestique désigne toutes les utilisations faites dans les maisons. Cet usage, des plus importants, est intimement lié aux besoins fondamentaux et conditions d'hygiène (boire, préparer la nourriture, le bain, la lessive et la vaisselle, se brosser les dents, ...). Du fait du développement du parc de logement de l'agglomération algéroise, la demande en eau de ce secteur s'est considérablement accrue.

Un des principaux objectifs de notre recherche se focalise sur la consommation domestique en vue du calcul de la capacité de charge urbaine relative aux ressources hydriques.

I.4.1.2. Usage industriel

L'usage industriel englobera toutes les activités urbaines en dehors du domestique. La croissance de la population laquelle a amené les activités d'accompagnement : commerciales, culturelles, administratives, de services..., à se développer à leur tour. Les

activités industrielles et touristiques, en raison de la proximité du port et de l'aéroport, ont, elles aussi connu un essor notable. En plus la wilaya d'Alger, de par son statut de capitale, comprend des équipements d'intérêt national tels les grands hôpitaux, les administrations centrales, les équipements culturels, etc. Toutes ces activités sont alimentées par le réseau de distribution unique de la wilaya géré par la SEEAL.

La distinction entre les quantités allouées aux secteurs domestique et industriel est délicate. L'analyse de la facturation de la SEEAL demeure le seul moyen pour estimer la consommation de ces différentes activités. Il faut souligner que certaines industries disposent de forages privés, qui sont recensés par l'ABH-AHS, et qui prend la charge également d'en estimer les prélèvements.

1.4.1.3. Usage agricole

La croissance démographique et économique de la capitale a engendré une perte considérable des terres agricoles au profit des zones urbaines. Les terres agricoles qui ont échappé à l'urbanisation occupent une surface de 37 209 hectares; et se situent principalement à l'est et à l'ouest mais surtout dans le sud de la wilaya. La surface agricole utile (SAU) représente environ 84% de la surface totale, soit une surface de 31 398 hectares, seulement 14 785,07 hectares sont irriguées. On distingue deux types d'exploitations agricoles irriguées :

Les grands périmètres irrigués (GPI) relevant de l'Etat, gérés par l'Office National des irrigations et du Drainage (ONID). Trois périmètres ont été développés au droit du bassin 02a : périmètre du Sahel Algérois, périmètre de Mitidja Ouest (tranche 1 et 2) et périmètre de Mitidja Est El Hamiz. Mise en service en 1937, ce dernier chevauche les trois wilayas : Boumerdes, Alger et Blida sur une surface de 18000 hectares; mais la surface irriguée ne dépasse pas 7 388 hectares (GIRE, 2010). A Alger, le périmètre du Hamiz couvre les communes de Dar EL Beida, Rouiba, El marsa, Ain Taya, Bordj el Bahri, Reghaïa, Haraoua avec sur une surface irriguée de 3 040,39 ha (ibid). L'irrigation se fait essentiellement à partir du barrage du Hamiz et du marais de Reghaïa.

La "Petite et Moyenne Hydraulique" (PMH), petites et moyennes exploitations relevant du secteur privé, occupant une surface de 11 744,68 hectares (DHA). L'irrigation de ces exploitations se fait à partir des eaux des nappes souterraines. Puits et forages de ces zones étant difficile à connaître, l'estimation des prélèvements nets pour l'irrigation se fait sur la base du besoin en eau moyen des cultures admis pour la zone, en l'occurrence 6 000 m³/hectare/an (GIRE, 2010).

1.4.2. Evaluation des quantités d'eau allouée à Alger par le système d'approvisionnement

Nous avons vu que trois types de ressources concourent à l'approvisionnement de la wilaya en eau potable, en l'occurrence : les eaux souterraines, les eaux de surface et

les eaux de dessalement. Les quantités d'eau mobilisée par le système sus-décrit sont importantes; une partie ira pour l'alimentation d'Alger. Les données sur les quantités allouées à la capitale ont été récoltées auprès de la SEEAL, la société chargée de la gestion de l'eau potable et de l'assainissement de la wilaya d'Alger, qui nous a fourni les données sur les quantités d'eau allouée à l'usage urbain; et de l'ONID qui se charge de l'irrigation et qui dispose des données y afférentes. L'année 2011 a été prise comme référence à plus d'un titre. Premièrement, le système d'alimentation, dans sa forme actuelle, n'est opérationnel que depuis cette année avec la mise en service de la station de dessalement de Fouka. L'autre raison est liée aux conditions pluviométriques qui sont déterminantes de l'apport des ressources en eau naturelles, lequel devrait être évalué dans les conditions de pluviométrie moyenne, donc durant l'année normale, ni sèche ni humide; c'est le cas de l'année 2011. Le tableau ci-après résume les prélèvements par usage et par ressource. Il en ressort qu'avec un taux de 51%, les ressources superficielles constituent la plus grande part de l'approvisionnement de la wilaya, suivies par les eaux souterraines 33% et les eaux de dessalement 16%. L'alimentation en eau d'Alger est de ce fait soumise aux aléas de la pluviométrie à laquelle les ressources superficielles sont tributaires.

	Eau souterraine Hm ³	Eau de surface Hm ³	Eau de dessalement Hm ³
Usage domestique	49	146	49
Usage industriel	27	78	27
Usage agricole	79	20	-

Tableau I.11. Quantités d'eau allouée à la capitale
Source. Auteur sur la base des données du SEEAL et ONID

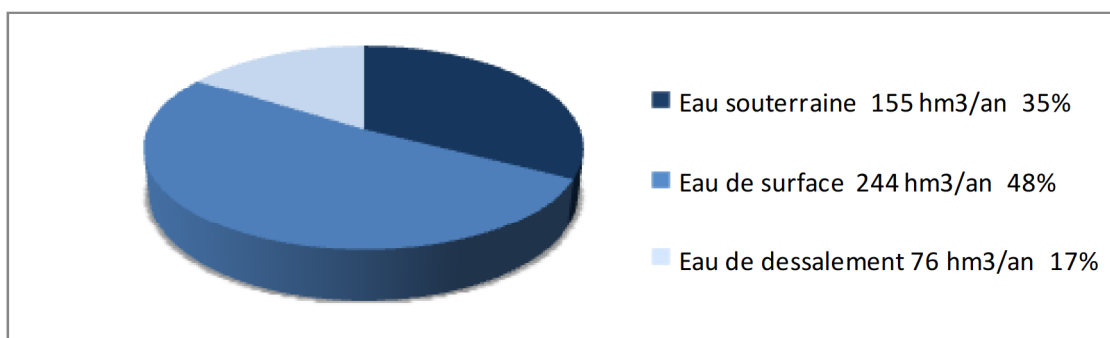


Figure I.19. Prélèvement par ressource en 2011.

Source. Auteur

Répartition des usages de l'eau³⁴ :

Si l'on considère les pertes dans les réseaux de transfert de l'eau (qui sont à hauteur de 12%), les quantités délivrées par usage seraient : 226,9 Hm³ pour l'usage domestique, 122,2 Hm³ pour l'usage industriel et 96,6 Hm³ pour l'usage agricole. Une volonté manifeste de donner la priorité aux besoins domestiques est constatée et ceci, relève d'une stratégie globale affichée par le gouvernement algérien ces dernières années dans une tentative de placer le bien être des populations au centre des préoccupations (Mozas & Ghosn, 2013).

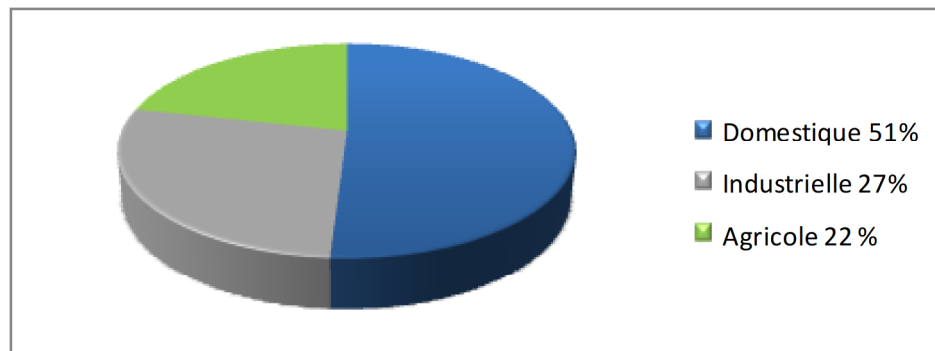


Figure I.20. Répartition des volumes alloués par usage en 2011.

Source. Auteur.

I.4.3. Niveau de consommation Domestique (LPCD)

Le niveau de satisfaction en eau se mesure par la consommation journalière par habitant. L'extrapolation des données de l'ONS (2009), donne le nombre de 3.2 millions d'habitants résidant dans la capitale, en 2011. La consommation journalière est tributaire du nombre de population globale et de la disponibilité de l'eau. Or, une partie importante d'eau de l'ordre de 30% se perd dans le réseau de distribution ; ce qui ramène la quantité d'eau réellement consommée par les algérois à 158,85 Hm³; et qui donne une consommation journalière par habitant de 136 l/hab/jour. Ce niveau de consommation, au dessus du seuil fixé par l'OMS, est largement satisfaisant, notamment dans un pays réputé sec.

A la lumière de ce qui précède, il apparaît clair que des efforts ont été consentis pour améliorer le niveau de consommation des algérois, qui jouissent aujourd'hui de l'eau courante H24. L'algérois peut désormais se vanter d'une dotation journalière assez proche de celle de certaines grandes villes européennes telles Paris et Londres; elle est même supérieure à celle de Madrid. Mais il faut le rappeler, cette valeur n'est qu'une moyenne, qui peut cacher des disparités de consommation d'eau entre ménages riches et pauvres, mais aussi entre un quartier et un autre.

³⁴ Voir en annexe D l'évolution de la structure de consommation d'eau à Alger.

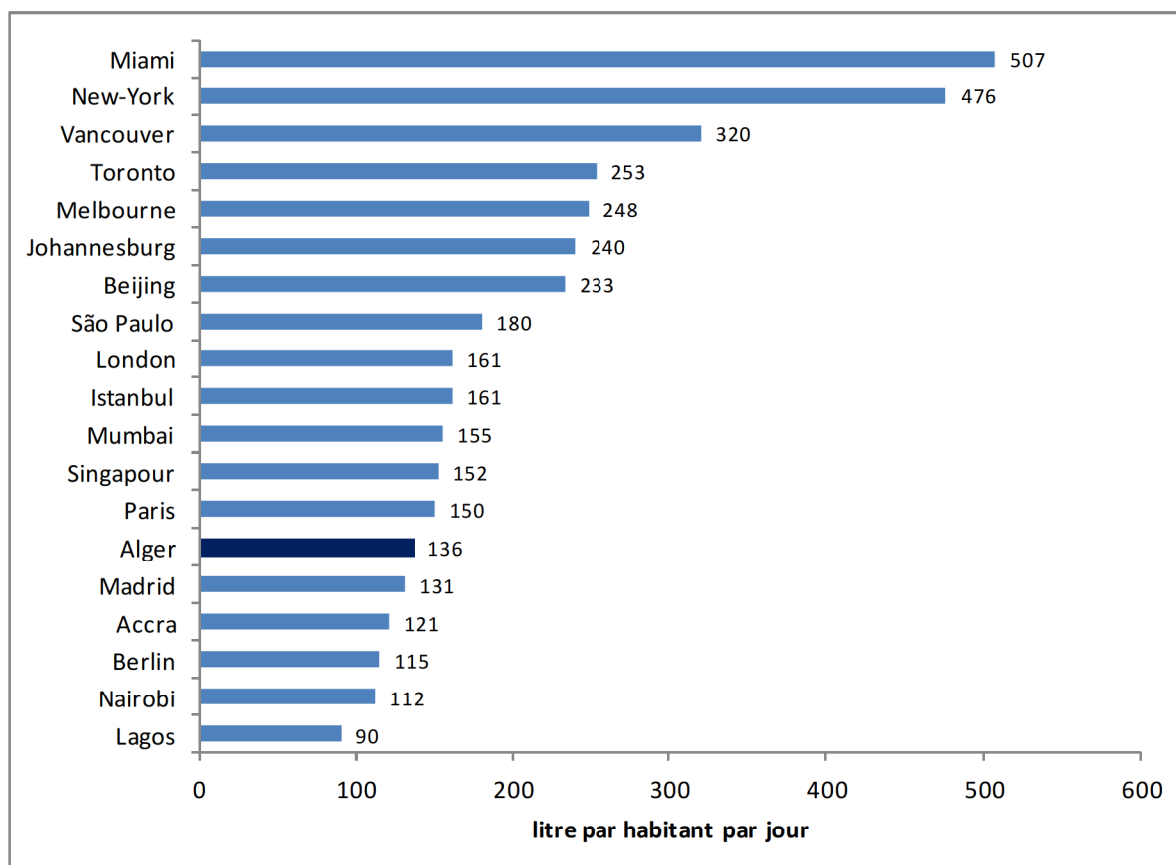


Figure I.21. Consommation domestique journalière dans certaines villes du monde.

Source. Auteur, d'après : Miami³⁵, New-York³⁶, Vancouver³⁷, Toronto³⁸, Melbourne³⁹, Johannesburg⁴⁰, Beijing⁴¹, São Paulo⁴², Istanbul⁴³, London⁴⁴, Singapour⁴⁵, Paris⁴⁶, Madrid⁴⁷, Accra⁴⁸, Berlin⁴⁹, Nairobi⁴⁸, Lagos⁴⁸

I.4.4. Politique de l'offre et croissance durable

Afin de répondre à la demande croissante en eau, les autorités algériennes ont privilégié une politique de l'offre, en investissant largement dans des nouvelles infrastructures. Une telle politique n'est pas exempte de défauts.

³⁵ <http://www.miamidade.gov/waterconservation/>

³⁶ http://www.nyc.gov/html/dep/html/drinking_water/droughtthist.shtml

³⁷ <http://vancouver.ca/green-vancouver/clean-water.aspx>

³⁸ <http://www.toronto.ca/watereff/plan.htm>

³⁹ <http://www.theage.com.au/victoria/daily-water-use-hits-record-as-temperatures-rise-20130221-2eudq.html>

⁴⁰ http://water.worldbank.org/sites/water.worldbank.org/files/iuwm_ch1.pdf

⁴¹ <http://english.caijing.com.cn/2013-01-01/112404657.html>

⁴²

https://www.cee.siemens.com/web/ru/ru/szektorok/infrastruktura_es_varosok/Documents/Siemens_AR2011_SaoPaulo.pdf

⁴³ <http://www.prepared-fp7.eu/viewer/file.aspx?fileinfoID=164>

⁴⁴ <http://www.environment-agency.gov.uk/research/library/publications/41051.aspx>

⁴⁵ <http://www.pub.gov.sg/conserv/Pages/default.aspx>

⁴⁶ http://www.eaudeparis.fr/page/usager?page_id=14

⁴⁷ <http://www.iagua.es/noticias/gestion/12/06/28/encuesta-2012-de-suministro-de-agua-potable-y-saneamiento-en-espana-18441>

⁴⁸ https://www.cee.siemens.com/web/il/en/corporate/home/Siemens_Israel/GreenCityIndex/Documents/Africa%20Green%20City%20Index%20Report.pdf

⁴⁹ <http://www.bwb.de/content/language1/html/1143.php>

I.4.4.1. La balance entre l'offre et la demande

L'évaluation de la capacité d'approvisionnement du système en place, devrait se faire en le confrontant à l'évolution de la demande, déterminée par le rythme de croissance de la population algéroise et les niveaux de consommation individuelle admis eu égard des considérations sanitaires, socio-économiques, et culturelles. Selon les projections démographiques de l'ONU (UNDESA, 2012), le nombre d'habitants de la wilaya d'Alger serait de quatre millions en 2025. Une croissance qui va inmanquablement entraîner une augmentation de la demande en eau. Quant au choix des niveaux de consommation de 100, 150, 200 litre/hab/jour, il est basée sur les recommandations de l'OMS (WHO, 2011), qui définit un minimum de 100 litre/hab/jour pour la sécurité sanitaire de la population.

Il s'avère qu'aux horizons 2020 et 2025, les quantités mobilisées par le système en place ne pourront pas satisfaire les besoins domestiques de la capitale. De surcroît, l'apport en eau largement tributaire des conditions pluviométriques, pourrait se voir drastiquement réduit, si la sécheresse sévit dans la région. Une politique orientée exclusivement vers l'offre devrait conduire à des investissements lourds en infrastructures hydrauliques, induisant par-là même des coûts économiques, environnementaux et sociaux.

Année	2015	2020	2025
Population	3303000	3608000	3977000

Tableau I.12. Evolution de la population
Source. (UNDESA, 2012).

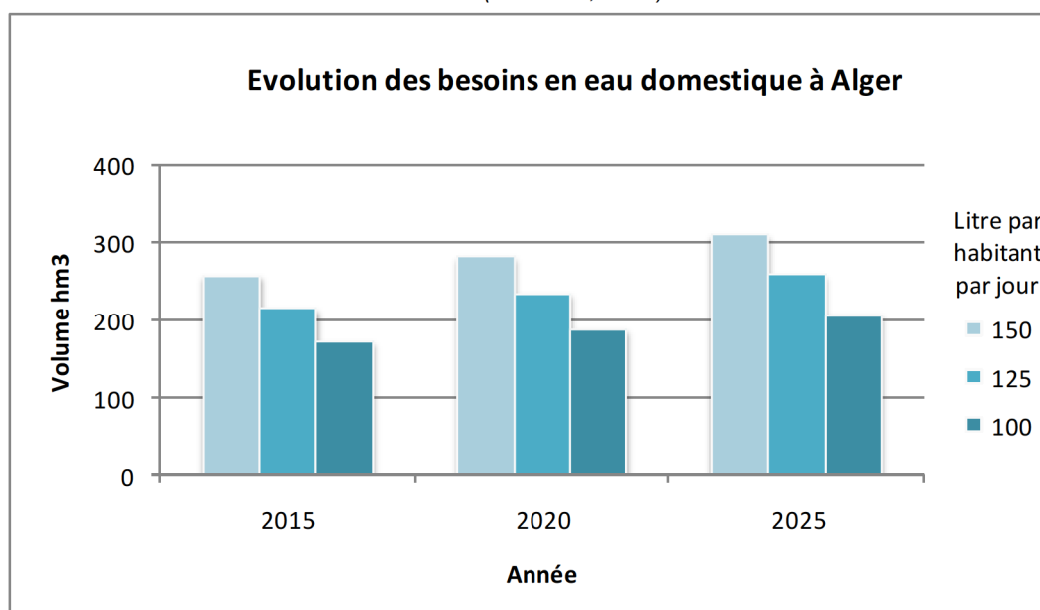


Figure I.22. Evolution des besoins en eau domestique à Alger.

Source. Auteur

1.4.4.2. Les coûts de l'eau

Les coûts environnementaux se manifestent essentiellement dans l'épuisement des ressources souterraines en raison de l'utilisation intensive. Pis, la proximité de la mer met les nappes, soumises à la surexploitation, en proie du phénomène d'intrusion marine qui risque de les rendre à jamais inutilisables.

L'impact environnemental potentiel du dessalement sur le milieu maritime n'est pas encore bien connu (Cotruvo, 2011). Mais les coûts économiques liés à la consommation d'énergie restent élevés comparés à ceux générés par la mobilisation de l'eau souterraine et superficielle. Cette dernière qui compte pour beaucoup dans l'alimentation de la capitale est amenée de localités lointaines ; ce qui met, comme nous l'avons vu, la capitale en concurrence avec ces régions, et pourrait par-là même menacer leur développement socio-économique.

En outre, le coût moyen de production et de fourniture de l'eau se situe à Alger autour de 60 DA (Benarab, 2011), alors que le consommateur en paie seulement 18 DA. Les 42 DA de différence sont supportés par les pouvoirs publics sous la forme de subvention tirée du Trésor public. Dans l'avenir, un réajustement des prix peut s'avérer nécessaire dans un double objectif de viabilité économique globale et d'amener les consommateurs à adopter des comportements économes.

1.5. Synthèse et conclusion du chapitre

Dans ce chapitre, nous nous sommes intéressés à la question de l'approvisionnement en eau de la capitale qui, a de tout temps était problématique. Avant l'arrivée des Turques, le problème se limitait à la question d'acheminement de l'eau puisée alors des rivières avoisinantes et des sources de l'aquifère du Sahel. Tâche qu'assuraient les porteurs ou les animaux. Durant le règne Ottoman, l'eau arrivait jusqu'à la médina par le biais des aqueducs, mais les habitants n'avaient pas le droit de jouir directement, chez eux, de l'eau provenant de ces aqueducs. Les fontaines étaient strictement publiques, exceptions faites pour les notables et hauts dignitaires. Dispositions témoignant d'un souci de rationnement de l'eau, qui n'était pas très abondante dans la région. L'installation de l'occupation française vint compliquer la situation de la pression sur les ressources hydriques. L'eau provenant du Sahel ne suffisait plus à satisfaire la demande de la ville qui grandissait. Les colons furent, les premiers, à exploiter les eaux de la nappe de la Mitidja. Et la situation durera ainsi des années après l'indépendance jusqu'au moment où la situation de pénurie devient intenable en raison de la forte croissance urbaine de la capitale.

Le gouvernement algérien s'orienta alors vers les ressources superficielles, et investit largement dans la mise en œuvre de systèmes de transfert (SPIK incluant les

barrages Keddara, Hamiz et Beni Amrane; et le SAA constitué des barrages de Boukedane, Bouroumi et Ghrib) acheminant l'eau à partir de sites de retenue situés à des kilomètres de la capitale. Seulement malgré les efforts fournis, l'alimentation en eau de la capitale posait toujours problème. La sécheresse qui avait sévi dans la région a mis à nu la vulnérabilité du système d'approvisionnement face à ce type d'aléa climatique. Ce qui a conduit les autorités algériennes à opérer un revirement de stratégie, en se lançant dans le dessalement. L'eau ainsi produite aujourd'hui par les deux grandes stations Hamma et Fouka, ainsi que les stations mono blocs de Ain-Benian, Palm Beach et Zeralda, représente une part non négligeable de l'alimentation de la wilaya.

Avec le dessalement, et la mise en service en 2008 du transfert de Taksebt, les volumes d'eau attribués à la capitale se sont vus accroître, ayant comme conséquence une nette amélioration du niveau de consommation des algérois, qui peuvent désormais se vanter de dotations comparables à celles de certaines villes de pays développés. Cependant à l'avenir, à l'horizon 2025, le système actuel ne pourrait satisfaire le nombre grandissant de la population algéroise. Et la situation pourrait s'aggraver si une sécheresse, particulièrement récurrente dans la région, venait à frapper. L'on s'interroge alors sur la réelle efficacité d'une politique d'eau axée exclusivement sur l'offre à parer au problème d'inadéquation entre l'offre et la demande de ce précieux liquide. D'autant plus que l'exploitation excessive des ressources et les investissements en infrastructures hydrauliques, engendre des coûts sur le plan économique (coûts liés à la réalisation des infrastructures hydrauliques, à leur maintenance et à l'énergie), et environnemental (épuisement des nappes phréatiques, phénomène d'intrusion marine, atteinte aux écosystèmes, ainsi que l'impact environnemental potentiel du dessalement sur le milieu maritime).

En tout état de cause l'offre ne pourrait augmenter "à l'infini", elle est limitée par ce que la nature pourrait donner. Au lieu de se fixer le seul objectif de satisfaire la demande incessamment croissante, il faudrait à un moment ou un autre étudier les possibilités d'agir sur la demande en vue de réduire les pressions sur les ressources naturelles tout en respectant les seuils sanitaires et de qualité de vie préconisés par l'OMS (voir le chapitre IV). Ce sont ces deux aspects, offre et demande, qui définissent le niveau de croissance que pourrait supporter la wilaya d'Alger au regard de la question des ressources hydriques, autrement dit la capacité de charge urbaine relative aux ressources hydriques.

Désignation	Données
Potentialités des aquifères	190 hm ³ /an
Part d'Alger en eau souterraine	155 hm ³ /an
Superficie des bassins Algérois, Isser	16121 km ²
Capacité des barrages	775 hm ³ /an
Part d'Alger en eau superficielle	244 hm ³ /an
Capacité de dessalement	122 hm ³ /an
Part d'Alger en eau de dessalement	76 hm ³ /an
Usage domestique	244 hm ³ /an
Usage industriel	132 hm ³ /an
Usage agricole	119 hm ³ /an

Figure I.23. Tableau récapitulatif des données relatives à l'eau à Alger.

Ce focus sur la question d'approvisionnement en eau de la wilaya d'Alger révèle une difficulté d'assurer la satisfaction des besoins en eau d'une collectivité en plein essor. Une problématique inhérente à la parcimonie des ressources hydriques, phénomène qui est exacerbé par les aléas climatiques. Les ressources hydriques naturelles constituent *de facto* un facteur de limitation de la croissance, d'où la pertinence d'une analyse par capacité de charge en vue de définir les contours d'une croissance durable.

CHAPITRE II. Concepts liés à la capacité de charge urbaine relative aux ressources hydriques

"Celui qui croit qu'une croissance infinie peut continuer indéfiniment dans un monde fini est un fou ou un économiste."

Kenneth Boulding

Après avoir examiné la question d'approvisionnement en eau de la wilaya d'Alger ainsi que les enjeux qu'elle soulève, nous allons aborder dans ce chapitre le concept de capacité de charge et les notions sous-jacentes. Le chapitre met l'accent sur les caractéristiques de la capacité de charge humaine et plus spécifiquement urbaine, ainsi que les méthodes d'évaluation. Nous concluons avec la présentation du concept de capacité de charge relative aux ressources hydriques qui se focalise comme son nom l'indique sur la ressource en eau comme facteur limitant ou déterminant la croissance.

II.1. Croissance durable et concept de capacité de charge

II.1.1. Genèse et évolution du concept de capacité de charge

La capacité de charge autant que concept formel puise son origine dans les disciplines de l'écologie et de la biologie (Aspeslagh, 1994). Hadwen & Palmer (1922) semblent les premiers à l'avoir utilisé lors des expériences qu'ils menèrent en 1922 sur les populations de rennes en Alaska (Pulliam & Haddad, 1994). Les deux chercheurs ont mis en avant le lien entre la population animale et l'environnement dans lequel elle évolue; ils donnèrent alors à la capacité de charge la définition suivante : "*the number of stock which a range can support without injury to the range*". Mais selon Dhondt (1988), le concept de capacité de charge ne fut réellement introduit dans la littérature que par Léopold en 1933, qui la définit comme étant la densité maximale qu'un territoire peut supporter (Dhondt, 1988).

Le lien établi entre la surexploitation des ressources et les dommages causés à l'environnement, constitue l'essence même du concept de capacité de charge développé

par les écologistes et les biologistes (Aspeshlagh, 1994). Exprimée par le symbole K, elle représenterait donc la population maximale d'une espèce qu'un environnement particulier pourrait supporter indéfiniment (Catton, 1993); sans perturber d'une manière permanente sa productivité.

Il est indéniable que l'ultime service demandé à l'environnement par les populations animales reste l'alimentation; elle est par conséquent la principale variable à considérer dans l'analyse de la capacité de charge. En revanche, les besoins des populations humaines sont de loin plus variés; l'Homme utilise différentes sortes de ressources : l'eau, la matière, l'énergie, le territoire; génère des déchets polluants. Chaque communauté se caractérise par ses spécificités culturelles, sociales, économiques, et institutionnelles. C'est ainsi, que la transcription du concept aux populations humaines, a suscité des réflexions quant à la considération des spécificités des sociétés humaines dans l'analyse de la capacité de charge.

La prise de conscience de la nécessité d'évaluer la capacité de charge humaine est née des préoccupations portant sur la démographie grandissante dans un contexte de ressources naturelles limitées par définition. Nous retracerons dans les paragraphes suivants l'évolution du concept.

II.1.1.1. Appréhensions de Thomas Robert Malthus sur la démographie galopante

La question de la population limite a commencé à préoccuper les démographes il y a plus de 300 ans. Une première estimation de la population mondiale que pourrait porter notre planète a été donnée par Anton van Leeuwenhoek en 1679 (Cohen, 1995). Environ un siècle après, dans son ouvrage intitulé "An Essay of the Principle of Population" (Malthus, 1798), le Révérend Thomas Malthus soutenait l'idée que la croissance de la population est exponentielle (comme la série 1,2,4,8,16,32,...) tandis que la croissance des ressources alimentaires nécessaires à sa subsistance, est plutôt arithmétique (comme la série 1,2,3,4,5,...) : *"The happiness of a country does not depend, absolutely, upon its poverty or its riches, upon its youth or its age, upon its being thinly or fully inhabited, but upon the rapidity with which it is increasing, upon the degree in which the yearly increase of food approaches to the yearly unrestricted population"* (Malthus, 1798, p. 43).

Pessimiste, Malthus prédit une catastrophe qui serait due au dépassement du nombre de population que pourrait supporter la planète⁵⁰. L'humanité connaîtra alors une succession de crises de subsistances (famines, exode, misère, épidémies, guerres) qui permettront, à terme, un ajustement forcé de la population aux ressources disponibles (Yvette, 2002). Aussi pour éviter ces situations dramatiques, Malthus proposa de refréner

⁵⁰ Cette approche a été reprise ensuite par Wackernagel et Rees dans une méthodologie d'évaluation de l'empreinte écologique (Wackernagel & Rees, 1999).

la démographie. Les inquiétudes de Malthus trouvent leur justification dans un contexte où l'Europe venait de sortir du moyen âge, marqué par ces crises suite à un accroissement démographique important qu'a connu le continent et qui a conduit à l'épuisement des terres arables et ainsi à la privation d'accès à la nourriture d'une frange importante de la population.

Les sceptiques des déclarations de Malthus soulignent la non prise en compte de l'innovation et des progrès technologiques, et particulièrement de leurs effets sur l'amélioration de la productivité ainsi que sur l'élargissement significative des ressources disponibles pour répondre aux besoins des populations (Cohen, 1995). Il n'en reste pas moins qu'il faut reconnaître que lors de la formulation de sa vision, Malthus n'était pas en mesure d'imaginer la révolution qu'allait engendrer le progrès technologique, alors au point mort, à la fois sur les modes de production et de consommation. Mais quand bien même ces progrès soient indéniables, la technologie est-elle une panacée aux problèmes liés à l'épuisement des ressources nécessaires à la subsistance humaine ? N'a-t-elle pas apporté son lot de problèmes qui venaient s'ajouter aux premiers ?

En tout état de cause, le ralentissement de la croissance de la population observé dans les pays développés a infirmé les prédictions Malthusiennes. Toutefois il est reconnu que Malthus reste le premier à avoir jeté les bases du paradigme de capacité de charge.

II.1.1.2. La loi logistique de P.F Verhulst

L'idée malthusienne d'une croissance de population indéfinie jusqu'à "la catastrophe" fut formulée par le mathématicien belge Pierre F. Verhulst (Verhulst, 1838), de la manière suivante :

$$\frac{dP(t)}{dt} = \alpha P(t)$$

Avec P = Population, α = taux de croissance (taux de natalité- taux de mortalité),
t=temps

Mais Verhulst rejetait l'idée d'une croissance exponentielle indéfinie de la population et fit observer l'existence d'une limite éminente à la croissance démographique dans une région donnée. En prenant appui sur l'analyse des schémas de croissance démographique en France, Belgique, Russie et en Angleterre, il proposa une courbe logistique (sigmoïdale ou en S), schématisée dans la figure II.1, pour décrire la croissance de la population, selon la formule suivante (Verhulst, 1838) :

$$\frac{dP(t)}{dt} = \alpha P(t) \left(1 - \frac{P(t)}{K}\right)$$

K \equiv la capacité de charge ou la population limite (représentée par la ligne horizontale sur le schéma ci-dessous).

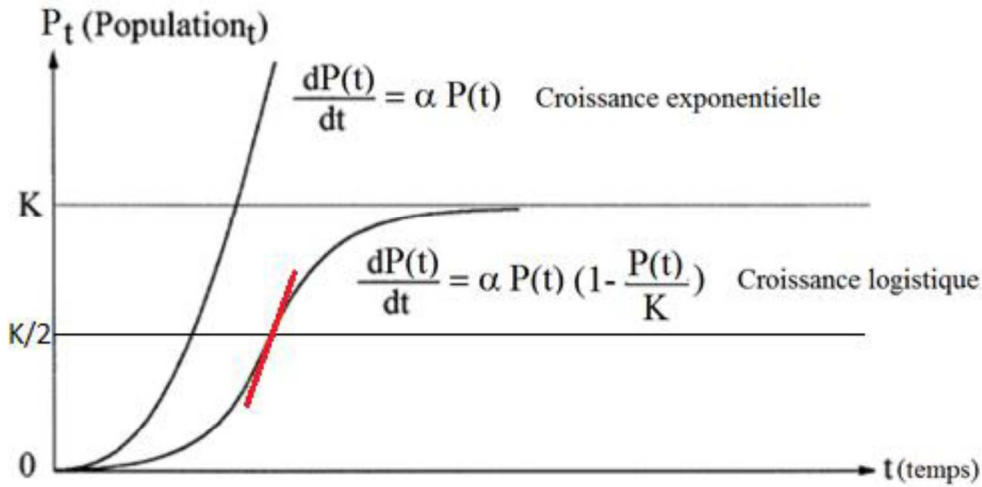


Figure II.1. Les courbes exponentielles et logistiques de croissance de la population.

Source. D'après (Seidl & Tisdell, 1999).

Le taux de croissance $dP(t)/dt$ (pente ou la tangente à la courbe de croissance) atteindra son maximum quand $P(t)$ est environ au niveau $K/2$, après il décroît asymptotiquement jusqu'à zéro lorsque la population $P(t)$ s'approche de K qui représente la capacité de charge ou la population limite. A ce stade il y aura la stabilité de la population. La courbe du taux de croissance de la population (ou vitesse d'accroissement) est matérialisée en pointillés dans la figure suivante (Ramade, 2003).

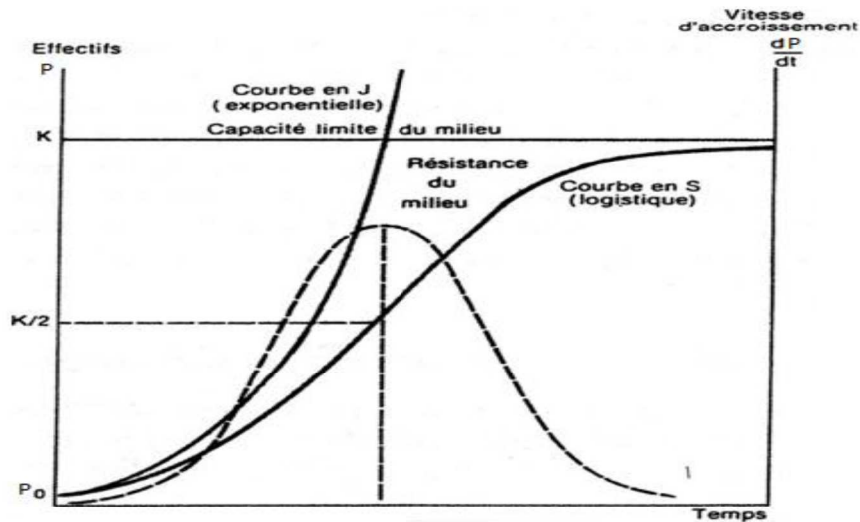


Figure II.2. Courbes de croissance théorique d'une population.

Source. (Ramade, 2003)

Une croissance logistique de la population constituait la principale hypothèse en biologie des populations (Seidl & Tisdell, 1999), mais qu'en est-il des sociétés humaines?

Bien que plus réaliste que la vision de Malthus, le modèle de Verhulst faillit selon plusieurs auteurs dans la caractérisation de la croissance de la population. Cohen (1995) relève que le modèle se base sur l'hypothèse que l'apport des ressources dans un environnement est constant, alors qu'en réalité il peut changer dans le temps, induisant des changements du taux de croissance α et de la capacité de charge k . En plus, le modèle ne tient pas compte des facteurs environnementaux exogènes qui influent sur le paramètre Malthusien ainsi que sur α et la capacité de charge (Seidl & Tisdell, 1999). Aussi, l'immigration, si fréquente dans les sociétés humaines et qui compte pour beaucoup dans la détermination de la croissance globale de la population d'une communauté, n'est pas considérée dans le modèle de Verhulst.

Globalement, le modèle de Verhulst, à l'instar de celui de Malthus, ne prend pas en considération les facteurs tels le commerce, le progrès technologique, les modes de vie et les schémas de consommation. Ces éléments influent grandement sur la capacité de charge, en agissant sur les deux éléments clefs la définissant à savoir sur la disponibilité des ressources et sur les niveaux de consommation (Cohen, 1995; Seidl & Tisdell, 1999).

II.1.1.3. Club de Rome : Halte à la croissance!

Le groupe de réflexion connu sous le nom de club de Rome est une association réunissant des scientifiques, des économistes, des fonctionnaires ainsi que des industriels, venant de pays différents, et préoccupés par les problèmes complexes qui touchent la planète⁵¹. En 1972, il publia le fameux rapport accablant intitulé "The limits to growth" (Meadows, Meadows, Randers, & Behrens III, 1972) dans lequel les auteurs soulignent les dangers écologiques de la croissance économique et démographique, allant jusqu'à suggérer "la croissance zéro". Ils rejoignent par là le raisonnement malthusien avec une vision moins pessimiste.

Dans ledit rapport, les auteurs proposent un modèle systémique "World 3" des interactions entre les cinq systèmes démographique, industriel, alimentaire, ressources non renouvelables et pollution. Les relations entre les cinq variables ont été étudiées deux par deux en insistant sur la définition des feedbacks (par exemple l'interaction entre l'output du capital industriel tels les engins agricoles, les fertilisants, etc., et le capital agricole, ou le rapport des activités industrielle et agricole avec la pollution). La modélisation de ces différentes relations a permis de dégager les déterminants critiques du comportement du système, autrement dit les facteurs de limitation de la croissance de population. Les auteurs concluent que la planète allait atteindre ses limites dans une centaine d'années; et si d'ici là des mesures solides ne seront pas prises afin de rétablir

⁵¹ Parmi les membres du conseil, on compte l'ancien ministre algérien du commerce (1969-1977) Layachi Yaker, DER SPIEGEL. (1991, Février 01). Unser Weg in ein neues Zeitalter. (S.-V. R. KG., Éd.) SPIEGEL SPECIAL : Bericht des Club of Rome 1991 - DIE GLOBALE REVOLUTION , pp. 120-130.

les grands équilibres économiques, écologiques et démographiques du monde, l'humanité ira droit vers d'apocalyptiques perspectives, en raison de l'épuisement des ressources et la dégradation de l'environnement.

Le modèle du Club de Rome, à l'instar de son prédécesseur malthusien, repose sur le postulat que la croissance exponentielle de la population dans un monde aux ressources finies, finira par créer un déficit de satisfaction des besoins des humains. De ce fait, le seuil de la capacité de charge (la population limite) ne devrait pas être franchi. Mais le modèle apporte des améliorations : en effet il ne considère pas uniquement les ressources alimentaires, puisque toutes les ressources comme les ressources énergétiques, la matière première, etc., limitent la croissance des populations, de même que les pollutions générées par les sociétés humaines, ainsi que les interactions entre ces différents facteurs de limitation.

Le rapport Meadows représente un pas de plus vers une prise de conscience globale progressive des enjeux environnementaux qui guettent l'avenir de l'humanité, qui débouchera sur l'avènement et la mise en place du développement durable.

II.1.1.4. La capacité de charge et la durabilité

Ainsi la préservation de l'environnement et l'utilisation prudente des ressources constitueront un des trois piliers de ce concept (environnement), afin de ne pas compromettre l'avenir des générations futures : "*Le développement durable est un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs*". (Brundtland, 1987). Sauf que le rapport ne met pas en avant la non durabilité du système économique actuel et ne reconnaît pas l'existence de limites à la croissance de la population (Graymore, 2005). D'ailleurs le développement durable, tel que préconisé initialement, place sur le même plan la sphère environnement, la sphère économique ainsi que la sphère sociale : "*What is needed now is a new era of economic growth- growth that is forceful and at the same time socially and environmentally sustainable*" (Brundtland, 1987). Ce qui constitue une contradiction en soi, du fait qu'il est quasiment impossible de concilier les objectifs économiques et environnementaux (Cohen, 1995). Il ne pourrait y avoir de croissance économique sans atteinte au capital naturel, sans perte de la biodiversité, et sans dégradation des milieux. Rees (1999) explique que la relation trophique entre l'économie industrielle et son environnement demeure tel un parasite avec son "hôte" : il gagne de la vitalité au détriment de la vitalité générative de son hôte. L'économie a déjà causé des dommages irréparables à l'environnement et aux écosystèmes. Ceci parce que les humains ont longtemps considéré les services de la planète comme acquis, que son offre est illimitée, oubliant que leur subsistance est fortement dépendante des systèmes naturelles (Wackernagel & Rees, 1999). De même, la population humaine ne peut continuer à

croître indéfiniment dans un monde aux ressources finies, elle doit être stabilisée au niveau autorisé par les disponibilités de ressources.

Cette nouvelle vision qui établit une hiérarchie entre les trois dimensions du développement durable est représentée par Graymore (2005) sous forme de cercles concentriques "*concentric rings model*" au lieu des trois cercles en intersection : la sphère "Economie" s'appuie sur la sphère "sociale" (humanité), qui elle même, s'appuie sur la sphère "Environnement naturel". La durabilité environnementale est la colonne vertébrale du développement durable, sans laquelle il n'y aura ni économie ni même de vie humaine. Berezowska-Azzag (2008b), de son côté, donne une modélisation en cercles concentriques de la durabilité en insistant sur le facteur social qui produit l'activité économique qui elle à son tour puise et rejette dans l'environnement. Elle considère que la société est bien "le maitre" et "le gouvernant" de ces relations, elle est donc au sommet de la hiérarchie.

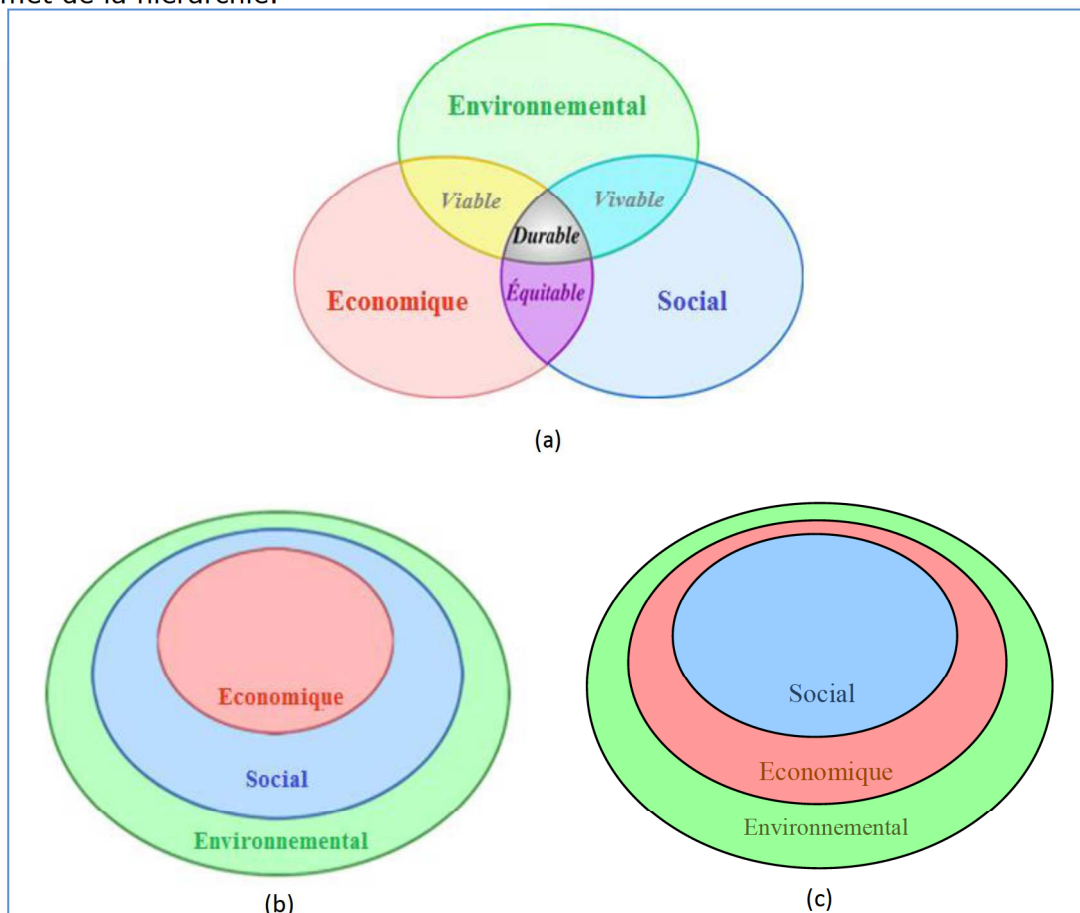


Figure II.3. Modèles de la durabilité : cercles en intersection et cercles concentriques.

Source. (b) adaptation de Graymore (2005) ; (c) adaptation de Berezowska-Azzag (2008b)

Nombreux sont ceux qui s'accordent sur la nécessité de considérer l'environnement comme la préoccupation majeure (Aspeslagh, 1994), et la durabilité environnementale

comme un pré-requis aux autres durabilités sociales et économiques⁵². La durabilité de la vie humaine sur terre, ne saurait-êre assurée, sans que chaque génération hérite d'un stock adéquat de ressources naturelles (Rees & Wackernagel, 1992), autrement dit il faut préserver la productivité naturelle des ressources. Dès lors, rester sous le seuil de capacité de charge deviendrait une condition sine qua non, dans le mesure qu'au-delà d'un certain degré d'utilisation des ressources, l'aptitude future de l'environnement à assurer cette ressource sera réduite voire altérée (Catton, 1993). Daily & Ehrlich (1996) vont dans le même sens : "*Sustainability characterizes any process or condition that can be maintained indefinitely without interruption, weakening, or loss of valued qualities. Sustainability is a necessary and sufficient condition for a population to be at or below carrying capacity.*"

Comme laisse entendre la définition de Daily et Ehrlich (Daily & Ehrlich, 1996) citée ci-dessus, la durabilité d'un environnement peut être comprise comme sa capacité d'endurance et de résilience afin de pouvoir être en état d'assurer la disponibilité des ressources indéfiniment (Arrow, et al., 1995). Ce qui conduit à conclure, comme nous l'avons vu, à l'obligation de respecter la limite de la capacité de charge, au risque de causer la dégradation irréversible de l'environnement. Afin de ne pas dépasser cette limite, Daly et Cobb (1989) préconisent : que le rythme d'utilisation des ressources renouvelables ne dépasse pas celui de leur régénération ; que le rythme d'utilisation des ressources non-renouvelables ne dépasse pas celui de développement des ressources qui les remplacent ; et qu'enfin le taux d'émission des polluants ne dépasse pas celui de leur recyclage et absorption par l'environnement. Daily & Ehrlich (1992) de leur côté, définissent ce qu'ils appellent l'utilisation maximale durable "Maximum Sustainable Use MSU" et l'abus maximal durable "Maximum Sustainable Abuse MSA" : La MSU correspond au taux de renouvellement dans le cas des ressources renouvelables, et le taux de développement des ressources de substitut dans le cas des ressources non renouvelables; le MSA correspond au taux d'émissions de polluants au-delà duquel des dommages irréversibles seront causés à l'environnement.

En définitive, nous pouvons dire que la durabilité dont l'objectif ultime est la pérennité de la vie sur terre dans les meilleures conditions qui soient, est étroitement liée à la notion de capacité de charge, dans le sens où la durabilité environnementale reste au sommet des préoccupations, et que la connaissance des limites écologiques donc la capacité de charge permettra de mesurer l'évolution vers la durabilité.

⁵² Patrick Pigeon (2007) a par exemple mis en exergue toutes les conditions liées à ces domaines et leurs interactions dans son ouvrage intitulé (L'environnement au défi de l'urbanisation).

II.1.1.5. Adaptation de la courbe de Verhulst : la courbe bi-logistique de Meyer & Ausubel

Nous avons vu que le modèle logistique de Verhulst était jugé trop simple pour représenter la dynamique de croissance des populations humaines. Sa principale limite réside dans le fait qu'il se base sur l'hypothèse que l'apport des ressources est inchangé, et par voie de conséquence l'est aussi la capacité de charge, représentée par une ligne droite dans son schéma logistique. En 1999, Meyer & Ausubel proposent une adaptation de ce modèle, laquelle permet une croissance sigmoïdale de la capacité de charge k , rendu possible dans les sociétés modernes grâce au progrès technologique. En effet, il est actuellement communément admis que la technologie agit de manière positive sur l'apport en ressources nécessaires à la subsistance des humains. Sur le plan alimentaire par exemple, l'amélioration du rendement agricole dans les pays développés a permis de supporter un nombre plus important malgré la réduction des terres arables.

La modification apportée à la courbe logistique concerne le paramètre capacité de charge K , qui devient une limite qui varie en fonction du temps.

$$\frac{dP(t)}{dt} = \alpha P(t) \left(1 - \frac{P(t)}{K(t)}\right)$$

$K(t)$ étant la limite de la capacité de charge dans la croissance est définie par l'équation suivante :

$$\frac{dK(t)}{dt} = \alpha (K(t) - K1) \left(1 - \frac{(K(t) - K1)}{K2}\right)$$

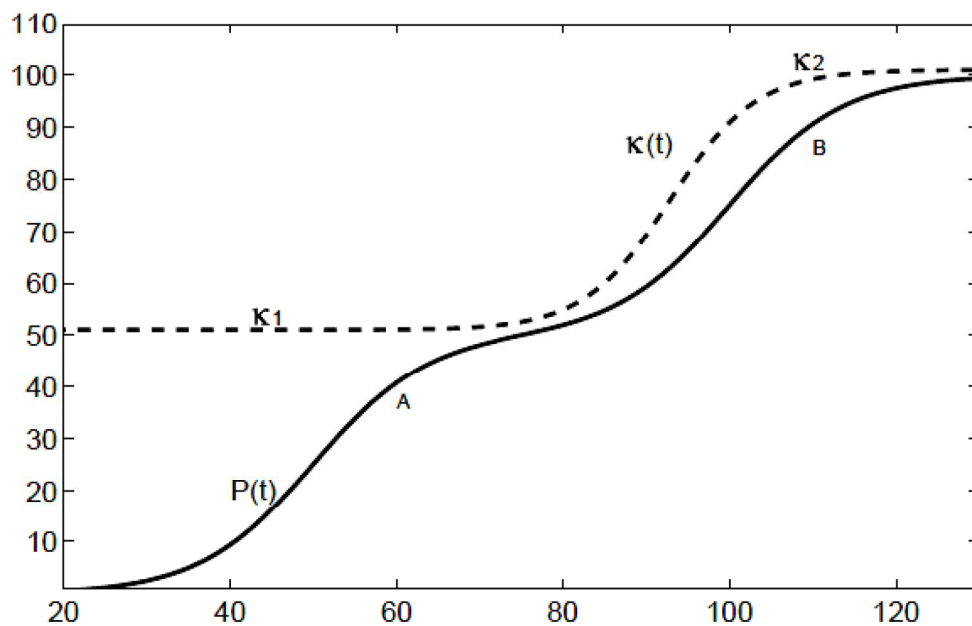


Figure II.4. La courbe bi-logistique de croissance de la population.

Source. (Meyer & Ausubel, 1999)

Mais les nouvelles technologies, quand elles s'installent, mettent du temps pour se répandre et par conséquent les effets significatifs de leur efficacité tardent à se faire sentir. Ce processus se prête bien à la modélisation par la courbe logistique. Aussi dans le modèle de Meyer & Ausubel, la capacité de charge croît dynamiquement mais par à coup, donnant une courbe sigmoïde : Le modèle stipule qu'au départ la population $P(t)$ croît de manière exponentielle jusqu'à atteindre la limite de la capacité de charge, donc il est dans cette première phase similaire au modèle de Verhulst(1838). Viendra ensuite une courte période de stabilité, due comme on a vu au retard dans l'apparition des effets de la technologie. Après, la capacité à supporter les populations va accroître de manière exponentielle permettant le redémarrage et la croissance de la population. Les auteurs ont appliqué leur modèle pour expliquer les dynamiques de population en Angleterre entre 1541-1975 et au Japon entre 1100-1992, deux exemples de pays ayant connu une révolution industrielle qui a engendré de profondes modifications dans les schémas de production des biens et des services.

Il va sans dire que la prise en compte du paramètre de la technologie pour étudier la capacité de charge et les dynamiques de population rend le modèle bi-logistique plus proche de la réalité. Cependant, d'autres facteurs n'en sont pas moins importants, comme par exemple les modes de consommation, ont été omis par les auteurs de ce modèle.

II.1.2. Eléments caractérisant la capacité de charge humaine

Vers la fin des années 1960 et le début des années 1970, le concept de capacité de charge a commencé à être utilisé pour calculer et exprimer les limites environnementales de l'activité humaine (Seidl & Tisdell, 1999). Dans le contexte des sociétés humaines, la capacité de charge exprime l'utilisation maximale qu'un environnement pourrait supporter sans perdre son aptitude à assurer cette utilisation indéfiniment (Catton, 1993). Il est important que cette aptitude à fournir les ressources et à absorber les polluants persiste dans la durée pour ne pas compromettre la vie des générations futures. C'est la raison pour laquelle la capacité de charge ne devrait pas être dépassée, au risque de voir l'environnement subir des atteintes irréversibles, et perdre par là-même son aptitude à supporter la vie des espèces humaines et non humaines (Hardin, 1991). La définition de Rees (1992) va également dans le même sens : "*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*".

Les définitions de la capacité de charge humaine et biologique semblent donc concorder sur l'existence d'un seuil limite d'utilisation des ressources, lequel est étroitement liée au nombre de la population et au taux de sa croissance. Cependant,

l'analyse des dynamiques de populations humaines ne peut s'exonérer d'un certain nombre d'éléments caractérisant les sociétés humaines : tout d'abord, les services de l'environnement que réclament les humains sont beaucoup plus variés, portant à la fois sur l'approvisionnement en différentes sortes de ressources et l'absorption des polluants divers ; en outre, les sociétés humaines se caractérisent par un niveau de complexité qui se traduit par une diversité prononcée dans : l'organisation sociale et institutionnelle, la structure économique, le progrès technologique, la culture et le mode de vie, d'une société à l'autre. Ces caractéristiques influent considérablement sur l'intensité d'utilisation des services de la nature et ainsi sur la limite de la capacité de charge, aussi bien que la taille de la population (Aspeslagh, 1994). Dans les paragraphes qui vont suivre, nous allons voir les éléments caractérisant la capacité de charge dans le contexte humain et de quelle manière ils l'influencent.

II.1.2.1. Le progrès technologique

Le mérite de la technologie c'est qu'elle permet un élargissement significatif des ressources de base (Catton, 1993). C'est du moins ce que pensent les sceptiques des déclarations de Malthus qui comptent beaucoup sur son aptitude à "repousser" les limites de la capacité de charge. Ces assertions ne sont pas infondées, et du reste l'homme a de tout temps recouru à la technologie dans le but d'améliorer l'efficacité de l'exploitation des ressources (Aspeslagh, 1994), comme l'amélioration du rendement des terres arables.

En revanche, d'autres auteurs mettent en cause le rôle que joue la technologie dans l'augmentation des disponibilités des ressources nécessaires à la subsistance des populations. Le fond du problème réside, selon Meadows & al. (1972), dans l'inadéquation de la croissance exponentielle avec un système naturel aux ressources limitées. Le rôle de la technologie, qui se manifeste essentiellement dans l'amélioration de l'efficacité d'utilisation des ressources, reste de ce fait insuffisant pour rattraper cette croissance effrénée. En plus, la technologie peut-être, à son tour, source de problèmes qui affectent la capacité de charge (Aspeslagh, 1994). Personne ne méconnaît les conséquences de l'industrie chimique et énergétique sur l'environnement aux échelles locale et globale, mais le doute plane quant à la capacité de la technologie à résoudre les problèmes qu'elle a contribué à créer (Lévêque, 2009). Odum & al. (1975), lui reprochent expressément de favoriser un usage intensif de l'énergie fossile non renouvelable et polluante. Ce recours aux énergies fossiles peut donc s'avérer coûteux non seulement sur le plan environnemental mais économique en raison des frais liés à l'exploration, l'extraction et le transport depuis les lieux où elles se trouvent. Aussi, si l'utilisation des moyens technologiques pour améliorer la disponibilité des ressources conduit inévitablement à consommer d'autres ressources, qui sont elles mêmes vitales

pour l'homme, à leur tête les ressources énergétiques, on s'interrogera alors sur son rôle effectif dans l'augmentation de la capacité de charge. Meadows & al. (1972), résument la situation en ceci : la capacité de charge demeure limitée par ce que la technologie ne peut surmonter. Mais il est bon de reconnaître que les progrès atteints actuellement, notamment en matière : d'usage d'énergies renouvelables propres, d'économie d'énergie, des techniques de recyclage, de traitement des déchets et des divers polluants, ne sont pas sans effets sur la réduction des pressions sur l'environnement, et par conséquent sur la préservation et l'amélioration de sa capacité à supporter la croissance.

II.1.2.2. La culture et le mode de vie

Dans le cadre de la capacité de charge biologique, les utilisateurs (espèces animales) sont considérés interchangeable, impliquant des niveaux de consommation identiques (Lenski, Lenski, & Nolan, 1978). L'enjeu principal réside, de ce fait, dans la définition du nombre des espèces animales que pourrait supporter un environnement donné. Il n'en va pas de même pour les sociétés humaines où la consommation individuelle n'est pas seulement dictée par les considérations biologiques, mais également par des choix que ce soit au niveau individuel ou collectif voire gouvernemental : aspirations des populations, valeurs éthiques et morales, niveaux de connaissance et, l'organisation institutionnelle et gouvernementale (Cohen, 1995; Hardin, 1986). Ce qui fait que le mode de consommation peut varier non seulement d'une société à l'autre mais même au sein d'une même société. Les différences entre les sociétés humaines portent sur des aspects tels que le régime alimentaire, l'utilisation de l'eau, le type d'habitat, l'utilisation des biens facturés, le niveau de santé, l'éducation, la conscience environnementale, etc. On déduit de ce qui précède que l'intensité d'utilisation des services environnementaux n'est pas juste liée à la taille de la population, mais aux niveaux d'utilisation individuelle, lesquels sont fonction des modes de vie. La capacité de charge est par conséquent inversement proportionnelle au niveau d'utilisation du service environnemental, c'est-à-dire plus ce dernier augmente plus sera réduit le nombre de population pouvant être supportée. Dans une perspective de développement durable, l'ajustement des niveaux de consommation avec les ressources en place permet une optimisation de l'utilisation de ces ressources et ainsi la préservation du capital naturel pour les générations futures.

II.1.2.3. Le commerce

Dans le contexte de l'économie globale, les régions ne sont plus isolées. L'interdépendance entre les pays est telle, qu'actuellement les populations consomment des ressources en provenance des quatre coins du monde. Il semble que les pays ou les régions ont pu surmonter le problème de la rareté ou l'indisponibilité des ressources

localement, en les important de là où elles sont abondantes. La disparité régionale en matière de ressources naturelles a en effet incité à l'échange commercial qui est devenu au fil du temps un phénomène mondial. Le commerce a joué un rôle important dans l'amélioration de la capacité de charge de nombreuses régions. Cependant la course au profit à travers l'exportation a conduit à une exploitation intensive des ressources locales, et in fine, à l'épuisement du stock naturel (Rees & Wackernagel, 1996). Andersson & Lindroth (2001) attirent l'attention sur un sérieux problème d'éthique du fait de la surexploitation des ressources des pays pauvres sous la pression des pays riches qui préfèrent préserver les leurs entraînant ainsi la régression de la capacité de charge dans les dites régions.

Pour clore cette section, nous pouvons dire que l'application du concept de capacité de charge à l'espèce humaine implique une déviation du concept biologique initial et requiert la reconnaissance du fait que la capacité de charge humaine est tout d'abord socialement déterminée plus que biologiquement fixée, en raison de l'importance de l'influence notamment des schémas de consommation, de la qualité de vie et du progrès technologique, (Hardin, 1986). Ce qui rend la capacité de charge variable d'un contexte à l'autre. Catton (1993) reprend ce qui précède en suggérant une acception de la capacité de charge plus représentative de la condition humaine en l'occurrence la population maximum qu'un environnement peut indéfiniment supporter sous un ordre *social donné* et eu égard des *technologies employées*. Cette acception peut être résumée par la formule suivante : $Population_{max} = f(Ordre_Social, Technologie)$.

II.2. Caractérisation de la capacité de charge urbaine

II.2.1. Définition

Le concept de capacité de charge urbaine vit le jour quasi-simultanément au concept de capacité de charge humaine, vers les débuts des années 1970, en vue de proposer une planification urbaine basée sur la prise en compte des limites de l'écosystème urbain à fournir les ressources nécessaires à la croissance urbaine et absorber les déchets générés. Dès sa naissance, le concept a revêtu deux acceptions différentes : l'une insistant sur la limite de la croissance au regard de la capacité de l'écosystème urbain et l'autre plutôt sur la limite de l'environnement urbain à ne pas franchir. Ainsi, selon Bishop & al. (1974), la capacité de charge urbaine serait le *niveau de l'activité humaine* résultant de la dynamique des populations et de l'activité économique qu'une région peut soutenir indéfiniment, en incluant les imports et exports des ressources et des déchets, et ce à des niveaux de qualité de vie acceptable. En revanche, d'autres auteurs la définissent comme l'*aptitude* aussi bien des *systèmes naturels* qu'*artificiels* à supporter les demandes des diverses utilisations (Godschalk &

Parker, 1975), sans dégradations considérables des deux systèmes (Schneider, Godschalk, & Axler, 1978). Ces nuances au sujet du concept de capacité de charge sont expliquées par la manière avec laquelle a été abordée la question, qui tantôt exprimait le nombre maximum de population que l'environnement urbain pourrait supporter et tantôt examinait les impacts sur la l'environnement et les écosystèmes, du niveau de croissance actuelle.

En tout état de cause, l'ultime objectif de la capacité de charge des territoires est de mettre en évidence le niveau d'aptitude qu'a un écosystème urbain à répondre aux besoins de sa population actuelle et future. La définition du nombre totale de la population urbaine, et le calcul le cas échéant de(s) densité(s), que l'environnement peut supporter permet de fournir une estimation des limites de la croissance, laquelle doit être faite conjointement avec l'analyse des limites des facteurs de l'écosystème urbain liés à l'environnementaux, aux infrastructures, aux institutions, et à la perception du publique.

II.2.2. Composantes de la capacité de charge urbaine

Les composantes de la capacité de charge urbaine ou tout simplement les types de capacité de charge, représentent les différents compartiments de capacités relatives à l'écosystème urbain. Aspeslagh (1994) décrit la composante de la capacité de charge comme un domaine de potentiels et de contraintes qui limitent et façonnent directement la croissance urbaine. Chacune de ces composantes représente donc un niveau d'évaluation de la capacité de charge à considérer. Godschalk & Parker (1975) en identifient trois : la capacité environnementale, la capacité perceptuelle, et la capacité institutionnelle. Oh et al. (2005), considèrent en plus de ces trois composantes, la capacité des infrastructures. Dans le cadre de cette recherche nous nous intéresserons à trois capacités que sont : la capacité environnementale, la capacité des infrastructures et la capacité institutionnelle (Oh, Jeong, Lee, Lee, & Choi, 2005). La capacité perceptuelle⁵³ ne sera pas abordée du fait qu'elle requiert des enquêtes et des sondages d'opinion effectués par des sociologues et dépasse donc le cadre de cette recherche.

Capacité environnementale : Elle représente le niveau de l'activité humaine que peuvent supporter l'environnement et les écosystèmes dans un territoire sans y causer de sérieuses dégradations, et en maintenant la qualité de vie. Eu égard l'activité humaine, l'environnement naturel fournit deux types de services : approvisionnement en ressources et assimilation des déchets :

⁵³ Capacité perceptuelle : Elle se base sur l'idée que la communauté se fait de l'environnement qui l'entoure, et reflète le degré de changement qui s'y opère, au-delà duquel la communauté perçoit visuellement et psychologiquement ce changement, et se rend compte que l'environnement est différent de ce qu'il était. L'évaluation de la capacité perceptuelle se fait par le biais des enquêtes sociales lesquelles révèlent l'opinion publique à l'égard de l'environnement et permettent par voie de conséquence de déceler les éventuelles tensions sociales (Godschalk & Parker, 1975).

- La capacité d'approvisionnement constitue la capacité de l'environnement à fournir, les ressources nécessaires à la population et à l'activité économique. Elle est fonction de la capacité de renouvellement des ressources, et de la capacité des technologies à améliorer l'efficacité de leur utilisation.
- La capacité assimilatrice est, selon Khanna & al. (1999), la charge maximale de pollution qui peut être rejetée dans les milieux récepteurs sans altérer les fonctions qu'elles remplissent au sein de l'écosystème urbain. Ces milieux sont dotés de pouvoirs auto épuratoires moyennant des processus physico-chimiques et biologiques, qui permettent la dilution, la dispersion et l'élimination des polluants (ibid.). Mais arrivé à un certain seuil, que Bishop & al. (1974) définissent comme un niveau de pollution irréversible (*nonreversible pollution*) en raison de rejets excessives de polluants, ces milieux ne pourront plus s'auto épurer et revenir aux niveaux acceptables de concentration de polluants.

Bishop & al. (1974), soulignent la relation entre la capacité d'approvisionnement et la capacité d'assimilation, dans la mesure où cette dernière est déterminante de la qualité et de la quantité d'approvisionnement en ressources.

En se basant sur la nouvelle conception de la durabilité, qui met la dimension environnementale au cœur des préoccupations des stratégies de développement, la capacité environnementale serait dans ce sens l'ultime capacité à considérer lors de la programmation de la croissance urbaine, qui sera désormais dictée par les limites imposées par la nature. Ceci requiert la définition des seuils de croissance, résultant d'un compromis à faire entre l'utilisation des ressources et les niveaux de consommation d'un côté, et les attentes en matière de protection de l'environnement de l'autre.

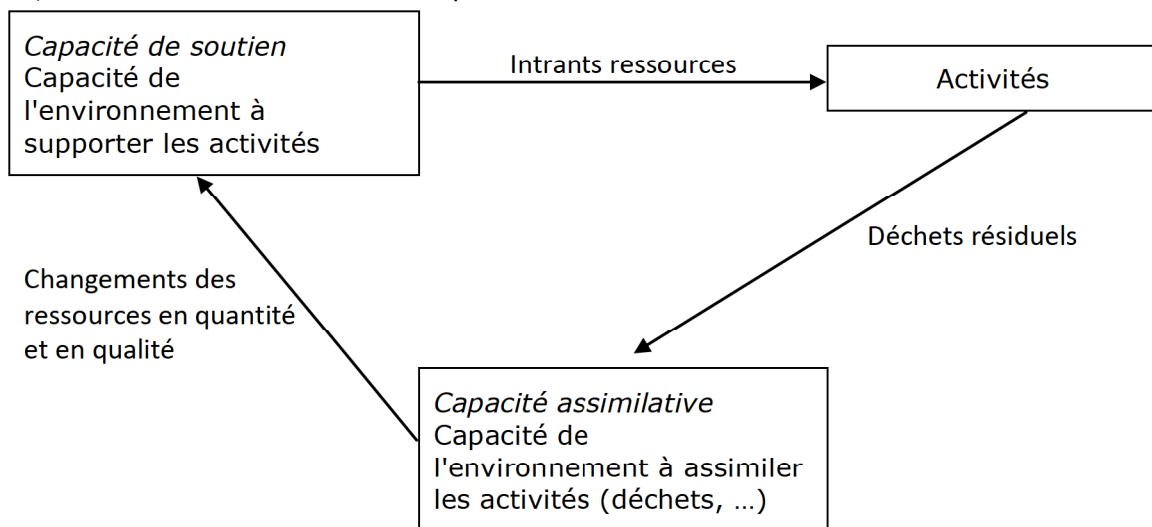


Figure II.5. La relation entre les capacités d'approvisionnement et d'assimilation

Source. (Bishop, Fullerton, Carwford, Chambers, & Mckee, 1974)

Capacité des infrastructures : Elle peut être définie comme le niveau de l'activité humaine que peuvent supporter les infrastructures, les services et le logement dans un territoire sans causer des dommages irréversibles à l'environnement, et sans compromettre la qualité de vie. A ce niveau, la capacité des infrastructures reste le facteur principal d'évaluation tout en tenant compte de l'impact sur l'environnement, du fait des ressources consommées et des déchets générés (Sahely, Kennedy, & Adams, 2005). Il faut remarquer en passant qu'au regard de la capacité d'approvisionnement et la capacité d'assimilation, des installations jouent un rôle non négligeable dans l'amélioration de l'une ou de l'autre capacité, à travers l'utilisation efficace des ressources et la réduction des pollutions rejetés dans les milieux récepteurs.

Capacité institutionnelle : Ici sont considérés les divers cadres légaux et politiques ainsi que les moyens financiers, mis en œuvre en vue de contrôler la croissance et le développement des activités. Cette capacité se manifeste notamment par la mise en œuvre : de lois ainsi que leurs applications dans des domaines tels la protection de l'environnement et de la biodiversité, la régulation des zonages et l'occupation au sol, etc; de mesures en direction de l'utilisation efficace et rationnelle des ressources. Dans le cycle de croissance urbaine (Berezowska-Azzag, 2011a), on relève l'existence de seuils dont la planification urbaine devrait tenir compte. Les vannes représentant à cet égard les moyens institutionnels de maîtrise de contrôle de la croissance urbaine (voir figure II.7).

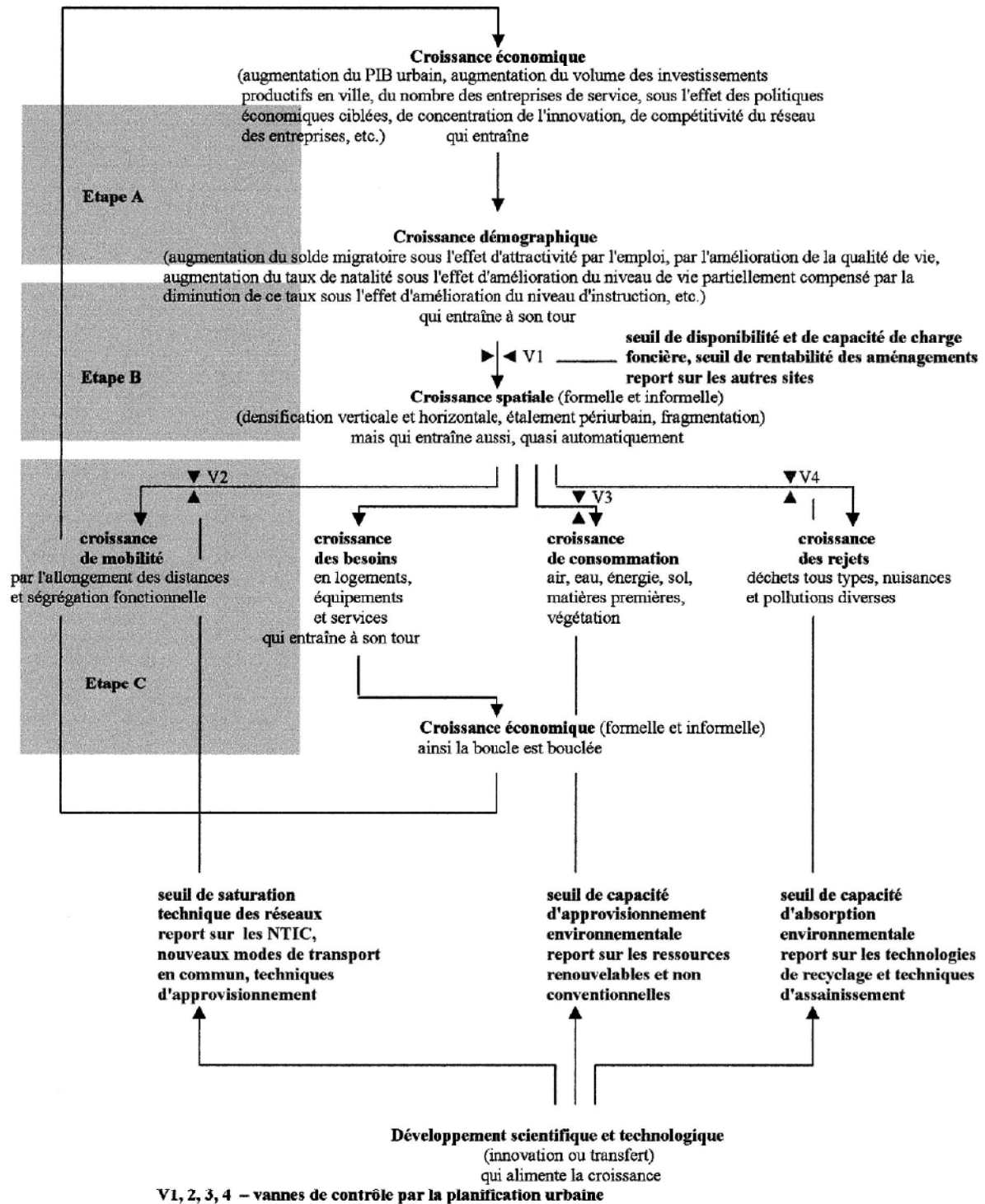


Figure II.6. Vannes de contrôle de la croissance urbaine.

Source. (Berezowska-Azzag, 2011a)

Chacune des composantes de la capacité de charge urbaine citées ci-dessus, se décline en un certain nombre de facteurs limitants "limiting factors". Concept emprunté de la biologie, le facteur limitant représente l'élément dont la carence entrave ou empêche la vie d'une espèce. La disponibilité de cet élément en quantité minimale est indispensable à la vie et à la croissance de l'espèce, indépendamment de l'abondance des autres éléments. Dans le contexte des populations humaines, il représente toute

ressource limitant la croissance de la population, par exemple la nourriture, l'eau, la disponibilité du foncier, etc. (Starr & McMillan, 2013). L'homme ne pourrait se passer d'eau quand bien même l'abondance d'autres ressources.

Le concept de facteur limitant est donc inhérent au concept de capacité de charge. Chaque facteur limitant est un élément dont il faut évaluer la capacité, c'est-à-dire le niveau de l'activité humaine qu'il peut supporter, en vue de connaître les limites de la croissance à envisager pour l'avenir. Le tableau ci-après reprend certains des facteurs de limitation de la croissance urbaine.

Composante de la capacité de charge	Exemples de facteurs limitants
capacité environnementale	sol, topographie, végétation, espaces verts, zones humides, risque naturel, qualité de l'eau et de l'air, disponibilité de l'énergie
capacité des infrastructures	traitement des eaux usées, traitement des déchets, approvisionnement en eau, approvisionnement en énergie, réseau ferroviaire, métro, réseau routier, logement, services administratifs, éducation, et loisirs
Capacité institutionnelle	Régulation de l'utilisation du territoire (ex. contrôle des densités, standards de performance), structure gouvernementale, stabilité financière, limites culturelles et économiques des décisions environnementales

Tableau II.1. Facteurs déterminants de la capacité de charge urbaine

Source. (Godschalk & Axler, 1977; Onishi, 1994; Oh, Jeong, Lee, Lee, & Choi, 2005; Rao & Chennamaneni, 2007; Berezowska-Azzag E. , 2005).

II.2.3. La capacité de charge et la planification urbaine durable

McHarg (1969), fut l'un des premiers à avoir remis en cause la planification spatiale déterminée exclusivement par le besoin de s'accommoder à la croissance de la population projetée et au développement économique. Bien qu'il n'ait pas fait référence explicitement, dans son ouvrage *"Design with nature"*, au concept de capacité de charge, MchHarg (1969) soutenait l'idée que chaque région dispose d'aptitude intrinsèque à certains usages du territoire, et que toute programmation de développement territorial ne devrait considérer que les usages qui n'interfèrent pas avec les processus naturel et biologique de ladite région.

Bishop & al. (1974), vont dans le même sens en affirmant que ce sont les contraintes environnementales imposées par les caractéristiques écologiques de la région qui déterminent la programmation des activités urbaines, des modes d'occupation au sol, ainsi que de la distribution et des densités de la population. La préservation des ressources environnementales devrait désormais, selon Godshalk & Axler (1977), constituer la limite à l'urbanisation, à la différence du point de vue traditionnel qui donne

à considérer des ressources "illimitées" mises à la disposition de l'homme, car en fin de compte la survie de l'espèce humaine dépend de l'intégrité de l'écosystème dans lequel elle vit. Le rôle de la capacité de charge serait à ce propos de permettre de quantifier ce capital naturel (Lane, 2010), et de déterminer par-là le niveau de croissance et la population optimale pouvant être supportée au regard des ressources disponibles (Indian Institute of Technology Guwahati, 2011-2012). En prenant appui sur les résultats de l'analyse de la capacité de charge, les pouvoirs publics peuvent revoir leur politique de sorte que les plans de développement soient compatibles avec les limites de la capacité de l'environnement (Witten, 2001). L'analyse permettrait, également selon le même auteur, d'appréhender les pressions qui s'exercent sur les territoires, de définir les points de vulnérabilité et d'éclairer enfin sur le niveau de maîtrise de la charge anthropique.

Comme la ville se doit de se développer, ne serait-ce que pour répondre aux besoins de ses propres habitants, l'enjeu pour la planification urbaine "basée" sur la capacité de charge serait alors le développement de procédures et mécanismes analytiques qui soient à même de concilier les attentes sociales avec les limites de la capacité de l'environnement naturel (Bishop, Fullerton, Carwford, Chambers, & Mckee, 1974). Ce qui revient à gérer la demande en matière des différentes ressources naturelles disponibles au niveau local et également au niveau régional de manière à garantir la qualité de vie des habitants du territoire sans nuire à la bonne santé de l'écosystème. A cet égard, Zhang & al. (2010), recommandent de définir en premier lieu les ressources nécessaires pour soutenir le fonctionnement de l'écosystème. La définition du niveau de croissance et la population à soutenir ne se fera qu'après avoir répondu aux besoins de l'écosystème.

Même si la capacité naturelle représente "la capacité des capacités", et que sans les ressources naturelles toute forme de vie sur cette planète, serait anéantie, d'autres capacités importantes apparaissent dans la planification urbaine. Il s'agit des différentes capacités ou composantes de capacité de charge citées ci-dessus à savoir capacité des infrastructures, institutionnelle et perceptuelle. Il serait plus évident d'intervenir en vue d'améliorer ces capacités que la capacité naturelle, mais elles devraient être considérées lors de l'élaboration des politiques urbaines et les différents plans d'action, dès lors qu'elles définissent les contraintes et les domaines du possible d'une part, et éclairent sur les modalités pour rendre plus performantes ces différentes "capacités".

Aussi, pour conduire une planification urbaine soucieuse de la durabilité de l'écosystème urbain, il faudrait connaître donc évaluer la capacité de charge de ce dernier, c'est-à-dire sa capacité à supporter la croissance. Dans les paragraphes qui suivent nous reprenons les principales méthodes développées afin d'évaluer la capacité de charge.

II.3. Evaluation de la capacité de charge

II.3.1. Evaluation du nombre de population limite

L'évaluation de la capacité de charge se traduit, comme l'indique sa définition, par le nombre maximum de population que peut supporter indéfiniment un endroit donné sans causer de dommages irréversibles à l'environnement (Lane, 2010). Nous proposons ci-après, de manière non exhaustive, quelques-unes des formulations pour calculer le nombre maximum de population:

II.3.1.1. L'équation de Penck (1925)

Le géographe allemand Albrecht Penck (Penck A. , 1925) est un des premiers à avoir proposé, la formule de calcul de la population limite (Cohen, 1995). En considérant, à l'instar de ses prédécesseurs Malthus et Verhulst, la ressource alimentaire comme *le facteur de subsistance* de l'espèce humaine, l'auteur proposa de définir la population limite pouvant être nourrie au vu de la disponibilité de ladite ressource et le besoin alimentaire de l'individu. Ultérieurement, la formule fut utilisée pour le calcul de la capacité de charge en considérant d'autres facteurs de limitation, pris isolément, tels que l'énergie, le sol, l'eau, les déchets, etc. Ce qui donne évidemment si on l'applique pour une région donnée, des tailles différentes de population en fonction du facteur de limitation pris en compte. C'est la taille minimum obtenue qui sera retenue comme la population limite, selon la loi du minimum de l'agriculteur et chimiste allemand Freiherr von Liebig (1803-1873) (Cohen, 1995).

La formulation générale de l'équation de Penck est donnée ci-après :

$$\text{Capacité de charge} = \frac{\text{Disponibilité naturelle de la ressource}}{\text{Cosommation par habitant de ladite ressource}}$$

Ultérieurement, d'autres auteurs ont formulé des équations et des modèles similaires dans le principe, à la proposition de Penck.

II.3.1.2. L'équation d'Ackermann (1959)

En réalité, la formulation de Penck sous-entend des calculs plus élaborés, car comme nous l'avons vu auparavant dans les sociétés humaines, la capacité de charge est étroitement liée au style de vie, au progrès technologique, au commerce, à l'organisation institutionnelle et la structure économique. Ackermann a repris ces éléments dans sa formule de calcul de capacité de charge (Ackerman, 1959). Toutefois, même si sur le plan théorique la formule paraît plus complète du fait qu'elle n'omet aucun élément caractérisant la capacité de charge humaine, il demeure selon Zelinsky & al. (1970), extrêmement difficile voire impossible, de quantifier certains facteurs de cette formule, de même que la collecte de l'information nécessaire au calcul.

$$P = \frac{RQ(TAS_t) + E_s + T_r \pm F - W}{S}$$

Où les symboles ont la signification suivante :

- P : Population
- S : Standard de vie
- R : Quantité de ressources
- Q : Facteur de qualité naturelle des ressources
- T : Facteur technologique
- A : Facteur administratif
- S_t : Facteur de stabilité des ressources
- W : Élément d'économie
- F : Caractéristique institutionnelle de la société
- E_s : Élément économie d'échelle
- T_r : Ressources ajoutées par le commerce

II.3.1.3. L'équation de Wisniewski (1980)

Le postulat, ici, est que la capacité de charge n'est pas un seuil absolu mais relatif, variable en fonction du temps i.e. la demande par habitant et la quantité d'approvisionnement de la ressource, sont variables dans le temps.

$$P \times Dt \leq Rt$$

" P " c'est la population; " Dt " se réfère à la demande par habitant pendant l'intervalle t et " Rt " représente la quantité d'approvisionnement de la ressource de limitation dans l'intervalle t .

II.3.1.4. Le modèle d'Oh & al.(2005)

Oh & al. (2005), utilisent le modèle d'évaluation de la capacité de charge pour estimer la population pouvant être supportée par Gangnam, l'un des quartiers les plus denses de Seoul, et d'en déduire ainsi la densité maximale exprimée en COS (coefficient d'occupation du sol), et en considérant les sept facteurs de limitation suivants : énergie, espaces verts, réseau routier, le réseau de métro, approvisionnement en eau, traitement des eaux usées et des déchets. La capacité de charge est définie selon la formulation générale de Penck, c'est-à-dire sur la base de la capacité de chacune des infrastructures urbaines ainsi que les services cibles par habitant y afférents (par exemple une consommation journalière de l'eau de l'ordre de 310 litres représente le service cible des infrastructures d'approvisionnement en eau potable, et pour le traitement des déchets, un niveau de service de 100% de traitement des déchets produits par chaque habitant est impératif).

Les auteurs discutent également de l'impact des infrastructures polluantes en l'occurrence les infrastructures routières, d'énergie et de traitement des eaux usées et des déchets, sur la qualité de l'air et de l'eau en vue de déterminer les tailles de populations les plus appropriées correspondantes, lesquelles sont réajustées selon les seuils minimums de concentration dans l'air ou dans l'eau des polluants générés par les dites infrastructures (par exemple la concentration dans l'air de la dioxine générée par les installations de traitement des déchets doit être inférieure à 0,0006 ng/Nm³, la concentration dans les cours d'eau de la DBO générée par les stations d'épuration ne doit pas dépasser 6 mg/l).

Les "sept capacités de charge" relatives à chacun des facteurs de limitation et les COS correspondants ainsi calculés ont permis de vérifier l'état des dépassements des capacités de charge au regard des facteurs de limitation, dans différentes zones du quartier. Et comme le préconise la loi du minimum de Liebig, la densité retenue (COS) est déterminée à partir de la taille minimum de population obtenue, en l'espèce le nombre de population pouvant être supporté par le réseau routier.

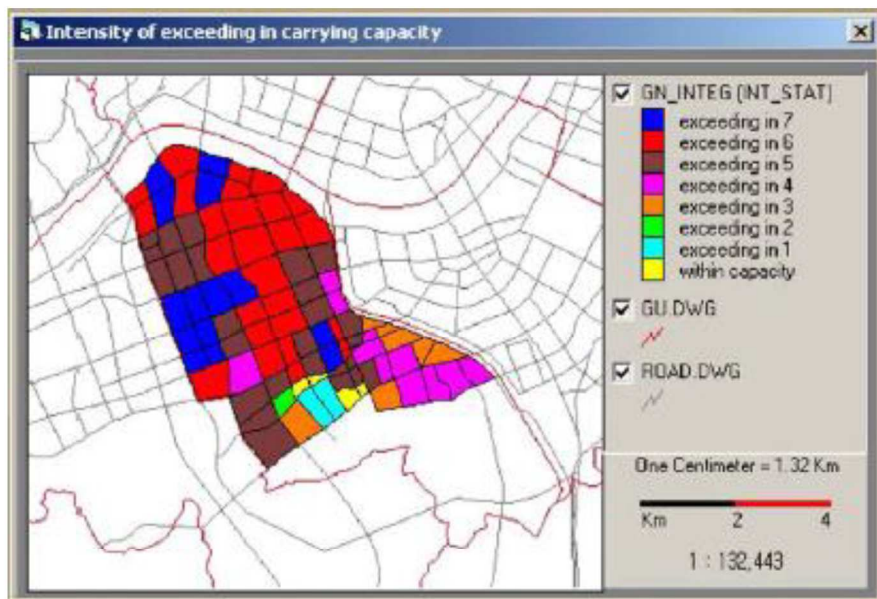


Figure II.7. Etat de dépassements des capacités de charge dans le quartier Gangnam

Source. (Oh, Jeong, Lee, Lee, & Choi, 2005)

II.3.1.5. Equation de Berezowska-Azzag (2012)

Berezowska-Azzag (2012) modélisa la capacité de charge par une équation qui reprend les composantes et facteurs influant sur la capacité de charge territoriale. Cette capacité de charge étant proportionnelle à la capacité de charge environnementale. Cette équation est formalisée ci-après :

$$CCT = (k * CCE) * CR$$

CCT : capacité de charge territoriale

K : coefficient de résilience à terme sans investissement supplémentaire, qui prend en compte les incertitudes (climatiques, géotechniques, sociales, économiques).

CCE : capacité de charge environnementale à l'instant T sans investissement. Cycliquement partiellement renouvelable. Sa résilience relève de l'action humaine.

CR : capacité de réponse nécessaire pour augmenter la CCT par des projets d'investissement dont le financement, la faisabilité et les impacts sont réputés vérifiés.

Dans cette équation, la capacité de réponse est le facteur qui caractérise l'aptitude des sociétés humaines à augmenter la capacité de charge par des diverses actions qui peuvent être de nature technologique, économique, organisationnelle et socioculturelle.

II.3.2. Evaluation de l'impact sur l'environnement

II.3.2.1. L'empreinte écologique

Le concept d'empreinte écologique fut développé par Wackernagel et Rees (1999) aux débuts des années 1990 dans l'objectif d'évaluer l'impact de la croissance de la population et des activités humaines sur le milieu naturel. Concrètement, il s'agit d'un indice qui mesure la demande de l'humanité vis-à-vis de la biosphère, exprimée en surfaces de terre et d'eau biologiquement productives, nécessaires pour produire les ressources et assimiler les déchets générés. Six catégories de surfaces sont à considérer (Monfreda, Wackernagel, & Deumling, 2004) : terres cultivées (nourriture, fourrage, fibre et huile); pâturages (pacage d'animaux pour leur viande, peaux, laine et lait); les forêts (bois, fibres, pulpe et bois de chauffage); zones de pêche (poisson et fruits de mer); sol urbanisé; et surfaces d'énergie (aire hypothétique nécessaire pour absorber le CO₂ libéré par la combustion de combustibles fossiles). L'empreinte écologique s'obtient de la somme de ces "surfaces de consommation". Mais comme elles n'ont pas la même productivité, il faut les convertir en hectares globaux. Un hectare global (hag) représente un hectare de terre avec une productivité (à fournir des ressources et à absorber des déchets) correspondant à la moyenne mondiale. L'empreinte écologique ainsi calculée permet de comparer l'empreinte d'une population par rapport à la surface biologiquement productive locale ou planétaire (biocapacité) estimée disponible. Il est impératif qu'elle reste en dessous de la biocapacité (capacité biologique), auquel cas il y aura un déficit écologique. Ce déficit écologique s'exprime par la formule suivante :

$$\text{Déficit écologique (hag)} = \text{Empreinte Ecologique (hag)} - \text{Biocapacité (hag)}$$

Les concepts d'empreinte écologique et de capacité de charge, se ressemblent dans la mesure où tous les deux cherchent à analyser les limites de la croissance, d'ailleurs le premier concept fut proposé pour la première fois sous le vocable de "capacité de charge appropriée" (Rees & Wackernagel, 1992). C'est dans la manière d'aborder la question que réside la différence : si le but de l'empreinte écologique est de savoir si la demande en services de la biosphère est inférieure ou dépasse sa capacité, la capacité de charge en revanche, cherche à informer sur la limite de la croissance au regard de la capacité de la biosphère. Par conséquent, il existe une espèce de dualité entre ces deux modèles; en fait l'empreinte écologique exprime en quelque sorte le degré de dépassement de la capacité de charge (Abram Alberdi, 2006)

II.3.2.2. L'équation IPAT

En 1971, Ehrlich et Holdren proposent une première tentative de formulation d'une équation en vue de mesurer l'impact sur l'environnement de la croissance de population, en prenant en considération la taille de la population P et l'impact par habitant F (Ehrlich & Holdren, 1971):

$$I = P \times F(P)$$

L'impact F est lié à la consommation par habitant des ressources et biens manufacturés, et par voie de conséquence aux technologies utilisées pour transformer les ressources en biens de consommation. De même, la taille de la population peut augmenter ou réduire l'impact individuel, d'où la fonction $F(P)$. Une croissance démographique rapide peut avoir des répercussions sur les revenus et ainsi donc sur les niveaux de consommation, particulièrement dans les pays en voie de développement. En outre, l'impact peut être réduit du fait de la baisse des coûts relatifs à la production des biens en grandes quantités, c'est ce que l'on appelle l'économie d'échelle. D'un autre côté, en matière de mobilisation des ressources naturelles, l'énergie par exemple, il s'avère que la pression démographique appellera un renforcement des infrastructures impliquant des coûts économiques et environnementaux. Tels ont été les arguments avancés par les auteurs pour expliquer et justifier leur formulation.

La technologie et le niveau de consommation sont reconnus ici comme des facteurs importants dans la mesure de l'impact de la croissance sur l'environnement, mais ils n'apparaissent pas comme des variables à part entière, ils sont sous-entendus dans le calcul de l'impact individuel F . Après des débats qui les opposèrent au biologiste Barry Commoner sur la question de l'impact environnemental aux Etats Unies, Paul R. Ehrlich et John Holdren présentèrent une amélioration de la formule d'impact précédente, connue désormais sous le nom IPAT, qui mesure le niveau de dégradation de

l'environnement sous la pression de la *croissance de la population*, au vu des *modes de consommation* et du *progrès technologique* (Ehrlich & Holdren, 1972) :

$$I = P \times A \times T$$

"I" se réfère à l'impact sur l'environnement, "P" à la taille de la population, "A" au niveau de consommation (par habitant) des ressources par la population P, et enfin "T" se réfère aux technologies exprimées en énergie utilisée pour obtenir et transformer les ressources en biens de consommation.

Pour conclure cette section, nous pouvons dire que les méthodes d'évaluation d'impact peuvent être vues comme une approche indirecte d'évaluation de la capacité de charge (Indian Institute of Technology Guwahati, 2011-2012) dans le sens où elles cherchent à fournir un cadre de réflexion sur les moyens pour réduire l'impact sur l'environnement, et d'ainsi permettre l'amélioration de la capacité de charge dans l'objectif de maintenir un niveau de durabilité acceptable.

II.3.3. Indicateurs

Les indicateurs de durabilité constituent un des concepts-clefs de cette recherche dont l'objectif est de modéliser un système d'indicateurs pour l'évaluation de la capacité de charge. Mais ici, il n'est pas question de développer les aspects inhérents à ce concept utiles pour bâtir notre démarche, lesquels feront matière de propos à venir. Le but de cette section est de présenter un aperçu sur le rôle des indicateurs dans l'évaluation de la capacité de charge. La construction des indicateurs d'évaluation de capacité de charge étant au cœur de notre travail, elle sera explicitée au chapitre III de cette thèse.

Globalement l'objectif des indicateurs est de rendre mesurable un phénomène ou une question étudiée. Vu sous cet angle, la capacité de charge pourrait être traduite en un ensemble d'indicateurs permettant de décrire ses deux composantes clefs la caractérisant, à savoir la capacité à fournir les services, et les modes de consommation liés au style de vie.

En ce qui concerne la première composante, les indicateurs portent tant sur la capacité des systèmes naturels et des infrastructures à soutenir la croissance et les activités humaines qu'à l'impact sur les systèmes naturels, par exemple des indicateurs de : capacité d'approvisionnement naturel en ressources, qualité de l'air, qualité de l'eau, capacité des réseaux de transport, disponibilité des sols urbanisables, etc. Ce type d'indicateurs renseigne sur les limites de l'écosystème urbain à absorber la croissance, et s'insère dans l'approche par seuils environnementaux qui se fonde sur la mise sur pied d'un set de standards de seuils, afin d'encadrer le développement et le contrôler (Aspeshlagh, 1994; Berezowska-Azzag E. , 2005). La poursuite du développement au-delà

des seuils critiques devrait engendrer des problèmes environnementaux graves et avoir des répercussions négatives sur la santé publique, la sécurité et le bien-être des populations, si les mesures nécessaires ne seront pas prises (Godschalk & Axler, 1977). Des indicateurs de seuils ont été développés pour décrire les facteurs déterminant la croissance urbaine comme c'est le cas du tableau de bord d'indicateurs de capacité de charge urbaine proposé par le "National Institute of Urban Affairs" de New Delhi (1997), et pour la capacité de charge urbaine relative aux ressources hydriques par Joardar (1998).

La capacité de charge doit également être décrite par un ensemble d'indicateurs socio-économiques qui déterminent la demande des services environnementaux, tels les indicateurs relatifs au niveau de vie, au progrès technologique, à l'aspect institutionnel, etc. Le rôle de tels indicateurs serait de rendre explicite le rapport entre la dimension socio-économique et l'impact sur l'environnement, dans l'optique de réduire ce dernier sans compromettre la qualité de vie des habitants.

II.3.4. Tableau récapitulatif de méthodes d'évaluation de la capacité de charge

En définitif, les différentes méthodes suscitées représentent des manières pour exprimer la capacité de charge, laquelle peut : signifier le nombre limite de population que les écosystèmes peuvent soutenir, être traduite par l'impact de la croissance sur les écosystèmes ; et enfin être représentée par des indicateurs décrivant les facteurs relatifs aux capacités à fournir des ressources et à absorber les polluants. Ci-après, nous présentons un tableau récapitulatif de ces différentes méthodes d'évaluation de la capacité de charge recensées :

Méthode d'évaluation	Exemples de travaux
Evaluation du nombre de la population limite	L'équation de Penck (Penck A. , 1925) L'équation d'Ackermann (Ackerman, 1959) L'équation de Wisniewski (Wisniewski, 1980) Le modèle d'Oh & al. (Oh, Jeong, Lee, Lee, & Choi, 2005) L'équation de Berezowska-Azzag (Berezowska-Azzag, 2012)
Evaluation de l'impact sur l'environnement	L'empreinte écologique (Rees W. E., 1992) L'équation IPAT (Ehrlich & Holdren, 1971)
Indicateurs de capacité de charge	Indicateurs de capacités de charge urbaines environnementales (Indian Institute of Technology Guwahati, 2011-2012) Indicateurs de la capacité de charge des infrastructures de l'eau (Joardar, 1998)

Tableau II.2. Principales méthodes d'évaluation de la capacité de charge humaine

Source. Auteur

II.4. Concept de la capacité de charge relative aux ressources en eau

II.4.1. Définition

Le concept de la capacité de charge des ressources en eau, connu sous le vocable *WRCC Water Resource Carrying Capacity* par les anglophones, est une application du concept de capacité de charge aux ressources hydriques, qui représente un facteur limitant de la croissance aussi bien des populations humaine et animale que les espèces végétales. Ce concept a été proposé pour la première fois par *The China Xinjiang Water Resource Soft-Science Research Panel* en 1989 (Feng, Zhang, & Luo, 2008). Le terme *WRCC* n'a pas été très usité au départ. Toutefois, la question des limites écologiques (ou du système naturel) des ressources hydriques a été abordée dans le cadre de la théorie du développement durable (Ibid.), par exemple dans les travaux de Kuylenskierna & al. (1997), de Vörösmarty & al. (2000), de Falkenmark & Lundqvist (1998), etc. D'autres travaux qui se sont focalisés sur l'analyse de la capacité de charge ont traité de la question des ressources hydriques autant que composante de la capacité de charge à considérer (ou facteur limitant), à titre non exhaustive, nous citons : les travaux de Harris (1999) sur la capacité de charge dans l'agriculture, l'étude de la capacité de charge du bassin des Keys de Floride aux Etats Unies en vue de modéliser des scénarios d'utilisation du territoire (NRC, 2002), les travaux de Oh & al. (2005), cités plus haut, etc. Mais c'est en Chine que la recherche traitant expressément de la capacité de charge des ressources hydriques fut abondamment développée : (Shi & Qu, 1992; Zhongmin, 1999; Li, Guo, & Chen, 2000; Liu & Chen, 2007; Feng, Zhang, & Luo, 2008; Li, Wei, & Lu, 2010); et récemment des travaux se sont penchés sur la question de la capacité de charge des ressources hydriques au milieu urbain : (Song, Kong, & Zhan, 2011; Ming, 2011; Liu H. , 2012). Il est à noter que l'indien Joardar (1998) a fait l'exception en ayant proposé une étude basée sur la capacité de charge pour planifier les infrastructures d'approvisionnement en eau et d'assainissement, sans toutefois employer le terme *capacité de charge des ressources en eau WRCC*.

En dépit du nombre de recherches en matière de capacité de charge des ressources en eau, il n'y a pas, à ce jour, encore de consensus sur une définition de la *WRCC*. Elle est d'abord une mesure de la sécurité de l'eau (Rijsberman & van de Ven, 2000; Xia & Zhu, 2002), sur lequel repose la sécurité alimentaire, économique, sociale, écologique, et surtout la survie de l'espèce humaine (Knapp, 1995). Certains la définissent par rapport aux facteurs desquels elle dépend : la population, l'environnement naturel régional, la disponibilité des ressources en eau, la structure socioéconomique et la technologie (Feng, Zhang, & Jia, 2003; Giupponi, Mysiak, Fassio, & Cogan, 2004). Selon Giupponi (2004), ces facteurs en interaction, sont à la fois causes et effets, se restreignent mutuellement et agissent par des boucles de rétroaction positive et négative. D'autres appliquent au

concept WRCC la définition de la capacité de charge : le nombre de population, et les activités de production que les ressources en eau peuvent soutenir (Wang, 2010). Song & al. (2011), précisent que cette définition s'applique à un certain stade de développement socioéconomique ou à un certain niveau de vie.

Pour résumer, la capacité de charge des ressources en eau hydrique fait appel à deux aspects en interaction, à savoir le social et le naturel, qu'il faut analyser en vue d'assurer la satisfaction des besoins sans porter atteinte au système naturel. L'accent est mis sur la satisfaction des besoins domestiques, qui demeurent la priorité de toute stratégie de développement, car la santé de l'homme est étroitement liée au niveau de consommation de l'eau. En définitif, nous proposons de définir la capacité de charge des ressources en eau comme le niveau de l'activité humaine que peut soutenir les ressources en eau, sans entraîner leur épuisement et des dommages considérables à l'environnement et aux écosystèmes aquatiques, tout en maintenant la qualité de vie de la population.

L'analyse de la capacité de charge des ressources hydriques pour une région donnée, devrait permettre de déterminer les seuils de développement futur au regard de la disponibilité des ressources hydriques, auxquels il faut se référer dans l'élaboration de toute stratégie de développement. Dans l'objectif de mesurer la capacité à satisfaire les besoins en ressources hydriques aux niveaux nationaux et régionaux, des indices ont été développés.

II.4.2. Indices de pénurie des ressources hydriques

L'accès à l'eau constitue un des défis auxquels devraient faire face bon nombre de pays du monde soumis à la pénurie d'eau conjuguée à l'accroissement de la demande. C'est la raison pour laquelle un certain nombre de programmes d'action ont été établis dans le but d'améliorer l'accès à l'eau. L'élaboration des stratégies de l'eau ainsi que la mise en place des programmes d'action repose sur la connaissance de la capacité hydrique des régions ou pays considérés. C'est dans ce contexte qu'ont vu le jour les indices de l'eau. Nous exposons ci-après quelques-uns de ces indices.

II.4.2.1. Indice de Falkenmark (indice de stress hydrique)

Proposé par l'hydrologue suédoise Falkenmark (1989), l'indice qui porte le nom de sa conceptrice est le plus fréquemment utilisé (Jemmali, 2013) à cause de la facilité de son interprétation, de la simplicité de son calcul, et de la disponibilité des données requises pour le calculer. L'indicateur représente le ratio ressource en eau par habitant, qui est le rapport entre l'écoulement (eau renouvelable) moyen par pays ou région et le nombre total d'habitants. En dessous de 1700 m³/ hab, le pays ou la région est soumis au stress hydrique. Pour une comparaison pertinente, l'auteur a défini des niveaux de

pénurie : pénurie d'eau absolue, manque d'eau chronique et stress hydrique modéré (voir tableau).

Disponibilité annuelle (par hab en m3)	Situation hydrique
> 1700	Pas de stress hydrique
1000-1700	Stress hydrique modéré
500-1000	Manque d'eau chronique (Pénurie)
<500	Pénurie d'eau absolue

Tableau II.3. Seuils de pénurie d'eau proposés par Falkenmark (1989)

Engelman & LeRoy (1993), ont utilisé l'indicateur Falkenmark pour analyser le niveau de pénurie de 149 pays et, en se basant sur des prévisions de la croissance démographique, pour établir des scénarios du futur. En 2005, une étude similaire a été proposée par les instances internationales à savoir la FAO, les Nations Unies et l'Institut des ressources mondiales (WRI). Le résultat a été représenté sur une carte du monde conçue par Philippe Rekacewicz, qui met en évidence les disparités en matière de disponibilité des ressources hydriques entre les pays de la planète.

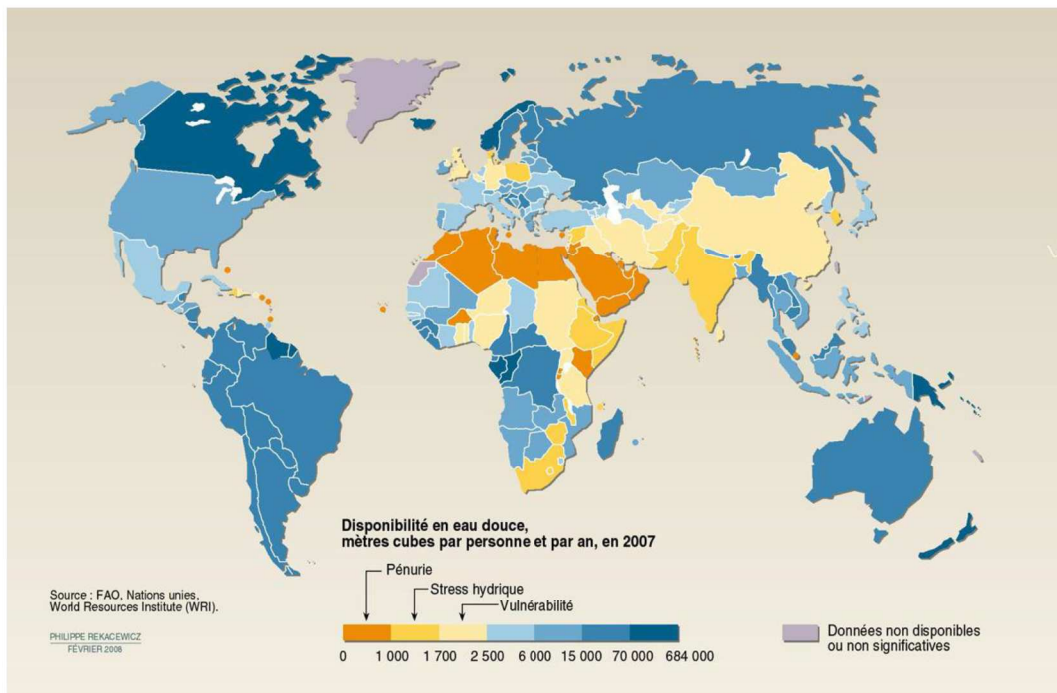


Figure II.8. Disponibilité en eau douce

Source. Rekacewicz, Philippe http://www.grida.no/graphicslib/detail/global-waterstress-and-scarcity_14bc

L'indice permet de donner une appréciation globale de la situation de la disponibilité de l'eau d'une région ou d'un pays, mais qui reste biaisée, dans la mesure où l'eau importée à travers les biens agricoles, et l'eau non conventionnelle issue du dessalement

et de la réutilisation des eaux usées, ne sont pas prises en compte dans le calcul (Margat & Vallée, 1997; White, 2012). On reproche également à cet indicateur le fait d'ignorer les différences régionales caractérisant les pays ou même les bassins assez étendus, qui portent aussi bien sur les conditions climatiques et hydrologiques, que sur la répartition des populations et des activités (Rijsberman F. R., 2006). Le calcul de l'indice selon plusieurs découpages territoriaux dans pays méditerranéens à révélé le décalage entre les échelles spatiales du calcul et des situations locales très contrastées que cache un indice global comme le fait remarquer Margat (2005) pour l'Espagne et la Turquie.

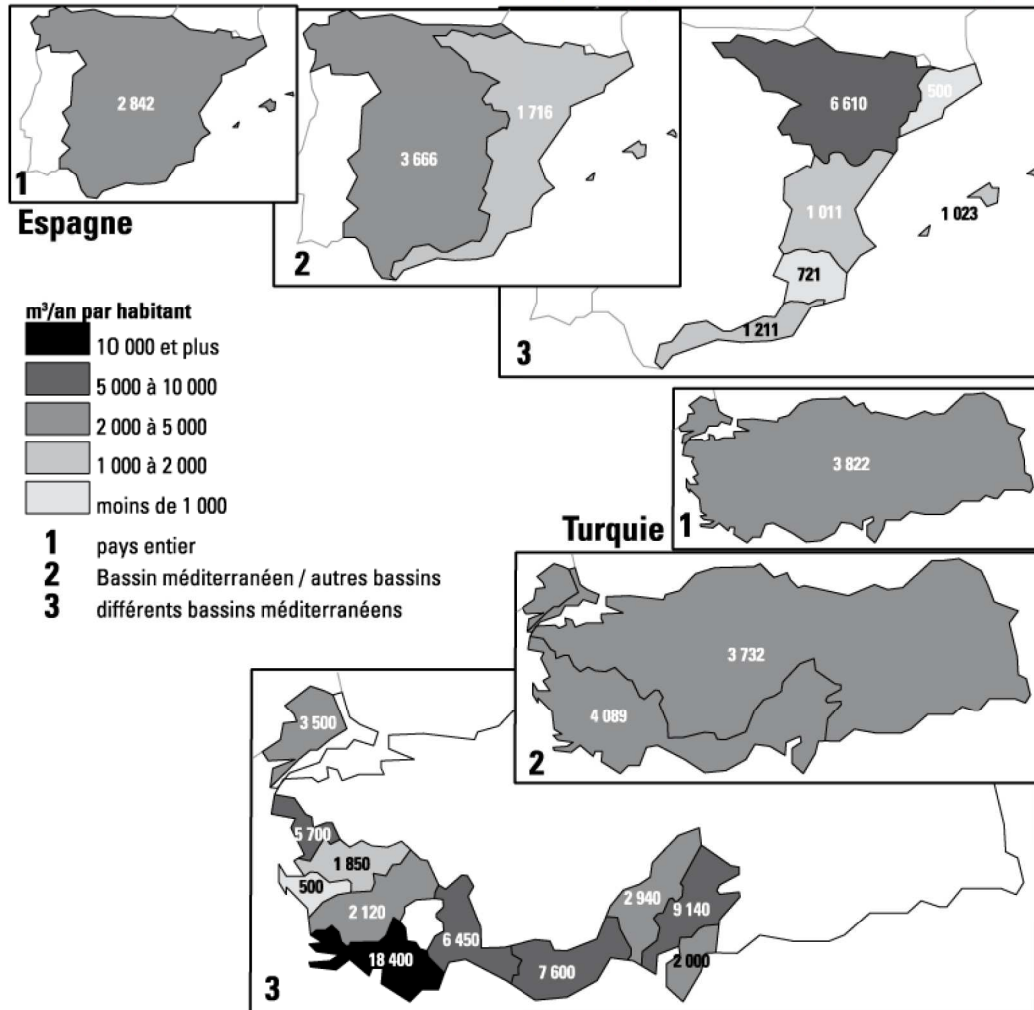


Figure II.9. Ressources en eau naturelles par habitant en Espagne et en Turquie (population 1995)

Source. (Margat, 2005)

II.4.2.2. Indice de Rareté Sociale de l'Eau

Ohlsson (2000) développa en 2000 l'indice de rareté sociale de l'eau *Social Water Stress Index*, qui représente la corrélation du volume brut des ressources disponibles par habitant à l'indice de développement humain IDH. L'objectif central de l'élaboration de cet indicateur est de permettre de considérer la capacité d'un pays ou d'une région à s'adapter au stress hydrique par, par exemple, l'utilisation des technologies d'irrigations économes en eau, le recyclage des eaux usées épurées, etc. Aussi, la situation hydrique

des pays ne sera pas perçue de la même manière que si elle était analysée par l'indice de Falkenmark : des pays comme la Corée du Sud, la république de Maurice, la Pologne, la Belgique, le Royaume Uni ou même l'Iran, qui étaient catégorisés comme vulnérable au stress hydrique selon l'indice de Falkenmark, avec l'indice de rareté sociale de l'eau, ils deviennent relativement suffisants du fait de leur capacité d'adaptation sociale que dénote un IDH élevé. *A contrario*, le Niger, l'Afghanistan, le Burkina Faso, l'Erythrée et le Nigéria passent de situation de suffisance relative à la situation de vulnérabilité au stress hydrique, alors que la situation hydrique de l'Ethiopie se dégrade davantage et devient pénurie absolue (Ohlsson & Turton, 1999).

L'auteur de l'indice, le présente comme une amélioration de l'indice de Falkenmark qui ne prend en compte que la disponibilité brute des ressources naturelles. En effet, ce paramètre n'éclaire qu'en partie le niveau de satisfaction des besoins dès lors que les capacités de mobilisation, les modes d'utilisations ainsi que les niveaux de consommation, déterminés par les conditions socio-économiques et culturelles de la communauté sont ignorés. Des interrogations peuvent être, toutefois, soulevées quant au niveau de représentation des ces différents aspects par l'indice de développement humain IDH.

II.4.2.3. Autres indices

Indice de Vulnérabilité des Ressources en Eau

L'Indice de vulnérabilité des ressources en eau *Water Resources Vulnerability Index* (Raskin, Hansen, & Margolis, 1996), représente le ratio des prélèvements totaux annuels sur les ressources disponibles en eau. Un taux de 10% constitue la limite du stress normal, entre 10% et 20%, le stress est dit modéré, au-delà de 20%, il devient élevé, et à partir de 40%, le stress est chronique et sévère.

Indice de Pauvreté en Eau

L'indice de pauvreté en eau *Water Poverty Index WPI* proposé par le Centre d'Ecologie et d'Hydrographie du Royaume Uni, fut conçu pour mesurer l'accomplissement des objectifs du Millénaire relatifs à la pauvreté et l'accès à l'eau (Sullivan C. , 2002). Contrairement aux approches traditionnelles se focalisant seulement sur la disponibilité physique des ressources hydriques, cet indice se propose comme méthode d'évaluation intégrée du stress hydrique qui met en relation les facteurs suivants : présence et qualité de l'eau, accessibilité, capacité de gestion, type d'utilisation, respect de l'environnement et enfin la question de l'échelle spatiale (Sullivan, et al., 2003), qui nous paraît très importante.

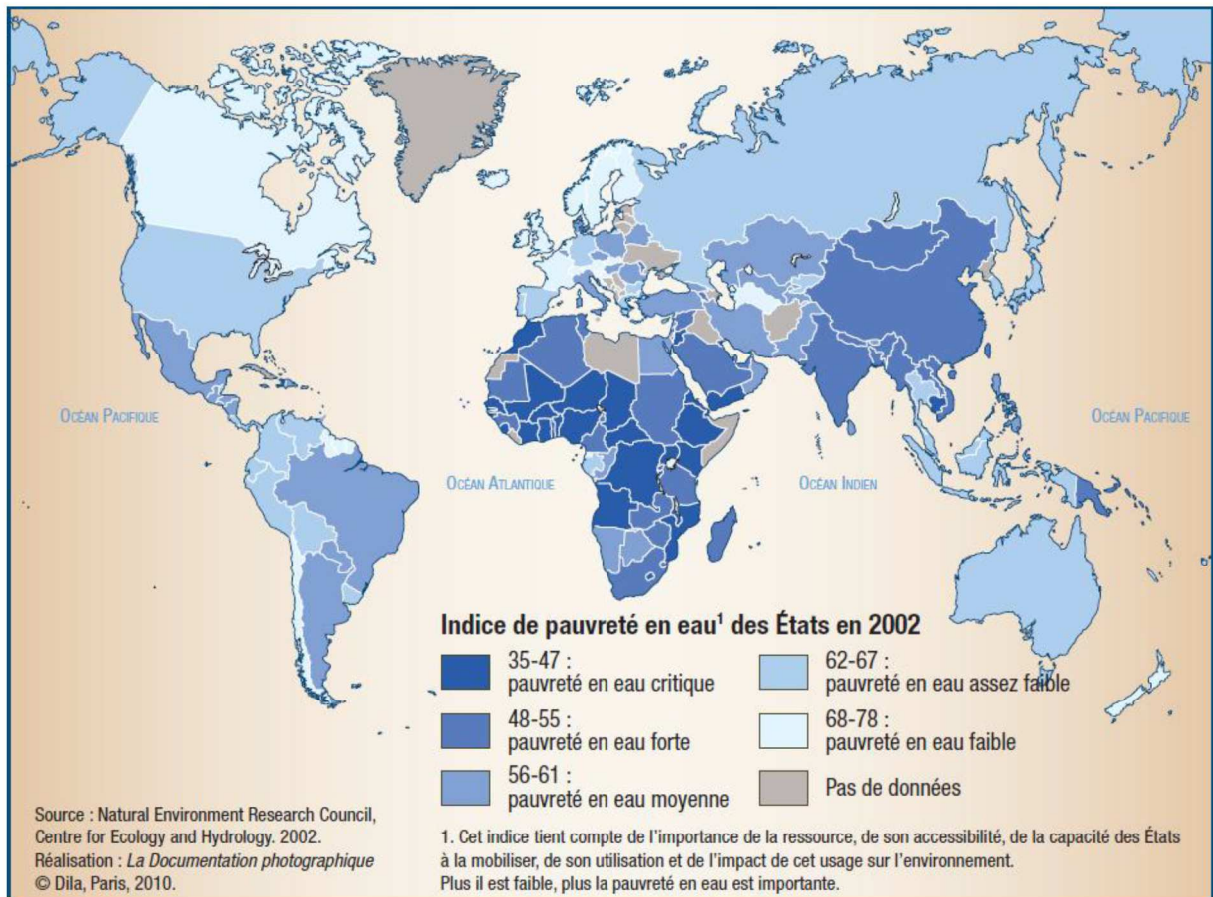


Figure II.10. L'IPE dans le monde

Source. Centre Ecologie et Hydrologie, UK (2002)

Indice de Stress Hydrique relatif

L'indicateur de stress hydrique relatif *Relative Water Stress Index*, représente le rapport entre l'utilisation totale d'eau (domestique, agricole et industriel) et disponibilités des ressources renouvelables (eaux de surface et aquifères) (Rapport de développement de l'eau mondiale 2006 des Nations Unies. Si le taux dépasse 40%, le pays est alors soumis au stress hydrique. L'eau est considérée comme rare dans la région, si le taux dépasse 74% (UNESCO, 2006).

En dépit de leur pertinence pour fournir une appréciation globale de l'état de disponibilité de l'eau des territoires étudiés, les indices de l'eau restent trop généraux et ne tiennent pas en compte des spécificités de chaque pays voire de chaque ville. A l'instar de tous les indices, leur objectif est de permettre de mesurer les performances des pays en les comparant les uns aux autres (voir section III.3). Une représentation plus fine de la question de la capacité de charge relative aux ressources hydriques, reprenant les différents aspects la composant à l'échelle locale, est nécessaire si l'on veut développer un outil d'aide à la planification de la croissance urbaine à l'aune de la capacité d'approvisionnement en eau. Ceci revient à la décrire par un système d'indicateurs, un concept dont la consistance est présentée dans le chapitre suivant.

II.5. Synthèse et conclusion du chapitre

Le concept de capacité de charge est né d'interrogations qui ont de tout temps été soulevées sur l'aptitude des territoires locaux et, à une échelle globale, de la planète à supporter la croissance des populations humaines en leur "cédant" les ressources nécessaires pour leur survie, pour le développement des activités et ainsi que leur prospérité. Mais c'est surtout vers la moitié du siècle dernier, avec la montée en puissance des préoccupations environnementales concernant l'épuisement des ressources, la menace sur la biodiversité et la pollution des milieux, ainsi que la mise en évidence du rapport entre l'équilibre des écosystèmes et la survie de l'espèce humaine, que la question de la capacité de charge refait surface, pour tenter d'apporter des éléments de réflexion sur les limites d'une croissance garante de la qualité de vie sans atteintes irréversibles à l'environnement, et par là-même à son aptitude à soutenir indéfiniment la croissance.

Dans le contexte urbain, l'introduction du concept de capacité de charge dans la planification spatiale a amené un changement radical de la vision du développement futur de la ville et de la manière dont on le programme, laquelle devrait impérativement démarrer par l'identification de l'offre territoriale disponible à terme, autrement dit par la prospective des capacités, au lieu des schémas classiques qui commencent par l'identification des besoins, pour chercher par la suite les moyens de les satisfaire quelque soit le tribut à payer (Berezowska-Azzag, 2011b). Cette prospective des capacités porte essentiellement sur les dimensions environnementale, physique ou infrastructure, et institutionnelle. Ceci étant, la capacité environnementale demeure "la capacité des capacités", dans la mesure où le maintien des équilibres écologiques conditionne la vie même sur cette planète, et ne saurait donc en aucun cas être mise au même rang que les autres considérations.

Mais si la capacité de l'environnement constitue un pré-requis à la croissance de la population, elle n'est cependant pas la seule à déterminer la capacité de charge c'est-à-dire le seuil ou le niveau que devrait atteindre la croissance. En effet, les caractéristiques relatives aux schémas de consommation, à la qualité de vie et au progrès technologique, propres aux sociétés humaines, influent également sur le seuil de croissance, à la différence des autres espèces où le seuil est défini par la disponibilité des éléments nutritifs nécessaires aux besoins vitaux identiques au sein de la même espèce. Ceci signifie que dans les mêmes conditions environnementales, des seuils différents peuvent exister et surtout qu'il est possible de rehausser ces seuils grâce au développement technologique (Pigeon, 2007) et à la régulation de la demande, en vue d'une utilisation optimisée des services environnementaux.

Pour les besoins de développement, la ville sollicite deux types de services environnementaux, à savoir l'approvisionnement en ressources sol, eau, énergie, et matière ; et l'absorption des déchets solides, liquides et gazeux, puis à un degré moindre mais important, la disponibilité des infrastructures, des équipements et des services divers. Ce sont les facteurs de limitation, dont la "carence" pourrait entraver le développement urbain, et ils doivent donc être pris en compte dans l'analyse de la capacité de charge. Certaines démarches privilégient l'analyse d'un seul facteur (Aspeslagh, 1994). Il s'agit notamment des cas où le facteur en question est problématique pour une région donnée et mérite donc d'être traité avec la plus grande prudence lorsque l'on planifie le développement urbain. Ainsi, en réponse au problème de la pénurie d'eau qui touche plusieurs régions du monde, est né en Chine le concept de capacité de charge des ressources en eau, objet de cette étude, qui cherche à déterminer les seuils de développement en fonction de la capacité d'approvisionnement des ressources hydriques.

Les seuils de développement sont généralement exprimés par le nombre maximum de population que pourrait supporter un environnement donné, c'est-à-dire la capacité de charge. Des indicateurs de seuils ont également été, dans une démarche plus détaillée, développés renseignant sur la capacité à approvisionner la ville et à absorber ses déchets. Mais la capacité de charge est le résultat de l'interaction d'un certain nombre de facteurs portant aussi bien sur l'offre déterminée par la capacité de l'écosystème urbain à fournir les services nécessaires au développement, que sur la demande que façonnent les conditions socio-économiques et les styles de vie. L'étude des facteurs de la demande devrait, à ce titre, revêtir une importance similaire, et nécessite par voie de conséquence que ces facteurs soient décrits par des indicateurs. Ceci valide l'hypothèse de départ qui stipule que la description de la capacité de charge doit concerner les deux facteurs majeurs en l'occurrence l'offre et la demande déterminant cette question.

L'identification des indicateurs décrivant ces deux volets offre/demande constitue le socle de notre démarche d'évaluation de la capacité de charge urbaine relative aux ressources hydriques. Le calcul de la population limite est le résultat du rapport entre l'offre et la demande comme le stipule la formule de la capacité de charge (Penck A. , 1925; Ackerman, 1959; Oh, Jeong, Lee, Lee, & Choi, 2005; Vivier, 2010). La méthode d'évaluation de la capacité de charge pour le cas d'étude sera développée aux chapitres IV et V. Auparavant, on abordera au chapitre suivant la question de la nécessité de la modélisation systémique pour comprendre les phénomènes complexes telle la capacité de charge, ainsi que son utilité dans la sélection des indicateurs et la construction du système d'indicateurs.

CHAPITRE III. Démarche conceptuelle de modélisation d'un système d'indicateurs

"Le tout est plus que la somme de ses parties"

Aristote

Nous avons vu que l'évaluation de la capacité de charge urbaine relative aux ressources hydriques se rapporte à un système complexe de facteurs, ou variables, qui interviennent en relations d'interactivité les uns avec les autres. La complexité de ce système a été confirmée par l'aperçu de la question d'équilibre de la balance entre l'offre et la demande de la ressource hydrique à Alger. Aussi, il paraît clair que toute évaluation de comportement d'un tel système complexe nécessite le recours aux outils permettant de l'appréhender, à l'instar des systèmes d'indicateurs qui constituent des représentations des questions étudiées. Nous allons voir dans ce chapitre les différents concepts liés à la caractérisation du système et à la démarche de sa modélisation par un système d'indicateurs.

III.1. L'approche systémique. Définition et concepts de base

III.1.1. La systémique et le développement durable

Dès le début du XXe siècle, l'on commence à prendre conscience de l'extraordinaire complexité du monde qui nous entoure. Il s'ensuit une mise en question de la capacité de la pensée positive classique de René Descartes, dominant la recherche scientifique depuis le XVIIe siècle, à offrir les moyens d'appréhender cette complexité. En effet, l'approche cartésienne qui aborde la complexité en la réduisant à ses composantes élémentaires, ne semble adaptée qu'aux systèmes simples constitués par un nombre réduit d'éléments aux interactions linéaires (Donnadiou, Durand, Neel, Nunez, & Saint-Paul, 2003). Elle faillit, dès lors qu'il s'agit de traiter les systèmes complexes omniprésents dans la nature tels les systèmes biologiques, sociaux, économiques, etc.

Une nouvelle façon de penser a vu le jour. La systémique prend naissance dans un climat de foisonnement intellectuel marqué par la montée en puissance de trois courants de pensée : le structuralisme, la cybernétique et la théorie de l'information, à partir desquels émergent les grands principes qui sont le fondement même de l'approche

systémique. Le précurseur de la pensée systémique au XX siècle a été sans conteste Alexander Bogdanov (de son vrai nom Alyaksandr Malinovsky) (1913; 1922) avec ses travaux sur la "tectologie" ou la science organisatrice générale. L'auteur y décrit les bases de la formulation des principes de l'organisation pour appréhender les structures des systèmes vivants et non-vivants.

Vladimir Vernadsky (1926), contemporain de Bogdanov, réalisa une étude des systèmes vivants et de leurs relations avec le monde physique qui les entoure. Il y définit la notion de biosphère dans une optique bio-géologique et écologique. Vernadsky affirme également que tout système vivant peut toujours être considéré comme un sous-système d'un système plus vaste. Il est à souligner qu'il a été l'un des premiers à alerter sur l'impact que peut avoir l'activité humaine sur le climat. Ses travaux eurent peu d'écho à une époque où l'on pensait que la nature était dotée de capacités de régénération inépuisables. Récemment, il eut un vif regain d'intérêt pour les travaux de Vernadsky avec la réédition de son ouvrage sur la biosphère (Vernadsky, 1997; Vernadsky, 2002).

Dans les années 1940-1960, Ludwig Von Bertalanffy (1956; 1968) développa une théorie générale des systèmes. Il s'employât à construire une théorie générale permettant de décrire et de comprendre des systèmes ou sous-systèmes, quels qu'ils soient, mettant ainsi en évidence des ressemblances conceptuelles entre les différentes disciplines. Ceci joua un rôle important dans la généralisation de la systémique (Piroton, 2005). Biologiste de formation, Bertalanffy est le premier à avoir démontré qu'il n'est pas possible de comprendre un organisme par l'étude séparée de ses composantes. L'approche systémique, en effet insiste plutôt sur les interactions entre les différentes parties du système. La finalité du système, son organisation, ses échanges avec son environnement etc., sont autant d'aspects à considérer lors de l'étude des systèmes complexes. Ils seront traités un peu plus loin.

Von Bertalanffy cherchait, par sa théorie générale, à transcender les spécialisations sectorielles qui caractérisent les sciences modernes pour aller vers une démarche holistique qui favorise l'interaction et l'échange. Cette manière de procéder trouve toute son importance dans un contexte où les connaissances de cette période faillirent à offrir des réponses globales aux problèmes engendrés par le déséquilibre entre la croissance démo-économique, l'urbanisation galopante et l'épuisement des ressources naturelles.

Dès la fin des années 1970 en effet, on réalise que beaucoup de questionnements relatifs aux problèmes environnementaux qui menacent la planète entière, ne peuvent trouver réponse par la seule approche sectorielle (Lévêque, 2009). L'environnement ne devrait plus être considéré par ses objets naturels, mais comme un système de relations entre la société et la nature. Ceci appelle au rapprochement et à la collaboration des

différentes disciplines, qui sera du reste entériné lors de la *conférence de Stockholm* sur l'environnement humain 1972, première conférence mondiale sur l'environnement. Peu auparavant, dans son rapport précédemment cité, et dont il fait part de son inquiétude quant à l'avenir de la planète et de l'espèce humaine, Meadows (1972) insiste sur la nécessité de concevoir le développement de l'humanité dans le cadre d'une approche systémique globale.

C'est ainsi que l'émergence du concept de développement durable, dont la consécration eut lieu lors du Sommet de la Terre de 1992 à Rio, s'est faite dans un contexte marqué par la montée en puissance de la pensée systémique (Lévêque, 2009). Les enjeux, que soulève la durabilité, appellent à transcender le clivage entre l'environnement et la société et obligent par là même les sciences à se rapprocher, afin de permettre d'appréhender comme un tout ce qui a été considéré séparément des années durant. Le schéma ci-après, que propose le même auteur, résume l'évolution de l'interaction sociétés-milieus naturels, d'une séparation nette dans les années 1950 à une approche de type systémique à la fin des années 2000.

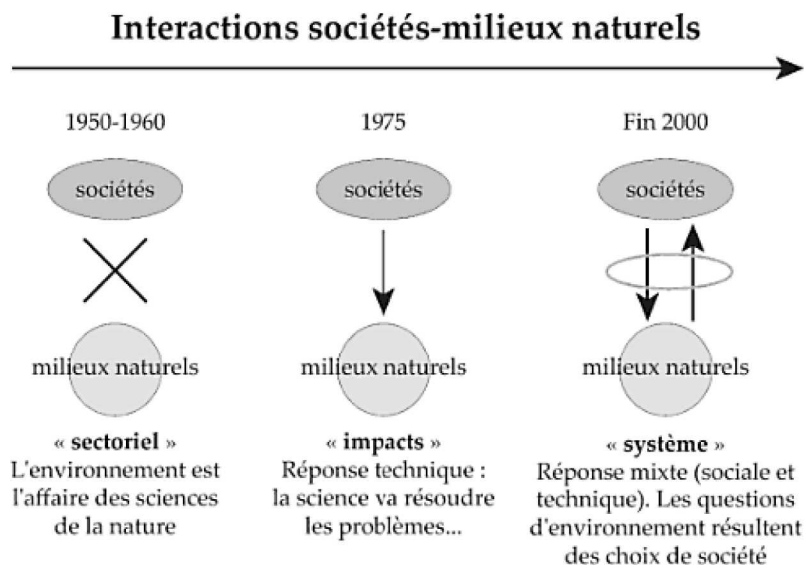


Figure III.1. Interaction société-milieus naturels. Vers une approche systémique

Source. (Lévêque, 2009)

III.1.2. Système et approche systémique, définition

A la base de l'approche systémique se situe la notion de système. Au plan étymologique, le mot système dérive du mot grec "systema" qui signifie "ensemble organisé. Von Bertalanffy (1968) le définit en ces termes : "un complexe d'éléments en interaction". En plus de l'interaction, De Rosnay (1975) met l'accent sur la notion de la finalité ou le but poursuivi par le système : "un système est un ensemble d'éléments en interaction dynamique, organisés en fonction d'un but". Le Moigne (1977) ajoute que la structure interne du système évolue dans le temps sans que celui-ci perde de son

identité : le système est "*un objet qui, dans un environnement, doté de finalités, exerce une activité et voit sa structure interne évoluer au fil du temps, sans qu'il perde son identité unique*".

En prenant des éléments de différentes définitions, on peut dire qu'un système est un ensemble de composantes reliées entre elles et qui agissent en symbiose en fonction d'un objectif spécifique. Sa structure interne définie par les interactions entre les parties qui le composent est en perpétuelle évolution, mais son identité doit rester maintenue.

IL faut distinguer : les systèmes réels (une galaxie, une cellule, etc.), qui existent indépendamment de l'observateur, les systèmes conceptuels qui sont des constructions symboliques, et les systèmes abstraits comme sous-classe particulière des systèmes conceptuels qui correspondent à la réalité.

De la définition de la notion du système, l'on comprend que l'approche systémique est une méthode globale interdisciplinaire qui se préoccupe de l'étude des objets dans leur complexité. Une définition suggérée par la Revue internationale de Systémique, nous semble en recouvrir toute la portée, pour qui, cette approche regrouperait "*les démarches théoriques, méthodologiques et pratiques relatives à l'étude de ce qui est reconnu comme trop complexe pour pouvoir être abordé de façon réductionniste et qui pose des problèmes de frontières, de relations internes et externes, de structure, de loi, ou de propriétés émergentes caractérisant le système comme tel ou des problèmes de mode d'observation, de représentation, de modélisation ou de simulation de totalité complexe.*" (Donnadieu, Durand, Neel, Nunez, & Saint-Paul, 2003, pp. 2-3).

III.1.3. Concepts de base de l'approche systémique

Les définitions données aux notions de système et à l'approche systémique qui en découle, ne sauraient suffire à donner un cadre rigoureux permettant d'en saisir la teneur. Il est nécessaire d'enrichir le concept à travers la description des principales caractéristiques, communes aux systèmes complexes.

III.1.3.1. Complexité

Un système se caractérise par sa complexité. Méléze (1979) la définit comme étant "*l'incapacité que l'on a de décrire tout le système et de discerner son comportement à partir de la connaissance des comportements de ses parties*". Cette complexité est le fait du nombre et des caractéristiques des éléments du système et des liaisons ainsi que l'incertitude par rapport à l'aléa issu de l'environnement (Durand, 2002).

Ce concept renvoie donc à la difficulté de compréhension des phénomènes en raison de la difficulté, voire l'impossibilité, d'identifier tous les éléments et toutes les relations en jeu, de même de l'incertitude de son environnement qui rend son

comportement imprévisible. D'où l'acceptation que les lois qui permettent de décrire le système ne conduisent pas à sa reproduction identique, mais à la détermination de son comportement global caractérisé par une prédictibilité réduite.

III.1.3.2. Totalité (ou la globalité)

Bertalanffy (1968), reprenant la maxime d'Aristote, énonce qu'un système est plus que la somme de ses éléments, car il faut considérer également les relations qu'entretiennent les éléments le constituant. De cette cohérence de l'ensemble surgissent des propriétés émergentes que ne possédaient pas les parties (Durand, La systémique, 2002). L'exemple le plus évident est la vie; qui est une propriété émergente du "système du corps" qu'on ne trouve pas dans ses composantes par elles-mêmes.

La mise en pratique de cette caractéristique dans l'analyse systémique stipule d'aborder le problème à partir d'une vue générale (globale) pour approfondir par la suite les détails (Donnadieu, Durand, Neel, Nunez, & Saint-Paul, 2003). Mais la démarche est loin d'être linéaire ; des itérations et des retours en arrière tout le long du processus de compréhension, sont indispensables afin de compléter et de corriger les visions antérieures (Ibid.).

III.1.3.3. L'organisation

Les systèmes sont caractérisés par le principe de la hiérarchie. Tout système peut être considéré comme une composante d'un système plus grand. Par exemple l'organisation des fonctions dans le cas d'une entreprise. C'est la manière dont sont organisés les éléments composant le système qui détermine ses propriétés.

La notion d'organisation recouvre un aspect structurel (de quoi est fait le système?) et un aspect fonctionnel (comment fonctionne le système?); que nous développerons un peu plus loin.

III.1.3.4. Relation et interaction

Nous avons déjà évoqué cet aspect central des systèmes que sont les relations entre ses composantes. Ce sont ces relations qui déterminent en définitif les propriétés du système. Elles se traduisent par un rapport d'échange portant aussi bien sur les flux de matière, d'énergie et d'information.

Les relations dans les systèmes complexes ne sont pas uniquement linéaires (cause à effet), mais peuvent également être circulaires (Von Bertalanffy, 1968), par exemple la relation entre deux éléments A et B comporte des actions réciproques de A sur B et de B sur A. Ce qui veut dire qu'un phénomène peut être à la fois la cause et l'effet d'autres phénomènes. Ces relations circulaires appelées, également rétroactions, interactions ou *feedbacks* en anglais, peuvent être de deux types (Von Bertalanffy, 1968):

Rétroaction positive (amplificateur): Dans ce type d'interaction, la réinjection sur l'entrée des résultats de la sortie favorise l'amplification de la transformation déjà en cours. Elles sont les sources de changement.

Rétroaction négative (compensateur): Ces relations ont par contre un effet régulateur. Elles sont les sources de maintien du système, par exemple le thermostat qui arrête la chaudière quand la température de la pièce atteint le niveau souhaité.

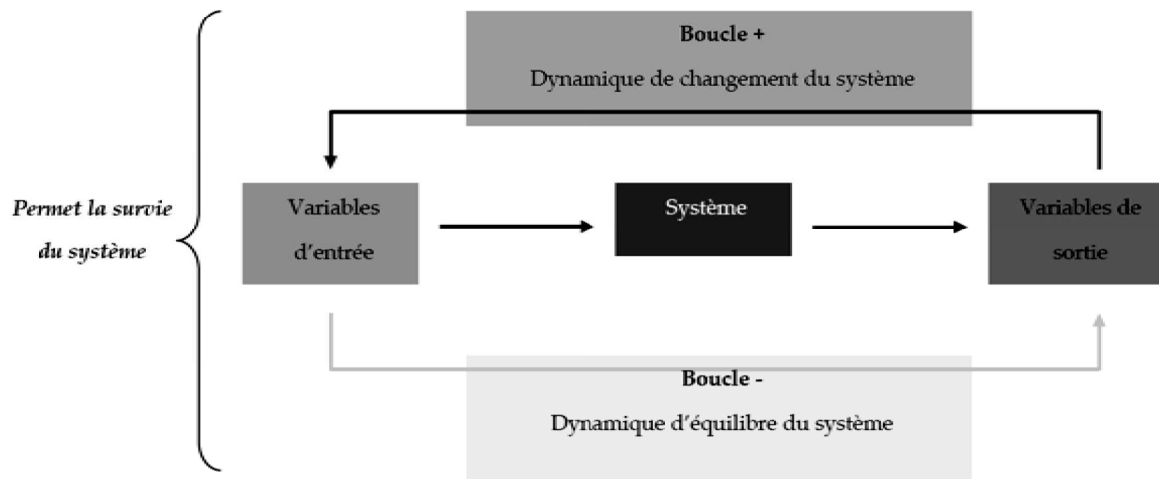


Figure III.2. Les boucles de rétroactions

Source. (CERTU, 2007)

III.1.3.5. Téléologie

Du grec *télos* qui signifie fins, la téléologie s'occupe de " l'étude des finalités d'un objet" (Le Moigne, 1977). Selon la définition de Joël De Rosnay, précédemment citée, tout système poursuit une finalité qui lui est propre. Dans le cas des systèmes observables dans la nature, l'ultime finalité serait leur survie et le maintien de leur identité (Pirotton, 2005); elle est indépendante de l'observateur. En revanche, dans les systèmes conceptuels ou les systèmes artificiels étudiés dans le cadre de la cybernétique, le but, ou la finalité, est défini par l'observateur ou le concepteur du système en question (Ibid.).

La caractéristique de téléologie est importante lors de l'étude des systèmes complexes. Elle suggère de s'interroger d'abord sur le "pour quoi faire?" avant de se demander "comment ça marche?" (Donnadieu, Durand, Neel, Nunez, & Saint-Paul, 2003). Un système ne nous intéresse pas "d'abord par ce qu'il est, mais par ce qu'il fait et ce qu'il subit, donc par ce qu'il devient", selon Le Moigne (1977, p. 93).

III.1.3.6. Ouverture du système sur son environnement

Les systèmes réels sont rarement fermés (Pirotton, 2005). Ceci signifie qu'un système échange de l'énergie, la matière et l'information avec son environnement. Ces échanges représentent les entrées et les sorties du système : selon de Rosnay (1975),

les entrées résultent de l'influence de l'environnement sur le système et les sorties de l'action du système sur l'environnement. La ville est un système ouvert dont les entrées sont les matières premières, l'énergie et l'information; et les sorties sont les produits, les déchets et l'information

Evoquer l'ouverture des systèmes, soulève la question de la définition des frontières (ou limites) qui séparent la totalité de ses éléments de son environnement. Décider où sont les limites du système, quelles composantes y seront incluses ou exclues implique toujours une part de convention et d'arbitraire de la part de l'observateur. Le tracé de cette frontière dépend de l'objectif de l'étude du système considéré (Pirotton, 2005). Comme c'est le cas quand on s'attèle à étudier les systèmes sociaux ou urbains, par exemple.

III.1.3.7. Régulation

La fonction première d'un système ouvert est sa propre conservation. Il se doit de maintenir son état stable, au sein des déséquilibres provoqués par les flux d'entrées et de sorties. La stabilisation du système sera atteinte par l'alternance des boucles de rétroaction positives et négatives qui permettent son adaptation à son environnement. En cela consiste le processus de *régulation*. Pour Donnadiou et al. (2002), elle est : *"l'ensemble complexe des mécanismes d'ajustement que le système invente et met en œuvre en permanence pour maintenir son équilibre interne et dans le même temps, s'adapter à l'évolution de son environnement"*. La régulation permettrait donc aux systèmes de retrouver leur état initial. Mais en théorie seulement, car, dans le monde vivant, il est impossible que les systèmes, ayant subi des perturbations, reviennent à un état parfaitement identique, mais évoluent vers un état légèrement différent. La stabilité des systèmes vivants n'exclut pas une certaine évolution.

Il est clair que les perturbations dont on a fait allusion, qui sont le fait des échanges avec l'environnement, sont infimes. Dans le cas où celles-ci deviennent trop importantes, elles mèneront inévitablement à la destruction du système.

III.1.3.8. Approche systémique versus approche analytique

Pour clore cette section consacrée aux concepts qui caractérisent les systèmes complexes, d'où découle l'approche systémique, nous proposons de comparer celle-ci à ce qu'elle "s'oppose", à l'approche analytique classique. Le but de cette opposition est juste de distinguer les caractéristiques de l'une par rapport à l'autre; ces deux approches ne sont pas nécessairement exclusives en effet; bien au contraire, elles sont mêmes complémentaires, et ont au moins en commun l'ambition d'offrir à l'homme les moyens de mieux comprendre le monde qui l'entoure (CERTU, 2007). En centrant l'attention sur les éléments constituant le système, et en ne considérant que les relations linéaires,

l'approche analytique semble adaptée aux systèmes simples; elle faillit dès lors que les interactions se complexifient rendant le système difficile à appréhender et imprévisible. C'est là que l'approche systémique pourrait être utile, en offrant des outils de connaissance et d'exploration des systèmes complexes, telle la modélisation qui, mieux qu'un outil, est au cœur même de l'approche systémique.

Approche analytique	Approche systémique
Isole: se concentre sur les éléments.	Relie: se concentre sur les interactions entre les éléments.
Considère la nature des interactions.	Considère les effets des interactions.
S'appuie sur la précision des détails.	S'appuie sur la perception globale.
Modifie une variable à la fois.	Modifie des groupes de variables simultanément.
Indépendance de la durée: les phénomènes considérés sont réversibles.	Intègre la durée et l'irréversibilité
La validation des faits se réalise par la preuve expérimentale dans le cadre d'une théorie.	La validation des faits se réalise par comparaison du fonctionnement du modèle avec la réalité.
Modèles précis et détaillés, mais difficilement utilisables dans l'action (exemples: modèles économétriques)	Modèles insuffisamment rigoureux pour servir de base de connaissances, mais utilisables dans la décision et l'action (exemple: modèles du Club de Rome)
Approche efficace lorsque les interactions sont linéaires et faibles	Approche efficace lorsque les interactions sont non linéaires et fortes

Tableau III.1. Approche systémique vs Approche analytique

Source. De Rosnay (1975)

III.1.4. Outils de la démarche systémique

III.1.4.1. La triangulation systémique

La triangulation consiste à observer le système étudié en vue de le décrire sous ses aspects structurel, fonctionnel et historique (Donnadieu, Durand, Neel, Nunez, & Saint-Paul, 2003).

L'aspect structurel, qui renvoie à l'inventaire des éléments dont se compose le système et à leurs agencements les uns par rapport aux autres (Pirotton, 2005). Un système est défini, selon De Rosnay (1975), par les éléments structuraux suivant : une frontière qui sépare la totalité de son environnement; les réservoirs qui stockent matière, énergie et information transitant par le système; et enfin, les réseaux de communication qui permettent la circulation des flux.

L'aspect fonctionnel, qui renvoie à l'ensemble des phénomènes qui s'y déroulent : les flux, de matière, énergie et information qui circulent le long des réseaux entre les réservoirs; les centres de décision (les vannes), qui contrôlent les flux; les délais, qui rendent compte du temps que mettent les informations "montantes" pour être traitées et les informations "descendantes" pour se transformer en action; et enfin, les boucles de rétroaction, qui servent à informer, à l'entrée des flux, sur leur sortie, permettant ainsi au centre de décision d'apprécier l'état général du système.

L'aspect historique, renvoie à la nature évolutive du système, car l'histoire du système permet de rendre compte de certains aspects de son fonctionnement, et de déduire en conséquence son évolution future. Cet aspect est d'autant plus important que l'évolution du système est irréversible (Le Moigne, 1977); un système ne retrouvera jamais son état initial suite aux perturbations, comme nous l'avons vu. Dans le domaine qui est le nôtre, ceci doit conduire, lors de l'étude des systèmes urbains, à examiner de près les mécanismes de changement afin de pouvoir y agir par des dispositifs régulateurs si les tendances d'évolution ne sont pas favorables.

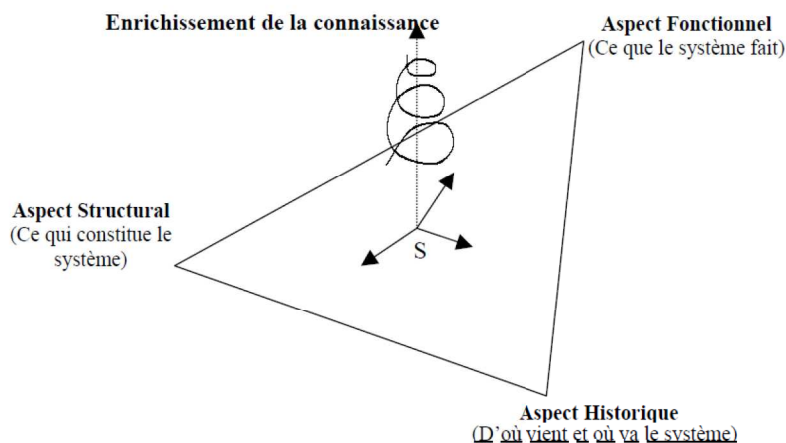


Figure III.3. La triangulation systémique

Source. (Durand & Nunez, 2002)

III.1.4.2. Le découpage systémique

L'analyse systémique s'attache à identifier des fonctions et des rôles exercés par les sous-systèmes (modules, organes, sous-ensembles,...), au sein du système étudié. Cela suppose d'en circonscrire les frontières, pour faire ensuite apparaître leurs interactions et leur finalité par rapport à l'ensemble. Mais la question de la conceptualisation des limites s'accompagne toujours d'un certain arbitraire et ne peut recevoir de réponse univoque (Donnadieu & Karsky, 2002).

III.1.4.3. L'analogie

Malgré leur diversité apparente, les phénomènes partagent des traits communs (Von Bertalanffy, 1968). Il en résulte la possibilité, lors de l'étude des systèmes complexes, de transposer les notions pertinentes pour un système dans d'autres systèmes. Assimiler la ville à un organisme vivant est une forme d'analogie, qui a permis d'éclairer bien d'aspects sur le fonctionnement urbain. C'est pourquoi l'analogie révèle tout son intérêt dans la démarche interdisciplinaire de l'approche systémique. Il existe trois formes d'analogie selon le degré de correspondance que l'on établit entre les phénomènes. Elle peut être de niveau faible, la métaphore dont la correspondance se focalise sur l'aspect extérieur; de niveau moyen, l'homomorphisme qui établit des correspondances entre quelques traits; et enfin le niveau le plus poussé, l'isomorphisme qui s'efforce à établir des correspondances entre tous les traits du système modèle et du système étudié (Donnadieu, Durand, Neel, Nunez, & Saint-Paul, 2003). La pyramide des analogies est illustrée par la figure III.3. Cette possibilité de faire des analogies entre les phénomènes renforce l'idée de l'existence d'une approche commune permettant de mieux comprendre et de mieux décrire la complexité organisée; prônée par les fondateurs de la systémique.

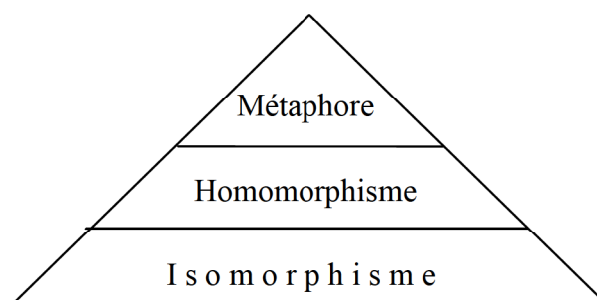


Figure III.4. Pyramide des analogies.

Source. Auteur sur la base des descriptions de Donnadieu et al. (2003)

III.1.4.4. Le langage graphique

Le langage graphique est le langage par excellence de la modélisation systémique. La description d'un système complexe requiert un nombre considérable de variables et de

relations qu'il serait fastidieux de présenter de manière linéaire. Le langage graphique pourrait, à ce titre, offrir les avantages suivants (Donnadieu, Durand, Neel, Nunez, & Saint-Paul, 2003) :

- Il permet une appréhension globale et rapide du système représenté;
- Il contient une forte densité d'informations dans un espace limité;
- Il est monosémique et semi-formel (faible variabilité d'interprétation);
- Il possède une bonne capacité heuristique.

Pour conclure, nous pouvons dire que l'analyse des systèmes ou systémique a pour visée de constituer une connaissance du système étudié en vue d'en comprendre le comportement et d'en prédire l'évolution. Ceci devrait permettre de déterminer les éléments de réponse aux questions posées, et de guider par voie de conséquence les actions en vue de faire évoluer le système vers la finalité souhaitée. Pour ce faire, cette démarche prend appui sur les outils suivants : la triangulation systémique, l'analogie, le découpage systémique, le langage graphique et la modélisation. Ce dernier, constitue la traduction pratique de la démarche systémique pour décrire l'objet ou le système étudié. Élément clef de la démarche systémique, la modélisation fera l'objet d'un développement à part, dans la section suivante.

III.2. La modélisation, outil de la démarche systémique

L'approche systémique prend forme dans le processus de modélisation. Ce lien étroit établi entre les deux concepts apparaît dès les débuts de la formalisation de la systémique, comme en atteste sa définition chez Piaget (Piaget, 1968), elle est : "*la discipline dont le projet est l'élaboration et le développement des méthodes de modélisation des phénomènes perçus ou conçus complexes comme et par un système en général*". Il est en effet dans l'ordre logique des choses que la systémique, dont le but ultime est la compréhension pertinente des systèmes complexes étudiés, d'intégrer des outils permettant d'en fournir une description la plus adéquate qui soit; c'est l'objectif de la modélisation.

La *modélisation* est le processus technique qui permet de construire le *modèle*, qui est la transcription abstraite du système étudié. Pirotton (2005) définit le modèle comme "*... une description, qu'elle soit mentale ou figurée, une représentation figurant les éléments constitutifs du système et de son fonctionnement afin, selon le but de l'observateur, de servir de support à la compréhension du système, à l'anticipation de ses comportements, etc.*" A cet égard, l'objectif de la modélisation serait donc de permettre cette représentation du phénomène complexe, en cherchant dans un premier temps à décrire son *organisation structurelle* : les composantes du système, leurs interrelations

ainsi que les sous-systèmes de niveaux hiérarchiques différents; par la suite elle s'occupera de son *organisation dynamique*, c'est-à-dire du comportement dudit système à travers ses interrelations en vue d'en effectuer des simulations.

La modélisation ne peut être dissociée de l'observateur (le sujet), elle traduit son point de vue, sa vision de la réalité (l'objet). L'observateur crée le modèle selon les objectifs du projet qu'il conduit. Cette spécificité de la conception systémique de la connaissance est sous-tendue de part en part par l'axiome constructiviste qui établit un lien inévitable entre le sujet connaissant et l'objet étudié.

Pour ce qui est des techniques d'observation et d'investigation des systèmes à étudier, elles peuvent se faire selon deux manières distinctes : la vision *boîte noire*, qui ignore la constitution interne du système et ne considère que les entrées/sorties et ses effets sur l'environnement, le modèle obtenu est alors empirique; et la vision *boîte blanche*, qui s'occupe des éléments constituant le système et leurs interactions afin de mettre en évidence le fonctionnement du système, le modèle sera théorique (Donnadieu, Durand, Neel, Nunez, & Saint-Paul, 2003).

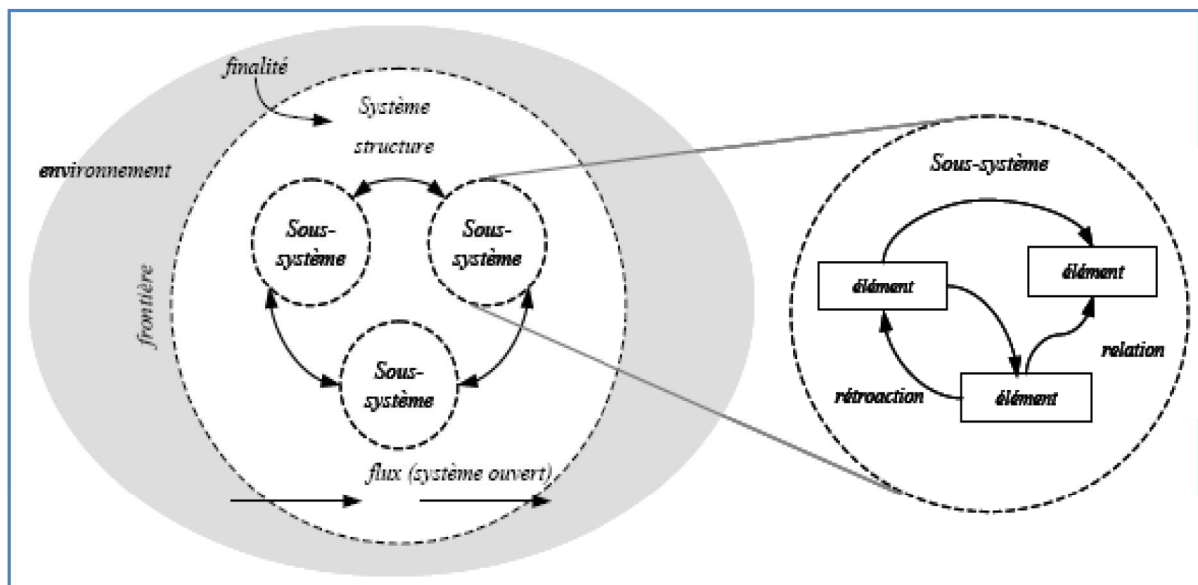


Figure III.5. Eléments de la modélisation systémique.

Source. Desthieux G., (2005) adaptation de Repetti (2003)

III.2.2. Les étapes de la modélisation systémique

La modélisation, telle que citée ci-dessus, s'attache à décrire l'organisation structurelle et l'organisation dynamique d'une réalité complexe en vue de faire des simulations. En prenant appui sur cette distinction "structurel/fonctionnel", des processus de modélisation, plus ou moins décortiqués, ont été établis, lesquels tentaient de définir une succession logique d'étapes tout en couvrant ces dits aspects. Nous avons retenu la

proposition de Daniel Durand (1979), et qui a servi de gabarit pour élaborer la modélisation systémique relative à la question qui nous intéresse. Il s'agit d'un processus de modélisation structurée en quatre étapes représentées graphiquement à partir d'une succession de quatre modules. L'auteur reprend, avec Emmanuel Nunez (2002) ce phasage du processus de modélisation en opérant une légère modification, et qui prend cette fois-ci la forme d'une liste relativement linéaire d'actions à suivre (voir figure suivante).

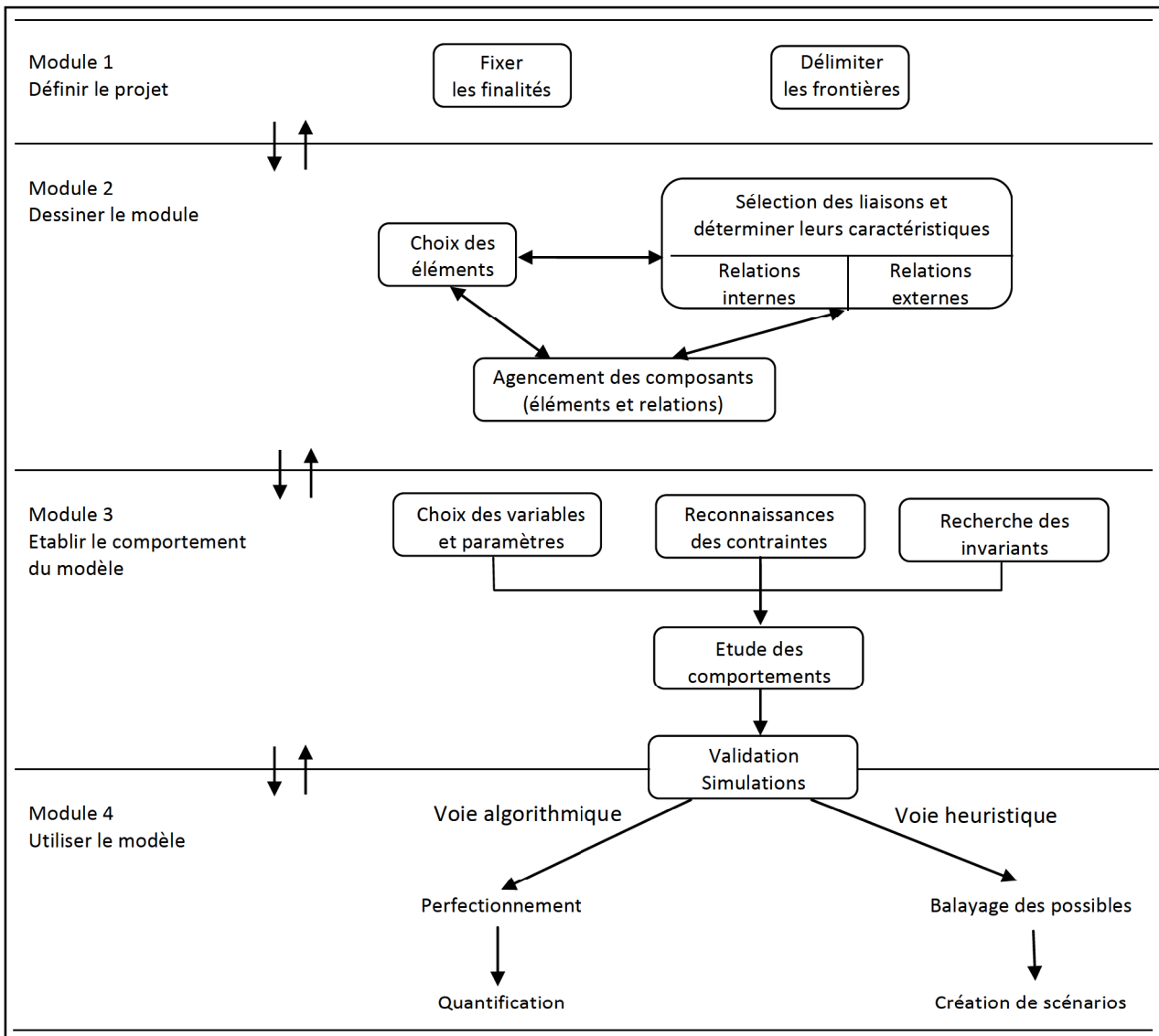


Figure III.6. Etapes de la modélisation systémique d'après Durand (1979)

Source. (Durand, 1979)

- 1^e étape. Définition du champ de modélisation
- fixer les finalités
 - délimiter les frontières
- 2^e étape. Conception du modèle
- sélectionner des éléments significatifs
 - rechercher leur agencement
 - établir leurs liaisons
 - préciser leurs caractéristiques (entrée, sortie, relation spécifique)
- 3^e étape. Recherche du comportement
- identifier les invariants et les contraintes
 - déterminer les variables et les paramètres
 - préciser le fonctionnement du système et sa dynamique d'évolution
- 4^e étape. Vers l'action
- valider le modèle par des tests
 - simulation algorithmique pour approfondissement quantitatif
 - simulation heuristique (scénarios, balayage des possibles) pour approfondissement qualitatif

Figure III.7. Etapes de la modélisation systémique d'après Durand et Nunez (2002)

Source. (Durand & Nunez, 2002)

Donnadieu et al. (2003), préconise de connaître d'abord l'objet d'étude à représenter. Un moment essentiel à notre sens, car on ne peut prétendre à entreprendre la modélisation d'un phénomène, sans avoir auparavant balayé l'ensemble de la littérature le couvrant sous tous ses aspects. Ce n'est qu'après avoir appréhendé la problématique sous toutes les coutures, que l'observateur pourrait entamer la modélisation de l'objet d'étude, dont nous présentons ci-après notre description des quatre étapes principales :

1^e Etape. Définition du champ de modélisation : Pour faire une modélisation systémique pertinente, la question de la stabilité du système considéré est décisive. C'est la raison pour laquelle il faut bien définir le système à modéliser, en définissant ses frontières le plus clairement possible, et en fixant au préalable les objectifs recherchés de la modélisation.

2^e Etape. Conception du modèle : Dans cette deuxième étape, qui se rapporte à la description de la structure du système, le modélisateur s'emploie à identifier les composants (les regroupant si besoin en sous-systèmes) du système, à spécifier les relations qu'ils entretiennent entre elles-mêmes ainsi qu'avec l'environnement.

3^e Etape. Etude du comportement du modèle : L'accent sera ici mis sur la description de l'organisation fonctionnelle du système en tenant compte des enseignements issus de son évolution. Le modélisateur tente d'identifier les différents variables et paramètres en jeu. Il analyse les interactions et les chaînes de régulation en vue de déterminer les flux qui circulent à l'intérieur du système ainsi que les flux d'entrée et de sortie. En somme, il s'agit de formaliser le modèle de manière à ce qu'il soit adapté à la simulation.

4^e Etape. *Utilisation du modèle* : Au cours de cette phase, l'observateur va exploiter le modèle pour faire les simulations qui servent, *in fine*, à prédire (former les scénarios alternatifs) ce que sera le comportement du système étudié lorsqu'on modifie les paramètres de structure ou d'entrée du modèle qui le représente. L'exactitude et la précision des résultats obtenus seront fonction du modèle retenu. Mais cette phase serait l'occasion pour corriger et ajuster (valider) le modèle afin de minimiser les écarts entre résultats de simulations et séries historiques (statistiques, données, etc.) de la réalité.

Enfin pour conclure cette section, nous devons dire que le processus de la modélisation n'est pas linéaire, qu'il est à tout moment possible de revenir aux étapes antérieures afin d'ajuster et de corriger les données du modèle de manière à réduire l'écart avec la réalité, dans une démarche itérative propre à la systémique. Par ailleurs, les étapes de ce processus ne doivent pas être considérées comme une contrainte absolue : certaines étapes peuvent être privilégiées en fonction des objectifs poursuivis de l'élaboration du modèle, lequel peut être de nature descriptive, explicative ou prédictive. Le degré d'affinement du modèle en dépend également, de même que des moyens disponibles pour le réaliser. On insiste sur le fait qu'on ne cherche guère l'exhaustivité; des éléments du système modélisé seront inévitablement décrits comme des "*boîtes noires*"(Piroton, 2005). Il ne sera représenté du système que ce qui est pertinent au vu du concepteur.

III.2.3. La causalité, outil de la modélisation systémique

III.2.3.1. Définition

Stricto sensu, la causalité est la relation de cause à effet qui peut exister entre deux événements (Franck, 1994); en d'autre terme lorsque l'un d'eux est la cause de l'autre. Elle répond au désir "naturel" de l'homme de trouver explication aux faits, de comprendre ce qui l'entoure. Ce rapport établi entre le fait et la cause ne date pas d'aujourd'hui. Dans son *Timée* (en.428-347 av. J-C.), Platon proclame que "*tout ce qui naît, naît nécessairement par l'action d'une cause, car il est impossible que quoi que ce soit puisse naître sans cause*". Cette première conception de la causalité par Platon et ses disciples, versait dans la tentative de la recherche de l'origine des choses; elle relevait de la métaphysique : la cause est le principe d'explication de la création. Mais le terme cause exprime une recherche de compréhension; il est donc rattaché à une quête de connaissance de la réalité, à un désir de savoir. La construction du savoir repose sur la recherche des causes fondatrices selon Aristote (dans la *Métaphysique*, env. 385-322). Le développement des sciences émane de ce désir du savoir, de trouver explication aux phénomènes de l'environnement qui nous entoure. La recherche des causes devient essentielle à la démarche scientifique et s'imposera progressivement aux sciences à partir du XVIII^e siècle. Dans ce cadre, l'identification des causes s'appuie sur des

connaissances reliant "cause" et "effet". Ces relations sont souvent modélisées par des probabilités conditionnelles, les effets n'étant pas toujours connus avec précision et certitude.

Dans le cadre de l'analyse systémique, le modèle causal est utilisé pour mettre en évidence les interactions entre les éléments du système étudié afin de comprendre son fonctionnement. Il fournit un cadre structurel rigoureux et solide permettant d'expliquer certains phénomènes, pas seulement en identifiant les causes, mais selon Franck (1994), le modèle doit aussi pouvoir expliquer pourquoi une cause est celle d'un phénomène. La compréhension de comment les phénomènes interagissent permettra de faire les analyses prospectives, auxquelles s'intéresse l'approche systémique, et par voie de conséquence d'intervenir sur certains phénomènes pour empêcher les effets non désirables de se produire.

Si la causalité représente un outil incontournable de l'analyse systémique, des différences d'ordre méthodologique devraient pourtant être signalées. De prime abord, l'approche systémique ne cherche pas l'exhaustivité dans la description des relations et des composantes du problème étudié, comme le fait la causalité, mais elle s'occupe uniquement des plus significatives (les plus pertinentes). La modélisation d'un système obéit, rappelons-le, aux objectifs du modélisateur et porte intrinsèquement une part de subjectivité. Une autre différence réside dans le fait que l'approche systémique ne vise pas à valider le fait par une approche expérimentale, mais par la comparaison du fonctionnement du modèle avec l'évolution réelle et perçue du système vers une finalité donnée (De Rosnay, 1975). Elle prend appui sur l'analyse des séries historiques (analyse rétrospective) pour expliquer les phénomènes et déduire les évolutions futures. Pour notre part, nous comptons utiliser l'évolution du système d'approvisionnement en eau ainsi des séries historiques marquant de façon fondamentale l'évolution du système.

Dans ce qui suit, nous présentons un certain nombre de concepts théoriques sur la causalité, qui seront utiles ensuite dans la partie méthodologique pour le développement de modèles de relations entre les indicateurs.

III.2.3.2. Les types de relations causales

Il existe plusieurs types de causalité (Wunsch, 1988) rapporté par (Franck, 1994) :

Une seule et même cause produit toujours un seul et même effet : Seule la cause A induit l'effet B, et A est suffisante pour produire l'effet B. Par ailleurs la cause A doit être antérieure à l'effet B ($t_1 < t_2$)

La chaîne causale : Similaire à la précédente, c'est-à-dire la même cause produit le même effet, mais il s'agit d'une série où l'effet d'une cause sera la cause d'un autre effet.

Par exemple de fortes pluies A portent le terrain d'un talus à saturation B ce qui peut provoquer un glissement de terrain C.

Mais la réalité est de loin plus complexe, la causalité ne pourrait donc se réduire à l'acceptation "à même cause même effet" (Franck, 1994). Le plus souvent il n'y a pas une cause unique et exclusive à un phénomène, de même les causes peuvent engendrer plusieurs effets distincts. Wunsch (1988) repère d'autres formes de relations causales plus complexes :

Plusieurs causes en disjonction : L'effet peut résulter de plusieurs causes et chacune de ces causes est suffisante pour que l'effet se produise mais toutefois elle n'est pas nécessaire. On dit alors que les causes agissent en disjonction. Deux cas de figure peuvent se présenter : dans le premier cas les causes agissent simultanément et produisent le même effet et non un effet redoublé, par exemple « ne pas réviser » et « être malade le jour de l'examen » dont une seule suffit pour « échouer à l'examen » ; et dans le second cas, les causes n'agissent pas simultanément, ce qui veut dire que l'une des causes ne peut produire son effet que si l'autre n'a pas agi auparavant. Bien que plus complexe que la chaîne causale, la forme disjonctive présente tout de même une limite. Elle néglige en fait tout effet de symbiose et surtout de synergie entre les variables.

Plusieurs causes en conjonction : Ici la cause est nécessaire mais non suffisante à la production de l'effet. Autrement dit, il existe au moins une autre cause B, tel que B joint à A soit une condition suffisante pour produire l'effet C. Par exemple, « pour encourager les ménages à utiliser l'eau rationnellement », il faudrait non seulement les « sensibiliser aux enjeux de l'économie de l'eau » mais également « prendre des mesures incitatives, ex. subvention de l'achat d'appareils économes en eau » ou « restrictives, ex. augmentation du tarif ». Ces causes peuvent agir en interaction, c'est-à-dire l'effet de leur action combinée est différent de la somme des effets de leurs actions propres. Chacune des causes est suffisante pour produire son effet propre, mais non suffisante pour produire l'effet commun.

La condition INUS : Elle combine la conjonction causale et la disjonction causale. Les facteurs A, B, C agissent en conjonction, c'est à dire chaque cause est nécessaire mais non-suffisante à la production de l'effet, par contre, ensemble elles sont suffisantes pour produire l'effet Z. Mais ce dernier peut être aussi obtenu moyennant une relation de disjonction par D qui est une cause suffisante mais non nécessaire. Par exemple afin d'améliorer le transfert modal, la conjonction "offre en transport public-tarifs attractifs" est suffisante, mais une autre cause D, telle l'augmentation du prix de l'essence, peut favoriser ce transfert (Desthieux, 2005).

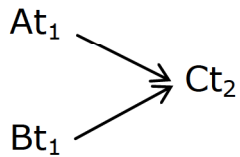
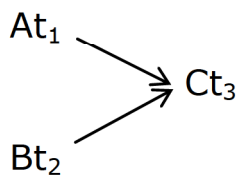
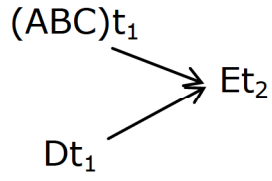
$At_1 \rightarrow Bt_2$ Une seule cause produit un seul effet	 Causalité disjonctive (action simultanée des causes)
$At_1 \rightarrow Bt_2 \rightarrow Ct_3$ La chaîne causale	 Causalité disjonctive (action non simultanée des causes)
$(AB)t_1 \rightarrow Ct_2$ Plusieurs causes en conjonction	 Condition INUS

Figure III.8. Typologie des relations causales.

Source. Desthieux G., (2005) adaptation de Franck (1994)

Cette typologie des relations causales, bien que diversifiée, ne peut prétendre couvrir tout ce que renferme la complexité du monde qui nous entoure de relations. Elle n'indique pas, par exemple, qu'une cause peut produire plusieurs effets différents, ou qu'un effet peut devenir la cause de la cause qui l'a produit (rétroaction). Cela dit, les relations non exprimées, peuvent se déduire implicitement des relations évoquées dans cette typologie : la chaîne causale par exemple, peut exprimer une rétroaction si l'effet B en t2 sera la cause de A en t3 ($At_1 \rightarrow Bt_2 \rightarrow At_3$) (Desthieux, 2005); de même il est aisé d'imaginer que des facteurs peuvent produire plusieurs effets différents dans un système complexe de relations. Les relations peuvent être donc hiérarchiques représentées par une arborescence. Un tel exemple est illustré par la figure III.7.

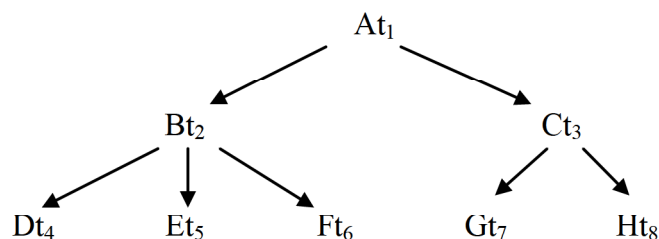


Figure III.9. Relations hiérarchiques

La causalité permet d'expliquer les phénomènes d'un système complexe. Or vu le nombre substantiel de variables influant ces phénomènes, il est donc quasi impossible de les prendre tous en considération. Le modèle sera alors trop compliqué et non explicite. En outre, ces variables ne sont pas toutes explicites ou observées (Loriaux, 1994). Dès lors, il sera important d'identifier pour une problématique donnée les composantes et relations du système les plus pertinentes. Pour notre part nous identifierons les variables clés dans notre étude. Cela permettra de cerner la problématique sans y ajouter une complexité stérile (Godet & Durance, 2011).

III.2.3.3. Causalité et incertitude

Desthieux (2005) distingue trois niveaux d'incertitude :

- Causalité logique : Il s'agit d'une causalité indiscutable donc suffisante et nécessaire (à un effet, une cause). Par exemple une bonne pluviométrie augmente forcément la disponibilité de l'eau.
- Causalité observée (vérifiée statistiquement) : Ici la causalité est moins certaine et immédiate que la première car elle fait face à des phénomènes multiples. On utilise les observations statistiques pour tenter de vérifier les relations entre variables de la causalité
- Causalité perçue : C'est une causalité qui ne se base pas toujours sur un fondement logique ou scientifique. Elle émane d'une construction mentale parfois même subjective. Comme par exemple lorsque l'on associe la grande taille des basketteurs au fait qu'il pratique le basketball. Alors qu'il n'existe pas de fondement scientifique à cette assertion.

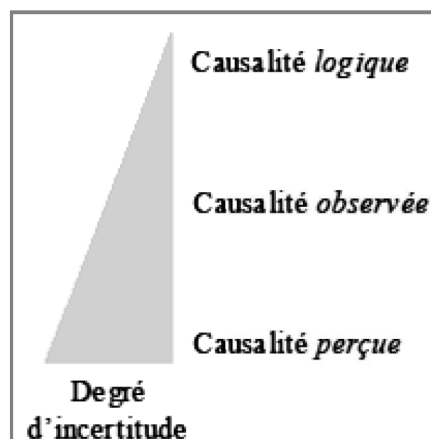


Figure III.10. Niveaux d'incertitude de la causalité.

Source. (Desthieux, 2005).

Les réseaux bayésiens sont utilisés pour la modélisation probabiliste de la causalité i.e. prendre en compte le degré d'incertitude de la relation causale. L'observation d'une cause entraîne l'effet qui en dépend de façon conditionnelle. Par exemple une cause

observée entraîne son effet avec une probabilité de 0.6 (6 cas sur 10). Un réseau bayésien est donc défini par le graphe du modèle et les tables de probabilités de chaque variable, conditionnellement à ses causes. Un exemple est donné par la figure suivante.

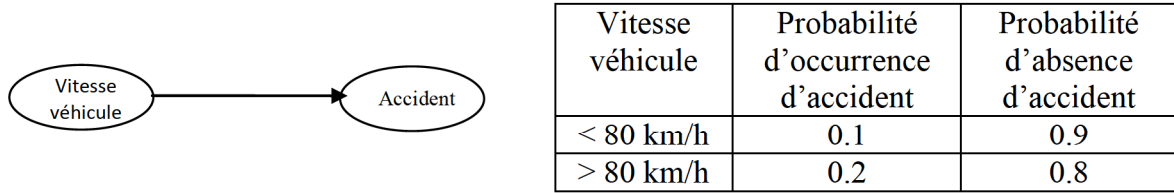


Figure III.11. Réseau bayésien constitué de 2 variables

III.2.3.4. Matrice d'analyse structurelle pour analyser les relations causales

Comme évoqué précédemment, l'analyse structurelle a pour objet d'expliciter la structure du système, ou mieux, la structure des relations entre ses éléments ou ses variantes, donc la recherche des causalités. La matrice structurelle représente un outil à la fois commode et facile à mettre en œuvre pour analyser les relations causales.

Pour construire une matrice d'analyse structurelle, on porte les variables du modèle systémique en lignes et en colonnes. Les colonnes correspondent aux relations "intranses" (IN), tandis que les lignes désignent les relations "extrantes" (EX). La matrice pourrait être remplie de deux manières qui mèneront au même résultat : soit à partir des lignes, en notant l'influence de chaque variable de ligne sur toutes les autres variables des colonnes (on note les relations EX); ou à partir des colonnes, en notant toutes les relations IN. Dans les matrices simples, non pondérées, on met la valeur 1, à l'intersection de la ligne et de la colonne, pour exprimer l'existence de relation entre deux variables; et 0 dans le cas d'absence de relation.

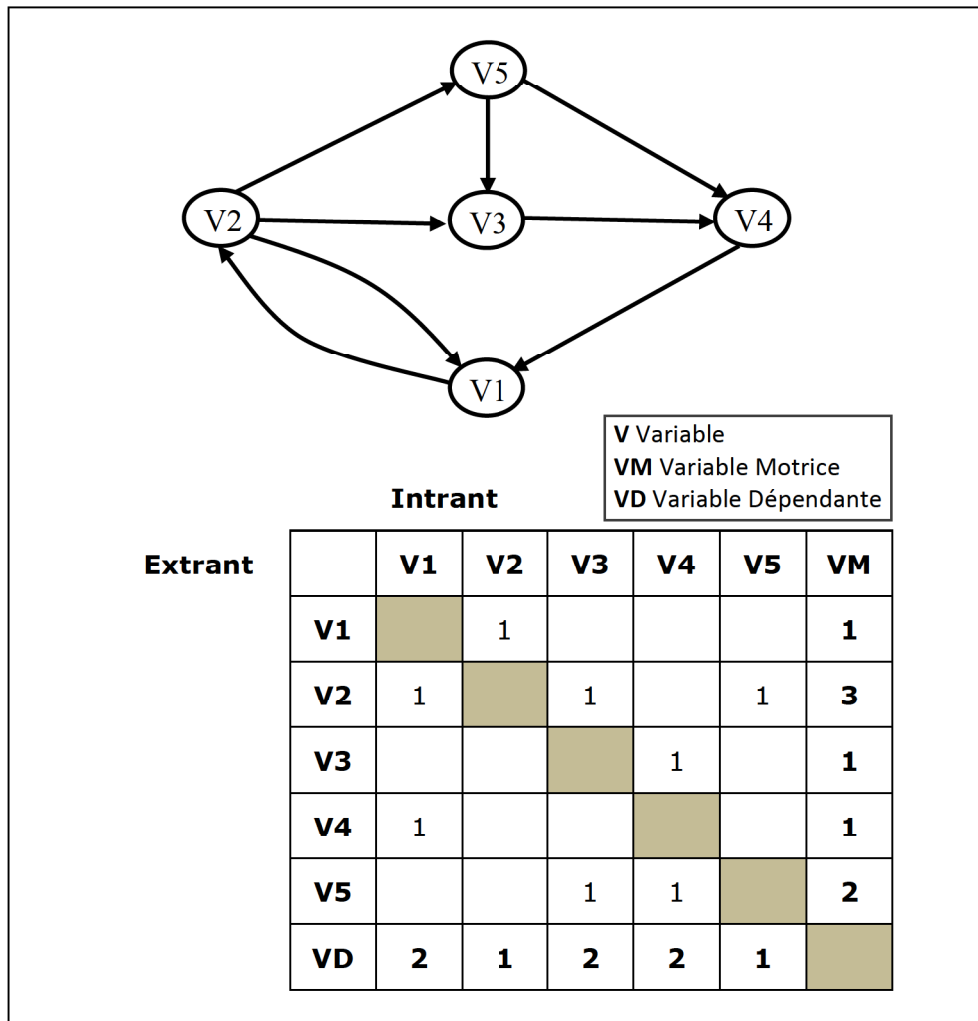


Figure III.12. Représentation du système dans une matrice structurelle
Source. Adaptation de (PNUE, Centre d'activités régionales du Plan Bleu, 1996;
Desthieux, 2005)

Au terme de cette opération, on aura analysé les relations causales pour chaque couple de variables constituant notre modèle systémique. Outre la visualisation claire des relations causales, la matrice va permettre de dégager un certain nombre de renseignements utiles dans notre analyse systémique. D'abord, avant de faire un quelconque traitement, les rétroactions sont vite repérées : ce sont les relations se situant de part et d'autres de la diagonale. En plus, la somme des lignes d'une part (pour comptabiliser les relations sortantes) et des colonnes d'autre part (pour comptabiliser les entrantes), permet d'établir une hiérarchisation des variables et de déterminer celles qui sont les plus critiques dans le système étudié (PNUE, Centre d'activités régionales du Plan Bleu, 1996) :

Les variables motrices VM (sommations en bout de ligne) : Ce sont les variables qui génèrent un nombre important de relations, donc qui influencent le plus d'autres variables. Leur place dans le système est cruciale et stratégique dans la mesure qu'elles

constituent les principaux leviers d'action pour faire évoluer le système vers la finalité souhaitée (Meadows D. , 1998; Desthieux, 2005).

Les variables dépendantes VD (sommations en bout de colonne) : Ce sont les variables qui reçoivent le plus de relations, donc les plus influencées. Leur importance réside dans le fait qu'elles reflètent les conséquences des actions d'intervention ou d'action en vue d'orienter l'évolution du système (ibid.).

On peut ainsi procéder à un classement des variables par ordre de motricité décroissante, de la variable la plus motrice à la moins motrice, et faire de même de la plus dépendante à la moins dépendante. Mais il pourrait être également intéressant d'établir une catégorisation en quatre groupes de variables (PNUE, Centre d'activités régionales du Plan Bleu, 1996) : variables très motrices et peu dépendantes (ou variables déterminantes) qui conditionnent le reste du système; variables à la fois très motrices et très dépendantes (ou variables relais), considérées comme instables car les actions sur ces variables auront des répercussions sur un nombre important de variables de systèmes lesquelles exerceront un effet de retour sur les premières, et pourraient ainsi amplifier ou freiner l'impulsion initiale; variables peu motrices et très dépendantes (ou variables résultats), fortement influencées par les variables explicatives et les variables relais; et enfin les variables peu motrices et peu dépendantes (variables autonomes), qui peuvent être déconnectées du système, et par conséquent, leur rôle n'est pas très significatif. Le graphe d'influence/dépendance des variables, illustrant les quatre groupes susnommés, est donné par la figure suivante.



Figure III.13. Graphe d'influence/dépendance des variables

Source. (ALEPH, 2004)

Un exemple de relations entre variables est illustré par la figure suivante (V1 et V5 sont des variables déterminantes; V2 est une variable relais; V3 et V4 sont des variables dépendantes; et V6 est une variable autonome).

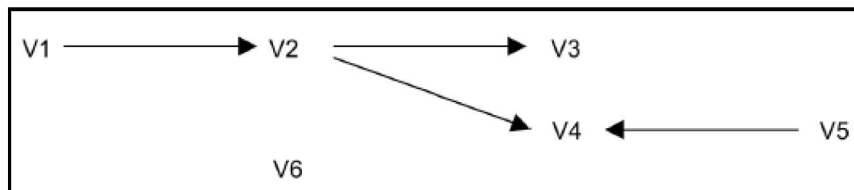


Figure III.14. Schéma simplifié des relations possibles entre les variables du système.

Source. (ALEPH, 2004)

Autres variantes de la matrice structurelle :

L'approche matricielle telle décrite ci-dessus renseigne sur l'existence ou non de relation entre deux variables. Mais l'analyse peut être affinée, en indiquant par exemple la nature de la relation comme concordante (positive), discordante (négative) ou neutre; ou en précisant l'intensité des relations, à travers l'attribution d'une pondération allant de 1 à 4 (très faible=1; faible=2; forte=3; très forte=4) à ces relations.

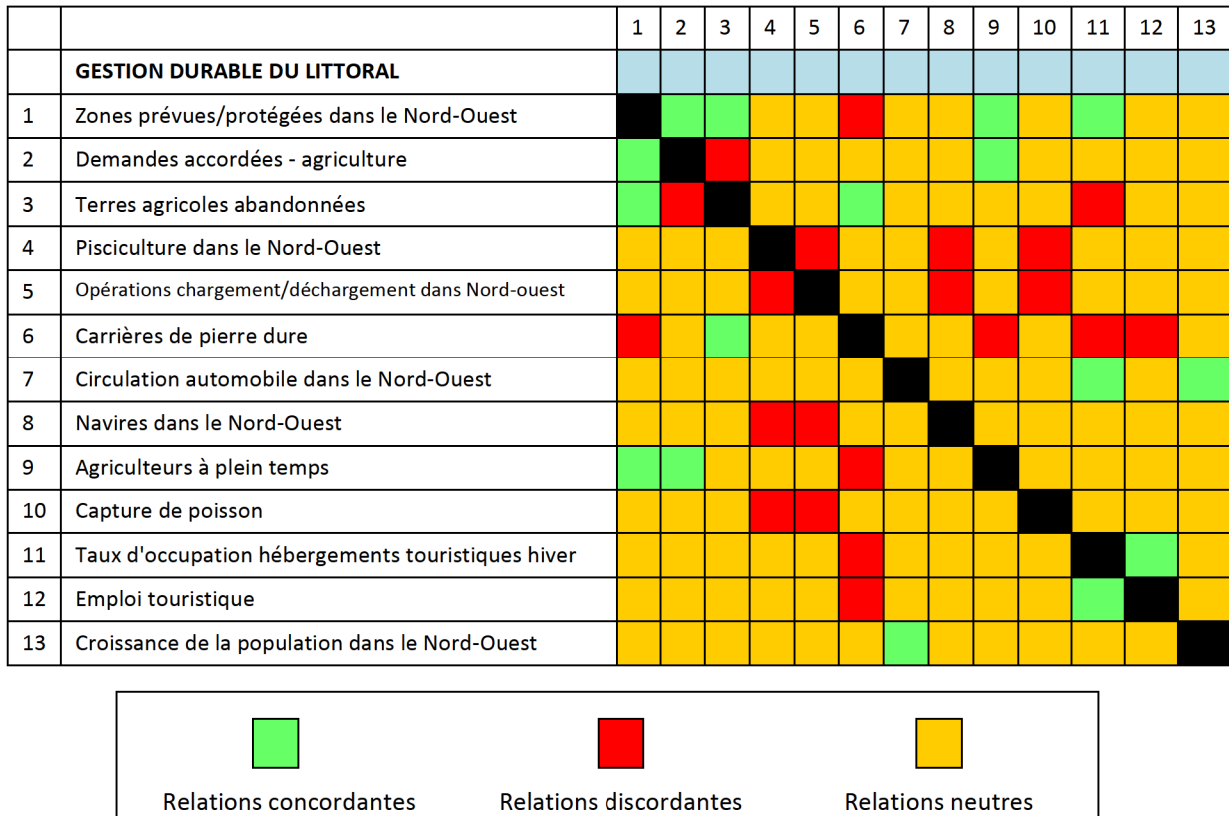


Figure III.15. Exemple de matrice structurelle précisant la nature des relations du PAC (Malte, 2001).

Schéma systémique et matrice structurelle :

Schémas systémiques et matrices ne s'opposent pas; ils constituent seulement deux manières différentes pour exprimer les mêmes relations entre éléments du système.

Le schéma systémique peut être caractérisé comme un positionnement graphique d'éléments voire des sous systèmes, et comme une représentation de leurs relations. Il offre l'avantage d'être flexible et facile à enrichir par addition d'éléments au modèle. Mais au-delà d'un certain nombre d'éléments et de relations le schéma devient compliqué et perd de sa clarté. De ce fait, le schéma systémique trouve son utilité lorsqu'il s'agit de donner une vue d'ensemble du système et de ses relations principales (PNUE, Centre d'activités régionales du Plan Bleu, 1996).

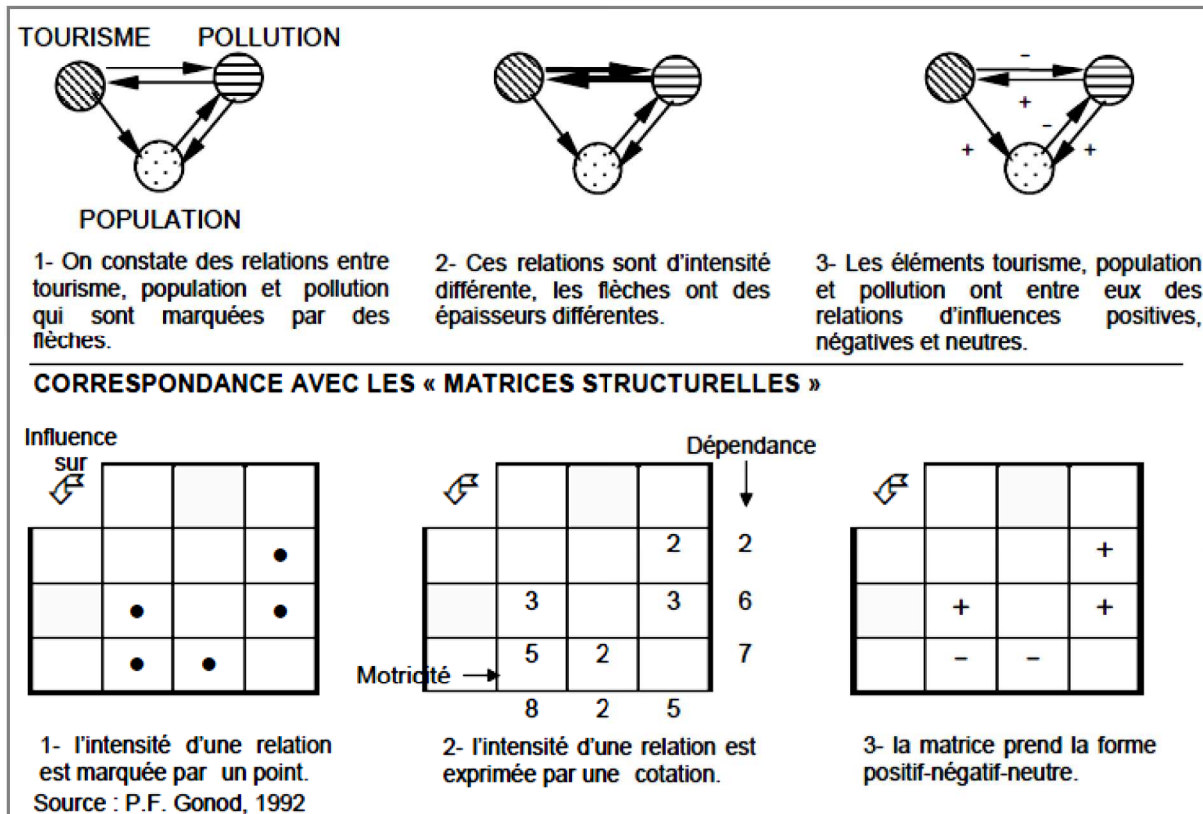


Figure III.16. Schéma systémique et matrice : deux représentations comparables

Source.(PNUE, Centre d'activités régionales du Plan Bleu, 1996)

La matrice structurelle est plus rigide en ce qu'il est difficile de lui rajouter ou de lui enlever des éléments, mais offre une meilleure clarté lorsque le nombre de variables est élevé. Elle présente en outre l'avantage d'être aisée à manipuler (Le Moigne, 1977), et permet ainsi de dégager une hiérarchisation des variables selon leur importance au sein du système, en vue de définir les variables critiques en l'occurrence motrices et dépendantes, sur lesquelles il faudrait agir pour faire évoluer le système vers la finalité souhaitée.

L'analyse structurelle constituera un des piliers de notre démarche. Elle servira à établir une hiérarchie entre les variables du système et de dégager les variables clés pour le système, objet de notre étude.

III.2.4. La simulation

III.2.4.1. Les scénarios pertinents

Développée durant les années 1950 par le physicien mathématicien Herman Kahn, la simulation par scénarios peut être définie comme "une démarche synthétique qui, d'une part, simule, étape par étape et d'une manière plausible et cohérente, une suite d'événements conduisant un système à une situation future, et qui, d'autre part, présente une image d'ensemble de celle-ci" (Julien, Lamonde, & Latouche, 1975).

Autrement dit, c'est une méthode qui permet d'explorer les futurs possibles, à travers des scénarios, images alternatives (Matzdorf & Ramage, 1999; Godet & Durance, 2011) sur des situations dans le futur, en vue d'orienter la prise de décision, en éclairant sur les conséquences de telles ou telles décisions, et de guider, par là même, l'action présente.

Les scénarios peuvent être *exploratoires*, construits par des extrapolations des tendances passées et présentes (c'est-à-dire partant du passé pour imaginer le futur), ou *normatifs*, construits de façon rétro projective (partant cette fois-ci d'une vision du futur souhaitée ou même redoutée pour remonter vers le présent) (ALEPH, 2004). Une autre classification distingue les scénarios selon la nature des hypothèses faites sur l'évolution des variables clés. Trois classes de scénarios sont ainsi mises en exergue. Le scénario tendanciel ou scénario "fil de l'eau" correspond à des hypothèses à tendance progressive résultant d'actions opératoires récentes. Le scénario contrasté correspond à des hypothèses en rupture avec les actions présentes. Le scénario de référence correspond aux hypothèses les plus vraisemblables (ALEPH, 2004). Quelque soit sa nature, un scénario se constitue de trois éléments (De Jouvenel F., 2009) : *la base*, qui correspond à la représentation de la réalité actuelle (du système étudié); *le cheminement*, qui explique comment on passe de la situation actuelle à la situation future, en se basant sur des conjectures sur le futur; et enfin *l'image finale*, représente le point d'arrivée du scénario, c'est-à-dire la situation dans le futur.

III.2.4.2. Construction des scénarios

Les scénarios sont construits à partir d'une combinaison des hypothèses établies sur les variables caractérisant le système étudié. Le choix des variables est crucial, en ce qu'il en dépend la pertinence et la vraisemblance des scénarios. L'identification de ces variables clefs résulte de l'analyse structurelle (cf. section matrice structurelle) qui permet d'établir une hiérarchisation des variables au sein d'un système selon le nombre de relations qu'elles génèrent ou qu'elles reçoivent (ALEPH, 2004). Une fois que les variables clefs sont définies, on s'emploie à élaborer des hypothèses pour chacune d'entre elles. L'étape suivante consiste à examiner les combinaisons possibles entre ces hypothèses, de manière à ce que les scénarios résultants correspondent aux futurs possibles et probables. C'est l'objectif de l'analyse morphologique.

III.2.4.3. Analyse morphologique

L'analyse morphologique⁵⁴ générale est une méthode de structuration et d'exploration sur l'ensemble total des relations contenues dans un système multidimensionnel. A la fin des années 40, Fritz Zwicky (Zwicky, 1948), un

⁵⁴ Le terme morphologie provient du grec classique (morphê) et signifie l'étude de la forme. La morphologie concerne la structure et l'agencement des parties d'un objet, et comment ceux-ci se conforment à créer un tout. L'objet en question peut être un système physique (e.g. un organisme, une anatomie ou une écologie) ou un objet mental (e.g. formes linguistiques, concepts ou systèmes d'idées).

astrophysicien d'origine suisse basé au California Institute of Technology, proposa une forme générale de l'analyse morphologique (en anglais GMA pour General Morphological Analysis). L'analyse morphologique fut utilisée dès le dix-neuvième siècle mais c'est Zwicky (1967; 1969) qui en donna les contours actuels :

"L'attention a été attirée sur le fait que le terme morphologie a longtemps été utilisé dans de nombreux domaines de la science pour désigner la recherche sur les interrelations structurelles. Par exemple dans l'anatomie, la géologie, la botanique et la biologie ... J'ai proposé de généraliser et de systématiser la concept de recherche morphologique et inclure non seulement l'étude des formes de structures géométriques, géologiques, biologiques, et généralement matérielles, mais aussi à étudier les interrelations structurelles plus abstraites entre des phénomènes, des concepts et des idées, quelle que soit leur caractère."

L'analyse morphologique vise donc à explorer de manière systématique l'espace morphologique communément appelé "le champ des possibles" que représente l'ensemble des combinaisons entre hypothèses des composantes c'est à dire les scénarios. Si le nombre de composantes et hypothèses est assez grand, le nombre de scénarios "explose" de manière combinatoire et risque de submerger l'utilisateur. Dans cette analyse, les scénarios non plausibles et non pertinents sont éliminés ce qui permet de réduire considérablement l'espace morphologique.

Au cours des dernières années, l'analyse morphologique générale a été informatisée et étendue pour la structuration et l'analyse des espaces de décision complexes, l'élaboration des scénarios d'avenir et la modélisation de stratégies alternatives (Ritchey, 2006; Godet & Durance, 2011).

Par ailleurs, quand le nombre de variables est fort important, De Jouvenel (1999), propose d'effectuer des micro-scénarios combinant un nombre restreint de variables, puis par procédé identique de combiner les micro-scénarios pour élaborer les scénarios globaux.

L'exploration des scénarios pertinents, est de plus en plus utilisée dans la prise de décision, dans le but d'éclairer le décideur sur la conséquence future des décisions présentes. Mais pour tirer le meilleur parti de cette méthode prospective, il faudrait bien délimiter le champ de son utilisation, en préciser les circonstances et les questions auxquelles elle est censée répondre, et surtout pouvoir déterminer le scénario pertinent. A cet égard, ALEPH (2004) en résume les qualités requises :

- La pertinence : il répond bien à la question de départ;
- La cohérence : il combine des hypothèses de manière logique pour donner une représentation cohérente du système;

- La vraisemblance : une probabilité d'occurrence lui est associée;
- L'importance (pour l'action) : il est outil d'aide à la décision;
- La transparence : il est lisible et justifiée.

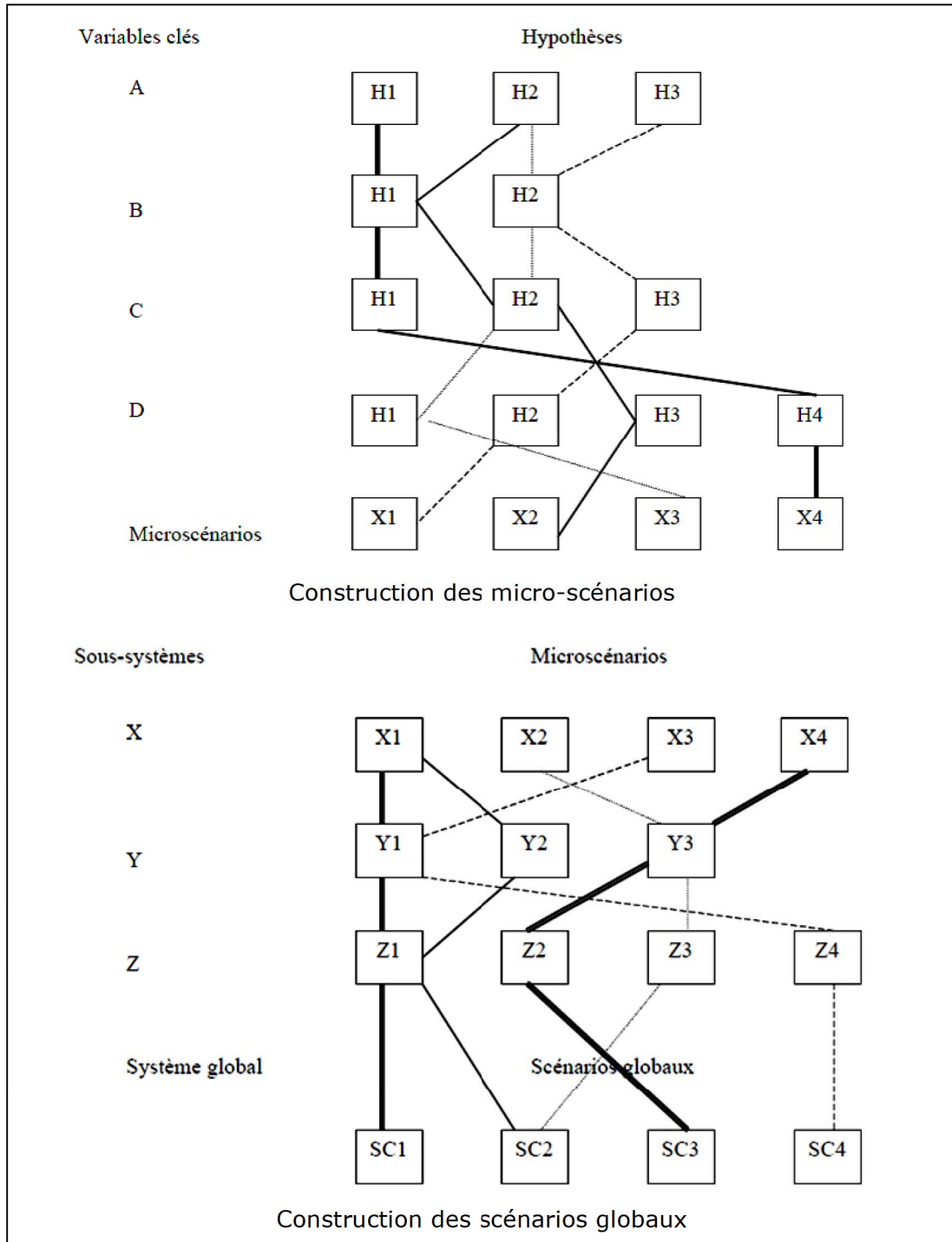


Figure III.17. Construction des micro-scénarios et des scénarios globaux

Source. (De Jouvenel H. , 1999)

III.3. Indicateurs : variables du modèle systémique

Pour Jeorin (2006), un système d'indicateurs "*regroupe un ensemble organisé d'indicateurs*" (Joerin, 2006 in Rondier, 2007). L'objectif d'un tel système est de permettre tant la compréhension de la situation étudiée que son évaluation. Donc, d'un point de vue strictement structurel, un système d'indicateurs est un système dont les composantes sont des indicateurs. Ainsi avant d'aborder la question de la construction du système d'indicateur pour la question étudiée, il serait judicieux de présenter les différents concepts que recouvre ce vocable.

III.3.1. Concepts généraux des indicateurs

III.3.1.1. Définition

Dans le dictionnaire, le terme "indicateur" est défini comme : appareil ou instrument servant à fournir des indications, des renseignements sur la valeur d'une grandeur. (Dictionnaire de français Larousse⁵⁵). Il est donc la fonction de ce qui indique ou désigne quelque chose d'une manière précise.

La définition donnée par l'OCDE est largement reprise dans la littérature scientifique, elle stipule que l'indicateur est un "paramètre ou valeur calculée à partir de paramètres donnant des indications sur ou décrivant l'état d'un phénomène, de l'environnement ou d'une zone géographique et d'une portée supérieure aux informations directement liées à la valeur d'un paramètre".(OCDE, 1993, p. 7). Boulanger (2004, p. 6) propose une définition du terme qui va dans le même sens, pour lui l'indicateur "est une variable observable utilisée pour rendre compte d'une réalité non observable". La mission première de l'indicateur serait donc d'explicitier sous une forme synthétique les phénomènes complexes qu'on cherche à appréhender, afin d'en faciliter la compréhension par les différents groupes d'individus. Les indicateurs constituent de ce fait de véritables outils d'aide à la décision au service des acteurs et responsables impliqués dans la gestion et la planification aux niveaux local, national et international. Selon Pingault & Préault (2007), l'indicateur aide à construire un consensus, une vision commune à tous les acteurs, sur l'état initial d'une situation donnée, sur les actions collectives à engager et les objectifs à fixer pour améliorer la situation. Ceci nous conduit aux deux fonctions principales des indicateurs : la simplification de l'information pour réduire la complexité des phénomènes; et la communication de l'information pertinente de façon à sensibiliser un large public.

⁵⁵ <http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/indicateur/42576>

III.3.1.2. Echelles de mesure

Quelle information pourrait-elle être qualifiée d'indicateur? Pour répondre à la question, il serait judicieux de rappeler les trois échelles de mesures reconnues (Mayster, 1997; Spangenberg, Pfahl, & Deller, 2002) :

Echelle nominale, ne connaît qu'une relation symétrique (égal à) et (différent de). La catégorisation des objets peut être dichotomique (ex. sexe homme/femme), ou polynomique (exemple nationalité algérien/tunisien/marocain etc.)(Lemelin, 2004). Globalement, il paraît que l'échelle nominale sert à nommer. C'est la première activité scientifique d'Adam, invité à tout nommer.

Echelle ordinale, permet de décider des relations symétriques (égal à et différent de) et asymétrique (plus que avec son opposé moins que). Les valeurs que prend une variable ordinale permettent un rangement en ordre croissant ou décroissant (une hiérarchie) par rapport à la propriété mesurée (ex. très grand, grand, moyen, petit, très petit). Spangenberg (2002) insiste sur la nécessité de bien définir les "distances" relatives entre les différentes classes, lesquelles sont souvent basées sur des jugements de valeurs; par exemple le passage entre très grand et grand est-il aussi important que celui entre moyen et petit?

Echelle cardinale, est la seule à laquelle on peut appliquer sans restriction les règles de l'arithmétique (Mayster, 1997). Elle produit de l'information quantitative et permet de mesurer une distance à une valeur cible ou norme lorsqu'elle est identifiée (Spangenberg, Pfahl, & Deller, 2002). Contrairement à l'échelle précédente, les distances entre valeurs sont quantifiées, par exemple s'il fait 26 ° à Alger, 40° à Adrar et 31° à Ghardaïa, les écarts de températures entre les villes calculés permettent de conclure que la différence de température entre Alger et Ghardaïa est moins importante qu'entre Alger et Adrar.

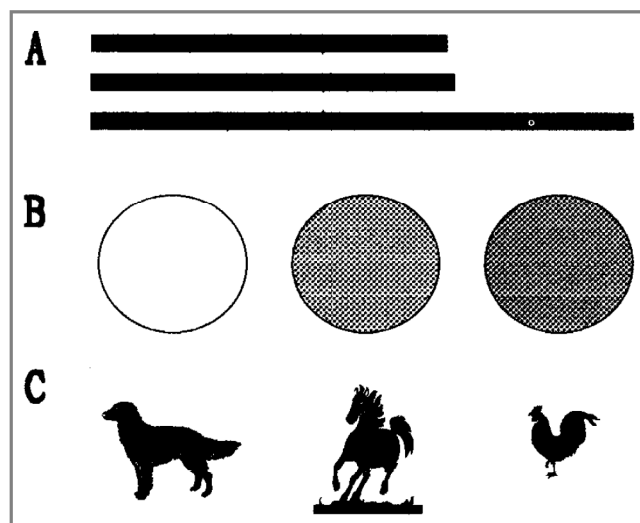


Figure III.18. Les échelles cardinale (A), ordinale (B) et nominale (C)

Source. (Mayster, 1997)

A la lumière de ce qui précède, on peut s'interroger sur le choix de l'information qui pourrait être retenue au titre d'indicateur. Selon Desthieux (2005), du fait qu'un indicateur puisse indiquer un sens ou une finalité, l'échelle nominale ne peut pas être utilisée dans la définition des indicateurs. L'indicateur doit apporter une pertinence par rapport à un objectif relatif à la question étudiée, or l'information nominale ne fait que nommer ou décrire, par exemple la carte des secteurs urbanisés, à urbaniser, d'urbanisation future, non-urbanisables du PDAU; et ne permet pas, par voie de conséquence, de tirer une appréciation de la situation. En revanche l'information cardinale et l'ordinaire sont attachées à l'objectif assigné à une étude, par exemple l'indicateur du taux de raccordement au réseau AEP (sur une échelle cardinale) permet de donner une appréciation du niveau d'alimentation en eau potable; ou une carte de vulnérabilité aux crues (sur une échelle ordinaire) permet d'apprécier le niveau (ex. moyen, faible, fort) d'exposition à ce risque.

III.3.1.3. Indicateurs synthétiques (composite)

Appelé également indice, l'indicateur synthétique s'obtient de l'agrégation des données ou des indicateurs d'un niveau hiérarchique inférieur. Son objectif est de faciliter la compréhension et l'interprétation d'un phénomène donné par le public (Tanguay, Rajaonson, Lefebvre, & Lanoie, 2009). Sous sa forme la plus simple, un indicateur synthétique suit la représentation linéaire et l'exemple ci-dessous :

$$CI_n = w_1y_{1n} + w_2y_{2n} + \dots + w_p y_{pn} = \sum_{i=1}^p w_i y_{in}$$

- CI_n correspond au score de l'indice dans l'unité n ;
- y_{in} correspond à l'indicateur pour l'attribut i dans l'unité n ;
- w_i spécifie le poids attaché à l'indicateur (coefficient de pondération).

Un indice est donc la somme pondérée des indicateurs le constituant, eux aussi calculés à partir des données brutes. Mais pour additionner les différents indicateurs aux unités de mesure différentes, il faut au préalable les ramener à une échelle commune de 0 à 100 (ou 0 à 1; ou à 10), c'est-à-dire les normaliser. Une des plus courantes méthodes de normalisation, consiste à évaluer chaque indicateur relativement à un intervalle de variations observées historiquement ou fixées normativement. Le principe général est donc selon la formule suivante (Bovar, et al., 2008) :

$$\text{Indicateur normalisé} = \frac{\text{Valeur de l'indicateur} - \text{seuil}_{\min}}{\text{seuil}_{\max} - \text{seuil}_{\min}} \times 100$$

Le *seuil maximum* correspond à la valeur maximum (observée ou normative) que peut prendre un indicateur;

Le *seuil minimum* correspond à la valeur minimum (observée ou normative) que peut prendre un indicateur.

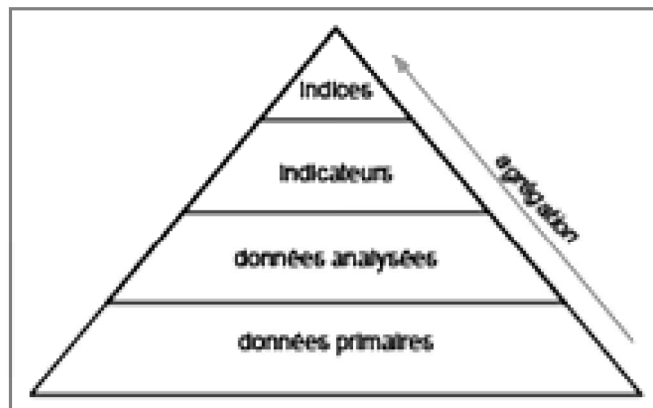


Figure III.19. Triangle d'agrégation

Source. (Zaccai & Bauler, 2004)

Lorsqu'une fonction d'agrégation n'est pas connue, l'indicateur synthétique peut être représenté par un vecteur d'indicateurs, après normalisation (Gallopain, 1997), qui donne la possibilité d'apprécier séparément les différents aspects du phénomène étudié (Desthieux, 2005).

"La plupart des indicateurs utilisés dans le cadre des politiques publiques sont des indices" (Boulanger, 2004). Leur objectif est de comparer les pays ou des territoires aux échelles inférieures à l'aune de leurs performances en matière d'environnement, de développement humain, urbain, etc. En plus de l'indice de l'empreinte écologique et les indices de l'eau, vus plus haut, il existe un certain nombre d'indices actuellement largement utilisés dont :

L'indice de développement humain : L'indice du développement humain *IDH*, est sans doute l'indicateur composite le plus connu et le plus ancien. Créé par le PNUD (Programme des Nations Unies pour le Développement) au début des années 1990, il est une agrégation de trois indicateurs : l'espérance de vie à la naissance, le niveau d'instruction (composé pour les deux tiers par le taux d'alphabétisation des adultes et pour le tiers restant par le taux brut de scolarisation), et le PIB par habitant. L'IDH est la moyenne simple de ces trois indicateurs élémentaires (i.e. le coefficient de pondération est de 1/3), préalablement normalisés sur une échelle allant de 0 à 1. Les seuils minimum et maximum considérés, représentent les valeurs, respectivement la plus basse et la plus élevée de l'indicateur observées sur l'ensemble des pays. Il en résulte que le pays le moins performant aura une valeur normalisée de 0 et le plus performant une valeur de 1, les autres se répartissant entre 0 et 1.

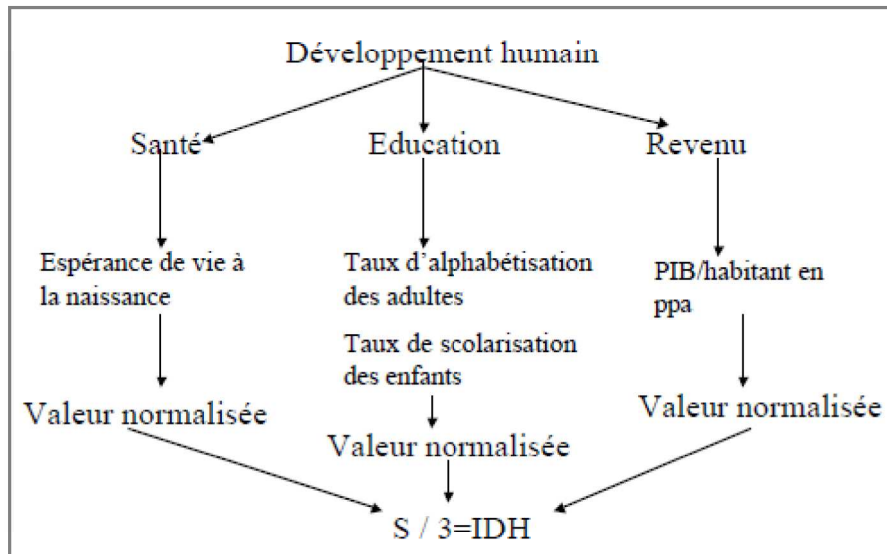


Figure III.20. Indice de développement humain

Source. (Boulanger, Thomas, van Assche, & De Ridder, 2003)

L'*indice de développement urbain* : adopté par UN-Habitat *IDU*, il est une agrégation de cinq indicateurs : produit, infrastructure (composé des indicateurs raccordement au réseau AEP, assainissement, Electricité, Téléphone), santé (composé des indicateurs espérance de vie, mortalité infantile), déchets (composé des indicateurs traitement des eaux usées, décharges formelles), éducation (taux d'alphabétisation, taux de scolarisation combiné). Cet indice est également la moyenne simple des cinq indicateurs le composant préalablement normalisés sur une échelle allant de 0 à 100. Des valeurs seuils délimitent cinq classes *High*, *Medium-high*, *Medium*, *Medium-low*, *Low*, permettant d'affiner l'appréciation de l'indice.

L'*indice de durabilité environnementale* : Ou l'indice de soutenabilité environnementale correspond à un baromètre mesurant la progression vers la durabilité environnementale sur la base de 20 indicateurs de base, chacun d'entre eux combinant de 2 à 8 variables. L'indice propose également des agrégations partielles des indicateurs donnant ainsi cinq sous-indices : Les systèmes environnementaux; Réduction des pressions environnementales; Réduction de la vulnérabilité humaine; Capacité sociale et environnementale; et Gouvernance globale.

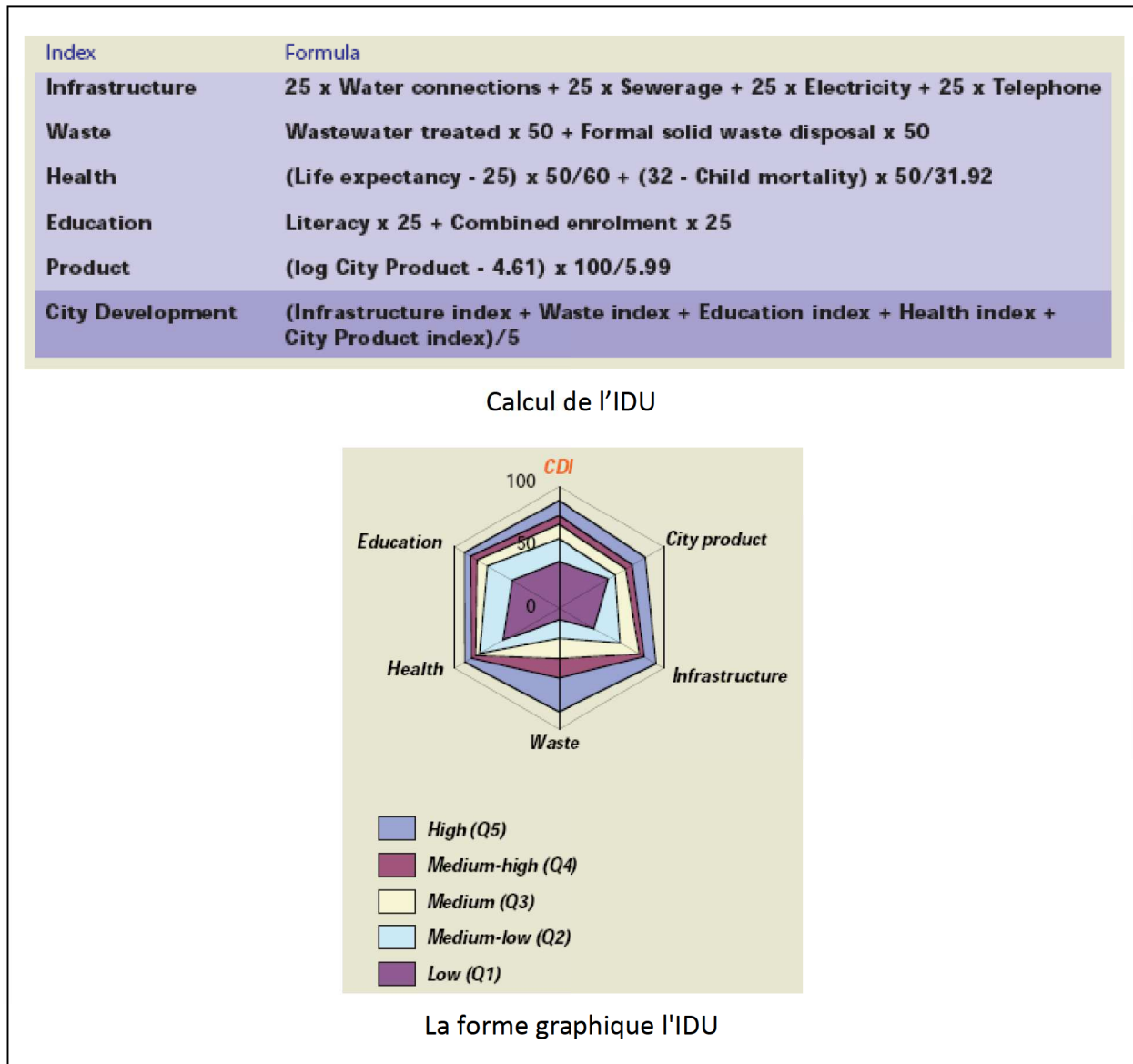


Figure III.21. L'indice de développement urbain

Source. UN-Habitat (2001)

Les indices ont été calculés par la méthode d'agrégation complète c'est-à-dire en attribuant le même poids à tous les indicateurs lors du calcul de l'indice; autorisant ainsi une compensation complète entre les indicateurs (Both, Da Cunha, & Mager, 2003). Mais, vu sous l'angle de la durabilité, certains aspects ne pourraient compenser d'autres qui doivent être placés au sommet de l'échelle des priorités; un indicateur relatif à la santé publique, par exemple, ne devrait être compensé par un indicateur de type économique si important soit-il.

Component	Indicator	Variable
Environmental Systems	Air Quality	Urban SO ₂ concentration
		Urban NO ₂ concentration
		Urban TSP concentration
	Water Quantity	Internal renewable water per capita
		Per capita water inflow from other countries
	Water Quality	Dissolved oxygen concentration
		Phosphorus concentration
		Suspended solids
		Electrical conductivity
	Biodiversity	Percentage of mammals threatened
		Percentage of breeding birds threatened
	Land	Percent of land area having very low anthropogenic impact
		Percent of land area having high anthropogenic impact
Reducing Stresses	Reducing Air Pollution	NO _x emissions per populated land area
		SO ₂ emissions per populated land area
		VOCs emissions per populated land area
		Coal consumption per populated land area
		Vehicles per populated land area
	Reducing Water Stress	Fertilizer consumption per hectare of arable land
		Pesticide use per hectare of crop land

Tableau III.2. Indice de durabilité environnementale (extrait)

Source. (Global Leaders of Tomorrow Environment Task Force, World Economic Forum, 2002)

Tableau de bord ou indice synthétique?

Cela dépend du public destinataire de l'information : Pour le grand public, il est judicieux de condenser l'information et de la présenter sous formes d'indices. A l'inverse, les scientifiques (experts, chercheurs) veulent des informations détaillées; il leur faut donc les tableaux de bord (ou grilles d'indicateurs) (Lazzeri, 2008).

Le rôle des indicateurs synthétiques est de fournir une appréciation globale de la situation étudiée, et permettent par là même d'enclencher le débat sur les politiques à mener (Stevens, 2006). Cependant ce type d'indicateurs est sujet à caution; leur fiabilité est souvent mise en cause en raison de leur caractère arbitraire, notamment dans le choix des pondérations (Bovar, et al., 2008). C'est la raison pour laquelle certains organismes et centres d'étude, procèdent soit par enquêtes où il est demandé à chaque personne d'évaluer l'importance du domaine concerné par l'indicateur, ou en laissant à l'utilisateur le soin du choix des pondérations qui conviennent à ses préoccupations (Ibid.).

Le choix des indicateurs constituant les indices relève, également, souvent de l'arbitraire. L'absence d'un cadre conceptuel rigoureux de structuration mène à produire des informations trompeuses et amène les décideurs à des conclusions simplistes quant à la question étudiée. Pour constituer un vrai outil d'aide à la décision, un indicateur synthétique doit être dérivé d'indicateurs construits selon des bases solides. Dans les paragraphes qui vont suivre, nous aborderons la question de construction et de

structuration des systèmes d'indicateurs. Nous attestons que les deux représentations indices et tableaux de bord trouveront leur application dans le processus décisionnel. Les premiers permettent, à un moment donné, "une photographie de la situation" (Lazzeri, 2008), ayant en "arrière plan" (ibid.) les seconds, constitués d'un nombre plus ou moins important d'indicateurs, eux-mêmes sont le fruit d'agrégation de données de base.

III.3.2. Construction des indicateurs : nécessité d'un cadre systématique

La traduction de la question étudiée en indicateurs ne va pas de soi. Aussi, afin d'acquérir une légitimité scientifique pour représenter cette complexité, les indicateurs retenus devraient satisfaire certaines exigences techniques et méthodologiques (Boulanger, Thomas, van Assche, & De Ridder, 2003) liées à l'opérationnalisation des concepts en indicateurs ainsi qu'à leur sélection. Dans les paragraphes qui suivent, nous aborderons ces deux aspects qui président la construction des indicateurs.

III.3.2.1. Opérationnalisation des concepts

Boulanger et al. (2003), explique que les indicateurs trouvent leur intérêt dans la mesure des *concepts* abstraits qui ne sont pas directement observables, et pour lesquels n'existe pas d'équivalent empirique unique comme la satisfaction au travail, le bien être, l'étalement urbain etc. Les indicateurs permettent donc de quantifier le concept. Cette "traduction" du concept en indicateurs est appelé le processus "d'opérationnalisation" (Both, Da Cunha, & Mager, 2003), qui constitue également l'établissement de relation entre les concepts et la réalité observable (Lemelin, 2004). IL comporte quatre phases selon, Lazaesfeld (1958) : "*la représentation imagée du concept, la spécification des dimensions, le choix des indicateurs observables et la synthèse des indicateurs constituant les indices*".

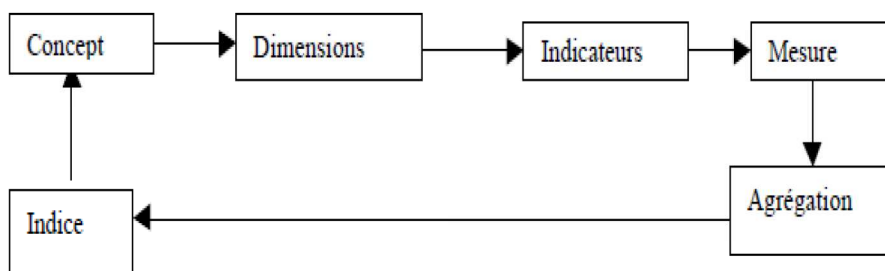


Figure III.22. Processus d'opérationnalisation des concepts en indicateurs

Source. (Boulanger, Thomas, van Assche, & De Ridder, 2003)

Du concept aux dimensions : Un concept est une idée, une représentation mentale abstraite et générale, résultant selon Gilles (1994), "*d'une opération par laquelle on individualise des traits permettant de rapprocher des objets différents ou de distinguer des objets autrement similaires*". Le concept est donc par définition multi-dimensionnel; et cette première étape du processus d'opérationnalisation s'attache à identifier les

dimensions qui constituent le concept. Cette opération s'effectue dans le registre conceptuel et théorique, par exemple le concept de pauvreté peut être caractérisé par les dimensions matérielle, sociale et culturelle (Boulanger, Thomas, van Assche, & De Ridder, 2003).

Des dimensions aux indicateurs : La dimension reste souvent un concept trop général. Chaque dimension est à son tour décomposée en variables dont les plus pertinentes seront retenues au titre d'indicateurs (Ibid.). Vient donc l'étape de sélection des indicateurs, qui prend appui sur des critères pragmatiques liés aux contraintes d'observation et de mesure mais qui n'exclut pas l'approche théorique pour définir la nature de l'indicateur

C'est ainsi, comme l'explique Both (2003), que le lien entre le concept et les indicateurs le décrivant est de nature probabiliste; Bunge (1996) la qualifie d'*hypothèse scientifique*. Cette conception de représentation de la réalité est au cœur du paradigme constructiviste qui, considère le "monde empirique" comme construit, et non pas extérieur à l'observateur. Il en résulte que le concept n'éclaire l'objet à mesurer, via les indicateurs, que selon le point de vue "partiel" de l'observateur (Both, Da Cunha, & Mager, 2003). Ce qui pose la question de légitimité des indicateurs désignés. Aussi, la relation entre l'indicateur et le concept doit, dans la mesure du possible, être validée analytiquement et empiriquement, c'est-à-dire en s'appuyant sur les connaissances scientifiques et en testant les hypothèses avancées.

Des indicateurs aux mesures : Le processus d'opérationnalisation débouche sur un ensemble, un tableau de bord, d'indicateurs qui, doivent faire l'objet de mesure dans le but d'apprécier et d'évaluer les variations observées dans la réalité par rapport au concept (Lemelin, 2004).

Les indicateurs ainsi définis serviront à construire l'indice qui permet de dégager une appréciation globale du concept étudié. Mais, Comme nous l'avons indiqué précédemment, les indicateurs le constituant n'en sont pas moins importants notamment pour les experts qui ont besoin d'étudier la question avec plus de détail. Aussi, de par l'importance qu'ils revêtent, autant que tels et autant que composants de l'indice final, la sélection des indicateurs doit faire l'objet du plus grand soin afin que la représentation qu'ils donnent au concept étudié soit la plus proche possible.

III.3.2.2. Vers une démarche systémique de sélection des indicateurs

Critères de sélection des indicateurs :

Nous avons vu que le choix des indicateurs ne pourrait être "neutre" car il est étroitement lié aux objectifs recherchés de la représentation du phénomène étudié. Par conséquent, en plus du besoin de se conformer à une démarche rigoureuse pour traduire

les concepts en indicateurs, il est *a fortiori* nécessaire de définir des critères afin de cadrer le processus de sélection des indicateurs à retenir. L'OCDE (1993), utilise trois critères essentiels en l'occurrence : pertinence, justesse d'analyse (fiabilité) et mesurabilité (opérationnalité), mais précise tout de même que ces critères se réfèrent à un indicateur "idéal" et ne sauraient être tous satisfaits dans la pratique.

La pertinence vis-à-vis une finalité prédéfinie, représente la capacité de l'indicateur à décrire cette finalité et d'observer son évolution par le changement des valeurs enregistrées dudit indicateur. Pour ce faire, il faut auparavant définir les échelles d'espace et de temps les plus appropriées à la description de la problématique étudiée (Pingault & Prévaut, 2007). La pertinence de l'indicateur tient également à un certain nombre de caractéristiques visant à rendre facile son utilisation auprès des différents acteurs telle la lisibilité, la compréhensibilité, la comparabilité, etc. Le critère de comparabilité, quant à lui, revêt une importance particulière pour définir des indicateurs *pertinents* car il est nécessaire qu'il ait une valeur repère sur une échelle cardinale ou à un degré moindre ordinale, comme on l'a vu, pour pouvoir apprécier l'indicateur. Von stocker et al. (2001), cité par Desthieux (2005), distingue trois niveaux de comparaison :

- Comparaison **temporelle** (orientée vers le *monitoring*) : Il s'agit du suivi de l'évolution d'un phénomène dans le temps, en comparant son état à différents moments. L'intervalle de temps pour effectuer les mesures dépend éminemment de la question étudiée. Aussi, pour étudier l'évolution de l'occupation du sol, par exemple, il faudrait une période d'observation de 10 à 20 ans; le suivi du marché immobilier, en revanche, nécessite un intervalle de temps beaucoup plus court;
- Comparaison relativement à un **objectif** (orientée vers le *controlling*) : Elle sert à évaluer si le phénomène évolue ou non en direction de la situation souhaitée. Pour cela, il faut se référer aux normes (ex. concentration maximale autorisée d'un polluant) qui représentent des seuils à respecter pour ne pas voir la situation se détériorer.
- Comparaison **analogique** (orientée vers le *benchmarking*) : Si dans le *controlling* l'indicateur est apprécié en le rapportant à une norme, dans le *benchmarking*, l'indicateur d'un territoire donné trouve sa signification en comparant sa valeur avec celle d'un autre territoire. Les indices IDH et IDU, précédemment cités, mesurés pour les territoires concernés respectivement national et urbain ont peu de signification en tant que tels. En revanche, ils en acquièrent dès lors qu'ils sont mis en relation avec les valeurs enregistrées des autres territoires.

Comme évoqué plus haut, cette sorte de distance entre concept et indicateur soulève la question de la *validité* (ou fiabilité) de l'indicateur au regard du phénomène à représenter. Pingault (2007) distingue trois types de validité : la validité scientifique, c'est-à-dire l'indicateur doit reposer sur des fondements théoriques solides en termes scientifique et technique; la validité conceptuelle qui implique de prendre appui sur des concepts ayant fait l'objet de consensus à la fois par les décideurs, les experts et les citoyens; et enfin la validité statistique, c'est-à-dire l'indicateur doit être représentatif, reproductible, etc.

L'opérationnalité, se réfère à la méthodologie de calcul qui doit être claire et compréhensible; de même qu'à la disponibilité, à un coût raisonnable des données servant au calcul des indicateurs. Mais ce critère pourrait être transcendé lorsqu'il s'agit d'un indicateur mesurant un enjeu prioritaire auquel les décideurs consacrent une attention particulière (Pingault & Prévaut, 2007).

Les indicateurs n'auront pas de sens individuellement. Leur construction doit se référer à un cadre conceptuel dont le rôle serait de mettre en relation les différentes facettes du phénomène étudié. Dans les paragraphes qui suivent, il sera question de mettre en exergue la nécessité d'un cadre de référence pour orienter la sélection des indicateurs et, a fortiori, d'un cadre systémique plus adapté pour décrire la complexité qui nous entoure.

Nécessité d'un cadre de référence systémique

Pour rebondir sur le critère de pertinence des indicateurs, il est nécessaire de faire remarquer que ce qui importe le plus, comme le souligne Fusco (2005), ce n'est pas la pertinence de chaque indicateur considéré individuellement, mais l'ensemble des indicateurs sélectionnés. Or les séries d'indicateurs ou tableaux de bord produits ont tendance à décomposer le phénomène en un certain nombre d'éléments mesurés et évalués individuellement, induisant ainsi une perte de la vision d'ensemble et la compréhension du comportement du système (ou le phénomène étudié). Dans cette démarche, que certains appellent "cadre thématique d'organisation d'indicateurs" (Fossat, Pelletier, & Levrel, 2009), les indicateurs sont souvent classés par thème, objectifs, axes, modules, etc. : c'est le cas par exemple de la liste des 134 indicateurs proposée par la Commission du développement durable des Nations unies en 1996, qui a fait, par la suite, l'objet de révision et une nouvelle fut proposée 10 ans après (United Nations, 2007), où cette fois-ci les liens que chaque indicateur entretient avec les différents thèmes (au nombre de 14) ont été étudiés et définis; les indicateurs des Objectifs du Millénaire pour le développement au nombre de 60 pour mesurer l'atteinte des huit objectifs désignés; et un dernier exemple à l'échelle territoriale, venant de la Datar et le Commissariat Général au Développement Durable (2013) en France, qui ont

mis au point une liste d'indicateurs de développement durable territoriaux également organisés par thèmes.

Il va sans dire que cette décomposition de l'objet en sous ensemble étudiés séparément est à l'encontre de l'esprit de l'approche systémique qui préconise d'analyser les phénomènes dans leur globalité en insistant particulièrement sur les liens entre les éléments le constituant, non les éléments en tant que tels, afin d'en appréhender la complexité. Aussi, dans l'objectif de transcender le caractère énumératif et fragmentaire des listes d'indicateurs certaines organismes et centres d'études ont choisi d'avoir recours au cadre conceptuel (*framework*) pour structurer les indicateurs, lequel permet de mettre en relations les éléments constitutifs du phénomène étudié. Le modèle PSR (Pressure - State - Response) a été proposé par l'OCDE (OCDE, 1993), qui le définit comme un modèle causal : *"les activités humaines exercent des pressions sur l'environnement et modifient la qualité et la quantité des ressources naturelles ("Etat"). La société répond à ces changements en adoptant des mesures de politique d'environnement, économique et sectorielle ("réponses de la société")"*. Des liens causaux ont en effet été établis entre les composantes du modèle. Cette démarche a inspiré d'autres cadres conceptuels, entre autres, le DPSIR (Driving Forces - Pressure - State - Impact - Response) utilisé par l'Agence européenne pour l'environnement depuis 1998, (voir figure III.22), qui vise à structurer les indicateurs de manière à répondre aux objectifs de la politique de contrôle des problèmes environnementaux, en offrant un cadre adéquat pour expliquer les relations de causalité qui déterminent ces problèmes (Smeets & Weterings, 1999). Par rapport au PSR, ce modèle considère en plus : les *forces motrices* qui expriment les facteurs directs et indirects influant sur la modification de l'état de l'environnement, et l'*impact* résultant.

C'est ainsi, du fait qu'ils permettent de corréler l'activité humaine et l'état de l'environnement, ces deux modèles ont servi de référence pour la production de nombreux set d'indicateurs aux niveaux international et européen (Balestrat, 2011). Ils ont même vu leur application se décliner aux échelons territoriaux (IBGE, 2000; CERTU, 2006). Mais la question qui s'impose est celle de savoir si réellement cette démarche débouche sur une représentation systémique des questions étudiées de façon à permettre d'en saisir le comportement?

Objectifs du Millénaire pour le Développement (OMD)	
Objectifs et cibles (énoncés dans la Déclaration du Millénaire)	Indicateurs de suivi des progrès accomplis
Objectif 1: Éliminer l'extrême pauvreté et la faim	
Cible 1A: Réduire de moitié, entre 1990 et 2015, la proportion de la population dont le revenu est inférieur à un dollar par jour	1.1 Proportion de la population disposant de moins d'un dollar par jour en parité du pouvoir d'achat (PPA) ^a 1.2 Indice d'écart de la pauvreté 1.3 Part du quintile le plus pauvre de la population dans la consommation nationale
Cible 1B: Assurer le plein-emploi et la possibilité pour chacun, y compris les femmes et les jeunes, de trouver un travail décent et productif	1.4 Taux de croissance du PIB par personne occupée 1.5 Ratio emploi/population 1.6 Proportion de la population occupée disposant de moins de 1 dollar PPA par jour 1.7 Proportion de travailleurs indépendants et de travailleurs familiaux dans la population occupée
Cible 1C: Réduire de moitié, entre 1990 et 2015, la proportion de la population qui souffre de la faim	1.8 Prévalence de l'insuffisance pondérale chez les enfants de moins de 5 ans 1.9 Proportion de la population n'atteignant pas le niveau minimal d'apport calorique
Objectif 2: Assurer l'éducation primaire pour tous	
Cible 2A: D'ici à 2015, donner à tous les enfants, garçons et filles, partout dans le monde, les moyens d'achever un cycle complet d'études primaires	2.1 Taux net de scolarisation dans le primaire 2.2 Proportion d'élèves ayant commencé la première année d'études primaires qui terminent l'école primaire 2.3 Taux d'alphabétisation des 15-24 ans, femmes et hommes
Objectif 3: Promouvoir l'égalité des sexes et l'autonomisation des femmes	
Cible 3A: Éliminer les disparités entre les sexes dans les enseignements primaire et secondaire d'ici à 2005 si possible, et à tous les niveaux de l'enseignement en 2015 au plus tard	3.1 Rapport filles/garçons dans l'enseignement primaire, secondaire et supérieur 3.2 Proportion des femmes salariées dans le secteur non agricole 3.3 Proportion des sièges occupés par les femmes au parlement national
Objectif 4: Réduire la mortalité des enfants de moins de 5 ans	
Cible 4A: Réduire de deux tiers, entre 1990 et 2015, le taux de mortalité des enfants de moins de 5 ans	4.1 Taux de mortalité des enfants de moins de 5 ans 4.2 Taux de mortalité infantile 4.3 Proportion d'enfants d'1 an vaccinés contre la rougeole
Objectif 5: Améliorer la santé maternelle	
Cible 5A: Réduire de trois quarts, entre 1990 et 2015, le taux de mortalité maternelle	5.1 Taux de mortalité maternelle 5.2 Proportion d'accouchements assistés par du personnel de santé qualifié
Cible 5B: Rendre l'accès à la médecine procréative universel d'ici à 2015	5.3 Taux de contraception

Extrait de la liste "Indicateurs des Objectifs du millénaire pour le développement"

Thème	Orientation	Indicateur	Echelon territorial
Consommation et production durables	Privilégier des procédés de production et des comportements de consommation responsables	Prélèvements en eau par usage	Département
		Production de granulats	Département
		Surfaces en agriculture biologique	Département
	Limiter et valoriser les déchets	Déchets ménagers collectés	Département
		Valorisation des déchets ménagers et assimilés	Département
Société de la connaissance et développement économique et social	Favoriser le développement du capital humain et valoriser le potentiel d'emploi	Niveau de qualification des jeunes	Zone d'emploi
		Taux d'emploi	Zone d'emploi
	S'adapter aux changements structurels de l'économie et répondre aux défis de la mondialisation	Taux de création et de survie à 5 ans des entreprises	Zone d'emploi
		Ouverture à l'international	Zone d'emploi
	Encourager des formes de compétitivité pour une croissance durable	Potentiel de développement	Zone d'emploi
		Produit intérieur brut par habitant	Région
Bonne gouvernance	Favoriser une stratégie et un pilotage partagés pour un développement territorial durable	Couverture de la population par un agenda 21	Département
		Participation aux élections législatives au premier tour	Département
	Renforcer la coopération et la solidarité entre territoires	Aide des collectivités au développement*	Région
		Part des dépenses mutualisées	EPCI

Extrait de la liste d'indicateurs de développement durable territoriaux : la Datar et le Commissariat Général au Développement Durable (2013)

Figure III. 23. Exemple de tableau de bord d'indicateurs.

Source. Datar et le Commissariat Général au Développement Durable (2013)

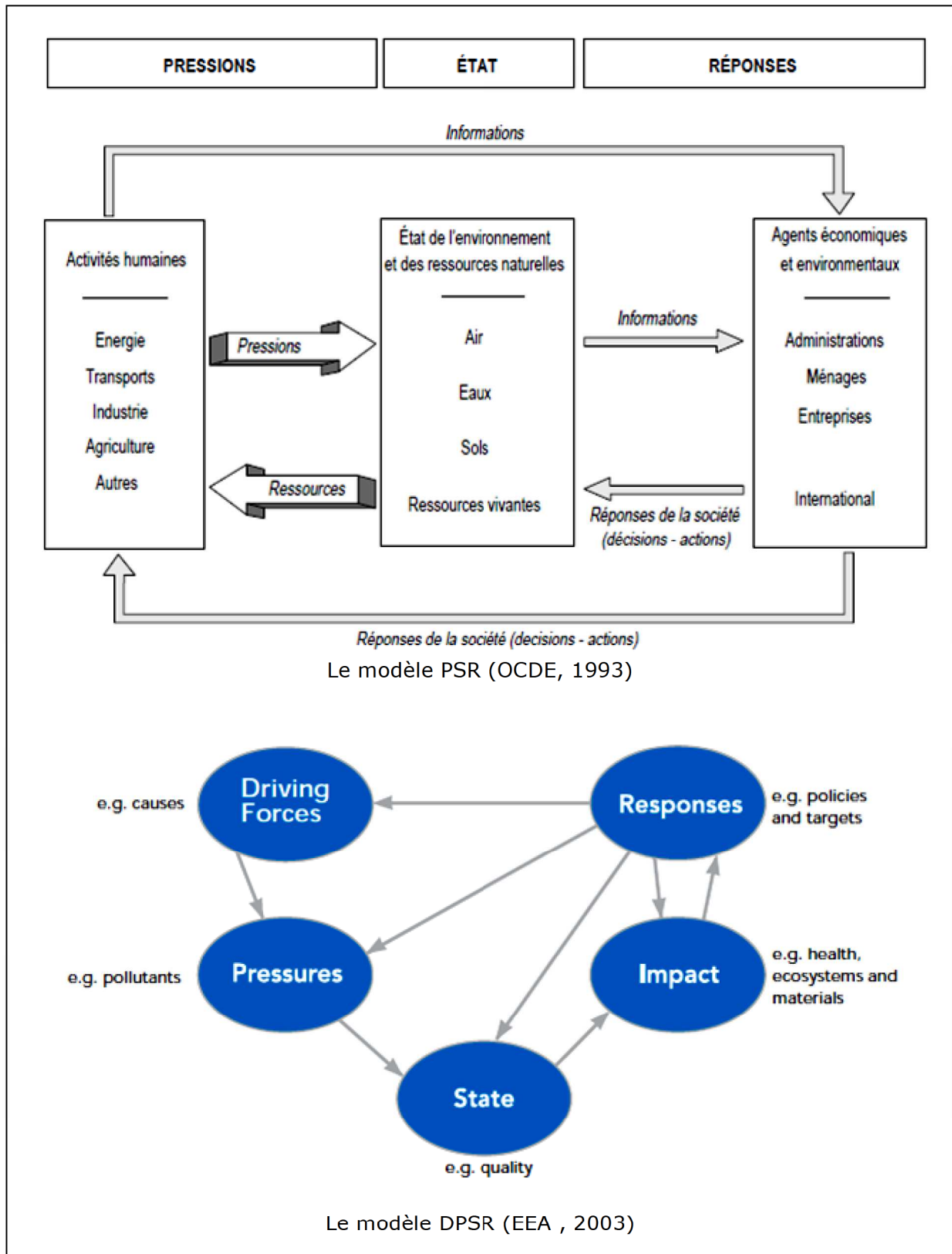


Figure III.24. Cadres conceptuels PSR et DPSIR
 Source. (OCDE, 1993), (EEA, 2003)

Selon Pileri (2002) cité par Fusco (2005), ce qui rend un indicateur robuste et fiable est précisément le cadre conceptuel à partir duquel il a été généré. Les cadres conceptuels, comme ceux qui ont été cités plus haut, semblent permettre une représentation systémique des phénomènes étudiés, selon laquelle s'effectue le choix des indicateurs; mais Desthieux (2005) relève que les relations causales se situent uniquement au niveau conceptuel et théorique. Quand bien même ces approches ont tenté d'aborder d'une manière systémique les problématiques étudiées, leur objectif ultime se cantonnait à guider le choix des indicateurs décrivant chaque bulle (composante) du modèle. Aussi, l'OCDE applique son modèle pour choisir les indicateurs de Pressions, Etat, Réponses, pour chacun des thèmes (ex. ressources en eau); mais les indicateurs sont simplement juxtaposés dans les différentes catégories.

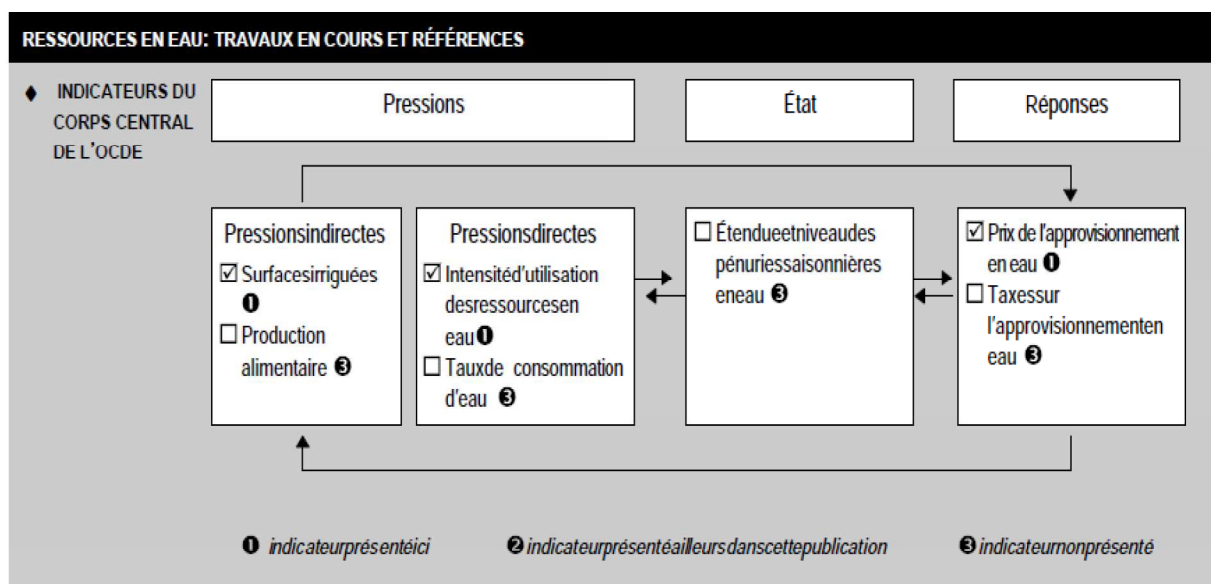


Figure III.25. Indicateurs Pressions-Etat-Réponses pour le thème Ressources en eau

Source. (OCDE, 1998)

Ces approches ont été mises en cause parce qu'elles ne proposent pas de méthodes pour identifier et formaliser les relations causales entre indicateurs et analyser le modèle résultant (Repetti, 2004). Une telle formalisation, comme le soutient Desthieux (2005) implique de considérer un ensemble de relations entre les indicateurs en tant que modèle du système réel. En d'autres termes, les indicateurs deviennent les variables du modèle systémique, dont il faudrait étudier les relations de manière à pouvoir comprendre le système étudié (le phénomène) et de prédire son évolution.

III.3.2.3. Représentation graphique des indicateurs

Présentées sous forme de séries de valeurs ou de tableaux, les données ne sont pas toujours très parlantes. Il est alors important de procéder à la représentation graphique de ces données, qui permet de faciliter la lecture de l'information véhiculée dans une

double perspective de synthétisation de l'information pour les besoins d'analyse du phénomène étudié et de communication.

En ce qui concerne les indicateurs, les modes de représentation graphique diffèrent selon qu'il s'agit de représenter les valeurs d'un seul indicateur, ou les valeurs des différents indicateurs composant le set ramenées à une échelle commune après normalisation.

- Représentation graphique d'un indicateur

La représentation graphique d'un indicateur se fait à l'aide de diagramme dans lequel les données sont représentées par des symboles. Les diagrammes sont souvent utilisés pour faciliter la compréhension de grandes quantités de données et les relations entre ces données. Ils sont de ce fait appréhendés plus rapidement que les données brutes d'origine. Il existe différents types de diagrammes, parmi lesquels les plus communément utilisés sont :

L'histogramme, consiste en des fréquences tabulaires, présentés sous forme de rectangles adjacents, érigés sur des intervalles discrets, d'une hauteur égale à la fréquence des observations dans l'intervalle. Les rectangles d'un histogramme sont dessinés de sorte qu'ils se touchent l'un l'autre pour indiquer que la variable d'origine est continue.

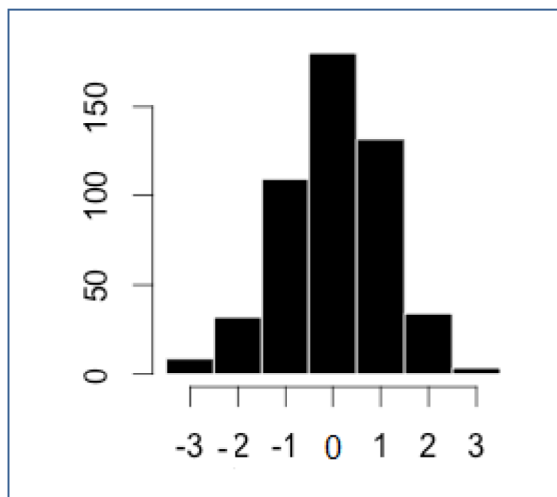


Figure III.26. Histogramme.

Le diagramme circulaire, communément appelé diagramme en secteurs ou camembert par les francophones ou *pie-chart* (tarte) par les anglophones, permet de représenter un nombre de valeurs par des angles proportionnels à ces valeurs. Il est très utilisé dans les médias et milieux professionnels pour montrer des proportions. Ce diagramme, par contre, ne permet pas de représenter des nombres négatifs.

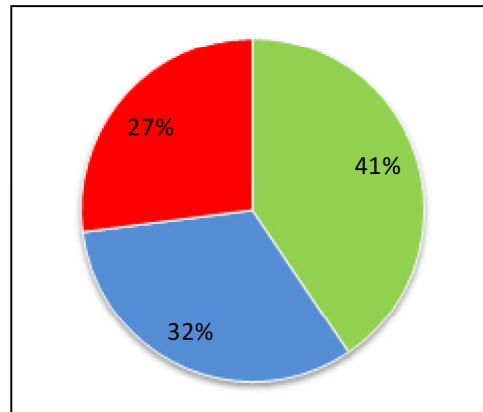


Figure III.27. Diagramme circulaire.

Le *diagramme en courbe*, est un graphique qui affiche des informations comme une série de points de données appelée "marqueurs" reliés entre eux par des segments de droite. Un graphique en courbe est souvent utilisé pour visualiser une tendance des données sur des intervalles de temps.

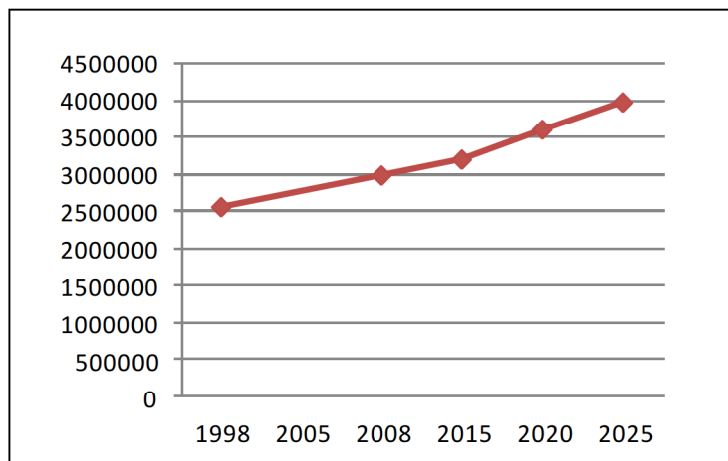


Figure III.28. Diagramme en courbe.

- Représentation graphique d'un set d'indicateurs

Pour être visuellement et facilement appréhendé, un set d'indicateurs nécessite une représentation adaptée. Les représentations utilisées pour un indicateur peuvent s'avérer non généralisables. Trois types de représentations graphiques émergent pour un ensemble d'indicateurs :

Le *radar*, est une représentation sous forme de polygone régulier où chaque axe désigne un indicateur. L'extrémité de l'axe située sur le sommet du polygone correspond à la valeur maximale, et celle sur le centre à la valeur minimale. Il en résulte que la performance de l'indicateur sera d'autant plus importante que sa valeur s'éloigne du centre. Ce support graphique permet une bonne lisibilité des indicateurs situés sur les sommets du polygone, mais la lecture peut être faussée par l'ordre dans lequel les indicateurs sont placés notamment si l'on colorie la surface que délimitent les valeurs des

indicateurs, qui est d'ailleurs un artifice de la représentation, car la liaison entre les valeurs n'a pas de signification particulière (Bonierbale, 2005).

Le diagramme en courbe, est une représentation sous forme de courbe mais dont le principe ressemble à celui du radar, sauf que les axes ne sont plus radiaux mais parallèles. Son avantage réside dans le fait qu'il permet de mieux représenter les valeurs négatives. Cependant, la liaison entre les valeurs peut nuire à la lisibilité, d'autant plus si le nombre d'indicateurs à représenter augmente.

Le diagramme à barres (bar chart pour les anglophones), également appelé diagramme à bâtons ou diagramme à bandes est un graphique avec des barres rectangulaires ayant des longueurs proportionnelles aux valeurs qu'elles représentent. Il est utilisé pour représenter les indicateurs. Du fait de l'absence de liaison entre indicateurs, leur ordre n'influe que faiblement sur la lecture des résultats, et favorise par voie de conséquence une meilleure lisibilité. A l'instar du diagramme, si le nombre d'indicateurs à représenter est très grand la lisibilité diminue quelque peu. Cela étant, le diagramme à barres reste un des principaux modes de représentation graphique des indicateurs. Les diagrammes à barres sont souvent confondus avec les histogrammes. Le diagramme à barres est un graphique de variables catégorielles et la discontinuité doit être indiquée en ayant des écarts entre les rectangles. Le diagramme à barres empilées, *stacked bar chart* en anglais, est une sous catégorie du diagramme à barre. Les barres, pouvant être de longueur égale (*100% stacked bar chart*), sont constituées d'empilement de plusieurs rectangles. Cette représentation est utilisée pour représenter l'indice vectoriel proposé dans le cadre de cette recherche. Voir figures V.4., et V.5.

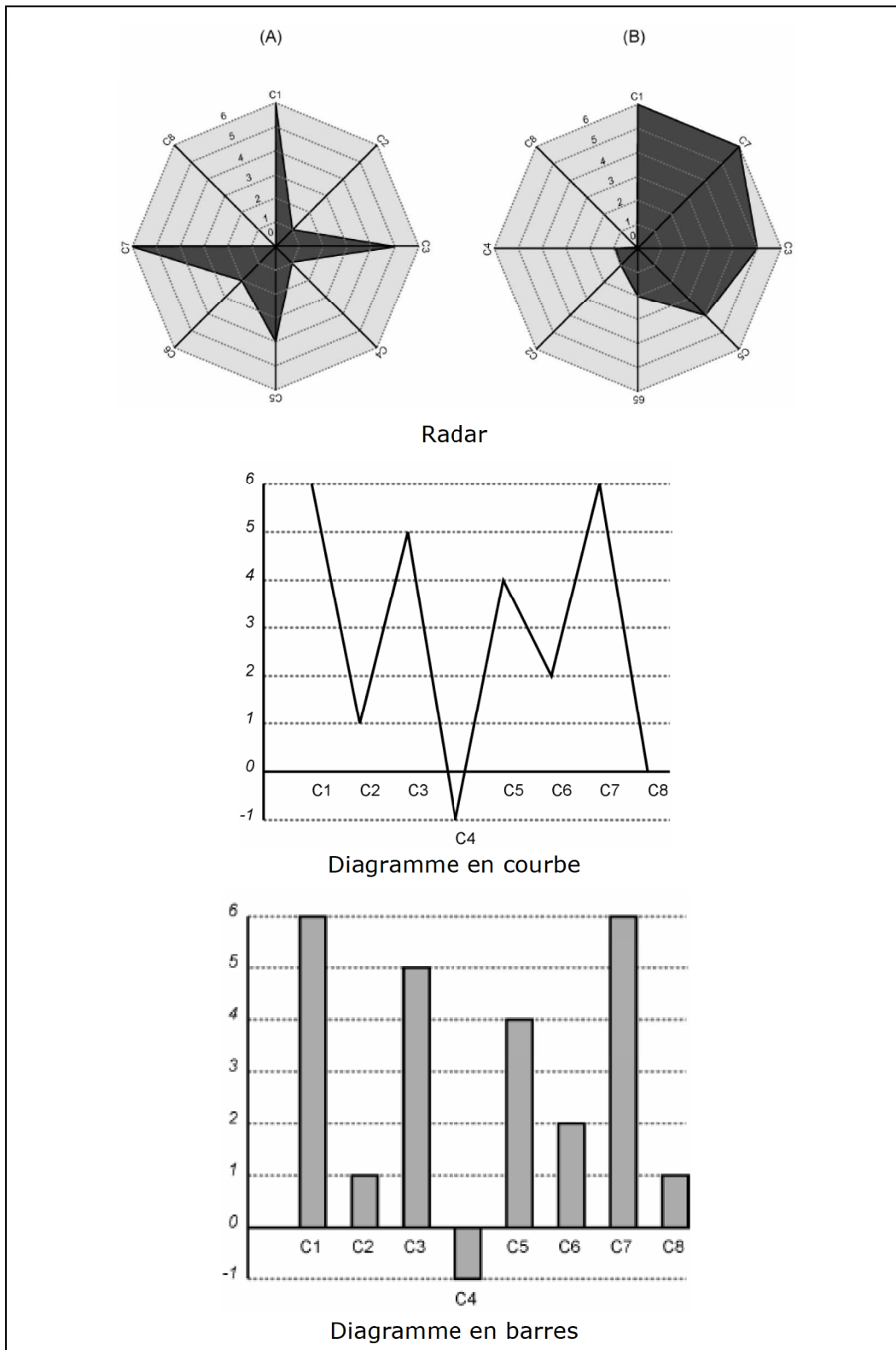


Figure III.29. Différentes formes de représentation graphique des indicateurs

Source. (Bonierbale, 2005)

III.4. Synthèse et conclusion du chapitre

Dans ce chapitre, nous avons abordé les concepts clefs : d'un côté l'approche et la modélisation systémique et de l'autre les indicateurs, à la base de l'élaboration d'un système d'indicateurs. Ce dernier se distingue d'un simple tableau de bord ou un ensemble d'indicateurs juxtaposés en ce qu'il renvoie à la notion de système. Assimiler un phénomène étudié à un système revient à considérer l'ensemble des éléments le composant en interaction, agissant en symbiose en fonction d'une finalité qui lui est propre. Il s'agit de phénomènes complexes qui ne sauraient être élucidés par la méthode analytique cartésienne qui réduit l'objet étudié en éléments le composant négligeant les interactions entre les éléments. Le système complexe se définit en effet par son organisation structurelle, c'est-à-dire les éléments qui le composent ainsi que leur agencement, et dynamique qui renvoie au comportement fonctionnel du système à travers ses interrelations. Le système est de ce fait plus que la somme des ses parties car de cette organisation naissent de nouvelles propriétés que ne possédaient pas ces parties. En plus, l'organisation structurelle établit une hiérarchie entre les systèmes, chaque système peut être considéré comme composante d'un système plus grand avec lequel il entretient des échanges (des entrées et des sorties). Cet emboîtement des systèmes ainsi que leurs interrelations reflète le monde réel où les systèmes sont rarement fermés.

L'approche systémique s'attache à étudier les systèmes complexes. Elle regroupe l'ensemble des démarches théoriques, méthodologiques et pratiques permettant de les appréhender. Au bout de compte, elle prend forme dans le processus de modélisation, dont l'objectif est de construire un modèle du système étudié par la représentation de son organisation structurelle et dynamique. Ce processus de représentation pourrait prendre appui sur l'analyse structurelle, qui aboutit à une hiérarchisation des variables du modèle, et donc à identifier celles dont la place au sein du système est critique.

Une fois construit, le modèle va servir à faire des simulations afin de pouvoir prédire le comportement du système lorsqu'on agit sur les variables de la structure du modèle. La simulation par les scénarios est de plus en plus utilisée dans la prise de décision. Elle consiste à construire des scénarios à partir d'hypothèses sur les variables clefs caractérisant le système. Une combinaison de variables qui obéit aux objectifs d'explorer les possibilités d'atteindre une situation souhaitable (stratégie proactive), ou au souci d'analyser le risque dévolution vers des situations défavorables voire redoutables (stratégie préactive).

Dans un système d'indicateurs qui est un modèle d'un système étudié, les variables sont donc des indicateurs. Ceux-ci ont globalement pour mission d'explicitier sous une forme synthétique les phénomènes complexes qu'on cherche à appréhender, dans

l'objectif d'en faciliter la compréhension par les différents acteurs. Afin de traduire un phénomène en indicateurs, il est important de satisfaire certaines exigences techniques et méthodologiques en vue de rendre légitime les indicateurs désignés. La méthode qui consiste à désagréger les concepts clefs en indicateurs en passant par les dimensions, appelée aussi opérationnalisation des concepts, est très répandue. Sauf qu'elle débouche sur une série d'indicateurs sans identification des liens qu'ils entretiennent entre eux, nécessaires pour représenter la complexité du système étudié et comprendre son comportement. A ce titre, la modélisation systémique représente le cadre rigoureux permettant de générer le système d'indicateurs. Nous rappelons que le processus de modélisations se compose de quatre étapes : définition du champ de modélisation, conception du modèle, étude du comportement du modèle, et enfin utilisation du modèle. La conception du modèle, c'est-à-dire du système d'indicateurs pourrait s'établir en deux temps : l'élaboration en premier lieu du cadre conceptuel (un modèle global) de la problématique étudiée, et par la suite l'opérationnalisation des concepts du modèle en indicateurs, tout en veillant à expliquer les relations de causalités entre indicateurs. Le système d'indicateurs ainsi obtenu pourrait servir à construire les scénarios de simulations. Il est possible également d'agréger les indicateurs en indices dont le rôle est de fournir une évaluation globale de la situation, requise pour l'organisation des débats autour de la question qui préoccupe. Deux formes d'agrégation sont à distinguer : scalaire dont le résultat est une valeur unique, et vectorielle donnant la possibilité d'apprécier séparément les différentes facettes du phénomène étudié.

L'ensemble des concepts et méthodes abordés dans ce chapitre vont servir à construire le système d'indicateurs pour la capacité de charge urbaine relative aux ressources hydriques.

La nécessité de définir les paramètres caractérisant aussi bien la disponibilité de l'eau pour les populations que la demande, ainsi que leur traduction en indicateurs pour évaluer la capacité de charge hydrique constitue la première hypothèse de ce travail de recherche. L'importance de considérer ces deux aspects pour analyser la capacité de charge a été soulignée par plusieurs auteurs qui se sont penché sur la question (chapitre II). Les chapitres qui vont suivre, s'efforceront de démontrer l'intérêt de considérer les indicateurs relatifs à ces deux aspects dans l'évaluation de la capacité de charge.

CHAPITRE IV. Sélection des indicateurs et modélisation de la capacité de charge urbaine relative aux ressources hydriques à Alger

"Un bon croquis vaut mieux qu'un long discours"

Napoléon Bonaparte

IV.1. Méthode d'évaluation de la CCURH

Les éléments de la méthode développée pour l'évaluation de la capacité de charge relative aux ressources hydriques sont puisés dans la littérature existante en matière d'évaluation de capacité de charge. La méthode se base sur la construction d'un système indicateurs mais l'objectif ultime reste la détermination de la population limite qui s'obtient par le rapport entre la disponibilité en eau et la consommation ou demande individuelle de cette ressource selon la formulation de la capacité de charge (Penck A. , 1925; Ackerman, 1959; Oh, Jeong, Lee, Lee, & Choi, 2005; Vivier, 2010). Par ailleurs, comme déjà évoqué, les indicateurs développés se restreignent à la description de la capacité des ressources à soutenir la croissance, tandis que l'intensité de l'utilisation des ressources est aussi déterminante pour la capacité de charge. C'est pourquoi nous proposons également des indicateurs décrivant ce volet. Les interactions entre ces deux volets offre/demande sont prises en compte dans le cadre du modèle systémique. Le schéma de la figure ci-après récapitule l'ensemble des méthodes d'évaluation recensées, les paramètres qu'elles interpellent ainsi que la méthode proposée pour l'évaluation de la capacité de charge étudiée.

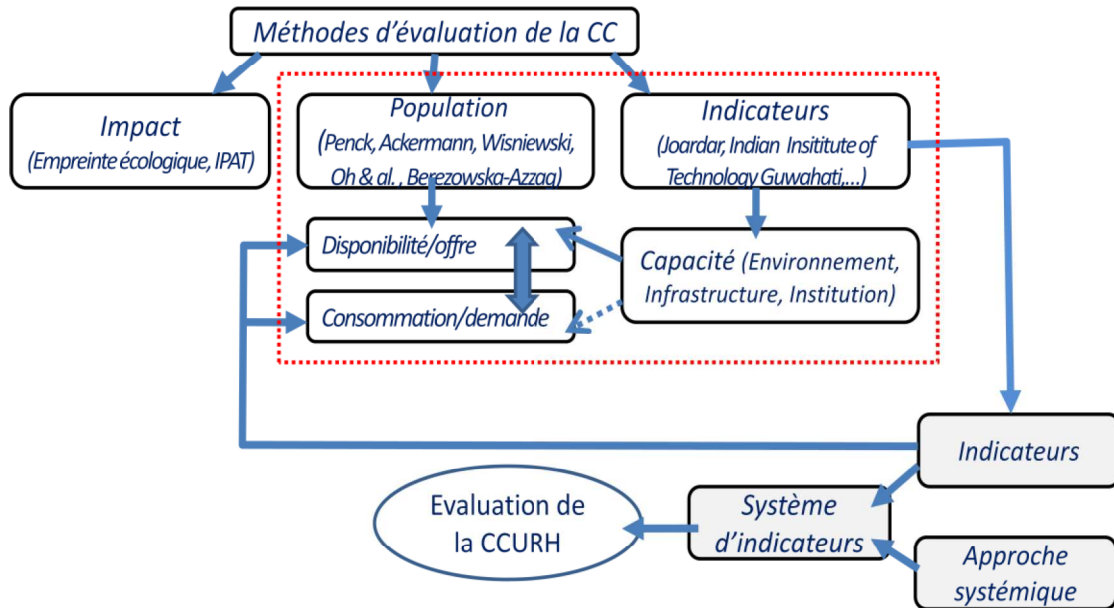


Figure IV.1. Méthode d'évaluation de la CCURH

Source. Auteur.

IV.2. Vers un modèle systémique de la capacité de charge urbaine relative aux ressources hydriques

La mise en relation des facteurs en jeu dans la CCURH repose sur la construction d'un modèle systémique d'indicateurs. Nous avons présenté au chapitre précédent le cadre conceptuel et méthodologique d'une analyse systémique et de modélisation par système d'indicateurs. Forts d'enseignements tirés, nous pouvons dans ce qui suit nous pencher sur la construction d'un modèle spécifique à la notion de capacité de charge urbaine relative aux ressources hydriques. Ce modèle nous servira ensuite à apprécier la CCURH d'Alger et à simuler son évolution dans le temps.

IV.2.1. Étapes de la modélisation du système d'indicateurs

Le schéma de la figure IV.2 représente les étapes de la construction et de l'utilisation du système d'indicateurs et leurs correspondances avec les étapes du processus de modélisation systémique.

La première étape du processus de modélisation s'attache à connaître et à définir clairement les frontières du système à modéliser et ses composantes, dans notre cas la capacité de charge urbaine relative aux ressources hydriques. Pour ce faire nous avons pris appui sur l'étude de l'état de l'art entourant aussi bien la question de l'eau que la capacité de la charge. Ce qui nous a permis, en se basant également sur l'analyse du cas d'étude, de développer le modèle conceptuel, qui a constitué un point de départ de construction des indicateurs. Au bout de cette deuxième étape l'organisation structurelle du modèle a été définie. La description de l'organisation fonctionnelle ou l'étude des

relations entre les indicateurs constitue l'objet de la troisième étape. Le but est de comprendre le comportement du système, de valider le choix des indicateurs et enfin de classer les indicateurs par ordre d'importance afin de déceler ceux qui occupent une place déterminante dans le système. C'est sur ces indicateurs clés qu'ont été effectuées les simulations pour déterminer la capacité de charge urbaine relative aux ressources hydriques pour le cas d'étude.

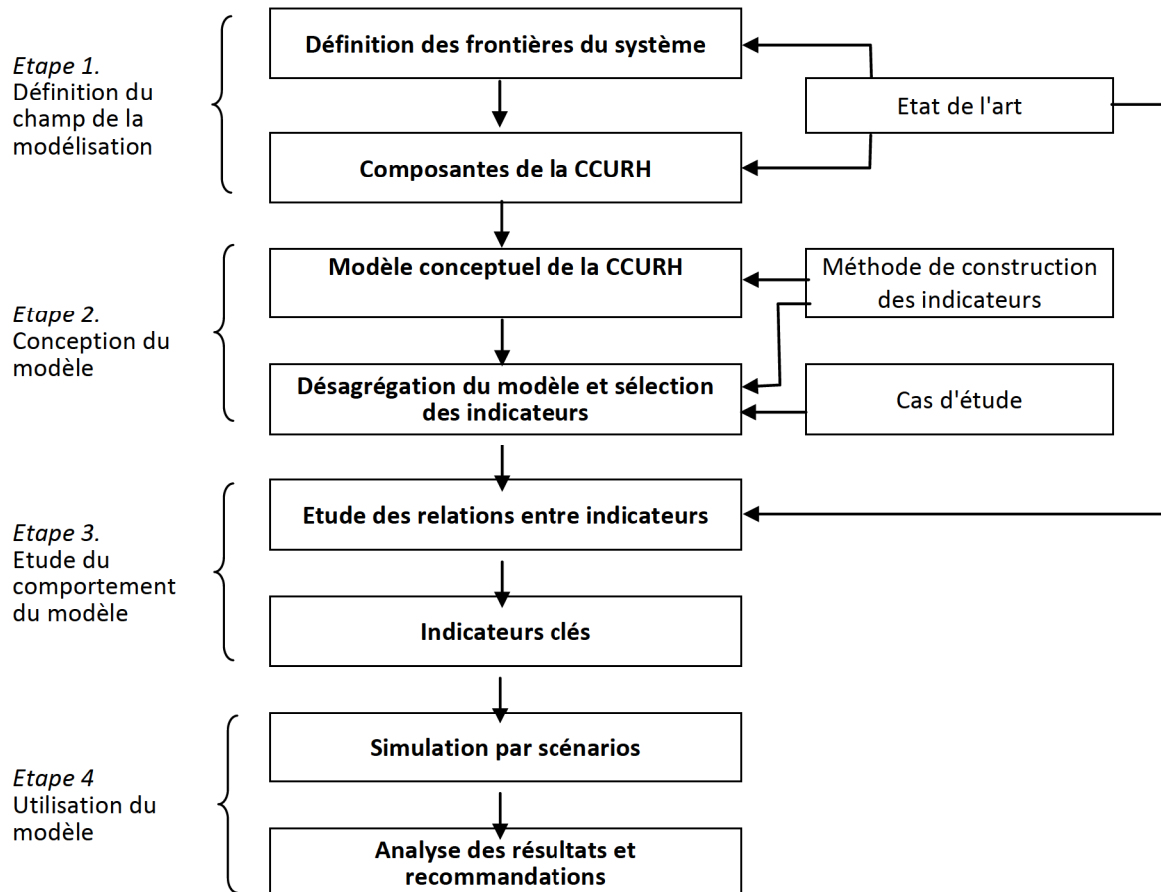


Figure IV.2. Etapes de la modélisation du système d'indicateurs adoptées dans la recherche

Source. Auteur.

IV.2.2. Les frontières du système

Si les capacités de charge humaine et biologique s'accordent, sur l'existence d'un seuil limite d'utilisation des ressources qui conditionne le nombre de population et le niveau de croissance, la deuxième se distingue par le nombre important de paramètres, mis en jeu, la déterminant. En effet, comme nous l'avons vu plus haut, l'étude de la capacité de charge chez les espèces non humaines, s'attache uniquement à mettre en relation la capacité de support de l'environnement et la croissance de la population dont les besoins (d'eau et de nourriture) sont quasiment identiques. Ces considérations

purement biologiques ne suffisent pas à elles seules à expliquer le comportement consommateur chez les humains, dicté également par des choix tantôt individuels, tantôt collectifs voire gouvernementaux, de même par les caractéristiques culturelles et les modes de vie locaux. De manière générale, les progrès économique, technologique et institutionnel, dont les sociétés humaines ont fait preuve, influent pour beaucoup sur l'intensité d'utilisation des services de la nature, soit par l'amélioration de la disponibilité des ressources et l'efficacité de leur utilisation, soit en agissant sur les modes de consommation. Aussi, tous ces aspects doivent être pris en compte lors de l'étude de la capacité de charge dans le contexte des humains.

Par ailleurs, la capacité de charge, et *a fortiori* celle relative aux ressources hydriques, objet de notre étude, fait appel à deux services de l'environnement, en l'occurrence le service d'approvisionnement en eau et le service d'absorption des polluants véhiculés par les eaux usées résultant de la consommation d'eau par les différentes activités humaines. La mobilisation des ressources en eau pour la consommation ainsi que leur évacuation après utilisation nécessitent tout un arsenal d'infrastructures pour le prélèvement, l'acheminement de l'eau jusqu'aux abonnés, la collecte et enfin le traitement des eaux usées avant qu'elles ne soient rejetées dans les milieux récepteurs. Ceci ne pourrait être accompli sans la mise en place de moyens institutionnels adéquats dans le cadre d'une politique solide de gestion intégrée des ressources hydriques, une politique d'investissement claire et constante, et enfin une capacité managériale et technologique.

Notre étude s'intéresse à une partie cruciale de ce cycle, liée à l'approvisionnement en eau dans un contexte où cette ressource se fait de plus en plus rare face à une démographie galopante, et également sous la menace de réchauffement climatique qui pèse sur l'avenir des ressources hydriques dans notre pays. Au vu de ce qui précède, la capacité de charge relative à l'approvisionnement des ressources hydriques, se décline en capacité environnementale, capacité des infrastructures et capacité institutionnelle, tel qu'évoqué plus haut (cf.II). Ces différentes "capacités", les modes de consommations ainsi que l'apport des progrès technologique et économique dans l'amélioration tant de la disponibilité de l'eau que de l'efficacité d'utilisation des ressources, caractérisent la capacité de charge et doivent par voie de conséquence être considérés et mis en relation lors de son évaluation et constituent les composantes du système étudié.

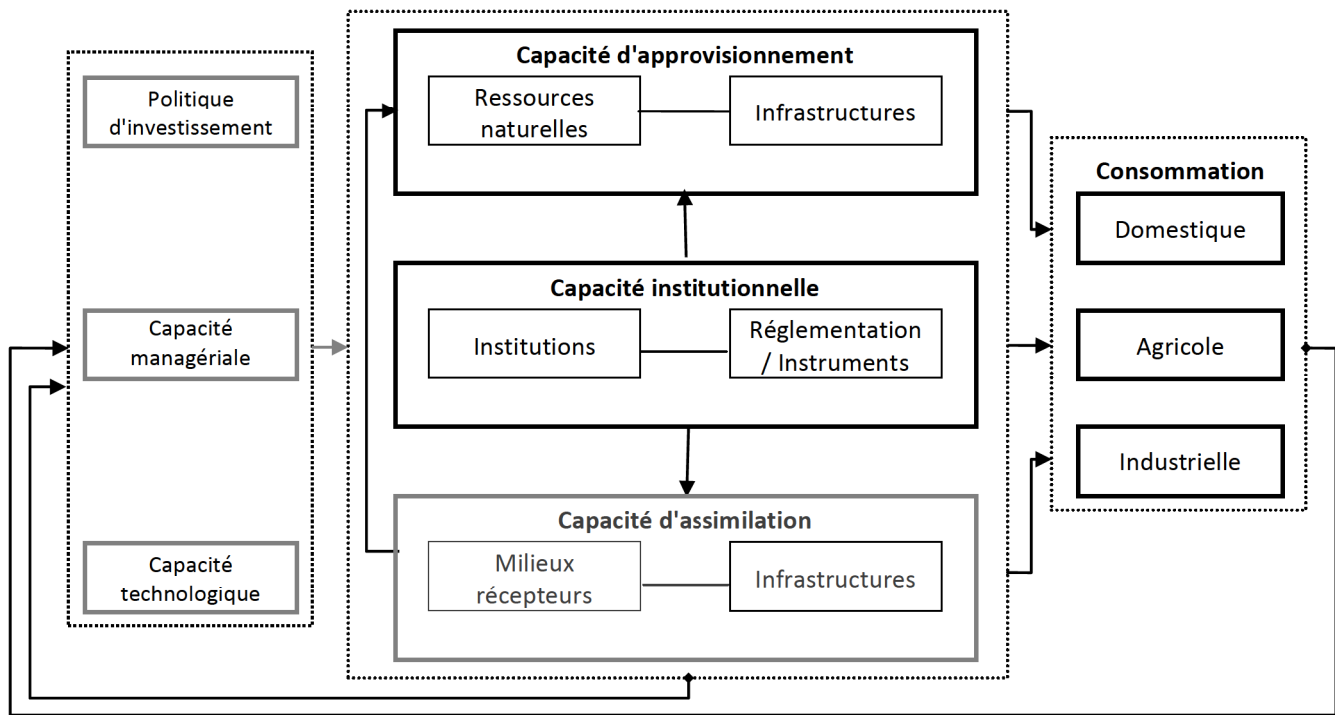


Figure IV.3. Le système capacité d'approvisionnement en eau dans le cycle urbain de l'eau.

Source. Auteur.

Nous rappelons que l'objectif du calcul de la capacité de charge est de déterminer la population limite que peut supporter le système d'approvisionnement en place, qui représente le rapport entre la disponibilité et la consommation individuelle de cette ressource. C'est la raison pour laquelle, c'est la consommation domestique qui sera traitée, en vue d'en comprendre les facteurs déterminants et le rapport qu'ils entretiennent avec les standards de consommation, dans le cadre de l'évaluation de la capacité de charge des ressources hydriques.

Pour autant, cet intérêt porté à la consommation domestique, considérée comme prioritaire pour répondre aux besoins fondamentaux des individus, ne vise pas à sanctionner les autres usages urbains. Les besoins projetés pour les activités industriels et agricoles seront appréhendés à travers l'estimation de la demande et sa confrontation par rapport à l'offre résultante, selon la structure de l'eau considérée, après calcul de la capacité de charge relative au secteur domestique.

IV.2.3. Les composantes de la capacité de charge urbaine relative aux ressources hydriques

Les frontières du système qui nous intéresse étant définies, il s'agit d'identifier et d'explicitier maintenant les composantes de la capacité de charge urbaine relative aux ressources hydriques, au nombre total de quatre. Trois composantes : capacité environnementale, capacité des infrastructures et capacité institutionnelle ont été retenues de l'étude de l'état de l'art de la capacité de charge urbaine (Godschalk & Axler,

1977; Oh, Jeong, Lee, Lee, & Choi, 2005). Ces composantes s'attachent globalement à décrire la capacité d'approvisionnement ou de l'offre, mais comme nous l'avons vu la capacité de charge est définie aussi bien par la capacité d'approvisionnement ou la disponibilité de la ressource pour la consommation que le niveau de consommation. C'est ainsi que nous identifions en plus des trois composantes une quatrième qu'est la consommation.

IV.2.3.1. La composante environnementale de la capacité de charge

L'apport en eau se fait grâce aux précipitations atmosphériques dont l'origine est l'évaporation qui s'effectue au-dessus des mers et des océans et qui conduit à la formation des nuages. Les précipitations d'eau ont des destinées diverses ; une partie s'évapore, une autre ruisselle et une autre s'infiltré. Sur un sol imperméable, du fait de sa structure, les eaux ruissellent pour la plus grande part, en revanche sur un sol perméable, l'infiltration devient plus importante et alimente les réserves souterraines (Koch, 1969; Dupont, 1971). Ces caractéristiques du sol liées au niveau de perméabilité sont donc à l'origine de la formation des eaux superficielles et des eaux souterraines :

Les eaux de surface, de par leur nom, se retrouvent sur la surface de la terre, et peuvent être courantes (les cours d'eau), ou stagnantes lorsque un obstacle s'oppose à l'écoulement (lacs, mares, étang...)

Les eaux souterraines, quand à elles, se trouvent sous le niveau du sol (nappe), et remplissent soit les fractures du socle rocheux, soit les pores présents dans les milieux granulaires tels les sables et les graviers (aquifère) (Castany, 1979).

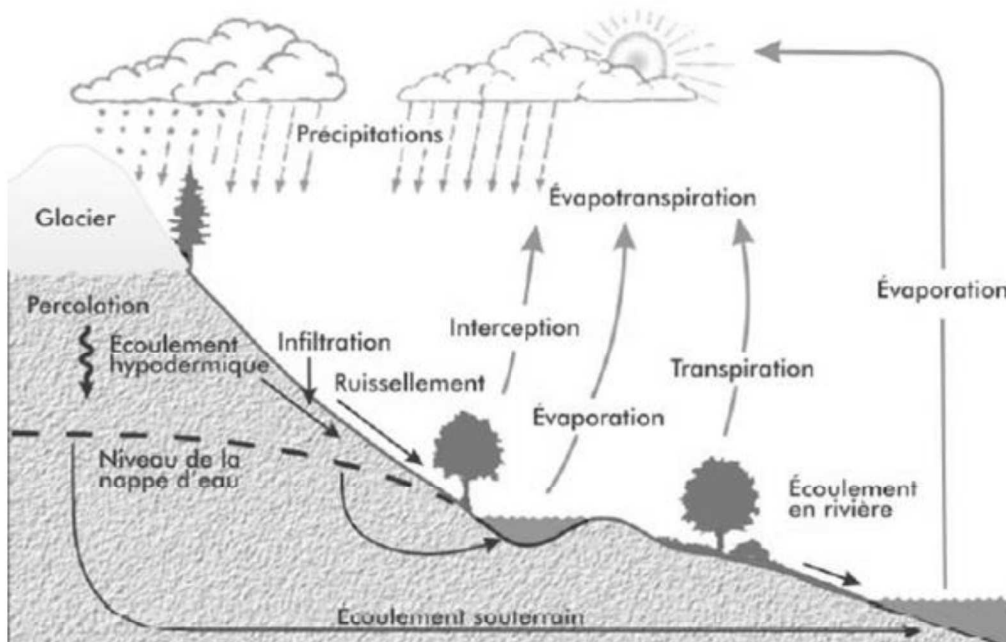


Figure IV.4. Le cycle de l'eau

Source. (Gangbazo, 2004)

L'estimation des quantités d'eau mises en jeu dans le cycle de l'eau se fait dans les limites d'une unité géographique que l'on nomme bassin versant. Il représente une surface élémentaire, délimitée par la *ligne de partage des eaux*, sur laquelle toutes les eaux de surface s'écoulent vers un même point appelé exutoire (Banton & Bangoy, 1997). L'objectif est d'évaluer les quantités d'eau entrant et sortant dans le bassin versant (bilan hydrologique) et d'en déduire par voie de conséquence les possibilités globales de prélèvement. La source d'eau étant les précipitations, l'étude du régime pluviométrique constitue un élément déterminant dans l'évaluation des potentialités du bassin.

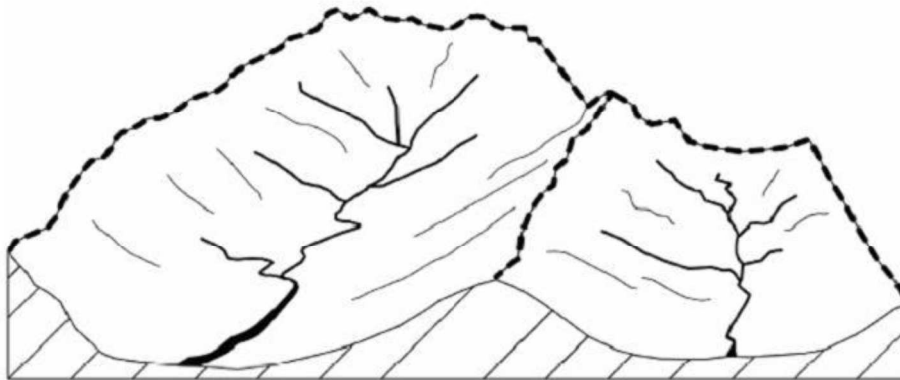


Figure IV.5. Schéma de deux bassins versants (en pointillé les lignes de partage des eaux).

Source. Geosciences.Jijel (2014).

IV.2.3.2. La composante infrastructure de la capacité de charge

Mobilisation des ressources hydriques

Depuis la nuit des temps l'homme a recouru aux moyens de mobilisation de l'eau pour l'exploiter dans les divers usages domestiques, d'irrigation et d'élevage. L'eau puisée dans les rivières était portée jusqu'aux domiciles, c'était la première forme de transport d'eau. Plus tard l'homme a découvert l'eau souterraine, et les maisons disposaient de leurs propres puits creusés dans le sol de leurs jardins. Mais les ouvrages hydrauliques de grande envergure datent de l'antiquité. En 3400 avant J-C, les égyptiens aménagèrent les bassins d'irrigation (Nace, 1969), et aux environs 2900 avant J-C, ils entreprirent les premières tentatives de construction de barrages (CFBR, 2013). Les civilisations qui se sont succédées ont amélioré les techniques de constructions de ces ouvrages en témoigne la remarquable ingéniosité avec laquelle fut construit le barrage de Ma'rib (سد مأرب) durant le Royaume de Saba vers 750 à 700 avant J-C. Les romains qui excellaient dans les arts de l'ingénieur n'étaient pas en reste, ils ont construit des barrages partout, dont les vestiges existent encore, dans les provinces où ils s'étaient installés.

Les premiers systèmes de distribution d'eau remontent très loin dans l'histoire de l'humanité. Il y a entre 16 000 et 10 000 ans, l'homme a commencé à cultiver la terre et

les populations se sont sédentarisées; avec le développement des pratiques d'irrigation, il lui a fallu remédier aux pénuries d'eau saisonnières ou autres (Cosgrove, 2003). Les premières grandes infrastructures d'adduction d'eau auraient été construites aux alentours de 3000 av. J.-C. par les Égyptiens et les Sumériens. À cette époque, la Chine pratiquait déjà l'irrigation : vers 2000 av. J.-C., l'Égypte entretenait de grandes digues. Ultérieurement, jusqu'au début de notre ère, les Romains, les Perses et d'autres peuples construisirent d'importantes structures d'acheminement de l'eau et d'assainissement, dont certaines sont encore visibles aujourd'hui. Ces avancées correspondent au début de l'urbanisation et de la croissance des villes. Avant la sédentarisation, les peuples suivaient l'eau, s'installaient près des cours d'eau, des lacs et des sources et se déplaçaient lorsque l'eau venait à manquer sous l'effet de phénomènes climatiques. À mesure de l'évolution de la technologie, les établissements humains se sont agrandis et ont fait venir l'eau jusqu'à eux.

Aujourd'hui la mobilisation de l'eau répond à double objectifs : satisfaire aussi bien en quantité qu'en qualité les besoins des différents usagers. L'eau brute disponible en milieu naturel sur ou sous la surface du sol sera prélevée, traitée puis transportée, au moyen d'un système complexe constitué d'ouvrages de prélèvements et des réseaux d'adduction et de distribution.

- *Captage des eaux souterraines* : Les nappes phréatiques sont les plus proches de la surface. Leur exploitation se fait généralement à l'aide des puits. L'exploitation des nappes profondes se fait généralement à l'aide de forages tubés de faibles diamètres.
- *Captage en rivière* : Les prises en rivières peuvent être effectuées soit dans le fond du lit, soit dans la rivière elle-même et enfin sur la berge (Dupont, 1971). Mais il est recommandé de les placer en amont des villes pour éviter les rejets des eaux usées.
- *Retenue d'eau par les barrages* : Le barrage est un ouvrage d'art construit en travers d'une rivière, à un endroit géographique précis permettant d'en retenir une grande quantité d'eau et de constituer ainsi une réserve d'eau (ICOLD, 1997).
- *Système d'Adduction et de distribution* : Il s'agit de l'ensemble complexe constitué d'ouvrages divers permettant de transporter l'eau de la source jusqu'aux utilisateurs (les abonnés). Initialement l'eau est acheminée par des conduites d'adduction destinées au transport des gros débits vers les stations de traitement où elle sera purifiée de sorte à répondre aux normes de qualité bactériologique, physico-chimique et organoleptique. Par la suite, un réseau de distribution assurera l'arrivée de l'eau aux utilisateurs

finiaux. Ce réseau comprend, en plus des canalisations, les réservoirs qui jouent un double rôle : ils régulent les débits entre le régime d'adduction déterminé par la station de traitement et le régime de distribution déterminé par la consommation; et garantissent une pression minimale dans le réseau et donc une production continue, quelles que soient les variations instantanées de la demande (Célérier & Chazelon, 2005). Dans ce système d'alimentation en eau potable, il est souvent nécessaire de pomper l'eau, quand l'écoulement n'est pas gravitaire. Cette opération constitue la source première de consommation énergétique dans le processus d'alimentation en eau (Ibid.)

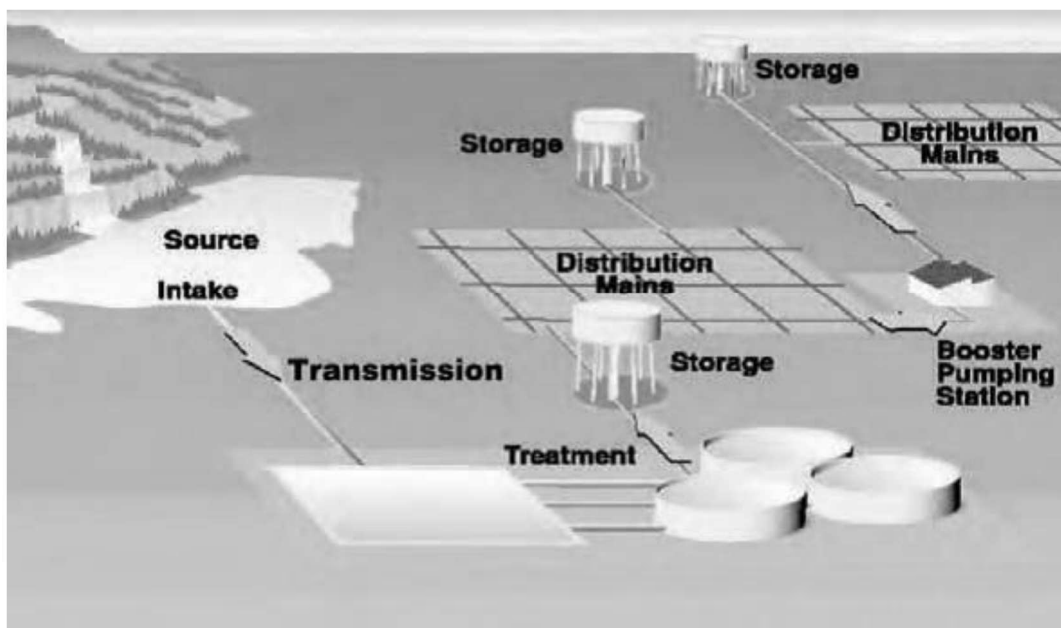


Figure IV.6. Diagramme schématique du système de l'eau
Source. (Walski, Donald, & Dragan, 2001)

Infrastructure de dessalement d'eau de mer

Le dessalement d'eau de mer est un procédé permettant de traiter de l'eau salée ou saumâtre afin de la rendre potable ou utilisable pour l'irrigation. Les techniques de dessalement les plus courantes sont (Boyé, 2009): la *distillation*, gourmande en énergie, qui se base sur l'évaporation puis la condensation pour débarrasser l'eau du sel et des autres substances contenues dans l'eau de mer; et l'*osmose inverse* qui consiste à faire pousser l'eau salée, après avoir été filtrée et désinfectée, sous une forte pression au travers d'une membrane filtrante qui retient le sel.

Le dessalement de l'eau de mer constitue une alternative pour les villes situées au bord de mer quand les ressources conventionnelles (souterraines et superficielles) viennent à manquer. L'intérêt du dessalement réside dans le fait que la ressource est

"illimitée" et affranchie des aléas climatiques. Dans des pays au climat aride ou semi aride il devient incontournable voire même vital. L'Arabie Saoudite, par exemple, a investi largement dans cette technique pour soutenir son niveau de vie et sa politique agricole agressive et très consommatrice en eau (Saint-Just, 2011). Face aux enjeux du développement socio-économique et la croissance des besoins en eau, plusieurs pays d'Afrique du Nord et du Moyen orient, ou régions connaissant des pénuries localisées aux Etats unis, en Espagne, en Australie, en Inde et au Nord de la Chine se sont rabattus sur le dessalement pour combler leur déficit en matière de ressource hydrique. Mais de par les coûts financiers, liés à la mise en place du système et l'énergie nécessaire à son fonctionnement, que la technologie de dessalement engendre, ce procédé ne peut être à la portée des pays qui ne disposent pas des moyens financiers suffisants.

Cette technique n'est pas sans effet sur l'environnement. Les différentes techniques de dessalement de l'eau de mer nécessitent en effet des quantités d'énergie très élevées (pour le chauffage ou la compression de l'eau) par rapport aux volumes d'eau produits (Rerolle, 2010). Ceci pose également le problème de coût et de rentabilité de ce procédé de production de l'eau potable. En outre, le processus de dessalement génère un rejet d'une substance saumâtre. Pour chaque litre d'eau dessalé, un litre de substances toxiques est rejeté dans la mer (Rerolle, 2010).

Réutilisation des eaux usées

Dans le cycle d'assainissement "classique", les eaux usées traitées retournent au milieu naturel, dans lequel, et grâce au pouvoir auto épuratoire des cours d'eau et le repassage dans le cycle naturel, l'eau devrait être amenée à son état d'avant utilisation, enfin presque ! La réutilisation des eaux usées vise à "court-circuiter" en quelque sorte ce long processus naturel en appliquant aux eaux usées un nouveau traitement adéquat afin de s'en servir à toute sorte d'usage : irrigation, recharges des nappes, usages industriels, entretien des espaces extérieurs, etc. (Condom, Lefebvre, & Vandome, 2012). Cette technique est bénéfique à plus d'un titre : outre l'augmentation de la disponibilité des ressources hydriques, elle permet de réduire les prélèvements d'eau, préjudiciable notamment pour la pérennité des nappes souterraines, de supprimer ou de différer les rejets des stations d'épuration dans les milieux vulnérables et contribue ainsi à la réhabilitation des milieux aquatiques menacés d'eutrophisation (Dunglas, 2014).

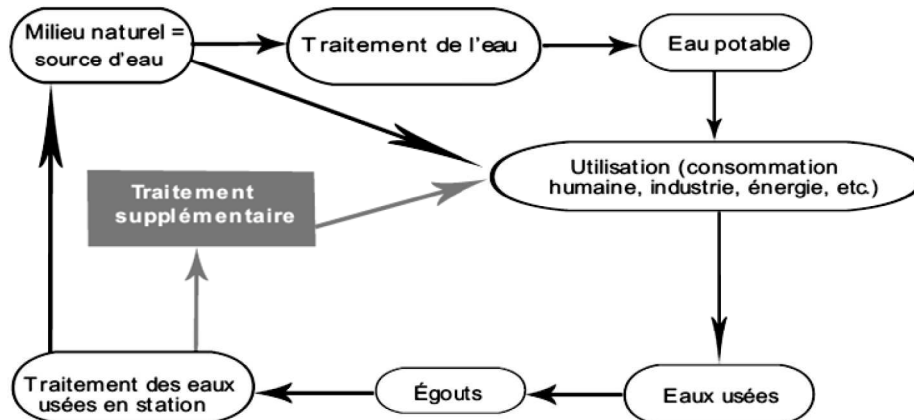


Figure IV.7. La réutilisation des eaux usées épurée dans le cycle d'assainissement

Source. (Baumont, Camard, Lefranc, Gremy, & Franconi, 2004)

Globalement le monde s'oriente vers la gestion rationnelle des ressources hydriques qui implique une utilisation efficace de l'eau, de sorte à répondre, d'une part, aux besoins croissants du développement et de réduire les pressions sur l'environnement d'autre part. La réutilisation des eaux usées traitées représente un créneau d'avenir dans la mesure où elle permet de faire l'économie de l'eau dans le contexte de réchauffement climatique qui menace les ressources hydriques dans plusieurs régions de par le monde. Et comme le soulignent Levine & Asano (2004) : "*Society no longer has the luxury of using water only once*", il devient donc indispensable d'intégrer cette technique dans le système d'approvisionnement de l'eau notamment lorsque l'on sait que le volume des eaux usées produit représente 80% du volume des eaux consommées. En ce sens, la réutilisation des eaux usées traitées s'inscrit dans le paradigme GIRE de Gestion Intégrée des Ressources en Eau, dont l'objectif est la mise en place d'une gestion des ressources hydriques de sorte à assurer un bien être social et économique équitable sans compromettre la vitalité des écosystèmes⁵⁶. Plusieurs pays se sont déjà mis à la réutilisation des eaux usées traitées tels les Etats Unis, l'Australie, la Jordanie, les pays du Golfe, et les pays du bassin méditerranéen aux ressources hydriques limitées comme l'Espagne, Chypre, Italie, Israël et la Tunisie (Condom, Molle, Tomas, Olivier, Audouard, & Granier, 2013; Dunglas, 2014). L'Algérie a également amorcé le virage de la réutilisation des eaux usées traitées, en la désignant comme option stratégique de la politique d'approvisionnement d'eau d'avenir (PDAU d'Alger, 2010; SDAAM, 2010), cependant la concrétisation de ce projet est tributaire de la mise en place de systèmes d'épuration qui assurent le premier traitement des eaux usées. Or, à l'heure actuelle l'épuration des eaux usées n'est pas systématique. La pratique de l'épuration est appelée à s'étendre dans le futur. Même s'il existe déjà des stations d'épuration des eaux usées

⁵⁶ "*Integrated Water Resources Management (IWRM) is a process which promotes the coordinated development and management of water, land and related resources in order to maximise economic and social welfare in an equitable manner without compromising the sustainability of vital ecosystems*" (GWP, 2010)

(STEP) dans la Wilaya, l'achèvement des réseaux d'assainissement qui achemineront les eaux usées vers les STEP s'avère nécessaire (PDAU d'Alger, 2010).

Collecte des eaux pluviales

Capter l'eau de pluie et la stocker est une pratique, fort ancienne, qui a quasiment disparu depuis l'apparition des réseaux modernes d'eau potable. A la Casbah d'Alger de nombreuses maisons disposaient de citernes de récupération des eaux pluviales (Golvin, 1988) malgré que la ville fût alimentée par les aqueducs. Ceci permettait non seulement aux propriétaires de jouir d'une autonomie d'approvisionnement en eau, car uniquement les fontaines publics étaient alimentées par les eaux des aqueducs, mais également d'avoir une sécurité d'alimentation si l'eau publique venait à manquer en cas de sièges ou d'aléas climatiques. Aujourd'hui, face à la pression sur les ressources hydriques ainsi que les menaces environnementales qu'elle engendre, nous assistons à un retour vers cette pratique dûment encouragé par les Etats inscrits dans la ligne du développement durable. L'Allemagne à ce titre fait figure d'exemple où le recyclage des eaux pluviales est subventionné à hauteur de 50% par une grande ville sur cinq (Perraud, 2005). Le recyclage des eaux pluviales est rendu même obligatoire dans certaines régions en forte pénurie d'eau comme la Floride, la Californie et la ville de Tokyo (Cheron & Puzenat, 2004).

Au niveau du foyer, le motif d'autonomie d'approvisionnement est d'autant valable que les systèmes de récupération des eaux de pluie permettent à leurs propriétaires de disposer de l'eau gratuite et livrée sur place d'une part, et de pouvoir constituer une réserve d'eau mobilisable en cas de panne de réseau d'autre part. L'eau récoltée pourrait servir à plusieurs usages qui ne nécessitent pas la qualité d'eau potable (arrosage des espaces verts, lavage de voiture, chasse d'eau des toilettes, lavage de sols). On estime en effet, qu'entre 26 et 44% des besoins domestiques pourraient y être couvert (Siret, 2005).

L'utilisation rationnelle de l'eau constitue désormais le fer de lance de toute politique de gestion durable de l'environnement et des ressources hydriques. La généralisation de la récupération des eaux de pluie constitue à ce sujet un gage pour la préservation : de la ressource en réduisant la demande en eau potable; et de l'environnement de manière générale en permettant d'économiser l'énergie nécessaire au prélèvement et au transport de l'eau, et de réduire les ruissellements voire éviter les inondations.

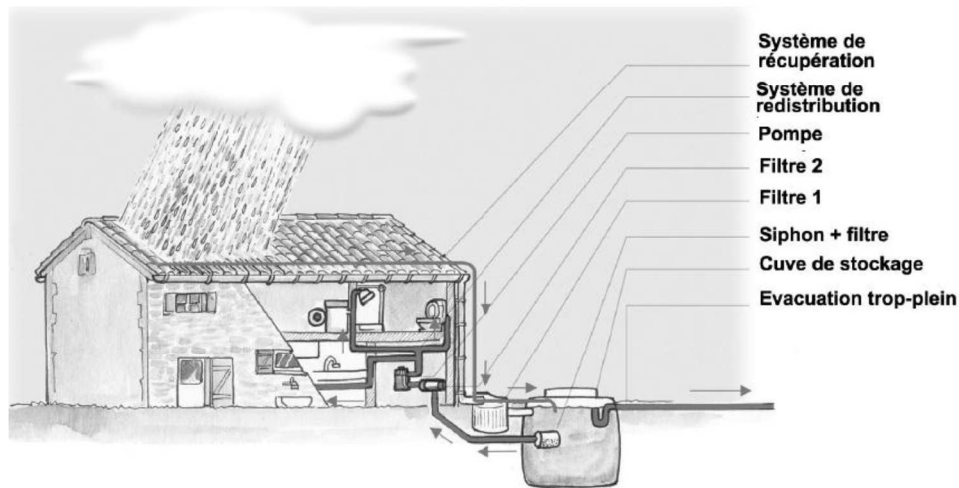


Figure IV.8. Installation de récupération d'eau de pluie

Source. (Promesse. Ecotourisme et développement en Camargue) http://www.life-promesse.org/telechargements/fiche_recuperation_des_eaux_pluviales

IV.2.3.3. La composante consommation

La révolution industrielle a profondément bouleversé l'ordre socio-économique préétabli. L'une de ses conséquences est sans aucun doute l'augmentation des besoins en eau en raison de l'accélération de la croissance démographique et l'amélioration des standards de vie ainsi que le développement de l'industrie et de l'activité agricole. Afin de soutenir cette croissance effrénée, les Etats ont été amenés à investir largement dans les moyens de mobilisation de l'eau, avec à la clé la détérioration et l'épuisement des ressources hydriques, et les dommages corollaires notamment dans les régions où cette ressource est vulnérable. Fort de ce constat, plusieurs programmes et plans d'actions ont été initiés en vue de préserver les ressources hydriques, dans le sillage desquels est apparu le concept d'utilisation durable des ressources en eau dans l'objectif de contrecarrer l'approche traditionnelle fondée exclusivement sur l'augmentation de la capacité d'approvisionnement. Selon Roberto Lenton⁵⁷, la stratégie orientée sur une consommation durable des ressources en eau " *devrait se concentrer sur la satisfaction des besoins tout en tenant compte de la protection des écosystèmes aquatiques*" et "*sans mettre en péril la capacité des générations futures de satisfaire les leurs*" tout en veillant à protéger "*les besoins en eau de l'environnement*" (OCDE, 1998). La protection des écosystèmes aquatiques et de l'environnement implique de déterminer les limites écologiquement viables à ne pas dépasser, comme nous l'avons précédemment. Ces limites établies représenteront les seuils d'une consommation qui se veut durable. Aussi, dans le souci de préserver les ressources en eau et l'environnement d'une part, et maintenir le développement social et économique d'autre part, une stratégie orientée sur

⁵⁷ La présentation-programme de R. Roberto Lenton directeur de la Division de l'utilisation durable de l'énergie et de l'environnement (Programme des nations Unies pour le développement), Séminaire de Sydney organisé par l'OCDE (1997)

la consommation durable de l'eau devrait porter sur la réduction de la consommation des populations et des secteurs économiques par l'amélioration de l'efficacité d'utilisation de l'eau.

De toute évidence, il est inconcevable de penser à une politique de l'eau qui ne ferait pas recours à l'augmentation de l'offre. Il s'agit d'une option incontournable face aux pressions sur la demande en eau exercées par la croissance effrénée. Ce qui appelle à considérer les deux approches, c'est à dire celle axée sur la demande et celle axée sur l'offre, ensemble et de façon intégrée lors de l'élaboration de la politique de l'eau.

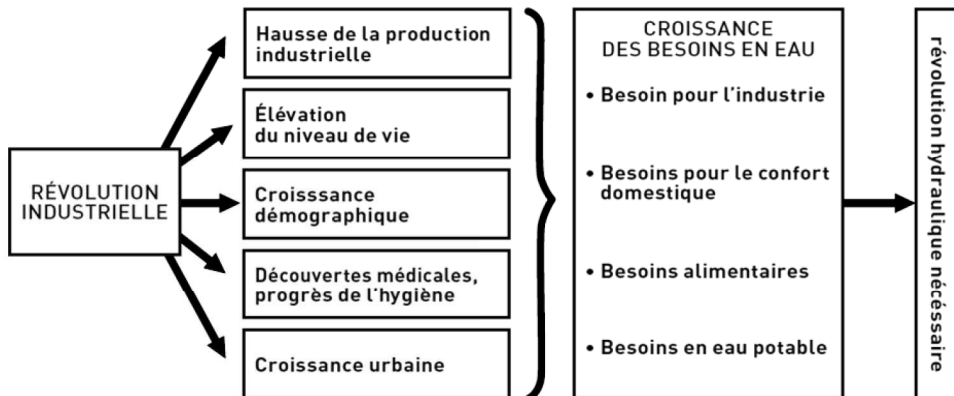


Figure IV.9. De la révolution industrielle à la révolution hydraulique

Source. (Agence de l'eau Seine-Normandie, 2010) <http://www.eau-seine-normandie.fr/index.php?id=1>

Nous rappelons ci-après la typologie des usages de l'eau (Gleick, 1993; Shiklomanov, 2000; Hoekstra & Chapagain, 2007) utilisée dans cette thèse.

Usage agricole : L'homme a de tout temps pratiqué l'irrigation afin de s'affranchir des aléas climatiques et sécuriser son alimentation. Mais depuis le début du XXe siècle, son usage s'est considérablement accru avec l'augmentation des surfaces cultivées pour répondre aux besoins alimentaires de la population galopante. Aujourd'hui l'irrigation, faute de généralisation des techniques modernes d'irrigations, demeure l'activité qui consomme le plus d'eau environ 70%, selon Rerolle (2010).

Usage industriel : Ce vocable englobe plusieurs catégories comprenant les équipements collectifs (écoles, universités, hôpitaux, théâtres, administration, ...), les zones d'équipements touristiques ZET (hôtels, complexes, campings et centres de vacances), les zones industrielles, les zones d'activités et les commerces.

Usage domestique : L'approvisionnement en eau domestique constitue l'une des exigences pour la vie humaine. Sans l'eau, la vie ne peut être maintenue au-delà de quelques jours et le manque d'accès à une offre adéquate d'eau potable mène à la propagation des maladies (Howard & Bartram, 2003). L'OMS (1993) définit l'eau domestique comme étant l'eau utilisée à des fins domestiques habituelles : la boisson, la

préparation des repas et l'hygiène. Les modes d'utilisation de l'eau, de même que les quantités consommées sont variables d'une société à l'autre voire au sein d'une même société.

Dans le cadre de l'analyse de la capacité de charge, qui veut traduire les limites de la croissance urbaine au regard des ressources hydriques disponibles en nombre de population limite; et compte tenu la formulation de capacité de charge qui établit un rapport entre la disponibilité de la ressource et de la consommation individuelle pour définir ce nombre, la consommation domestique des populations constitue un paramètre important dans la mise au point de notre méthode.

Les facteurs influant sur les niveaux de consommation domestique sont examinés ci-après, mais de manière générale, ils sont étroitement liés au niveau de développement du pays (Rerolle, 2010) et surtout à la disponibilité de la ressource, souligne Beaudry (1984), et qui fait remarquer que la consommation ne doit pas être confondue avec les besoins réels en eau.

Déterminants de la demande

Comme nous l'avons évoqué ci-dessus, les politiques de l'eau se sont longtemps focalisées sur l'augmentation de la disponibilité de l'eau conduisant à un large investissement dans les moyens de mobilisation et de production afin de subvenir aux besoins de la croissance socioéconomique des Etats et des collectivités territoriales, et que l'utilisation intensive des ressources hydriques qui en a résulté, a entraîné des répercussions sur les stocks de ressources en eau, les écosystèmes aquatiques et sur l'état de l'environnement. Les problèmes ayant trait aux impacts de la consommation des ressources sur l'environnement ont été soulevés dès le Sommet de la Terre de Rio, durant lequel il a été souligné l'enjeu de promouvoir une consommation responsable des ressources. Lors du séminaire sur la consommation durable de l'eau, organisé par l'OCDE à Sydney (1997), les participants ont réitéré l'importance de stimuler un changement de comportement des utilisateurs vis-à-vis de leur consommation des ressources hydriques, et d'aller vers une consommation plus efficace et plus économe. A cet égard, Zhang & al. (2010), soulignent la nécessité de contrôler la demande dès lors que l'offre est naturellement limitée, et que cette question relève de l'étude de capacité de charge en vue d'une planification de croissance respectant les limites écologiques de la région.

Pour le volet consommation domestique, les études abondent sur les facteurs qui influent sur la consommation de l'eau. Ceux-ci peuvent être regroupés en cinq catégories : facteurs climatiques, facteurs socio-économiques, facteurs démographiques, facteurs politiques et enfin l'environnement construit. Nous listons dans le tableau ci-après tous les facteurs qui ont été décrits comme étant susceptibles d'influer sur la consommation

domestique. Les signes (+) et (-) indiquent respectivement si la consommation augmente avec l'augmentation du facteur ou, au contraire elle diminue.

Facteurs	Effet estimé	Cité par
<i>Facteurs Climatiques</i>		
Température	(+)	(Cooley & Gleick, 2009), (Schleich & Hillenbrand, 2009), (House-Peters, Pratt, & Chang, 2010), (Slavíková, Malý, Rost, & Vojáček, 2013), (Ouyang, Wentz, Ruddell, & Harlan, 2014)(Stoker & Rorthfeder, 2014)
Pluviométrie	(-)	(Cooley & Gleick, 2009), (Schleich & Hillenbrand, 2009), (House-Peters, Pratt, & Chang, 2010), (Slavíková, Malý, Rost, & Vojáček, 2013), (Ouyang, Wentz, Ruddell, & Harlan, 2014), (Stoker & Rorthfeder, 2014)
<i>Facteurs socio-économiques</i>		
Revenu	(+)	(Dalhuisen, Florax, & de Groot, 2001), (Arbués, Garcia-Valiñas, & Martinez-Espiñeira, 2003), (Schleich & Hillenbrand, 2009), (Ouyang, Wentz, Ruddell, & Harlan, 2014)
Comportement responsable des consommateurs et usages équipements économes en eau	(-)	(Renwick & Archibald, 1998), (Zhang & Brown, 2005), (Jorgensen, Graymore, & O'Toole, 2009), (Rockaway, Coomes, Rivard, & Kornstein, 2011)
<i>Facteurs démographiques</i>		
Taille de la population	(+)	(Cooley & Gleick, 2009), (Schleich & Hillenbrand, 2009), (House-Peters, Pratt, & Chang, 2010), (Stoker & Rorthfeder, 2014)
Taille des ménages	(-)	(Cooley & Gleick, 2009), (Schleich & Hillenbrand, 2009), (House-Peters, Pratt, & Chang, 2010), (OCDE, 2011) (Stoker & Rorthfeder, 2014), (Ouyang, Wentz, Ruddell, & Harlan, 2014)
<i>Facteurs politiques</i>		
Prix de l'eau et structure tarifaire	(-)	(Renwick & Archibald, 1998), (Dalhuisen, Florax, & de Groot, 2001), (Schleich & Hillenbrand, 2009), (Grafton, Ward, To, & Kompas, 2011), (Arbués, Garcia-Valiñas, & Martinez-Espiñeira, 2003), (Kertous, 2012)
Politiques incitatives	(-)	(Renwick & Archibald, 1998), (Zhang & Brown, 2005), (Jorgensen, Graymore, & O'Toole, 2009), (Rockaway, Coomes, Rivard, & Kornstein, 2011)
<i>Environnement construit</i>		
Type d'habitation	Immeuble collectif (-) Maisons individuelles (+)	(Zhang & Brown, 2005), (Schleich & Hillenbrand, 2009), (Cooley & Gleick, 2009) (House-Peters, Pratt, & Chang, 2010), (De Maria André & Carvalho, 2014), (Stoker & Rorthfeder, 2014), (Ouyang, Wentz, Ruddell, & Harlan, 2014), (Stoker & Rorthfeder, 2014), (De Maria André & Carvalho, 2014)

Tableau IV.1. Déterminants de la consommation domestique

Les facteurs climatiques désignés comme déterminants de la consommation sont la température et la pluviométrie : la hausse de température entraîne une consommation supplémentaire d'eau nécessaire pour l'hydratation du corps, le rafraîchissement et l'hygiène, par contre une bonne pluviométrie réduit les besoins en eau pour l'arrosage des jardins privés.

Les facteurs socio-économiques se déclinent en deux aspects essentiels qui sont le revenu et le comportement des consommateurs. En effet, l'aisance financière en général a tendance à favoriser une utilisation d'eau plus importante, de même l'absence de conscience environnementale entraîne un comportement teint de gabegie chez cette catégorie de population. *A contrario* un comportement plus responsable vis-vis de cette ressource et l'acquisition d'équipements économes en eau (les lave-linge et les lave-vaisselle à faible consommation d'eau, chasse d'eau double débits, etc.) par les ménages permet de réduire considérablement les quantités d'eau consommées.

Il est évident que la consommation domestique est proportionnellement liée à la taille globale de la population, par contre la taille des ménages influe inversement sur la consommation⁵⁸.

Les facteurs politiques visent à promouvoir une consommation rationnelle de l'eau. Le prix de l'eau constitue l'instrument le plus souvent mis en avant pour contraindre les ménages à réduire leur consommation, mais les études ont relativisé ce rapport entre l'augmentation du prix et la baisse de la consommation domestique, laquelle demeure inchangeable ou enregistre des changements non significatifs, au-delà d'un certain seuil tarifaire. Dès lors, cette mesure n'aurait d'effet que de pénaliser les ménages à revenu bas. En revanche, les mesures ayant trait à encourager à adopter des comportements responsables vis-à-vis la consommation des ressources en eau ont porté leur fruits dans plusieurs pays. Il s'agit de l'ensemble des actions pour sensibiliser les ménages à la valeur de cette ressource et aux conséquences pour l'environnement de leur consommation, de même pour les aider à acquérir des équipements économes en eau et de se doter des systèmes de récupération des eaux de pluie.

Le type de logement, selon qu'il soit individuel ou collectif, ancien ou récent joue pour beaucoup dans la détermination des volumes consommés par les ménages. Les études ont montré que la consommation de l'habitat collectif est moindre que l'individuel, de même celle du récent par rapport à l'ancien.

⁵⁸ Schleich & Hillenbrand (2009) ont observé qu'une réduction de 25% par rapport à la taille moyenne des ménages en Allemagne entraîne une augmentation de la consommation de 7 litres par habitant par jour.

Mesurer le niveau de satisfaction des besoins en eau

Le droit à l'accès à l'eau a été proclamé dès la conférence des Nations Unies sur l'eau de Mar del Plata (Argentine) en 1977, et depuis, cette question fut soulevée de manière récurrente lors des assemblées qui se sont succédées. En 2002, le Comité des droits économiques, sociaux et culturels des Nations Unies a statué que *"le droit à l'eau est indispensable pour mener une vie digne. Il consiste en un approvisionnement suffisant, physiquement accessible et à un coût abordable, d'une eau salubre et de qualité acceptable pour les usages personnels et domestiques de chacun"*⁵⁹. Les états signataires de la déclaration du Millénaire (Nations Unies, 2000) qui est venue réaffirmer ce droit, se sont assignés parmi les objectifs du Millénaire pour le développement (OMD) de réduire de moitié jusqu'à 2015 la proportion des personnes n'ayant pas accès à l'eau potable.

La question de l'accès à l'eau et de réponse aux besoins élémentaires a fait l'objet de nombreuses tentatives de définitions. Gleick (1996) a défini une quantité de 50 litres/hab/jour comme minimum requis pour subvenir aux besoins en eau de l'homme en se basant sur le calcul suivant : 5 litres/hab/jour pour la boisson, 10 litres/hab par jour pour la préparation des repas 20 litres/hab /jour pour le sanitaire, 15 litres/hab par jour pour le bain. Dans le rapport sur l'évaluation de la situation mondiale de l'approvisionnement en eau et de l'assainissement (OMS/UNICEF, 2000), l'accès à l'eau a été défini comme *"la possibilité de disposer, par personne et par jour, d'au moins 20 litres d'eau provenant d'une source à moins d'un kilomètre du lieu de résidence de l'utilisateur"*. Ces quantités, quand bien même permettent de réduire le risque lié au manque d'eau ne pourraient assurer le confort d'utilisation auquel aspire tout un chacun, et comme le souligne Büchs (2007) : Peut-on réellement considérer avoir accès à l'eau, lorsqu'on se trouve à 1 km d'une source d'eau ? En 2003, l'Organisation Mondiale de la Santé OMS a défini une hiérarchie des besoins inspirée des travaux d'Abraham Maslow (1943), dans laquelle ont été mises en rapport les quantités minimales pour l'usage domestique et les niveaux de préoccupation sanitaire (Howard & Bartram, 2003; WHO , 2011). En conclusion, une consommation journalière entre 100-200 litres par habitant a été désignée comme optimale par l'OMS, afin d'assurer un confort à l'utilisateur et porter à un niveau très bas le risque sanitaire. Les niveaux de service de l'eau préconisés par l'OMS, la quantité par habitant ainsi que les risques sanitaires s'y afférents sont présentés dans le tableau ci-après.

⁵⁹ www.unhchr.ch/html/menu2/6/cescr.htm

Niveau de service	Distance/temps	Volumes d'eau susceptibles d'être collectés	Risque pour la santé publique résultant d'une mauvaise hygiène
Aucun accès	Plus de 1 km/ Déplacement aller-retour de plus de 30 min	Très faibles : 5 litres par personne et par jour	Très élevée Dispensation d'un niveau de service de base Education à l'hygiène
Accès de base	Dans un rayon de 1 km/durée du déplacement aller retour ne dépassant pas 30 min	En moyenne : environ 20 litres par personne et par jour	Elevé Remise en cause de l'hygiène Le lavage du linge peut devoir s'effectuer à distance
Accès intermédiaire	Fourniture de l'eau sur place par l'intermédiaire d'un robinet au moins (niveau de service correspondant à un robinet à l'extérieur de l'habitation)	En moyenne : 50 litres par personne et par jour environ	Faible La promotion de l'hygiène continue d'apporter des progrès en matière de santé Encouragement de la progression vers un accès optimal
Accès optimal	Approvisionnement par l'intermédiaire de plusieurs robinets à l'intérieur de l'habitation	En moyenne : 100 à 200 litres par personne et par jour	Très faible La promotion de l'hygiène continue d'apporter des progrès en matière de santé

Tableau IV.2. Niveau de service et quantité d'eau collectée

Source. (Howard & Bartram, 2003; WHO , 2011)

IV.2.3.4. La composante institutionnelle de la capacité de charge des ressources hydriques

L'eau est une source unique aux usages concurrents, et recouvre des enjeux à la fois social, économique et environnemental. C'est ainsi que pour une utilisation équitable et durable de cette ressource, la mise en place de mécanismes de gestion efficaces s'avère importante. Transposés au domaine de l'eau, les outils d'une gestion durable efficace identifiés par Dakhia & Berezowska (2009), seraient les institutions chargées de gérer de manière intégrée les ressources hydriques; la réglementation, les instruments, les normes et standards et les programmes d'actions pour le contrôle, le suivi et l'amélioration de l'état de la ressource; et enfin les mécanismes afin de favoriser une participation accrue du public et les différentes parties prenantes dans la formulation des politiques et différents programmes d'action.

Les institutions concernées par la gestion de l'eau couvrent les secteurs de l'eau, de la santé, de l'environnement et de l'agriculture. Une bonne coordination entre les

différents organismes constitue une condition sine qua non pour une gestion efficace des ressources hydriques.

La législation/réglementation porte sur : la spécification des normes de qualité de l'eau potable, le contrôle des destinations des sols, sur les prélèvements et les usages d'eau, les services d'eau, sur les rejets des eaux usées, sur le contrôle de l'aménagement du territoire et de la protection de la nature, sur la tarification, sur les droits de subvention du marché, sur les mesures visant le changement du comportement relatif à l'utilisation de l'eau (WGP)

Les instruments (Plummer & Slaymaker, 2007) peuvent être *techniques* (mesures prises pour la conception et l'évaluation des structures de contrôle du stockage et de l'approvisionnement en eau, évaluation des ressources hydriques et des écosystèmes aquatiques, développement des indicateurs de gestion de l'eau, etc.), *administratives* (lignes directrices, support de gestion, outils de décisions tels les systèmes d'information carte, modèles etc., *économiques* (prix, subventions, pénalités, taxes environnementales), *institutionnels* (accords de gestion, procédures de planification, coordination et mécanismes de partenariat), *sociaux* (mesures pour accroître la prise de conscience des enjeux liés à la préservation des ressources hydriques, pour stimuler la participation et le partenariat).

Les normes couvrent aujourd'hui tout le cycle de l'eau, régissant les prélèvements, l'évacuation d'égout et les rejets des effluents industriels, la qualité des ressources en eau souterraines et superficielles et la qualité de l'eau distribuée aux consommateurs.

Les Programmes couvrent des actions à mener pour le contrôle, le suivi et l'amélioration de l'état de la ressource (gestion intégrée des ressources en eau, de gestion des zones côtières, environnementaux, etc.).

La participation du public à la formulation des politiques et programmes de gestion de l'eau. Pour ce faire, il faudrait mettre en place les mécanismes à même de promouvoir l'appropriation des problèmes liés à l'eau par les utilisateurs et à stimuler par voie de conséquence leur implication.

IV.3. Modèle conceptuel de la capacité de charge des ressources hydriques

IV.3.1. Le modèle conceptuel comme outil de construction des indicateurs

Le modèle final de la capacité de charge des ressources hydriques se présentera sous forme d'un ensemble d'indicateurs (variables) en interrelations, i.e. un système d'indicateurs. Mais pour rendre "légitime" le choix des indicateurs, il faut que le processus de sélection réponde à certaines exigences méthodologiques qui les rendent aptes à représenter la question étudiée. Pour orienter et organiser le processus de

sélection des indicateurs, nous nous sommes appuyés sur les travaux de Lazaesfeld (1958), basés sur la méthode "Concept, Dimensions, Indicateurs", laquelle constitue une méthode d'opérationnalisation du concept (qui est une représentation mentale abstraite et générale de la question étudiée) en indicateurs en passant par les dimensions (qui sont des composantes du concept mais dont la portée reste encore générale pour les mesurer en tant que telles, et doivent être déclinées en variables dont les plus pertinentes seront retenues au titre d'indicateurs (Boulangier, Thomas, van Assche, & De Ridder, 2003).

Toutefois, notre objectif ne se résout pas à définir des indicateurs individuels pour mesurer la capacité de charge des ressources hydriques, celle-ci est abordée ici en tant que système complexe, dont il faut non seulement décrire les éléments le constituant, mais expliquer en quoi ils sont liés et comment ils interagissent en vue d'en comprendre le comportement. C'est ainsi que le processus d'opérationnalisation suggéré par Lazaesfeld (1958), sera suivi dans le cadre de la modélisation systémique qui prend au départ une forme agrégée c'est-à-dire un modèle conceptuel de la question étudiée mettant en relations les sous-systèmes (les concepts), et qui sera ultérieurement désagrégé en un système d'indicateurs c'est-à-dire un modèle mettant en relations les indicateurs. Ceci dans la perspective de rendre légitime la définition des indicateurs, dont la pertinence est liée à leur place dans le système étudié autrement dit aux relations qu'ils entretiennent avec les autres indicateurs du système, comme évoqué.

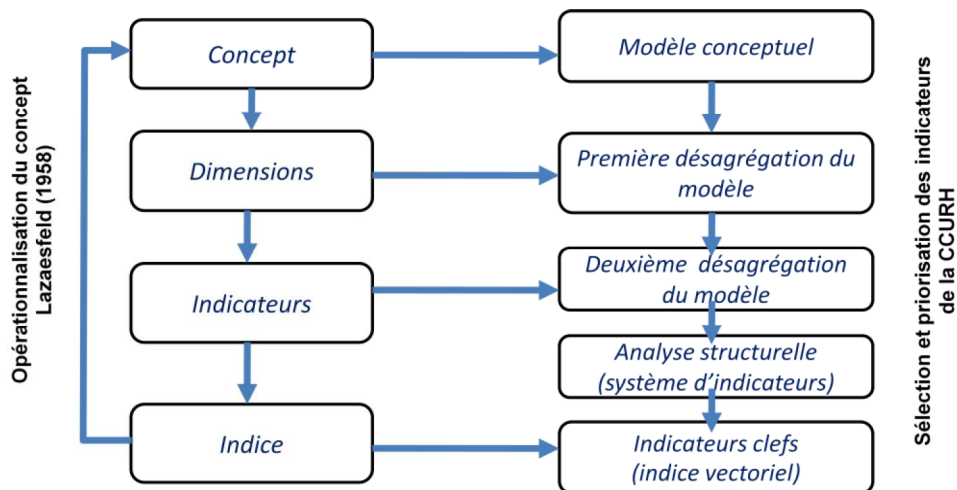


Figure IV.10. Opérationnalisation du concept

Source. Auteur.

IV.3.2. Description du modèle conceptuel

Nous avons vu que l'étude de la capacité de charge urbaine relative aux ressources hydriques s'articule autour de deux concepts clefs : capacité de l'offre caractérisée par les composantes développées plus haut en l'occurrence composante environnementale,

composante infrastructures et composante institutionnelle, c'est-à-dire les *déterminants de l'offre*; et le volet demande qui reprend les variables conditionnant la consommation domestique de l'eau, donc les *déterminants de la demande*. Ces deux concepts seront déclinés en un ensemble d'indicateurs. Cependant pour calculer la *capacité de charge* selon la formulation de la capacité de charge, il faudrait calculer la disponibilité de la ressource pour la consommation domestique ou l'*offre domestique* qui est conditionnée par la capacité de l'offre, et définir le *service cible* de consommation compris dans l'intervalle des seuils sanitaires définis par l'OMS. La réduction du service cible, autrement dit la consommation individuelle constitue l'objectif ultime de l'étude du volet consommation, car comme nous l'avons vu la capacité de charge, inversement proportionnelle à la consommation individuelle, devrait augmenter quand chaque individu baisse sa consommation. Aussi, la définition du service cible qui répond aux choix politiques en matière d'allocation et d'arbitrages entre les grands secteurs d'utilisation de l'eau, doit être dictée au travers d'une analyse minutieuse des facteurs influant la consommation (ou la demande) domestique, dont les mesures politiques en faveur d'une utilisation économe en eau occuperont une place importante, afin que le niveau de consommation soit estimé à sa juste valeur.

La population limite c'est-à-dire la *capacité de charge* représente le rapport entre l'offre et la demande matérialisée par le *niveau de service* (niveau de consommation individuelle). La *capacité de charge* ainsi calculée sera comparée au nombre actuel de population, et dans une perspective prospective, avec la population projetée à différents horizons, afin d'estimer la capacité du système à soutenir la croissance de la population.

Le modèle systémique servira à établir des scénarii pour l'augmentation de la disponibilité, de même pour la réduction de la demande en vu de définir le champ des possibilités pour améliorer la capacité de charge des ressources hydriques au niveau de la wilaya d'Alger.

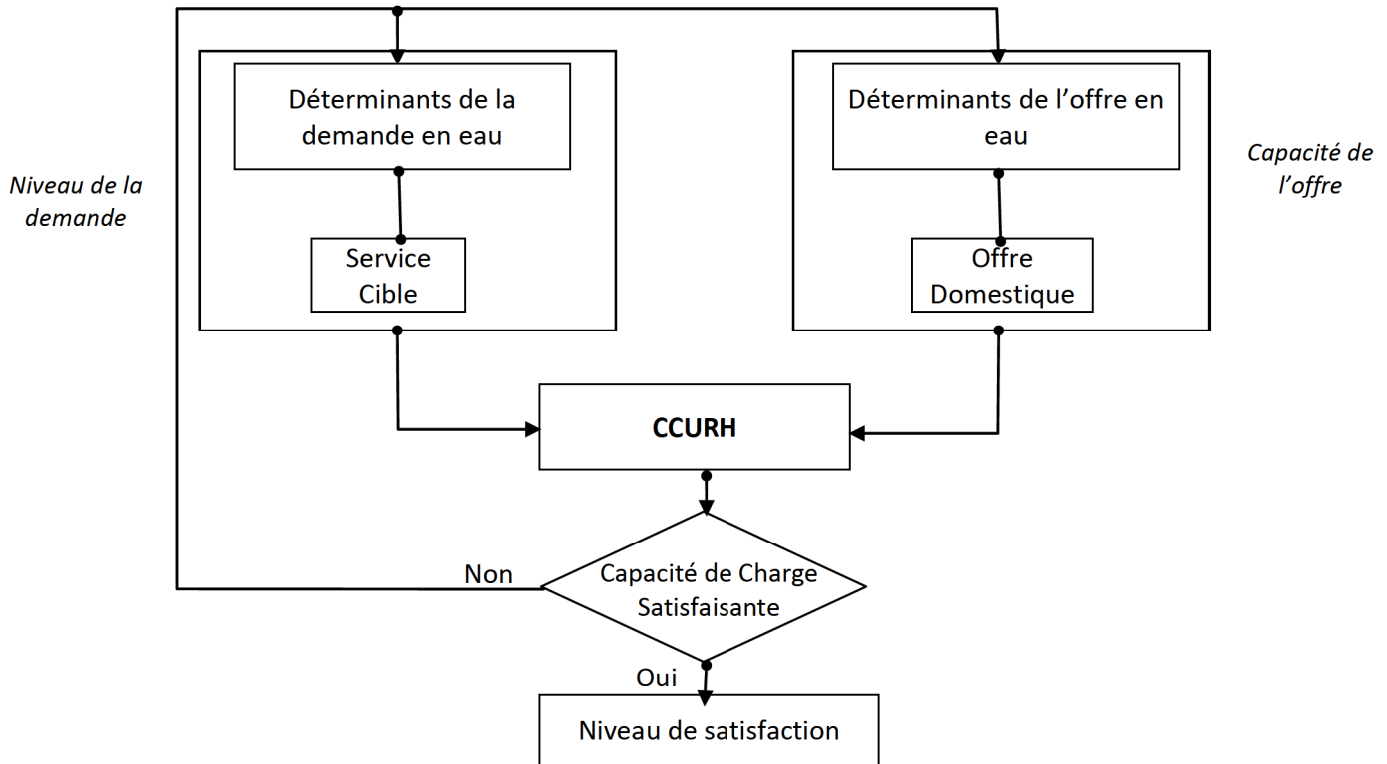


Figure IV.11. Schéma du modèle sans désagrégation des concepts de la CCURH

Source. Auteur

Composante du modèle	Définition
Déterminants de la demande	Ce sont les facteurs qui influencent la demande en eau des personnes et qui agissent donc sur le niveau de consommation
Déterminants de l'offre	Ce sont les facteurs qui influencent l'offre en eau et qui agissent donc sur le niveau de l'offre domestique
Service cible	Représente le niveau de consommation individuelle défini selon les objectifs de la politique de l'eau
Offre domestique	Représente la disponibilité annuelle en hectomètres cube pour la consommation domestique
CCURH	La capacité de charge urbaine relative aux ressources hydriques représente la population supportée selon l'offre et le service cible
Capacité de charge satisfaisante	Comparaison de la CCURH avec les populations actuelles ou projetées
Niveau de satisfaction	Si la capacité de charge est satisfaisante, définition du niveau de dotation individuelle

Tableau IV.3. Tableau de définition des composantes du modèle.

Source. Auteur

Une première désagrégation du modèle conceptuel donne les dimensions relatives aux concepts « déterminants de l'offre » et « déterminants de la demande ». Le concept « déterminants de l'offre » se décline en trois dimensions : ressources naturelles, infrastructures et gestion de l'eau. Les dimensions sont vues ici comme un domaine de

potentiels et de contraintes qui limitent et façonnent directement la croissance urbaine et représentent donc des niveaux d'évaluation de capacité de charge hydrique à considérer. Le concept « déterminants de la demande » reprend les facteurs influant sur la consommation domestique à savoir les variables socioéconomique, les variables climatiques, l'environnement bâti et enfin la politique de régulation de la demande. Ces facteurs représenteront les dimensions de cette composante. La sélection des indicateurs repose sur les objectifs formulés de l'évaluation de chacune de ces dimensions.

Concept	Dimension	Définition
Déterminants de l'offre	Ressources naturelles	Cette dimension s'attache à décrire les éléments influant sur la disponibilité globale naturelle des ressources hydriques.
	Infrastructures de mobilisation	L'objectif de cette dimension est de décrire la capacité de mobilisation et de production de l'eau.
	Gestion de l'eau	Cette dimension se préoccupe de la description des éléments caractérisant la capacité à gérer le secteur de l'eau.
Déterminants de la demande	Environnement bâti	L'urbanisation et le type de logement influent sur le niveau de consommation de l'eau.
	Variables climatiques	Représentent la pluviométrie et la température, deux facteurs influant le niveau de consommation.
	Variables socio-économiques	Représentent les facteurs socio-économiques influant sur le niveau de consommation à savoir la taille des ménages et le revenu.
	Politique de régulation de la demande	Cette dimension s'attache à décrire la capacité de la politique de l'eau à réguler la demande en eau (ie. Réduction de la consommation) qui se manifeste par des mesures incitatives et coercitives.

Tableau IV.4. Tableau de définition des dimensions.

Source. Auteur

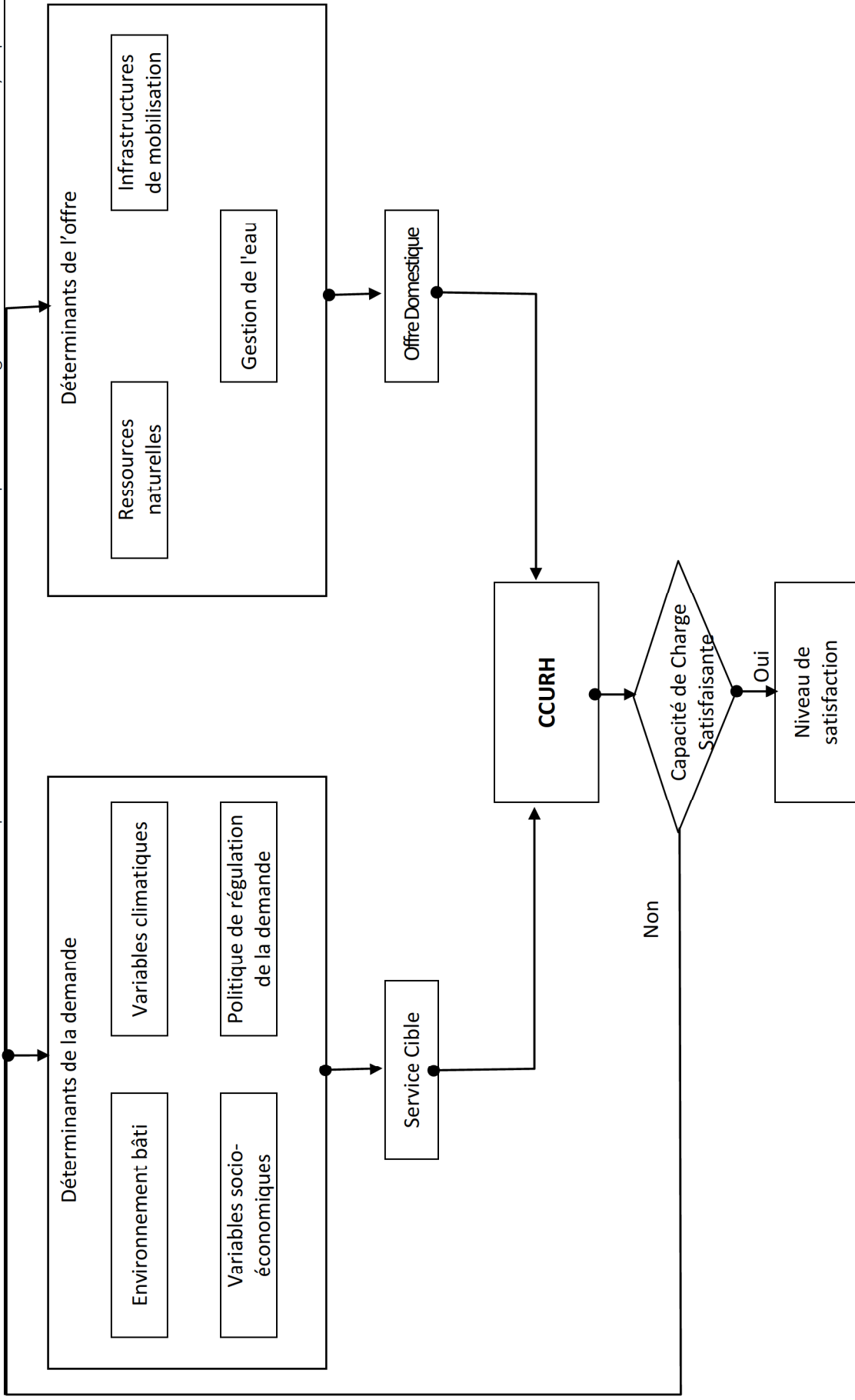


Figure IV.12. Modèle après désagrégation des concepts en dimensions
Source. Auteur

IV.4. Désagrégation du modèle et sélection des indicateurs

L'objectif de cette recherche étant de développer un 'système d'indicateurs' qui constitue un modèle de la question de capacité de charge des ressources hydriques pour Alger, ce sont donc les indicateurs qui vont constituer les variables du modèle final. Pour ce faire, il faut un deuxième niveau de désagrégation afin de traduire les dimensions en un ensemble d'indicateurs pertinents pour les décrire. Chacune des dimensions au nombre de sept, fera l'objet d'une description dans le but d'en couvrir la portée et les enjeux, et de préciser les objectifs attendus des indicateurs s'y rattachant. Cette étape est donc cruciale car elle permet de guider mais aussi de donner la légitimité au choix des indicateurs retenus. Aussi, un certain nombre d'éléments déjà évoqués seront de nouveau sollicités car se rapportant à la description de ces dimensions.

Les composantes offre et service cible représentent des indicateurs clefs dans la mesure où ils sont directement impliqués dans l'évaluation de l'indicateur capacité de charge, la finalité poursuivie par la conception du modèle. Les indicateurs décrivant les dimensions peuvent être quantitatifs ou qualitatifs, et seront recueillis à partir de bases de données et tableaux de bord sur les thèmes ressources hydriques et développement durable en général⁶⁰. Enfin, il convient aussi de souligner la variété des échelles spatiales des indicateurs, et que bon nombre d'entre eux sont établis pour des échelles dépassant les limites administratives de la wilaya.

IV.4.1. Indicateurs de la composante déterminants de l'offre

IV.4.1.1. Indicateurs de la dimension ressources hydriques

L'essentiel de l'eau consommée est fourni par le débit annuel moyen des rivières et le renouvellement annuel des ressources en eau souterraine. L'objectif des indicateurs relatifs à cette dimension est de décrire les éléments influant sur la disponibilité globale des ressources hydriques. En effet, toute utilisation rationnelle de l'eau devrait tenir compte du taux de renouvellement naturel des réserves d'eau, faute de quoi les sources d'approvisionnement en eau se tariront aggravant la situation de pénurie qui affecte déjà notre pays. Dans son inventaire exhaustif des ressources mondiales en eau douce (E/CN.17/1997/9), l'organisation des Nations Unies a défini les limites de prélèvement : faible <10%, modéré entre 10% à 20%, moyennement forte entre 20% à 40% et enfin forte >40%, au-delà de ce seuil, la situation est dite critique et les ressources sont utilisées à un rythme supérieur à celui de leur reconstitution. La surexploitation des

⁶⁰ Sources des indicateurs : (Larid, 2003), (Commissariat général au développement durable, 2011), (PNUE, 2006), (Communauté urbaine de Bordeaux, 2008), (Groupe de la banque africaine de développement, 2000), (IBNET, 2013), (Kaufmann, Kraay, & Mastruzzi, 2010), (Worldwide Governance Indicators, 2014), (UNESCO, 2014), (GTZ, 2009), (EUROSTAT, 2014), (Observatoire de l'eau et de l'assainissement, 2007), (CERIU, 2012)

nappes phréatique entraîne leur rabattement, qui à son tour conduit à l'intrusion marine, phénomène observé dans les nappes alimentant la capitale (voir chapitre I). De plus, l'eau disponible naturellement n'est pas à l'usage exclusif des humains, mais il faut considérer les besoins en eau des différents écosystèmes (faune et flore aquatiques, zones humides, etc.), qui jouent un rôle important dans le maintien de l'intégrité et du bon fonctionnement naturel des systèmes hydriques (OCDE, 1998). Autrement dit il existe un certain débit minimum en deçà duquel les réseaux hydrographiques et les écosystèmes subissent des dommages telles qu'ils deviennent potentiellement irrécupérables (GTZ, 2009). Aussi, l'impact négatif sur les écosystèmes aquatiques par les barrages doit être considéré lors de l'élaboration de la stratégie de mobilisation des ressources hydriques. Il faut tenir compte également des facteurs affectant la disponibilité des ressources, en plus de la surexploitation : la sécheresse qui frappe le pays de façon cyclique, et la pollution résultant de plusieurs années de déversements dans les milieux naturels d'eaux usées non traitées. Donc en résumé l'objectif de l'évaluation de cette dimension serait d'estimer les ressources disponibles à l'utilisation humaine en tenant compte du taux de renouvellement, des besoins des écosystèmes et des contraintes de sécheresse et de pollution.

Ainsi, le rôle des indicateurs sélectionnés serait de décrire l'état de la disponibilité des ressources au vu des limites de prélèvements (afin de préserver la ressource et les écosystèmes), et des contraintes qui pèsent sur les ressources hydriques. Les potentialités des ressources souterraines et superficielles sont sous-tendues par les indicateurs des taux de prélèvements.

Ressources
Taux d'exploitation des ressources souterraines (R)
Taux de mobilisation des ressources en eau de surface (R)
Type d'année climatique (R)
Qualité des eaux souterraines

Tableau IV.5. Indicateurs de la dimension Ressources

*(R) : Redondance

IV.4.1.2. Indicateurs de la dimension infrastructure

Le prélèvement de l'eau et son acheminement nécessite des infrastructures diverses : des barrages pour mobiliser les eaux de surfaces, les infrastructures de captages des ressources souterraines, les réseaux de transfert et de distribution et les stations de traitement. Mais comme évoqué précédemment, l'approvisionnement en eau potable se fait aussi par les ressources non conventionnelles à savoir le dessalement de l'eau de mer et le recyclage des eaux usées. Certains problèmes touchent les infrastructures et affectent par là la capacité d'approvisionnement, notamment

l'envasement des barrages et les fuites dans les réseaux d'adduction et de distribution, problèmes auxquels est confronté l'approvisionnement de la capitale (voir chapitre I). L'objectif attendu de la sélection des indicateurs est d'évaluer la capacité réelle et l'efficacité des infrastructures. Les indicateurs décrivant la pression sur les ressources de la dimension précédente, sont repris ici pour décrire la capacité de mobilisation des ressources superficielles et d'exploitation des ressources souterraines.

Infrastructures
Taux d'exploitation des ressources souterraines (R)
Taux de mobilisation des ressources en eau de surface (R)
Taux d'envasement des réserves des barrages
Capacité de dessalement
Taux de raccordement
Ratio Capacité de stockage / Conso moyenne journalière
Taux de perte dans les réseaux d'adduction
Taux de perte dans les réseaux de distribution
Taux de conformité des analyses d'eau (eau distribuée)
Indice de Réutilisation de l'eau

Tableau IV.6. Indicateurs de la dimension Infrastructures.

IV.4.1.3. Indicateurs de la dimension gestion de l'eau

La gestion intégrée des ressources en eau répond à plusieurs objectifs : accroître la disponibilité de l'eau en limitant les atteintes aux ressources et en favorisant la réutilisation, limiter les prélèvements à des niveaux durables en maximisant le rendement d'utilisation de l'eau, minimiser la production des eaux usées et enfin optimiser la répartition de l'eau entre les utilisateurs en concurrence (OCDE, 1998). L'objectif des indicateurs relatifs à la capacité à gérer est de caractériser l'efficacité : de la réglementation, des institutions, des services de l'eau, et enfin des instruments.

- La capacité réglementaire et législative : comprend l'arsenal juridique pour gérer et organiser le secteur et promouvoir une utilisation rationnelle des ressources et les normes établies pour contrôler la qualité des ressources hydriques, les niveaux de satisfaction, les niveaux de rejets des eaux usées, etc, comme nous l'avons vu dans la section IV.1.3.6.
- La capacité des institutions : reflète la qualité du cadre administratif et institutions en place.
- La capacité des services de l'eau : se manifeste dans la qualité du service rendu aux consommateurs (efficacité des ressources humaine, la continuité du service, satisfaction des abonnés, etc.).

- La capacité des instruments : comprend les mesures réglementaires, économiques et techniques entreprises pour améliorer la disponibilité de l'eau et la protection de la ressource en promouvant la consommation rationnelle et en optimisant la répartition de l'allocation entre les différents utilisateurs. Mais, la pérennité du secteur est tributaire de sa viabilité économique, laquelle requiert un système de tarification approprié capable de couvrir l'intégralité des coûts induits par la fourniture de l'eau, le maintien de sa qualité et la préservation des ressources, l'entretien et le renouvellement des infrastructures et le fonctionnement de l'administration et des services de l'eau.

Gestion de l'eau
Rapport tarif de l'eau/coûts réels de la production
Niveau d'utilisation de compteurs (R)
Taux de réclamations Nb/1000abonnés
Taux d'occurrence des interruptions de service non programmés Nb/1000 abonnés
Allocation de l'eau par secteur (Domestique, industriel, agricole)
Indice de participation du public
Indice de qualité de l'administration et des services de l'eau
Qualité de la réglementation
Autorité de la loi

Tableau IV.7. Indicateurs de la dimension Gestion de l'eau.

IV.4.2. Indicateur Offre

La quantité totale d'eau que le système en place peut mobiliser provient des sources d'eau superficielle et souterraine, de l'eau de dessalement et du recyclage d'eaux usées, même si ce dernier procédé de production d'eau actuellement n'est qu'au stade embryonnaire et son apport ne pèse pas beaucoup dans la quantité totale d'eau mobilisée, mais constitue une variante dont le paramétrage permettra d'éclairer sur les choix politiques à entreprendre. Par ailleurs, il faut tenir compte du fait que le système d'approvisionnement décrit plus haut, n'alimente pas, comme nous l'avons vu, que la capitale, mais il existe une espèce de compétition pour des ressources limitées, situées soit à l'extérieur de la wilaya (le cas des ressources superficielles), soit à cheval entre wilayas (la nappe de la Mitidja). En se basant sur la catégorisation des usages adoptée, nous définissons trois types d'usages d'eau en l'occurrence l'usage domestique W_d ,

l'usage industriel⁶¹ W_i , et l'usage agricole W_a . La quantité totale d'eau allouée est ainsi exprimée par la formule suivante :

$$W_t = W_d + W_i + W_a$$

La part allouée à chacun de ces usages émane de la stratégie d'arbitrage entre les différents types d'utilisateurs de cette ressource, qui répond à la politique de développement régionale voire nationale. Cette répartition de la ressource entre les différents utilisateurs appelée également structure de l'eau est exprimée par les coefficients $(\alpha; \beta; \gamma)$, où $W_d = \alpha \cdot W_t$, $W_i = \beta \cdot W_t$, $W_a = \gamma \cdot W_t$. Tout changement de la structure de l'eau, définit le volume disponible pour la consommation domestique sur lequel se base le calcul de la capacité de charge.

IV.4.3. Indicateurs de la composante déterminants de la demande

IV.4.3.1. Indicateurs de la dimension variables socio-économique

Les variables socio-économiques portent sur la taille et le revenu des ménages. Nous avons vu que la croissance de la population induit une augmentation des besoins en eau, tandis que la consommation se réduit avec l'augmentation de la taille des ménages. Quant à l'aisance financière, les études ont démontré un lien négatif avec la consommation. L'objectif des indicateurs ici, est de décrire ces facteurs socio-économiques en vue d'appréhender la consommation domestique sur laquelle elle agit.

Variables Socio-économiques
PIB par habitant en parité de pouvoir d'achat
Taille moyenne des ménages

Tableau IV.8. Indicateurs de la dimension Socio-économique.

IV.4.3.2. Indicateurs de la dimension variables climatiques

La température et la pluviométrie ont été désignées comme les principaux facteurs climatiques influençant la consommation domestique. En effet, il a été observé qu'au-delà d'un certain seuil, vers 30°, la consommation de l'eau augmente de façon significative à cause de l'augmentation des besoins d'hydratation du corps humain, du rafraîchissement et d'hygiène. L'impact d'une bonne pluviométrie s'observe notamment dans l'habitat individuel muni de jardin privé, dont l'arrosage représente une part non négligeable de la consommation d'eau globale.

⁶¹ L'usage industriel englobe en plus de l'activité industrielle, toute autre activité urbaine en dehors du domestique et de l'agricole : commerce, administration, tourisme, etc.

Variables Climatiques
Nombre de jours de chaleur ($T_{max} \geq 30^{\circ}C$)
Type d'année climatique (R)

Tableau IV.9. Indicateurs de la dimension Climatique..

IV.4.3.3. Indicateurs de la dimension Environnement bâti

La consommation d'eau par les ménages diffère selon que le logement soit collectif ou individuel. Les études ont montré que la consommation de ce dernier est plus importante, du fait de sa surface, mais également de l'éventuelle présence de piscine et de l'arrosage des jardins. L'urbanisation quant à elle, augmente la pression sur les réseaux de distribution et peut influencer par conséquent les dotations en eau.

Environnement bâti
Indice d'urbanisation (% /an)
Part d'habitat individuel/ collectif/mixte dans le parc existant

Tableau IV.10. Indicateurs de la dimension Environnement bâti.

IV.4.3.4. Indicateurs de la dimension politique de régulation de la demande

La politique de régulation de la demande fait partie de la politique globale de gestion intégrée des ressources hydriques, dont le modèle que nous développons propose de décrire la capacité (la capacité institutionnelle). Dans ce volet, il s'agit d'un ensemble de mesures axées sur la réduction de la demande domestique en eau potable dans le but de réduire les besoins en matière d'infrastructures et ainsi les prélèvements d'eau. Au niveau national, la nécessité d'une gestion économe des ressources hydriques et de la lutte contre les pertes et les gaspillages, fut exprimée clairement dans le cadre de la loi sur l'eau du 4 août 2005 (article3). Les trois axes qui semblent privilégiés pour instaurer l'économie d'eau au sein de la population, et que nous proposons de décrire à travers des indicateurs sont la tarification, la promotion des équipements ménagers économes en eau et la récupération d'eaux de pluie :

- Le prix de l'eau : Nous avons vu que jusqu'à un certain seuil, le prix de l'eau peut jouer un rôle non négligeable dans la réduction de la consommation des ménages. Une étude menée au Royaume-Uni a révélé qu'une diminution de la consommation de pointe allant de 25 à 35 % a été enregistrée durant les étés relativement chauds suite à une augmentation du prix de l'eau (Herrington, 1996). Mais l'effet de la facturation sur la consommation dépend de l'équipement des foyers en compteurs d'eau. La généralisation du comptage individuel pourrait déboucher sur une économie de 15%, selon l'étude menée par (Kraemer & Kahlenborn, 1997).

- Les équipements économes en eau : Tels les machines à laver à faible consommation d'eau, Toilette à faible ou double débit, Robinets limiteurs de débit/Pomme de douche faible débit, etc. Des mesures incitatives (subventions pour l'achat d'appareils, sensibilisation des ménages aux avantages économiques et écologiques de ces équipements, etc.) rendent les ménages plus enclins à acquérir ce type d'appareils.
- La récupération d'eau de pluie : Eu égard à l'autonomie d'approvisionnement en eau qu'il procure aux foyers ainsi que des gains sur le coût de l'eau, ce procédé est appelé à se généraliser dans un avenir proche, pour peu que des mesures incitatives, telles citées ci-dessus, soient prises afin de booster les plus réticents à s'équiper d'installations de récupération des eaux pluviales. Siret (2005) estime qu'une installation pourrait réduire de 26 et 44% les besoins en eau du ménage.

Politique de régulation de la demande
Part de la dépense relative à l'eau dans le budget des ménages (%)
Pourcentage des ménages détenant des appareils économes en eau (machine à laver à faible consommation d'eau, Toilette à faible ou double débit, Robinets limiteurs de débit/Pomme de douche faible débit)
Niveau d'utilisation de compteurs (R)
Part des bâtiments récoltant l'eau de pluie

Tableau IV.11. Indicateurs de la dimension Politique de régulation de la demande.

IV.4.4. Le niveau de service : LPCD n'est pas un indice absolu

Le niveau de service s'exprime en quantité d'eau journalière en litres pour répondre aux besoins d'un individu. Nous avons déjà souligné que l'Organisation Mondiale de la Santé OMS a défini un intervalle sanitaire de 100-200 litres par habitant par jour pour prévenir les maladies liées au manque d'eau et d'hygiène. En effet il faut que les dotations journalières soient de l'ordre de 100-200 litres par habitant par jour pour un confort d'utilisation de l'eau. Mais comme nous l'avons vu, la consommation domestique est déterminée par des facteurs d'ordre climatique et socio-économique, des facteurs liés à l'environnement bâti et à l'efficacité des politiques de régulation de la demande, de même les caractéristiques culturelles et les modes de vies des sociétés. De ce fait il ne peut y avoir de norme universelle de consommation domestique de l'eau (Büchs, 2007). Une étude du comportement de consommation dans une société donnée, est seul en mesure de dégager des éléments de réponse pour définir le niveau de consommation adéquat pour les populations en place.

Ce qui est intéressant à relever, par ailleurs, c'est la tendance à une baisse générale de la consommation domestique dans les pays développés, même chez celles

où les ressources hydriques sont abondantes. A New York, la consommation est passée de 772 litres en 1991 à 476 litres en 2009 (NYCDEP : New York City Department of Environmental Protection, 2013) et la même tendance fut observée dans plusieurs villes européennes où la consommation qui dépassait les 200 litres voire 300, se situe aujourd'hui autour de 150 litres UKEA (UKEA the United Kingdom Environment Agency by Aquaterra, 2008). Ceci s'explique évidemment par une prise de conscience collective à l'égard de la nécessité de la protection des ressources naturelles, ainsi que le progrès technologique en matière d'équipements économes en eau. A cet égard, la ville de Berlin en Allemagne fait figure d'exemple. Avec une consommation journalière par habitant de 115 litre, la position de Berlin est entre Accra (Ghana) et Nairobi (Kenya) (voir figure I.21); ce qui paraît surprenant pour une ville ayant un niveau de vie des plus élevés. Cette évolution vers des modes d'utilisation plus durable des ressources hydriques est le fruit d'une politique efficace de sensibilisation des populations aux enjeux environnementaux et à l'importance de l'économie d'eau. Le tableau ci-dessous montre le détail de la consommation en quantités d'eau par usage pour le domestique à Berlin.

Usage	Litres par jour	Pourcentage
Pour la boisson et la préparation des repas	5,75	5%
Hygiène corporelle	46	40%
Chasse d'eau	35,65	31%
Nettoyage et vaisselle	16,1	14%
Autres	11,5	10%

Tableau IV.12. Consommation domestique à Berlin

Source. <http://www.bwb.de/content/language1/html/1143.php>

Le niveau de service est un indice relatif, sa définition doit prendre en considération un certain nombre d'éléments notamment les modes d'utilisation, le degré de conscience environnementale des populations et le niveau d'équipement des ménages en appareils économes en eau. Mais la disponibilité de l'eau reste le déterminant premier des quantités à allouer et par conséquent des niveaux de consommation. Le rôle de la politique de gestion durable des ressources hydriques, serait à cet égard, de définir le niveau de service que l'approvisionnement en eau pourrait supporter en tenant compte de l'enjeu sanitaire et des modes de consommation, et tout en menant parallèlement une politique de régulation de la demande.

IV.4.5. Capacité de charge

La capacité de charge ou la population limite que le système d'approvisionnement en eau en place pourrait supporter constitue la finalité de cette recherche. Elle exprime le

rapport entre la quantité disponible pour la consommation et le niveau de consommation individuelle qui représente le service défini dans le cadre de la politique de l'eau. Chacune de ces deux variables est déterminée par l'ensemble des indicateurs que nous avons proposé dans le modèle conceptuel : Les indicateurs caractérisant la capacité d'approvisionnement influent sur l'offre pour le domestique, et les indicateurs décrivant les facteurs déterminant la consommation domestique devraient éclairer sur le niveau de consommation requis par la population. Aussi, les valeurs que ces indicateurs vont prendre, issues de recherches théoriques sur les seuils délimitant les champs de valeurs pour chaque indicateur ainsi que des données sur notre cas d'étude, permettront de dégager un éventail de scénarios relatifs aussi bien aux quantités disponibles qu'aux niveaux de service requis. *In fine*, nous n'aurons pas une capacité mais des capacités de charge possibles, correspondant chacune à des modifications dans les éléments influant sur la capacité d'approvisionnement ou les modes de consommation, et qui orientent par conséquent les mesures à envisager pour une politique de gestion durable des ressources hydriques, et la satisfaction des besoins de la population résidante dans la ville.

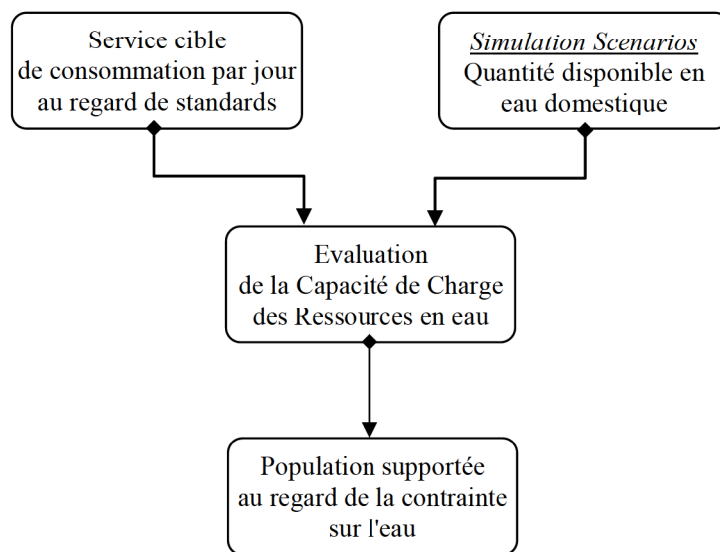


Figure IV.13. Cadre conceptuel de la capacité de charge des ressources hydriques
Source. (Naimi-Ait-Aoudia & Berezowska-Azzag, 2014)

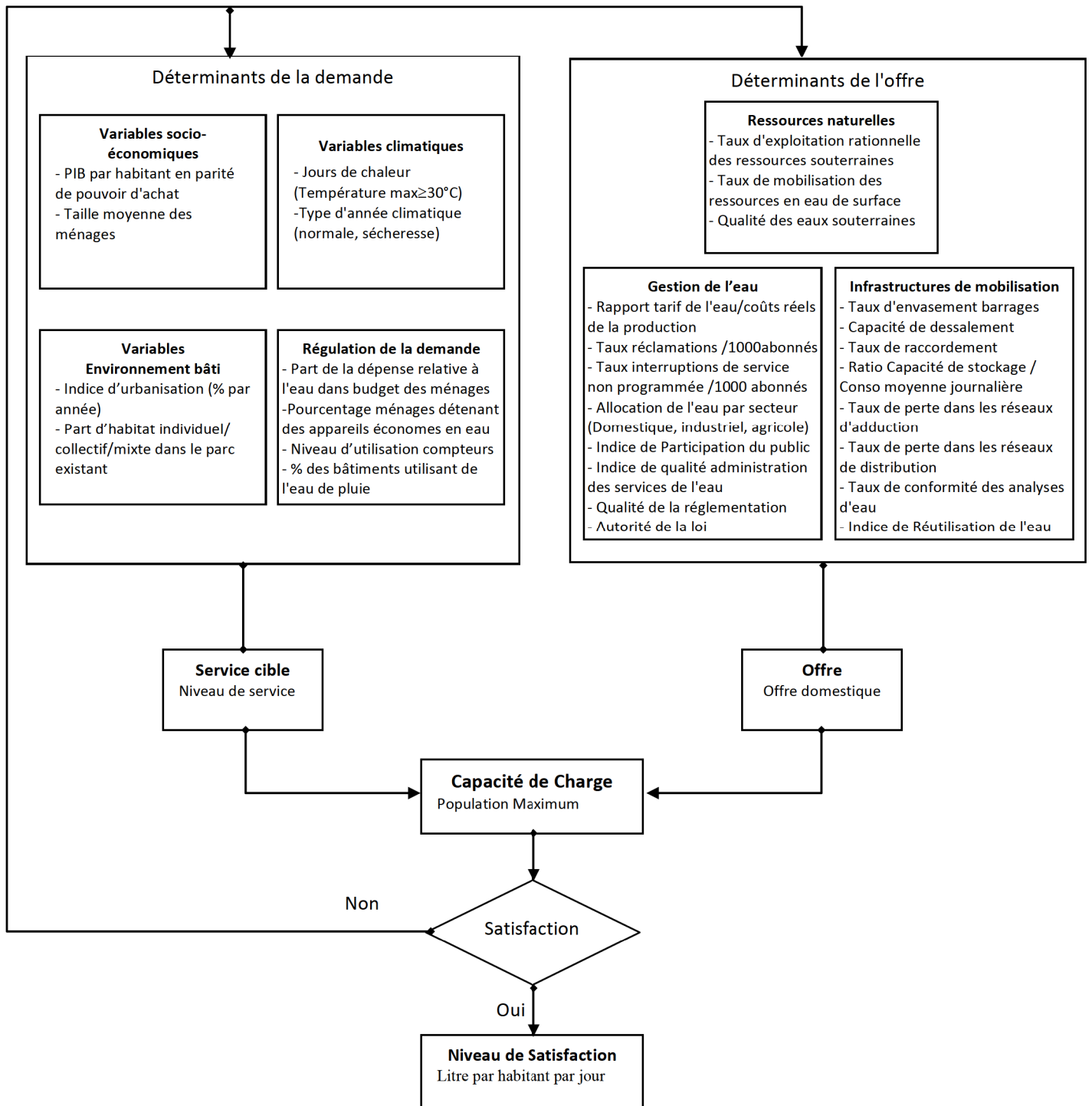


Figure IV.14. Désagrégation du modèle de capacité de charge.

Source. Auteur

Concept	Dimensions	Indicateurs
Déterminants de l'offre	D1: Ressources	- D1.I1. Taux d'exploitation rationnelle des ressources souterraines (%) (D2)
		- D1.I2. Taux de mobilisation des ressources en eau de surface (%) (D2)
		- D1.I3. Qualité des eaux souterraines
	D2 : Infrastructures	- D2.I1. Taux d'envasement des réserves des barrages
		- D2.I2. Capacité de dessalement (m3/jour)
		- D2.I3. Taux de raccordement (%)
		- D2.I4. Ratio Capacité de stockage / Conso moyenne journalière
		- D2.I5. Taux de perte dans les réseaux d'adduction(%)
		- D2.I6. Taux de perte dans les réseaux de distribution(%)
		- D2.I7. Taux de conformité des analyses d'eau (eau distribuée)
		- D2.I8. Indice de Réutilisation de l'eau (WRI)
	D3 Gestion de l'eau	- D3.I1. Rapport tarif de l'eau/coûts réels de la production
		- D3.I2. Taux de réclamations Nb/1000abonnés
		- D3.I3. Taux d'occurrence des interruptions de service non programmés Nb/1000 abonnés
		- D3.I4. Allocation de l'eau par secteur (Domestique, industriel, agricole)
		- D3.I5. Indice de Participation du public PPI
		- D3.I6. Indice de qualité de l'administration et des services de l'eau
		- D3.I7. Qualité de la réglementation
- D3.I8. Autorité de la loi		

Tableau IV.13. Indicateurs de la composante déterminants de l'offre

Source. Auteur

Concept	Dimensions	Indicateurs
Déterminants de la demande	D4: Variables Socio-économiques	- D4.I1. PIB par habitant en parité de pouvoir d'achat
		- D4.I2. Taille moyenne des ménages
	D5 : Variables Climatique	- D5.I1. Jours de chaleur (Tmax≥30°C)
		- D5.I2. Type d'année climatique
	D6 : Environnement bâti	- D6.I1. Indice d'urbanisation (% /an)
		- D6.I2. Part d'habitat individuel/ collectif/mixte dans le parc existant
	D7 : Politique de régulation de la demande	- D7.I1. Part de la dépense relative à l'eau dans le budget des ménages (%)
		- D7.I2. Pourcentage des ménages détenant des appareils économes en eau (machine à laver à faible consommation d'eau, Toilette à faible ou double débit, Robinets limiteurs de débit/Pomme de douche faible débit)
		- D7.I3. Niveau d'utilisation de compteurs (D3)
		- D7.I4. % des bâtiments utilisant de l'eau de pluie

Tableau IV.14. Indicateurs de la composante déterminants de la demande

Source. Auteur

IV.5. Synthèse et conclusion du chapitre

Nous avons présenté dans ce chapitre une démarche de sélection des indicateurs pour évaluer la capacité de charge urbaine relative aux ressources hydriques. Pour ce faire, nous avons eu recours à la modélisation systémique, outil méthodologique de l'approche systémique pour représenter et étudier les systèmes complexes. La définition du champ de modélisation et la conception du modèle conceptuel constituent des étapes préalables essentielles à la démarche proposée. Nous avons donc commencé par prendre connaissance de notre objet d'étude en balayant l'état de l'art entourant la question de l'eau. Ceci nous a permis de déceler les aspects liés aux composantes environnementale, infrastructure et institutionnelle, utilisées généralement dans l'étude de la capacité de charge (voir chapitre II). En réalité ce que décrivent essentiellement ces composantes est le volet capacité d'approvisionnement en eau. Mais comme déjà évoqué, l'étude de la capacité de charge ne peut se restreindre à considérer que la disponibilité de la ressource. Elle est en effet le résultat de facteurs portant aussi bien sur l'offre déterminée par la capacité à approvisionner en eau, que sur le niveau de la demande que façonnent les conditions socio-économiques et les modes de vie. C'est la raison pour laquelle, nous avons considéré une composante se rapportant à la consommation domestique et ses déterminants.

La proposition du modèle conceptuel s'est basée sur les quatre composantes de la capacité de charge suscitées, qui déterminent donc les composantes : *déterminants de l'offre* et *déterminants de la demande*, dans notre modèle. Mais l'objectif du modèle est d'évaluer la *capacité de charge*, dont le calcul se réfère à la formulation de la capacité de charge qui met en rapport la disponibilité de la ressource donc l'*offre* domestique et la consommation individuelle à savoir le *niveau de service*. Les trois dernières composantes du modèle, que sont *l'offre*, *le service cible* et *la capacité de charge*, constituent en soi des indicateurs. Les deux premières par contre sont encore au stade conceptuel et nécessitent, par voie de conséquence, chacune d'elles une opérationnalisation pour les traduire en un ensemble d'indicateurs pertinents. Aussi, nous avons d'abord opéré un premier niveau de désagrégation des concepts en dimensions, et ensuite un deuxième niveau de dimensions aux indicateurs comme le suggère Lazarsfeld (1958), en s'appuyant sur l'état de connaissance sur ces deux concepts mais aussi en considérant les spécificités du cas d'étude. La figure ci-après présente l'opérationnalisation des concepts en indicateurs par le modèle conceptuel de capacité de charge.

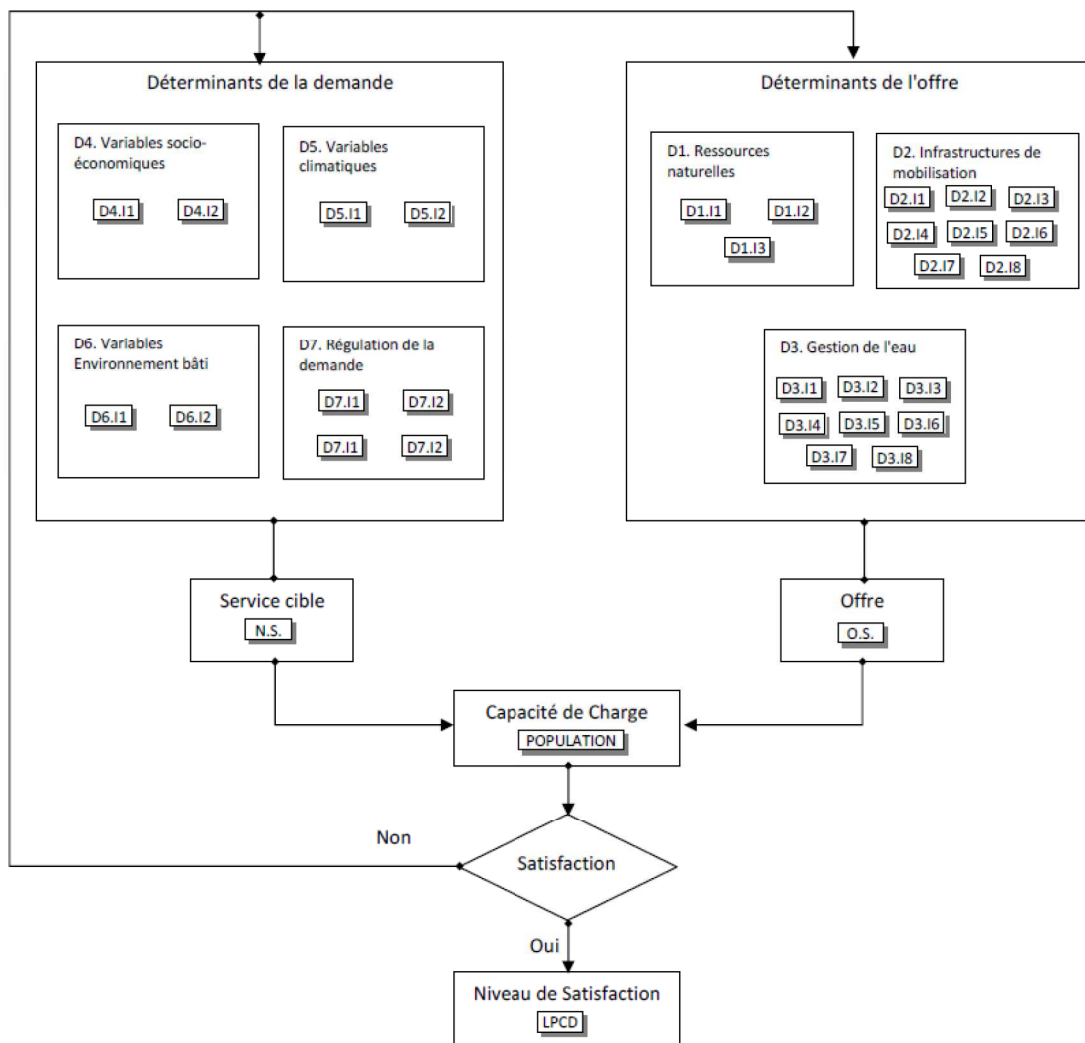


Figure IV.15. Indicateurs dans le modèle conceptuel de la capacité de charge.

Source. Auteur

A l'issue de cette étape de notre travail, nous avons élaboré un tableau de bord d'indicateurs décrivant les déterminants de l'offre ou de la capacité d'approvisionnement et les déterminants de la demande, et donc les indicateurs de capacité de charge urbaine relative aux ressources hydriques. Mais étant donné que notre objectif est d'évaluer la capacité de charge c'est-à-dire définir la population limite que pourrait supporter la wilaya eu égard l'approvisionnement en eau, il serait nécessaire d'identifier les indicateurs clefs ou critiques dont le rôle est central au sein du système « capacité de charge ». C'est sur le paramétrage des indicateurs, dont l'impact est manifeste sur l'offre ou sur le niveau de service, ainsi que ces derniers, que se basera l'évaluation de la capacité de charge.

Nous arriverons aux deux dernières étapes de la modélisation systémique relatives à l'étude du comportement du modèle qui permet à terme de repérer les indicateurs clefs, ainsi que l'utilisation du modèle dans les simulations afin de calculer la capacité de charge. Ces étapes de la démarche sont traitées dans le prochain chapitre.

CHAPITRE V. Evaluation de la capacité de charge urbaine relative aux ressources hydriques de la wilaya d'Alger : Simulations

"Mieux vaut prévenir que guérir."

Desiderius Erasmus

V.1. Etude des relations entre indicateurs

L'objectif de l'élaboration du modèle est de constituer une connaissance du phénomène ou du système étudié en vue d'en comprendre le comportement et d'en déduire l'évolution. L'étude du comportement porte sur la description de l'organisation fonctionnelle du système, en d'autres termes, il s'agit de mettre en évidence comment les variables, qui sont dans notre cas les indicateurs, interagissent pour faire évoluer le système de capacité de charge relative aux ressources hydriques. C'est cet aspect relatif à la place de l'indicateur au sein du système, auquel il appartient, qui est déterminant de la pertinence dudit indicateur, car dans l'explication de la complexité du phénomène, selon la démarche systémique, l'exhaustivité n'est pas requise, mais il importe de considérer le système dans sa globalité, en insistant sur les liens entre les éléments le composant. Le but étant d'en dégager les plus significatifs, sur lesquels se baseront les simulations dont l'objectif ultime est de guider les actions en vue de faire évoluer le système étudié vers la finalité souhaitée.

Dans ce qui suit, nous présentons la démarche de l'étude du comportement du système capacité de charge des ressources hydriques décrit par les indicateurs désignés dans l'étape précédente. La matrice structurelle constituée à cet égard un outil à la fois commode et facile à mettre en œuvre dans l'analyse des relations causales entre les différents indicateurs, à l'issue de laquelle un indice de la capacité de charge, construit à partir des indicateurs pertinents, sera proposé afin de servir à broser un tableau global de la situation de la capacité à travers les éléments clefs la caractérisant, au niveau de la capitale. L'évaluation proprement dite de la capacité de charge ou autrement dit la définition du nombre limite de population que peut ou pourrait supporter la wilaya à l'aune de la capacité d'approvisionnement en eau, sera examinée dans la section suivante.

V.1.1. L'analyse structurelle

Dans le cadre des politiques urbaines, la connaissance des liens de causalité au sein d'un phénomène étudié est primordiale dans la mesure où elle permet dans un premier temps de guider l'action des décideurs pour intervenir sur le phénomène, et d'évaluer par la suite la capacité de leurs politiques urbaines à modifier les situations existantes (Fusco, 2005). A l'aide de la matrice structurelle nous identifions les relations causales pour chaque couple d'indicateurs définis ci-dessus, en se basant sur des rapports et études traitant de la question de l'eau en tant que ressource essentielle pour soutenir l'activité humaine et sa croissance, nécessitant une gestion intégrée et rigoureuse afin de garantir une utilisation efficace et durable de ce précieux liquide. Par ailleurs, le modèle que nous proposons se veut un outil pour orienter la stratégie de l'eau dans un contexte spécifique marqué par la rareté de l'eau et l'augmentation de la pression sur la ressource, notamment au niveau des collectivités urbaines dont Alger, du fait de la croissance de la population urbaine et des activités. Aussi, la prise en compte des spécificités locales que cela soit au niveau de la description structurelle du système, comme nous l'avons vu plus haut, ou l'étude de l'organisation fonctionnelle est primordiale afin que cet outil soit opérationnel pour les décideurs locaux.

Dans la matrice structurelle, illustrée par le tableau V.1 et la figure V.1, sont repris les 29 indicateurs désignés dans l'étape précédente comme décrivant la problématique de la capacité de charge relative aux ressources hydriques et qui se rapportent aux dimensions *ressources, infrastructures, gestion de l'eau, variables socio-économiques, variables climatiques, environnement bâti* et *politique de régulation de la demande*. Nous avons utilisé le logiciel MIC-MAC⁶² pour illustrer les principales étapes de l'analyse structurelle. Ce logiciel permet en effet de schématiser les relations causales par un graphe (figure V.2) et de classer les variables dans le plan d'influence à partir des relations causales définies (figure V.3).

Les relations causales entre indicateurs dans le modèle de capacité de charge relative aux ressources hydriques que nous avons développé sont de nature disjonctive, c'est-à-dire plusieurs causes dont chacune est suffisante pour produire le même effet (par exemple le rapport entre les différentes causes mobilisation des ressources de surface, réutilisation des eaux usées ou récupération des eaux pluviales et l'effet taux d'exploitation des ressources souterraines), et conjonctive où l'effet est le produit de plusieurs causes nécessaires mais non suffisantes (par exemple une bonne pluviométrie est nécessaire pour instaurer la récupération des eaux pluviales au niveau domestique, mais non suffisante pour inciter les ménages à adhérer à cette entreprise, si d'autres mesures n'ont pas été prises tel l'adoption d'une tarification qui reflète le cout réel de

⁶² Le logiciel MICMAC, développé par le LIPSOR : <http://www.lapropective.fr/methode>, est dédié au cadre des études prospectives.

l'eau). Par ailleurs, le modèle met en évidence des relations circulaires (rétroactions) entre certains indicateurs. Tel est le cas, par exemple de la part des dépenses en eau dans le budget des ménages qui favorise l'acquisition des appareils économes en eau, qui à son tour conduit à la réduction de la consommation laquelle se reflétera sur la facture de l'eau, de même qu'un taux élevé non durable d'exploitation va entraîner les décideurs à exploiter les eaux usées épurées qui conduira à réduire les prélèvements et ainsi la pression sur les ressources hydrique. Dans les deux cas il s'agit de rétroactions négatives avec un effet régulateur de la part des dépenses dans le premier cas et des prélèvements dans le second.

Sur le plan d'incertitude de la relation, les relations peuvent être de nature logique (ou déterministe), c'est-à-dire la causalité est indiscutable, par exemple la relation entre la pluviométrie et la disponibilité des ressources, de même entre la réutilisation des eaux usées ou les pertes dans les réseaux et les taux d'exploitation des ressources. Comme il peut s'agir de causalité observée qui nécessite des vérifications statistiques, que nous avons extraits d'études traitant de la question, par exemple le rapport entre la taille des ménages ou le prix de l'eau sur le niveau de consommation domestique.

L'analyse des différentes relations permet dans une phase en aval du processus décisionnel de guider le choix et de mesurer leurs impacts sur l'ensemble du système étudié, mais au niveau stratégique il est important pour le décideur de disposer d'une vue d'ensemble, une sorte de *snapshot* global de la problématique posée. Ceci revient à désigner les indicateurs clefs déterminant du fonctionnement global du système et de son évolution sur la base desquels sera proposé l'indice de capacité de charge relatif aux ressources hydriques, et seront ultérieurement construits les scénarios des actions à mener en vue d'améliorer le système, qui se traduit par l'augmentation de la taille de la population pouvant être supportée par Alger eu égard à la capacité d'approvisionnement en eau.

	D111	D112	D113	D211	D212	D213	D214	D215	D216	D217	D218	D311	D312	D313	D314	D315	D316	D317	D318	D411	D412	D511	D512	D611	D612	D711	D712	D713	D714	N.S.	O.D.	Σ		
D1.11. Taux d'exploitation rationnelle ressources souterraines	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	6		
D1.12. Taux de mobilisation des ressources superficielles	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	6			
D1.13. Qualité des eaux souterraines	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3		
D2.11. Taux d'envasement des réserves des barrages	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2		
D2.12. Capacité de dessalement (m3/jour)	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	5		
D2.13. Taux de raccordement %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	
D2.14. Capacité de stockage / Conso moyenne journalière	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	
D2.15. Taux de perte dans les réseaux d'adduction(%)	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	
D2.16. Taux de perte dans les réseaux de distribution(%)	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	
D2.17. Taux de conformité des analyses	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	
D2.18. Indice de Réutilisation de l'eau (WRI)	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5
D3.11. Tarif de l'eau/coûts réels de la production	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	3	
D3.12. Taux de réclamations Nb/1000abonnés	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
D3.13. Taux d'occurrence des interruptions de service	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	
D3.14. Allocation de l'eau par secteur	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4
D3.15. Indice de Participation du public PPI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2
D3.16. Indice de qualité de l'administration	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	7
D3.17. Qualité de la réglementation	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5
D3.18. Autorité de la loi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	5
D4.11. PIB par habitant en parité de pouvoir d'achat	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	
D4.12. Taille moyenne des ménages	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	5	
D5.11. Jours de chaleur (Tmax>30°C)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
D5.12. Type d'année climatique	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	6		
D6.11. Indice d'urbanisation (%/an)	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
D6.12. Part d'habitat individuel/ collectif/mixte	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
D7.11. Part de la dépense relative à l'eau	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	
D7.12. Ménages détenant des appareils économes en eau	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	
D7.13. Niveau d'utilisation de compteurs	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	
D7.14. % des bâtiments utilisant de l'eau de pluie	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	7
N.S. Niveau de Service (pncd)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
O.D. Offre en eau Domestique	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
Σ	10	9	2	1	6	1	3	1	1	2	4	2	3	2	7	1	2	1	1	0	0	0	0	0	1	1	7	2	2	5	11	20	108	

Tableau V.1. Matrice structurelle des relations causales

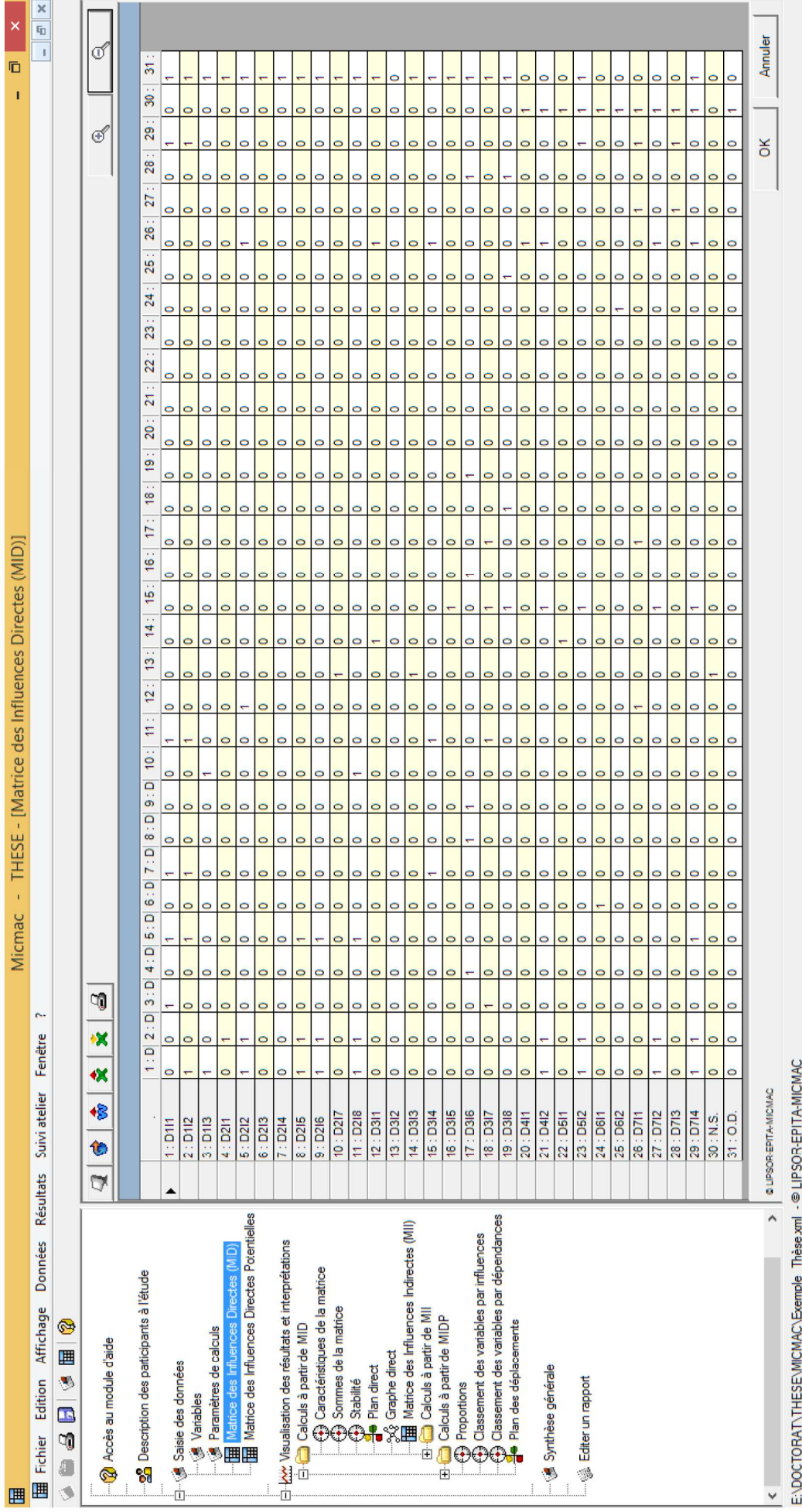


Figure V.1. Matrice structurelle (MicMac).

Source. Auteur

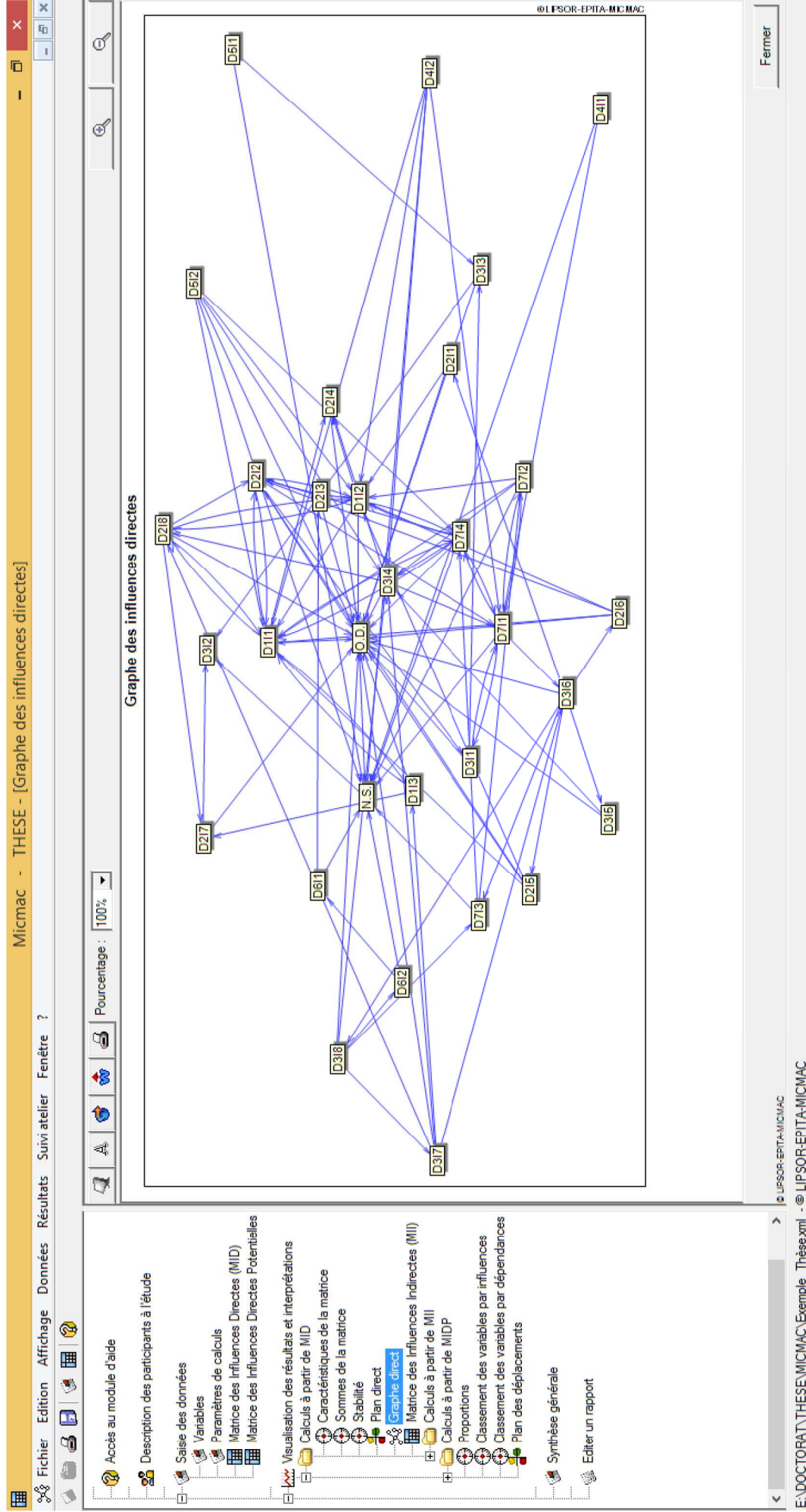


Figure V.2. Graphe des relations causales (MicMac).

Source: Auteur

V.1.2. Indicateurs clefs du système

L'analyse structurelle permet d'établir une hiérarchisation des indicateurs par ordre d'importance et de déterminer ceux qui sont les plus critiques, occupant une place centrale dans le système étudié (PNUE, Centre d'activités régionales du Plan Bleu, 1996). La mise en évidence de ces indicateurs se fait par rapport au nombre de relations qu'ils génèrent ou qu'ils reçoivent. De ce point de vue, le graphe des influences/dépendances des variables (voir figure V.3) distingue les indicateurs moteurs (variables déterminantes et variables relais) qui constituent les leviers d'action pour faire évoluer le système vers la finalité souhaitée, les variables résultats et les variables autonomes.

Au final le nombre des indicateurs déterminants clés est de 15 indicateurs pertinents qui déterminent le système de capacité de charge relative aux ressources hydriques et son évolution :

- Taux d'exploitation des ressources rationnelle souterraines(%),
- Taux de mobilisation des ressources superficielles(%),
- Capacité de dessalement (m³/jour),
- Taux de perte dans les réseaux d'adduction(%),
- Taux de perte dans les réseaux de distribution(%),
- Indice de Réutilisation de l'eau(%),
- Allocation de l'eau par secteur(%),
- Indice de qualité de l'administration et de service de l'eau (échelle ordinale),
- Qualité de la réglementation (échelle ordinale),
- Autorité de la loi (échelle ordinale),
- Type d'année climatique (humide ou sèche),
- Taille moyenne des ménages (nombre de personnes/logement),
- Part de la dépense relative à l'eau dans le budget des ménages(%),
- Part des ménages détenant des appareils économes en eau(%),
- Part des bâtiments récoltant l'eau de pluie(%).

Les variables résultats que sont le *niveau de service* et *l'offre domestique* sont les variables impliquées directement dans le calcul de la capacité de charge, tandis que les variables autonomes (le reste des indicateurs) générant ou recevant peu de relations peuvent être écartées des indicateurs clés.

En réalité, tous les indicateurs ont au moins généré ou reçu une relation ce qui confirme le choix des indicateurs. La majorité des indicateurs sont à la fois moteurs et peu dépendants. Certains indicateurs n'ont toutefois pas généré ou reçu de relations. L'indicateur *Taux de réclamation* n'a pas généré de relations. Cet indicateur exprime la satisfaction des habitants à l'égard du service de l'eau, donc il est dépendant et n'influe pas sur les autres indicateurs du système proposé. Les autres indicateurs qui n'ont pas reçu de relations sont en nombre de quatre : *Type d'année climatique*, *jours de chaleur ($T_{max} \geq 30^{\circ}C$)*, *Taille des ménages* et *PIB par habitant*. Il est clair que les deux premiers indicateurs n'obéissent qu'aux forces de la nature et échappent donc à la volonté de l'homme. Ils constituent des contraintes auxquelles est soumise, et dont elle doit tenir compte, la stratégie d'approvisionnement en eau dans le contexte qu'est le nôtre. De même les aspects sociaux et démographiques dont la taille des ménages obéissent à leurs propres lois liées à l'ordre social et les conditions socio-économiques propres à chaque communauté. Enfin le niveau de revenu ne reçoit pas de relations car sa détermination dépasse le cadre de la politique de l'eau, il est lié aux plusieurs facteurs dont le niveau de développement de la nation et la richesse créée par les activités en place.

Pour conclure cette section, nous pouvons dire qu'en plus de mettre en évidence comment les indicateurs interagissent et de permettre ainsi d'orienter les choix des décideurs et de mesurer l'impact des actions menées, l'analyse des relations entre indicateurs offre l'avantage, d'identifier les indicateurs critiques jouant un rôle central dans le système. C'est sur ce type d'indicateurs qu'il convient d'agir, afin de faire évoluer le système vers les finalités souhaitées. Ils serviront dans un premier temps à brosser un tableau de la situation globale de la question étudiée, et c'est avec eux par la suite que seront construits les scénarios de simulation en vue de désigner les actions à entreprendre dans le cadre de la stratégie de l'eau au niveau de la wilaya d'Alger.

Code	Indicateur
D1.I1.	Taux d'exploitation rationnelle des ressources souterraines
D1.I2.	Taux de mobilisation des ressources superficielles
D2.I2.	Capacité de dessalement (part)
D2.I5.	Taux de perte dans les réseaux d'adduction
D2.I6.	Taux de perte dans les réseaux de distribution
D2.I8.	Indice de Réutilisation de l'eau
D3.I4.	Part de l'eau domestique
D3.I6.	Indice de qualité de l'administration et de service de l'eau
D3.I7.	Qualité de la réglementation
D3.I8.	Autorité de la loi
D4.I2.	Taille moyenne des ménages
D5.I2.	Pluviométrie interannuelle
D7.I1.	Part de la dépense relative à l'eau dans le budget des ménages
D7.I2.	Pourcentage des ménages détenant des appareils économes en eau
D7.I4.	% des bâtiments utilisant de l'eau de pluie

Tableau V.2. Indicateurs-clés pertinents retenus

Source. Auteur

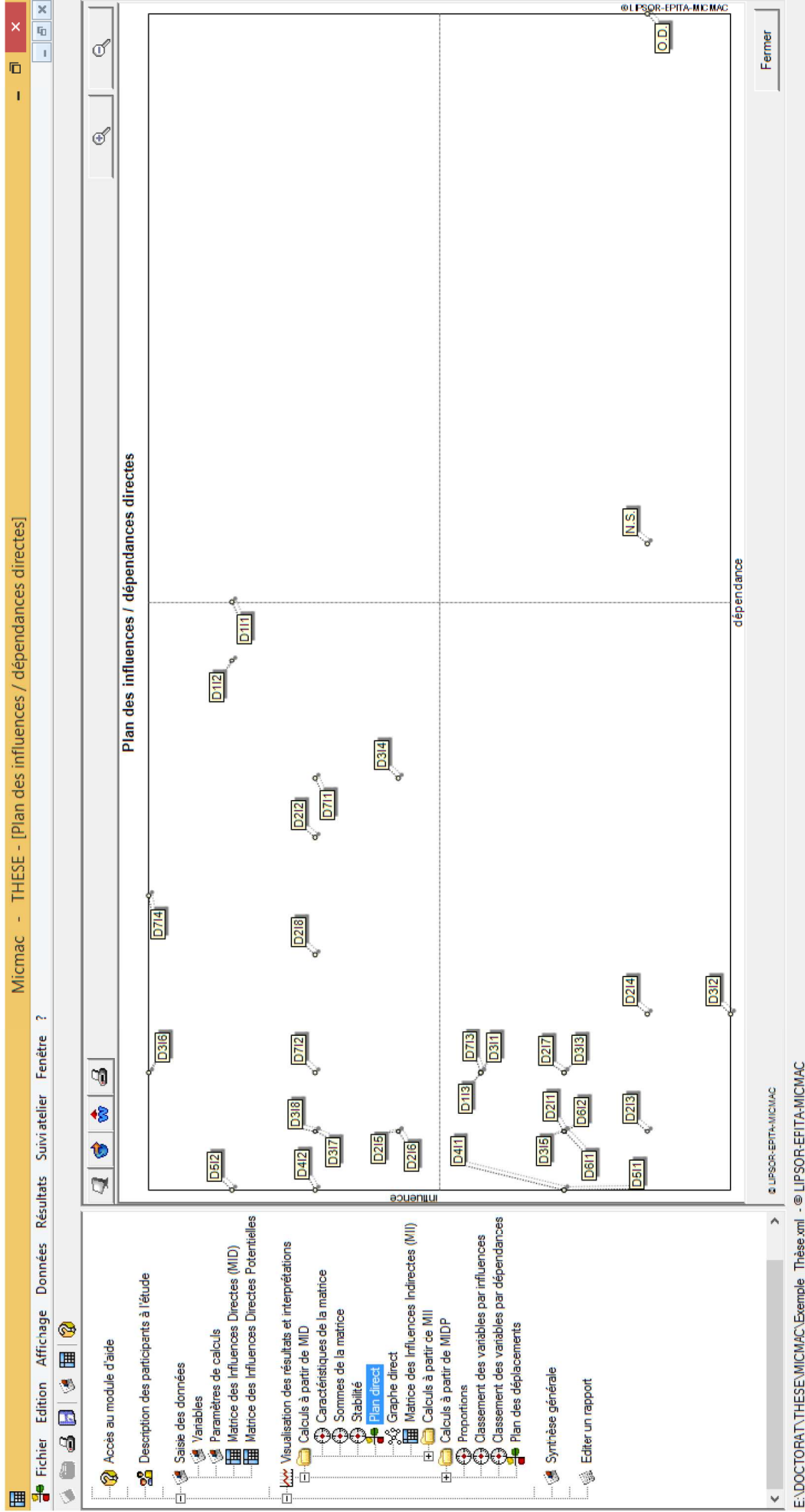


Figure V.3. Plan des influences/dépendances directes (MicMac).

Source. Auteur

V.1.3. Indice vectoriel de capacité de charge

Le processus d'opérationnalisation des concepts proposé par Lazaesfeld (1958), doit aboutir à un indice permettant de dégager une appréciation globale du concept étudié. L'indice ou l'indicateur synthétique s'obtient par l'agrégation d'indicateurs d'un niveau hiérarchique inférieur via une formule mathématique dans laquelle seront identifiés les poids à accorder à chacun des indicateurs entrant dans le calcul de l'indice. Mais l'indice peut également prendre une forme vectorielle, notamment quand le nombre d'indicateurs n'est pas très important, qui permet d'apprécier séparément chacun des indicateurs étudié. Ce dernier cas semble, à plus d'un titre, adapté à l'objectif de notre étude, dans laquelle le nombre d'indicateurs a été considérablement réduit pour ne retenir que les plus pertinents au regard du système étudié, et qui requiert une appréciation individuelle de chaque indicateur dans l'objectif de situer où résident les problèmes dans un premier temps et, dans une étape suivante, de formuler les scénarios pour améliorer la situation sur la base des observations recueillies.

Eu égard à ce qui précède, l'indice vectoriel devrait inclure les indicateurs décrivant des situations sur lesquelles les politiques de l'eau peuvent agir. Aussi sur les 15 indicateurs clefs retenus, 13 indicateurs permettent de répondre à cet objectif. Il reste deux indicateurs qui sont le *type d'année climatique* et la *taille des ménages* qui échappent à la volonté de la politique, mais qui trouvent toute leur importance comme contraintes à prendre en compte lors de l'élaboration des scénarios.

V.1.3.1. Les seuils significatifs

Nous avons vu que la pertinence de l'indicateur dépend de sa capacité à rendre compte du phénomène mesuré. Et pour qu'un indicateur soit appréciable, il importe de pouvoir le comparer à une valeur repère sur une échelle ordinale (qui permet d'établir une hiérarchie par rapport à la propriété mesurée, ex. bon, moyen, mauvais) ou cardinale (qui autorise une quantification de la mesure par rapport à une valeur cible). Celle-ci peut être une norme (ou standard) proposées par des organismes internationaux, nationaux voire locaux, issue d'un benchmark, ou se rapportant à l'évaluation de l'état du phénomène à différents moments.

Mis à part l'indicateur *année climatique* qui se décline en année normale, sèche ou humide et les trois indicateurs institutionnels que sont *Indice de qualité de l'administration et de service de l'eau*, *Qualité de la réglementation*, *Autorité de la loi*, indicateurs qualitatifs qui se mesurent sur une échelle ordinale (bon, moyen, mauvais), le reste des indicateurs retenus sont cardinaux, donc leur appréciation est quantifiable et se fait par rapport à une valeur repère. Tous ces indicateurs quantitatifs sont exprimés en pourcentage et pourraient prendre des valeurs entre 0% et 100% que l'on appelle les

seuils extrêmes, qui prennent, après normalisation, respectivement les valeurs 0 et 100. Les seuils significatifs représentent des valeurs repères définissant les champs de valeurs que l'indicateur : pourrait ou devrait prendre (recommandé) représentées par la couleur verte, pourrait prendre avec réserve (réserve) représentées par la couleur orange, éviter de prendre (prohibé) représentées par la couleur rouge, et enfin pourrait prendre mais son impact serait insignifiant par rapport au système étudié (non significatif), représentées par la couleur grise. Nous avons adopté ce code de couleur, inspiré des feux tricolores utilisés dans le trafic routier et des drapeaux de signalisation relative à la baignade de la plage, pour son appréhension évidente et aisée par les décideurs.

Les seuils significatifs des indicateurs relatifs à l'exploitation des ressources naturelles superficielles reprennent les normes établies par les Nations Unies (dans l'inventaire exhaustif des ressources mondiales E/CN.17/1997/9) qui fixent un taux de prélèvement ne dépassant pas les 40% pour une utilisation durable des ressources respectant les besoins minimums des écosystèmes. Au-delà de 70% la situation est dite critique (PNUE, 2006) et révèle une pénurie intense de l'eau. Concernant les ressources souterraines nous rappelons que les prélèvements ne devraient s'opérer que sur le volume d'eau renouvelable afin d'éviter le rabattement de la nappe. Dans le cadre de l'étude du PAC sur la zone côtière Algéroise (Larid, 2003), un taux supérieur à 80% a été autorisé avec 100% comme seuil maximum à ne pas dépasser.

L'absence de normes concernant les indicateurs taux de perte dans les réseaux d'adduction et de distribution nous a conduits à se référer aux performances enregistrées dans les pays développés et les pays de l'OCDE. C'est ainsi que le seuil maximum des pertes dans les réseaux de distribution a été arrêté à 10 %, une performance atteinte par plusieurs pays de l'OCDE (OCED, 1998). Concernant les pertes dans le réseau d'adduction dont les conduites sont plus faciles à réparer, car affranchies des contraintes d'urbanisation des concentrations urbaines, un seuil maximum de 5% a été appliqué. Ce taux est d'autant plus justifié que l'agglomération berlinoise l'a atteint, comme nous l'avons vu plus haut, pour les réseaux de distribution. De même, le taux 1% de la *part de la dépense relative à l'eau dans le budget des ménages* constitue un seuil minimum observé au niveau de plusieurs pays et collectivités territoriales. Nous avons vu qu'une tarification de l'eau à sa juste valeur est nécessaire pour couvrir les coûts réels du service de l'eau en l'occurrence les charges financières liées à l'exploitation, à la maintenance, au renouvellement et au développement des infrastructures hydrauliques, mais également pour inciter le consommateur à adopter un comportement économe vis-à-vis cette ressource rare. L'OCDE estime qu'il est possible d'aller jusqu'à un taux de 3%, si nécessité il y a. Toutefois un taux de 10% et plus peut s'avérer menaçant notamment pour le niveau de vie des ménages au revenu bas.

Les indicateurs relatifs à la réutilisation des eaux usées, à la récupération des eaux pluviales et à l'utilisation des appareils économes en eau, reflètent la réussite de la politique de la promotion de l'utilisation rationnelle des ressources hydriques. L'objectif étant d'arriver à réutiliser 100% des eaux usées et d'amener 100% des ménages à se doter d'installation de récupération d'eau pluviale et d'appareils économes en eau. Toutefois en deçà d'un certain seuil en l'occurrence 5 % l'impact sur la demande en eau ne sera pas significatif.

En ce qui concerne le dessalement d'eau de mer, il n'est pas pertinent de fixer des seuils, car il s'agit d'un procédé de production d'eau potable onéreux, dont le coût est environ deux fois plus élevé que celui lié à la mobilisation de l'eau conventionnelle (Thivet & Fernandez, 2012), et sur le plan environnemental, en plus de la consommation des ressources énergétiques, les connaissances entourant cette technique sont encore insuffisantes pour pouvoir affirmer qu'elle est sans danger pour le milieu aquatique marin. En tout état de cause le recours à cette stratégie s'impose quand le pays ou la région souffre d'un manque considérable en matière de ressources hydriques, et est limité aux pays disposant de moyens financiers suffisants pour supporter les coûts y afférents, tels l'Arabie Saoudite, le Qatar, le Koweït, l'Espagne, et l'Algérie qui s'est engagé dans cette voie après avoir connue des pénuries sévères notamment avec la sécheresse qui a sévi dans le pays. Aussi le champ de valeur que pourrait prendre cet indicateur n'est pas défini -dans certains pays l'approvisionnement ne se fait que via le dessalement comme le Qatar- mais le recours à ce procédé reste sous réserve.

Il en est de même pour la part de l'eau allouée au domestique, qui dépend des conditions socio-économiques, du niveau de développement, de la nature des activités prépondérantes dans la région et également de l'aléa climatique qui conduit, dans certains cas extrêmes, à privilégier la consommation domestique. La part actuelle du domestique s'élève à 51% mais elle pourrait être revue à la hausse si des mesures sont entreprises en faveur d'une utilisation plus efficace de l'eau par les autres activités par exemple la généralisation des techniques d'irrigation économes en eau, la réutilisation des eaux usées par les activités industrielles et agricoles, etc.

Afin de représenter l'indice vectoriel notre choix s'est porté sur le diagramme à barres empilées qui permet une lecture aisée des valeurs relatives aux indicateurs, notamment dans le cas d'un nombre restreint de variables. Les barres empilées correspondant à chaque indicateur ont des couleurs en fonction des seuils significatifs définis. Le diagramme devient, de ce fait, une matrice de lecture de l'indice vectoriel. Voir figure V.4.

Code	Indicateur	Seuils extrêmes	Seuils significatifs		
D1.11.	Taux d'exploitation rationnelle des ressources souterraines	Min 0% Max 100%	≤80% Recommandé	> 80% et <100% Avec réserve	>100% A prohiber
D1.12.	Taux de mobilisation des ressources superficielles	Min 0% Max 100%	≤ 40% Recommandé	> 40% et <70% Avec réserve	>70% A prohiber
D2.12.	Capacité de dessalement (part)	Min 0% Max 100%	Avec réserve		
D2.15.	Taux de perte dans les réseaux d'adduction(%)	Min 0% Max 100%	≤ 5% Avec réserve	> 5% A prohiber	
D2.16.	Taux de perte dans les réseaux de distribution(%)	Min 0% Max 100%	≤ 10% Avec réserve	> 10% A prohiber	
D2.18.	Indice de Réutilisation de l'eau (WRI)	Min 0% Max 100%	≤ 5% Non significatif	> 5% Recommandé	
D3.14.	Part de l'eau domestique	Min 0% Max 100%	<50% Avec réserve	≥50% Recommandé	
D3.16.	Indice de qualité de l'administration et de service de l'eau	Mauvais-Moyen-Bon	Mauvais A prohiber	Moyen Avec Réserve	Bon Recommandé
D3.17.	Qualité de la réglementation	Mauvais-Moyen-Bon	Mauvais A prohiber	Moyen Avec Réserve	Bon Recommandé
D3.18.	Autorité de la loi	Mauvais-Moyen-Bon	Mauvais A prohiber	Moyen Avec Réserve	Bon Recommandé
D4.12.	Taille moyenne des ménages	-	-	-	-
D5.12.	Pluviométrie interannuelle	-	-	-	-
D7.11.	Part de la dépense relative à l'eau dans le budget des ménages	Min 0% Max 100%	≥ 1% et ≤3% Recommandé	<1%, >3% et ≤10% Avec Réserve	>10% A prohiber
D7.12.	Pourcentage des ménages détenant des appareils économes en eau	Min 0% Max 100%	< 5% Non significatif	≥ 5% Recommandé	
D7.14.	% des bâtiments utilisant de l'eau de pluie	Min 0% Max 100%	< 5% Non significatif	≥ 5% Recommandé	

Tableau V.3. Seuils significatifs des indicateurs clés.

Source. Auteur, sur la base de (OCED, 1998), (PNUE, 2006), (Larid, 2003)

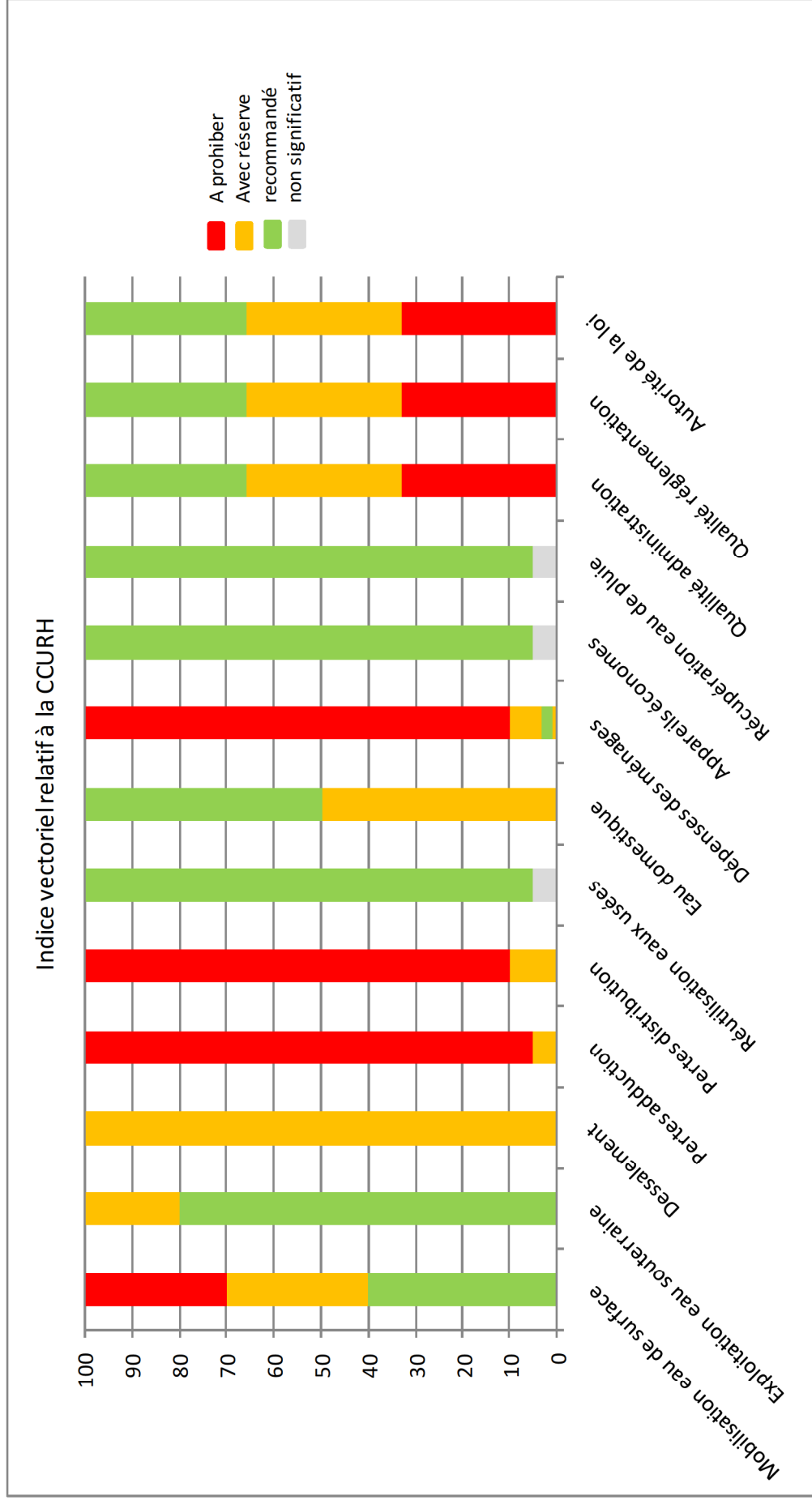


Figure V.4. Matrice de l'indice vectoriel relatif à la CCURH.

Source: Auteur.

V.1.3.2. Diagnostic de la capacité de charge relative aux ressources hydriques

La mesure de l'indice vectoriel permet de dresser un portrait de la situation des principaux déterminants de la capacité de charge relative aux ressources hydriques au niveau de la capitale, que constituent les indicateurs décrivant les capacités naturelle et artificielle d'approvisionnement, la capacité institutionnelle, et enfin les déterminants de la demande.

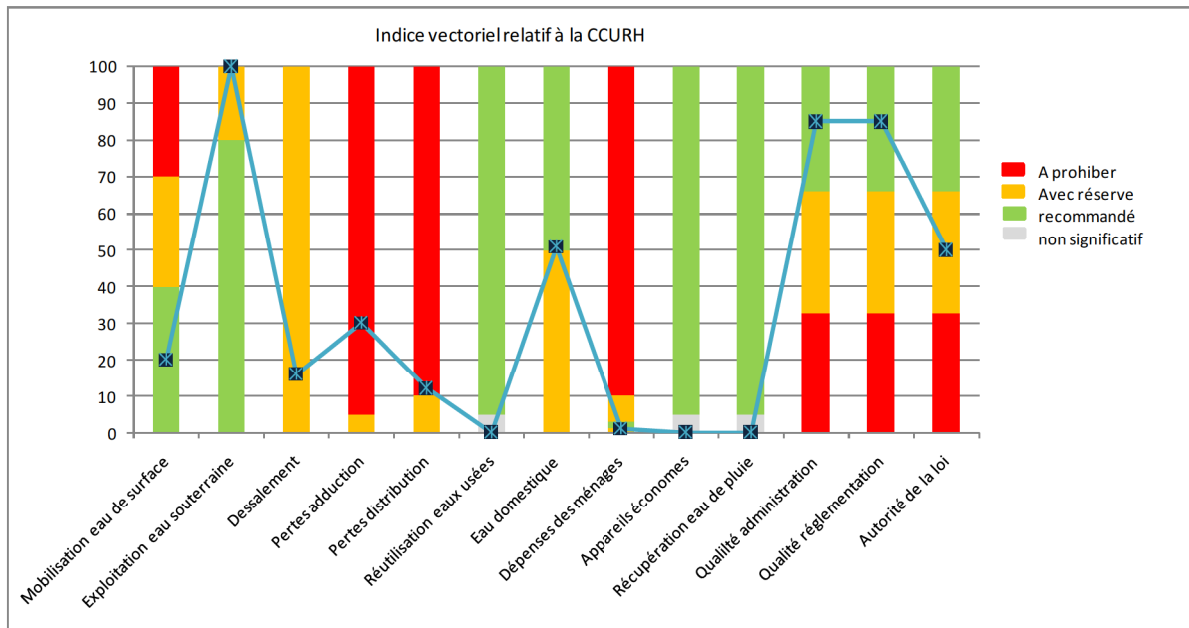


Figure V.5. Evaluation de l'indice vectoriel de capacité de charge pour la wilaya d'Alger

Source. Auteur

Au niveau de la capacité d'approvisionnement nous savons : que les infrastructures en place, permettent de mobiliser environ 20% de l'eau recueillie dans les bassins hydrographiques, que l'exploitation des nappes phréatiques est à son maximum, et que l'eau de dessalement constitue 17% de la part totale d'eau allouée à la capitale (Naimi-Ait-Aoudia & Berezowska-Azzag, 2014). Par ailleurs, les taux de pertes s'élèvent à environ 12 % dans les réseaux d'adduction (Benblidia M. , 2011), et 30 % dans les réseaux de distribution selon la SEEAL. Aussi, mis à part l'exploitation des ressources superficielles qui enregistre une valeur "positive" et témoigne de la marge de manœuvre importante dont dispose la région pour améliorer la capacité d'approvisionnement en eau par la construction de nouveaux barrages, le reste des indicateurs de cette catégorie sont dans l'orange et le rouge, ce qui implique la nécessité de prendre des mesures tangibles afin d'améliorer la disponibilité de l'eau et préserver les ressources souterraines.

Sur le plan institutionnel, le gouvernement algérien semble avoir réussi à mettre de l'ordre dans la gestion de l'eau. La législation adoptée est claire (Benblidia & Thivet, 2010), couvrant tous les aspects liés au secteur de l'eau à savoir : l'exploitation et la concession des ressources, la tarification, la lutte contre la pollution des eaux et le

fonctionnement des comptes sociaux (voir annexes). En outre, en vertu de la loi 05-12 du 4 Aout 2005, le concept de durabilité est devenu désormais une ligne directrice de la politique de l'eau, dont nous rappelons l'objectif principal qui est la satisfaction des besoins des usagers avec une meilleure qualité de service tout en préservant la pérennité des ressources, et en promouvant une utilisation rationnelle et efficiente. Le passage d'une gestion sectorielle compartimentée à une gestion durable et intégrée des ressources a été consacré par la mise en place des agences de bassins hydrographiques (Benblidia & Thivet, 2010; Mozas & Ghosn, 2013) qui prennent, entre autre, la responsabilité de sensibiliser les usagers domestiques, industriels et agricoles à une utilisation rationnelle et à la protection des ressources. Il faut dire que le statut des Agences de bassins prévoit la participation des usagers dans l'élaboration des plans directeurs (BAfD/OCDE, 2007), une première dans les annales de la gestion en Algérie. Toutefois, les ABH rencontrent des difficultés pour s'imposer en tant que médiateur dans la gestion intégrée des ressources hydriques, du fait des chevauchements des tâches avec des services de l'administration centrale ainsi que leur manque de moyens financiers. Cela étant, la qualité de l'administration semble globalement satisfaisante. Mozas & Ghosn (2013) soulignent une meilleure lisibilité de la répartition des compétences entre les différentes agences du secteur de l'eau comparé au passé (voir annexe). En définitive, il paraît clair que les pouvoirs publics se sont dotés de moyens institutionnels nécessaires pour conduire la gestion d'un secteur des plus sensibles dans le pays, même si on déplore un manque quant à l'application des lois qui se manifeste malheureusement par la prolifération des forages illicites (SOGREAH, 2010), qui ajoutent à la pression sur les nappes souterraines, ainsi que le vol de l'eau, un fléau dont l'impact est avéré sur la rentabilité économique du service de l'eau.

Si le gouvernement algérien a consenti de nombreux efforts pour augmenter la capacité d'approvisionnement en eau en investissant sur les infrastructures de mobilisation des ressources naturelles, de production de l'eau de dessalement, de transfert et de distribution de l'eau, les actions en direction d'une utilisation efficace de cette ressource ont été peu ou pas du tout entreprises. Sur l'ensemble des mesures visant à réduire la demande en eau décrites par les quatre indicateurs clefs retenus, seule celle relative à la tarification a été introduite avec le décret exécutif n° 05-13 du 9 janvier 2005 fixant les règles de tarification des services publics d'alimentation en eau potable et d'assainissement, qui a revu à la hausse le prix du m³ d'eau, et a appliqué une tarification progressive par palier de consommation. Mais, comme nous l'avons vu, l'impact sur la consommation de l'augmentation du prix de l'eau reste limité, alors qu'une telle mesure pourrait assener un coup dur aux populations à bas revenu, si une augmentation importante venait à être appliquée. L'incitation à l'économie d'eau devrait se faire par la sensibilisation du consommateur d'abord à l'importance de préserver cette

ressource précieuse et aux avantages d'adopter des comportements allant dans ce sens tant sur le plan environnemental qu'économique. Par ailleurs, le gain que pourrait apporter la réutilisation des eaux usées a été malheureusement longtemps ignoré par les pouvoirs publics. Mais récemment, l'intention d'exploiter ce potentiel hydrique notamment dans le domaine de l'irrigation a été clairement affichée dans le cadre de l'élaboration des documents d'aménagement métropolitain le SDAAM et d'urbanisme le PDAU. Une liste des cultures autorisées ainsi que des spécifications normatives de qualité des eaux usées épurées ont été définies par les arrêtés interministériels du 02 Janvier 2012⁶³.

V.2. Analyse morphologique pour la simulation des scénarios

Nous avons vu que l'approche systémique stipule que tout système poursuit une finalité qui lui est propre, et qu'il est nécessaire d'en expliquer le comportement pour pouvoir intervenir sur cette finalité. Le processus de modélisation a permis de lever le voile sur les aspects structurels et fonctionnels du système étudié. La simulation par les scénarios en constitue l'aboutissement et correspond à la phase d'exploitation du modèle en vue de pouvoir prédire le comportement du système lorsqu'on agit sur les variables ou les indicateurs désignés comme clefs dans son fonctionnement global.

V.2.1. Principes d'élaboration des scénarios

La finalité recherchée des simulations, dans notre cas, est d'analyser la capacité de la wilaya d'Alger à supporter la croissance de la population au vu de la disponibilité de l'eau potable, et de déduire, *ipso facto*, les actions à mener afin d'améliorer cette capacité. A cet égard, il est nécessaire que les scénarios dressés (ALEPH, 2004) traitent la stratégie proactive permettant de déterminer les actions à mener pour atteindre la situation souhaitable recherchée, en l'occurrence l'amélioration de la capacité de charge et la stratégie pré-active, dont l'objectif est d'analyser l'impact de la sécheresse sur la capacité d'approvisionnement qui mènera aux situations redoutées de pénurie d'eau. Au terme de cette analyse, les décideurs devraient avoir des éléments de réponse en vue de définir le développement futur de la ville en fonction des possibilités offertes définissant le champ d'intervention des actions à mener, et des contraintes qui pèsent sur le développement, tant sur le plan disponibilité naturelle des ressources, sur la capacité des infrastructures ainsi que sur la capacité des politiques notamment en matière de régulation de la demande.

⁶³ Arrêté interministériel du 2 janvier 2012 fixant les spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation et Arrêté interministériel du 2 janvier 2012 fixant la liste des cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées Publiés dans le journal officiel n°41 du 15 juillet 2012.

La construction des scénarios se fera à partir de combinaisons d'hypothèses sur les indicateurs clés décrivant ces dimensions de la problématique de capacité de charge relative aux ressources hydriques. Pour un nombre X de variables ou d'indicateurs et où à chaque indicateur i est attribué un nombre N_{Hi} d'hypothèses, le nombre de scénarios résultant de toutes les combinaisons possibles est donné par l'équation suivante :

$$\text{Nombre de scénarios} = \prod_{i=1}^X N_{Hi}$$

Le nombre de scénarios, qui est un produit de facteurs, sera d'autant plus important que le nombre d'indicateurs et le nombre d'hypothèses y afférentes sont très grands. D'où l'intérêt de ne considérer que les hypothèses pertinentes et vraisemblables, vis-à-vis de l'objectif recherché, pour ne pas avoir un nombre très important de scénarios à explorer.

Par ailleurs, pour obtenir la valeur de la capacité de charge ou le nombre de population en fonction du paramétrage des valeurs des indicateurs, nous nous référons à la formulation de la capacité de charge inspirée des différents travaux dans le domaine (Penck A. , 1925; Ackerman, 1959; Oh, Jeong, Lee, Lee, & Choi, 2005; Vivier, 2010), qui établissent un rapport entre la quantité d'eau disponible pour la consommation et le niveau de consommation individuelle (cf. Chapitre II). Ce qui signifie, en d'autres termes, comme nous l'avons vu dans la même section, que les scénarios de capacités de charges résultantes s'obtiendront de croisements de micro-scénarios des disponibilités d'eau (de l'offre) pour le domestique et des niveaux de consommation (du niveau de service), et que se sont ces micro-scénarios qui se construisent à partir des hypothèses sur les indicateurs y afférents. Dans les paragraphes qui vont suivre, nous exposons d'abord ces micro-scénarios ainsi que les hypothèses retenues pour les indicateurs les constituant, ensuite les scénarios de capacités de charges issus de ces micro-scénarios. Il est à noter que les trois indicateurs institutionnels sont implicitement pris en compte dans l'élaboration des micro-scénarios, dès lors que l'amélioration générale du système sous entend une performance au niveau institutionnelle, cela va de soi.

V.2.2. Micro-scénarios

V.2.2.1. Micro-scénarios de l'offre

- Les hypothèses des indicateurs *Déterminants de l'offre*

Globalement le choix des hypothèses tend vers l'amélioration des indicateurs à partir de la situation actuelle dans une perspective proactive d'augmentation de la capacité de l'offre de l'eau potable au niveau de la wilaya. Toutefois, comme le risque de la sécheresse plane sur la région, il importe également d'analyser l'impact sur l'apport

naturel en ressources hydriques et ses répercussions sur l'offre si une sécheresse venait à frapper encore une fois. Il faudrait non seulement évaluer la capacité du système d'approvisionnement actuel à affronter une situation de sécheresse avec la population actuelle, mais également discuter le nombre de population supportée en une telle situation compte tenu des améliorations apportées au système.

Indicateur	Hypothèse H1	Hypothèse H2	Hypothèse H3
Type année climatique	normale	Sèche	Très sèche
Taux mobilisation des ressources superficielles	40%	20%	-
Taux exploitation rationnelle des ressources souterraines	100%	80%	-
Taux de perte dans les réseaux d'adduction	12%	5%	-
Taux de perte dans les réseaux de distribution	30%	20%	10%
Capacité de dessalement	76 hm ³ /an	100 hm ³ /an	-
Indice de réutilisation des eaux usées	0%	15%	30%
Allocation de l'eau par secteur	(51,27,22)	(56,27,17)	(61,27,12)

Tableau V.4. Hypothèses retenues pour les indicateurs de l'offre.

Source. Auteur

Ainsi, les hypothèses concernant l'indicateur *Type d'année climatique* prendront en considération l'*année normale*, l'année de référence en l'espèce 2011 (Nouaceur, Laignel, & Turki, 2013), dont les données relatives à l'apport et aux quantités allouées à la capitale ont été fournies par l'ANBT et la SEEAL; l'*année sèche* avec une réduction de 50% de l'apport globale en eau par rapport à l'année normale; et l'*année très sèche* qui correspond à une réduction de 75% de l'apport, en soulignant en passant que ce taux de réduction n'est pas le plus désavantageux, si l'on considère l'impressionnante réduction enregistrée au niveau de barrage de Keddara lors de la sécheresse de 2001 (voir chapitre I).

En ce qui concerne les taux de prélèvements, les hypothèses y relatives ont été définies dans le champ de ce qui est autorisé, pour préserver les nappes souterraines et les écosystèmes. Les taux actuels qui sont de l'ordre de 20 % pour les ressources superficielles, et 100 % pour les ressources souterraines y sont compris. Une hypothèse d'un *taux de mobilisation* de 40 % des ressources superficielles a été proposée (par la construction de nouveaux barrages prévue dans la stratégie nationale, ou

désenvasement des barrages existants) afin d'augmenter l'apport global en eau, tandis qu'une hypothèse de réduction du *taux d'exploitation des ressources souterraines* à 80 % est retenue dans les conditions d'une année pluviométrique normale et d'amélioration du système d'approvisionnement, dans le but d'alléger la pression sur la nappe et constituer une réserve d'eau pour les années sèches (Gober, Wentz, Lant, Tschudi, & Kirkwood, 2011).

Par ailleurs, il est communément admis que l'investissement dans l'eau non conventionnelle constitue une option à considérer dans un pays où les ressources hydriques se font rares. La wilaya d'Alger est déjà approvisionnée à hauteur de 76 hm³ annuellement par l'eau de dessalement. Le renforcement de la capacité de production de l'eau de dessalement par la mise en place d'une installation dont la capacité de production est comparable à celle de Fouka, amènera à 100 hm³ la quantité totale délivrée annuellement par les stations de dessalement. Dans le domaine de la réutilisation des eaux usées épurées, l'Algérie accuse un retard par rapport à ses voisins et des pays arabes du bassin méditerranéen, comme le Maroc qui réutilise 10 %, la Tunisie 15%, l'Egypte 23%, et la Syrie 40 % (Kligbeil & El khawand, 2014). Nous estimons au regard des moyens financiers disponibles, qu'il est dans nos capacités d'accomplir un taux de 30 % de réutilisation des eaux usées. Une hypothèse intermédiaire de 15 % a été suggérée reflétant une amélioration accomplie à court terme. Ce gain en volume d'eau apporté par le recyclage des eaux usées, serait utilisé par l'activité agricole, ce qui permettra d'augmenter la part allouée au domestique à 56 % et 61 % pour les taux respectifs de réutilisation de 15 % 30 %.

Enfin, les hypothèses relatives aux pertes dans les réseaux d'adduction et de distribution retenues, sont au nombre de deux pour les pertes dans les réseaux d'adduction avec la considération du taux actuel de 12 % et une réduction au seuil 5 % défini plus haut; et de trois pour les pertes dans les réseaux de distribution : le taux actuel de 30 %, une réduction à 20 %, et 10 %, une performance enregistrée, comme nous l'avons vu, par les pays de l'OCDE.

- Choix des micro-scénarios

Comme nous l'avons déjà mentionné, les scénarios à construire obéissent aux stratégies, proactive dans une visée d'améliorer l'approvisionnement, et préactive dont le souci est de mesurer l'impact sur la disponibilité de l'eau potable ainsi que ses répercussions sur la capacité de charge en cas de sécheresse. Aussi, les améliorations apportées au système, qui s'effectuent en deux temps correspondant au court et moyen terme, seront confrontées aux conditions de la pluviométrie exprimées en année normale, sèche et très sèche, afin d'estimer l'apport possible dans chacun de ces cas. Mais d'abord, il importerait d'analyser l'apport du système actuel, afin d'estimer sa

capacité à supporter la croissance au vu des trois conditions climatiques, dans le cas où le système serait maintenu tel qu'il est. En somme, trois groupes de scénarios ont été proposés : scénarios du système actuel, scénarios de son amélioration dans le court terme et enfin scénarios d'amélioration du système dans le moyen terme.

Le premier groupe comprend donc trois scénarios S1, S2 et S3 (respectivement violet, vert clair et rouge) correspondant à la confrontation du système actuel (taux d'exploitation des eaux superficielles 20%, taux d'exploitation des ressources souterraines 100 %, taux des perte dans les réseau d'adduction 12 % et dans les réseaux de distribution 30 %, la capacité de dessalement 76 hm³, l'indice de réutilisation de l'eau 0 % et, enfin la part du domestique 51 %), avec les trois années climatiques (normale, sèche, très sèche). Voir la figure V.9.

Le deuxième groupe est constitué de quatre scénarios S4, S5, S6 et S7 (respectivement marron, gris, jaune et rose saumon) analysant des améliorations qui, toujours en les confrontant aux trois années climatiques, pourraient être apportées au système dans le court terme (taux d'exploitation des eaux superficielles 20%, taux d'exploitation des ressources souterraines 100 %, taux des perte dans les réseau d'adduction 5 % et dans les réseaux de distribution 20 %, la capacité de dessalement 76 hm³, l'indice de réutilisation de l'eau 15 % et, enfin la part du domestique 56 %). Un scénario préconisant de réduire les prélèvements dans les nappes durant l'année normale pour les porter à 80 % (scénario 5 de couleur grise) a été proposé, afin de discuter la possibilité de pouvoir constituer une réserve d'eau pour les années sèches ou très sèches.

Enfin, le troisième groupe composé également de quatre scénarios S8, S9, S10 et S11 (respectivement bleu foncé, bleu clair, vert et rose clair) analysant les améliorations pouvant être apportées dans le moyen terme, en plus d'un scénario (scénario 9 de couleur bleu clair) étudiant la possibilité de réduction les prélèvements dans les nappes durant l'année normale : taux d'exploitation des eaux superficielles 40%, taux d'exploitation des ressources souterraines 100 % (et 80% pour un second scénario relatif à l'année normale), taux des perte dans les réseau d'adduction 5 % et dans les réseaux de distribution 10 %, la capacité de dessalement 100 hm³, l'indice de réutilisation de l'eau 30 % et, enfin la part du domestique 61 %.

Les scénarios de l'offre définis pour notre étude sont résumés dans la table V.3. Une valeur H_n du croisement de l'indicateur I_j et du scénario S_i dans cette table indique que la $n^{ième}$ hypothèse a été retenue dans le scénario S_i pour l'indicateur considéré.

		Scénarios										
		Système actuel			Système intermédiaire				Système optimisé			
		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11
Indicateurs	Type d'année climatique	H1	H2	H3	H1	H1	H2	H3	H1	H1	H2	H3
	Taux de mobilisation des ressources superficielles	H2	H2	H2	H2	H2	H2	H2	H1	H1	H1	H1
	Taux d'exploitation des ressources souterraines	H1	H1	H1	H1	H2	H1	H1	H1	H2	H1	H1
	Taux de perte dans les réseaux d'adduction(%)	H1	H1	H1	H2	H2	H2	H2	H2	H2	H2	H2
	Taux de perte dans les réseaux de distribution(%)	H1	H1	H1	H2	H2	H2	H2	H3	H3	H3	H3
	Capacité de dessalement (10 ⁶ m ³ /jour)	H1	H1	H1	H1	H1	H1	H1	H2	H2	H2	H2
	Indice de Réutilisation de l'eau (WRI)	H1	H1	H1	H2	H2	H2	H2	H3	H3	H3	H3
	Allocation de l'eau par secteur	H1	H1	H1	H2	H2	H2	H2	H3	H3	H3	H3

Tableau V.5. Scénarios de l'approvisionnement en eau.

Source. Auteur

- Calcul de l'offre

Dans cette section nous expliciterons le calcul de l'offre en fonction des différents paramètres en rapport avec les indicateurs suscités. Les quantités d'eau provenant des différentes sources seront désignées par :

Q_{surf} : quantités d'eau pouvant être recueillies du bassin versant.

Q_{sout} : Puissance des nappes.

Q_{des} : Volume d'eau provenant des unités de dessalement actuelles.

La quantité d'eau domestique $Supply_1$ consommée par les utilisateurs est donnée par l'équation suivante :

$$Supply_1 = \alpha * [\omega * \lambda * \theta * Q_{surf} * (1 - \Delta) + \mu * \delta * Q_{sout} + \phi * \varepsilon * Q_{des}] * (1 - \xi)$$

où les paramètres respectifs désignent :

α taux relatif à l'usage domestique dans la structure de l'eau

ω la part de la wilaya d'Alger des ressources superficielles.

λ le taux d'exploitation des ressources superficielles.

θ le facteur de réduction dû au climat.

Δ le taux de perte dans les réseaux d'adduction

δ la part de la wilaya d'Alger des ressources souterraines.

μ le taux d'exploitation rationnelle des ressources souterraines.

ϕ la part de la wilaya d'Alger de l'eau de dessalement.

ε le facteur multiplicatif de la capacité de dessalement.

ξ le taux de perte sur le réseau de distribution.

Dans le cas d'une stratégie de réutilisation des eaux usées pour l'usage agricole et industriel, la quantité d'eaux usées épurées réutilisées est donnée par la formule suivante :

$$Q_{EUEER} = \varphi * \tau * (Supply1 + Supply2)$$

où : Q_{EUEER} désigne la quantité d'eaux usées épurées réutilisée.

φ désigne le taux de réutilisation des eaux usées.

τ désigne le taux des eaux usées.

Supply2 désigne la quantité d'eau utilisée par le secteur industriel.

La quantité d'eau domestique sera augmentée du même rapport par le fait de remplacer cette quantité d'eau pour les usages agricole et industriel par l'eau usée épurée.

V.2.2.2. Micro-scénarios du niveau de service

- Hypothèses des indicateurs *Déterminants de la demande*

Contrairement aux politiques anciennes de l'eau dont le succès se mesurait à l'augmentation de la dotation par habitant, la tendance est aujourd'hui, comme nous l'avons déjà évoqué, à la baisse du niveau de consommation tout en maintenant la qualité de vie des habitants. Cela constitue désormais le défi à relever par toute stratégie visant une gestion intégrée et durable des ressources hydriques, dont l'utilisation rationnelle de l'eau au niveau domestique reste le fer de lance fondamental. C'est dans cette logique que les hypothèses relatives aux indicateurs déterminant la demande étaient définies, de sorte que les indicateurs pèsent sur le niveau de consommation individuelle. Et, comme pour les indicateurs de l'offre, les valeurs actuelles des indicateurs, qui ont pour impact d'augmenter la demande individuelle en eau comme nous allons le voir, ont été considérées afin de mesurer au final la capacité à supporter la population compte tenu du niveau actuel et optimisé de consommation de l'eau potable.

Indicateur	Hypothèse H1	Hypothèse H2	Hypothèse H3
Part de la dépense relative à l'eau dans le budget des ménages	1%	2%	-
Ménages détenant des appareils économes en eau	0%	15%	30%
% des bâtiments utilisant de l'eau de pluie	0%	10%	20%
Taille moyenne des ménages	5	6	-

Tableau V.6. Hypothèses retenues pour les indicateurs de la demande.

Source. Auteur

Aussi, pour l'indicateur *Part de la dépense relative à l'eau dans le budget des ménages*, nous retenons les hypothèses de 1 % et 2 % qui sont compris entre les seuils

minimum et maximum raisonnables pour le consommateur. Une augmentation du taux à 2 % permettrait d'influer sur le comportement du consommateur et l'inciterait à économiser l'eau.

Pour l'indicateur *Part des ménages détenant des appareils économes en eau*, nous définissons trois hypothèses allant vers une progression dans la généralisation de ces appareils dans les foyers : la considération du taux actuel 0 % (reflétant l'absence de toute mesure incitant les citoyens à se doter de tels appareils), un taux de 15 % correspondant à une amélioration faisable dans le court terme, et un taux appréciable de 30 %. Nous faisons remarquer que pour l'ensemble des pays de l'OCDE, on enregistre des taux tournant autour de 50 % (OCDE, 2011).

Même chose pour l'indicateur *% des bâtiments utilisant de l'eau de pluie*, nous définissons trois hypothèses allant vers une généralisation progressive des ces installations : la considération du taux actuel 0 %, un taux de 10 % et un taux de 20 %, des taux ayant des impacts significatifs sur la réduction de la demande.

Enfin, les hypothèses retenues pour l'indicateur *Taille moyenne des ménages* expriment la tendance à la baisse du nombre de personnes par foyer (à 5 personnes par foyer), ou la considération de la taille moyenne actuelle (6 personnes par foyer, (ONS, 2014))

- Choix des micro-scénarios

Les micro-scénarios construits à partir d'hypothèses optimales mèneront à la réduction de la demande en eau, et donc le niveau de service. Chaque performance enregistrée pour un indicateur, permet de réduire de quelques litres les besoins individuels en eau :

- Une augmentation de 1 % de la part des dépenses relatives à l'eau, permettrait une réduction de 14 litres de la consommation individuelle journalière moyenne, en considérant l'étude de Herrington (1996);
- L'usage d'appareils économes en eau, qui sont considérées dans cette étude à savoir le lave vaisselle et les chasses d'eau double flux, permettrait une réduction de la consommation individuelle journalière moyenne de 8 litres pour un taux de généralisation de ces appareils de 15 %, et 16 litres pour un taux de 30 %;
- Les eaux pluviales récupérées peuvent être utilisées dans tout usage hors corporel qui représente environ 40% de l'usage individuel de l'eau. Ainsi une généralisation à 10 % de ce procédé permettrait une réduction de 6 litres de la demande individuelle journalière moyenne, et à 20 % une réduction de 12 litres;

- Enfin, Schleich & Hillenbrand (2009), ont observé une corrélation entre la taille des ménages et les niveaux de consommation domestique. Une augmentation d'une personne, entrainerait une réduction de la consommation individuelle journalière moyenne de 7 litres.

Les micro-scénarios en nombre de 7 définissent des niveaux de service allant de 100 litres/hab/jour à 145 litres/hab/jour, en passant par 115 et 130 litres/hab/jour :

- Scénarios D1 et D2 correspondant globalement aux hypothèses de schémas de consommation économe, dans cette étude;
- Scénarios D3, D4, D5 et D6 représentent de schémas de consommation moyennement économe;
- Et enfin le scénario D7 qui correspond à un schéma de consommation peu économe.

Les scénarios de la consommation domestique définis pour notre étude sont résumés dans la table V.4.

		Scénarios						
		Litre par habitant par jour						
		100		115		130		145
		D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
Indicateurs	Part de la dépense relative à l'eau dans le budget des ménages	H2	H2	H2	H2	H1	H1	H1
	Ménages détenant des appareils économes en eau	H3	H3	H2	H2	H2	H2	H1
	% des bâtiments utilisant de l'eau de pluie	H3	H2	H3	H2	H2	H1	H1
	Taille moyenne des ménages	H1	H2	H1	H2	H1	H2	H1

Tableau V.7. Matrice des scénarios de la demande en eau.

Source. Auteur

V.2.3. Scénarios globaux de capacité de charge

Nous arrivons ici à l'étape du calcul des différentes capacités de charge exprimées par les scénarios globaux, qui s'obtiennent de croisements entre les micro-scénarios de l'offre et de niveaux de service, via l'application de la formulation de la capacité de charge citée plus haut. Au total, nous avons 44 scénarios ou capacités de charge, que nous représentons dans trois graphes correspondant au : système actuel d'approvisionnement, comptant trois simulations qui correspondent aux trois années climatiques; système avec amélioration intermédiaire, comptabilisant une simulation de plus relative à une réduction des prélèvements dans les nappes; et enfin système avec amélioration optimisée, qui compte quatre simulations également.

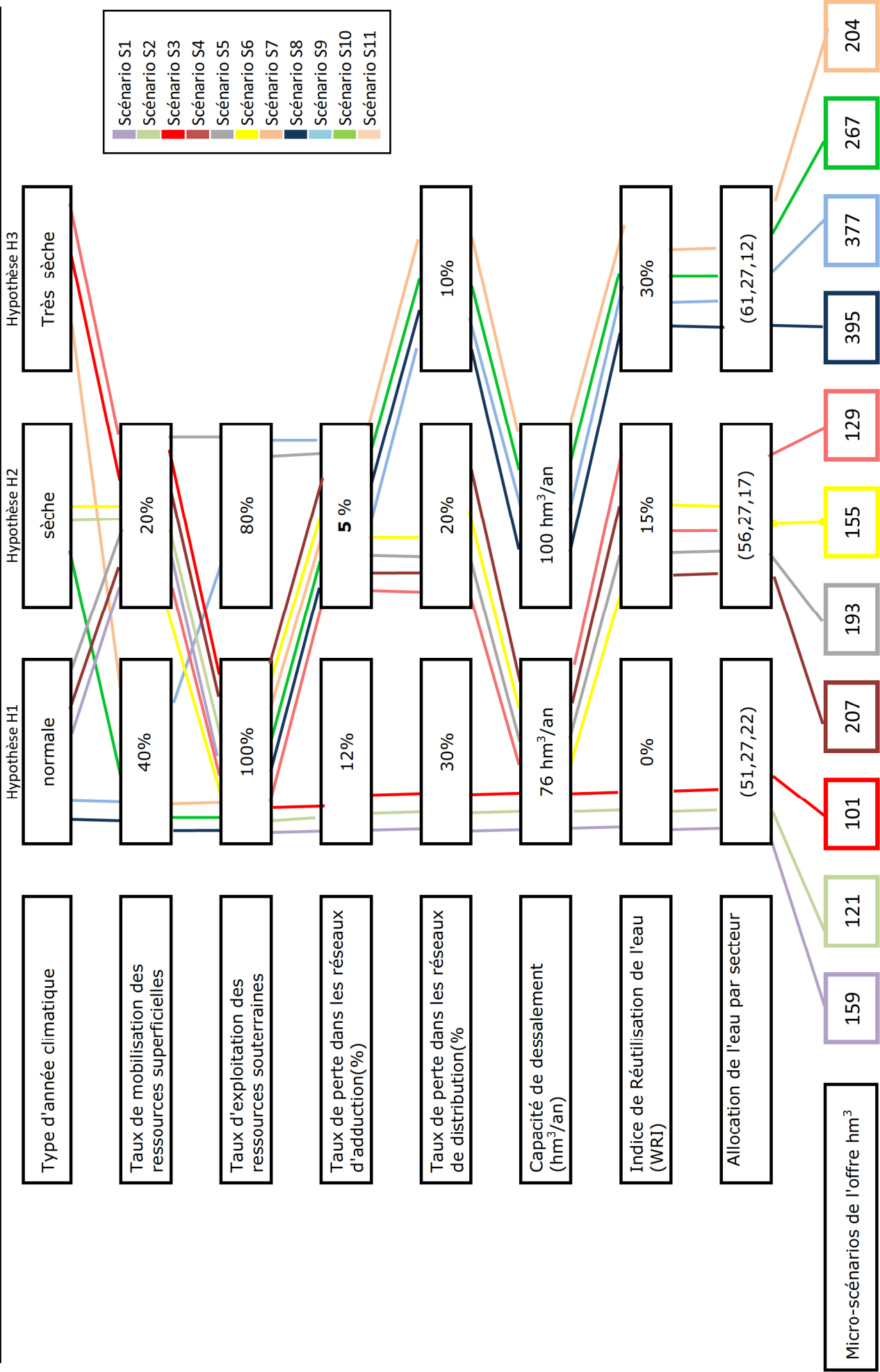


Figure V.6. Micro-scénarios de l'offre

Source. Auteur

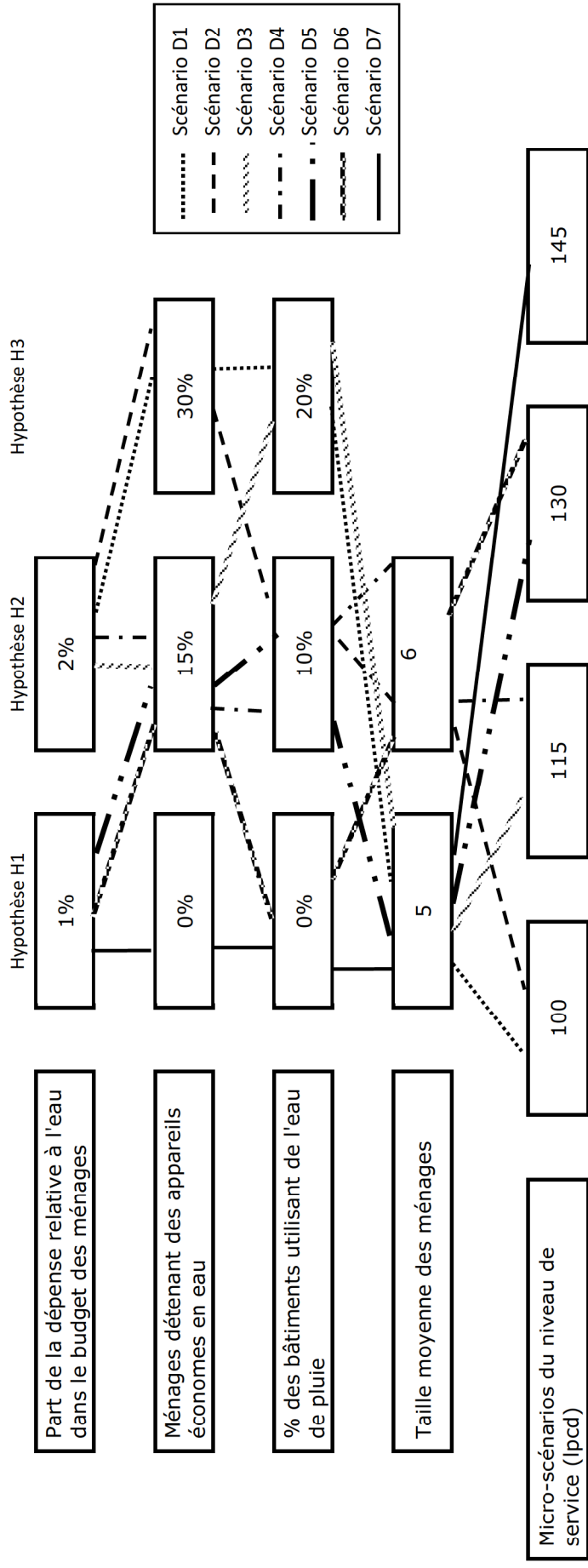


Figure V.7. Micro-scénarios de la demande

Source. Auteur

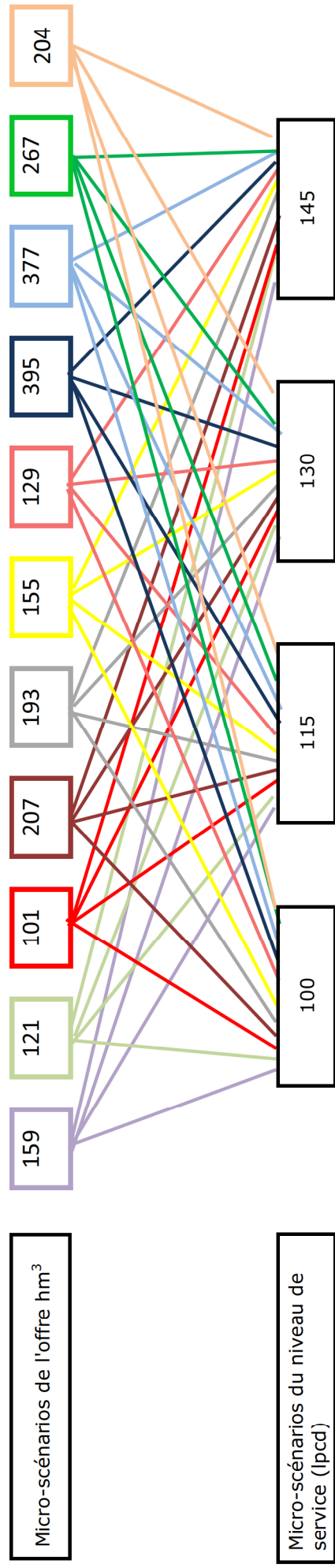


Figure V.8. Scénarios globaux de la capacité de charge.

Source. Auteur

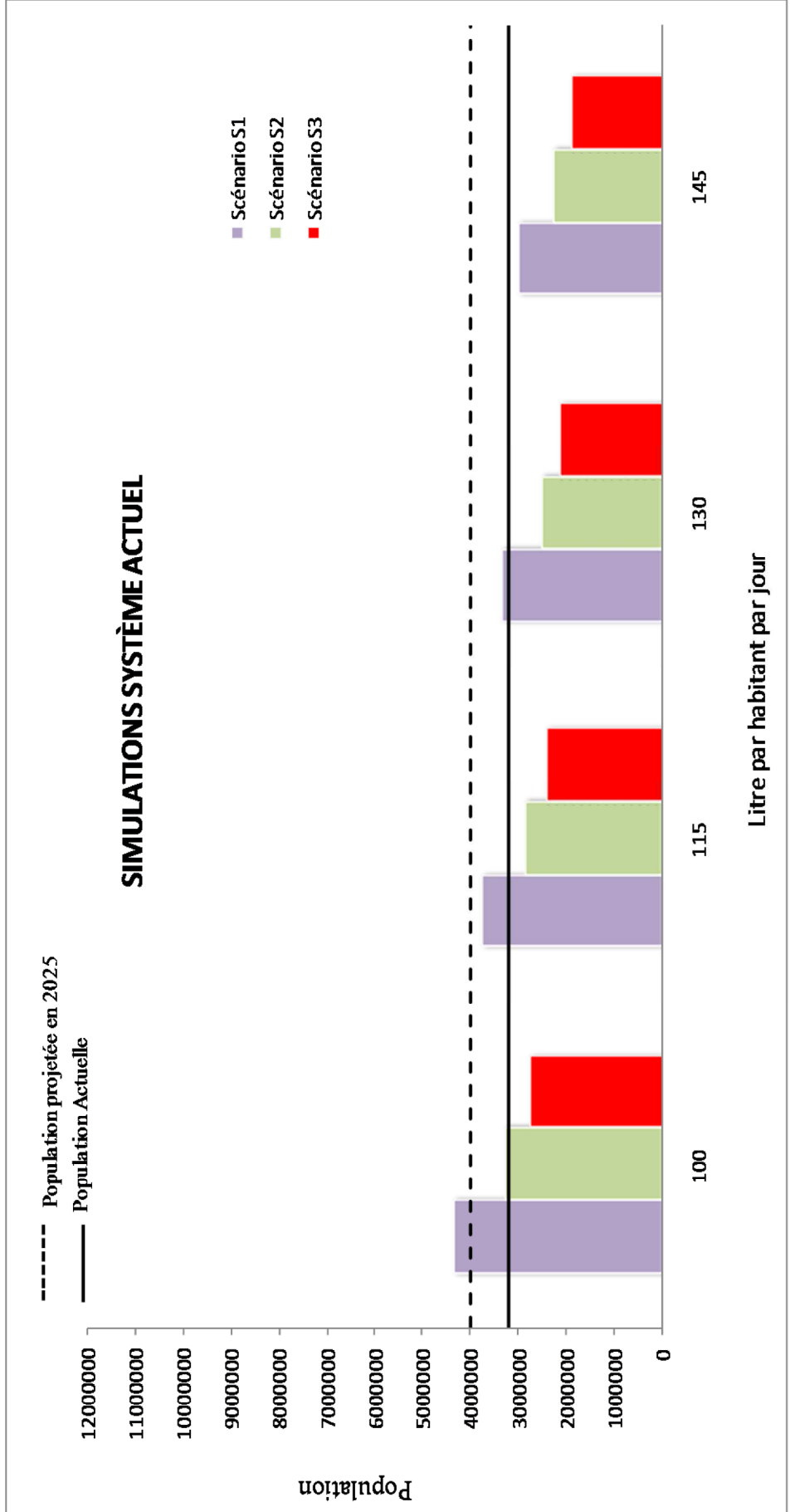


Figure V.9. Simulations de capacité de charge – Système actuel.

Source: Auteur

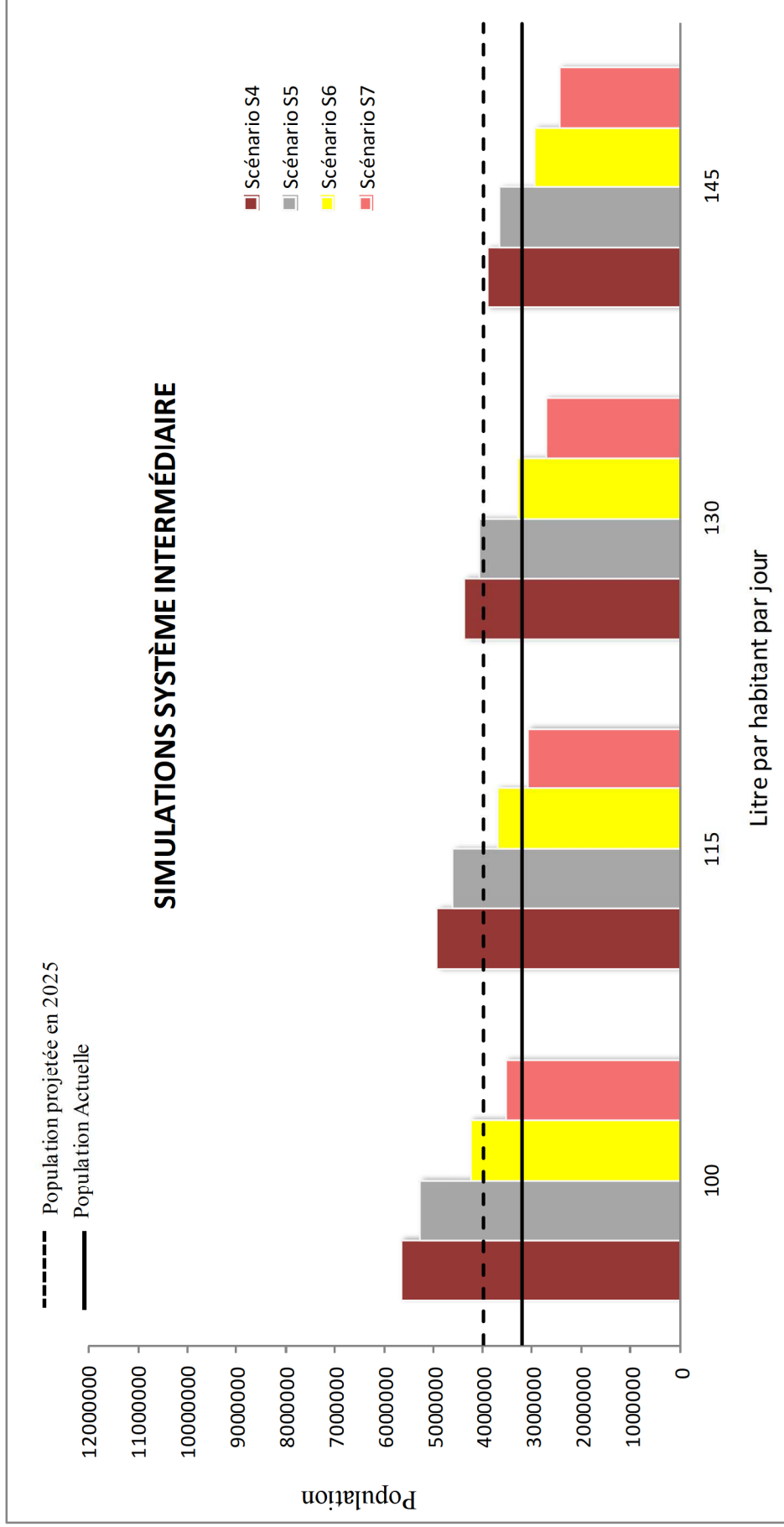


Figure V.10. Simulations de capacité de charge – Système intermédiaire.

Source: Auteur

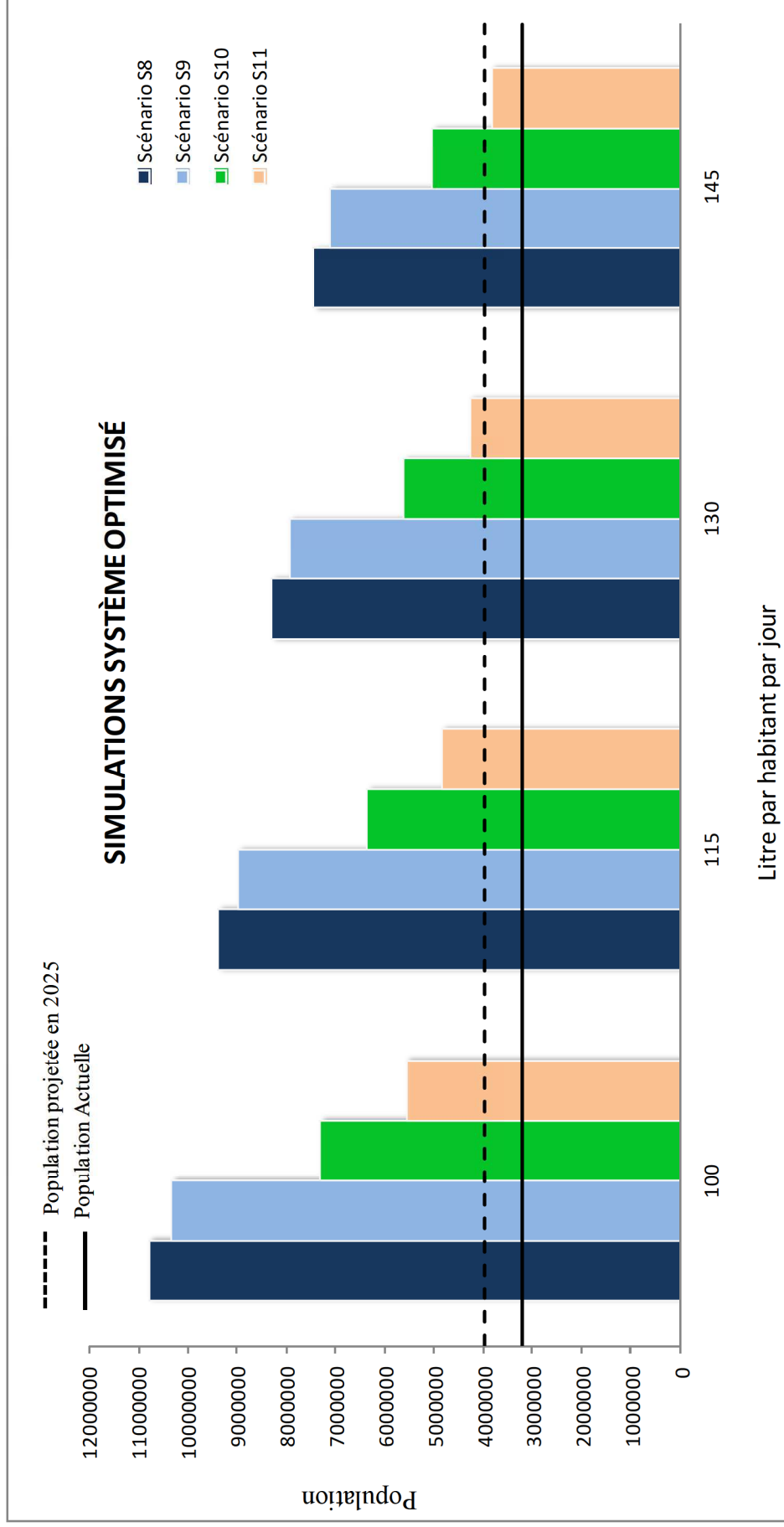


Figure V.11. Simulations de capacité de charge – Système optimisé.

Source. Auteur

V.2.4. Analyse des résultats de simulation des scénarios

L'étude des différentes simulations a donné lieu à un certain nombre de remarques sur les facteurs caractérisant la capacité de charge relative aux ressources hydriques pour notre cas d'étude. Le premier groupe de simulations qui porte sur le système actuel fait ressortir sa vulnérabilité à la sécheresse, et son incapacité à soutenir la population prévue en 2025, sauf dans des conditions favorables de pluviométrie, et avec une réduction du niveau de service à 100 litres/hab./jour. Le second groupe de simulations qui considère des améliorations intermédiaires du système d'approvisionnement, met en avant également la difficulté de résister à la sécheresse, et à soutenir la population prévue au-delà d'une consommation journalière de 115 litres par habitant. Cela dit, durant l'année normale, si l'on maintenait le niveau de consommation plafonné à ce seuil, il serait possible de réduire les prélèvements dans les nappes afin de constituer une réserve d'eau à utiliser, comme le pratique la ville de Phoenix aux Etats Unies (Gober, Wentz, Lant, Tschudi, & Kirkwood, 2011), en cas où la sécheresse frappe. Enfin les scénarios optimisés basés sur une amélioration appréciable des indicateurs de l'offre, montre une capacité à soutenir une taille importante de population, allant jusqu'à plus de sept millions dans des conditions climatiques favorables. De plus il serait possible, dans ces conditions, de réduire le pompage des eaux souterraines afin de laisser les nappes se reconstituer et, pourquoi-pas, retrouver leur "artésianisme" d'antan. Cependant, dans le plus long terme, le système reste vulnérable aux sécheresses sévères, auquel cas, il s'imposerait de maintenir le niveau de service sous le seuil de 115 litres pas habitant par jour, autrement dit renforcer les mesures de régulations de la demande.

Il s'avère que dans la situation d'optimisation tous azimuts, Alger pourrait atteindre à l'horizon 2025 plus de 10 millions d'habitants, et plus de 7 millions en conservant le confort d'une dotation par habitant à 145 l/jour. En revanche, le maintien du système actuel fixe la barre à maximum 4,35 millions. Le tableau ci-après récapitule les niveaux de croissance autorisés par les systèmes : actuel, intermédiaire et optimisé en fonction des quatre niveaux de consommation considérés. Les valeurs en rouge représentent les nombres de population inférieurs au nombre actuel et correspondent donc aux scénarios les plus défavorables. Les valeurs en vert correspondent aux scénarios les plus favorables car ici les nombres atteints dépassent le nombre prévisionnel de la population algéroise à l'horizon 2025. Le reste des valeurs en noir représentent des tailles de population supérieures à l'actuelle et inférieures à celle prévue à l'horizon 2025.

		Demande				
		Litre par habitant par jour				
		100	115	130	145	
Offre	Système Actuel	Scénario S1	4359508	3790876	3353468	3006557
		Scénario S2	3309439	2877773	2545722	2282372
		Scénario S3	2784404	2421221	2141850	1920279
	Système Intermédiaire	Scénario S4	5680395	4939473	4369534	3917513
		Scénario S5	5299901	4608610	4076847	3655104
		Scénario S6	4257841	3702471	3275262	2936442
		Scénario S7	3546564	3083969	2728126	2445906
	Système Optimisé	Scénario S8	10808532	9398723	8314255	7454160
		Scénario S9	10342258	8993267	7955583	7132591
		Scénario S10	7322005	6366961	5632312	5049659
		Scénario S11	5578742	4851080	4291340	3847409

Tableau V.8. Synthèse des simulations.

Source. Auteur

V.3. Synthèse et conclusion du chapitre

L'objectif de l'élaboration du système d'indicateurs est de constituer un modèle d'aide à la compréhension du système étudié et de prédire par-là son évolution. La compréhension du système repose sur l'identification des éléments le composant, dans notre cas les indicateurs, identifiés dans l'étape précédente (chapitre IV), c'est-à-dire l'organisation structurelle, mais également sur la description des liens que les indicateurs entretiennent entre eux, en l'occurrence l'organisation fonctionnelle. C'est cet aspect relatif à la place de l'indicateur au sein du système auquel il appartient qui est déterminant pour sa pertinence. Le but étant double, vérifier que chacun des indicateurs sélectionnés dans l'étape précédente a son rôle dans le système, et de dégager les plus significatifs sur lesquels se baseront les simulations dont l'objectif ultime est de guider les actions en vue de faire évoluer le système étudié vers la finalité souhaitée.

Pour définir les relations causales, nous avons pris appui sur l'état de savoir entourant la question de l'eau dans le développement urbain durable. La matrice structurelle constitue un outil commode qui a rendu aisée la recherche des relations en permettant de considérer tous les couples d'indicateurs désignés. Elle facilite en outre l'établissement de la hiérarchisation des indicateurs par ordre d'importance afin de désigner les plus critiques, qui ont servi dans un premier temps à apprécier la situation globale de la capacité de charge au niveau de la capitale, pour être utilisés ultérieurement pour construire les scénarios de simulation.

L'évaluation proprement dite de la capacité de charge, c'est à dire le nombre limite de population que peut ou pourrait supporter la wilaya à l'aune de la question de l'eau, constitue l'ultime objectif de la modélisation du système d'indicateurs. Le croisement de

scénarios définissant des variables de l'offre et du niveau de service, a permis de définir les seuils de croissance de la population algéroise compte tenu du système d'approvisionnement tel qu'il est ou après amélioration, ainsi que durant les périodes de sécheresse, et les niveaux de service correspondant aux différentes mesures de régulation de la demande.

S'agissant de la situation du système actuel, l'analyse des résultats a dévoilé sa vulnérabilité à la sécheresse et l'impossibilité de soutenir la population prévue à l'horizon 2025, ce qui confirme la troisième hypothèse stipulant que le système actuel n'est pas en mesure de supporter la croissance future de la population algéroise, sauf dans des conditions particulières de pluviométrie favorable avec une réduction du niveau de service au minimum requis pour maintenir la qualité de vie des consommateurs. Ce constat nous a conduits à établir des scénarios étudiant les possibilités d'améliorer le système en vigueur, sans nuire à la durabilité de la ressource, l'objectif principal de l'étude de la capacité de charge urbaine relative aux ressources hydriques. Les actions seront, tout bien considéré, en direction, de l'amélioration du système d'approvisionnement dans une optique d'augmenter l'offre disponible pour les populations, et de la réduction de la demande domestique en agissant sur les comportements des consommateurs.

Ce chapitre qui achève le processus de modélisation du système d'indicateurs entamé au chapitre précédent, s'est efforcé de démontrer l'intérêt de cette démarche pour étudier une problématique complexe telle la question de la capacité de charge urbaine relative aux ressources hydriques. Une démarche qui ne se limite pas à considérer séparément les indicateurs pour décrire les phénomènes étudiés, comme le font les tableaux de bord. Ce qui importe ici est la cohérence de l'ensemble et les relations que ces indicateurs entretiennent entre eux afin de comprendre les dynamiques internes du modèle et de dégager, par conséquent les éléments le déterminant et déterminant son évolution en vue de faire des prédictions. L'application de la méthode sur la problématique étudiée, nous a permis de déceler ces éléments clefs et de les utiliser pour opérer une évaluation prospective de la capacité de charge. C'est ainsi qu'a été vérifié l'hypothèse de la nécessité de la modélisation systémique de la question de la capacité de charge.

L'évaluation prospective de la CCURH permet d'étudier la capacité de répondre aux besoins domestiques. Par ailleurs, afin de vérifier la capacité à soutenir le développement socio-économique envisagé dans le cadre du Plan stratégique, nous allons procéder par la confrontation de l'offre disponible en eau pour les secteurs industriel et agricole, selon la structure de l'eau considérée, aux besoins réels de ces activités à l'horizon en question, c'est l'objectif du dernier chapitre.

CHAPITRE VI. Planification du développement urbain d'Alger face à la capacité de charge hydrique

"Ne pas planifier, c'est programmer l'échec"

Anatole France

Répondre aux besoins fondamentaux pour l'approvisionnement en eau des citoyens est d'une absolue nécessité. Mais pour avoir et maintenir une bonne qualité de vie il faut également considérer la capacité du système à répondre aux autres besoins en eau nécessaires au développement socio-économique. Le bien-être des populations passe par la réalisation de divers équipements et aménagements relatifs aux sphères économique, écologique et sociale.

L'état et les perspectives de développement social de n'importe quel territoire dépendent considérablement de l'accessibilité et de l'utilisation par sa population des multiples biens et services collectifs essentiels à son développement complet. La planification du développement urbain devrait donc tenir compte en amont des prévisions de disponibilité des ressources hydriques pour l'accompagnement du développement dans toutes ses composantes. Dans ce chapitre nous aborderons la question de la capacité à soutenir le développement socioéconomique préconisé dans le cadre du plan stratégique de développement de la wilaya d'Alger à l'horizon 2029.

VI.1. Stratégie du PSDA pour le développement de la capitale et la question de la capacité de charge hydrique

VI.1.1. Orientations générales du Plan stratégique du développement d'Alger

Instrument d'orientation stratégique de développement et d'aménagement, le PSD d'Alger (2011) qui pose les bases du PDAU d'Alger réglementaire, dont l'application officielle est toujours attendue, exprime une vision globale d'organisation et d'action

territoriale de la Wilaya d'Alger pour les 20 prochaines années. Le modèle territorial et les projets structurants, globalement schématisés respectivement dans les figures VI.2 et VI.3, constituent la dimension stratégique du plan. Le processus de développement social et économique est au cœur de la vision stratégique par la construction d'un territoire plus durable catalyseur de production de richesse et de bien-être pour la population. L'approche systémique du territoire constitue le socle sur lequel repose le modèle adopté par le PSDA. La composante opérationnelle y est prépondérante et se veut en rupture avec la planification fonctionnaliste.

La vision stratégique pour configurer l'Alger de demain est appréhendée à travers sept domaines fondamentaux que sont : « Alger, ville emblématique », « Alger, moteur du développement tertiaire de l'Algérie », « Alger, ville belle qui maîtrise son étalement », « Alger, éco-métropole de la Méditerranée et ville jardin », « Alger, ville des mobilités et des proximités », « Alger, ville sûre », et « Alger, ville, empreinte de bonne gouvernance ».

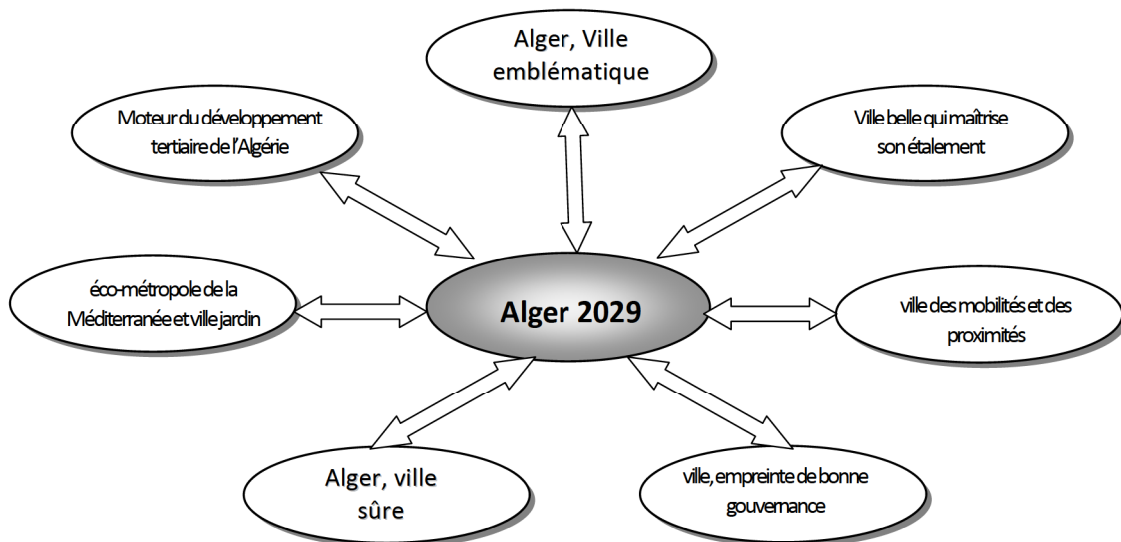


Figure VI.1. Vision stratégique pour Alger.

Source. Auteur, selon Rapport d'orientation, (PDAU d'ALGER, 2011).

Dans un premier temps, le cadre stratégique tracé comprend aussi la concrétisation d'un ensemble de « projets prioritaires » (Vies de Villes, 2010) qui, au niveau de l'aménagement du territoire et des opérations de valorisation urbaine, constituent une base de développement pour toute la Wilaya d'Alger.

L'aménagement de l'espace public et la structuration de la maille urbaine sont appréhendés à travers une nouvelle approche, grâce à la concrétisation d'une série de projets emblématiques de réhabilitation et de régénération urbaine. Alger s'affirmera comme un pôle "agglomérateur", locomotive du développement du pays, projetant simultanément vers le reste du monde l'image d'une ville, d'une région et d'un pays modernes, ouverts et dynamiques.

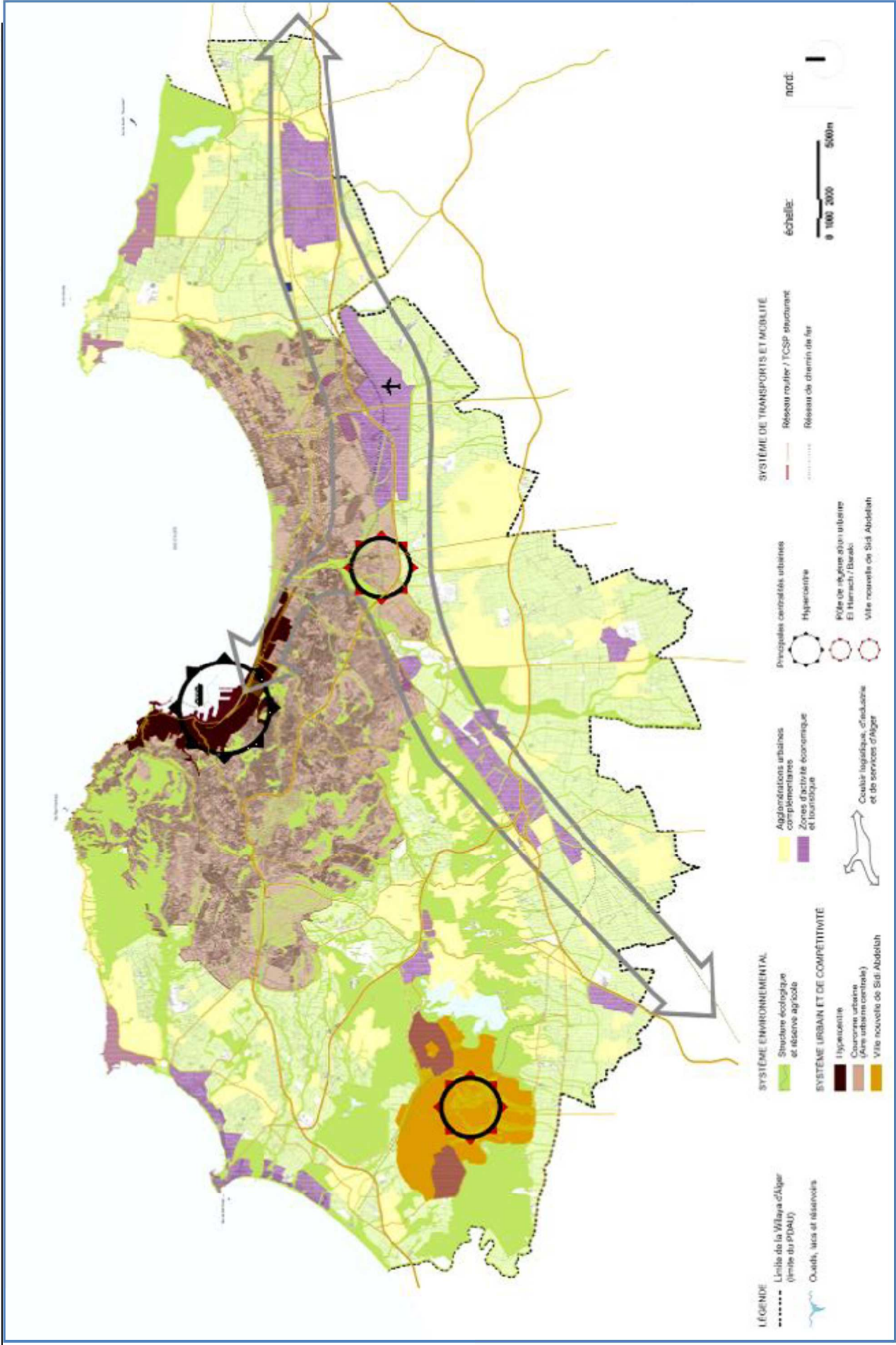


Figure VI.2. Modèle territorial de la wilaya d'Alger.

Source. (PDAU d'ALGER, 2011).

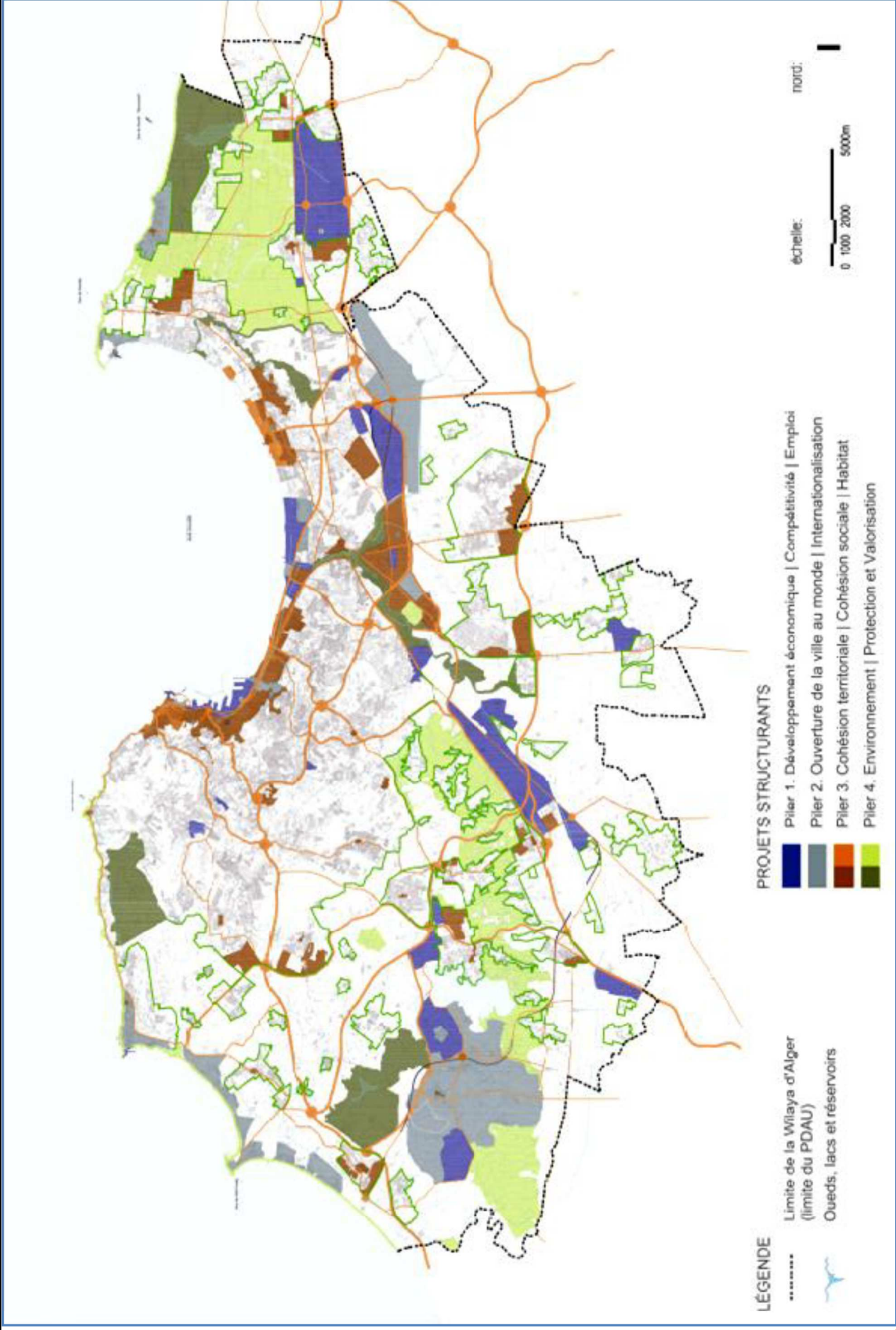


Figure VI.3. Projets structurants de la wilaya d'Alger.
Source. (PDAU d'ALGER, 2011).

VI.1.2. Les quatre étapes du plan stratégique

Pour concrétiser la vision ambitieuse pour la projection du territoire de la Wilaya d'Alger que ce soit dans le contexte national ou dans le contexte international de l'espace méditerranéen, quatre étapes séquentielles furent initialement définies, sur une durée de 20 ans : l'étape de l'embellissement 2009-2014, l'étape de l'aménagement de la baie 2015-2019, l'étape de la requalification de la périphérie 2020-2024, l'étape de la consolidation 2025-2029⁶⁴.

La séquentialité des quatre étapes vise à la réponse progressive et rationnelle d'exécution des projets structurants qui donnent corps au modèle territorial et qui contribueront à la transformation positive d'Alger durant les prochaines périodes décennales. Le futur d'Alger repose sur six piliers du Master Plan du PDAU d'Alger que sont : « Développement économique/compétitive/emploi », « Ouverture de la ville au monde/internationalisation », « Cohésion territoriale/cohésion sociale/habitat », « Environnement/protection et valorisation », « Modèle territorial » et « Gouvernance ». Ces piliers se matérialisent en 82 projets structurants dont quelques exemples sont donnés à la figure VI.4.



Figure VI.5. Les six piliers du Master Plan.

Source. (PDAU d'ALGER, 2011).

⁶⁴ L'enchaînement de ces étapes a été ensuite modifié pour la mise en œuvre du PDAU, allant de 2012 à 2031.

Projets structurants			
<p>Développement économique</p> <ul style="list-style-type: none"> - la Nouvelle gare - le Réseau complémentaire d'activité industrielle et de services - la Revitalisation et la qualification commerciale d'Alger - le Commerce et services de proximité - le Noyau urbain des fermes - l'Activité agricole 	<p>Ouverture de la ville au monde</p> <ul style="list-style-type: none"> - la Grande Mosquée d'Alger - le Nouveau complexe sportif international d'Alger – Stade de Barakī - les Zones touristiques d'Alger – Programme de valorisation - l'Opéra d'Alger - le Centre international des congrès d'Alger - le Palais des Festivals. 	<p>Cohésion territoriale</p> <ul style="list-style-type: none"> - les Pôles d'habitat intégrés - la Création de pôles d'échanges liés aux gares ferroviaires - les Écoles professionnelles - le Nouveau quartier balnéaire et touristique de Bateau Cassé - le Nouveau quartier balnéaire et touristique de Bordj El Kiffan - la Grande Bibliothèque - le Palais des Sports 	<p>Environnement</p> <ul style="list-style-type: none"> - le Parc urbain d'El Harrach - les Agriparcs urbains – Programme et mise en place - la Zone irriguée d'AinTaya/Heraoua – Programme de modernisation - la Forêt de protection des versants Sud du système montagneux du Sahel - le Paysage protégé de Reghaïa – Programme de valorisation

Figure VI.6. Exemples de projets structurants.

Source. (PDAU d'ALGER, 2011).

Pour la mise en œuvre de la vision stratégique, les ressources de différentes natures sont mobilisées. Il est stipulé dans le rapport d'orientation du PDAU d'Alger : *"Du point de vue de la stratégie et de la politique de gestion du territoire, ces projets assument une importance vitale pour la mise en place du modèle territorial, justifiant, en tant que tel, la mobilisation prioritaire de ressources de natures diverses"*. Parmi ces ressources, l'eau constitue la ressource fondamentale à mobiliser en priorité.

VI.2. Scénarios de l'offre en eau face à la demande industrielle et agricole

VI.2.1. Quantification des besoins en eau à l'horizon 2029

- Besoins pour l'industrie :

Le vocable industrie utilisé dans cette thèse englobe plusieurs catégories énumérées dans le tableau VI.1. Les besoins en eau concerneront donc les équipements collectifs (écoles, universités, hôpitaux, théâtres, ...), les zones d'équipements touristiques ZET (hôtels, complexes, campings et centres de vacances), les zones industrielles et les zones d'activités.

Le développement social de la population dépend considérablement de l'accessibilité et de l'utilisation des multiples biens et services collectifs essentiels à une bonne qualité de vie. La planification quantitative d'équipements collectifs à l'horizon 2024-2025 pour la wilaya d'Alger est détaillée dans le rapport "stratégie et schéma d'aménagement de l'habitat et des équipements collectifs" du Master Plan d'Alger (2010). Quelques exemples de besoins d'équipements collectifs par catégorie sont donnés dans le tableau VI.1. Les besoins en eau nécessaires à tous les équipements collectifs ainsi que

les dotations unitaires correspondantes (PAVN-SA, 2010) sont explicitées dans le tableau VI.2.

Catégorie	Équipement	Nombre d'équipement nécessaire
Enseignement	Ecole primaire	1356
	Lycée	136
	Centre de Formation Professionnelle	67
Santé	Salle de soins	340
	Polyclinique	114
	Établissement public hospitalier (EPH)	18
Sport	Terrain de football	136
	Piscine couverte	18
	Complexe sportif	12
Culture	Bibliothèque	436
	Salle de cinéma	67
	Théâtre	12

Tableau VI.1. Exemples de besoins d'équipements Collectifs à Alger à l'horizon 2029.

Source. (PDAU d'Alger, 2010).

La capacité, estimée nécessaire à l'horizon 2029, des zones d'équipements touristiques ZET (hôtels, complexes, campings et centres de vacances) de la wilaya d'Alger est de 19300 lits. Cette estimation a été établie sur la base de données détaillées du Schéma Directeur d'Aménagement du Tourisme SDAT (MATET, 2008). La dotation par lit par jour est fixée à 300 litres par lit par jour (Plan National de l'Eau).

Les superficies des zones industrielles et des zones d'activités sont de 1478 hectares et 170 hectares respectivement (Données ANIREF, Agence Nationale de l'Intermédiation et de Régulation Foncière, www.aniref.dz). Les besoins en eau de ce secteur sont estimés sur la base de la dotation spécifique de 40 m³ par hectare par jour. La territorialisation des secteurs industriels et filières prioritaires préconisée dans le rapport "Orientations stratégiques, axes de développement et projets structurants - développement économique" du Master Plan d'Alger, est illustrée à la figure VI.6. Une évolution probabiliste d'augmentation de 2% par an des besoins en eau est soulignée dans le Plan National de l'eau.

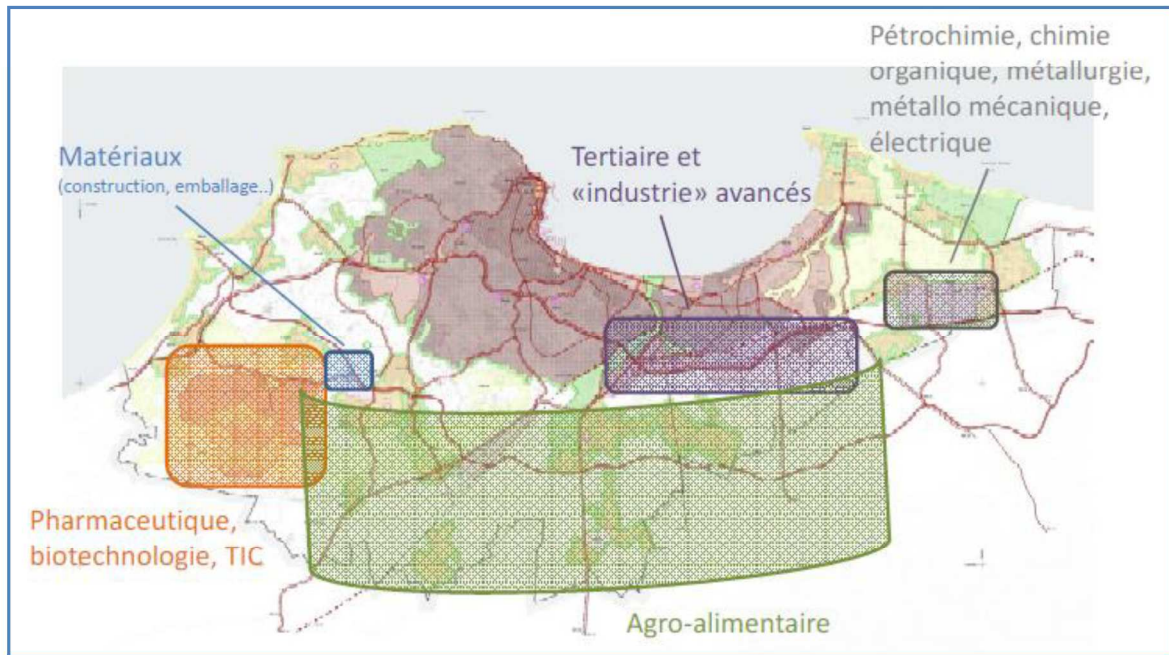


Figure VI.7. Territorialisation des secteurs industriels/filières prioritaires.

Source. (PDAU d'Alger, 2010)

Catégorie	Dotation unitaire	Besoins (hm ³ /an)
Enseignement	20 litres/jour/élève	43
Sports	5 litres/jour/m ²	15
Santé	20 litres/jour/m ²	9
Commerce et services	5 litres/jour/m ²	5
Culture et loisirs	5 litres/jour/m ²	4
Administration	5 litres/jour/m ²	3
Tourisme	300 litres/jour/lit	5
Industrie	40 m ³ /jour/hectare	29
Total		113

Tableau VI.2. Dotations et besoins en eau du secteur industriel par catégorie.

Source. Auteur sur la base des dotations spécifiques par catégorie du (PAVN-SA, 2010)

- Besoins pour l'agricole :

Le vocable agricole utilisé dans cette thèse englobe les espaces naturels, agricoles et patrimoniaux remarquables. Le potentiel agricole et perspectives de développement à l'horizon 2024-2025, préconisé dans le rapport "Stratégie et schéma d'aménagement des

espaces naturels, agricoles et patrimoniaux remarquables" du Master Plan d'Alger (PDAU d'Alger, 2010), est illustré par la figure suivante.

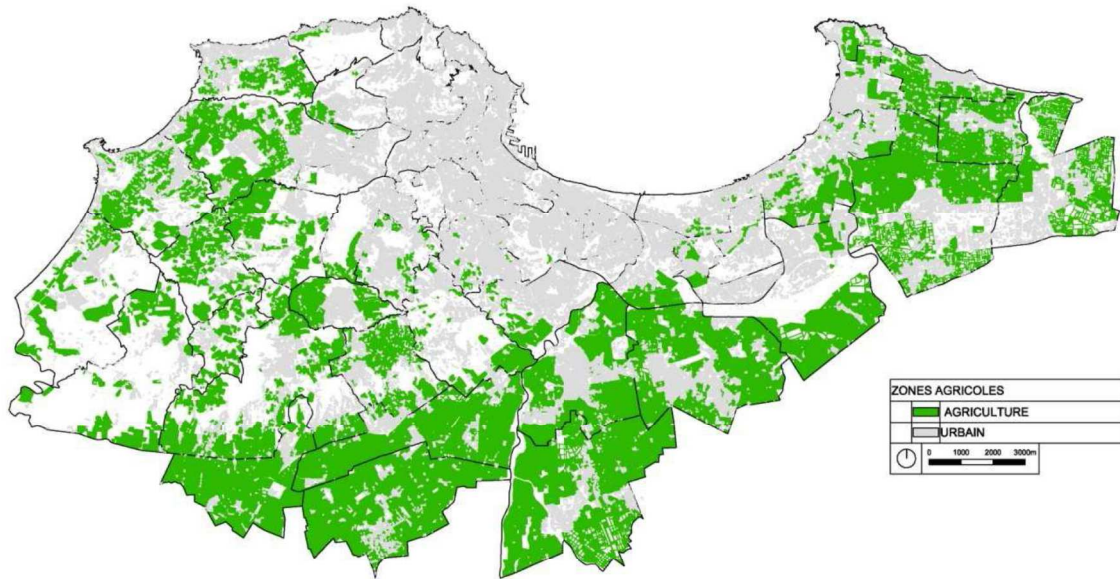


Figure VI.8. Le potentiel agricole et perspectives de développement à Alger à l'horizon 2025

Source. (PDAU d'Alger, 2010)

L'irrigation des terres agricoles concerne 3040 hectares en GPI (Grands Périmètres Irrigués) et 11745 hectares en PMH (Petites et Moyennes Hydrauliques). Les surfaces irriguées sont supposées croître de 180 hectares par an (Plan National de l'Eau) vu que les surfaces agricoles utiles ne sont pas toutes irriguées actuellement (chapitre I.4.). L'estimation des prélèvements nets pour l'irrigation se font sur la base du besoin en eau moyen des cultures admis pour la zone, en l'occurrence 6 000 m³/hectare/an (GIRE, 2010). Les besoins globaux en eau du secteur agricole sont estimés à 104 hm³ par an.

- Récapitulatif des besoins :

Le tableau ci-après donne les besoins des secteurs industriel et agricole à l'horizon 2025.

Secteur	Besoins en eau à l'horizon 2025
Industriel	113 hm ³ / an
Agricole	104 hm ³ / an

Tableau VI.3. Récapitulatif des besoins des secteurs industriel et agricole à l'horizon 2025

VI.2.2. Confrontation des besoins aux scénarios de l'offre

Les besoins en eau pour les secteurs industriel et agricole étant estimés, il reste à confronter cette demande à différents scénarios de l'offre. L'offre totale en eau W_t englobe les trois usages, en l'occurrence domestique W_d , industriel W_i et agricole W_a est donnée par :

$$W_t = W_d + W_i + W_a$$

La répartition de l'offre totale entre les différents utilisateurs appelée également structure de l'eau est exprimée par les coefficients $(\alpha:\beta:\gamma)$, où

$$Wd=\alpha*Wt, Wi=\beta*Wt, Wa=\gamma*Wt$$

Aux scénarios de l'offre domestique retenus (S4, S5, S6, S7) et (S8, S9, S10, S11) correspondent les scénarios de l'offre industrielle (Si4, Si5, Si6, Si7) et (Si8, Si9, Si10, Si11) et les scénarios de l'offre agricole (Sa4, Sa5, Sa6, Sa7) et (Sa8, Sa9, Sa10, Sa11) selon les structures de l'eau respectives : (56,27,17) et (61,27,12). La démarche est illustrée par la figure suivante.

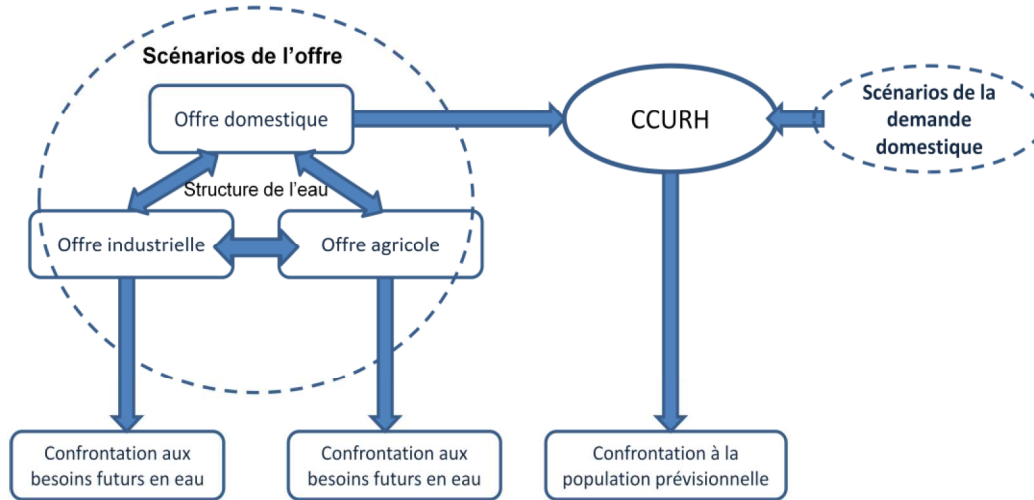


Figure VI.9. Capacité de charge et prospective

Source. Auteur

Le premier groupe de scénarios dans chaque secteur concerne le système d'approvisionnement actuel avec des performances améliorées avec notamment un taux de réutilisation des eaux usées épurées de 15% destinées au secteur agricole. Le second groupe de chaque secteur concerne un système augmenté en capacité et des performances accrues avec notamment une croissance significative de l'offre en eau superficielle et un taux de réutilisation des eaux usées épurées de 30%. Le groupe de scénarios correspondant au système actuel sera ignoré du fait de non performance du système.

Les simulations effectuées de confrontation Offre/Demande des secteurs industriel et agricole sont montrées aux figures VI.10 et VI.11 respectivement. La partie ombrée dans l'offre agricole correspond aux eaux usées épurées.

Il ressort que le système actuel avec performances améliorées répond aux besoins des deux secteurs en période de pluviométrie normale, mais il s'avère insuffisant lors des épisodes de sécheresse même modérée. Le système augmenté permet par contre de répondre globalement aux besoins des deux secteurs avec un léger déficit pour le secteur industriel lors d'un épisode de sécheresse accentuée.

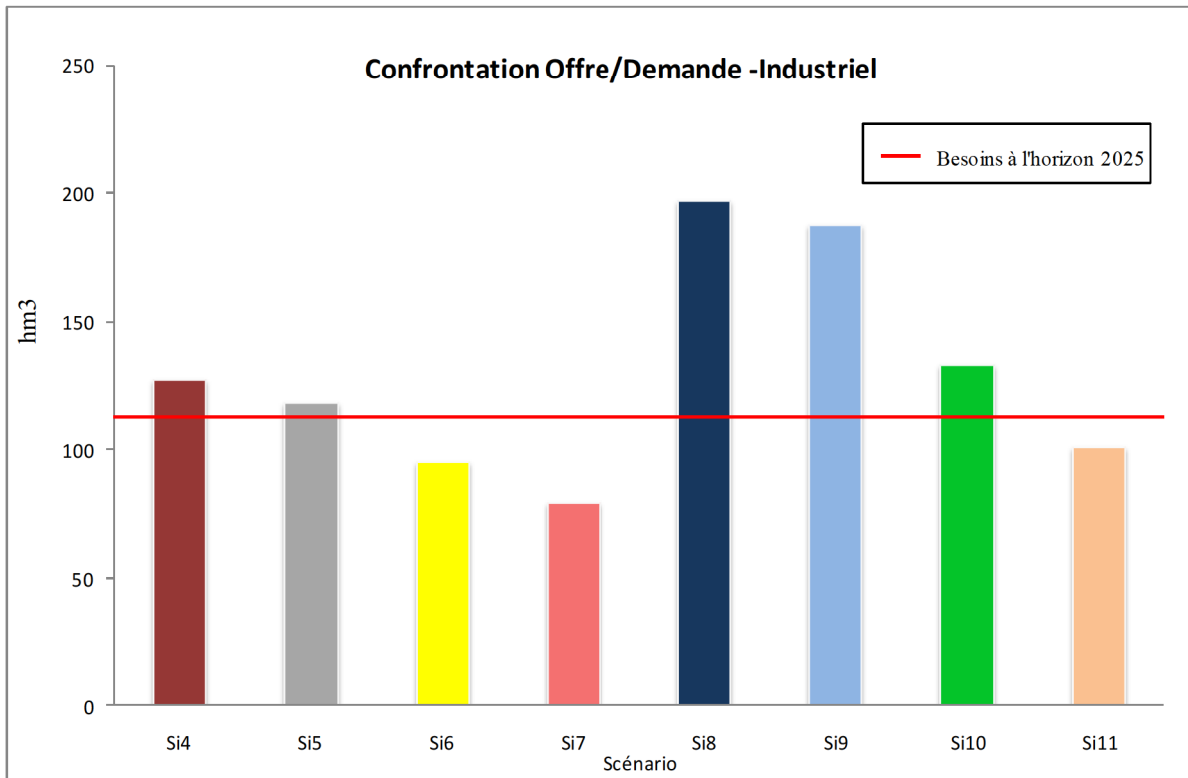


Figure VI.10. Confrontation Offre/Demande du secteur industriel à Alger à l'horizon 2025.

Source. Auteur

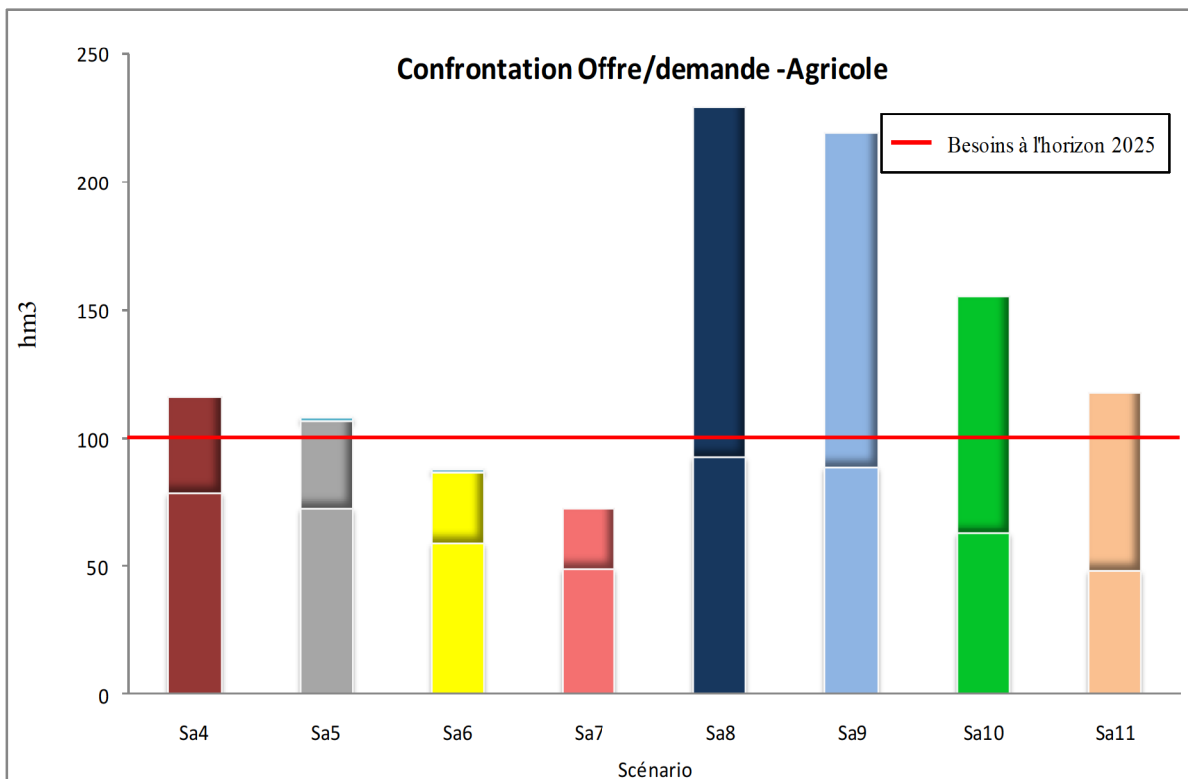


Figure VI.11. Confrontation Offre/Demande du secteur agricole à Alger à l'horizon 2025.

Source. Auteur

Nous récapitulons dans le tableau ci-après les résultats auxquels nous sommes parvenus à partir de la lecture des différentes simulations effectuées pour la confrontation offre/demande des secteurs industriel et agricole. Les scénarios favorables i.e. permettant de supporter les besoins des secteurs industriel et agricole à l'horizon 2029 sont mis en exergue avec une couleur verte. Les scénarios les plus défavorables i.e. ne permettant même pas de répondre aux besoins de ces secteurs respectifs à l'horizon 2029 sont mis en évidence avec une couleur rouge.

Secteur	Scénarios	Valeur Simulation hm ³ /an
Industriel	Si4	127
	Si5	118
	Si6	95
	Si7	79
	Si8	197
	Si9	188
	Si10	133
	Si11	101
Agricole	Sa4	116
	Sa5	107
	Sa6	87
	Sa7	73
	Sa8	230
	Sa9	220
	Sa10	156
	Sa11	118

Tableau 1. Récapitulatif des simulations des offres industriel et agricole à Alger.

VI.2.3. Discussion des résultats

Des simulations effectuées, nous pouvons noter qu'une augmentation en capacité du système d'approvisionnement en eau s'avère nécessaire. L'amélioration des performances du système est également une condition *sine qua non* pour avoir une balance offre/demande positive même en période de sécheresse. Il est également à noter qu'en période de pluviométrie normale, pour les scénarios du système augmenté, se dégage un excédent conséquent de l'offre pour tous les secteurs. Les prélèvements à partir des nappes phréatiques pourraient même être substantiellement diminués pour accumuler une réserve à utiliser en période de sécheresse accentuée. Pour le secteur agricole, la réutilisation des eaux usées épurées atteint un double objectif à savoir la réponse aux besoins agricoles à l'horizon 2025 et la réorientation de quantités considérables d'eau potable vers le secteur domestique. Une réutilisation plus poussée

des eaux usées épurées pourrait même offrir une marge de manœuvre considérable dans l'allocation en eau à tous les secteurs.

VI.3. Leviers d'actions pour la politique de l'eau

En réalité l'objectif ultime de la démarche que nous avons proposée, consiste à fournir un outil informant sur les possibilités ou les limites de la croissance compte tenu des ressources disponibles, des moyens mobilisés, ainsi que les contraintes climatiques qui pèsent sur la région. En outre une autre lecture de l'analyse des scénarios permet de dégager un certain nombre de recommandations pour dessiner les contours d'une stratégie de l'eau à envisager, dans l'optique de subvenir aux besoins hydriques d'une population croissante, tout en préservant le capital naturel de la ressource et les écosystèmes d'Alger.

VI.3.1. Renforcer l'offre de l'eau

VI.3.1.1. Renforcement de la capacité de mobilisation des ressources superficielles

Après avoir longtemps compté sur les eaux souterraines perpétuant les options coloniales, avec comme conséquence les effets fâcheux sur les nappes, le gouvernement algérien a amorcé, face à la croissance de la demande, une politique intensive d'investissement dans les infrastructures de mobilisation des eaux de surface. Aujourd'hui les barrages présents dans les bassins versants Côtiers Algérois et Isser permettent de mobiliser 20 % des eaux recueillies, alors que le maximum durable se situe, comme nous l'avons vu, à 40 %. Cette marge, dont nous disposons, permet d'envisager le renforcement de la mobilisation des eaux de surface par la construction de nouveaux barrages ou le désenvasement continu des barrages existants. D'ailleurs le gouvernement algérien va dans ce sens. Le barrage de Douéra d'une capacité de 87 hm³/an, destiné à l'alimentation en eau potable de la capitale et à l'irrigation, sera mis en service très prochainement en 2015. D'autres projets en l'occurrence : le barrage Souk N'Tleta situé sur l'Oued Bouguedoura destiné à l'alimentation de Tizi Ouzou et de Boumerdès est en cours de réalisation; et les barrages de Bounachi et Zaouia sont en cours d'étude (Mohellebi, 2013). Leur réalisation permettrait d'accroître les quantités d'eau superficielles allouées à Alger.

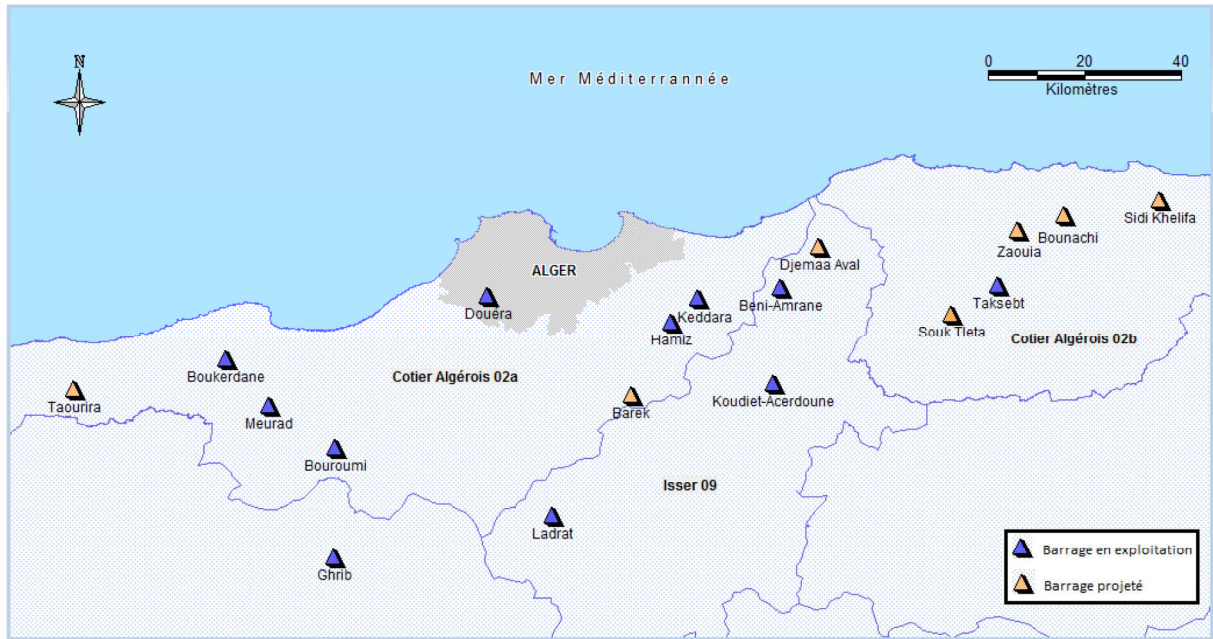


Figure VI.12. Barrages en service et barrages projetés dans la région Nord Centre d'Algérie.

Source. Carte SIG auteur sur données ANBT (2008).

VI.3.1.2. La réduction des pertes dans les réseaux

Ce qui précède doit s'articuler cependant avec une vraie politique de réduction des pertes dans les réseaux, causées par les fuites du fait de la défectuosité de certaines canalisations. Une quantité considérable se perd, "chemin faisant", avant d'arriver à destination; ce qui oblige à délivrer une quantité supplémentaire d'eau pour satisfaire la demande. D'autres pertes sont liées au vol, en shuntant les compteurs, qui reste un fléau répandu au sein de la population; lequel non seulement engendre des pertes de recettes mais entraîne le gaspillage, dans la mesure que l'eau consommée n'est pas payée.

VI.3.2. Protection des nappes phréatiques

Du fait d'une exploitation excessive des années durant, les nappes et à leur tête la Mitidja, ont beaucoup perdu de leur potentiel. De nappes artésiennes, en témoignent les levés piézométriques effectués sous l'occupation française, sont aujourd'hui sujettes aux menaces de l'intrusion marine qui s'accroît avec le rabattement du niveau piézométrique. Conscient du problème, le gouvernement a entrepris des mesures drastiques pour réduire le pompage et préserver les nappes. Du reste, le recours aux eaux superficielles, au dessalement, et dernièrement, en stade de projet, à la réutilisation des eaux usées épurées, répond entre autres, à cet objectif. Cependant, la prolifération des forages illicites pour l'usage agricole et, dans certaines petites unités industrielles et les bains maures, qui échappent à tout contrôle en matière de leur nombre effectif ainsi que des volumes prélevés, ébranle les efforts déployés et perpétue

la menace d'épuisement des nappes. Il devient de ce fait nécessaire de renforcer le contrôle pour éradiquer ce fléau de pompage illicite, afin que la politique de gestion des ressources soit plus efficace.

Par ailleurs, l'analyse des scénarios a montré la possibilité d'alléger les prélèvements dans les nappes durant les années normales en cas d'amélioration du système d'approvisionnement. Ceci aidera la nappe à retrouver son état et de constituer une réserve d'eau pour les années difficiles.

VI.3.3. La réduction de la demande

De l'analyse des scénarios, il ressort clairement que la capacité de charge est inversement proportionnelle au niveau de consommation, autrement dit la capacité du système d'approvisionnement à supporter la croissance augmente avec des niveaux bas de consommation. En plus, une réduction de la consommation impliquerait la réduction des prélèvements et donc la préservation des ressources. En effet, à l'heure de la prise de conscience de la menace du réchauffement climatique, il est de plus en plus admis que la stimulation d'un changement de comportement des utilisateurs vers des modes de consommation plus économes devrait devenir l'objectif central de toute stratégie de l'eau qui se veut durable.

Au niveau national, si d'aucuns reconnaissent que les efforts consentis pour améliorer l'offre ont été considérables, peu d'actions ont été conduites pour agir sur l'évolution de la demande en eau, c'est-à-dire les comportements des usagers (Mozas & Ghosn, 2013). Même si du chemin reste à faire pour améliorer le niveau de l'offre sur l'ensemble du territoire national, la politique de l'eau algérienne devrait se pencher sur la question de la régulation de la demande, en menant des actions sur les facteurs déterminant la consommation domestique désignés, en vue de la réduire aux niveaux acceptables assurant le maintien de la qualité de vie :

- Encouragement à l'économie de l'eau, par la promotion des équipements économes en eau, tels les laves linges et vaisselles à basse consommation et les chasses d'eau à double débit, d'une part, et la lutte contre le gaspillage d'eau, notamment pour le nettoyage, à travers la sensibilisation des populations à l'importance de préserver ce précieux liquide, d'autre part.
- Promotion de la collecte d'eau pluviale dans les habitations, pratique ancestrale et pourtant oubliée, qui permet de jouir d'une certaine autonomie quant à l'approvisionnement en eau. L'eau récupérée peut être utilisée dans le nettoyage, le linge, la chasse d'eau, le lavage des voitures et l'arrosage des jardins. Une loi, à cet égard, imposant l'installation dans

toute nouvelle construction, comme en Belgique et dans certaines régions en forte pénurie d'eaux telles la Floride et la Californie (Cheron & Puzenat, 2004), de système de récupération des eaux pluviales, permettrait de contribuer à généraliser leur usage.

- Le prix de l'eau devrait jouer un rôle non négligeable dans la régulation de la demande. Or, la tarification en vigueur depuis 2005⁶⁵ n'a pas eu d'incidence prononcée sur la consommation (Kertous, 2012). Le tarif appliqué à la quatrième tranche, pour les plus grosses consommations d'eau dépassant les 82 m³ par trimestre, reste relativement faible.

	m ³ / trimestre	Tarif per m ³
Tranche 1	[0-25 m ³]	6.30 DA
Tranche 2	[25-55 m ³]	20.48 DA
Tranche 3	[55-82 m ³]	34.65 DA
Tranche 4	> 82 m ³	40.95 DA

Tableau VI.4. Structure de la tarification graduelle applicable en Algérie.

De manière générale, les résidents n'adopteront des modes de consommation économes que s'ils sont motivés. L'éducation, la sensibilisation des citoyens et les incitations des autorités, sont autant de moyens pouvant être utilisés à cette fin.

- La réutilisation des eaux usées :

La réduction de la demande des secteurs industriel et agricole constitue un autre levier d'action, et non des moindres, dans la politique d'utilisation rationnelle des ressources hydriques. Or, à l'heure actuelle les actions en ce sens restent timides, même si l'irrigation économe en eau commence lentement à prendre place. La réduction de la demande en eau de ces activités pourrait être significative, si elles utilisent de l'eau recyclée après un traitement approprié. Les quantités d'eau gagnées iraient vers l'alimentation du domestique, et on "soulagera" ainsi les nappes menacées d'épuisement. Les eaux usées épurées peuvent également servir à recharger les nappes phréatiques menacées et permettent ainsi leur remise en état. Un investissement substantiel dans la mise en œuvre du réseau d'eau non potable, doit être entrepris afin de supporter cette stratégie. Auquel cas, Alger ferait un pas de géant en matière de gestion efficiente de l'eau.

Les eaux usées épurées représentent un potentiel à considérer avec la plus grande attention, dans un pays comme le nôtre, soumis aux aléas climatiques, à l'instar d'Israël qui est arrivée à atteindre un taux de réutilisation de 75 % des eaux épurées (Kellis, Kalavrouziotis, & Gikas, 2013), le taux le plus élevé de la région. Les pouvoirs publics ont

⁶⁵ Décret 05-13 du 9 janvier 2005

pris conscience de la nécessité d'exploiter ce créneau. Des projets sont déjà en exploitation dans les wilayas de Boumerdes, Bordj Bou Arreridj et Tlemcen (MRE, 2012). Plusieurs autres sont en étude ou en cours de réalisation, dont celui d'Alger qui consiste au transfert des eaux usées épurées à partir de la STEP de Baraki à Alger vers le barrage de Berek à Blida pour l'irrigation de 6000 hectares situés dans la Mitidja Est (Ibid.).

VI.4. Capacité de charge hydrique au cœur de la planification du développement urbain

L'outil développé nous permet, par le biais des simulations sur les offres, demandes et capacités de charge possibles, de vérifier si le niveau qu'atteindra la croissance urbaine envisagée à l'horizon étudié sera dans les limites de ce qu'autoriseraient les ressources en eau disponibles et les moyens pour les mobiliser ainsi que pour réguler la consommation, en tenant compte des contraintes climatiques qui pèsent sur la région.

Plus en amont, l'outil développé permettra également, lors de l'élaboration de la stratégie du développement urbain d'apprécier globalement la situation de la capacité de charge que mesure l'indice vectoriel, mais également de mener des études plus affinées sur la question par le biais du système d'indicateurs détaillé, afin de déceler les éventuels problèmes et leurs causes.

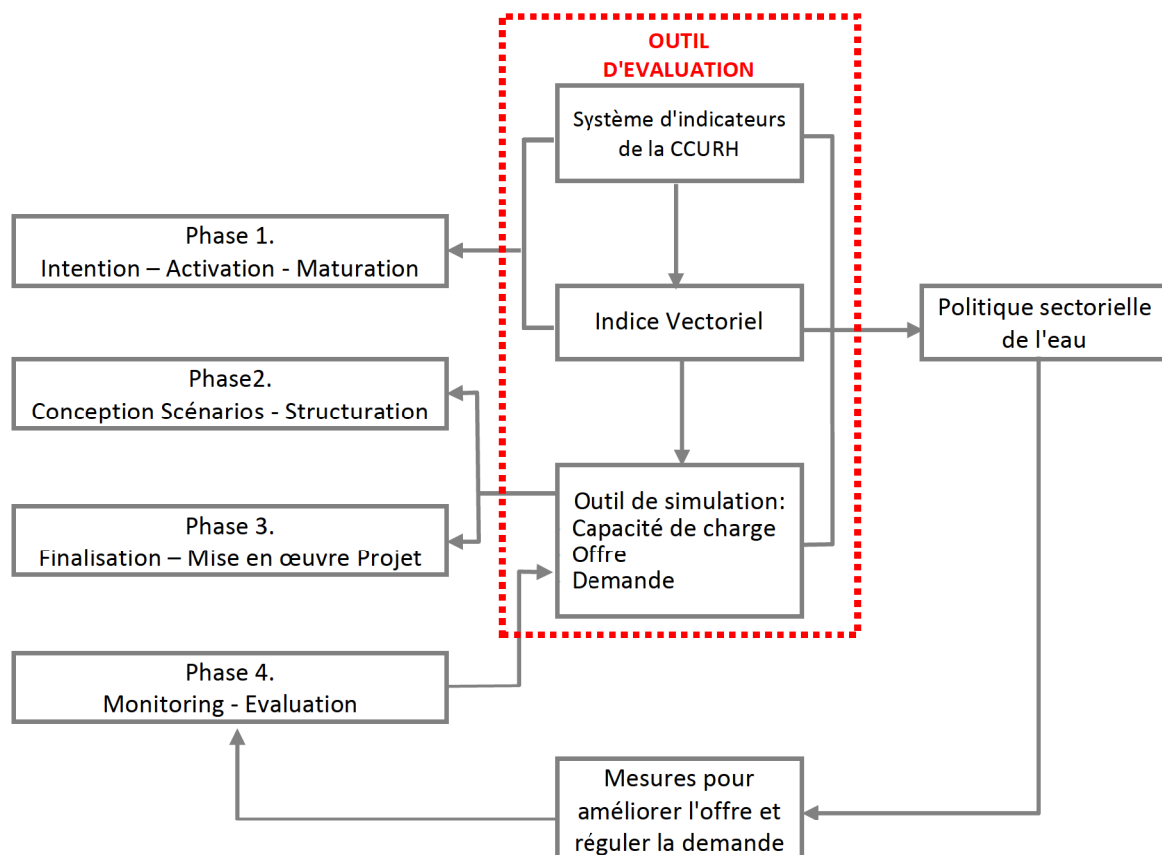


Figure VI.13. Outil d'évaluation dans la planification du développement urbain.

L'ultime objectif étant de mettre en adéquation les objectifs du développement urbain avec la capacité de charge de l'écosystème urbain vis-à-vis de la question d'approvisionnement en eau, et donc mettre en relation les deux politiques de la ville et de l'eau pour un développement urbain harmonieux respectueux des limites d'approvisionnement en eau. A cet égard l'outil devient une interface de concertation entre les acteurs de ces deux secteurs pour négocier du niveau de croissance et des mesures ainsi que les moyens à mettre en œuvre pour le soutenir.

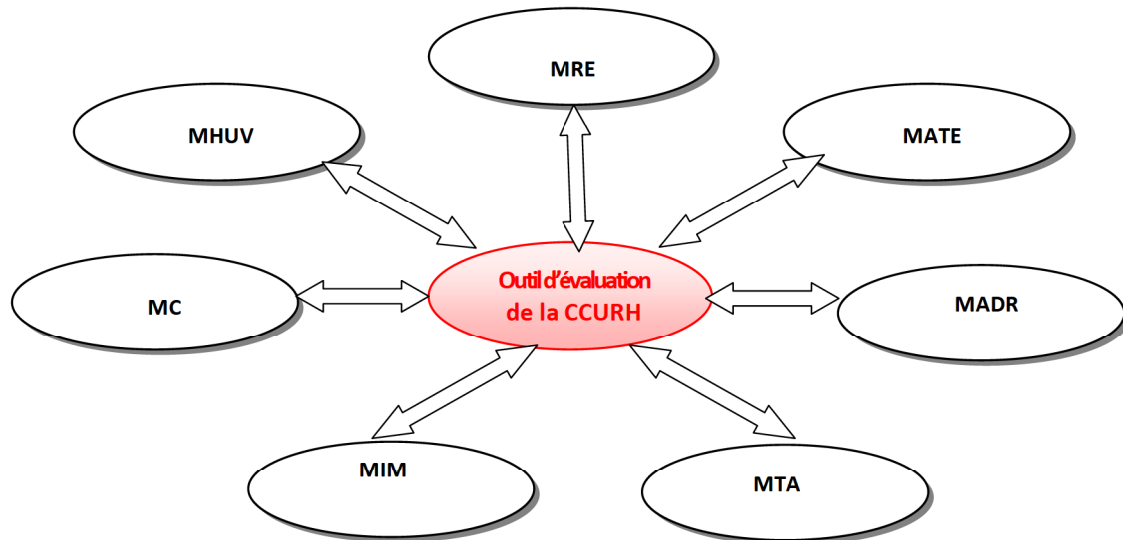


Figure VI.14. Interactions outil / Acteurs sous tutelle des différents ministères

VI.5. Synthèse et conclusion du chapitre

Dans ce chapitre nous avons abordé la question du développement global d'Alger à l'horizon 2029. Nous avons passé en revue les orientations générales du Plan stratégique du développement d'Alger. Il a été mis en exergue le modèle territorial et les projets structurants qui constituent la dimension stratégique du plan. Le processus de développement social et économique des citoyens a été au cœur de la vision stratégique par la construction d'un territoire plus durable catalyseur de production de richesse et de bien-être pour la population.

Nous avons mené une évaluation des besoins en eau des secteurs, industriel et agricole, nécessaires au développement socio-économique. Ces besoins ont été confrontés aux disponibilités qui ressortent des scénarios élaborés pour l'estimation de la capacité de charge objet du précédent chapitre. En effet l'offre de l'eau est globale et doit répondre à tous les besoins de la vie du territoire. Le premier groupe de scénarios a été écarté de l'évaluation étant donné que le système actuel ne pouvait répondre aux besoins induits par le plan de développement préconisé. Là également il y a confirmation de la troisième hypothèse qui stipulait l'incapacité du système actuel à soutenir le développement prévu pour la wilaya.

Il ressort de l'étude d'évaluation que le système actuel avec performances améliorées répond aux besoins des deux secteurs en période de pluviométrie normale, mais il s'avère insuffisant lors des épisodes de sécheresse même modérée. Sa vulnérabilité serait mise à nue en cas de sécheresse prononcée. Le système augmenté permet par contre de répondre globalement aux besoins des deux secteurs. Nous pouvons affirmer globalement qu'une augmentation de l'offre en eau s'avère nécessaire ainsi qu'une gestion rationnelle et optimisée de cette ressource pour répondre adéquatement aux besoins de tous les secteurs.

Conclusion générale

En 2014, le taux de la population urbaine a atteint les 70% en Algérie (Groupe Banque mondiale, 2015). Un mouvement qui ne semble pas vouloir fléchir en l'absence d'une politique efficace de rééquilibrage régional qui soit à même de favoriser une distribution homogène des activités et des populations sur le territoire national. Leur forte concentration au niveau des villes n'est bien évidemment pas sans conséquences sur les ressources locales, en premier lieu l'eau, un liquide particulièrement rare dans notre pays alors que sa présence est vitale pour le développement socio-économique. Aujourd'hui les ressources hydriques sont menacées en raison d'une exploitation dépassant les limites de renouvellements des nappes souterraines et des pollutions par les rejets urbains. Et la situation est amenée à s'aggraver avec la menace du réchauffement climatique qui plane sur toute la planète.

Cette situation soulève la question du niveau de croissance limite, c'est-à-dire la capacité de charge locale compte tenu de la capacité d'approvisionner en eau et des modes de consommation courants. Un seuil que ne devrait pas dépasser la croissance urbaine au risque de voir l'écosystème urbain s'emballer et les ressources hydriques se dégrader irréversiblement. Toute programmation de développement urbain futur qui se veut durable, devrait passer au préalable par la connaissance de la capacité de charge afin que la stratégie de développement soit en résonance avec aussi bien les moyens de mobilisation de l'eau ainsi que les possibilités de les améliorer, que la disponibilité naturelle de cette ressource et les seuils de prélèvements.

L'évaluation de la capacité de charge de la capitale, la wilaya la plus peuplée de l'Algérie et dont la croissance est importante, est primordiale à plus d'un titre : Alger a longtemps souffert de problèmes de pénurie d'eau car elle ne dispose pas sur place de ressources suffisantes pour soutenir sa population et ses activités; et qu'afin d'en sécuriser l'approvisionnement, deux choix onéreux sur tous les plans ont été adoptés, le premier repose sur le recours au dessalement, un procédé énergivore et dont on connaît mal l'impact à long terme sur les écosystèmes aquatiques, et le second qui consiste à amener l'eau des autres localités, là où se trouvent les sites de retenue, mettant ainsi la capitale en concurrence avec les wilayas fournissant l'eau. Par ailleurs, cette eau de

surface qui représente la part la plus importante dans l'approvisionnement de la capitale, pourrait considérablement être réduite si des sécheresses, récurrentes dans la région, venaient à sévir. Et enfin ce système d'approvisionnement en eau assez vulnérable devrait affronter dans un futur proche l'augmentation de la demande eu égard les prévisions de la croissance de la population ainsi que les divers projets de développement socio-économiques préconisés par le plan stratégique de développement de la wilaya d'Alger.

Dans cette optique, ce travail de recherche s'est attelé à évaluer la capacité de charge urbaine relative aux ressources hydriques de la wilaya partant de trois hypothèses que sont respectivement : a) les déterminants de la demande, exprimés par des indicateurs, sont aussi importants que ceux de l'offre ; b) la modélisation systémique constitue le cadre idoine pour sélectionner les indicateurs, et enfin c) la non adéquation du système actuel avec les besoins futurs de la croissance. Pour ce faire, un outil basé sur un système d'indicateurs a été développé, permettant d'appréhender la complexité du système capacité de charge, d'expliquer son fonctionnement et d'effectuer des simulations sur les capacités de charge possibles. L'élaboration de cet outil s'est reposée sur la démarche de modélisation systémique qui a permis de guider le choix des indicateurs pertinents pour la question étudiée. Des approches ont été sollicitées à cet égard, toujours dans le cadre de la modélisation systémique, en l'occurrence l'analyse structurelle pour étudier les interactions entre indicateurs et par là arrêter leur sélection et désigner ceux qui occupent une place-clef dans le système étudié, sur lesquels ont été construits les scénarios de simulations ; et l'analyse morphologique pour dégager les scénarios pertinents pour le calcul de la capacité de charge ou les capacités de charge urbaines relatives aux ressources hydriques. Par ailleurs, la construction du modèle n'aurait pas pu être conduite sans l'étude des aspects théoriques relatifs à la capacité de charge et à l'approvisionnement en eau ainsi que la compréhension de cette problématique dans le contexte de la wilaya d'Alger.

Ce faisant, les hypothèses posées ont été validées. Il a été confirmé l'utilité du recours à la modélisation systémique (deuxième hypothèse) pour sélectionner les indicateurs pour représenter puis évaluer la capacité de charge dont la complexité se manifeste par le nombre de facteurs en jeu qui s'enchevêtrent formant un système complexe. La modélisation systémique a permis d'appréhender efficacement la problématique étudiée. Des simulations effectuées, Il a été avérée quantitativement que la détermination de la capacité de charge urbaine relative aux ressources hydriques repose fondamentalement sur deux catégories de facteurs : ceux relatifs à la capacité de l'offre, et ceux relatifs au niveau de la demande. Ce qui a permis de conforter l'hypothèse de départ relative à la nécessité de tenir compte de ces deux aspects pour décrire la capacité de charge déjà confirmée par l'étude de l'état de l'art entourant cette question.

Concernant la question se rapportant à la capacité de charge de la wilaya d'Alger au regard de l'approvisionnement en eau et les possibilités de l'améliorer, un certain nombre de constats sont à relever. Il a été démontré que le système d'approvisionnement actuel est très vulnérable aux aléas climatiques et, ne pourrait soutenir correctement ni la population projetée ni le développement socio-économique programmé. Ce qui confirme la troisième hypothèse. Il va falloir donc l'améliorer si l'on veut soutenir la population prévue à l'horizon 2025. Le système augmenté, permet d'atteindre des populations dépassant de loin les quatre millions prévus, dans des conditions favorables de pluviométrie voire de sécheresse modérée. En revanche, il restera vulnérable aux sécheresses extrêmes pour des consommations élevées, d'où la nécessité de s'orienter vers la tendance de la baisse de la consommation domestique qui commence à prendre place dans les pays développés pour une utilisation rationnelle et durable de la ressource, et maintenir la consommation journalière par habitant au niveau de 100-115 litres. Ce qui s'obtient par le renforcement des mesures de régulation de la demande de l'eau.

Les scénarios de populations limites nous ont permis de savoir dans quelles conditions il serait possible de répondre aux besoins domestiques de la population prévue à l'horizon 2025. Ceci sous entend qu'il serait possible de soutenir la population prévue à cet horizon, autrement dit d'éviter le dépassement de la capacité de charge. D'un autre côté, en ce qui concerne la question sur la capacité à soutenir les différents projets de développement socio-économique planifiés, la confrontation des scénarios relatifs à l'offre de l'eau que procure le système augmenté avec les besoins des usages projetés, montre la capacité de ce système à répondre à ces besoins.

De toute manière, une augmentation de la capacité d'approvisionnement en eau du système s'avère nécessaire pour soutenir la croissance urbaine de la capitale. La capacité de l'environnement à fournir cette ressource le permettra à un certain degré, il faudrait donc investir dans l'amélioration des infrastructures existantes et la construction de nouvelles. Il n'en demeure pas moins, et pour une utilisation durable et rationnelle de cette ressource, de conduire conjointement des politiques axées sur l'offre et sur la demande. Cette dernière consiste à mener des actions en direction de la réduction de la demande en eau fraîche qui peuvent être résumés par les trois points suivants : encouragement à l'économie de l'eau, promotion de la collecte d'eau pluviale et réutilisation des eaux usées épurées.

En résumé, l'outil développé nous a permis, par le biais des simulations sur les offres, demandes et capacités de charge possibles, de vérifier si le niveau qu'atteindra la croissance urbaine envisagée à l'horizon étudié sera dans les limites de ce qu'autoriseraient les ressources en eau disponibles et les moyens pour les mobiliser ainsi que pour réguler la consommation, en tenant compte des contraintes climatiques qui

pèsent sur la région. Mais en réalité l'objectif ultime de cet outil est d'informer sur les possibilités ou les limites de la croissance afin d'aider à la planification du développement. Donc son rôle vient plus en amont, et va permettre alors, lors de l'élaboration de la stratégie, de brosser un tableau de la situation générale en matière de capacité de charge que mesure l'indice vectoriel, mais également de mener des études plus affinées sur la question par le biais du système d'indicateurs détaillé, afin de déceler les éventuels problèmes et leurs causes. Les simulations viendront par la suite pour tester les niveaux de croissance possibles compte tenu des offres possibles et des niveaux de consommations fixées. Ceci vise à mettre en adéquation les objectifs du développement urbain avec la capacité de charge de l'écosystème urbain vis-à-vis de la question d'approvisionnement en eau, et donc mettre en relation les deux politiques de la ville et de l'eau pour un développement urbain harmonieux respectueux des limites d'approvisionnement en eau, ce qui n'est pas le cas actuellement. A cet égard l'outil devient une interface de concertation entre les acteurs de ces deux secteurs pour négocier du niveau de croissance et des mesures ainsi que les moyens à mettre en œuvre pour le soutenir.

Nous pouvons citer comme limite de ce travail le fait qu'il soit de nature académique. Nous soulignons, néanmoins que le choix des hypothèses de simulation concernant les indicateurs sélectionnés s'est appuyée sur des références et documents prospectifs traitants de plusieurs aspects concernant l'approvisionnement en eau d'Alger. Il aurait été souhaitable de faire participer toutes les parties prenantes à l'élaboration et l'utilisation de cet outil. Ce qui n'est pas exclu dans l'avenir, afin de mieux valider la priorisation des éléments du système dans une démarche participative et concertée.

La capacité de charge relative aux ressources hydriques devrait être intégrée en amont et en aval du processus de planification urbaine qui se veut durable. L'outil développé pourrait faire partie intégrante de ce processus.

Enfin, cet outil d'évaluation de la capacité de charge traitant d'une problématique spécifique majeure, à savoir l'approvisionnement en eau pourrait être étendu pour ultérieurement prendre en charge d'autres facteurs limitant la croissance urbaine, tels le foncier, la pollution ou le transport. La capacité de charge ultime serait fonction des seuils dictés par les facteurs en jeu. Ce qui constitue une perspective de recherche en complément du travail effectué.

Bibliographie

- Abram Alberdi, L. (2006). *L'empreinte écologique des zones urbaines : Estimation de l'empreinte du Canton de Genève*. Université de Lausanne.
- Ackerman, E. A. (1959). Population and Natural Resources. (P. M. Hauser, & O. D. Duncan, Éd.s.) *Study of Population: an inventory and appraisal*, 621-648.
- Agence de l'eau Seine-Normandie. (2010). *Livre de bord Professeurs*. Consulté le 11 9, 2014, sur Agence de l'eau Seine-Normandie: http://www.eau-seine-normandie.fr/fileadmin/mediatheque/Enseignant/Outils_Pedagogiques/Professeurs/AES N10-prof.chap_19.pdf
- ALEPH. (2004). *La méthode des scénarios, outil d'une démarche prospective*. Les dossiers d'ALEPH, Le Plan : Commissariat Général du Plan.
- Al-Idrisi, C. (1157). *Kitâb nuzhat al mushtâq fi-ikhtirâq al-afâq*. Sicile.
- Andersson, J. O., & Lindroth, M. (2001). Ecologically unsustainable trade. *37*, 113–122.
- Arbués, F., Garcia-Valiñas, M. Á., & Martinez-Espiñeira, R. (2003). Estimation of residential water demand: a state-of-the-art review. *The Journal of Socio-Economics*, *32* (1), 81-102.
- AREHN. (s.d.). Consulté le 11 7, 2014, sur Agence Régionale de l'Environnement de Haute-Normandie: <http://www.arehn.asso.fr/publications/publications.html>
- Arrow, K., Bolin, B., Costanza, R., Dasgupta, P., Folke, C., Holling, C. S.-O., et al. (1995). Economic Growth, Carrying Capacity, and the Environment. *Ecological economics*, *15* (2), 91-95.
- Aspesslagh, W. (1994). *Carrying Capacity and Its Application to the Portland Metropolitan Area*. The Future Vision Commission, Portland, Oregon.
- BAfD/OCDE. (2007). *Perspectives économiques en Afrique 2007*. OCDE : Organisation de Coopération et de Développement Économiques.

- Balestrat, M. (2011). *Système d'indicateurs spatialisés pour la gouvernance territoriale: application à l'occupation des sols en zone péri-urbaine*. Thèse Géographie, Université Paul Valéry, Montpellier III.
- Banton, O., & Bangoy, L. (1997). *Hydrogéologie*. Presses de l'Université du Québec, Québec.
- Baumont, S., Camard, J.-P., Lefranc, A., Gremy, I., & Franconi, A. (2004). *Réutilisation des eaux usées épurées : considérations sanitaires et intérêts*. Paris: IAURIF.
- Beaudry, J. (1984). *Traitement des eaux*. Québec: Le griffon d'argile.
- Benarab, N. (2011, 10 7). *Coût de l'eau potable*. Récupéré sur L'EcoNews: http://www.leconews.com/fr/evenement/economique/dossiers-de-l-eco/pour-un-metre-cube-a-60-da-l-etat-paye-42-da-en-moyenne-07-10-2011-157239_342.php
- Benblidia, M. (2011). *L'efficacité d'utilisation de l'eau et approche économique*. Centre d'Activités Régionales PNUE/PAM. Plan Bleu.
- Benblidia, M. (2013, Mars 21). Communication sur l'évolution du Secteur Hydraulique depuis l'indépendance. *Commémoration du Cinquantenaire de l'Indépendance et Célébration de la Journée Mondiale de l'Eau*. Alger.
- Benblidia, M., & Thivet, G. (2010, Mai). Gestion des ressources en eau : les limites d'une politique de l'offre. (C. :. Méditerranéennes, Éd.) *Les Notes d'analyse du CIHEAM* (58), pp. 1-15.
- Berezowska-Azzag, E. (2005). La notion de seuils de croissance urbaine comme enjeu stratégique du projet urbain. *Actes du Colloque international Développement urbain durable, gestion des ressources et gouvernance* (pp. 1-9). UNIL Lausanne.
- Berezowska-Azzag, E. (2007). Alger, le territoire invente son avenir. *The European Journal of Planning*.
- Berezowska-Azzag, E. (2008a). Croissance urbaine planifiée aux états limites : un défi du développement durable en Algérie. *Aménagement urbain et développement durable* (pp. 1-24). Oran: USTO, CRASC, Université Es Senia.
- Berezowska-Azzag, E. (2008b). *Urbanisme et environnement*. Cours magistral, Post-graduation "Urbanisme et développement durable", 2008/2009 EPAU, Alger.
- Berezowska-Azzag, E. (2011a). *Projet urbain, guide méthodologique : connaître le contexte de développement durable*. Alger: Synergie.
- Berezowska-Azzag, E. (2011b). Programmation urbaine en Algérie : De nouveaux défis. *Vies de Villes*, H.S n° 02, 20-28.

- Berezowska-Azzag, E. (2012). *Projet urbain. Guide méthodologique. Comprendre la démarche du projet urbain*. Alger: Synergie.
- Berezowska-Azzag, E. (2013). Intelligence urbaine, au-delà d'une planification. *Courrier du Savoir*, 16, 55-63.
- Besson, S. (2010, 11 15). Recyclage des eaux usées à grande échelle en Israël pour irriguer l'agriculture. (A. N. environnement, Éd.)
- Beuhler, M. (2003). Potential impacts of global warming on water resources in southern California. *Water Science & Technology*, 47 (7-8), 165–168.
- Binnie, & Partners. (1983). *Modèle Mathématique de la nappe de la Mitidja*.
- Bishop, A. B., Fullerton, H. H., Carwford, A. B., Chambers, M. D., & Mckee, M. (1974). *Carrying capacity in regional environmental management*. United States. Environmental Protection Agency. Office of Research and Development.
- Biswas, A. K. (2003). *FROM MAR DEL PLATA TO KYOTO: AN ANALYSIS OF GLOBAL WATER POLICY DIALOGUES*. Third World Centre for Water Management Avenida Manantial Oriente No. 27, Los Clubes, Atizapan, Estado de Mexico.
- Blinda, M. (2012). *Eau Efficience : vers une meilleure efficience de l'utilisation de l'eau en méditerranée*. Centre d'activités régionales du PNUE/PAM. Valbonne, France: Plan bleu.
- Bogdanov, A. (1913). *Vseobščaja organizacionnaja nauka : Tektologija (La science organisatrice générale : La tectologie)* (Vol. I). Saint-Pétersbourg: s.d.
- Bogdanov, A. (1922). *Tekiologija - Vseobščaja organizacionnaja nauka (La tectologie - La science organisatrice générale)* (Vol. Ire et Iie parties revues et complétées, et IIIe partie). Berlin-Saint-Pétersbourg-Moscou.
- Bonierbale, T. (2005). *Eléments pour l'évaluation de la qualité environnementale des systèmes d'assainissement urbains*. Thèse de doctorat, Université de Marne-La-Vallée.
- Both, J.-F., Da Cunha, A., & Mager, C. (2003). Evaluation du territoire, développement durable et indicateurs: un pragmatisme raisonné. Dans A. Da Cunha, & J. Ruegg, *Développement durable et aménagement du territoire* (pp. 221-237). Lausanne: Presses Polytechnique et universitaires Romandes.
- Boulanger, P.-M. (2004). Les indicateurs de développement : un défi scientifique, un enjeu démocratique. (12).
- Boulanger, P.-M., Thomas, P.-Y., van Assche, J., & De Ridder, B. (2003). *Mesurer le développement durable en Belgique: quels rôles pour les processus participatifs?* IDD :

-
- Institut pour un développement durable, Etude réalisée à la demande du Conseil fédéral du développement durable.
- Bovar, O., Demotes-Mainard, M., Dormoy, C., Gasnier, L., Marcus, V., Panier, I., et al. (2008). Les indicateurs de développement durable. *L'économie française*, 51-71.
- Boyé, H. (2009). Dessalement de l'eau de mer : une ressource alternative. *PCM*, 1, 60-65.
- Brown, A., & Matlock, M. D. (2011). *A Review of Water Scarcity Indices and Methodologies*. University of Arkansas The Sustainability Consortium.
- Brown, L. R. (1963). *Man, land and food*. Washington, DC: United States Department of Agriculture.
- Brown, L. R. (1994). *State of the World 1994*. (W. N. Co, Éd.)
- Brundtland, G. H. (1987). *Report of the World Commission on environment and development: "our common future"*. United Nations.
- Büchs, A. (2007). *Les normes de l'eau comme objet d'instrumentalisation des politiques de l'eau : Panorama et perspectives en Méditerranée*. LEPII Laboratoire d'Economie de la production et de l'Intégration internationale, UPMF Université Pierre Mendès-France. CNRS Centre National de la Recherche Scientifique.
- Bunge, M. (1996). *Finding philosophy in social science*. London: Yale University Press.
- Castany, G. (1979). *Principes et méthodes de l'hydrogéologie* (Vol. 236). Dunod.
- Catton, W. R. (1980). *Overshoot: The Ecological Basis of Revolutionary Change*. (U. a. University of Illinois Press, Éd.)
- Catton, W. R. (1993). Carrying Capacity and the Death of a Culture: A Tale of Two Autopsies. *Sociological Inquiry*, 63 (2), 202–223.
- Célérier, J.-L., & Chazelon, J.-C. (2005). *L'alimentation en eau potable*. Cahier technique n°19, Office International de l'Eau, Limoges Cedex.
- CERTU. (2006). *Economie urbaine. Rassemblement de la connaissance*. CERTU.
- CERTU. (2007). *Une introduction à l'approche systémique : Appréhender la complexité*. CERTU : Centre d'Etude sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les constructions publiques, Lyon.
- CERTU. (2012). *La mise en oeuvre d'un SCoT. Indicateurs de suivi*. Direction générale de l'Aménagement du Logement et de la Nature. CERTU.
- CFBR. (2013). *L'histoire des barrages*. Le Bourget-Du-Lac Cedex: Cfbr : Comité français des barrages et réservoirs.

- Cheron, J., & Puzenat, A. (2004). *Les eaux pluviales : récupération, gestion, réutilisation*. Paris: Editions Johannet.
- Chikhr Saïdi, F. (1997). *La crise de l'eau à Alger : une gestion conflictuelle*. Paris: L'Harmattan.
- Cohen, J. E. (1995). How many people can the earth support? *The Sciences* , 35 (6), 18-23.
- Commissariat général au développement durable. (2011). *Repères : Consommation des ménages et environnement*. Service de l'observation et des statistiques. Commissariat général au développement durable.
- Commissariat Général au Développement Durable & DATAR. (2013). *Liste des indicateurs territoriaux de développement durable*. Commissariat Général au Développement Durable & DATAR.
- Communauté urbaine de Bordeaux. (2008). *Services de l'eau et de l'assainissement*. Suez Environnement & Lyonnaise des eaux.
- Condom, N., Lefebvre, M., & Vandome, L. (2012). *La réutilisation des eaux usées traitées en Méditerranée : Retour d'expériences et aide à l'élaboration des projets*. Centre d'activités régionales du PNUE/PAM. Plan Bleu .
- Condom, N., Molle, B., Tomas, S., Olivier, Y., Audouard, M., & Granier, J. (2013). Réutilisation maîtrisée des eaux usées : approfondir les connaissances pour lever les freins et relever les défis. *Sciences Eaux et Territoires* (11), 54 -57.
- Conseil Mondial de l'Eau. (2000). *2ème Forum mondial de l'eau, La Haye, mars 2000 From Vision to Action*. Récupéré sur <http://www.worldwatercouncil.org/fr/forum/la-haye-2000/>
- Cooley, H., & Gleick, P. H. (2009). Urban water-use efficiencies: Lessons from United States cities . *The World's Water* , 101-126.
- Cotruvo, J. V. (2011). *Desalination technology: health and environmental impacts*. CRC Press .
- Cresti, F. (1992). Le système de l'eau à Alger pendant la période ottomane (XVIème-XIXème siècles). (A. Petruccioli, Éd.) *Environmental Design: Journal of the Islamic Environmental Design Research Centre 1-2* , 42-53.
- Daily, G. C., & Ehrlich, P. R. (1992). Population Sustainability, and Earth's Carrying Capacity. *BioScience* , 42 (10), 761-771.
- Daily, G. C., & Ehrlich, P. R. (1996). Socioeconomic equity, sustainability, and Earth's carrying capacity. *Ecological Applications* , 6 (4), 991-1001.

- Dakhia, K., & Berezowska-Azzag, E. (2009). Towards an urban ecosystem sustainability assessment tool. *Second International Conference on Whole Life Urban sustainability and its Assessment* (pp. 722-733). SUE-MOT.
- Dalhuisen, J. M., Florax, R. J., & de Groot, H. L. (2001). *Price and Income Elasticities of Residential Water Demand: Why Empirical Estimates differ*. Tinbergen Institute, Amsterdam and Rotterdam.
- Dalloni, M.-G. (1928). Le problème de l'alimentation en eau potable de la Ville d'Alger. *Bulletin de la Société Géographique d'Alger et de l'Afrique du Nord*, XXIX (113), pp. 1-45.
- Daly, H. E. (1980). *Economics, ecology, ethics: Essays toward a steady-state economy*. (S. F. Freeman, Éd.)
- Daly, H., & Cobb Jr, J. (1989). *For the common good: redirecting the economy toward community, the environment, and a sustainable future*. (M. (. Boston, Éd.)
- De Jouvenel, F. (2009). *La prospective des territoires urbains sensibles : La construction des scénarios, et quelques autres méthodes*. Groupe Futurable, Secrétariat Généra. Comité Interministériel des Villes.
- De Jouvenel, H. (1999). La démarche prospective. Un bref guide méthodologique. *Futuribles*, 47-68.
- De Maria André, D., & Carvalho, J. R. (2014). Spatial Determinants of Urban Residential Water Demand in Fortaleza, Brazil. *Water Resources Management*, 1-14.
- De Marsily, G. (2009). *L'eau, un trésor en partage*. Dunod.
- De Rosnay, J. (1975). *Le microscope - Vers une vision globale*. Paris: Seuil.
- De Voulx, A. (1852). *Tachrifat, recueil de notes historiques sur l'administration de l'ancienne régence d'Alger*.
- Defeyt, P. (2004). *Le social et l'environnement : des indicateurs alternatifs au PIB*. Lille : IDD : Insitiut pour un Développement Durable.
- Délégation de l'union européenne en Algérie. (2015). *Délégation de l'union européenne en Algérie*. Récupéré sur L'Union européenne participe à la 1ère Conférence ministérielle du dialogue 5+5 sur l'eau: http://eeas.europa.eu/delegations/algeria/press_corner/all_news/news/2015/conference_eau_fr.htm
- Desthieux, G. (2005). *Approche systémique et participative du diagnostic urbain. Processus de représentation cognitive du système urbain en vue de l'élaboration d'indicateurs*

- géographiques*. Thèse de doctorat, EPFL : Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne.
- Dhondt, A. (1988). Carrying capacity: a confusing concept. *Acta OEcologica* , 9 (4), 337-346.
- Diamond, J. (2005). *Collapse: How societies choose to fail or succeed*. London: Penguin.
- Djoudar Hallal, D., & Toubal, A. C. (2003). *Etat actuel de l'invasion marine dans la baie d'Alger*.
- Donnadieu, G., & Karsky, M. (2002). *La systémique, penser et agir dans la complexité*. Liaisons.
- Donnadieu, G., Durand, D., Neel, D., Nunez, E., & Saint-Paul, L. (2003). *L'Approche systémique : de quoi s'agit-il*. AFSCET : Association Française des Sciences des Systèmes Cybernétiques, Cognitifs et Techniques.
- Dunglas, J. (2014). *La réutilisation des eaux usées*. Notes de travail n° 5, Académie d'Agriculture de France. Groupe Eau.
- Dupont, A. (1971). *Hydraulique urbaine tome (Vol. I)*. Paris: Eyrolles.
- Durand, D. (1979). *La systémique*. Paris: PUF, coll. « Que sais-je ?
- Durand, D. (2002). *La systémique* (éd. 9e édition). Paris: Que Sais-Je, PUF.
- Durand, D., & Nunez, E. (2002). Pour une pédagogie opérationnelle de l'approche systémique. *Res-Systemica* , 2, 1-9.
- EEA . (2003). *Europe's environment: the third assessment*. EEA : European Environment Agency.
- Ehrlich, P. R., & Ehrlich, A. H. (1990). *The population explosion*. (N. Y. Schuster, Éd.)
- Ehrlich, P. R., & Holdren, J. P. (1971). Impact of Population Growth. (A. A. Science, Éd.) *Science* , 171 (3977), 1212-1217.
- Ehrlich, P., & Holdren, J. P. (1972). A bulletin dialogue on the 'Closing Circle': Critique: One dimensional ecology. *Bulletin of the Atomic Scientists* , 28 (5), 16-27.
- Engelman, R., & LeRoy, P. (1993). *Sustaining water: population and the future of renewable water supplies*. (U. d. Population Action International, Éd.)
- EUROSTAT. (2014). *Statistiques*. (C. européenne, Éditeur) Récupéré sur Commission européenne:
http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/statistics/search_database
- Falkenmark, M. (1989). The massive water scarcity now threatening Africa: why isn't it being addressed? *Ambio* , 18 (2), 112-118.

- Falkenmark, M., & Lundqvist, J. (1998). Towards water security: political determination and human adaptation crucial. *Natural Resources Forum* , 22 (1), 37–51.
- FAO. (2007). *Coping with water scarcity. Challenge of the twenty-first century*. UN-Water. Food and Agriculture Organization.
- FAO. (2015). *AQUASTAT, electronic database. Food and Agriculture Organisation*. Récupéré sur <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm>
- Feng, B., Zhang, Z., & Jia, R. (2003). Research status on water resources carrying capacity. *Yellow River* , 25 (11), 32-34.
- Feng, L.-H., Zhang, X.-C., & Luo, G.-Y. (2008). Application of system dynamics in analyzing the carrying capacity of water resources in Yiwu City, China. *Mathematics and Computers in Simulation* , 79 (3), 269–278.
- Fossat, J., Pelletier, D., & Levrel, H. (2009). *Projet Système d'Information sur la Nature et les Paysages, volet mer (SINP-mer). Synthèse des indicateurs institutionnels de biodiversité marine et côtière*. Ifremer. Département Sciences et Technologie Halieutiques.
- Franck, R. (1994). Introduction générale. Dans A.-M. Aish-van Vaerenbergh, & R. Franck, *Faut-il chercher aux causes une raison?: l'explication causale dans les sciences humaines* (pp. 1-18). Lyon: J. Vrin.
- Fusco, G. (2005). *Un modèle systémique d'indicateurs pour la durabilité de la mobilité urbaine : Les cas de Nice et Gêne dans une comparaison internationale*. Thèse de doctorat, Université de Nice-Sophia Antipolis-Politecnico di Milano.
- Galland, F. (2008). *Géopolitique du dessalement*. Fondation pour la Recherche Stratégique. Editions du CNRS.
- Gallopin, G. C. (1997). Indicators and their use: information for decision-making. Dans B. Moldan, S. Billharz, & R. Matravers, *Sustainability Indicators: A Report on the Project on Indicators of Sustainable Development* (pp. 13-27). England: SCOPE 58, John Wiley & Sons, Chichester.
- Gangbazo, G. (2004). *Gestion intégrée de l'eau par bassin versant : concepts et application*. Environnement Québec.
- GGA Gouvernorat du Grand Alger. (1997). *Alger, capitale du 21ième siècle. Le grand projet urbain de la capitale*. (Urbanis, Éd.) Alger: ANEP.
- Gilles, A. (1994). *Éléments de méthodologie et d'analyse statistique pour les sciences*. Montréal: McGraw Hill.
- Giorgi, F. (2006). Climate change hot-spots. *Geophysical Research Letters* , 33 (8), 4.

- GIRE. (2010). *Etude pour l'identification des problèmes, des besoins et des stratégies existantes dans le bassin côtier algérois 02a*. GIRE: Gestion Intégrée des Ressources en Eau dans le bassin hydrographique côtier Algérois 02A.
- Giupponi, C., Mysiak, J., Fassio, A., & Cogan, V. (2004). MULINO-DSS: a computer tool for sustainable use of water resources at the catchment scale. *Math. Comput. Simulat.* , 64, 13-24.
- Gleick, P. H. (1993). *Water in crisis: A guide to the world's fresh water resources*. Oxford University Press, Oxford, UK. Oxford: Oxford University Press, Oxford, UK.
- Gleick, P. H. (1996). Basic water requirements for human activities: meeting basic needs. *Water* , 21 (2), 83-92.
- Global Leaders of Tomorrow Environment Task Force, World Economic Forum. (2002). *2002 Environmental Sustainability Index*. Yale Center for Environmental Law and Policy.
- Gober, P., Wentz, E. A., Lant, T., Tschudi, M. K., & Kirkwood, C. W. (2011). WaterSim: a simulation model for urban water planning in Phoenix, Arizona, USA. *Environment and Planning B: Planning and Design* , 38, 197- 215.
- Godet, M., & Durance, P. (2011). *La prospective stratégique pour les entreprises et les territoires*. Paris: Dunod.
- Godet, M., & Monti, R. (1999). *Scenarios and Strategies: a toolbox for scenario planning, Laboratory for Investigation in Prospective and Strategy: Toolbox*.
- Godschalk, D. R., & Axler, N. (1977). Carrying capacity applications in growth management: a reconnaissance. *National Technical Information Service* .
- Godschalk, D. R., & Parker, F. H. (1975). Carrying capacity: a key to environmental planning?. *Journal of soil and water conservation*. *Journal of soil and water conservation* , 160-165.
- Golvin, L. (1988). *Palais et demeures d'Alger à la période ottomane*. Edisud.
- Grafton, R. Q., Ward, M. B., To, H., & Kompas, T. (2011). Determinants of residential water consumption: Evidence and analysis from a 10-country household survey. *Water Resources Research* , 47 (8).
- Graymore, M. (2005). *Journey to Sustainability : Small regions, sustainable carrying capacity and sustainability assessment methods"*. Thèse de Doctorat, Griffith University, Australie.
- Groupe Banque mondiale. (2015, Janvier). *Données*. Consulté le Janvier 09, 2015, sur Groupe Banque mondiale: <http://donnees.banquemondiale.org/theme/developpement-urbain>

- Groupe de la banque africaine de développement. (2000). *indicateurs sectoriels et indicateurs de performance de projet dans le sous-secteur de l'adduction d'eau et de l'assainissement*. département de l'évaluation des opérations (OPEV). Groupe de la banque africaine de développement.
- GTZ. (2009). *Indicateurs pour une gestion durable des ressources en eau*. Ministère de l'environnement et du développement durable. République Tunisienne. GTZ : Gesellschaft für technische Zusammenarbeit.
- Guyot-Duclos, R. C. (1840). *Mémoire sur les eaux qui alimentent la ville d'Alger*. Archives du Génie au Service historique de l'Armée de terre de Vicennes, Alger.
- GWP. (2010, Mars 25). *What is IWRM?* Consulté le 11 06, 2014, sur Global Water Partnership: <http://www.gwp.org/#>
- 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. (ELSEVIER, Éd.) *Land Use Policy* , 199–213.
- Hadwen, I. A., & Palmer, L. J. (1922). *Reindeer in Alaska*. Washington: US Department of Agriculture.
- Hardin, G. (1968). The tragedy of the commons. *science*, 1968, vol. 162, no 3859, p. 1243-1248. *Science* , 162 (3859), 1243-1248.
- Hardin, G. (1986). Cultural carrying capacity: a biological approach to human problems. *BioScience* , 36 (9), 599-606.
- Hardin, G. (1986). Cultural carrying capacity: a biological approach to human problems. *BioScience* , 36 (9), 599-606.
- Hardin, G. (1991). Paramount positions in ecological economics. *Ecological economics: The science and management of sustainability* , 47-57.
- Harribey, J.-M. (2007, Mars). Développement, Croissance et Environnement. La théorie de la décroissance : enjeux et limites. *Développement et Environnement. Cahiers Français* . , pp. 20-26.
- Harris, J. M., & Kennedy, S. (1999). Carrying capacity in Agriculture: Globe and Regional issues. *Ecological Economics* , 29 (3), 443-461.
- Heady, H. F. (1975). *Rangeland management*. McGraw-Hill, New-York.
- Heinzmann, B. (2004). Measures to minimize water consumption and water losses-case study of Berlin. *Practises end expriences of water and wastewater technology* .

- Herrington, P. (1996). *Climate Change and the Demand for Water*. London: HM Stationery Office.
- Hoekstra, A. Y., & Chapagain, A. K. (2007). Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern. *Water resources management*, 21 (1), 35-48.
- Holling, C. S., & Goldberg, M. A. (1971). Ecology and planning. *Journal of the American Institute of Planners*, 37 (4), 221-230.
- House-Peters, L., Pratt, B., & Chang, H. (2010). Effects of Urban Spatial Structure, Sociodemographics, and Climate on Residential Water Consumption in Hillsboro, Oregon. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 46 (3), 461-472.
- Howard, G., & Bartram, J. (2003). *Domestic Water Quantity, Service Level and Health*. WHO World Health Organisation.
- IBGE. (2000). *Structuration de l'information environnementale, le modèle DPSIR et son application au milieu urbain. Approche méthodologique et application à la région de Bruxelles-Capitale*. IBGE. Institut Bruxellois de Gestion de l'Environnement.
- Ibn Hawqel, M. (977). *La Configuration de la Terre* (éd. réédité par El-Hayat Editions à Beyrouth en 1992).
- Ibn Khaldoun, A. (1377). *Les Prolégomènes* (Vol. II). (B. D. William Mac Guckin, Trad.) Tihert: Librairie orientaliste Paul Geuthner, Paris, 1934 (réimpression de 1996).
- IBNET. (2013). *IBNET Indicators*. Récupéré sur IBNET: International Benchmarking Network for water and sanitation utilities: http://www.ib-net.org/fr/country_map.php
- ICOLD. (1997). *Position Paper on Dams and the Environment*. Paris: International Commission on Large Dams.
- IME. (2010). *Conception et gestion durable des barrages en Méditerranée : Rapport Régional sur la gestion des sédiments dans les barrages en Méditerranée*. IME : Institut Méditerranéen de l'Eau, Marseille.
- Indian Institute of Technology Guwahati. (2011-2012). *Urban Carrying Capacity : concept & calculation*.
- Jemmali, H. (2013). Mesures de la pauvreté en eau : analyse comparative et développement de l'indice de pauvreté en eau. *ertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement [En ligne]*, 13 (2).
- Jiménez Cisneros, B. E., Ok, T., Arnell, N. W., Benito, G., Cogley, J. G., Döll, P., et al. (2014). Freshwater Resources. Dans C. B. Field, V. R. Barros, D. J. Dokken, K. J. Mach, & M. D. Mastrandrea, *Climate change 2014: Impacts, Adaptation and*

-
- Vulnerability* (Vol. Part A: Global and Sectoral Aspects, pp. 229-269). New York: IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Joardar, S. (1998). Carrying capacities and standards as bases towards urban infrastructure planning in India: A case of urban water supply and sanitation. *Habitat International* , 22 (3), 327–337.
- Jonas, H. (1985). *The imperative of responsibility: In search of an ethics for the technological age*. Chicago: University of Chicago Press.
- Jorgensen, B., Graymore, M., & O'Toole, K. (2009). Household water use behavior: An integrated model. *Journal of environmental management* , 91 (1), 227-236.
- Julien, P.-A., Lamonde, P., & Latouche, D. (1975). *La méthode des scénarios, une réflexion sur la démarche et la théorie de la prospective*. Paris: La Documentation française.
- Kaufmann, D., Kraay, A., & Mastruzzi, M. (2010). *The Worldwide Governance Indicators. Methodology and Analytical Issues*. The World Bank Development Research Group Macroeconomics and Growth Team.
- Kellis, M., Kalavrouziotis, I., & Gikas, P. (2013). Review of wastewater reuse in the mediterranean countries focusing on regulations and policies for municipal and industrial applications. *Global NEST Journal* , 15 (3), 333-350.
- Kertous, M. (2012). La demande en eau potable est-elle élastique au prix? Le cas de la wilaya de Béjaïa. *Revue d'économie du développement* , 26 (1), 97-126.
- Kettab, A. (2001). Les ressources en eau en Algérie: stratégies, enjeux et vision. *Desalination* , 136 (1), 25-33.
- Khanna, P., Ram Babu, P., & Suju George, M. (1999). Carrying-capacity as a basis for sustainable development a case study of National Capital Region in India. (Elsevier, Éd.) *Progress in Planning* , 52 (2), 101–166.
- Kligbeil, R., & El khawand, M. (2014). *Treated wastewater as unconventional water resources : Examples from Mena Region*. Muscat: ESCWA : United Nations Economic and Social Commission of Western Asia.
- Knapp, J. (1995). Water use in arid and semiarid regions: In the hands of local and watershed-level managers. *Journal of Soil and Water Conservation* , 50 (5), 412-423.
- Koch, P. (1969). *Alimentation en eau des agglomérations*. Paris: Dunod.
- Kozłowski, J., & Hill, G. (1993). *Towards planning for sustainable development: a guide for the Ultimate Environmental Threshold (UET) method*. Aldershot, England: Averbury.

-
- Kraemer, R. A., & Kahlenborn, W. (1997). *Sustainable Water Management: the Experience in Germany*. Berlin: Ecologic.
- Kundzewicz, Z., Mata, L., Arnell, N., Döll, P., Jimenez, B., Miller, K., et al. (2008). The implications of projected climate change for freshwater resources and their management. *Hydrological Sciences-Journal* , 53 (1).
- Kuylenstierna, J. L., Björklund, G., & Najlis, P. (1997). Sustainable water future with global implications: everyone's responsibility. *Natural Resources Forum* , 21 (3), 181–190.
- Lane, M. (2010). The carrying capacity imperative: Assessing regional carrying capacity methodologies for sustainable land-use planning. *Land Use Policy* , 27 (4), 1038-1045.
- Larid, M. (2003). *Analyse de durabilité dans le cadre du PAC « Zone côtière algéroise » (Algérie)*. Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement. PNUE, PPlan Bleu.
- Lazarsfeld, P. F. (1958). Evidence and Inference in Social Research. *Daedalus* , 87 (4), 99-130.
- Lazzeri, Y. (2008). La mesure du développement durable : expériences et questionnements. *Responsabilité & Environnement* , 4 (52), 31-36.
- Le Moigne, J.-L. (1977). *La théorie du système général: théorie de la modélisation*. Paris: PUF.
- Lemelin, A. (2004). *Méthodes quantitatives des sciences sociales appliquées aux études urbaines et régionales*. Montréal: INRS-UCS.
- Lenski, G. E., Lenski, J., & Nolan, P. (1978). *Human societies: An introduction to macrosociology*. (McGraw-Hill, Éd.)
- Léon L'Africain, J. (1520). *Description de l'Afrique* (éd. NOUVELLE ÉDITION ANNOTÉE par Charles SCHEFER en 1898). (E. LEROUX, Éd.) Paris.
- Lespès, R. (1930). *Alger: Etude de géographie et d'histoire urbaines*. Paris: LIBRAIRIE FÉLIX ALCAN. 1830-1930. Collection du Centenaire de l'Algérie. Géographie.
- Lévêque, C. (2009). Recherche et Développement Durable : l'utopie d'une approche systémique. Dans B. Villalba, *Appropriations du développement durable: émergences, diffusions, traductions* (pp. 123-144). Villeneuve d'Ascq: Presses Universitaires de Septentrion.
- Lévêque, C., Van Der Leeuw, S., & Reynier, I. (2003). *Quelles natures voulons-nous?: pour une approche socio-écologique du champ de l'environnement*. Paris: Elsevier.

- Levine, A. D., & Asano, T. (2004). Recovering Sustainable Water from Wastewater: Society no longer has the luxury of using water only once. *Environmental Science & Technology*, 38 (11), 201-208.
- Li, L., Guo, H., & Chen, B. (2000). Water resources supporting capacity of Chaidamu Basin. (20–23, Éd.) *Environ. Sci.*, 21.
- Li, X.-G., Wei, X., & Lu, Y.-D. (2010). Optimising the allocation of groundwater carrying capacity in a data-scarce region. *Water SA*, 36, 451-460.
- Liu, H. (2012). Comprehensive carrying capacity of the urban agglomeration in the Yangtze River Delta, China. *Habitat International*, 36, 462-470.
- Liu, S., & Chen, J. (2007). Water resources carrying capacity based on the theory of ANN. *Resour. Sci.*, 29, 99–105.
- MacDonald, M., & Partners. (1992). *Etude de l'aménagement hydro-agricole de la Plaine de la Mitidja*.
- Malthus, T. R. (1798). *An Essay on the Principle of Population*. London : J.M.Dent & Sons.
- Margat, J. (2005). Quels indicateurs pertinents de la pénurie d'eau ? *Géocarrefour*, 80 (4).
- Margat, J., & Vallée, D. (1997). Démographie en Méditerranée. (D. B. CIHEAM, Éd.) *Options Méditerranéennes, Série A*, 31, 3-16.
- Maslow, A. H. (1943). A theory of human motivation. *Psychological review*, 50 (4), 370-396.
- MATE. (2001). *Elaboration de la stratégie et du plan d'action national des changements climatiques*. MATE : Ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement.
- MATET. (2008). *Schéma Directeur d'Aménagement Touristique SDAT 2025*. Livre 4. La mise en oeuvre du SDAT 2025 : Le plan opérationnel: MATET : Ministère de l'Aménagement du Territoire de l'Environnement et du Tourisme.
- Matzdorf, F., & Ramage, M. (1999). Out of the box - into the future. *Organisations and People*, 6 (3), 29-34.
- Mayster, L. Y. (1997). Une démarche pour négocier les décisions relatives à l'aménagement des territoires et à la gestion de l'environnement. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 1 (4), 248-256.
- McHarg, I. L. (1969). *Design With Nature*. (N. Y. History, Éd.)
- Meadows, D. (1998). *Indicators and Information System for Sustainable Development*. A report to the Balaton, The Sustainability Institute, Hartland.

- Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J., & Behrens III, W. W. (1972). *The limits to growth*. (N. Y. books, Éd.)
- Mélèse, J. (1979). *Approches systémiques des organisations vers l'entreprise à complexité humaine*. Éditions Hommes et techniques.
- Météo Algérie. (2012, Décembre 17). *Office Nationale de la Météorologie*. Récupéré sur Climat en Algérie: <http://www.meteo.dz/>
- Meyer, P. S., & Ausubel, J. H. (1999). Carrying Capacity: A Model with Logistically Varying Limits. *Technological Forecasting and Social Change*, 61 (3), 209-214.
- Ming, L. (2011). The Prediction and Analysis of Water Resource Carrying Capacity in Chongqing Metropolitan, China. *Procedia Environmental Sciences* (10), 2233 – 2239.
- Missoum, S. (2003). *Alger à l'époque ottomane : La médiba et la maison traditionnelle*. Aix-en-Provence: Edisud INAS.
- Mohellebi, A. (2013, septembre 28). *Tizi Ouzou : Deux nouveaux barrages à Bounachi et Zaouia*. Récupéré sur Afrikinfos: <http://fr.afrikinfos.com/#>
- 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 (3), 231-246.
- Mozas, M., & Ghosn, A. (2013). *État des lieux du secteur de l'eau en Algérie*. IPEMED : Institut de Prospective Economique du Monde Méditerranéen.
- MRE. (2012). *Le Plan d'Action 2010-2014*. MRE : Ministère des Ressources en Eau.
- Nace, R. L. (1969). *L'eau et l'homme : aperçu mondial*. Paris: Unesco.
- Naimi-Ait-Aoudia, M., & Berezowska-Azzag, E. (2014). Algiers carrying capacity with respect to per capita domestic water use. *Sustainable Cities and Society*, 13, 1–11.
- Naimi-Ait-Aoudia, M., & Berezowska-Azzag, E. (2014). Household water consumption in Algiers facing population growth. *Water and Cities, Managing a Vital Relationship* (pp. 871-882). Gdansk, Poland: Proceedings of the 50th ISOCARP Congress, Urban Transformations, Cities and water.
- National Institute of Urban Affairs, New Delhi. (1997). *Carrying Capacity Based Regional Planning*. Institute for Housing and Urban Development Studies, Rotterdam, The Netherland.
- Nations Unies. (1992). *Nations Unies. Développement Durable*. Consulté le Novembre 13, 2014, sur Action 21 : <http://www.un.org/french/ga/special/sids/agenda21/action18.htm>

-
- Nations Unies. (2000). *Déclaration du Millénaire*. Consulté le 11 21, 2014, sur Nations Unies: <http://www.un.org/french/millenaire/ares552f.htm>
- Nouaceur, Z., Laignel, B., & Turki, I. (2013). Changements climatiques au Maghreb : vers des conditions plus humides et plus chaudes sur le littoral algérien ? *Physio-Géo [En ligne]*, 7.
- NRC. (2002). *A Review of the Florida Keys Carrying Capacity Study*. NRC:National Research Council.
- NYCDEP : New York City Department of Environmental Protection. (2013). *History of Drought and Water Consumption*. Récupéré sur <http://www.nyc.gov/html/dep/html/home/home.shtml>
- Observatoire de l'eau et de l'assainissement. (2007). *VADE MECUM des indicateurs de contexte et de performance : Service de l'eau potable*. ONEMA : Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques. Préfecture du territoire de Belfort.
- OCDE. (1993). *CORPS CENTRAL D'INDICATEURS DE L'OCDE POUR LES EXAMENS DES PERFORMANCES ENVIRONNEMENTALES. MONOGRAPHIES SUR L'ENVIRONNEMENT*. Paris: OCDE.
- OCDE. (1998). *La consommation de l'eau et la gestion durable des ressources en eau*. OCED : Organisation de Coopération et de Développement Economique, Paris.
- OCDE. (1998). *Vers un développement durable : Indicateurs d'environnement*. OCED : Organisation de Coopération et de Développement Economiques, Paris.
- OCDE. (2009). *De l'eau pour tous : Perspectives de l'OCDE sur la tarification et le financement*. OCDE : Organisation de Coopération et de Développement Économiques.
- OCDE. (2011). *Politique de l'environnement et comportement des ménages*. OCDE : Organisation de Coopération et de Développement Économiques.
- OCED. (1998). *Gestion de l'eau. Performances et défis dans les pays de l'OCDE*. OCED : Organisation de Coopération et de Développement Economique.
- Odum, H. T. (1996). *Environmental accounting: EMERGY and environmental decision making*. New York: John Wiley & Sons.
- Odum, H., Brown, M., & Costanza, R. (1975). Developing a steady state for man and land; regional planning. *Proceedings of International Congress of Scientists on the Human Environment* (pp. 343-361). Kyoto, Japan: Science Council of Japan.
- Oh, K., Jeong, Y., Lee, D., Lee, W., & Choi, J. (2005). Determining development density using the Urban Carrying Capacity Assessment System. *Landscape and urban Planning*, 73 (1), 1-15.

- Ohlsson, L. (2000). Water conflicts and social resource scarcity. (Elsevier, Éd.) *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere* , 25 (3), 213–220.
- Ohlsson, L., & Turton, A. (1999). *The Turning of a Screw: Social Resource Scarcity as a Bottle-Neck in Adaptation to Water Scarcity*. University of London, School of Oriental and African Studies Water Study Group.
- OMS . (2008). *La santé et les services d'approvisionnement en eau de boisson salubre et d'assainissement de base*.
- OMS. (2014). *Global Health Observatory Data Repository*. Récupéré sur World Health Organization: <http://apps.who.int/gho/data/node.imr>
- OMS/UNICEF. (2000). *Rapport sur l'évaluation de la situation mondiale de l'approvisionnement en eau et de l'assainissement en 2000*. OMS/UNICEF.
- Onishi, T. (1994). A capacity approach for sustainable urban development: an empirical study. *Regional studies* , 28 (1), 39-51.
- ONS. (2014). *Enquête sur les dépenses de consommation et le niveau de vie des ménages : Dépenses de consommation des ménages algériens en 2011*. La Direction technique chargée des statistiques sociales et des revenus. ONS : Office National des Statistiques.
- ONU. (2015, janvier). *World Population Prospects: The 2012 Revision*. Consulté le janvier 9, 2015, sur United Nations Department of Economic and Social Affairs: <http://esa.un.org/unpd/wpp/Excel-Data/population.htm>
- Ouyang, Y., Wentz, E. A., Ruddell, B. L., & Harlan, S. L. (2014). A Multi-Scale Analysis of Single-Family Residential Water Use in the Phoenix Metropolitan Area. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association* , 50 (2), 448–467.
- PAC. (2004). *Gestion intégrée des ressources en eau et assainissement liquide : Diagnostic*. PAC : Programme d'Aménagement Côtier "Zone côtière algéroise".
- PDAU d'Alger. (2010). *Orientations stratégiques, axes de développement et projets structurants - développement économique*. Alger: Wilaya d'Alger.
- PDAU d'Alger. (2010). *Stratégie et schéma d'aménagement de l'assainissement, réseaux et rivières*. Wilaya d'Alger.
- PDAU d'Alger. (2010). *Stratégie et schéma d'aménagement de l'habitat et des équipements collectifs*. Alger: Wilaya d'Alger.
- PDAU d'Alger. (2010). *Stratégie et schéma d'aménagement des espaces naturels, agricoles et patrimoniaux remarquables*. Wilaya d'Alger.

- PDAU d'Alger. (2010). *Stratégie et schéma d'aménagement des espaces naturels, agricoles et patrimoniaux remarquables*. Wilaya d'Alger.
- PDAU d'ALGER. (2011). *Rapport d'orientation*. Alger: Wilaya d'Alger.
- Penck, A. (1925). Das Hauptproblem der physischen Anthropogeographie. *Zeitschrift für Geopolitik* 2 , 330–348.
- Penck, A. (1925). Das Hauptproblem der physischen Anthropogeographie. *Zeitschrift für Geopolitik* , 2 (330–348).
- Perraud, A. (2005). *La réutilisation des eaux pluviales en milieu urbain*. ENGREF. Ecole Nationale du Génie Rural des eaux et des Forêts.
- Piaget, J. (1968). *Le Structuralisme*. Paris: coll Que sais-je ? P.U.F.
- Picouet, M. (2001). Population, environnement et développement. Dans A. Lery, & P. Vimard, *Population et développement : Les principaux en jeux cinq ans après la conférence du Caire* (pp. 13-23). Paris: Les Documents et Manuels du CEPED n°12.
- Pigeon, P. (2007). *L'environnement au défi de l'urbanisation*. Rennes: Presses Universitaires de Rennes.
- Pingault, N., & Préault, B. (2007, Septembre). Indicateurs de développement durable : Un outil de diagnostic et d'aide à la décision. *Notes et études économiques* , 7-43.
- Pingault, N., & Préault, B. (2007). Indicateurs de développement durable: un outil de diagnostic et d'aide à la décision. *Notes et études économiques* (28), 7-43.
- Pirotton, G. (2005). *Introduction à la systémique : Boîte à outils conceptuels pour aider à la réflexion, la formation et l'action des écologistes et de tous ceux qui sont tentés par une compréhension globale de la complexité*. etopia : centre d'animation et de recherche en écologie politique.
- Planetoscope. (2012). Récupéré sur Planetoscope. Statistiques mondiales en temps réel: <http://www.planetoscope.com/mortalite/213-nombre-d-enfants-qui-meurent-faute-d-eau-potable.html>
- Plummer, J., & Slaymaker, T. (2007). *Rethinking governance in water services*. London : Overseas Development Institute.
- PNUE. (2006). *Fiches méthodologiques des 34 indicateurs prioritaires pour le suivi de la Stratégie Méditerranéenne pour le Développement Durable*. Plan Bleu. PNUE.
- PNUE, Centre d'activités régionales du Plan Bleu. (1996). *Méthodes et outils pour les études systémiques et prospectives en Méditerranée*. PNUE : Programme des Nations Unies pour l'Environnement, Sophia Antipolis.

- Promesse. Ecotourisme et développement en Camargue. (s.d.). *Fiche récupération des eaux pluviales*. Consulté le 11 7, 2014, sur Promesse. Ecotourisme et développement en camargue: http://www.life-promesse.org/telechargements/fiche_recuperation_des_eaux_pluviales
- Pulliam, H. R., & Haddad, N. M. (1994). Human population growth and the carrying capacity concept. *Bulletin of the Ecological Society of America* , 75 (3), 141-157.
- Ramade, F. (2003). *Eléments d'écologie: Ecologie fondamentale*. Paris: Dunod.
- Rao, S., & Chennamaneni, R. (2007). *Assessment of Urban Carrying Capacity. A Case Study of Environmental and Institutional Implications for Water Resource Management in Hyderabad*. Humboldt University Berlin. Institute for Agricultural Economics and Social Sciences>Analysis and Action for Sustainable Development of Hyderabad.
- Raskin, P. D., Hansen, E., & Margolis, R. M. (1996). Water and sustainability. *Natural Resources Forum* , 20 (1), 1–15.
- Raymond, A. (1985). *Grandes villes arabes à l'époque ottomane*. Paris: Sindbad.
- Rees, W. E. (1992). Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out. *Environment and Urbanization* , 4 (2), 121-130.
- Rees, W. E. (1999). FORUM: Consuming the earth: the biophysics of sustainability. *Ecological Economics* , 29 (1), 23–27.
- Rees, W. E., & Wackernagel, M. (1992). *Ecological Footprints and Appropriated Carrying Capacity: Measuring the Natural Capital Requirements of the Human Economy*. University of British Columbia, School of Community and Regional Planning.
- Rees, W., & Wackernagel, M. (1996). Urban ecological footprints: why cities cannot be sustainable—and why they are a key to sustainability. *Environmental impact assessment review* , 16 (4), 223-248.
- Remini, B. (2010). La problématique de l'eau en Algérie du Nord. *Larhyss Journal* (08), 27-46.
- Renwick, M. E., & Archibald, S. O. (1998). Demand side management policies for residential water use: who bears the conservation burden? *Land Economics* , 343-359.
- Repetti, A. (2004). *Un concept de monitoring participatif au service des villes en développement. Approche méthodologique et réalisation d'un observatoire urbain*. EPFL : École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne.
- Rerolle, A. (2010). *Quelle gestion de l'eau pour les pays du Sud ?* CAMPUS PLEIN SUD.

- Rijsberman, F. R. (2006). Water Scarcity: Fact or Fiction? (Elsevier, Éd.) *Agricultural water management* , 80 (1), 5-22.
- Rijsberman, M. A., & van de Ven, F. H. (2000). Different approaches to assessment of design and management of sustainable urban water systems. *Environmental Impact Assessment Review* , 20 (3), 333–345.
- Ritchey, T. (2006). Problem structuring using computer-aided morphological analysis. . *Journal of the Operational Research Society* . , 57 (7), 792-801.
- Rockaway, T. D., Coomes, P. A., Rivard, J., & Kornstein, B. (2011). Residential Water Use Trends in North America. *Journal - American Water Works Association* , 103 (2), 76-89.
- Rondier, P. (2007). Un système d'indicateurs d'étalement urbain : des enjeux d'utilité et de complexité. *3e colloque étudiant de l'IHQEDS. Différentes perspectives pour un même but : un meilleur environnement* (pp. 45-49). Laval: Université Laval.
- Rondier, P. (2012). *Comment structurer le problème de l'étalement urbain? Une approche concertée pour représenter la complexité territoriale*. Laval: Université Laval.
- Sahely, H. R., Kennedy, C. A., & Adams, B. J. (2005). Developing sustainability criteria for urban infrastructure systems. *Canadian Journal of Civil Engineering* , 32 (1), 72-85.
- Saint-Just, A. (2011). *Dessalement de l'eau de mer et crise de l'eau*. Centre d'Etudes Supérieures de la Marine.
- Schleich, J., & Hillenbrand, T. (2009). Determinants of residential water demand in Germany. *Ecological Economics* , 68 (6), 1756–1769.
- Schneider, D. M., Godschalk, D. R., & Axler, N. (1978). *The carrying capacity concept as a planning tool* (Vol. 338). (I. American Planning Association (Chicago, Éd.)
- SDAAM. (2010). *Volume I. Ressources et espaces naturels*. Schéma Directeur d'Aménagement de l'Aire Métropolitaine d'Alger.
- Seidl, I., & Tisdell, C. A. (1999). Carrying capacity reconsidered: from Malthus' population theory to cultural carrying capacity. *Ecological Economics* , 31 (3), 395-408.
- Seidl, I., & Tisdell, C. A. (1999). Carrying capacity reconsidered: from Malthus' population theory to cultural carrying capacity. *Ecological Economics* , 31 (3), 395-408.
- Seidl, I., & Tisdell, C. A. (1999). Carrying capacity reconsidered: from Malthus' population theory to cultural carrying capacity. *Ecological Economics* , 31 (3), 395-408.
- Shi, Y., & Qu, Y. (1992). Carrying Capacity of Water Resources in Urumqi River Basin and its Rational Utilization. *Science Press, Beijing* , 128–139.

- Shiklomanov, I. A. (1998). *World water resources. A new appraisal and assessment for the 21st century*. Paris: UNESCO.
- Shiklomanov, I. A. (2000). Appraisal and assessment of world water resources. *Water internationa* , 25 (1), 11-32.
- Shiklomanov, I. A., & Rodda, J. C. (2003). *World water resources at the beginning of the twenty-first century* (Vol. 13). (I. A. Shiklomanov, & J. C. Rodda, Éds.) Cambridge University Press.
- Siret, F. (2005). Recyclage des eaux pluviales : une technique prometteuse à manier avec prudence. *Le Moniteur des Travaux Publics et du Bâtiment* (5287), 78-82.
- Slavíková, L., Malý, V., Rost, M. P., & Vojáček, O. (2013). Impacts of climate variables on residential water consumption in the Czech Republic . *Water Resources Management* , 27 (2), 365-379.
- Smeets, E., & Weterings, R. (1999). *Environmental indicators: Typology and overview*. EEA : European Environment Agency, Copenhagen.
- SOGREAH. (2010). *Lutte contre l'intrusion marine en baie d'Alger*. MINISTERE DES RESSOURCES EN EAUX - ANRH.
- SOGREAH. (2010). *Lutte contre l'intrusion marine en baie d'Alger*. MINISTERE DES RESSOURCES EN EAUX - ANRH.
- Song, X.-m., Kong, F.-z., & Zhan, C.-s. (2011). Assessment of Water Resources Carrying Capacity in Tianjin City of China. *Water Resources Management* , 25, 857-873.
- Song, X.-m., Kong, F.-z., & Zhan, C.-s. (2011). Assessment of Water Resources Carrying Capacity in Tianjin City of China. *Water Resour Manage* , 25, 857-873.
- Spangenberg, J. H., Pfahl, S., & Deller, K. (2002). Towards indicators for institutional sustainability: lessons from an analysis of Agenda 21. *Ecological Indicators* , 2 (1), 61-77.
- Starr, C., & McMillan, B. (2013). *Human Biology*. Cengage Learning.
- Statistiques mondiales. (2015, Janvier). *Croissance de la population mondiale*. Consulté le Janvier 9, 2015, sur Atlas mondial. Statistiques par pays: http://www.statistiques-mondiales.com/croissance_population.htm
- Stevens, C. (2006). Mesurer le développement durable. (OCDE, Éd.) *Cahiers statistiques* (10), 1-8.
- Stoker, P., & Rorthfeder, R. (2014). Drivers of urban water use. *Sustainable Cities and Society* , 12, 1-8.

- Sullivan, C. (2002). Calculating a Water Poverty Index. (Elsevier, Éd.) *World Development*, 30 (7), 1195–1210.
- Sullivan, C. A., Meigh, J. R., Giacomello, A. M., Fediw, T., Lawrence, P., Samad, M., et al. (2003). The water poverty index: development and application at the community scale. *Natural Resources Forum*, 27 (3), 189-199.
- Tanguay, G. A., Rajaonson, J., Lefebvre, J. F., & Lanoie, P. (2009). *Measuring the sustainability of cities: A survey-Based Analysis of the Use of Local Indicators*. CIRANO : Centre Interuniversitaire de Recherche en Analyse des Organisation, Montréal.
- Thivet, G., & Fernandez, S. (2012). *La gestion de la demande en eau : L'expérience méditerranéenne*. Global Water Parnership. Plan Bleu.
- Toubal, A. C. (1998). *pproche géophysique des problèmes d'hydrodynamique et d'invasion marine en milieu souterrain. Exemple des plaines d'Annaba, de la Mitidja et de a baie d'Alger*. Thèse de doctorat, USTHB/Alger, Alger.
- UKEA the United Kingdom Environment Agency by Aquaterra. (2008). *Water and the environment, International comparisons of domestic per capita consumption*.
- UNDESA. (2012). *United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division, World Urbanisation Prospects: The 2011 Revision*. CD-ROM Editions.
- UNESCO. (2014). *Indicateurs du Rapport mondial sur la mise en valeur des ressources en eau*. Récupéré sur UNESCO : Organisation des Nations Unies pour l'éducatons, la science et la culture: http://webworld.unesco.org/water/wwap/wwdr/indicators/wwdr_indicators_fr.shtml
- United Nations. (2007). *Indicators of Sustainable Development: Guidelines and Methodologies*. New York: United Nations.
- United Nations. (2013). *World Population Prospects : The 2012 Revision (Vol. Volume I: Comprehensive Tables)*. New York: United Nations.
- Verhulst, P. F. (1838). Notice sur la loi que la population suit dans son accroissement. Correspondance Mathématique et Physique. (A. Quetelet, Éd.) *Correspondance Mathématique et Physique* (10), 113–121.
- Vernadsky, V. (1926). *Biosfera* (Vol. 146). Leningrad: Nauchno-techn. Izd.
- Vernadsky, V. (1997). *The Biosphere*. New-York: Collection : A Peter N. Nevraumont Book.
- Vernadsky, V. (2002). *La Biosphère* (Vol. 323). Paris: Seuil.
- Vies de Villes. (2010). *Cinquantenaire : Les projets qui transforment Alger*. HS n°3.

- Vilmin, T. (2008). *L'aménagement urbain en France. Une approche systémique pour construire des stratégies d'aménagement durable*. CERTU, Lyon.
- Vivier, V. B. (2010). *La capacidad de carga en la planeación territorial: una propuesta para su análisis*. México: Instituto Nacional de Ecología.
- Von Bertalanffy, L. (1956). General system theory. *General systems* , 1 (1), 11-17.
- Von Bertalanffy, L. (1968). *General System Theory: Foundations, Development, Applications*. New York: George Braziller Inc.
- Von Stokar, T., Frick, R., Schultz, B., Keiner, M., Rey, M., & Mettan, N. (2001). *Planification directrice cantonale et développement durable*. Berne: Office fédéral du développement territorial (ODT).
- Vörösmarty, C. J., Green, P., Salisbury, J., & Lammers, R. B. (2000). Global Water Resources: Vulnerability from Climate Change and Population Growth. *Science* , 289 (5477), 284-288.
- Wackernagel, M., & Rees, W. (1999). *Notre empreinte écologique*. Montréal, Québec: Les éditions Ecosociété.
- Walski, T. M., Donald, V. C., & Dragan, A. (2001). *Water Distribution Modeling*. Waterbury, CT: Haestad Press.
- Wang, X. (2010). Research review of the ecological carrying capacity. *Journal of Sustainable Development* , 3 (3), 263-265.
- WGP. *Toolbox. Integrated Water Resources Management*. GWP : Global Water Partnership.
- White, C. (2012). *Understanding water scarcity: Definitions and measurement*. Récupéré sur GLOBAL WATER FORUM: <http://www.globalwaterforum.org/2012/05/07/understanding-water-scarcity-definitions-and-measurements/>
- WHO . (2011). *Guidelines for Drinking-water Quality*. WHO: World Health Organization.
- WHO & UNICEF. (2003). *Joint Monitoring Programme on Water Supply and Sanitation (JMP)*. Geneva: World Health Organization and UNICEF.
- WHO World Health Organisation. (1993). *Guidelines for drinking-water quality: Volume 1 Recommendations*. Geneva: WHO.
- WHO World Health Organization. (2011). *Guidelines for Drinking-water Quality*.
- Wisniewski, R. L. (1980). Carrying Capacity: understanding our biological limitations. *Humboldt Journal of Social Relations* , 7 (2), 55-70.

- Witten, J. D. (2001). Carrying Capacity and the Comprehensive Plan: Establishing and Defending Limits to Growth. *Boston College Environmental Affairs Law Review* , 28 (4), 583-608.
- Worldwide Governance Indicators. (2014). *Acces Governance Indicators*. Récupéré sur Worldwide Governance Indicators: <http://info.worldbank.org/governance/wgi/index.aspx#home>
- Xia, J., & Zhu, Y.-Z. (2002). The measurement of water resources security: a study and challenge on water resources carrying capacity. *Journal of Natural Resources* , 17 (3), 262-269.
- Yvette, I. (2002). *Les méthodes d'évaluation de la capacité de charge des destinations touristiques*.
- Zaccarì, E., & Bauler, T. (2004). Les indicateurs pour un développement durable. Dans P.-.. Boulanger, S. Deconinck, M.-C. Godin, & B. Mazyn, *Le dictionnaire du développement durable en Belgique*. Institut pour un Développement Durable – SSTC.
- Zelinsky, W., Kosiński, L. A., & Prothero, R. M. (1970). *Geography and a crowding world*. Oxford University Press.
- Zhang, H. H., & Brown, D. F. (2005). Understanding urban residential water use in Beijing and Tianjin, China. *Habitat International* , 29 (3), 469-491.
- Zhang, Y., Chen, M., Zhou, W., Zhuang, C., & Ouyang, Z. (2010). Evaluating Beijing's human carrying capacity from the perspective of water resource constraints. *Journal of Environmental Sciences* , 22 (8), 1297–1304.
- Zhang, Y., Chen, M., Zhou, W., Zhuang, C., & Ouyang, Z. (2010). Evaluating Beijing's human carrying capacity from the perspective of water resource constraints. *Journal of Environmental Sciences* , 1297–1304.
- Zhongmin, X. (1999). Scenario-Based Framework for Multicriteria Decision Analysis in Water Carrying Capacity. *J. Glaciology and Geocryology* , 21, 100-106.
- Zwicky, F. (1948). The Morphological Method of Analysis and Construction. *Courant Anniversary Volume. Intersciences Publishers: New York* , 461-470.
- Zwicky, F. (1967). The morphological approach to discovery, invention, research and construction. Dans F. Zwicky, & A. G. Wilson, *New methods of thought and procedure* (pp. 273-297). Berlin: Springer.
- Zwicky, F. (1969). *Discovery, Invention, Research - Through the Morphological Approach*. Toronto: The Macmillan Company.

Liste des figures

<i>Figure I.1. Le système de l'eau à Alger pendant la période Ottomane, XIV-XIX siècles.....</i>	<i>18</i>
<i>Figure I.2. Porteur d'eau à la Casbah d'Alger.</i>	<i>19</i>
<i>Figure I.3. Plans d'une maison commune dans la médina d'Alger</i>	<i>20</i>
<i>Figure I.4. Fontaines anciennes à Alger.....</i>	<i>21</i>
<i>Figure I.5. Localisation des entrées des aqueducs, des bains et des fontaines.</i>	<i>22</i>
<i>Figure I.6. Photo du barrage du Hamiz datant de 1905.....</i>	<i>25</i>
<i>Figure I.7. Evolution des limites de la wilaya d'Alger</i>	<i>27</i>
<i>Figure I.8. Consommation journalière en 1992</i>	<i>30</i>
<i>Figure I.9. Consommation journalière en 1999</i>	<i>31</i>
<i>Figure I.10. Les bassins versants en Algérie</i>	<i>35</i>
<i>Figure I.11. Bassins hydrographiques côtier algérois (02a et 02b) et Isser (09).....</i>	<i>35</i>
<i>Figure I.12. Principaux champs de captage.....</i>	<i>39</i>
<i>Figure I.13. Système d'approvisionnement en eau d'Alger.</i>	<i>40</i>
<i>Figure I.14. Réseau de distribution en eau de la wilaya d'Alger.....</i>	<i>41</i>
<i>Figure I.15. Puits artésiens de la ville d'Alger durant l'époque coloniale</i>	<i>42</i>
<i>Figure I.16. Esquisse piézométrique de la nappe de Janvier 2010.....</i>	<i>43</i>
<i>Figure I.17. Coupe géo électrique illustrant l'invasion marine de l'aquifère de la Mitidja.</i>	<i>44</i>
<i>Figure I.18. Menaces sur les nappes phréatiques</i>	<i>46</i>
<i>Figure I.19. Prélèvement par ressource en 2011.</i>	<i>51</i>
<i>Figure I.20. Répartition des volumes alloués par usage en 2011.</i>	<i>52</i>
<i>Figure I.21. Consommation domestique journalière dans certaines villes du monde.</i>	<i>53</i>
<i>Figure I.22. Evolution des besoins en eau domestique à Alger.</i>	<i>54</i>
<i>Figure I.23. Tableau récapitulatif des données relatives à l'eau à Alger.....</i>	<i>57</i>
<i>Figure II.1. Les courbes exponentielles et logistiques de croissance de la population.</i>	<i>61</i>
<i>Figure II.2. Courbes de croissance théorique d'une population.</i>	<i>61</i>
<i>Figure II.3. Modèles de la durabilité : cercles en intersection et cercles concentriques.</i>	<i>64</i>
<i>Figure II.4. La courbe bi-logistique de croissance de la population.....</i>	<i>66</i>
<i>Figure II.5. La relation entre les capacités d'approvisionnement et d'assimilation.....</i>	<i>72</i>
<i>Figure II.6. Vannes de contrôle de la croissance urbaine.</i>	<i>74</i>
<i>Figure II.7. Etat de dépassements des capacités de charge dans le quartier Gangnam</i>	<i>79</i>
<i>Figure II.8. Disponibilité en eau douce</i>	<i>86</i>
<i>Figure II.9. Ressources en eau naturelles par habitant en Espagne et en Turquie (population 1995)</i>	<i>87</i>

Figure II.10. L'IPE dans le monde.....	89
Figure III.1. Interaction société-milieux naturels. Vers une approche systémique.....	94
Figure III.2. Les boucles de rétroactions.....	97
Figure III.3. La triangulation systémique.....	100
Figure III.4. Pyramide des analogies.....	101
Figure III.5. Eléments de la modélisation systémique.....	103
Figure III.6. Etapes de la modélisation systémique d'après Durand (1979).....	104
Figure III.7. Etapes de la modélisation systémique d'après Durand et Nunez (2002).....	105
Figure III.8. Typologie des relations causales.....	109
Figure III.9. Relations hiérarchiques.....	109
Figure III.10. Niveaux d'incertitude de la causalité.....	110
Figure III.11. Réseau bayésien constitué de 2 variables.....	111
Figure III.12. Représentation du système dans une matrice structurelle.....	112
Figure III.13. Graphe d'influence/dépendance des variables.....	113
Figure III.14. Schéma simplifié des relations possibles entre les variables du système.....	113
Figure III.15. Exemple de matrice structurelle précisant la nature des relations du PAC (Malte, 2001).	114
Figure III.16. Schéma systémique et matrice : deux représentations comparables.....	115
Figure III.17. Construction des micro-scénarios et des scénarios globaux.....	118
Figure III.18. Les échelles cardinale (A), ordinale (B) et nominale (C).....	120
Figure III.19. Triangle d'agrégation.....	122
Figure III.20. Indice de développement humain.....	123
Figure III.21. L'indice de développement urbain.....	124
Figure III.22. Processus d'opérationnalisation des concepts en indicateurs.....	126
Figure III.23. Exemple de tableau de bord d'indicateurs.....	131
Figure III.24. Cadres conceptuels PSR et DPSIR.....	132
Figure III.25. Indicateurs Pressions-Etat-Réponses pour le thème Ressources en eau.....	133
Figure III.26. Histogramme.....	134
Figure III.27. Diagramme circulaire.....	135
Figure III.28. Diagramme en courbe.....	135
Figure III.29. Différentes formes de représentation graphique des indicateurs.....	137
Figure IV.1. Méthode d'évaluation de la CCURH.....	141
Figure IV.2. Etapes de la modélisation du système d'indicateurs adoptées dans la recherche.....	142
Figure IV.3. Le système capacité d'approvisionnement en eau dans le cycle urbain de l'eau.....	144
Figure IV.4. Le cycle de l'eau.....	145
Figure IV.5. Schéma de deux bassins versants (en pointillé les lignes de partage des eaux).....	146
Figure IV.6. Diagramme schématique du système de l'eau.....	148
Figure IV.7. La réutilisation des eaux usées épurée dans le cycle d'assainissement.....	150
Figure IV.8. Installation de récupération d'eau de pluie.....	152
Figure IV.9. De la révolution industrielle à la révolution hydraulique.....	153
Figure IV.10. Opérationnalisation du concept.....	160
Figure IV.11. Schéma du modèle sans désagrégation des concepts de la CCURH.....	162

<i>Figure IV.12. Modèle après désagrégation des concepts en dimensions</i>	164
<i>Figure IV.13. Cadre conceptuel de la capacité de charge des ressources hydriques</i>	173
<i>Figure IV.14. Désagrégation du modèle de capacité de charge</i>	174
<i>Figure IV.15. Indicateurs dans le modèle conceptuel de la capacité de charge</i>	177
<i>Figure V.1. Matrice structurelle (MicMac)</i>	182
<i>Figure V.2. Graphe des relations causales (MicMac)</i>	183
<i>Figure V.3. Plan des influences/dépendances directes (MicMac)</i>	187
<i>Figure V.4. Matrice de l'indice vectoriel relatif à la CCURH</i>	192
<i>Figure V.5. Evaluation de l'indice vectoriel de capacité de charge pour la wilaya d'Alger</i>	193
<i>Figure V.6. Micro-scénarios de l'offre</i>	204
<i>Figure V.7. Micro-scénarios de la demande</i>	205
<i>Figure V.8. Scénarios globaux de la capacité de charge</i>	205
<i>Figure V.9. Simulations de capacité de charge – Système actuel</i>	206
<i>Figure V.10. Simulations de capacité de charge – Système intermédiaire</i>	207
<i>Figure V.11. Simulations de capacité de charge – Système optimisé</i>	208
<i>Figure VI.1. Vision stratégique pour Alger</i>	213
<i>Figure VI.2. Modèle territorial de la wilaya d'Alger</i>	214
<i>Figure VI.3. Projets structurants de la wilaya d'Alger</i>	215
<i>Figure VI.4. Carte macro-maillage et projets structurants</i>	216
<i>Figure VI.5. Les six piliers du Master Plan</i>	217
<i>Figure VI.6. Exemples de projets structurants</i>	218
<i>Figure VI.7. Territorialisation des secteurs industriels/filières prioritaires</i>	220
<i>Figure VI.8. Le potentiel agricole et perspectives de développement à Alger à l'horizon 2025</i>	221
<i>Figure VI.9. Capacité de charge et prospective</i>	222
<i>Figure VI.10. Confrontation Offre/Demande du secteur industriel à Alger à l'horizon 2025</i>	223
<i>Figure VI.11. Confrontation Offre/Demande du secteur agricole à Alger à l'horizon 2025</i>	223
<i>Figure VI.12. Barrages en service et barrages projetés dans la région Nord Centre d'Algérie</i>	226
<i>Figure VI.13. Outil d'évaluation dans la planification du développement urbain</i>	229
<i>Figure VI.14. Interactions outil / Acteurs sous tutelle des différents ministères</i>	230

Liste des tableaux

<i>Tableau I.1. Quantité d'eau amenée et distribuée à Alger 1830-1927</i>	24
<i>Tableau I.2. Croissance de la population d'Alger.</i>	28
<i>Tableau I.3. Potentialités de la Mitidja et du Sahel</i>	34
<i>Tableau I.4. Apport en eau de surface des bassins</i>	34
<i>Tableau I.5. Prélèvements totaux par aquifère; destination et usage de l'eau</i>	36
<i>Tableau I.6. Volumes régularisés des barrages; destination et usage de l'eau</i>	37
<i>Tableau I.7. Capacité théorique de production des stations de dessalement</i>	38
<i>Tableau I.8. Qualité des eaux de barrages</i>	45
<i>Tableau I.9. Pluviométrie sur quatre décennies de quelques villes côtières Algériennes</i>	47
<i>Tableau I.10. Envasement des barrages alimentant Alger (dernier levé Bathymétrique, 2005)</i>	49
<i>Tableau I.11. Quantités d'eau allouée à la capitale</i>	51
<i>Tableau I.12. Evolution de la population</i>	54
<i>Tableau II.1. Facteurs déterminants de la capacité de charge urbaine</i>	75
<i>Tableau II.2. Principales méthodes d'évaluation de la capacité de charge humaine</i>	83
<i>Tableau II.3. Seuils de pénurie d'eau proposés par Falkenmark (1989)</i>	86
<i>Tableau III.1. Approche systémique vs Approche analytique</i>	99
<i>Tableau III.2. Indice de durabilité environnementale (extrait)</i>	125
<i>Tableau IV.1. Déterminants de la consommation domestique</i>	155
<i>Tableau IV.2. Niveau de service et quantité d'eau collectée</i>	158
<i>Tableau IV.3. Tableau de définition des composantes du modèle</i>	162
<i>Tableau IV.4. Tableau de définition des dimensions</i>	163
<i>Tableau IV.5. Indicateurs de la dimension Ressources</i>	166
<i>Tableau IV.6. Indicateurs de la dimension Infrastructures</i>	167
<i>Tableau IV.7. Indicateurs de la dimension Gestion de l'eau</i>	168
<i>Tableau IV.8. Indicateurs de la dimension Socio-économique</i>	169
<i>Tableau IV.9. Indicateurs de la dimension Climatique</i>	170
<i>Tableau IV.10. Indicateurs de la dimension Environnement bâti</i>	170
<i>Tableau IV.11. Indicateurs de la dimension Politique de régulation de la demande</i>	171
<i>Tableau IV.12. Consommation domestique à Berlin</i>	172
<i>Tableau IV.13. Indicateurs de la composante déterminants de l'offre</i>	175
<i>Tableau IV.14. Indicateurs de la composante déterminants de la demande</i>	175
<i>Tableau V.1. Matrice structurelle des relations causales</i>	181
<i>Tableau V.2. Indicateurs-clés pertinents retenus</i>	186
<i>Tableau V.3. Seuils significatifs des indicateurs clés</i>	191

<i>Tableau V.4. Hypothèses retenues pour les indicateurs de l'offre.</i>	<i>197</i>
<i>Tableau V.5. Scénarios de l'approvisionnement en eau.</i>	<i>200</i>
<i>Tableau V.6. Hypothèses retenues pour les indicateurs de la demande.</i>	<i>201</i>
<i>Tableau V.7. Matrice des scénarios de la demande en eau.</i>	<i>203</i>
<i>Tableau V.8. Synthèse des simulations.</i>	<i>210</i>
<i>Tableau VI.1. Exemples de besoins d'équipements Collectifs à Alger à l'horizon 2029.</i>	<i>219</i>
<i>Tableau VI.2. Dotations et besoins en eau du secteur industriel par catégorie.</i>	<i>220</i>
<i>Tableau VI.3. Récapitulatif des besoins des secteurs industriel et agricole à l'horizon 2025.</i>	<i>221</i>
<i>Tableau VI.4. Structure de la tarification graduelle applicable en Algérie.</i>	<i>228</i>

Liste des abréviations

ABH-AHS	Agence de Bassin Hydrographique – Algérois Hodna Soumam
ADE	Algérienne Des Eaux
AEP	Alimentation en Eau Potable
AGIRE	Agence Nationale de Gestion Intégrée des Ressources en Eau
ANBT	Agence Nationale des Barrages et Transferts
ANRH	Agence Nationale des Ressources Hydrauliques
CCURH	Capacité de Charge Urbaine relative aux Ressources Hydriques
COMEDOR	Comité d'études de développement, d'organisation de l'agglomération algéroise
DPSIR	Driving Forces – Pressure – State – Impact – Response
DREW	Directions des Ressources en Eau de Wilaya
EPEAL	Entreprise de Production et de distribution d'Eau d'Alger
FAO	Food and Agriculture Organisation
GIRE	Gestion Intégrée des Ressources en Eau dans le bassin côtier Algérois
IDH	Indice de Développement Humain
LPCD	Litre Per Capita per Day
MENA	Middle East North Africa
MRE	Ministère des Ressources en eau
MHUV	Ministère de l'Habitat, de l'Urbanisme et de la Ville
MATE	Ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement
MC	Ministère du Commerce
MADR	Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural
MIM	Ministère de l'Industrie et des Mines
MTA	Ministère du Tourisme et de l'Artisanat
OCDE	Organisation de Coopération et de Développement Économiques
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
ONA	Office Nationale de l'Assainissement
ONID	Office National de l'Irrigation et du Drainage
ONS	Office Nationale des Statistiques
ONU	Organisation des nations Unis
PDAU	Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme
PNE	Plan National de l'Eau
PNUD	Programme des Nations Unis pour le Développement
PNUE	Programme des Nations Unis pour l'Environnement
POG	Plan d'Orientation Générale d'aménagement de l'Agglomération d'Alger
PUD	Plan d'Urbanisme Directeur
SAA	Sécurisation de l'Alimentation en eau d'Alger
SDAAM	Schéma Directeur d'Aménagement de l'Aire Métropolitaine d'Alger
SDEM	Station de Dessalement d'Eau de Mer
SEAAL	Société des Eaux et de l'Assainissement d'Alger
SIG	Système d'Information Géographique
SPIK	Système de Production Isser Keddara

Annexe A. Organismes du secteur de l'eau en Algérie

Principaux organismes du secteur de l'eau

- **MINISTÈRE DES RESSOURCES EN EAU (MRE)**

Le département des ressources en eau a connu une évolution dans ses prérogatives, missions ainsi que dans la dénomination depuis l'indépendance du pays. Le Ministère des Ressources en Eau a été créé en 2000 par les dispositifs du décret exécutif n° 2000-325 du 25 octobre 2000 portant organisation de l'Administration Centrale du Ministère des Ressources en Eau. Il a sous sa tutelle les différentes agences et offices publiques du secteur de l'eau. Les principales directions sont :

D.E.A.H: Direction des Etudes et des Aménagements Hydrauliques

D.M.R.E: Direction de la Mobilisation des Ressources en Eau

D.A.E.P: Direction de l'Alimentation en Eau Potable

D.A.P.E: Direction de l'Assainissement et de la Protection de l'Environnement

D.H.A: Direction de l'Hydraulique Agricole

- **LES AGENCES DE BASSINS HYDROGRAPHIQUES (ABH)**

Les Agences de Bassins Hydrographiques sont des établissements publics, à caractère industriel et commercial (EPIC), dont le statut - type est défini par les décrets exécutifs du 26 août 1996. L'agence du bassin hydrographique "Algérois-Hodna-Soummam" a été créée par le Décret exécutif n° 96-279 du 26 août 1996. Le réaménagement du statut-type de l'agence de bassin hydrographique a été fixé par le décret exécutif n° 08-309 du 30 septembre 2008.

Missions :

L'agence a pour principale mission d'élaborer et de mettre à jour le cadastre hydraulique et la balance hydraulique du bassin hydrographique et de collecter dans ce but toutes données statistiques, documents et informations sur les ressources en eau, les prélèvements et les consommations d'eau.

- **AGENCE NATIONALE DES RESSOURCES HYDRAULIQUES (ANRH)**

L'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) est un établissement public à caractère administratif et à vocation scientifique et technique doté de la personnalité morale et de l'autonomie financière. Créée par le décret n° 81-167 du 25 Juillet 1981, elle est placée sous la tutelle du ministère chargé de l'Hydraulique, et son siège social est fixé à Alger.

Missions :

L'agence a pour principale mission de mettre en application les programmes d'inventaire des ressources en eaux et en sols irrigables du pays, en conformité avec les objectifs du plan national de développement et dans les conditions fixées par l'autorité de tutelle.

- **AGENCE NATIONALE DES BARRAGES ET TRANSFERTS (ANBT)**

L'Agence Nationale des Barrages et des Transfer (ANBT) un établissement public à caractère administratif, créé par le décret n° 85-163 du 11 juin 1985 est réaménagé dans sa nature juridique en un établissement public à caractère industriel et commercial dénommé "agence nationale des barrages et transferts" (ANBT) doté de la personnalité morale et de l'autonomie financière. L'établissement est placé sous la tutelle du ministre chargé des ressources en eau, et son siège social est fixé à Alger. .

Missions :

L'établissement est chargé de la production et de la fourniture d'eau aux établissements et aux régies communales chargés de sa distribution, d'assurer la prise en charge des activités de gestion, d'exploitation et de maintenance des ouvrages en exploitation, dans le cadre de la mobilisation et du transfert des ressources en eaux superficielles.

- **ALGÉRIENNE DES EAUX (ADE)**

L'Algérienne Des Eaux (ADE) est un établissement public national à caractère industriel et commercial doté de la personnalité morale et de l'autonomie financière. Il a été créé par le décret exécutif n° 01-101 du 21 Avril 2001. L'établissement est placé sous la tutelle du ministre chargé des ressources en eau, et son siège social est fixé à Alger.

Missions :

L'établissement est chargé d'assurer sur tout le territoire national, la mise en œuvre de la politique nationale de l'eau potable à travers la prise en charge des activités de gestion des opérations de production, de transport, de traitement, de stockage, d'adduction, de distribution et d'approvisionnement en eau potable et industrielles ainsi que le renouvellement et le développement des infrastructures s'y rapportant.

- **OFFICE NATIONAL DE L'ASSAINISSEMENT (ONA)**

L'Office National de l'Assainissement (ONA) est un établissement public national à caractère industriel et commercial doté de la personnalité morale et de l'autonomie financière. Il a été créé par le décret exécutif n° 01-102 du 21 Avril 2001. L'Office est placé sous la tutelle du ministre chargé des ressources en eau, et son siège social est fixé à Alger.

Missions :

L'établissement est chargé d'assurer sur tout le territoire national, la protection de l'environnement hydrique et la mise en œuvre de la politique nationale d'assainissement en concertation avec les collectivités locales.

- **OFFICE NATIONAL DE L'IRRIGATION ET DU DRAINAGE (ONID)**

L'Agence nationale de réalisation et de Gestion des infrastructures hydrauliques pour l'Irrigation et le Drainage (AGID) est réaménagé dans sa nature juridique en un établissement public à caractère industriel et commercial doté de la personnalité morale et de l'autonomie financière, dénommé "office national de l'irrigation et du drainage" (ONID). Créée par le décret exécutif n° 05-183 du 18 mai 2005 complété par le Décret exécutif n° 13-279 du 1er août 2013. L'établissement est placé sous la tutelle du ministre chargé de l'hydraulique agricole et son siège social est fixé à Alger.

Missions :

L'agence est chargée de la gestion, de l'exploitation et de la maintenance des équipements et infrastructures hydrauliques dans les périmètres d'irrigation que l'Etat et/ou les collectivités territoriales lui concèdent.

- **OFFICES DES PÉRIMÈTRES D'IRRIGATION (OPI)**

Les offices de périmètres d'irrigation (OPI) sont des établissements publics à caractère économique dotés de la personnalité morale et de l'autonomie financière. Il peut être créé, en tant que de besoin, sur l'ensemble du territoire national, dans toute zone d'irrigation, des offices de périmètres d'irrigation. Le décret de création de chaque office, précisera le siège social, la compétence territoriale ainsi que les missions spécifiques éventuelles qui lui seraient assignées. Les Offices des Périmètres d'Irrigation sont placés sous la tutelle du ministre chargé de l'hydraulique agricole.

Missions :

Ces offices sont chargés notamment de gérer la ressource en eau disponible, affectée aux périmètres d'irrigation et de gérer, exploiter et entretenir les réseaux d'irrigation et d'assainissement- drainage.

- **DIRECTIONS DES RESSOURCES EN EAU DE WILAYA (DREW)**

Les Directions des Ressources en Eau de Wilaya sont issues du changement de la dénomination des Direction de l'Hydraulique de Wilaya suite au décret exécutif n° 11-226 du 22 juin 2011 modifiant et complétant le décret exécutif n° 02-187 du 26 mai 2002 fixant les règles d'organisation et de fonctionnement des directions de l'hydraulique de wilaya. La DREW-ALGER est sise à "Immeuble Pépinière, R.N 5 El Harrach, Alger".

Missions:

Les directions des ressources en eau de wilaya sont chargées notamment de veiller à la sauvegarde, à la préservation et à la protection du domaine public hydraulique ; de veiller à l'utilisation rationnelle des ressources en eau ; de contribuer au développement des ouvrages de mobilisation des ressources en eau conventionnelles et non conventionnelles.

- **AGENCE NATIONALE DE GESTION INTEGREE DES RESSOURCES EN EAU (AGIRE)**

L'agence nationale de gestion intégrée des ressources en eau, par abréviation « AGIRE » est un établissement public à caractère industriel et commercial doté de la personnalité morale et jouit de l'autonomie financière. Elle a été créée par le décret exécutif n° 11-262 du 28 30 juillet 2011. L'agence nationale est placée sous la tutelle du ministre chargé des ressources en eau est son siège est fixé à Alger.

Missions:

Dans le cadre de la politique nationale de développement, l'agence nationale est chargée de réaliser, au niveau national, toutes actions concourant à une gestion intégrée des ressources en eau.

- **SOCIETE DES EAUX ET DE L'ASSAINISSEMENT D'ALGER (SEAAL)**

SEEAL est un opérateur public de droit algérien en charge de la gestion des services de l'eau potable et de l'assainissement des eaux usées sur l'ensemble de la Wilaya d'Alger, soit 57 communes. SEAAL est une société par actions (SPA) détenue par l'Algérienne des Eaux (ADE) et l'Office Nationale de l'Assainissement (ONA). Un partenaire privé SUEZ Environnement accompagne les équipes locales pour une mise à niveau au standard international des l'ensemble des métiers de l'entreprise.

Missions :

Sécuriser la distribution d'eau de qualité 24h/24 et renforcer la prise en charge et le fonctionnement des systèmes d'assainissement et contribuer à l'amélioration de la qualité des eaux de baignade du littoral Algérois.

Loi Relative à l'eau

- **Loi n° 05-12 du 04 août 2005** relative à l'eau qui a pour objet de fixer les principes et les règles applicables pour l'utilisation, la gestion et le développement durable des ressources en eau en tant que bien de la collectivité nationale. La loi est structurée en plusieurs chapitres :

Dispositions préliminaires (I); Régime juridique des ressources en eau et infrastructures hydrauliques (II); Protection et conservation des ressources en eau (III); Instruments institutionnels de la gestion intégrée des ressources en eau (IV); Régime juridique de l'utilisation des ressources en eau (V); Services publics de l'eau et de l'assainissement (VI); Eau agricole (VII); Tarifications des services de l'eau (VIII); Police des eaux (IX) et Dispositions transitoires et finales(X)

- Abroge la loi **Loi n° 83-17 du 16 Juillet 1983** portant Code de l'eau (modifiée par **l'ordonnance n° 96-13**)
- Modifiée et complétée par **Loi n° 08-03 du 23 Janvier 2008**
- Modifiée et complétée par l'Ordonnance **n° 09-02 du 22 juillet 2009**

Principaux décrets et arrêtés régissant le secteur de l'eau

- **Décret exécutif n° 11-220 du 12 juin 2011** fixant les modalités de la concession d'utilisation des ressources en eau pour l'établissement d'installations de dessalement d'eau de mer ou de déminéralisation d'eaux saumâtres pour cause d'utilité publique ou pour la satisfaction de besoins propres.

Le décret a pour objet de fixer les modalités de concession d'utilisation des ressources en eau pour l'établissement d'installations de dessalement d'eau de mer ou de déminéralisation d'eaux saumâtres pour cause d'utilité publique ou pour la satisfaction de besoins propres ainsi que le cahier des charges-type y afférent, en application des dispositions des articles 76 et 78 de la loi n° 05-12 du 4 août 2005, modifiée et complétée.

- **Décret exécutif n° 11-219 du 12 juin 2011** fixant les objectifs de qualité des eaux superficielles et souterraines destinées à l'alimentation en eau des populations.

Le décret a pour objet de fixer les objectifs de qualité auxquels doivent répondre les eaux souterraines ainsi que les écoulements et les retenues d'eaux superficielles destinées à l'alimentation en eau des populations, en application des dispositions de l'article 50 de la loi n° 05-12 du 4 août 2005, modifiée et complétée.

-
- **Décret exécutif n° 11-165 du 24 avril 2011** complétant le décret exécutif n° 10-24 du 12 janvier 2010 relatif au cadre de concertation en matière de gestion intégrée des ressources en eau.
Le décret a pour objet de compléter les dispositions du décret exécutif n° 10-24 du 12 janvier 2010 relatif au cadre de concertation en matière de gestion intégrée des ressources en eau.
 - **Décret exécutif n° 11-125 du au 22 mars 2011** relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine.
Le décret a pour objet de fixer les paramètres de qualité de l'eau de consommation humaine ainsi que les modalités de contrôle de conformité, en application des dispositions de l'article 112 de la loi n° 05-12 du 4 août 2005, modifiée et complétée.
 - **Décret exécutif n° 10-317 du 21 décembre 2010** fixant les conditions dans lesquelles sont effectués les prélèvements et les analyses d'échantillons des ressources en eau souterraine et superficielle.
Le décret a pour objet de fixer les conditions dans lesquelles sont effectués les prélèvements et les analyses d'échantillons des ressources en eau souterraine et superficielle, en application des dispositions de l'article 69 de la loi n° 05-12 du 4 août 2005, modifiée et complétée.
 - **Décret exécutif n° 10-275 du 4 novembre 2010** fixant les modalités d'approbation de la convention de délégation des services publics de l'eau et de l'assainissement.
Le décret a pour objet de fixer les modalités d'approbation de la convention de délégation des services publics de l'eau et de l'assainissement, en application des dispositions de l'article 107 de la loi n° 05-12 du 4 août 2005, modifiée et complétée.
 - **Décret exécutif n° 10-88 du 10 mars 2010** fixant les conditions et les modalités d'octroi d'autorisation de rejets d'effluents non toxiques dans le domaine public hydraulique.
Le décret a pour objet de fixer les conditions et les modalités d'octroi d'autorisation de rejets d'effluents, de déversements ou de dépôts de matières de toute nature ne présentant pas de risques de toxicité ou de nuisance dans le domaine public hydraulique, en application des dispositions de l'article 44 de la loi n° 05-12 4 août 2005, modifiée et complétée.
 - **Décret exécutif n° 10-73 du 6 février 2010** relatif à la protection quantitative des nappes aquifères.
Le décret a pour objet de fixer les modalités de délimitation des périmètres de protection quantitative des nappes aquifères ainsi que les conditions spécifiques d'utilisation de leurs ressources en eau, en application des dispositions de l'article 33 de la loi n° 05-12 du 4 août 2005, modifiée et complétée.
 - **Décret exécutif n° 10-26 du 12 janvier 2010** fixant les méthodes et les produits chimiques utilisés pour le traitement et la correction des eaux de consommation humaine.
Le décret a pour objet de fixer les méthodes et les produits chimiques utilisés pour le traitement et la correction des eaux de consommation humaine, en application des dispositions de l'article 116 de la loi n° 05-12 du 4 août 2005, modifiée et complétée.

-
- **Décret exécutif n° 10-25 du 12 janvier 2010** fixant les modalités d'octroi de la concession pour l'établissement d'installations de prélèvement d'eaux souterraines ou superficielles, en vue d'assurer un approvisionnement autonome de zones ou unités industrielles.
Le décret a pour objet de fixer les modalités de concession d'utilisation des ressources en eau par l'établissement d'installations de prélèvement d'eaux souterraines ou superficielles y compris par raccordement sur des systèmes d'adduction d'eau, en vue d'assurer un approvisionnement autonome de zones ou unités industrielles ainsi que le cahier des charges-type y afférent, en application des dispositions des articles 76 et 78 de la loi n° 05-12 du 4 août 2005, modifiée et complétée.
 - **Décret exécutif n° 10-24 du 12 janvier 2010** relatif au cadre de concertation en matière de gestion intégrée des ressources en eau.
Le décret a pour objet de fixer le cadre de concertation en matière de gestion intégrée des ressources en eau au niveau des unités hydrographiques naturelles, en application des dispositions de l'article 64 de la loi n° 05-12 du 4 août 2005, modifiée et complétée.
 - **Décret exécutif n°10-23 du 12 janvier 2010** fixant les caractéristiques techniques des systèmes d'épuration des eaux usées.
Le décret a pour objet de fixer les caractéristiques techniques des systèmes d'épuration des eaux usées. En application des dispositions de l'article 52 de la loi n° 05-12 du 4 août 2005, modifiée et complétée.
 - **Décret exécutif n° 10-01 du 4 janvier 2010** relatif au plan directeur d'aménagement des ressources en eau et au plan national de l'eau.
Le décret a pour objet de fixer les modalités d'élaboration, de concertation, d'adoption, d'évaluation et d'actualisation ainsi que les limites territoriales du plan directeur d'aménagement des ressources en eau ainsi que les modalités d'élaboration, d'approbation, de mise en œuvre, d'évaluation et d'actualisation du plan national de l'eau, En application des dispositions des articles 58 et 60 de la loi n° 05-12 du 4 août 2005
 - **Décret exécutif n° 09-414 du 15 décembre 2009** fixant la nature, la périodicité et les méthodes d'analyse de l'eau de consommation humaine.
Le décret a pour objet de fixer la nature, la périodicité et les méthodes d'analyse de l'eau au niveau des ouvrages et installations de production, de traitement, d'adduction, de stockage et de distribution de l'eau de consommation humaine, en application des dispositions de l'article 114 de la loi n° 05-12 du au 4 août 2005, modifiée et complétée.
 - **Décret exécutif n° 09-209 du 11 juin 2009** fixant les modalités d'octroi de l'autorisation de déversement des eaux usées autres que domestiques dans un réseau public d'assainissement ou dans une station d'épuration.
Le décret a pour objet de fixer les modalités d'octroi de l'autorisation de déversement d'eaux usées autres que domestiques dans un réseau public d'assainissement ou dans une station d'épuration, en application des dispositions de l'article 119 de la loi n° 05-12 du 4 août 2005, modifiée et complétée.
 - **Décret exécutif n° 08-326 du 19 octobre 2008** fixant les modalités d'organisation et de fonctionnement du système de gestion intégrée de l'information sur l'eau.

Le décret a pour objet de fixer les modalités d'organisation et de fonctionnement du système de gestion intégrée de l'information sur l'eau, en vue d'en faciliter l'accès, l'échange et la valorisation, en application de l'article 66 de la loi n° 05-12 relative à l'eau.

- **Décret exécutif n° 08-303 du 27 septembre 2008** fixant les règles d'organisation et de fonctionnement de l'autorité de régulation du service public de l'eau.
Le décret a pour objet de fixer les attributions ainsi que les règles d'organisation et de fonctionnement de l'autorité de régulation des services publics de l'eau, ci-après dénommée "l'autorité de régulation", en application des dispositions de l'article 65 de la loi n°05-12 4 août 2005, relative à l'eau.
- **Décret exécutif n° 08-148 du 21 mai 2008** fixant les modalités d'octroi de l'autorisation d'utilisation des ressources en eau.
Le décret a pour objet de fixer les modalités d'octroi de l'autorisation d'utilisation des ressources en eau, en application des dispositions de l'article 74 de la loi n° 05-12 du 4 août 2005, modifiée et complétée.
- **Décret exécutif n° 08-97 du 15 Mars 2008** fixant les modalités d'élaboration de l'inventaire des ouvrages et installations relevant du domaine public hydraulique artificiel.
Le décret a pour objet de fixer les modalités d'Elaboration de l'inventaire des ouvrages et installations relevant du domaine public hydraulique artificiel, en application des dispositions de l'article 19 de la loi n°05-12 du 4 août 2005.
- **Décret exécutif n° 08-96 du 15 mars 2008** fixant les missions, la composition et les règles de fonctionnement du conseil national consultatif des ressources en eau.
Le décret a pour objet de fixer les missions, la composition et les règles de fonctionnement du conseil national consultatif des ressources en eau, dénommé d'après "Le conseil", en application des dispositions de l'article 63 de la loi n° 05-12 du 4 août 2005.
- **Décret exécutif n° 08-53 du 09 février 2008** portant approbation du cahier des charges-type pour la gestion par concession du service public d'assainissement et du règlement de service y afférent.
Le présent décret a pour objet d'approuver le cahier des charges-type pour la gestion par concession du service public d'assainissement et le règlement de service y afférent. La concession du service public d'assainissement consiste à assurer la collecte, l'évacuation des eaux usées domestiques ainsi que leur épuration ou leur rejet et le traitement des boues d'épuration en vue de leur élimination finale.
- **Décret exécutif n° 08-54 du 09 février 2008** portant approbation du cahier des charges-type pour la gestion par concession du service public d'alimentation en eau potable et du règlement de service y afférent.
Le présent décret a pour objet d'approuver le cahier des charges-type pour la gestion par concession du service public d'alimentation en eau potable et du règlement de service y afférent. La concession du service public d'alimentation en eau potable consiste à assurer l'approvisionnement en eau au moyen de l'exploitation, la maintenance, le renouvellement, la réhabilitation et le développement des ouvrages et installations de mobilisation, de traitement, d'adduction, de stockage et de distribution d'eau potable. La concession du service public d'alimentation en eau s'étend aux

opérations de facturation et de recouvrement des montants dus par les usagers conformément au système de tarification établi par la législation et la réglementation en vigueur et aux tarifs du service public d'alimentation en eau potable.

- **Décret exécutif n° 07-399 du 23 décembre 2007** relatif aux périmètres de protection qualitative des ressources en eau.
Le décret a pour objet de fixer les conditions et les modalités de création et de délimitation des périmètres de protection qualitative des ressources en eau, la nomenclature des périmètres de protection requis pour chaque type d'ouvrage ou d'installation de mobilisation, de traitement et de stockage d'eau, ainsi que les mesures de réglementation d'activités dans chaque périmètre de protection qualitative, en application des dispositions de l'article 40 de la loi n° 05-12 du 4 août 2005.
- **Décret exécutif n° 07-300 du 27 septembre 2007** fixant les modalités d'application de la taxe complémentaire sur les eaux usées industrielles.
Le décret a pour objet de fixer les modalités d'application de la taxe complémentaire sur les eaux usées industrielles, en application des dispositions de l'article 94 de la loi n° 02-11 du 24 décembre 2002.
- **Décret exécutif n° 07-270 du 11 septembre 2007** fixant les conditions et modalités d'établissement du système de tarification du service de l'eau d'irrigation.
Le décret a pour objet de fixer les conditions et modalités d'établissement du système de tarification du service de l'eau d'irrigation, en application de l'article 137 de la loi n° 05-12 du 4 août 2005.
- **Décret exécutif n° 07-149 du 20 mai 2007** fixant les modalités de concession d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation ainsi que le cahier des charges-type y afférent.
Le décret a pour objet de fixer les modalités de concession d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation ainsi que le cahier des charges-type y afférent, en application des dispositions des articles 76 et 78 de la loi n° 05-12 du 4 août 2005.
- **Décret exécutif n° 06-142 du 26 avril 2006** fixant les modalités d'application de la redevance due en raison de l'usage à titre onéreux du domaine public hydraulique pour son usage industriel, touristique et de services.
Le décret a pour objet de fixer les modalités d'application de la redevance due en raison de l'usage à titre onéreux du domaine public hydraulique pour son usage industriel, touristique et de services, en application des dispositions de l'article 19 de l'ordonnance n° 05-05 du 25 juillet 2005.
- **Décret exécutif n°05-13 du 9 janvier 2005** fixant les règles de tarification des services publics d'alimentation en eau potable et d'assainissement ainsi que les tarifs y afférents.
Le décret a pour objet de fixer les règles de tarification des services publics d'alimentation en eau potable et d'assainissement ainsi que les tarifs y afférents.
- **Arrêté interministériel du 2 janvier 2012** fixant les spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation. Publié dans le journal officiel n°41 du 15 juillet 2012.
- **Arrêté interministériel du 2 janvier 2012** fixant la liste des cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées. Publié dans le journal officiel n°41 du 15 juillet 2012.

Annexe C. Textes relatifs au système d'information sur l'eau

- **Loi n° 05-12 du 04 août 2005** relative à l'eau qui a pour objet de fixer les principes et les règles applicables pour l'utilisation, la gestion et le développement durable des ressources en eau en tant que bien de la collectivité nationale.

"...

Chapitre 4

De l'information sur l'eau

Art. 66. — Il est établi par l'administration chargée des ressources en eau un système de gestion intégrée de l'information sur l'eau, harmonisé avec les systèmes d'information et les bases de données constituées notamment au niveau des organismes publics compétents.

Les modalités d'organisation et de fonctionnement du système de gestion intégrée de l'information sur l'eau sont fixées par voie réglementaire.

..."

- **Décret exécutif n° 08-326 du 19 octobre 2008** fixant les modalités d'organisation et de fonctionnement du système de gestion intégrée de l'information sur l'eau.

"...

Article 1er. En application des dispositions de l'article 66 de la loi n° 05-12 du 28 Joumada Ethania 1426 correspondant au 4 août 2005, susvisée, le présent décret a pour objet de fixer les modalités d'organisation et de fonctionnement du système de gestion intégrée de l'information sur l'eau.

Art. 2. Au sens du présent décret, on entend par système de gestion intégrée de l'information sur l'eau l'ensemble des instruments et des procédures de gestion des données géographiques, techniques, économiques, institutionnelles et juridiques relatives à l'eau en vue d'en faciliter l'accès, l'échange et la valorisation.

Art. 3. Le système de gestion intégrée de l'information sur l'eau est organisé comme un réseau comprenant les différentes structures centrales et déconcentrées du ministère chargé des ressources en eau, les établissements publics placés sous sa tutelle ainsi que les autres intervenants dans le domaine de l'eau.

Art. 4. La gestion des données relatives à l'eau, telles que définies à l'article 3 ci-dessus, est structurée en trois niveaux :

- *le niveau de l'administration centrale des ressources en eau qui constitue le pôle de consolidation des données produites par les différentes structures du secteur de l'eau, en vue notamment d'établir des bases de données sectorielles et des outils d'information nécessaires à l'élaboration des instruments de planification hydraulique ;*
- *le niveau régional qui est constitué par les agences de bassins hydrographiques qui harmonisent et synthétisent les données collectées et établissent les bases de données régionales ;*
- *le niveau de base, constitué par l'ensemble des structures déconcentrées et des organismes sous tutelle du ministère chargé des ressources en eau ainsi que les autres intervenants dans le domaine de l'eau qui ont la charge de produire et de mettre à disposition les données sur l'eau correspondant à leur domaine de compétence.*

Art. 5. Les modalités d'accès aux données sont fixées par arrêté du ministre chargé des ressources en eau.

..."

-
- **Arrêté du 2 février 2011** fixant les modalités d'accès aux données du système de gestion intégrée de l'information sur l'eau.

" ...

Article 1er. . En application des dispositions de l'article 5 du décret exécutif n°08-326 du 19 Chaoual 1429 correspondant au 19 octobre 2008, susvisé, le présent arrêté a pour objet de fixer les modalités d'accès aux données du système de gestion intégrée de l'information sur l'eau.

Art. 2. Les données du secteur de l'eau se subdivisent en données publiques gratuites et en données publiques payantes.

Art. 3. Des services sont mis à la disposition du public afin de faciliter la recherche, la consultation, le téléchargement et l'acquisition des données.

Art. 4. L'accès aux données publiques gratuites est ouvert à tout demandeur par connexion au réseau du système de gestion intégrée de l'information sur l'eau.

Art. 5. L'accès aux données publiques payantes se fait moyennant conclusion d'un contrat de licence fixant les conditions d'accès et les modalités d'acquisition et de réutilisation des données.

Art. 6. Des licences gratuites peuvent être accordées, moyennant justification par le demandeur, pour des travaux de recherche scientifique et des activités d'enseignement.

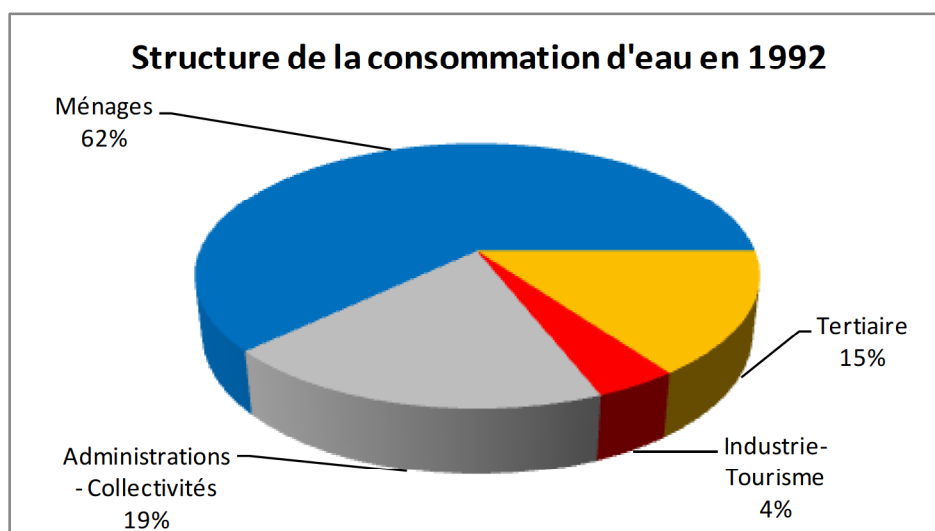
... "

Annexe D. Evolution de la structure de la consommation d'eau à Alger

Nous présentons ci-après les évolutions de la structure de la consommation d'eau à Alger en 1992 et 1999 sur la base des données de l'étude de Chikhr-Saidi (1997) et PDAU (2010) respectivement.

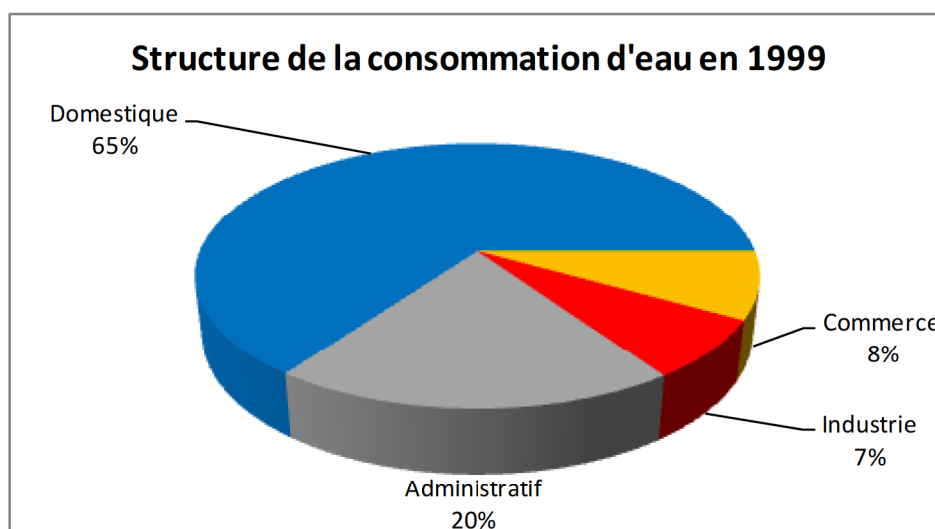
■ Structure de la consommation d'eau en 1992

Chikhr-Saidi (1997) rapporte la part de la consommation en eau par catégorie d'utilisateurs concernant Alger pour l'année 1992. Sur la base des données collectées, les utilisateurs sont désignés par : Ménages, Industrie-Tourisme, Tertiaire et Administrations-Collectivités. La répartition par catégorie d'utilisateurs est montrée dans le schéma ci-après.



■ Structure de la consommation d'eau en 1999

Dans le document "Stratégie et schéma d'aménagement de l'assainissement, réseaux et rivières" du PDAU (2010), est donnée pour l'année 1999 la consommation en eau par catégorie d'utilisateurs qui sont désignés par : Domestique, Commerce, Industrie et Administratif.



Annexe E. Référentiel des indicateurs

D1. Ressources					
D1.I1. Taux d'exploitation rationnelle des ressources souterraines					
Définition	Cet indicateur mesure la pression que provoquent les prélèvements, sur les ressources hydriques souterraines. Il indique la part prélevée sur la quantité exploitable estimée en tenant compte des conditions de renouvellement et de conservation de la ressource. Il exprime par là aussi bien la capacité des nappes souterraines et des infrastructures.				
Calcul	[Volume d'eau exploité Hm ³ /volume d'eau exploitable Hm ³] x100	Sources de données	ANRH		
Unité	%	Valeurs de référence	Min 80% Max 100%	Tendance souhaitée	minimiser

D1. Ressources					
D1.I2. Taux de mobilisation des ressources en eau de surface					
Définition	Cet indicateur mesure la pression relative des prélèvements annuels sur les ressources en eau de surface (apport des bassins versants). Il indique la part prélevée exploitable en tenant compte des besoins en eau des écosystèmes aquatiques. Il exprime par là aussi bien la capacité des naturelle et des infrastructures de mobilisation.				
Calcul	[Volume d'eau de surface mobilisée Hm ³ / volume d'eau de surface mobilisable Hm ³] x100	Sources de données	ANRH		
Unité	%	Valeurs de référence	Min 20% Max 70%	Tendance souhaitée	maximiser

D1. Ressources					
D1.I3. Qualité des eaux souterraines					
Définition	Dans la mesure où l'eau polluée ne peut être consommée, la détérioration de la qualité de l'eau compromet donc la capacité d'approvisionnement. Elle est appréciée par la concentration des éléments suivants : Calcium (Ca); Magnésium (Mg); Sodium (Na); Potassium (K); Chlorure (Cl); Sulfates (SO ₄); Nitrates (NO ₃); Conductivité électrique (CE); Résidu sec (RS); pH.				
Calcul	Campagnes de mesure de l'ANRH	Sources de données	ANRH		
Unité	Ca; Mg; Na; K; Cl; SO ₄ ; NO ₃ ; RS, en mg/l; CE en µ s/c à 25°	Valeurs de référence	Normes de potabilité des eaux de consommation OMS	Tendance souhaitée	stabiliser

D2. Infrastructures					
D2.I1. Taux d'envasement des réserves des barrages					
Définition	Cet indicateur mesure l'évasement des barrages, une problématique qui compromet la capacité d'approvisionnement en eau.				
Calcul	[Volume de la vase (apports solides) Hm ³ /Capacité de retenue initiale totale des barrages Hm ³]*100	Sources de données	ANBT		
Unité	%	Valeurs de référence	≤ 5%	Tendance souhaitée	Minimiser

D2. Infrastructures					
D2.I2. Capacité de dessalement					
Définition	Cet indicateur mesure les quantités journalières d'eau produites par les stations de dessalement.				
Calcul	Relevés des quantités produites	Sources de données	SEEAL		
Unité	m3/jour	Valeurs de référence	-	Tendance souhaitée	-

D2. Infrastructures					
D2.I3. Taux de raccordement					
Définition	Cet indicateur évalue la proportion des populations qui ont accès à l'eau potable directement au niveau de logement.				
Calcul	[Nombre de logements raccordés en AEP/ Nombre total de logements]*100	Sources de données	SEEAL		
Unité	%	Valeurs de référence	Min 95% Max 100%	Tendance souhaitée	maximiser

D2. Infrastructures					
D2.I4. Ratio Capacité de stockage / Conso moyenne journalière					
Définition	Cet indicateur mesure la capacité de stockage des réservoirs (en jours) ramenée à la consommation moyenne.				
Calcul	Capacité de stockage Hm ³ /consommation journalière Hm ³ /jour	Sources de données	SEEAL		
Unité	jour	Valeurs de référence	Min 1 Max 2,5	Tendance souhaitée	-

D2. Infrastructures					
D2.I5. Taux de perte dans les réseaux d'adduction					
Définition	Cet indicateur mesure les pertes d'eau au cours des transferts.				
Calcul	[Volume d'eau à l'arrivée des stations de traitement Hm ³ / volume total d'eau mobilisée à la source Hm ³]*100	Sources de données	ANBT		
Unité	%	Valeurs de référence	≤ 5%	Tendance souhaitée	minimiser

D2. Infrastructures					
D2.I6. Taux de perte dans les réseaux de distribution					
Définition	Cet indicateur représente la part de l'eau potable perdue dans le réseau de distribution.				
Calcul	[Volume d'eau potable facturée et payée par l'utilisateur Hm ³ / volume total d'eau potable produite et distribuée Hm ³]*100	Sources de données	SEEAL		
Unité	%	Valeurs de référence	≤ 10%	Tendance souhaitée	minimiser

D2. Infrastructures					
D2.I7. Taux de conformité des analyses d'eau					
Définition	Cet indicateur mesure le rapport entre le nombre d'analyses pour lesquelles l'eau est déclarée conforme par rapport au nombre d'analyses effectuées au cours d'une année.				
Calcul	[Nombre d'analyses conformes/ nombre total d'analyses effectuées]*100	Sources de données	SEEAL		
Unité	%	Valeurs de référence	100%	Tendance souhaitée	minimiser

D2. Infrastructures					
D2.I8. Indice de Réutilisation de l'eau					
Définition	Cet indicateur mesure la part d'eaux usées traitées réutilisées en agriculture et dans l'arrosage des espaces verts publics.				
Calcul	[Volume d'eaux usées épurées réutilisées/ volume d'eaux usées générées] x100	Sources de données	SEEAL		
Unité	%	Valeurs de référence	Min 5% Max 100%	Tendance souhaitée	maximiser

D3 Gestion de l'eau					
D3.I1. Rapport tarif de l'eau/coûts réels de la production					
Définition	Cet indicateur informe sur le taux de couverture de service de l'eau par les usagers. Mais il renseigne également sur les coûts induits par la mobilisation et le transport de l'eau.				
Calcul	[Tarif de l'eau appliqué DA/ Coûts réels de la production d'eau DA]*100	Sources de données	SEEAL		
Unité	%	Valeurs de référence	Min 50% Max 100%	Tendance souhaitée	maximiser

D3 Gestion de l'eau					
D3.I2. Taux de réclamations Nb/1000abonnés					
Définition	L'objectif de cet indicateur est de fournir une appréciation de l'efficacité du service de l'eau. Il mesure le nombre de réclamations des abonnés au service de l'eau sur tout sujet hormis le prix.				
Calcul	Réclamations x1000 / nombre d'abonnés	Sources de données	SEEAL		
Unité	Réclam./ abonnés 1000	Valeurs de référence	<25‰	Tendance souhaitée	minimiser

D3 Gestion de l'eau					
D3.I3. Taux d'occurrence des interruptions de service non programmés Nb/1000 abonnés					
Définition	L'objectif de cet indicateur est de fournir une appréciation de l'efficacité du service de l'eau. Il mesure le taux d'occurrence des interruptions de service non programmées dues aux divers incidents survenant sur le réseau.				
Calcul	Interruptions de service non programmées x1000 / nombre d'abonnés	Sources de données	SEEAL		
Unité	Inter./ abonnés 1000	Valeurs de référence	<5‰	Tendance souhaitée	minimiser

D3 Gestion de l'eau					
D3.I4. Allocation de l'eau par secteur (domestique, industriel, agricole)					
Définition	Cet indicateur mesure la part de l'eau allouée à chacun des ces secteurs : domestiques (wd), industriel (wi) et agricole (wa), de la quantité totale (wt).				
Calcul	$\left(\frac{wd}{wt} * 100\right); \left(\frac{wi}{wt} * 100\right); \left(\frac{wa}{wt} * 100\right)$	Sources de données	MRE-SEEAL-ONID		
Unité	%	Valeurs de référence	-	Tendance souhaitée	-

D3 Gestion de l'eau					
D3.I5. Indice de Participation du public PPI					
Définition	Cet indicateur mesure le niveau de participation du public à la formulation des politiques et programmes de gestion de l'eau.				
Calcul	[Nombres de représentants / Nombres totales d'abonnés]*1000	Sources de données	MRE, Directions de wilaya, SEEAL		
Unité	Représentant/1000 abonnés	Valeurs de référence	Min 5‰ Max 10‰	Tendance souhaitée	maximiser

D3 Gestion de l'eau					
D3.I6. Indice de qualité de l'administration et des services de l'eau					
Définition	Cet indicateur évalue la qualité effective et perceptible de l'administration concernée par la gestion de l'eau				
Calcul	Appréciation selon les critères suivants : Gestion intégrée et durable; réactivité; lisibilité de la répartition des compétences.	Sources de données	MRE, Directions de wilaya, SEEAL		
Unité	Échelle ordinale	Valeurs de référence	Moyen-bon	Tendance souhaitée	maximiser

D3 Gestion de l'eau					
D3.I7. Qualité de la réglementation					
Définition	Cet indicateur évalue la qualité des lois qui régissent le secteur de l'eau.				
Calcul	Appréciation selon les critères suivants : Clarté; globalité, durabilité.	Sources de données	MRE		
Unité	Échelle ordinale	Valeurs de référence	Moyen-bon	Tendance souhaitée	maximiser

D3 Gestion de l'eau					
D3.I8. Autorité de la loi					
Définition	Cet indicateur évalue le degré d'application des lois régissant le secteur.				
Calcul	Appréciation selon le critère d'application des lois	Sources de données	MRE, Directions de wilaya, SEEAL		
Unité	Échelle ordinale	Valeurs de référence	Moyen-bon	Tendance souhaitée	maximiser

D4: Variables Socio-économiques					
D4.I1. PIB par habitant en parité de pouvoir d'achat PPA					
Définition	Le PIB en PPA est le produit intérieur brut converti en dollars américains courants au moyen des taux de parité des pouvoirs d'achat PPA. La PPA permet de mesurer combien une devise permet d'acheter de biens et services dans chacune des zones que l'on compare.				
Calcul	PIB*PPA		Sources de données	La banque mondiale	
Unité	\$	Valeurs de référence	≥15000\$	Tendance souhaitée	maximiser

D4: Variables Socio-économiques					
D4.I2. Taille moyenne des ménages					
Définition	Cet indicateur mesure le taux d'occupation du logement.				
Calcul	[Nombre de personnes logées/ Nombre total de logements]*100		Sources de données	Ministère de l'habitat, ONS, Direction de l'habitat de la wilaya, OPGI, EPLF, AADL.	
Unité	Nombre de personnes par logement	Valeurs de référence	Min 4 Max 6	Tendance souhaitée	-

D5 : Variables Climatique					
D5.I1. Jours de chaleur (Tmax≥30°C)					
Définition	Cet indicateur comptabilise le nombre de jour où la température maximale dépasse 30°C.				
Calcul	Mesures de température		Sources de données	Météo Algérie	
Unité	°C	Valeurs de référence	-	Tendance souhaitée	-

D5 : Variables Climatique					
D5.I2. Type d'année climatique					
Définition	Cet indicateur renseigne sur les conditions de pluviométrie annuelle.				
Calcul	Mesures de pluviométrie		Sources de données	Météo Algérie	
Unité	Humide - sèche	Valeurs de référence	-	Tendance souhaitée	-

D6 : Environnement bâti					
D6.I1. Indice d'urbanisation					
Définition	Cet indicateur mesure le taux annuel moyen de l'augmentation de la population P résidant dans les zones urbaines durant une période entre deux recensements aux années y et x .				
Calcul	$\left(\left(\frac{Py}{Px} - 1 \right) * \left(\frac{1}{y-x} \right) \right) * 100$	Sources de données	Ministère de l'habitat, ONS		
Unité	%/an	Valeurs de référence	Min 1% Max 1,5%	Tendance souhaitée	stabiliser

D6 : Environnement bâti					
D6.I2. Part d'habitat individuel/ collectif/mixte dans le parc existant					
Définition	Cet indicateur mesure la part de l'habitat individuel (H_i), collectif (H_c), mixte (H_m) dans le parc existant (H_t).				
Calcul	$\left(\frac{H_i}{H_t} * 100 \right); \left(\frac{H_c}{H_t} * 100 \right); \left(\frac{H_m}{H_t} * 100 \right)$	Sources de données	Ministère de l'habitat		
Unité	%	Valeurs de référence	-	Tendance souhaitée	collectif, mixte : maximiser; individuel minimiser

D7 : Politique de régulation de la demande					
D7.I1. Part de la dépense relative à l'eau dans le budget des ménages					
Définition	Cet indicateur évalue le poids de la facture de l'eau dans le budget des ménages.				
Calcul	$\left[\frac{\text{Dépenses relatives à l'eau}}{\text{DA/Dépenses totales DA}} * 100 \right]$	Sources de données	ONS		
Unité	%	Valeurs de référence	Min 1% Max 3%	Tendance souhaitée	stabiliser

D7 : Politique de régulation de la demande					
D7.I2. Pourcentage des ménages détenant des appareils économes en eau					
Définition	Cet indicateur mesure le pourcentage des ménages détenant des appareils économes en eau.				
Calcul	$\left[\frac{\text{Ménages détenant des appareils économes en eau}}{\text{Nombre total des ménages}} * 100 \right]$	Sources de données	ONS		
Unité	%	Valeurs de référence	≥5%	Tendance souhaitée	maximiser

D7 : Politique de régulation de la demande					
D7.I3. Niveau d'utilisation de compteurs					
Définition	Cet indicateur mesure le pourcentage des ménages disposant d'un compteur.				
Calcul	[Ménages disposant de compteurs/Nombre total des ménages]*100	Sources de données	SEEAL		
Unité	%	Valeurs de référence	Min 95% Max 100%	Tendance souhaitée	maximiser

D7 : Politique de régulation de la demande					
D7.I4. % d'habitations utilisant de l'eau de pluie					
Définition	Cet indicateur mesure le pourcentage d'habitations dotées d'installations de récupérations d'eau pluviale.				
Calcul	[Nombre d'habitations utilisant de l'eau de pluie/Nombre total d'habitations]*100	Sources de données	ONS		
Unité	%	Valeurs de référence	≥5%	Tendance souhaitée	maximiser