



Université de Constantine 3, Salah Boubnider.
Institut de Gestion des Techniques Urbaines (IGTU).

DYNAMIQUE URBAINE
ET DURABILITE DES HYDROSYSTEMES.
CAS DE LA VILLE DE ANNABA ET SA PERIPHERIE.

THESE

Présentée pour l'obtention du diplôme de Doctorat en
Urbanisme et dynamique territoriale.

Par

Karima MELLOUK

Année universitaire

2020-2021.



Université de Constantine 3, Salah Boubnider.
Institut de Gestion des Techniques Urbaines (IGTU).

N° de série:

N° d'ordre:

DYNAMIQUE URBAINE
ET DURABILITE DES HYDROSYSTEMES.
CAS DE LA VILLE DE ANNABA ET SA PERIPHERIE.

THESE

Présentée pour l'obtention du diplôme de Doctorat en
Urbanisme et dynamique territoriale.

Par

Karima MELLOUK

Devant le jury composé de :

Djamel DEKOUMI	Président	Professeur	UNIV Constantine 3.
Hamza AMIRECHE	Directeur	Professeur	UNIV Jijel.
Mahdi KALLA	Examineur	Professeur	UNIV Batna 2.
Khaled BRAHMIA	Examineur	Professeur	UNIV Annaba.
Mohamed CHADI	Examineur	MCA	UNIV Constantine 3.
Azzedine GHACHI	Examineur	MCA	UNIV Constantine 3.

Soutenue le :20/05/2021.

Année universitaire

2020-2021.

REMERCIEMENTS.

Au terme de ce travail de recherche, je tiens à exprimer mes plus sincères remerciements à mon directeur de thèse, Monsieur le Professeur AMIRECHE Hamza, pour ses inestimables conseils, pour ses enrichissants entretiens, pour la liberté d'initiative et pour la confiance dont j'ai bénéficié pour accomplir ce travail. Qu'il veuille bien trouver ici l'expression de ma très grande admiration et de ma profonde reconnaissance.

Mes plus vifs remerciements vont à Madame Dr. AROUA Najet, d'avoir été à mes côtés depuis mes premiers pas dans le monde de la recherche scientifique. Ses précieux conseils, ses entretiens si constructifs, et tout simplement sa présence, ont constitué pour moi un socle immuable qui m'a porté tout le long de ces années.

Merci, Madame, Monsieur, pour votre patience et tout ce temps accordé à encadrer mon travail et à m'encourager à toujours donner le meilleur pour progresser et avancer dans la recherche, merci du fond du cœur !

J'exprime ma gratitude envers tous les membres de jury, pour avoir accepté de juger ce travail.

Je tiens à remercier mon frère, mon époux et les membres de ma famille, qui par leurs encouragements inconditionnels et leurs affections m'ont aidée à mener à bien cette merveilleuse aventure.

A mes neveux Aissa, Zakaria et à mon ange Malak, merci pour votre grain de douceur de tous les jours !

Je remercie mes camarades de promos, à qui je souhaite beaucoup de réussites et encore plus de succès.

Et enfin, merci à tous ceux qui, par un conseil, une idée, un coup de main ou tout simplement par leur amitié m'ont aidée à réaliser ce travail.

A mon papa,

Je me souviens encore du jour du concours de doctorat, où toutes les circonstances se sont réunies pour que je rebrousse chemin... Mais il m'a pris la main et il m'a accompagnée jusqu'à la porte de la salle d'examen, en me disant : "Courage ma fille, tu peux le faire..."

La volonté du bon Dieu a fait que papa parte de ce monde avant que je n'achève ce travail, mais cette main m'est restée toujours tendue et j'ai continué à la tenir tout au long de ce parcours.

Il aurait été en cette occasion des plus heureux ! Même plus que je ne le suis.

A maman,

*Pour tes sacrifices sans fin, pour toutes les fois où tu as dû me relever et me remettre sur les rails du savoir
et de la réussite, pour ton soutien incommensurable, pour le bonheur que tu me procures au quotidien,
pour tes conseils en or, je te dois cette réussite et le meilleur de mon existence,*

Te rendre fière reste mon seul et unique objectif.

TABLE DES MATIERES.

LISTE DES FIGURES	viii
LISTE DES TABLEAUX ET CARTES	xi
LISTE DES ABREVIATIONS	xii
RESUME	xiii

CHAPITRE I. INTRODUCTION GENERALE.

1.1. Problématique de recherche.....	1
1.2. Hypothèse et objectifs de recherche	11
1.3. Stratégie de recherche.....	12

CHAPITRE II. ANALYSE CONCEPTUELLE, METHODES ET OUTILS.

Introduction	15
2.1. Champ théorique	16
2.1.1. La dynamique urbaine dans le cadre du développement urbain durable. Qu'est-ce que la dynamique urbaine ? Enjeux environnementaux en lien avec la dynamique urbaine.	16
2.1.2. Qu'est-ce que l'hydrosystème ? Critères de durabilité d'un hydrosystème urbain. L'hydrosystème au cœur de la gouvernance	23
2.2 Dynamique urbaine versus dynamique hydrique	33
2.2.1. Les inondations, comme manifestations du dysfonctionnement d'un hydrosystème	34
2.2.2. Stratégies actuelles de lutte contre les inondations en milieu urbain	36
2.3 Méthodes d'analyse	49
2.3.1. Présentation de la méthode de recherche investiguée	50
2.3.2. AMC, SIG et FRAGSTAT, outils d'évaluation quantitative qualitative spatio-temporelle	55
Conclusion	68

CHAPITRE III. ANNABA, LE CAS D'ETUDE.

Introduction	69
3.1. Le contexte naturel	70
3.1.1. Physiographie du territoire Annabi.....	71
3.1.2. Etage bioclimatique et régime pluviométrique.....	76

3.1.3. Hydrographie et bassins versants	79
3.2. Le contexte urbain	84
3.2.1. Dynamique urbaine à Annaba, perspective historique (La périurbanisation)	85
3.2.2. Urbanisation de la zone humide du Lac Fetzara.....	88
3.2.3. Etat des lieux et prévisions du PDAU 2020	92
3.3. Le contexte hydraulique.....	107
3.3.1. Le domaine public hydraulique	108
3.3.2. Les inondations à Annaba.....	114
3.3.3. Stratégie actuelle de prévention et protection contre le risque d'inondation	115
Conclusion	123

**CHAPITRE IV.
EVALUATION QUANTITATIVE SPATIOTEMPORELLE
RESULTATS, INTERPRETATION ET DISCUSSION.**

Introduction	124
4.1. Le périmètre d'étude	125
4.1.1. Choix des bassins versants par Analyse Multicritères (AMC).....	127
4.1.2. Acquisition et traitement des données satellitaires.....	132
4.1.3. Délimitation de la zone d'étude et profil hydrographique	136
4.2. Analyse quantitative spatio-temporelle de l'impact de la dynamique urbaine sur la durabilité des hydrosystèmes	138
4.2.1. Analyse diachronique de la dynamique urbaine par images satellitaires.....	138
4.2.2. Evaluation de l'impact de la dynamique urbaine sur les indices hydrologiques (débit de pointe et temps de concentration)	147
4.2.3. Synthèse de l'analyse quantitative	163
Conclusion.....	164

**CHAPITRE V.
EVALUATION QUALITATIVE SPATIOTEMPORELLE
RESULTATS, INTERPRETATION ET DISCUSSION.**

Introduction.....	165
5.1. Analyse qualitative spatio-temporelle de l'impact de la dynamique urbaine sur la durabilité des hydrosystèmes.....	166
5.1.1. Classification supervisée des bassins versants	166
5.1.2. Analyse de la fragmentation spatiale urbaine par l'outil de FRAGSTAT	184
5.1.3. Synthèse de l'analyse spatio-temporelle qualitative et quantitative de la zone d'étude	196
Conclusion.	200

**CHAPITRES VI.
CONCLUSION GENERALE.**

6.1. Synthèse de l'analyse spatio-temporelle qualitative et quantitative et des principaux résultats.....	202
6.2. Une perspective d'aménagements urbains favorables à l'eau à Annaba	205
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	229
ANNEXES	254

LISTE DES FIGURES.

Fig1.1	L'urbanisation dans le monde, projection 2030.	1
Fig1.2	La zone la plus touchée par l'inondation de 2005 de la nouvelle Orléans.	4
Fig1.3	La Ville de Venise.	5
Fig1.4	Le système urbain Algérien.	9
Fig2.1	Exemple de forces motrices d'une dynamique urbaine.	22
Fig2.2	Le bassin versant.	23
Fig2.3	Echanges multidirectionnels au sein d'un hydrosystème.	24
Fig2.4	Végétations des milieux humides et aquatiques.	29
Fig2.5	Organisation et interaction entre l'hydrosystème et son milieu anthropique.	32
Fig2.6	Exemples d'aménagements d'axes de circulation libres avec des matériaux filtrants.	38
Fig2.7	Infrastructures vertes en milieu urbain.	40
Fig2.8	Bassin de rétention.	42
Fig2.9	Puits drainant.	42
Fig2.10	Parc développé dans le cadre du projet de ville éponge à Jinhua, en Chine.	44
Fig2.11	Localisation des villes pilotes en Chine.	46
Fig2.12	Confrontation des systèmes dynamiques urbain/hydrique.	48
Fig2.13	Illustration des approches comparatives existantes pour analyser l'impact de l'urbanisation sur la réponse hydrologique de bassins versants.	50
Fig2.14	Structure d'un système d'information géographique.	59
Fig2.15	Représentation d'une couche.	60
Fig2.16	Représentation des points, lignes et polygones en modes Raster et Vecteur.	61
Fig3.1	Situation géographique de Annaba.	71
Fig3.2	Profil Schématique topographique N-S à travers le massif de l'Edough.	72
Fig3.3	L'ensemble collinaire ou Reliefs piémontais (Piémont nord des monts de Guelma).	75
Fig3.4	La plaine de Annaba.	75
Fig3.5	Le réseau hydrographique drainant la ville de Annaba.	80
Fig3.6	Les bassins versants qui drainent la ville de Annaba.	82
Fig3.7	La dynamique urbaine de la ville de Annaba.	86
Fig3.8	Situation géographique du projet de nouvelle ville Draa Errich (wilaya d'Annaba).	89
Fig3.9	Schéma de principe de l'aménagement de la nouvelle ville de Draa Errich.	89
Fig3.10	Taille des agglomérations à Annaba.	95
Fig3.11	Les ensembles urbains à Annaba.	98
Fig3.12	Les ensembles urbains de l'armature urbaine de Annaba.	99
Fig3.13	La maille routière de l'armature urbaine intercommunale de Annaba.	102
Fig3.14	Synthèse de l'occupation et tendances d'évolution du territoire Annabi.	105
Fig3.15	Réseau hydrographique de la commune de Annaba.	107
Fig3.16	Réseau hydrographique initial précédant le développement urbanistique du centre de la ville de Annaba.	109
Fig3.17	Situation générale du réseau d'assainissement, la zone 1.	111
Fig3.18	Les servitudes relatives aux risques d'inondation.	116
Fig3.19	Carte de vulnérabilité de Annaba face au risque d'inondation.	118

Fig4.1	Le bassin versant en milieu urbain.	126
Fig4.2	Photographies aériennes, avant assemblage, qui couvrent la zone d'étude (BVs de l'Oued Kouba, de l'Oued Forcha et l'Oued Sidi Harb).	135
Fig4.3	Endiguement des cours d'eau principaux des trois bassins versants de la zone d'étude.	143
Fig.4.4	Arrêt sur image, Inondations de Janvier 2019 (cité Mars, Sortie de Annaba vers Guelma et S/Ahras).	144
Fig4.5	Effets de l'artificialisation des cours d'eau sur le temps de concentration et le débit de pointe.	144
Fig4.6	Etats du cours d'eau de l'Oued Kouba.	146
Fig4.7	Etats du cours d'eau de l'Oued Forcha.	146
Fig4.8	Etats du cours d'eau de l'Oued Sidi Harb.	147
Fig4.9	Débit de pointe et temps de concentration.	149
Fig5.1	Classification supervisée de l'occupation du sol du bassin versant de l'Oued Kouba, année 2002.	169
Fig5.2	Classification supervisée de l'occupation du sol du bassin versant de l'Oued Forcha, année 2002.	170
Fig5.3	Classification supervisée de l'occupation du sol du bassin versant de l'Oued Sidi Harb, année 2002.	171
Fig5.4	Dynamique urbaine et temps de concentration, année 2002.	172
Fig5.5	Classification supervisée de l'occupation du sol du bassin versant de l'Oued Kouba, année 2010.	174
Fig5.6	Classification supervisée de l'occupation du sol du bassin versant de l'Oued Forcha, année 2010.	175
Fig5.7	Classification supervisée de l'occupation du sol du bassin versant de l'Oued Sidi Harb, année 2010.	176
Fig5.8	Dynamique urbaine et temps de concentration, année 2010.	177
Fig5.9	Classification supervisée de l'occupation du sol du bassin versant de l'Oued Kouba, 2019.	179
Fig5.10	Classification supervisée de l'occupation du sol du bassin versant de l'Oued Forcha, année 2019.	180
Fig5.11	Classification supervisée de l'occupation du sol du bassin versant de l'Oued Sidi Harb, année 2019.	181
Fig5.12	Dynamique urbaine et temps de concentration, en 2019.	182
Fig5.13	Le nombre des fragments (NP) par bassins versants, année 2002.	186
Fig5.14	L'indice de forme de paysage (LSI) par bassins versants, année 2002.	187
Fig5.15	L'indice d'agrégation (Ai) par bassins versants, année 2002.	187
Fig5.16	La distance euclidienne moyenne au plus proche voisin (ENN-MN) par bassins versants, année 2002.	188
Fig5.17	Le temps de concentration par bassins versants, année 2002.	189
Fig5.18	Le nombre des fragments (NP) par bassins versants, année 2010.	190
Fig5.19	L'indice de forme de paysage (LSI) par bassins versants, année 2010.	190
Fig5.20	L'indice d'agrégation (Ai) par bassins versants, année 2010.	191
Fig5.21	La distance euclidienne moyenne au plus proche voisin (ENN-MN) par bassins versants, année 2010.	191
Fig5.22	Le temps de concentration par bassins versants, année 2010.	192
Fig5.23	Le nombre des fragments (NP) par bassins versants, année 2019.	193
Fig5.24	L'indice de forme de paysage (LSI) par bassins versants, année 2019.	193
Fig5.25	L'indice d'agrégation (Ai) par bassins versants, année 2019.	194

Fig5.26	La distance euclidienne moyenne au plus proche voisin (ENN-MN) par bassins versants, année 2019.	194
Fig5.27	Le temps de concentration par bassins versants, année 2019.	195
Fig6.1	Les séquences urbaines bordant la Savoureuse.	208
Fig6.2	Crépy en Valois et son potentiel écologique.	210
Fig6.3	Principe du système dual d'assainissement.	211
Fig6.4	Tranchée drainante le long d'un espace piétonnier.	213
Fig6.5	Avaloir conduisant les eaux pluviales de voirie vers le puits d'infiltration.	214
Fig6.6	Chaussée à structure réservoir, Craponne.	216
Fig6.7	Exemple de chaussée à structure réservoir avec enrobé drainant et évacuation par infiltration.	217
Fig6.8	Exemple de chaussée à structure réservoir avec enrobé dense (étanche) sans infiltration.	217
Fig6.9	Bassins de rétention à ciel ouvert.	218
Fig6.10	Toit végétal, Chicago, Etats Unis.	220
Fig6.11	Aménagement urbain d'un parking en pavés drainants.	222
Fig6.12	Réservoir d'eau dans un parc à Melbourne, Australie.	223
Fig6.13	Occupation du sol et zones inondables dans l'agglomération de Nantes.	227

LISTES DES TABLEAUX ET CARTES.

Tab1.1	Quelques inondations survenues en Algérie.	7
Tab1.2	Stratégie et étapes de recherche.	13
Tab3.1	Dépouillement des pluviogrammes à Annaba de 2007/2008 à 2012/2013, stations de Pont Bouchet et des salines, Annaba.	77
Tab3.2	températures moyennes sur Annaba.	78
Tab3.3	Moyennes mensuelles et moyenne annuelle de l'humidité relative de l'air à la station des Salines en %.	78
Tab3.4	Vitesses du vent moy et du vent max à Annaba.	79
Tab3.5	Composantes et indicateurs descriptifs de l'hydrosystème du site de Draa Errich (W. Annaba).	90
Tab3.6	Déclinaisons et indicateurs descriptifs du projet d'aménagement urbain de la nouvelle ville de Draa Errich (W. de Annaba).	90
Tab3.7	Evaluation de l'impact du projet d'aménagement urbain de la nouvelle ville de Draa Errich (w de Annaba) sur l'hydrosystème local.	91
Tab3.8	Maladies à potentiel épidémique (2015-2016-2017-2018).	120
Tab3.9	Les espaces verts à Annaba.	121
Tab4.1	Critères de sélection et pondération.	128
Tab4.2	Tableau matriciel illustrant la sélection des bassins versants.	130
Tab4.3	Evaluation du temps de concentration des bassins versants de O-Kouba, O-Forcha et O-Sidi Harb à une intensité (i).	151
Tab4.4	Calcul des débits à l'exutoire des bassins versants de O-Kouba, O-Forcha et O-Sidi Harb suivant la formule de Caquot.	154
Tab4.5	Evolution de la superficie des espaces urbains des bassins versants de O-Kouba, O-Forcha et O-Sidi Harb suivant les années (2002,2010 et 2019).	157
Tab4.6	Tableau comparatif spatio-temporel de l'évolution de la dynamique urbaine et les indices hydrographique dans les BVs de l'Oued Kouba, l'Oued Forcha et l'Oued Sidi Harb.	160
Tab5.1	Niveau (1) et niveau (2) de la classification supervisée des bassins versants de O-Kouba, O-Forcha et O-Sidi Harb.	166
Tab5.2	Classification supervisée, les classes thématiques.	166
Tab5.3	Zones urbaines et temps de concentration des bassins versants, année 2002.	172
Tab5.4	Zones urbaines et temps de concentration des bassins versants, année 2010.	173
Tab5.5	Zones urbaines et temps de concentration des bassins versants, en 2019.	178
Tab5.6	Les métriques paysagères utilisées dans la présente recherche.	184

Carte 4.1	Localisation des bassins versants avec les réseaux hydrographiques respectifs à l'état naturel.	137
Carte 4.2	La délimitation des zones urbaines par bassins versants, année 2002.	139
Carte 4.3	La délimitation des zones urbaines par bassins versants, année 2010.	140
Carte 4.4	La délimitation des zones urbaines par bassins versants, année 2019.	141

LISTE DES SIGLES.

ABH: Agence des Bassins Hydrographique.

DGPC: Direction Générale De la Protection Civile.

DHW: Direction Hydraulique de la Wilaya.

DSA: Direction des Services Agricoles de wilaya.

DSP: Direction de la Santé Publique.

GIRE: Gestion Intégrée de la Ressource en Eau.

MNA: Modèle Numérique d'Altitude.

MNT: Modèle Numérique du Terrain.

ODD: Objectif de Développement Durable.

OECD: Organisation de coopération et de développement économiques.

OGEBC: Office de Gestion et d'Exploitation des Biens Culturels.

ONU: Organisation des Nations Unis.

ONS: Office National des Statistiques.

OPGI: Office de Promotion et de Gestion Immobilière.

PAM: Plan d'Action pour la Méditerranée

PATW: Plan d'Aménagement Territorial de Wilaya

PAW: Plan d'Aménagement de la Wilaya.

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

PNUD: Programme des Nations Unies pour le Développement.

PNUE: Programme des Nations Unies pour l'Environnement.

POS: Plan d'Occupation du Sol.

SIG: Système d'Informations Géographiques.

URBAN: Centre d'Etudes et de Réalisations en Urbanisme de Annaba.

USGS: *United States Geological Survey.*

ZHUN: Zone d'habitat urbain nouvelle.

Résumé.

L'objectif principal de la présente recherche est d'évaluer qualitativement et quantitativement l'impact de la dynamique urbaine de Annaba sur le fonctionnement des hydrosystèmes qu'elle implique à l'échelle de leurs bassins versants. En effet, l'urbanisation, qui a pour corollaire l'imperméabilisation des aires d'infiltration des eaux de ruissellement, entrave la réalimentation des nappes et modifie sensiblement leur débit en aval aggravant ainsi le risque d'inondation. Or, l'urbanisme durable, plus particulièrement l'urbanisme hydrophile ou *water sensitive urbanism*, a pour mission de contribuer à conserver et/ou rétablir cet équilibre vital à travers des aménagements urbains respectueux de la géographie et la dynamique de l'eau.

La méthode d'évaluation utilisée ici consiste en une analyse spatiotemporelle quantitative et qualitative comparant la dynamique urbaine avec la dynamique des hydrosystèmes locaux durant un intervalle de temps de vingt ans environ. Elle s'appuie sur des produits satellitaires, des cartes SIG et des indices paysagers urbains définis par Fragstat à trois dates distinctes 2002, 2010 et 2019. Elle permet ainsi d'apprécier la variation des effets des changements d'occupation du sol sur la dynamique des hydrosystèmes des bassins versants étudiés.

Les résultats montrent que la dynamique urbaine est dommageable au bon fonctionnement des hydrosystèmes moins de son propre fait que par sa distribution spatiale interférant avec la géographie de l'eau à l'échelle des bassins versants. Afin d'y parer, quelques recommandations pratiques sont préconisées en lien avec la planification, l'aménagement urbain et la gouvernance dans le cas d'étude. Ces mesures, généralisables à d'autres cas similaires, orientent également la prise de décision dans le cadre des études prospectives d'établissements humains durables et résilients.

Mots clés : Annaba, dynamique urbaine, USGS, SIG, FRAGSTAT, hydrosystème, inondation.

Abstract.

The present research main objective is to assess qualitatively and quantitatively the Annaba urban dynamic impacts on the local hydrosystems functionality at the watershed level. Indeed, the urbanization is at the origin of soil sealing, aquifer recharge disruption and changes downstream resulting in the aggravation of the flood risk. For instance, the sustainable urban planning, more particularly the hydrophilic urbanism or the water sensitive urbanism, can help preserve and/or restore that vital balance taking into consideration the water specific geography and dynamic.

The method used here consists of a quantitative and qualitative spatiotemporal analysis comparing the urban dynamic against the local hydrosystems dynamic over twenty years period approximately. The analysis is based on some satellite products, GIS maps and urban landscape indices defined by Fragstat dating from 2002, 2010 and 2019. Thus, variable land use changes effects on the hydrosystems dynamic are identified across the studied watersheds.

Results show that the Annaba urban dynamic does disturb significantly the hydrosystems dynamic less upon its own action than upon its spatial distribution over the watershed as interfering with the water geography. In order to mitigate such effects in the case study, some practical recommendations are suggested regarding the urban planning and design practices as well as the governance strategy. These measures, which could be used for similar cases, can also support the decision making process and prospective studies for sustainable and resilient human settlements.

Keywords: Annaba, urban dynamics, USGS, GIS, FRAGSTAT, hydrosystem, flood.

الملخص.

يهدف هذا البحث أساساً إلى تقييم نوعي وكمي لأثر الديناميكية الحضرية لمدينة عنابة على النظم المائية عبر الأحواض المائية التي تأويها. المعروف أن لل عمران أثر على السيول السطحية كما أنه يعيق تسربها نحو طبقة المياه الجوفية ويضخم تدفقها باتجاه مجاريها السفلى مما قد يزيد من خطر الفيضانات. لذلك، فإن التخطيط الحضري المستدام ، ولا سيما العمران المراعي لنظام الماء، يهدف إلى الحفاظ أو استعادة هذا التوازن الحيوي من خلال تدابير عمرانية تتوافق مع جغرافيا وديناميكية الماء.

يعتمد هذا البحث على منهج تحليلي كمي ونوعي زمني- مكاني ، يسمح بمقارنة الديناميكية العمرانية مع ديناميكية النظام المائي المحلي على مدى عشرين عاماً تقريباً. لهذا الغرض تم استخدام صور الأقمار الصناعية وخرائط نظم المعلومات الجغرافية ومؤشرات المناظر الطبيعية الحضرية من نوع Fragstat مؤرخة في 2002 و 2010 و 2019. و قد سمحت بتوضيح تنوع في استخدام الأراضي و تأثيرها على ديناميكية الأنظمة المائية على مستوى كامل الأحواض.

تبين نتائج البحث أن لل عمران أثر متباين على الأنظمة المائية حسب توزيعه الجغرافي عبر الحوض المائي. تم تقديم جملة من التوصيات العملية للتخفيف من هذه الأضرار تتعلق بالتخطيط التنموي و التسيير و التهيئة العمرانية في مدينة عنابة. يمكن تعميم هذه التوصيات و الاستناد إليها في إطار دراسات مستقبلية تخص المدينة المستدامة الآمنة.

المفاتيح: عنابة ، الديناميكية الحضرية ، USGS ، SIG ، FRAGSTAT ، النظام المائي ، الفيضان.

CHAPITRE I

INTRODUCTION GENERALE.

CHAPITRE I

INTRODUCTION GENERALE.

1.1. Problématique de recherche.

L'ONU, a déclaré que 95% de la croissance de la population urbaine dans le monde sera le fait des pays en développement, au cours des prochaines décennies. En particulier, la population urbaine d'Afrique devrait passer de 414 millions à plus de 1,2 milliard d'habitants d'ici 2050 (Nations Unis, 2019), (Fig1.1).

C'est ainsi que les villes vont continuer à s'étendre verticalement et/ou horizontalement, au rythme de la croissance démographique. Les aménagements urbains qui se créent, ou encore, les opérations de restauration, de rénovation, et/ou d'extension spatiale qui en résultent, créent une **dynamique urbaine**.

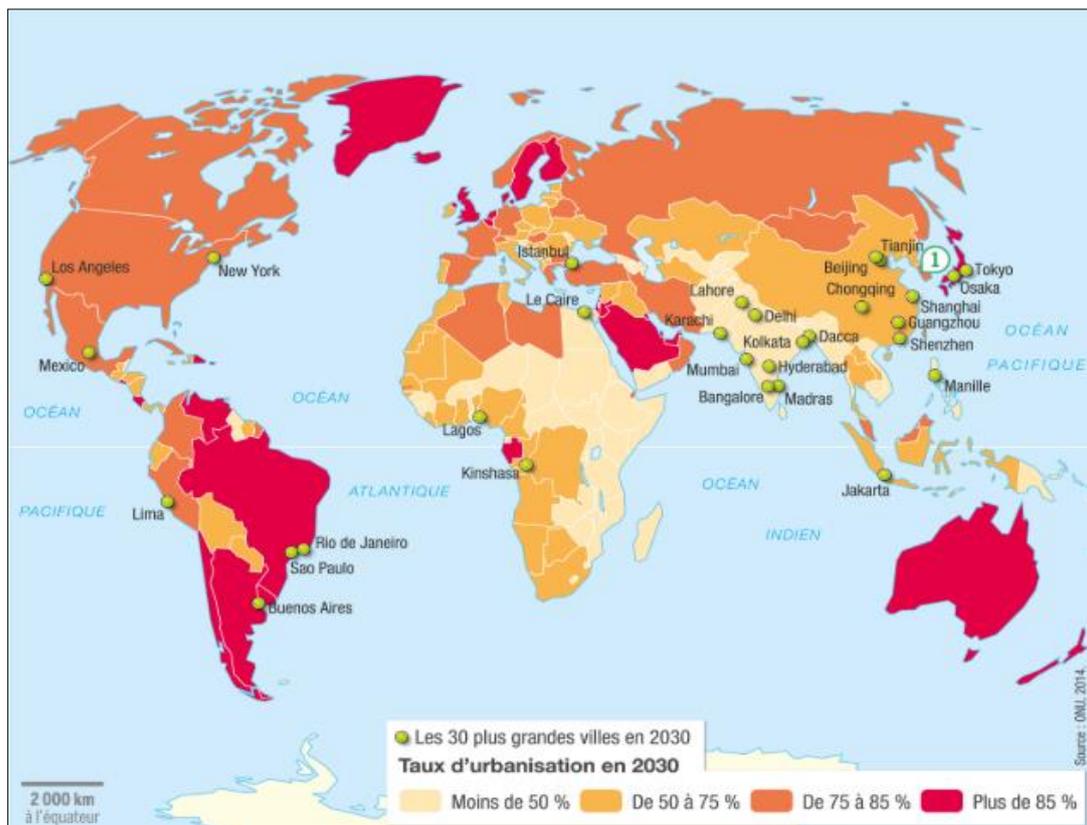


Fig1.1. L'urbanisation dans le monde, projection 2030 (ONU, 2014).

Introduction générale.

Les villes, de ce fait, intègrent progressivement les territoires environnants suivant trois niveaux d'agencement : Une zone périphérique, généralement en croissance continue, une zone de communes suburbaines et enfin la zone du centre de l'agglomération.

La **dynamique urbaine** à rythme accéléré entraîne de nombreuses conséquences de plusieurs ordres (sociétal, économique politique...). Cependant, les impacts sur l'environnement et la qualité de vie priment de nos jours car portant atteinte à la survie et à l'avenir de l'humanité.

En effet, par la création de structures artificielles permanentes, le processus d'urbanisation provoque de profonds changements paysagers et des modifications des occupations du sol, parfois irréversibles (McKinney, 2006). L'anthropisation continue de l'environnement naturel, de plus en plus rapide que connaît le monde aujourd'hui est à l'origine des altérations des sols, de l'air, des eaux souterraines et de surface, et de productions en masse considérable de déchets et de pertes de ressources naturelles. A titre d'exemple, la structure type d'une voirie conventionnelle composée d'une couche de fondation, d'un corps de chaussées et d'une couche enrobé de béton bitumineux, a un impact considérable sur l'équilibre et le fonctionnement des hydrosystèmes. En imperméabilisant les surfaces du sol et en diminuant le couvert végétal, la structure classique de voiries réduit l'infiltration des eaux de pluies, ce qui engendre un appauvrissement de la réalimentation des nappes et l'accentuation du taux de ruissellement et occasionne pour corollaire une aggravation du risque des inondations.

La faune, la flore, l'eau, l'air, le sol et les ressources naturelles indispensables à notre survie, exigent le maintien d'un équilibre écologique permanent sans lequel d'importants dysfonctionnements ont lieu avec des effets imprévisibles sur la santé et sur le bon fonctionnement de l'environnement naturel autant que sur les villes et le confort de ses résidents.

La démarche recommandée aujourd'hui en urbanisme consiste à intégrer l'environnement dans toutes les actions de planification et d'aménagement durable, concevoir des projets urbains plus respectueux de l'homme, des paysages naturels, plus soucieux de préserver la faune et la flore, d'économiser l'occupation des espaces et de limiter la consommation de l'eau et des sols.

Introduction générale.

En particulier, les liens entre l'eau, l'homme et l'urbanisme sont indissociables, historiques et constants. C'est la recherche de points d'eau en surface ou souterrains qui a conditionné le développement urbain à travers le temps. De fait, les objectifs de développement durable (ODD), ou les objectifs mondiaux de développement durable, constituent un appel mondial à agir pour éliminer la pauvreté, protéger la planète et ses ressources naturelles (Nations Unis, 2020).

Dix-sept objectifs sont intégrés dans l'Agenda 2030 dont le sixième objectif qui vise justement un libre accès, équitable et universel à l'eau potable, à l'assainissement et à l'hygiène sanitaire d'ici 2030, notamment pour les populations vulnérables, le sixième ODD préconise également une gestion durable de cette ressource, et la réduction du nombre de personnes souffrant de la rareté de l'eau.

L'eau, qui est une ressource vitale pour l'Homme, est également définie aujourd'hui à travers la notion d'**hydrosystème** prenant compte de la complexité et la multiplicité des interconnexions entre les eaux de surface et les eaux souterraines. Les **hydrosystèmes** sont situés au cœur de la **dynamique urbaine**. Ce sont les écosystèmes les plus importants de l'environnement en général, et de l'environnement urbain en particulier. Or, l'eau présente un risque potentiel majeur pour toute urbanisation ne tenant pas compte la préservation du fonctionnement naturel de l'**hydrosystème** à l'amont de sa planification. La pollution hydrique, en exemple, a un effet dévastateur sur la qualité et la quantité de l'eau, d'où un risque non négligeable sur la santé de la population et de l'environnement. Outre le risque de la pollution hydrique, **les inondations** représentent également une des formes de dysfonctionnement des hydrosystèmes sous l'effet de l'urbanisation. En effet, les conséquences des inondations menacent un grand nombre de personnes et provoquent des dommages matériels et/ou humains.

A titre d'exemple, les inondations spectaculaires, du 29 août 2005, qui ont englouti la Nouvelle Orléans sous plusieurs mètres d'eau (Goeury, Maret, 2008). A la Nouvelle-Orléans, et dans une période qui a duré moins de trois siècles, l'urbanisation a converti une plaine alluviale de nature marécageuse en une métropole moderne (Colten, 2005). La Nouvelle Orléans a effectué d'importants changements sur son environnement primitif, naturel pour le rendre hospitalier, et ce, par la création de mesures notamment structurelles qui permettent de garder les zones occupées par les habitants hors d'eau en cas d'ouragan et de maîtriser l'intrusion d'eau salée dans les systèmes d'eau douce.

Introduction générale.

Paradoxalement, ces efforts pour pallier à l'instabilité de son territoire n'ont fait qu'amplifier sa vulnérabilité face aux aléas naturels (Fig1.2). En effet, les dégâts engendrés ont révélé que ces aménagements structurels, aussi importants soient-ils, ne font que ralentir la dégradation du milieu naturel, sans pour autant réduire durablement l'exposition aux risques.



Fig1.2: La zone la plus touchée par l'inondation de 2005 de la nouvelle Orléans, (humanité.fr, 2020).

En 2010, le documentaire *The Big Uneasy* a justement démontré que la dynamique urbaine de la Nouvelle Orléans est en grande partie responsable des dégâts de l'ouragan Katrina sur la Nouvelle Orléans en 2005. En effet, l'enquête menée a révélé qu'un ouragan précédemment survenu (ouragan Besty) en 1965, n'avait inondé que 20% de la ville alors que celui de Katrina a inondé 80% de la ville. Pourtant, les deux ouragans sont d'une intensité relativement semblable.

Par ailleurs, l'histoire de Venise et de ses habitants est un autre exemple de ville axée sur l'eau (Fig1.3). Son histoire est intimement liée à sa relation avec la Mer Méditerranée. En effet, c'est à partir de sa trame bleue que la ville s'est configurée et a déterminé sa morphologie et son modèle de développement urbain (Rodriguez, 2015).

Introduction générale.



Fig1.3 : La Ville de Venise, (Google-earth.com).

S'ajoutent aux impacts de l'urbanisme sur les hydrosystèmes, les risques associés aux changements climatiques. Le cycle de l'eau est étroitement lié aux modifications de la température atmosphérique. Les interrelations entre le cycle de l'eau et le système climatique restent multiples et d'une grande complexité. Les différentes composantes des systèmes hydrologiques peuvent être significativement affectées par la montée des températures. On en cite, la fonte de la neige et des glaces, la quantité des précipitations, leurs intensités et leurs fréquences, la variation de la quantité de vapeur d'eau dans l'atmosphère, l'évapotranspiration, le taux et la vitesse des ruissellements des eaux de surface, le débit des cours d'eau, etc.

Le réchauffement de la température des lacs et des rivières pourrait occasionner leur destruction sur le plan qualitatif mais aussi en termes biologiques et chimiques (Petit jean, 2008). En effet, l'intensité accrue des précipitations pourrait aggraver la pollution de l'eau. Car une quantité plus importante de polluants, qui contaminent les aquifères souterrains, peuvent être introduits dans le sol par effet de l'intensité des précipitations.

Introduction générale.

Effectivement, dans le cas où les précipitations sont trop importantes, et donc si elles entraînent des inondations, les systèmes d'assainissement, de récupération et de traitement des eaux usées, peuvent être saturés engendrant de fait des débordements, avec pour corollaire, un risque accru de contaminations des aquifères et de décharges intempestives. Si à l'inverse l'intensité des précipitations est trop faible, la quantité d'eau disponible ne suffira pas à éliminer de manière satisfaisante les polluants. Le cycle de l'eau est de fait très sensible aux variations climatiques.

Par ailleurs, l'Algérie, a connu des phénomènes de crues et d'inondations catastrophiques. A ce titre, le risque des inondations en Algérie est listé par l'ONU parmi l'un des dix risques majeurs présents sur le territoire. Le risque des inondations est cité par la loi 04-20 du 25 Décembre 2004 relative à la préservation des risques majeurs et la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable. Le risque des inondations est classé en deuxième position après les risques liés aux séismes et les risques géologiques, et ce, tenant compte de l'ampleur des dégâts matériels et humains engendrés (Nourri et Ozera, 2016). Ces événements sont, pour la plupart, intensifiés par des facteurs autres que les situations météorologiques exceptionnelles, l'urbanisation anarchique reste l'un des facteurs les plus importants (Cheikh, 2020). En général, les inondations survenues en Algérie peuvent être classées selon leurs causes :

- Les inondations liées à des situations météorologiques remarquables (Orages et pluies violents).
- Les inondations provoquées par des facteurs liés à l'action anthropiques, comme la saturation des cours d'eau par des décombres et des débris ou encore la carence des réseaux d'assainissement.
- La dernière catégorie concerne les inondations dues à un cadre topographique de ville exceptionnel que peuvent présenter certaines régions. C'est le cas des villes traversées par les oueds à l'exemple de la wilaya de Sidi Bel Abbés (Algérie) ou le cas des villes situées au pied de montagne comme la wilaya de Batna (Algérie).

Introduction générale.

Les inondations représentent un des signes pathologiques d'un fonctionnement déséquilibré de l'hydrosystème. En milieu urbain, les inondations témoignent d'un hydrosystème contraint sur les plans spatial/géographique et fonctionnel.

Les épisodes successifs d'intempéries qui ont touché l'Algérie font d'elle un pays sujet au risque d'inondations (Tab1.1).

Tab1.1 : Quelques inondations survenues en Algérie, (synthétisé par l'auteur sur la base de plusieurs documents).

Villes	Années	Volume des dégâts
El Eulma	1980	44 Morts, 50 blessés et un bon nombre de familles sinistrées.
Annaba	1982, 1996, 2002, 2010, 2019	Plusieurs pertes humaines et d'importants dégâts matériels.
L'Oued R'hiou	1993	Morts, blessées, Plusieurs disparus ainsi que d'importants dégâts matériels.
Bordj Bou Arreridj	1994	27 morts, 84 blessés et 941 familles sinistrées.
Bâb El Oued (Alger)	2001	Plus de 712 morts, 311 blessés et 126 disparus et plus de 30 millions de dinars de pertes matérielles.
Ghardaïa	2008	43 morts, 86 blessés et 2,5 milliards de dinars pour les infrastructures publiques.

Parmi les événements récents, ceux de Bâb El Oued (Alger) et Ghardaïa sont les plus marquants. Le 9 et 10 Novembre 2001 à Bâb El Oued (bassin versant de l'Oued Koriche, Alger) les inondations, qui ont survécu à Bâb El Oued, à Alger restent un des exemples les plus significatifs des impacts que peut avoir une urbanisation ne tenant pas en compte, la préservation de fonctionnement de l'hydrosystème et de ses composantes, dans sa dynamique.

Dans le cas de ces inondations dévastatrices, c'est l'urbanisation anarchique de tout le lit de l'Oued qui avait une grande part dans l'engendrement des dégâts et des pertes humaines, et ce, en plus des effets météorologiques ; la quantité des pluies précipitées, exceptionnelles

Introduction générale.

et violentes. En effet, les statistiques ont déclaré plus de 712 morts, 311 blessés et 126 disparus et plus de 30 millions de dinars de pertes matérielles, en plus de la détérioration des routes, et l'endommagement du réseau d'assainissement (Benouar et Zerzour, 2006).

Également, le 1^{er} et 2 Octobre 2008 dans la région de Ghardaïa, les inondations ont entraîné 43 morts, 86 blessés et 2,5 milliards de dinars pour les infrastructures publiques, (Lahlah, 2004). Toutefois, la gestion urbaine de l'eau dans cette région était parmi les domaines où se distinguaient les habitants du M'Zab. En effet, " **le cours d'eau était l'outil fondamental de la structuration de territoire du M'Zab**. Il ramasse toutes les cités de la vallée et articule également celle-ci avec le monde extérieur" (Krami, F et Krami, D, 2017, 56p).

Le M'Zab est une région rocheuse, le ruissellement est ainsi, très important. Antan, les mozabites tiraient profit des crues pour l'irrigation tout en maîtrisant leurs puissances par un système hydraulique¹ élaboré. Mais, " le M'Zab a connu au XXe siècle une évolution urbaine puissante. D'une vallée rurale à une vallée urbaine, de la pentapole à une métropole" (Cote, 2002, 26p).

Cette forte urbanisation s'est traduite par l'introduction de nouveaux types d'habitation, dont la conception est similaire à celle du nord de l'Algérie. L'introduction de cette architecture nouvelle, non conforme aux conditions environnementales du contexte Mozabite, a généré des impacts non négligeables sur le plan environnemental, comme la remontée d'eau et la contamination des nappes à cause de la non maîtrise de l'assainissement, et de la diminution du couvert végétal, d'où le problème d'ensablement (Bensalah et al, 2018).

Annaba, à l'Est du pays, est l'une des villes qui illustre parfaitement les problématiques liées aux inondations récurrentes et à la nécessité de la préservation des hydrosystèmes face à la dynamique urbaine. Parmi les inondations à Annaba, celles du, 11 novembre 1972, 5 avril 1973, 10 novembre 1982, 3 avril 1983, 27 septembre 1995, 2 juin 1997, 4 janvier 1999, 26 août 2002, 6 septembre 2002, 25 novembre 2002, 26 novembre 2002, 1 février 2003, 4 avril 2003, 5 septembre 2003, 12 décembre 2005, 13 décembre 2005, 03

¹ Le fondateur du système s'appelle : HAMOU OULD El Hadj.

Introduction générale.

janvier 2006, 22 mars 2007, 12 janvier 2009, 21 septembre 2009, 24 septembre 2009, 22 février 2012, (URBAN,2020). La plus récente est celle du 25 au 26 Janvier 2019.

Annaba fait partie des trois grandes villes à l'échelle nationale qui, par leurs positions géographiques, leurs tailles et leurs rôles économiques assument la fonction de métropole régionale qui équilibre l'armature urbaine du pays (PDAU, 2008) (fig1.4). La ville se caractérise par sa zone portuaire et par sa zone aéroportuaire qui favorisent son ouverture stratégique qui rayonne sur les wilayas voisines d'El-Taraf, Guelma, Souk Ahras, Oum el Bouaghi, Tébessa et Khenchela.

Les problèmes des inondations, de pénuries, de pollution hydrique ou encore les maladies à transmissions hydriques s'y intensifient dans le contexte Annabi au rythme de l'évolution de la dynamique urbaine. L'hydrodynamique est ainsi fortement impactée par la dynamique urbaine.

Ainsi, il devient nécessaire d'examiner de façon globale **la problématique de l'eau en repositionnant l'enjeu de la durabilité du fonctionnement équilibré de l'hydrosystème au cœur de la dynamique urbaine de la ville de Annaba.**

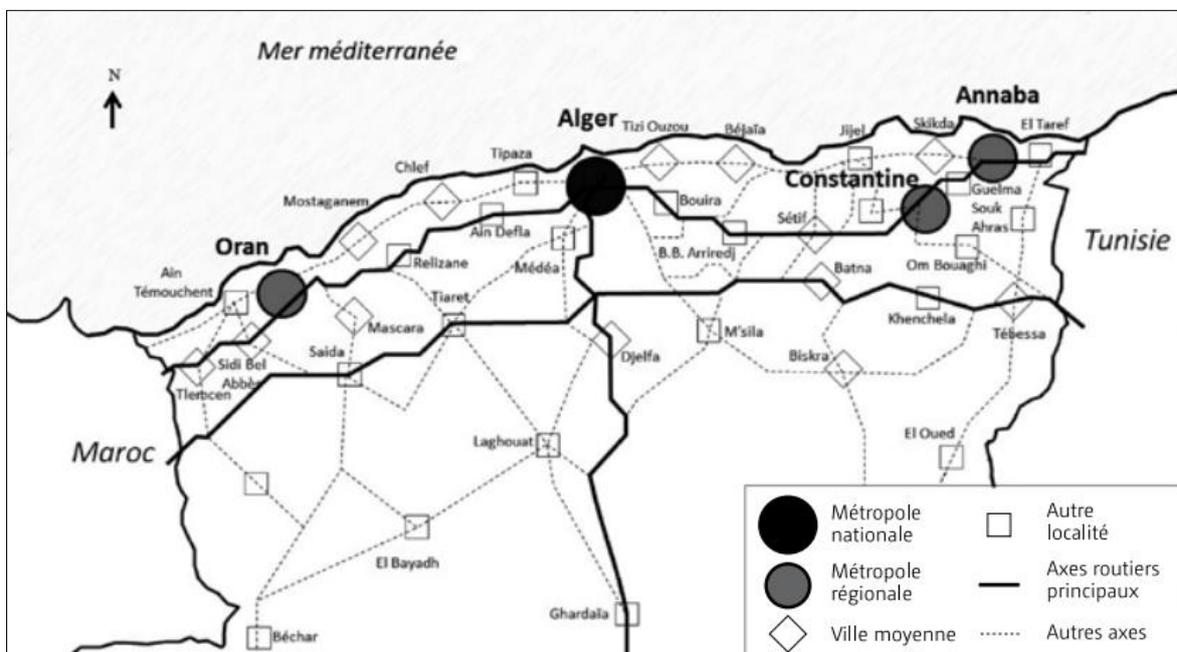


Fig1.4 : Le système urbain Algérien, (SNAT 2025, in KADRI, 2017).

Introduction générale.

Une vision durable consiste à rechercher des solutions pour répondre aux besoins du développement urbain des villes sans pour autant compromettre le fonctionnement de l'hydrosystème.

En plus des techniques alternatives, qui appellent à maximiser la quantité infiltrée des eaux superficielles, à la mise en place de noues paysagères, à la mise en place des chaussées drainantes, des bassins de rétention ou encore à la réutilisation des eaux grises pour l'irrigation des espaces verts, **la préservation de l'hydrosystème doit être valorisée et intégrée comme un axe d'aménagement urbain**, un élément de qualité du cadre de vie et de bien-être. L'intégration de l'hydrosystème dans le milieu urbain ne peut se limiter à sa vision utilisatrice.

La stratégie de réintroduction de l'hydrosystème doit passer tout d'abord par l'appréciation des impacts de la dynamique urbaine sur le fonctionnement de l'hydrosystème pour projeter, par la suite, une dynamique urbaine axée sur la préservation de l'hydrosystème. C'est dans ce contexte que s'inscrit la problématique générale de la présente recherche, qui s'articule autour d'une évaluation **quantitative et qualitative de l'impact de la dynamique urbaine sur le fonctionnement de l'hydrosystème dans la ville de Annaba et sa périphérie.**

La problématique de la présente recherche est en ligne avec l'approche intégrée de l'écologie politique urbaine qui examine la question de l'eau à travers sa dimension socio-économique et territoriale (Renou, 2013). Elle fait également référence à la pratique du WSUD qui privilégie les mesures non structurelles pour faire face aux risques urbains liés à l'eau tels que pénurie, pollution et inondation généralement traités avec des solutions techniques (Sharma et al, 2018). Le présent travail de recherche cible une des conséquences de la dynamique urbaine sur l'hydrosystème : **L'inondation en milieu urbain** qui prend aujourd'hui l'allure d'un véritable danger pour les villes et leurs populations, vu le nombre de victimes recensées à l'échelle nationale et/ou internationale.

1.2. Hypothèse et objectifs de recherche.

Le contexte démographique, l'urbanisation croissante et le réchauffement climatique augurent un niveau de risque élevé par aggravation de la vulnérabilité urbaine à terme. Bien que procédant du même phénomène atmosphérique (fortes précipitations) et ses effets en cascade (augmentation du débit et élévation de la hauteur de l'eau conduisant au débordement des cours d'eau au-delà du lit mineur), les inondations semblent avoir des impacts variables selon le profil urbain de leur lieu d'occurrence. De surcroît, en Algérie, la dynamique urbaine tente de satisfaire les besoins d'une population jeune en forte croissance dont la concentration au Nord génère une forte pression sur les bassins hydriques septentrionaux où se trouvent les principales ressources renouvelables du pays. La forte pression de la dynamique urbaine le long du littoral est préjudiciable au fonctionnement des hydrosystèmes qui les drainent. En effet, ce déséquilibre urbain territorial menace d'avantage l'hydrosystème car la pression sur les ressources naturelles s'accroît à mesure que la pression urbaine s'intensifie. Le dysfonctionnement des hydrosystèmes drainants qui en résulte aggrave le risque d'inondation en aval.

Par conséquent, il est stipulé en hypothèse que la dynamique urbaine serait dommageable à la durabilité des hydrosystèmes moins de son propre fait en tant que phénomène anthropique à portée spatio-temporelle appliqué au territoire (mode, rythme), que par la distribution des zones artificialisées qu'elle génère interférant avec la géographie et la dynamique de l'eau au sein des bassins versants et par conséquent impactant le fonctionnement et l'équilibre écologique des hydrosystèmes qu'ils drainent. Partant, le principal objectif de la présente recherche est d'évaluer cet impact sur les plans qualitatif et quantitatif dans un cas d'étude probant.

Les objectifs spécifiques se déclinent comme suit :

- **Objectif spécifique 1** : La reconstitution des trajectoires de la dynamique urbaine à trois dates successives facilitant l'identification des changements d'usage des sols et mettant en évidence les transformations subies par les composantes des hydrosystèmes locaux. Cette tâche requiert l'acquisition de données générales, spatiales (plusieurs générations de cartes urbaines) et statistiques (taux des zones résidentielles, industrielles, taux démographique...).
- **Objectif spécifique 2** : Caractériser les hydrosystèmes impliqués dans les inondations à travers des indicateurs permettant d'évaluer l'impact quantitatif de la dynamique urbaine sur leur équilibre fonctionnel. Cette tâche nécessite le recours aux outils et méthodes spécifiques au domaine de l'hydrologie.

Objectif spécifique 3 : L'évaluation de l'impact qualitatif de la dynamique urbaine sur l'équilibre fonctionnel des hydrosystèmes locaux. La tâche consiste confronter les critères de dynamique urbaine avec ceux de durabilité des hydrosystèmes.

1.3. Stratégie de recherche est résumée dans le Tableau 1.2:

Introduction générale.

Tab1.2 : Stratégie et étapes de recherche, (Mellouk, 2020).

Étape	Contenu	Méthode	Résultat attendu
1	Documenter et préciser la problématique de recherche.	-Revue de littérature à partir des mots clés suivants : Dynamique urbaine, durabilité d'un hydrosystème, inondation urbaine, méthodes et outils d'évaluation qualitative et quantitative des impacts urbains sur l'eau, Annaba, Algérie.	-Identifier les enjeux environnementaux notamment hydriques en lien avec la dynamique urbaine dans le monde et en Algérie. -Identifier les besoins de la recherche en termes de données requises, méthodes appropriées et stratégie d'investigation.
2	Etablir une synthèse de l'état de l'art.	-Revue de littérature ciblée portant sur : La dynamique urbaine (Urbanisation, artificialisation des sols, accroissement de la population urbaine, mobilité, etc.). L'hydrosystème (milieux d'eau, écosystème aquatique, système fluvial, cycle hydrologique, etc.). Méthodes d'évaluation (collecte et analyse des données, analyse quantitative, analyse qualitative, évaluation d'impacts, etc.). Modélisation (Système d'information géographique, produits satellitaires, images aériennes, classification, Fragstat, etc.)	-Définir scientifiquement la dynamique urbaine (mécanismes et processus en œuvre, facteurs) et l'hydrosystème (fonctionnement naturel, équilibre de l'écosystème, indicateurs hydrologiques, bassin versant, durabilité et anthropisation des hydrosystèmes). - Arrêter les méthodes appropriées à l'évaluation qualitative et quantitative de l'impact de la dynamique urbaine sur les hydrosystèmes. - Adapter une méthode de mesure et de suivi des trajectoires de la dynamique urbaine à partir de données multi spatiales multi temporelles dans le contexte local. -Suivre l'état de fonctionnement de l'hydrosystème à travers la définition d'indicateurs représentatifs : le débit de pointe et le temps de concentration.
3	Caractériser la dynamique urbaine et l'hydrosystème dans le cas d'étude.	-Collecter les données à partir de sources variées : web sites, établissements administratifs, bibliographie scientifique, visites de terrains, etc.	-Présenter le contexte urbain et hydrologique dans le cas d'étude. -Caractériser la dynamique urbaine en termes d'étalement et de distribution spatiale à travers les bassins versants. -Caractériser l'hydrosystème en termes de fonctionnement

Introduction générale.

		-Réunir les données spécifiques au cas d'étude sur la dynamique urbaine et l'état des hydrosystèmes durant l'intervalle de temps d'étude.	et d'équilibre écologique de ses composantes superficielles et souterraines. - Relever et décrire les interrelations entre dynamique urbaine et dynamique hydrique en référence aux critères de durabilité.
4	Evaluation qualitative et quantitative de l'impact de la dynamique urbaine sur la durabilité des hydrosystèmes.	Analyse des données, élaboration de cartes, modélisation. Interprétation et discussion des résultats	-Décrire la dynamique urbaine sur la base d'images satellitaires prises à différentes dates. - Confronter les indicateurs de changements territoriaux conséquents à la dynamique urbaine avec les indicateurs hydrologiques déclinant la durabilité de l'hydrosystème. -Emettre des recommandations quant à i) l'orientation spatiale de la dynamique urbaine à moindre impact sur les hydrosystèmes locaux, ii) la restauration des hydrosystèmes endommagés et iii) la prise de décision dans le cadre d'études prospectives d'établissements humains privilégiant la durabilité des hydrosystèmes.

CHAPITRE II,
ANALYSE CONCEPTUELLE, METHODES ET OUTILS.

CHAPITRE II, ANALYSE CONCEPTUELLE, METHODES ET OUTILS

Introduction.

Les relations entre villes et fleuves et les fronts d'eau urbains constituent aujourd'hui un champ d'investigation scientifique en soi. Nombre de travaux récents ont été publiés sur la question, chacun privilégiant un angle particulier, e.g. le discours des élus, les risques d'inondations, le paysage. Par-delà la multiplicité perceptible des approches, tous ces travaux ont pour objectif majeur ; la réintroduction des cours d'eau en ville et du réaménagement des fronts d'eau urbains (Sylvain, 2017). En Algérie, la question de l'eau en milieu urbain semble avoir été peu abordée par les urbanistes par le passé. Le travail de recherche de Aroua (2005) portant sur la prise en compte de l'eau dans le processus de planification urbaine durable serait l'un des premiers à être développé du point de vue de l'urbanisme contemporain. Un deuxième travail de recherche de Aroua (2012), a porté sur les facteurs de vulnérabilité et la capacité de résilience du milieu urbain face aux risques hydro climatiques. Il a permis d'élaborer une méthode d'évaluation du couple vulnérabilité-résilience et de proposer des mesures de régulation pour la réduction de la vulnérabilité, l'amélioration de la résilience locale, l'orientation des cahiers des charges de POS et enfin l'ébauche d'une charte urbaine des risques hydro climatiques. Enfin, le travail de recherche de Mellouk en urbanisme (2014), a porté sur l'évaluation des impacts des projets urbains sur l'équilibre des hydrosystèmes en Algérie à travers le cas de la nouvelle ville de Draa Errich dans la wilaya de Annaba. Cette recherche a confirmé la nécessité de considérer l'eau en tant que système naturel majeur dans le cadre de la planification et de l'aménagement urbains. La présente recherche, qui s'inscrit à la suite des recherches citées, investit par conséquent un champ scientifique relativement récent et peu investigué en urbanisme. Sa pertinence tient à l'actualité du sujet qui traite de l'interférence spatiale et fonctionnelle entre deux systèmes **dynamiques**, complexes et évolutifs : la ville, comme système socio-écologique urbain et l'oued comme hydrosystème. Le chapitre I consiste à i) définir l'outillage théorique utilisé dans le cadre de la présente thèse à savoir « l'**hydrosystème** » et « la **dynamique urbaine** » ; ii) décliner la méthodologie de recherche élaborée, les outils et méthodes empruntés.

2.1. Champ théorique.

2.1.1. La dynamique urbaine dans le cadre du développement urbain durable. Qu'est-ce que la dynamique urbaine ? Enjeux environnementaux en lien avec la dynamique urbaine.

L'accroissement démographique requiert naturellement un accompagnement urbain nécessaire à la satisfaction des besoins humains, physiologiques, sécuritaires, identitaires et d'épanouissement (Maslow, 1954). Cela dit, le processus d'urbanisation doit se faire dans le respect de l'environnement naturel et du fonctionnement de ses écosystèmes, notamment celui de l'hydrosystème. L'objectif de développement durable (ODD 6) de l'Agenda 2030, vise, justement, un accès universel et équitable à l'eau potable, en protégeant et en restaurant les écosystèmes liés à l'eau pour limiter sa raréfaction. En outre, un accord mondial visant la réduction et la prévention des risques de catastrophes à l'échelle mondiale, a été établi dans le cadre d'action de Sendai 2015-2030. Cet accord est créé essentiellement dans le but de renforcer la résilience sociale et économique pour la maîtrise et l'atténuation des effets négatifs du changement climatique et des risques d'origine anthropique.

Le problème des inondations, de pénuries, de contamination, de pollution hydrique, de glissement de terrain ou encore de maladies à transmissions hydriques, accentués par le contexte actuel de changement climatique, sont des manifestations du dysfonctionnement des hydrosystèmes sous l'effet de l'urbanisation. La présente recherche cible une de ces conséquences qui est **l'inondation en milieu urbain**, qui prend aujourd'hui l'allure d'un véritable danger pour les villes et leurs populations, vu le nombre de victimes recensées à l'échelle nationale et/ou internationale. Les solutions techniques montrent de fait leurs limites dans la maîtrise de ces phénomènes. *A contrario*, **l'urbanisme durable, plus particulièrement l'urbanisme hydrophile ou *water sensitive urbanism*, a pour mission de contribuer à rétablir et à conserver cet équilibre vital à travers des aménagements respectueux de la géographie et la dynamique de l'eau.**

Une stratégie de réconciliation entre la dynamique urbaine et l'hydrosystème doit cependant être contextualisée, opérationnalisée et faire l'objet d'un suivi permanent. Par conséquent, dans le cadre de la présente recherche, il est fait référence principalement à deux outils conceptuels, à savoir, la **dynamique urbaine** spatiale, ses facteurs et ses

enjeux environnementaux, et l'**hydrosystème**, et les critères de sa durabilité à l'échelle du bassin versant.

Qu'est-ce que la dynamique urbaine ?

La dynamique est définie comme la somme de forces (endogènes/exogènes) qui poussent à l'action, qui font bouger et changer les choses initiales vers des situations différentes, des forces qui engendrent un aspect de mobilité à un espace donné (Bouzahzah, 2015).

En géographie humaine, le terme **dynamique** implique une idée de changement, et non d'un simple déplacement de société (circulation-mobilité) (Denise, 1997). Une dynamique positive peut avoir comme exemple l'évolution du mode de transport qui favorise la mobilité intra urbaine et renforce, de fait, les liens entre le centre d'une agglomération et sa périphérie. Aussi, l'installation d'un nouveau pôle attractif dans une ville, qu'il soit administratif, commercial ou encore de loisirs, créerait une dynamique positive. Cela dit, le concept de dynamique ne signifie pas uniquement un changement vers une croissance positive. Une dynamique négative, en effet, désigne une décroissance, à l'exemple des espaces urbains répulsifs sous l'effet de la décadence de l'emploi et de l'affaiblissement économique d'où le départ de la population vers d'autres territoires.

La dynamique urbaine, quant à elle, dépend essentiellement de deux facteurs importants qui sont : La croissance démographique et l'extension spatiale des villes, l'une résultant en partie de l'autre (Reux, 2017). L'exode rural, en est un des moteurs de la dynamique démographique, car il est synonyme de recherche de terrains et de logements, au centre ou en marges de la ville. La dynamique urbaine peut être définie, également, comme étant des mouvements incessants de rénovation ou de dégradations des tissus urbains. C'est également le fonctionnement des multiples activités urbaines qui génère des flux intra-urbains, périurbains et extra-urbains, tels ceux dus à la mobilité résidentielle.

Les dynamiques urbaines peuvent aussi désigner les liens entre les organismes urbains et leur environnement dans une perspective éco systémique et de développement durable (Jegou, 2011). Les frontières entre la ville et son environnement naturel sont en permanente dynamique.

En effet, l'environnement est une échelle qui peut aller de la proximité la plus immédiates au globe dans sa totalité, elle est donc à dimensions changeantes. La ville sous l'effet de sa dynamique change continuellement ses limites.

Les frontières d'une ville sont géométriquement instables, et ce, aussi bien sur le plan physique que sur le plan statistique (Damon, 2011). Les villes ont besoin d'apports extérieurs pour vivre quotidiennement : Eau, énergie et nourriture, mais elles ont aussi besoin d'évacuer leurs productions et leurs déchets. Le lien entre la ville et ses écosystèmes naturels est, ainsi, continu et systémique. De fait, le fonctionnement correct et durable de la ville dépend fortement de la bonne santé de ses écosystèmes naturels, notamment de son écosystème aquatique. Le métabolisme urbain est, de fait, une expression qui désigne un rapprochement entre la ville et l'environnement vivant, c'est un concept qui apparaît vers les années 1980, dans un contexte de prise de conscience des effets de l'urbanisation sur l'environnement (Di Nardo, 2016). " Le métabolisme urbain est un ensemble de transformations et de flux de matière et d'énergie intervenant dans le cycle de vie d'une zone urbaine. La ville est alors représentée comme un système qui gère ses entrants et ses sortants par la régulation." (Bochet et Cunha, 2003, 54p). Enfin, le métabolisme urbain est la somme des interrelations qui régissent les cycles naturels, tels que le cycle de l'eau, et les sociétés anthropiques qui modifient et transforment ces cycles au sein desquels elles s'insèrent. De fait, le métabolisme urbain permet de mesurer la pression urbaine sur l'environnement.

La dynamique urbaine peut être également synonyme d'attractivité d'un espace. L'attractivité représente, en effet, la capacité d'un territoire donné à attirer et/ou à retenir différents types d'acteurs et de secteurs, donc, des personnes physiques ou des entreprises (Poirot et Gerardin, 2010). L'attractivité d'un espace peut générer sa dynamique urbaine. Par exemple, l'installation de commerces dans une zone délaissée, peu fréquentée, crée une dynamique urbaine de par l'attrait que pourraient ces commerces exercer sur la population des zones environnantes.

En général, afin de définir la dynamique urbaine, deux éléments clés sont avancés. Le premier élément concerne *les processus* de croissance de la ville en termes de politique urbaine et en termes des statistiques, comme les besoins démographiques et économiques.

Le deuxième élément, identifié par ailleurs, *les rythmes* de croissance d'une ville donnée, ils sont identifiés généralement à travers des dates de références où d'une période à l'autre, au fait, ils permettent d'illustrer la direction vers laquelle s'oriente l'extension de la ville (Véro, 2006). Dans le cadre de cette thèse, c'est l'augmentation en termes de bâtis, et de surfaces artificielles imperméables qui permettraient d'évaluer l'avancée du front de la dynamique urbaine dans l'environnement naturel.

En outre, la dynamique urbaine dépend des caractéristiques naturelles et/ou économiques de chaque ville (Nassori, 2017). En effet, des approches confirment que la dynamique urbaine est déterminée par les conditions naturelles qui peuvent être considérées comme avantageuses (présence de ressources minières, fertilité des sols), ou désavantageuses telles que les conditions climatiques difficiles (Fujita et al, 1999). D'autres approches considèrent que la dynamique urbaine est plutôt déterminée par les conditions économiques et l'existence d'interactions entre agents et secteurs économiques (Schaffar, 2009).

***In fine*, dans le cadre de la présente recherche, la dynamique urbaine est comprise au sens des transformations spatiales qui s'opèrent au niveau du territoire en termes de bâtis, en référence au concept de l'étalement urbain et par conséquent d'extension de l'emprise territoriale des villes.**

Etat de l'art sur la dynamique urbaine.

En référence à la bibliographie française, la dynamique urbaine a fait l'objet de plusieurs études dont celle de Claude Chaline (1983) qui a analysé la dynamique urbaine en étudiant alternativement "ses forces motrices, ses mécanismes et la différenciation géographique que l'on observe entre le centre, les quartiers péri-centraux et les couronnes suburbaines". On cite également les travaux de Jacques Veron (2006) dans son ouvrage "l'urbanisation du monde" où il aborde la dynamique urbaine à travers une analyse systémique. Des relations entre une ville et son environnement ou entre les différentes villes d'un même ensemble. La dynamique urbaine est abordée également dans l'ouvrage de Marc Côte (1998), dans son ouvrage "dynamique urbaine au Sahara" où il établit une "analyse approfondie des modes d'urbanisation au Sahara, qui correspondent, finalement, à un nouveau mode de territorialité". C'est une étude qui a conclu au fait qu'une "micro urbanisation, appuyée sur

une structure solide de réseaux villageois, permet d'établir une économie semblable à celle des grandes villes". L'auteur relève ainsi l'importance d'une dynamique urbaine appuyée sur une structure de base solide pour l'aménagement du territoire. La dynamique urbaine a fait l'objet, également, de plusieurs travaux de thèses de doctorat.

On cite également en exemple, la thèse de Kasdallah (2013) présentée et soutenue à Cergy-Pontoise sous le titre " Dynamiques d'urbanisation des villes intermédiaires au Maghreb (Algérie, Maroc et Tunisie)", Effet chef-lieu et perspectives de développement. Une recherche qui propose d'établir "une analyse comparative sur l'évolution des systèmes urbains Maghrébins, notamment, les villes de la strate intermédiaire". Ce travail vise à approfondir la connaissance de l'organisation spatiale et la structure urbaine de ces villes ainsi que l'impact des politiques publiques sur leurs dynamiques urbaines à l'échelle régionales et locales.

La dynamique urbaine a également été traitée dans le travail de thèse de Antoni (2003), soutenue à l'université Louis Pasteur Strasbourg 1, sous le titre de "Modélisation de la dynamique de l'étalement urbain, Aspects conceptuels et gestionnaires." Dans ce contexte, l'auteur traite la dynamique de l'étalement urbain, à travers, un travail de modélisation. Cette dernière permet de "mieux comprendre le processus de l'étalement urbain et la manière avec laquelle les changements s'effectuent sur un site donné¹ pour, ensuite, illustrer les conséquences du processus de l'étalement urbain sur l'environnement naturel. Enfin, l'auteur présente la modélisation comme outil d'aide à la décision".

En Algérie, la question de la dynamique urbaine a été abordée par quelques auteurs, citons, un ouvrage, apparu en 2016, s'intitulant " Dynamiques urbaines à Alger, la (Re) fabrication de la ville en question" sous la direction de SRIR, une étude qui décrypte la dynamique du développement urbain Algérois. "Un regard critique, théorique, méthodologique et empirique y est posé sur les situations urbaines actuelles, et ce, tout en présentant une vision prospective sur les enjeux des dynamiques urbaines pour les années à venir".

¹ Dans le cas de ce travail de thèse, Belfort, France, a été choisi comme cas d'étude, on a analysé le processus de l'étalement urbain depuis l'année de 1950.

Enjeux environnementaux en lien avec la dynamique urbaine.

La dynamique urbaine accélérée constitue l'un des plus grands problèmes des sociétés urbaines contemporaines. Effectivement, c'est en tenant compte de ses conséquences que l'on peut évaluer l'ampleur de la dégradation qu'elle génère sur l'environnement naturel. Finalement, l'urbanisation est toujours et encore à la conquête de nouveaux espaces à urbaniser. L'artificialisation des sols par l'urbanisation a pour principale conséquence leur imperméabilisation qui conduit à deux problèmes majeurs :

- Le premier est la diminution de la quantité de carbone stocké dans les sols issus essentiellement de l'usage de la voiture individuelle et la consommation en combustible pour le chauffage.
- Le second est la réduction de la quantité des eaux infiltrées, ce qui provoque une augmentation, en volume et en vitesse, du ruissellement des eaux de surface d'où les problèmes des inondations et la réalimentation incorrecte des composantes souterraines des hydrosystèmes spécialement les nappes phréatiques.

Le phénomène est encore plus grave dans les pays en développement. Depuis 2008, qui est considérée comme une année charnière parce que pour la première fois un être humain sur deux vit dans un territoire urbain, l'urbanisation ne cesse de s'intensifier, particulièrement, dans les villes des pays émergents et en développement, car subissant l'effet conjoint de l'exode rural et de la croissance démographique continue.

Les villes se concentrent, alors, s'étalent et se fragmentent tout à la fois, sans que pour autant ces territoires soient prêts à de telles modifications. En effet, la croissance considérable des villes en termes d'extension urbaine ne serait pas, dans la majorité des cas, accompagnée d'infrastructures et d'aménagements adéquats, qui assurent des conditions de vie décentes aux populations (Guillaume, 2016, Maurin, Schmidt et Schneider, 2016). Ces conditions de vie concernent les services de base tels que l'accès à l'eau potable, à l'alimentation, à la santé, à l'éducation, au logement ou aux nouvelles technologies.

Il en va de même pour les questions environnementales. Effectivement, la perte de biodiversité, la pollution atmosphérique, le stress hydrique, les inondations ne sont que des témoins d'un cadre environnemental détérioré.

Analyse conceptuelle, méthodes et outils.

Rappelons que les changements que connaît une ville, en général, sont dictés par les courants migratoires et une dynamique interne engendrée essentiellement par la mobilité résidentielle et le changement progressif de l'occupation social de l'espace intra-urbain. Les habitants d'une ville sont sans cesse confrontés à l'espace dans lequel ils s'inscrivent, ils doivent se déplacer, se repérer, localiser des lieux (Cauvin, 1999) (fig2.1).

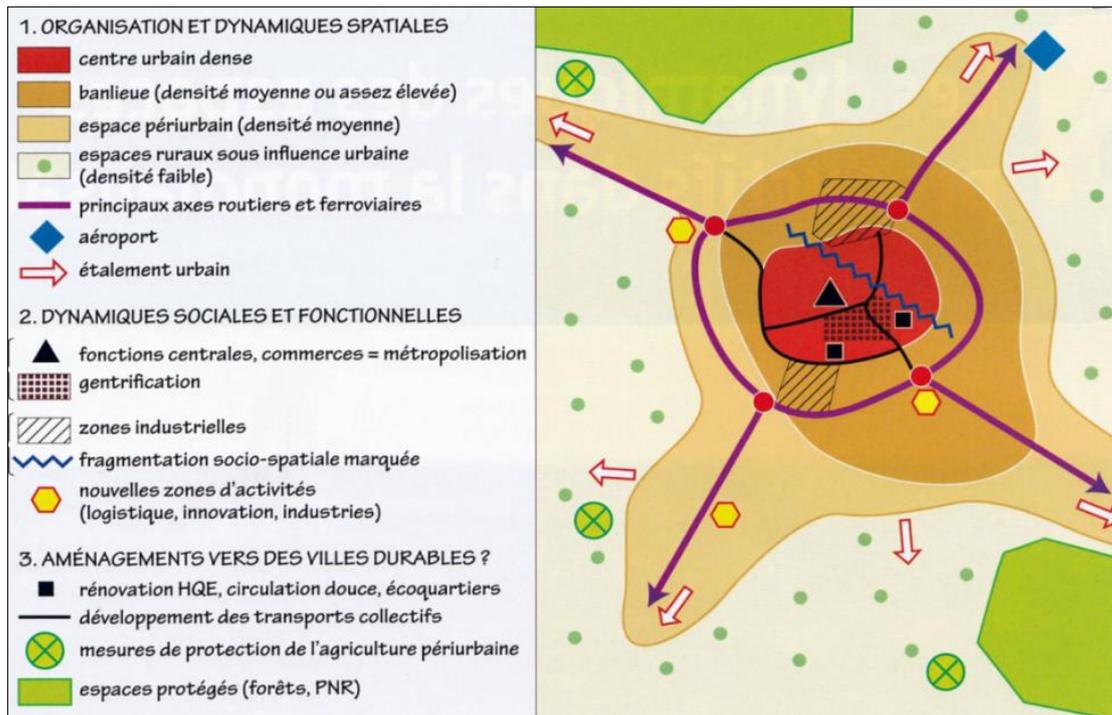


Fig2.1 : Exemple de forces motrices d'une dynamique urbaine (MARTINEAU, 2012).

Cependant, la ville ne dépend pas seulement de ces mécanismes mais aussi de la volonté de l'Etat ou quelques organismes comme les promotions immobilières à projeter des structures sociales dans des espaces encore plus loin du centre.

En somme, **la dynamique urbaine** est un fait inévitable, la ville ne cesse de se transformer sous l'effet de plusieurs facteurs, qu'ils soient sociologiques, économiques, politiques ou encore naturels. **A la différence de la croissance urbaine qui traduit l'augmentation de la population urbaine en nombre sans pour autant désigner une hausse dans le taux d'urbanisation (généralement mesuré en pourcentage), la dynamique urbaine désigne les changements urbains qui s'opèrent au sein d'une ville en vue de répondre aux besoins d'une population urbaine en accroissement** (Nassori, 2017).

L'estimation de la dynamique urbaine requiert de fait une rétrospective de l'évolution du milieu urbain afin de mettre en exergue les changements spatiaux apparus. L'**extension urbaine** est une des conséquences de la dynamique urbaine. **Dans le cadre de la présente recherche, c'est principalement son effet sur l'équilibre des hydrosystème qui est examiné et évalué.**

2.1.2. Qu'est-ce que l'hydrosystème ? Critères de durabilité d'un hydrosystème urbain. L'hydrosystème au cœur de la gouvernance.

Le bassin versant, comme le montre la Fig.2.2, au sens large, est une unité territoriale drainée vers un exutoire, grâce à un système de pentes.

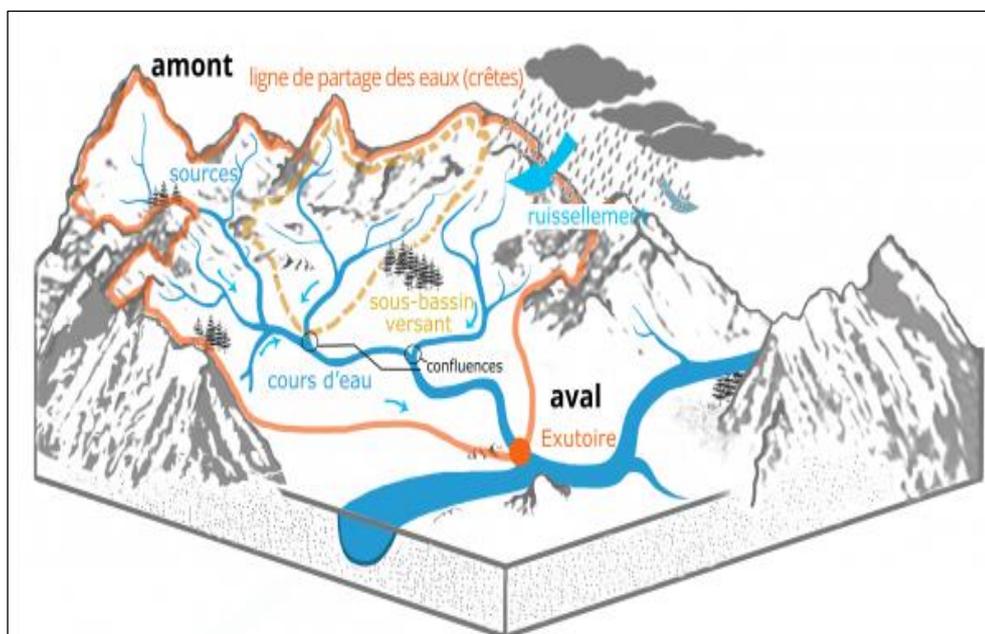


Fig2.2 : Le bassin versant, (Office international de l'eau, 2020).

C'est la ligne de partage des eaux qui délimite et construit le périmètre du bassin versant. Le bassin versant est de petite taille et donc élémentaire alors qu'un ensemble de bassins versants donne naissance à un bassin d'alimentation, le bassin versant est généralement définit comme étant un receptacle des eaux de précipitations (Touchart, 2014). En effet, grace à son système de pentes, le bassin versant draine les eaux de pluies jusqu'à l'exutoire, et ce, après des opérations de mises en reserves, de déstockages et de décalages.

Analyse conceptuelle, méthodes et outils.

L'occupation de sol a, de fait, un rôle primordial dans le drainage de ces eaux, en effet, son rôle est essentiel dans l'interception des précipitations, dans l'infiltration des eaux de ruissellement, et dans la vitesse des écoulements (Cosanday et al, 2000). **Le bassin versant est le cadre géographique dans lequel l'hydrosystème s'intègre.**

Qu'est-ce qu'un hydrosystème ?

Les eaux de surface et les eaux souterraines ont longtemps fait l'objet d'études séparées (Brunke et Gonser, 1997, Dawson, 2008, Kalbus 2006). L'émergence d'une vision systémique du cycle de l'eau a fait émerger le concept d'**hydrosystème** qui décline sa phase continentale (Dacharry 1993, Dooge 1968, Kurtulus, Flipo 2012). Il constitue un continuum hydrique dans lequel sont regroupés des unités de stockage appelées communément, les aquifères, où les eaux s'écoulent lentement et les eaux de surfaces, qui sont des composantes superficielles, conductrices où les quantités des eaux s'écoulent plus rapidement de l'amont à l'aval sur la surface terrestre (Fig2.3).

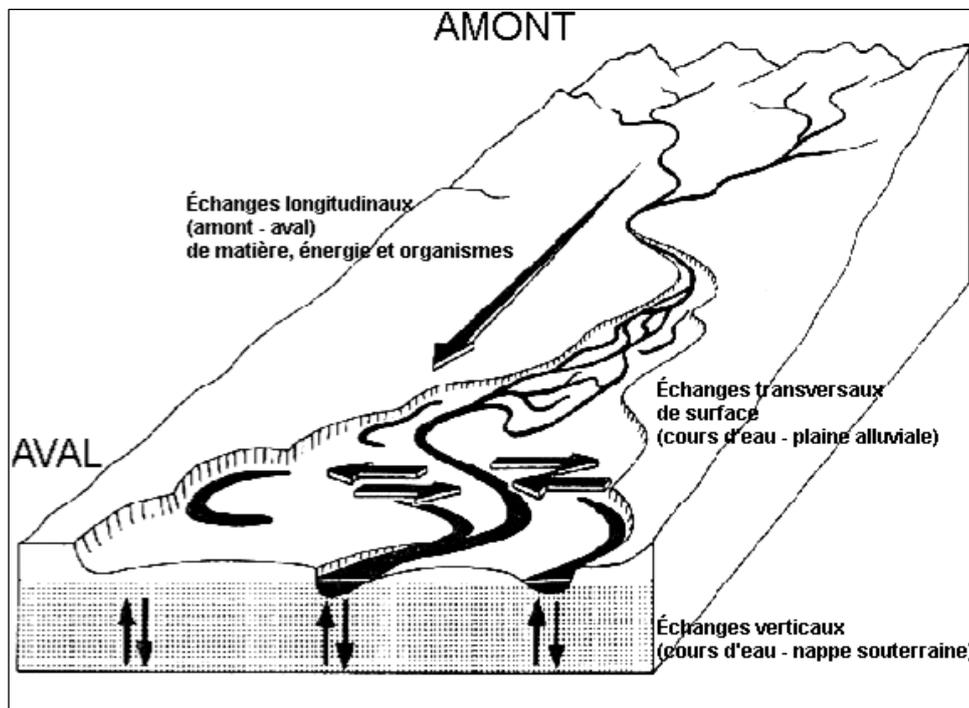


Fig2.3 : Echanges multidirectionnels au sein d'un hydrosystème, (Oudot-Canaff, 2014).

L'hydrosystème, peut être considéré aussi comme une « portion de l'espace où, dans les trois dimensions, sont superposés les milieux de l'atmosphère, de la surface du sol et du sous-sol, à travers lesquels les flux hydriques sont soumis à des modes particuliers de circulation. L'hydrosystème est le siège, sous l'effet de l'eau, de transformations car, en toutes ses phases, le cycle de l'eau a d'étroits rapports avec d'autres cycles physiques, géochimiques et biologiques de l'environnement terrestre ». (Dacharry, 1993, 23 p).

Une telle définition met l'accent sur l'échange et les flux entre les différents compartiments qui le composent (surfaciques et/ou souterrains), elle accorde également une grande importance à l'espace et au temps (Bernard, 1998). **Un hydrosystème fait référence, donc, à un système constitué d'un cours d'eau et de son environnement naturel aquatique relié, le bassin versant représente l'échelle dans laquelle s'insère cet ensemble.**

Les unités de l'hydrosystème sont, ainsi, reliées entre elles. Les échanges entre le cours d'eau, son lit majeur et sa nappe d'accompagnement sont essentiels pour l'état écologique du cours d'eau et le maintien qualitatif et quantitatif de la ressource en eau. Cependant, "les fleuves et les rivières sont souvent perçus à travers leur fonction d'écoulement des eaux, vision réductrice au vu de la complexité des hydro systèmes et les facteurs influant sur leur fonctionnement" (Malavoi et al, 2010, 2 p).

Trois différentes zonations composent les hydrosystème,

La zonation longitudinale : Suivant la loi de la gravité, les eaux de surface s'écoulent du haut vers le bas. Ainsi, un cours d'eau prend naissance au niveau d'une source en altitude, aborde ensuite la pente sous forme de ruissellement surfacique pour arriver à une zone de transition s'appelant piémont avant de s'étaler dans des plaines pour finir dans les mers et océans. Il faut savoir que le rythme des écoulements des eaux suit la forme du relief au fur et à mesure que la pente diminue, les écoulements deviennent plus longs, la température des eaux augmente et de fait la biocénose² évolue. L'imperméabilisation des pentes par l'urbanisation pourrait accentuer le coefficient de ruissellement et diminuer le temps de concentration des bassins versants d'où le risque des inondations en aval.

² La biocénose est l'ensemble des êtres vivants coexistant dans un espace écologique donné.

La zonation transversale : Cette zone concerne le lit mineur et le lit majeur du thalweg, communément appelé "cours d'eau". Le lit est l'espace compris entre la ligne de crête des deux berges. Lors des grandes crues, l'espace du lit majeur peut être occupé par les eaux de débordement des fleuves. C'est ce grand lit qui peut contenir ce que l'on appelle "annexes hydrauliques". Ces derniers sont des milieux en eau tout au long de l'année ou en partie de cette dernière.

Ces annexes peuvent être des prairies inondables, des bras morts, ou encore des zones humides. Notons, par ailleurs, que le rythme des écoulements des eaux du lit majeur est plus lent que celui au niveau du lit mineur, la biocénose y est, de fait, différente. L'urbanisation tend à artificialiser ces espaces essentiels au fonctionnement de l'hydrosystème. Or, l'imperméabilisation de cette zone induirait l'augmentation du volume dans les cours d'eau et l'accentuation du débit d'écoulement, un facteur aggravant le risque des inondations.

La zonation verticale : Cette zone se résume à l'échange permanent entre les eaux de surface et les eaux souterraines et donc à l'interdépendance qui existe entre un cours d'eau et sa nappe d'accompagnement, qui entretiennent des relations en termes d'échanges d'eau et de communication biologique. La nappe d'accompagnement peut être présente jusque sous le lit majeur d'un cours d'eau. Les zones humides ne sont, en fait, que la manifestation physique d'engorgement des sols.

L'imperméabilisation de la zone d'échange entre le cours d'eau et sa nappe d'accompagnement conduirait à l'appauvrissement de la recharge de la nappe, qui mène naturellement à limiter sa réalimentation et à la perturbation de l'hydrosystème.

Etat de l'art sur l'hydrosystème.

L'eau serait l'objet transversal d'études conduites dans de très nombreuses disciplines, en exemple : La géographie, l'hydrologie, l'histoire, l'aménagement du territoire, le droit, l'économie, ou encore l'urbanisme.

Depuis les années 1990, des travaux scientifiques ont été consacrés à différents aspects de l'urbanisme et à son impact sur l'environnement en général et sur l'eau plus particulièrement. A titre d'exemple, la thèse de Dournel, s'intitulant : "L'eau, miroir de la ville, une contribution à l'étude de la requalification urbaine des milieux fluviaux et humides, le cas du bassin Parisien, Amiens, Orléans". Une étude qui a révélé "les fonctions urbaines, politiques et économiques des milieux fluviaux et humides et l'intérêt de la requalification de ces milieux dans la fabrique de la ville durable".

En Algérie, on cite en exemples les travaux de Aroua (2012), en Urbanisme, sur "les facteurs de vulnérabilité et capacité de résilience face aux risques hydro climatiques dans la commune Algéroise", une recherche qui a abouti à "l'élaboration d'une méthode d'évaluation du couple vulnérabilité-résilience", ainsi qu'un autre travail de recherche sur "les ressources en eau dans le processus de planification urbaine durable, cas de l'agglomération Algéroise", mémoire de Magister soutenu en 2005. Dans un autre contexte scientifique, plus technique, des réflexions ont porté sur la réponse des sociétés face aux problèmes de qualité de l'eau et sur l'évolution des systèmes d'assainissement, principalement pour les deux derniers siècles, car finalement, les conséquences d'une eau de mauvaise qualité ou d'un système d'assainissement dégradé touchent les habitants sur un court terme.

On cite en exemple les travaux de Awou (2011) sur "la contribution à l'amélioration de la gestion des excréta et eaux usées dans la ville" ou les travaux de Denis (2012) sur "l'assainissement dans les pays en développement". D'autres travaux scientifiques qui ont traité de l'impact des activités anthropiques sur les milieux aquatiques, ont majoritairement concerné les questions d'irrigations, de drainage et d'usage de la ressource hydraulique bien souvent en lien avec l'histoire économique.

A titre d'exemple les travaux de Baudot sur "l'impact de l'homme sur les milieux naturels", ou ceux de Beaucire sur "les grandes vallées, des sites attractifs à préserver". A ce niveau, s'ajoute le travail de thèse de Hagui, sous le titre de "l'évolution de l'opération d'aménagement du lac Nord de Tunis, l'inadéquation entre le prévu et le réalisé qui a présenté une étude de planification urbaine du lac de Tunis, Tunisie".

Un projet qui a pour rôle " d'atténuer l'hyper concentration des activités et des personnes en ville et promouvoir le territoire de la capitale pour qu'il reflète l'image de la ville en pleine mutation, ouverte sur le monde extérieur". L'auteur a mesuré l'efficacité de ce projet en s'interrogeant sur le degré d'adéquation entre le "prévu" et le "réalisé" de cette opération d'aménagement.

Cependant, dans le cadre de ce présent travail de thèse, il est question de définir le rapport de l'eau à la ville, d'un point de vue urbanistique, au-delà de l'aspect technique ou sanitaire, à savoir, les problèmes liés à l'approvisionnement en eau potable et à l'assainissement. C'est une recherche qui s'inscrit dans un champ scientifique qui combine trois différentes disciplines, à savoir, l'urbanisme, l'hydraulique urbaine, l'aménagement paysager et l'écologie appliquée dans un contexte de développement durable.

Critères de durabilité d'un hydrosystème urbain.

Le concept d'hydrosystème intègre la notion de système et ainsi que celle de fonctionnement continue et complexe de ses composantes hydrauliques et ses composantes biologiques, susceptibles d'être impactées par l'urbanisation à l'échelle du bassin versant.

Le fonctionnement de l'hydrosystème requiert une eau de qualité pour assurer la pérennité de son fonctionnement et de la diversification de sa faune et de sa flore.

Une eau de qualité est une eau qui a été soumise à des processus naturels de décontamination, de filtrage ou de biodégradation car l'eau est en contact avec des substances qu'elle entraîne et transporte, sa qualité est donc variable suivant l'influence des facteurs naturels et anthropiques. Une eau de mauvaise qualité dans un hydrosystème peut polluer les aquifères et contaminer les lacs et les mers (Valverde, 2008).

Dans ce cadre, **la ripisylve**, qui se définit comme étant l'ensemble de strates herbacées, arbustives et arborescentes qui se situent sur les bords des cours d'eau, joue un rôle extrêmement important dans le maintien de l'équilibre d'un cours d'eau (Niemann, 2008) (Fig2.4). Effectivement, elle joue un triple rôle : physique dans la stabilisation des berges, physico-chimique dans l'épuration des eaux et enfin écologique dans le fait que la ripisylve

Analyse conceptuelle, méthodes et outils.

est un corridor et un habitat important pour l'aquifère. Elle ralentit également l'intensité des crues. Cependant, au cours de l'histoire, l'urbanisation a contraint les cours d'eau limitant de plus en plus leur mobilité dans le lit majeur tandis que le blocage de cette mobilité latérale entraîne une dégradation des processus de régénération des habitats et de recharge sédimentaire et plus généralement du fonctionnement de l'hydrosystème (Fédération des Conservatoires d'espaces naturels et l'agence de l'eau, 2010).

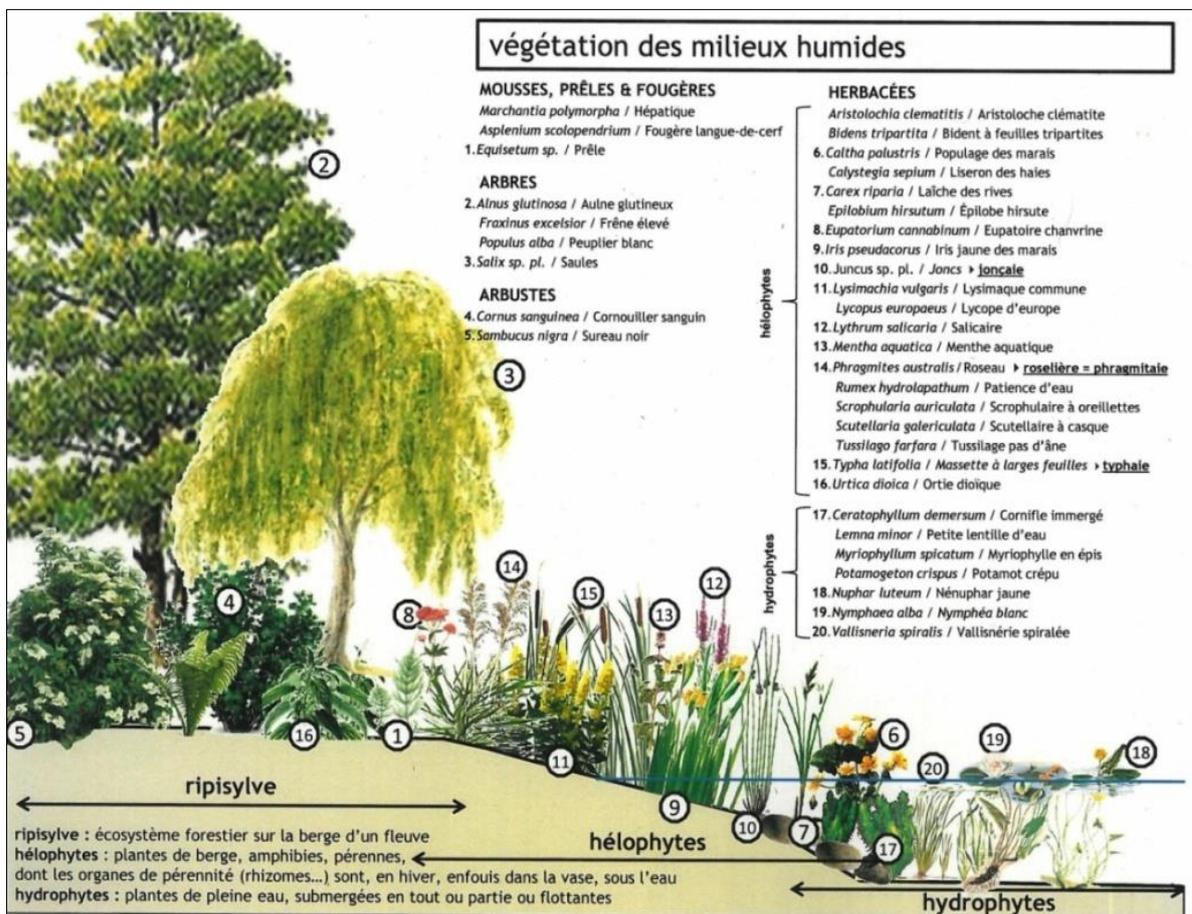


Fig2.4 : Végétations des milieux humides et aquatiques, (TAKACS et al, 2016).

On peut reconnaître que le fonctionnement d'un hydrosystème est sain à travers ces processus perceptibles dans le cours d'eau, composante superficielle de l'hydrosystème :

- La capacité du cours d'eau à maintenir des débits adéquats toute l'année.
- La capacité du cours d'eau à dissiper l'énergie sans causer une érosion excessive.

- La présence d'une végétation riveraine adéquate qui ombrage le cours d'eau, filtre les sédiments, transpire l'eau et stabilise les berges. Elle joue, au fait, un rôle primordial dans la lutte contre la pollution hydrique.
- La disponibilité de diverses caractéristiques du canal pour obtenir la profondeur, la durée et la température de l'eau nécessaires à la production de poissons et la reproduction de la sauvagine et à d'autres besoins liés à l'habitat (Lang-Delus, 2011).

Dans le cadre de la présente recherche, c'est essentiellement les processus du débit des cours d'eau, et la présence d'une végétation riveraine qui sont traités et pris en considération à travers des calculs empiriques et des constats sur site.

En somme, lorsqu'un cours d'eau possède toutes ces caractéristiques, on parle d'un hydrosystème sain, résilient qui peut s'adapter à des événements extrêmes, notamment pluvieux, sans subir de dommages importants. De surcroît, un hydrosystème sain et fonctionnel peut offrir des biens et des services aux individus, en exemple l'eau potable en abondance, des espaces verts attrayants, l'air propre, et des populations de poissons et espèces sauvages en santé, il offre, ainsi, une plus-value esthétique à l'espace urbain, essentielle au confort quotidien de la population. Un hydrosystème sain atténue, en outre, les débits de crue.

L'hydrosystème, au cœur de la gouvernance urbaine.

L'hydrosystème est tenu aujourd'hui pour être un objet naturel au cœur de la gouvernance urbaine (Bouguerra, 2002). Certainement, et dans un contexte de croissance démographique exceptionnelle, d'une urbanisation galopante, d'un réchauffement climatique qui accentue l'intensité des phénomènes météorologiques, et surtout avec l'avènement des sociétés de consommation de masse qui perturbe le fonctionnement naturel de l'hydrosystème, en plus des risques imminents des inondations, la gouvernance reste une des alternatives pour la préservation de l'hydrosystème au sein d'une dynamique urbaine en pleine croissance.

La gestion intégrée des ressources en eau est un concept empirique dont la dimension pratique est entrée en vigueur à partir de l'Agenda 21 et du Sommet mondial pour le développement durable en 1992 à Rio de Janeiro.

C'est la définition de la gestion intégrée des ressources en eau identifiée par le Partenariat mondial pour l'eau qui fait désormais autorité. Elle stipule que, la gestion intégrée de la ressource en eau, 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. (Nations Unies, 2015).

La gouvernance de l'eau nécessite que l'Etat, les élus locaux, les citoyens et les acteurs privés prennent des décisions communes (Laurent, 2011). Ainsi, le but de la gestion intégrée reste de s'assurer que l'eau et les ressources qui lui sont liées soient gérées de façon durable, en ligne directe avec les ODDs de l'Agenda 2030, notamment l'ODD 12 dont l'une des cibles vise à parvenir à une gestion durable et à une utilisation rationnelle, économique des ressources naturelles. Par ailleurs, le droit à l'eau n'était pas inscrit de manière explicite dans le cadre juridique du droit international des droits de l'homme, ce n'est qu'en 2002 que les experts des Nations Unies ont déclaré une première reconnaissance du droit de l'eau (Veber, 2014).

En effet, le comité des droits économiques, sociaux et culturels émet l'observation générale n°15 intitulée *le droit à l'eau* (art 11 et 12 du pacte international relatif aux droits économiques, sociaux et culturels). Ainsi, le droit à l'eau 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 (Nations Unies, 2002). L'urbanisation galopante, ne tenant pas en compte les critères de durabilité des hydrosystèmes reste une cause des plus importantes de la dégradation tant qualitative que quantitative, de la ressource en eau, des générations, par conséquent, peuvent être privées de ce droit si vital (Fig2.5).

Analyse conceptuelle, méthodes et outils.

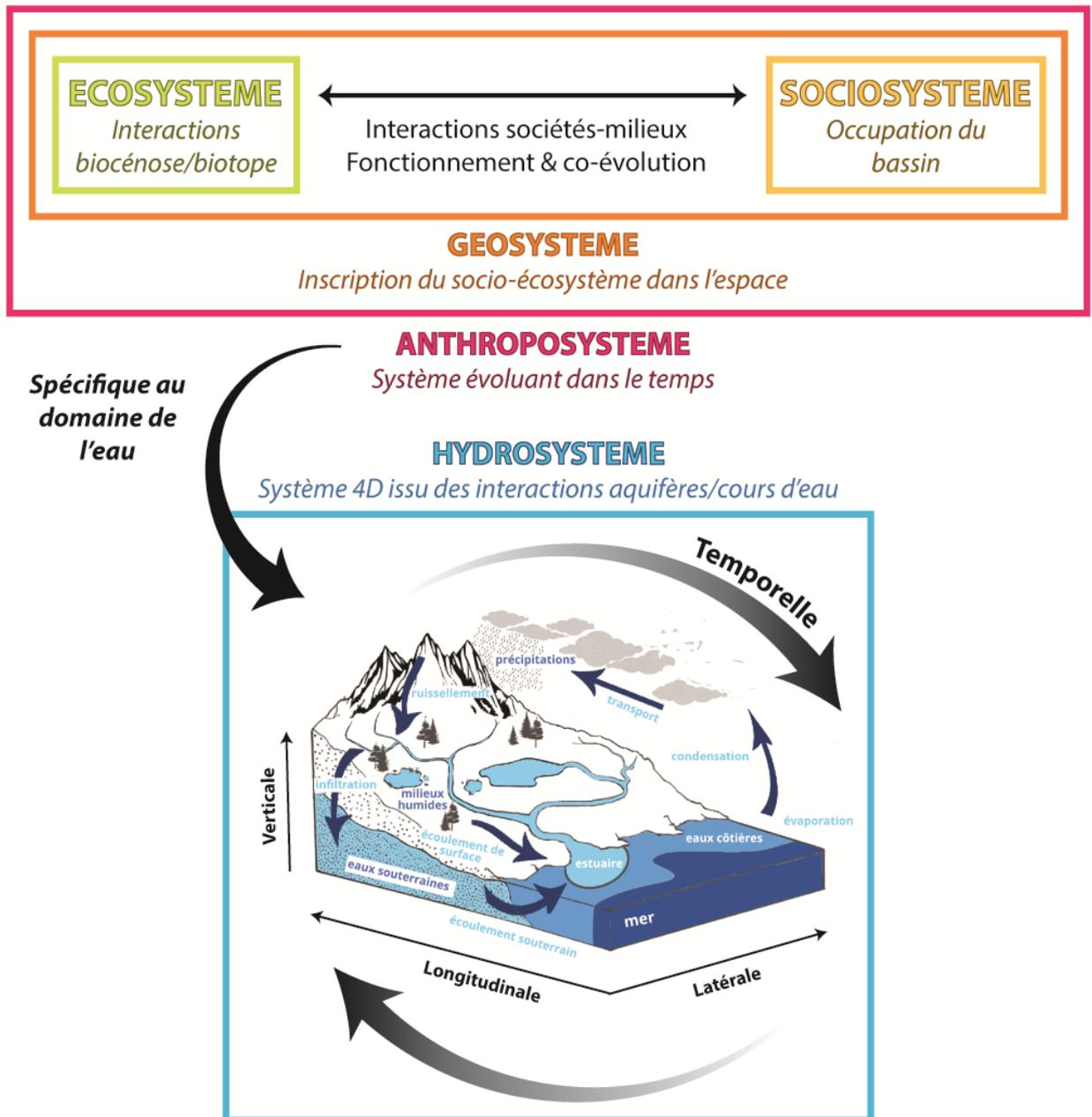


Fig2.5 : Organisation et interaction entre l'hydrosystème et son milieu anthropique, (Erostate, 2020).

2.2. Dynamique urbaine *versus* dynamique hydrique.

L'urbanisation est l'un des principaux moteurs des transformations du 21^e siècle. Cependant, la dynamique urbaine rapide des villes exerce une importante pression sur le plan environnemental, notamment hydrique. L'objectif 11 du programme de développement durable à l'horizon 2030, stipule que "la ville est un bien collectif et que sa durabilité repose sur la protection des biens communs dont les ressources naturelles". La ville concentre les populations, leurs activités économiques, culturelles, les interactions sociales et ainsi que les retombées environnementales, l'ODD 11 consiste ainsi à faire en sorte que les villes soient ouvertes à tous, sûres, résilientes et durables. Une ville durable est une ville qui protège, préserve, restaure et promut les écosystèmes, la ressource en eau, les habitats naturels et la biodiversité, une ville qui réduit considérablement son impact environnemental et passe à des modes de production et de consommation durables (UN-Habitat, 2020). Ainsi, une ville autonome et respectueuse de l'environnement est une ville qui intègre les critères de durabilité de ses systèmes naturels dans sa structure urbaine.

La dynamique urbaine est, en effet, un système complexe, ouvert et dynamique qui se caractérise par ses propres logiques d'existence et de croissance. Elle s'accroît en consommant inéluctablement son environnement naturel. Les notions de distance, d'éloignement et de proximité sont des notions spatiales et géographiques qui permettent de caractériser la dynamique urbaine. Elle, se traduirait, ainsi, par : "Une consommation de foncier non bâti, la transformation d'espaces naturels et/ou agricoles en espaces artificialisés, une fragmentation voire une destruction d'espaces naturels, un étalement urbain et une expansion massive des surfaces imperméabilisées dédiées à l'automobile dans les agglomérations (voieries, parkings), une inflation foncière conduisant les ménages à construire des logements toujours plus éloignés de leurs lieux de travail." (Colsaet, 2017, p 37).

Une dynamique urbaine non maîtrisée conduit à une utilisation des sols non économe et non équilibrée d'où la génération d'un dysfonctionnement des hydrosystèmes locaux. Or, l'eau est une ressource vitale menacée par les activités humaines dans sa qualité et dans sa quantité.

La dynamique urbaine accélérée reste une des causes de la dégradation de cette ressource. La pérennité de cette ressource naturelle est liée à la préservation du fonctionnement de l'hydrosystème.

2.2.1. Les inondations, comme manifestations du dysfonctionnement d'un hydrosystème.

L'urbanisation pourrait être à l'origine d'impacts importants et parfois irréversibles, notamment, sur l'eau et les milieux aquatiques. Une forte pression foncière sur les zones inondables ou les espaces de mobilité des cours d'eau et de ses annexes, notamment les zones humides peuvent générer une perte de biodiversité (espèces faunistiques et essences floristiques liées à l'eau). La forte pression urbaine sur les zones inondables peut aussi aggraver les risques des inondations. Par ailleurs, l'intensification des prélèvements sur les cours d'eau ou sur les nappes phréatiques pour les besoins en eau potable influe significativement sur la quantité de l'eau disponible, sa qualité dépend, cependant, de la présence des polluants. L'effet des polluants sur l'hydrosystème sont d'origine très différente et ont un impact important sur son équilibre bien que l'activité humaine reste à l'origine d'une grande variété de polluants. Durant les deux dernières décennies, près de 36% des revenus du prix de l'eau potable, dans le monde, sont utilisés pour financer le coût de la dépollution des eaux après usage (Niemann, 2008).

Les polluants dus à l'activité anthropique se classent en quatre origines, à savoir :

- Physiques : matières en suspension, eau chaude, éléments radioactifs.
- Organiques : organismes et déchets en décomposition.
- Biologiques : bactéries, virus et champignons.
- Chimiques : engrais, fertilisants et hydrocarbures (Perrodin, 2013).

De surcroît, l'équilibre de l'hydrosystème, en milieu urbain, peut aussi être affecté par les modifications du milieu physique comme l'érosion du sol, les barrages, l'extraction de graviers ... ou du milieu chimique, comme les rejets organiques ou les apports des fertilisants. Ces modifications engendrent un développement excessif (algues, végétaux) ou un appauvrissement tout aussi excessif des invertébrés ou des poissons, compromettent,

ainsi, l'existence de certaines populations avec des conséquences sur l'aspect de l'hydrosystème (proliférations végétales), la qualité de l'eau potable.

Cependant, dans un contexte d'une dynamique urbaine de plus en plus demandeuse d'espace naturel et d'un changement climatique qui influe sur l'intensité des phénomènes météorologiques, **les inondations restent la conséquence la plus redoutée en milieu urbain. Les inondations qui ont longtemps été considérées comme des événements imprévisibles, des catastrophes naturelles qu'on ne peut éviter, sont des aléas d'origine naturelle et/ou artificielle qui représentent un réel danger pour les personnes et leurs biens.**

En outre, c'est dans le bassin méditerranéen que les inondations sont le plus violentes et meurtrières (Boyer, 2019). La Méditerranée reste le témoin des inondations les plus dévastatrices, un facteur naturel pourrait expliquer en partie cette intensité. En effet, c'est à l'automne que les phénomènes orageux d'origine se produisent généralement, où l'atmosphère est refroidie tandis que la mer est encore chaude. Cependant, la part de la dynamique urbaine dans l'augmentation du risque d'inondation dans le bassin Méditerranéen est tout aussi importante. Effectivement, l'anthropisation des territoires mène à la transformation des espaces naturels d'écoulement des eaux de surface, et entrave le fonctionnement correct de l'hydrosystème.

La première conséquence, la plus évidente, de l'urbanisation sur les inondations reste l'imperméabilisation des sols qui limite considérablement les possibilités d'infiltration des eaux d'où le problème de ruissellement et la non recharge des nappes phréatiques. Or, à l'état naturel, le débit fluvial se déverse avec un rythme lent, dans la plaine d'inondation. La dynamique urbaine a mené, à travers les années, à l'occupation de ces terrains, généralement fertiles et plats. En effet, l'urbanisation des plaines inondables est un phénomène ancien mais qui s'est fortement accentué à la fin du 20^e siècle dans les pays développés tout comme dans les pays en développement ayant conduit à des inondations tragiques (Gralepois et Guevara, 2015).

La présente recherche concerne essentiellement les inondations par crue de rivière.

Ce type d'inondation débute avec une élévation du niveau de l'eau dans le lit mineur qui

conduit à un débordement dans le lit majeur. Ce débordement est souvent le résultat d'une saturation importante des sols conjuguée à des précipitations abondantes.

Résulte de ce débordement une circulation des eaux de précipitations par ruissellement rapide dans le cas de sols imperméables. La perméabilité du sol et la densité du couvert végétal déterminent le ruissellement, ils sont, cependant, sensibles à l'action de l'homme.

Le rapport du volume des inondations au volume de pluie est, de fait, conditionné essentiellement par la capacité d'infiltration des pluies dans le sol, qui dépend grandement de son degré de perméabilité. Le ruissellement accumule, à son tour, dans les zones de plaines (les points bas de la ville) une pollution due aux divers rejets urbains, notamment du fait du ruissellement sur les voiries, qui entraîne des pollutions toxiques, qui peuvent avoir un impact sur la qualité des cours d'eau ou des eaux souterraines.

La deuxième conséquence directe de la dynamique urbaine sur l'hydrosystème est l'accroissement des vitesses d'écoulement qui entraîne une augmentation du débit de pointe et la diminution du temps de concentration qui favorisent les phénomènes d'inondation. Cette vitesse d'écoulement est due à la mise en place du réseau d'assainissement permanent, pentu, rigide et rectiligne différent du réseau hydrographique naturel qui utilise plutôt des cheminements sinueux, encombrés, peu pentus et parfois non permanent (Chocat, 1997). Le réseau artificiel mis en place, est, de surcroît, accompagné par des travaux de reprofilages des cours d'eau (bétonnage des berges, enrochement...), des modifications qui favorisent d'avantage la vitesse d'écoulement. Les inondations sont, de fait, une manifestation du fonctionnement de l'hydrosystème et de l'effet de la dynamique urbaine sur son équilibre.

2.2.2. Stratégies actuelles de lutte contre les inondations en milieu urbain.

Un développement soutenable de la dynamique urbaine, qui intègre l'équilibre de l'hydrosystème dans sa mouvance, s'impose, alors, par le fait de ces inondations urbaines qui exhortent les villes. **Ce développement soutenable ne peut supprimer les effets de la dynamique urbaine sur l'équilibre naturel de l'hydrosystème catégoriquement mais limite l'ampleur de ces impacts et renforce la résilience du milieu urbaine face**

au risque des inondations en minimisant sa vulnérabilité. L'urbanisme durable a pour but de contribuer à la préservation de l'environnement et de ses ressources.

L'eau, source de toute vie, étant la composante la plus importante, son intégration dans la conception urbaine requiert ainsi une mise en œuvre d'un certain nombre de principes. L'intégration du cycle de l'eau dans l'aménagement urbain exige, *tout d'abord*, une analyse approfondie, détaillée du contexte spatial, sa géographie, sa géologie, son hydrogéologie ainsi que son histoire doivent être connus et étudiés, et ce pour exploiter au mieux ses qualités et ses capacités. Par ailleurs, l'appréhension du contexte spatial permet de faciliter le recyclage des eaux, les eaux sont ainsi séparées selon leurs qualités ce qui améliore leurs traitements (Veiga, 2010).

En fait, la morphologie de la ville et ses potentialités d'extensions spatiales urbaines dépendent fortement des unités topographiques et hydrologiques qui composent les bassins versants où elles évoluent (Renaud-Hellier, 2006). Ainsi, l'intégration des milieux d'eau dans la dynamique urbaine exige une analyse de site qui sera suivie d'une analyse du contexte urbain. La structure urbaine d'un quartier ou d'une ville doit être modelée harmonieusement avec le réseau hydrographique existant, ce travail se fait à travers l'intégration de plusieurs paramètres et à plusieurs niveaux :

- **La topographie** : Son intégration se fait en favorisant le ruissellement des eaux à ciel ouvert, de même qu'il en est en milieu naturel. Les axes de circulation doivent être libres de tout aménagement et ils doivent aussi s'organiser en fonction des pentes, ce qui permet de faciliter l'écoulement gravitaire des eaux de l'amont à l'aval, et emmagasiner les eaux excédentaires dans les points bas (Piel, 2010). Ainsi, le cheminement naturel des eaux est respecté, de même que ses zones d'expansion naturelles. De cette manière, quelle que soit la puissance des précipitations, ses éventuels débordements sont maîtrisés ce qui épargne les risques des inondations (Fig2.6). Conséquemment, l'intégration de la topographie consiste en l'inscription de la structure urbaine sur la trame naturelle.

Analyse conceptuelle, méthodes et outils.



Fig2.6 : Exemples d'aménagements d'axes de circulation libres avec des matériaux filtrants (VARCIN CALIX, 2007).

- **La géologie :** Il faut noter que le sol et ses qualités, ses propriétés ont un impact direct sur la gestion de l'eau. Effectivement, la capacité d'absorption du sol détermine le réseau d'évacuation des eaux pluviales. Effectivement, le réseau d'évacuation des précipitations peut être dimensionné suivant la capacité d'infiltration du sol à infiltrer les eaux. Plus la capacité d'infiltration est importante, moins le réseau d'évacuation est important en termes de dimensionnement. Ainsi, l'infiltration naturelle du sol reste une alternative pour éviter les réseaux

surdimensionnés et les stockages consommateurs d'espaces. Elle assure, également, la réalimentation des nappes phréatiques.

- **L'hydrogéologie** : Son étude permet de localiser les nappes phréatiques, les sources et les résurgences. En les valorisant, ces entités peuvent générer des sources d'alimentation, des plans d'eau de loisir ou encore des ressources diverses, ce qui enrichie le territoire urbain sans pour autant déstabiliser le fonctionnement de ses constituants naturels.
- **L'hydrographie** : Les allées d'écoulements des eaux qui drainent le périmètre d'étude doivent être abordées non seulement comme des atouts hydrauliques du fait qu'ils permettent un meilleur drainage des sols et une régulation équilibrée des nappes, mais aussi comme des atouts urbains, car ces espaces, libres de construction, constituent des réservoirs d'accueil des crues, ils contribuent également à embellir le paysage urbain.

Le cycle de l'eau a été marginalisé en milieu urbain, ainsi qu'en témoigne le nombre de villes à travers le monde qui ont connu des problèmes d'inondations remarquables. Cependant, l'eau fait aujourd'hui sa réintégration en ville, et ce dans plusieurs pays du monde. On cite en exemple l'Australie, un pays qui a connu une consommation excessive du foncier, et fortement urbanisé (Smadja, 2017). En effet, suivant le modèle américain, le nombre des maisons unifamiliales à quatre façades généralement entourées d'un jardin privé ou, dans des cas particuliers, d'un parc de verdure s'est accru considérablement (Leeson, 2018).

De ce fait, et suivant le nombre de ménages qui s'est multiplié, la consommation de l'eau a augmenté significativement, en plus des problèmes d'inondations récurrentes. C'est ainsi, que l'Australie a proposé une planification urbaine axée sur la gestion de l'eau, d'où le concept de "ville sensible à l'eau" ou "*water sensitive city*", "une ville sensible à l'eau ou "une ville qui a la capacité de se protéger face aux risques hydriques comme la pollution et les inondations, et qui peut s'adapter aux changements du milieu naturel dus à l'urbanisation et au changement climatique, qui intègre l'aspiration des habitants et leurs participations dans la gestion de la ressource en eau dans le milieu urbain. Le facteur

Analyse conceptuelle, méthodes et outils.

humain est très important, il s'agit de voir comment l'humain est partie prenante dans le cycle de l'eau" (Dobre, 2016, 14p).

Par ailleurs, quelques décennies auparavant, plus précisément les années 1990 ont vu émerger l'approche (LID) ou le développement à faible impact ; une approche qui propose l'intégration des eaux pluviales aux plans de développement pour ainsi atténuer l'impact du développement urbain sur le sol, l'air et l'eau.

Cette approche de gestion écologique des eaux de pluies vise à restituer artificiellement le cheminement naturel des eaux pluviales là où elles tombent, ces cheminements, appelées communément " Infrastructures vertes", favorisent, la rétention des eaux, l'évaporation, l'infiltration, et ainsi que la filtration (Godmaire, 2010), (Fig2.7).

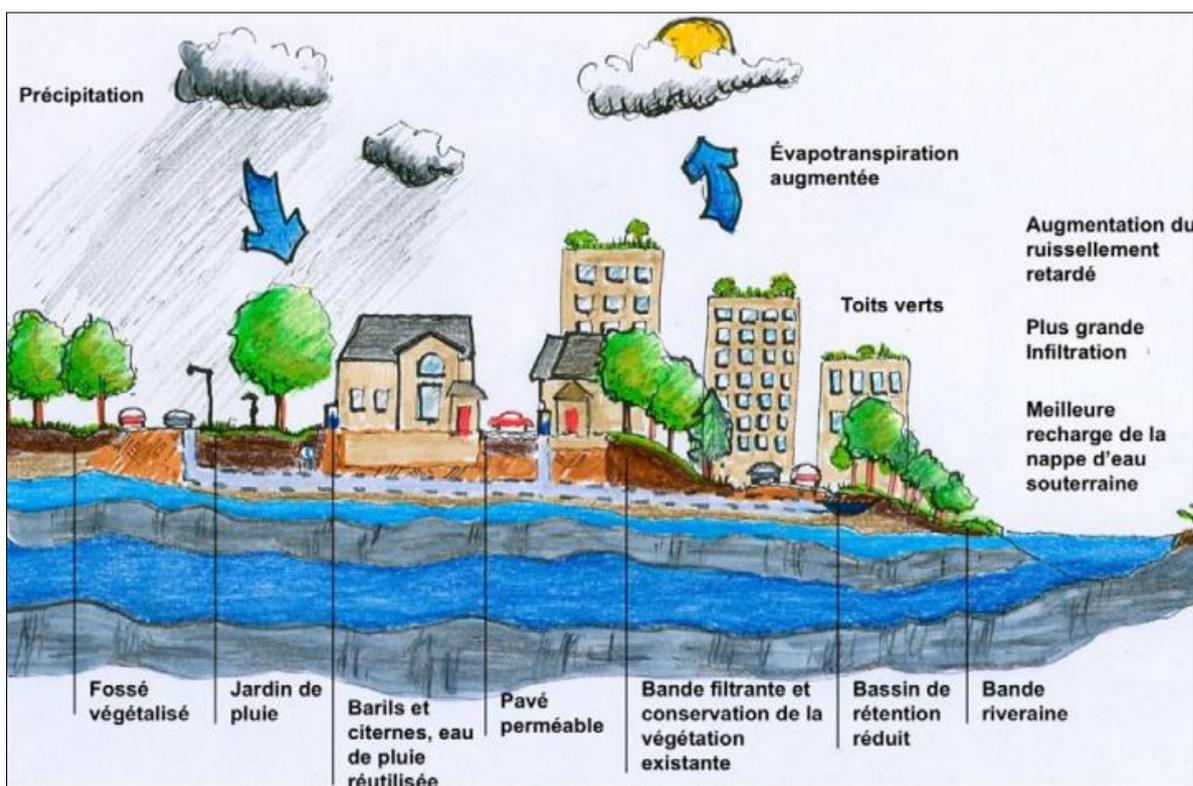


Fig2.7 : Infrastructures vertes en milieu urbain (Bedard, 2010).

A la différence des approches classiques de drainage qui proposent une évacuation rapide des eaux de pluies vers des exécutoires, l'approche LID, ou le développement à faible impact, avantage des bassins de rétention et des aménagements tels que: les parcs, les

jardins publics, les cours des écoles, les espaces de parking... pour entraver la vitesse de l'écoulement des eaux de surfaces tout en favorisant leur infiltration.

C'est finalement une approche qui permet une croissance urbaine de moindre impact sur l'équilibre et le fonctionnement des composantes des hydrosystèmes, un équilibre qui doit être maintenu pour la protection des écosystèmes, la santé des citoyens, leur confort et la qualité de vie.

Elle prend appuie sur deux points importants : l'infiltration naturelle et les techniques de rétention pour gérer les eaux de ruissellement. Parmi les avantages de cette approche :

- La réduction de la quantité d'eau de ruissellement.
- La contribution à la réalimentation de la nappe phréatique par l'accroissement de la quantité des eaux infiltrées dans le sol.
- La diminution de la quantité des polluants dans les eaux et contrôler l'écoulement des eaux de ruissellement dans les cours d'eau.

En outre, l'approche LID, ou le développement à faible impact, présente également des avantages sur le plan économique, effectivement, elle permet de limiter les coûts de construction des infrastructures (bordures, tuyaux, collecteurs, caniveaux ...). Elle contribue également à la minimisation de la taille des bassins de rétention (Boucher,2007). De fait, la superficie de terrains disponibles pour lotissement sera augmentée, les eaux de ruissellement permettent cependant un embellissement de l'environnement urbain paysager des sites, une gestion écologique de ces eaux est ainsi créée.

L'approche LID propose, aussi, un ensemble de mesures de gestion écologique des eaux de ruissellement. Une bonne infiltration des eaux de surfaces permettent la réalimentation des composantes souterraines de l'hydrosystème ce qui favorise un fonctionnement correct de ce dernier. Par ailleurs, le risque des inondations est diminué.

Cependant, l'emploi d'une ou de l'autre requiert la prise en compte du volume d'emmagasinement du site, calculé selon les volumes d'eau de ruissellement, les débits maximums, la récurrence et l'intensité des événements pluviaux ainsi que la qualité d'eau. Parmi ces mesures, on cite :

Analyse conceptuelle, méthodes et outils.

- Les aires de bio-rétention qui permettent la gestion et le traitement des eaux de ruissellement par l'utilisation des sols particuliers et de végétation (Fig2.8).

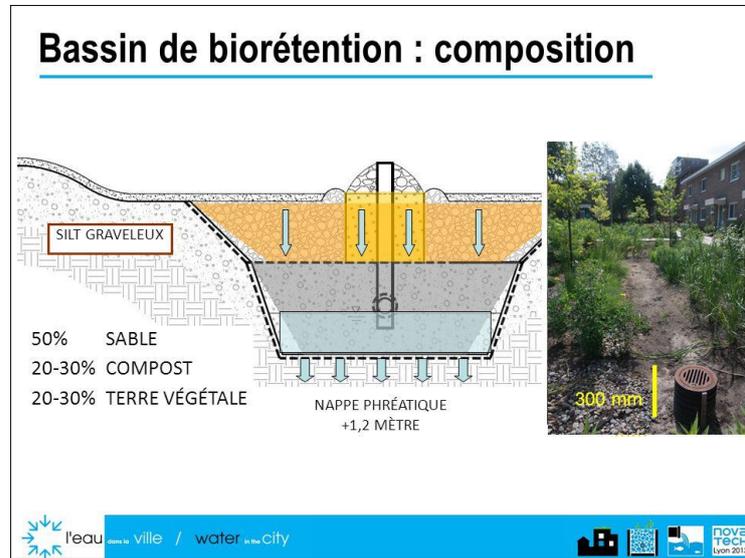


Fig2.8 : Bassin de rétention, (Juteau, Lalibelle, 2013).

- Les puits drainants, ils permettent, quant à eux, de collecter les eaux des toitures des habitations et de les acheminer vers les couches profondes du sol. Ils sont généralement constitués de graviers (Fig2.9).

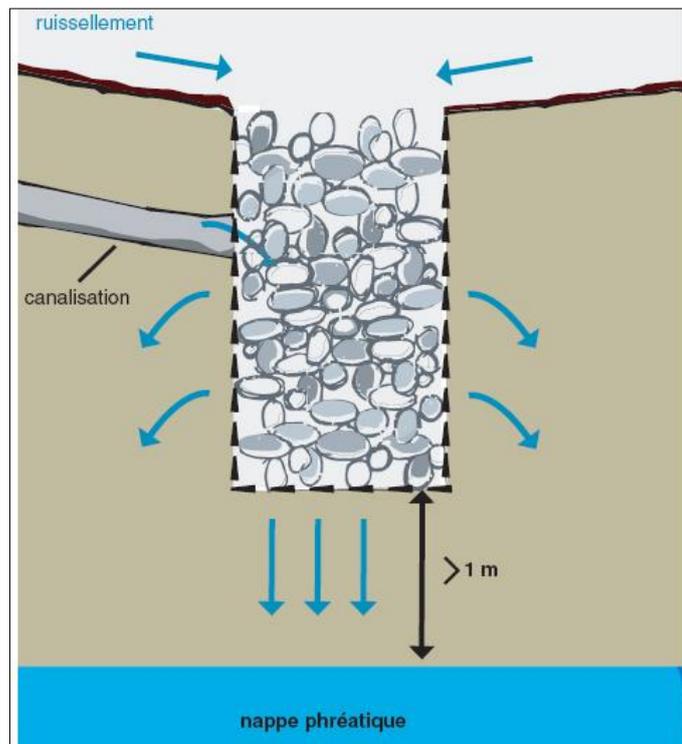


Fig2.9: Puits drainant, (eausaineetmarne.fr, 2020).

Analyse conceptuelle, méthodes et outils.

- Les bandes de filtration, elles ont pour rôle de filtrer les eaux de ruissellement avant qu'elles ne soient dirigées vers le réseau d'assainissement.
- Les collecteurs d'eau de pluie, situés en surface ou implanté en souterrain, ils permettent une réutilisation des eaux de pluie pour des fins paysagères.
- Les tranchées d'infiltration, qui sont constituées de matériaux à forte granulométrie (cailloux), ce qui permet d'entraîner les eaux récoltées vers les couches profondes du sol. Elles sont généralement aménagées en aval des surfaces à drainer.
- Les bassins en eau ou les mares, collecteurs des eaux de ruissellement, ils sont construits de façon à ce qu'une profondeur correspondant à un mètre d'eau soit en tout temps conservée.

La ville éponge est une approche qui s'inspire essentiellement du modèle Américain précédemment cité, *The Low impact développement, LID*. Comme son nom l'indique, une ville éponge est une ville dotée d'un système, à l'image d'une éponge, absorbe, stocke, infiltre et purifie l'eau de pluie pour la libérer ensuite à des fins de réutilisation (MHURD, 2016). Parmi les pays qui ont traité les problématiques liées aux inondations par des mesures urbanistiques, on en cite la Chine. En effet, dans un contexte où l'artificialisation des sols perturbe extrêmement le fonctionnement naturel de l'hydrosystème. Le programme de la ville éponge "*Sponge city*" a été lancé dans un double objectif d'améliorer la résilience des villes face aux inondations et de sécuriser leurs approvisionnements en eau potable. Le stockage des eaux de pluies permet également de refroidir l'environnement urbain, la ville éponge répond ainsi à deux principales problématiques, celles de la surchauffe et des inondations dans le milieu urbain (Fig2.10). Elle intègre des mesures naturelles et semi-naturelles dans la gestion des eaux pluviales et des eaux usées.

La ville éponge renferme plusieurs objectifs; Stocker de 70 à 90 % de l'eau de pluie annuelle, remédier à l'accumulation des eaux de ruissellement en minimisant ainsi le risque des inondations urbaines, améliorer la qualité des eaux, atténuer les impacts sur les écosystèmes naturels, réduire les impacts des îlots de chaleur urbains, en plus de son apport économique dans les offres de possibilités d'investissement dans la modernisation des infrastructures et des nouvelles technologies vertes (GOSC, 2015).



Fig2.10: Parc développé dans le cadre du projet de ville éponge à Jinhua, en Chine, (Pott, 2018).

La cité éponge a été lancée en 2015, en Chine, en vue d'atténuer les problèmes liés à la qualité de l'eau et les inondations en milieu urbain. La Chine a connu une urbanisation rapide vers les années de 1980. Sa dynamique urbaine a continué à s'accélérer sous l'effet de l'augmentation de sa population urbaine qui est passée de 36,22 % en 2000 à 54,77% en 2014 (Le bureau national des statistiques en Chine, 2015, *in Hui et al, 2017*). Face à cette dynamique, de plus en plus de villes en Chine sont confrontées à d'importants problèmes liés à l'eau, tels que, les débordements des égouts unitaires, la vétusté des infrastructures d'approvisionnement en eau, le débordement des égouts unitaires, la détérioration de la qualité de l'eau, les pénuries, en plus de la fréquence élevée des phénomènes météorologiques extrêmes (Chen et al, 2016). 62% des villes chinoises ont subi des inondations dont les pertes économiques se sont élevées à 100 milliards de dollars entre 2001 et 2014 (Le bureau national des statistiques en Chine, 2015, *in Hui et al, 2017*).

Les inondations représentent, de fait, l'un des aléas les plus dangereux du milieu urbain en Chine, d'où le lancement du programme de construction de villes éponges. En 2015, il a été sélectionné, à cet effet, un groupe de 16 villes éponges pilotes.

En 2016, 14 autres villes ont intégré le programme des villes pilotes. Les précipitations annuelles et la température sont les deux facteurs régionaux pris en considération pour la sélection de ces villes pilotes, car les deux paramètres ont des conséquences directes sur la planification écologique et les mesure LID (Hui et al, 2017). Les précipitations sont inégalement réparties en Chine. Cela est dû à la grande variabilité climatique du pays. Sur le plan temporel les précipitations se concentrent dans les mois les plus chauds de l'année, tandis que sur le plan spatial la moyenne des précipitations va de 20 mm dans les régions du Nord-Ouest à plus de 2000 mm sur le côté Sud du pays (Rousset, 2010). La majorité des villes pilotes est située, de fait, dans les régions du centre et du Sud-est, des régions où les précipitations varient de 410 à 1830 mm et où la température moyenne varie de 4.6 à 25.5°C (Fig2.11). En outre, ces villes pilotes ont la particularité d'avoir intégré les premières étapes des infrastructures vertes et les pratiques liées à LID, en avance relativement aux autres villes en Chine.

Analyse conceptuelle, méthodes et outils.

Ces villes disposent également d'une gouvernance et d'un soutien tant que technique que financier pour l'acquisition du matériels requis pour l'intégration de nouvelles approches écologiques. Ces villes pilotes présentent ainsi un contexte très favorable pour la mise en place de la nouvelle approche de ville éponge.

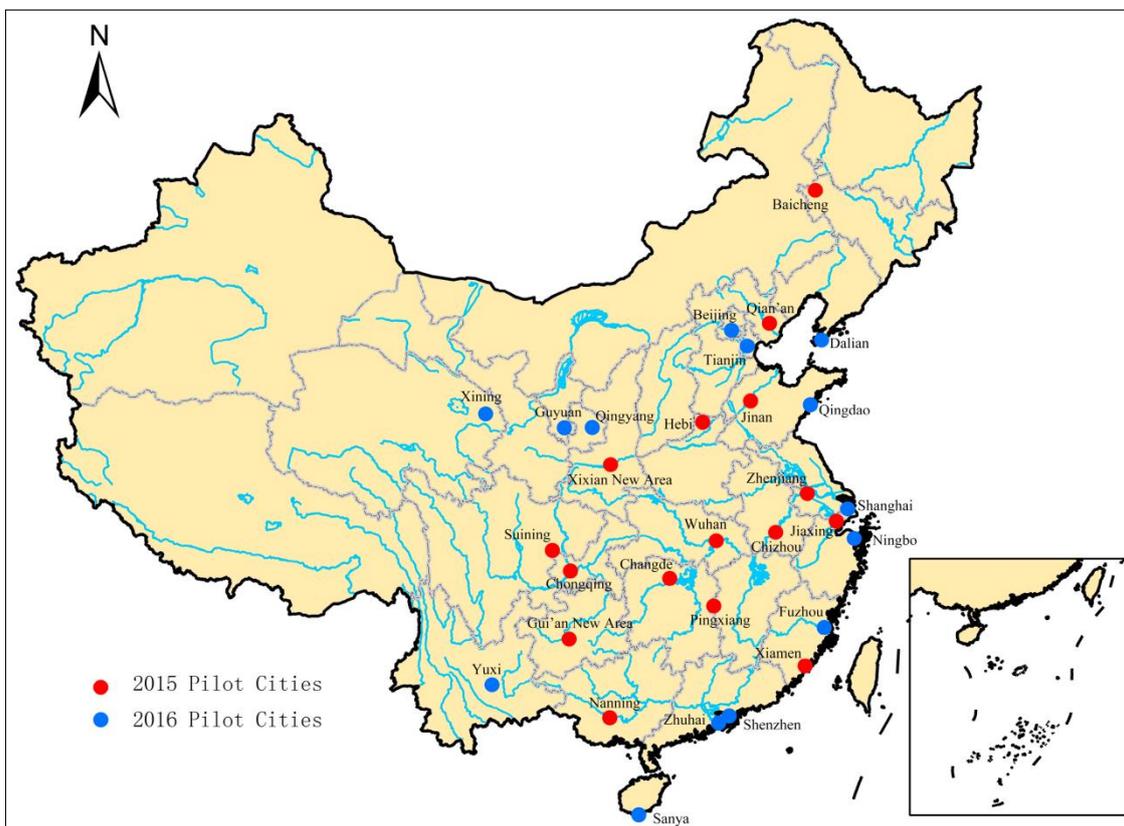


Fig2.11: Localisation des villes pilotes en Chine, (Hui et al, 2017).

Cependant, une enquête auprès des 30 villes pilotes concernées par la mise en place de l'approche de ville éponge, menée par Ding et al, 2017 dans le cadre d'une recherche scientifique, a identifié des défis qui sont susceptibles d'entraver la progression de la mise en œuvre de cette approche. En référence aux résultats de cette étude, l'objectif de la construction de la ville éponge a été défini, initialement, comme un LID centré uniquement sur le volume des eaux de ruissellement. Ce n'est qu'un an après le lancement du programme des villes éponges, que l'objectif a été étendu aux objectifs de durabilité urbaine, à savoir, la restauration des écosystèmes, l'amélioration des plans d'eau urbaine, la réduction des impacts des îlots de chaleur urbains et la restauration du cycle de l'eau.

Aussi, un seul modèle d'investigation a été proposé pour l'ensemble des villes sans tenir en compte les caractéristiques propres à chacune d'elles. En exemple de la ville de Shenzhen, où il a été programmé des espaces verts, des trottoirs perméables et des toits verts, or, c'est une ville côtière, plaine, caractérisée par une nappe phréatique élevée, un sol mal drainé. C'est une ville qui connaît également un problème d'intrusion de l'eau de mer, de salinisation des terres et de fortes tempêtes saisonnières. La standardisation de la démarche de la ville éponge pose, de fait, des inconvénients. La stratégie doit être appliquée selon le potentiel local de chaque région.

De surcroît, le manque de formations techniques et le manque de connaissances et d'expérience en matière de planification de villes éponges a limité la culture industrielle relative à la fabrication des matériaux et techniques axés sur l'écologie. Les résultats de l'enquête ont identifié également une mauvaise mise en œuvre de certaines mesures liées à l'approche de ville éponge. En exemple de la limitation de la capacité de collecte des eaux de ruissellement d'un fossé de drainage longeant le pied d'une colline par la mise en place de jardins pluviaux et de grilles en béton en alternance. De petites ouvertures sont créées sur la grille en béton afin de filtrer la boue et les débris de la colline, seulement la nature soudaine de la coulée de colline n'a pas été prise en considération, ce qui a engendré des dommages à la circulation routière et voies de contournement.

L'enquête a révélé, également, une utilisation abusive de mesures vertes, même à des endroits inappropriés, qui ne demandent pas l'utilisation de ces mesures. En exemple, des zones naturelles non développées sur le plan urbain, le cas de parcs couverts à 75% d'arbres et de verdure avec plus de 10 % d'eau libre. Ces mêmes parcs sont équipés de mesures d'écologie, comme le pavage perméable, jardin pluviaux, espaces verts en dépression, rigoles d'infiltration et des réservoirs de rétention souterrains. Tandis que dans quelques centres urbains et les dans les vieilles villes, ces interventions sont limitées. Également, des mesures de protection contre les infiltrations des eaux ont été mises en place sur les flancs de montagnes sans tenir en compte des glissements de terrain et des eaux souterraines. Des toits verts ont été mis en place dans des zones arides sans se soucier des problèmes de pénuries d'eau. Différents enjeux, d'ordre techniques et physiques, juridiques et réglementaires, financiers, ainsi que communautaires et institutionnels, ont été identifiés par cette enquête.

Analyse conceptuelle, méthodes et outils.

Ils présentent un véritable obstacle à la bonne conduite du projet de ville éponge. Les auteurs de l'enquête insistent, de fait, sur le rôle des formations professionnelles et de l'éducation publiques pour surmonter les différents défis.

Finalement, à la confrontation des deux systèmes urbain/hydrique, résulte un système hybride et interactif entre deux ensembles Co-évolutifs qui s'inscrit dans une échelle temporelle : Passé, présent et futur (Fig2.12). De fait, **l'urbanisme** dans sa dynamique ne peut plus se limiter à la vision utilisatrice des différentes composantes superficielles et souterraines de **l'hydrosystème**. Ces derniers doivent **modeler la dynamique urbaine et ses orientations dans les territoires**.

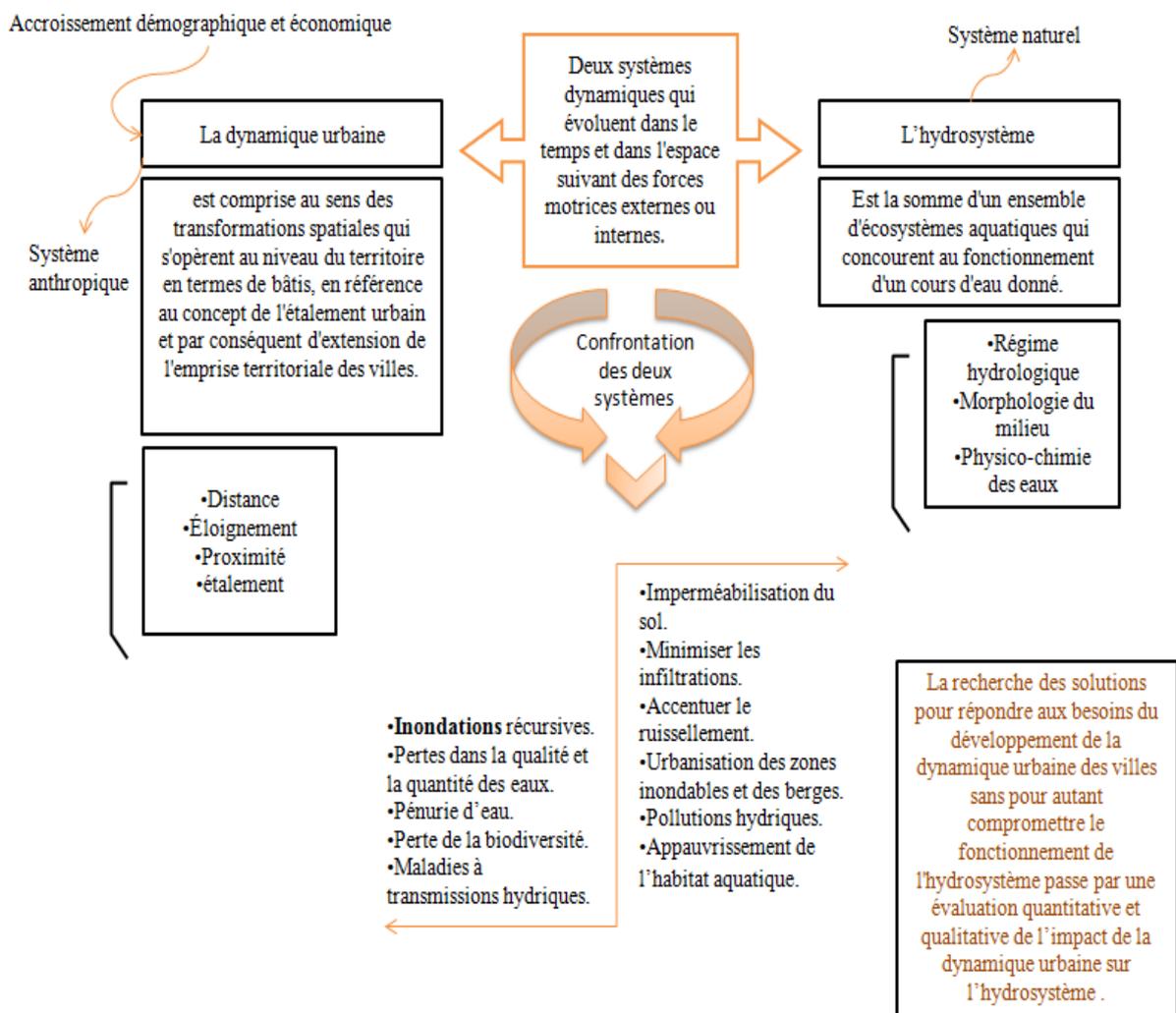


Fig2.12 : Confrontation des systèmes dynamiques urbain/hydrique, (Mellouk, 2020).

2.3 Méthodes d'analyse.

La revue de la littérature dénombre différentes études qui ont porté sur l'évaluation de l'impact urbain sur le fonctionnement de l'hydrosystème. Comme les études relatives à "la diminution de la recharge des nappes par l'effet de l'urbanisation" (Rose et Peters, 2001, Meyer et Wilson, 2002, Kauffman et al, 2009, Rozell, 2010). Ces études ont conclu à l'identification de l'effet de l'augmentation de la surface des espaces imperméabilisés sur la diminution du débit.

Les travaux de (Konrad et Booth, 2002, Meyer et Wilson, 2002, Konrad et Booth, 2005) ont concerné "l'augmentation des débits de base des rivières des bassins urbanisés". Konrad et Booth (2002), ont identifié "une corrélation entre la densité du réseau viaire et le débit de pointe, en effet, quand la densité du réseau viaire augmente dans un milieu urbain à 6 à 10%, le débit de pointe s'accroît".

(Dournel, 2014) a présenté, également, une thèse en Géographie - Aménagement et Environnement, sur "la requalification urbaine des milieux d'eau". La recherche présente "une approche géo historique dans l'analyse des liens entre la ville et ses milieux d'eau dans l'objectif de définir une requalification des milieux d'eau". Il s'agit également d'identifier "la place des lieux d'eau dans les stratégies politiques urbaines à travers l'étude des modes de gouvernance dans la gestion urbaine de l'eau dans le Bassin Parisien Amiens, Orléans".

La thèse, en hydrologie urbaine, de (Salavati, 2015) étudie "l'impact de l'urbanisation sur la réponse hydrologique des bassins versants". Le travail de thèse s'appuie sur "une approche par modélisation hydrologique pour quantifier l'impact du changement de l'occupation du sol". La thèse conclut au fait que "l'impact de l'urbanisation sur le fonctionnement hydrologique des bassins versants ne peut être généralisé, du fait que tous les bassins versants ne présentent pas les mêmes tendances de changements de leurs caractéristiques hydrologiques lorsqu'ils sont soumis à une urbanisation". Elle conclut également à la nécessité d'intégrer l'analyse de la fragmentation du paysage dans l'étude de l'impact.

Par ailleurs, une étude en urbanisme sur le cycle urbain de l'eau de (Mouhous-Voyneau, 2015) a présenté "les effets quantitatifs et qualitatifs de l'urbain sur le cycle de l'eau".

Analyse conceptuelle, méthodes et outils.

Le but étant d'analyser les impacts de la ville et de ses activités anthropiques sur le cycle naturel de l'eau pour présenter une meilleure gestion des eaux superficielles dans le cadre d'une protection contre les inondations et du développement urbain durable.

2.3.1. Présentation de la méthode de recherche investiguée.

Afin de quantifier et d'évaluer l'impact de l'urbanisation sur les paramètres hydrographiques d'un bassin versant, deux approches sont souvent utilisées : L'approche comparative temporelle et l'approche comparative spatiale (Salavati, 2015) (Fig2.13).

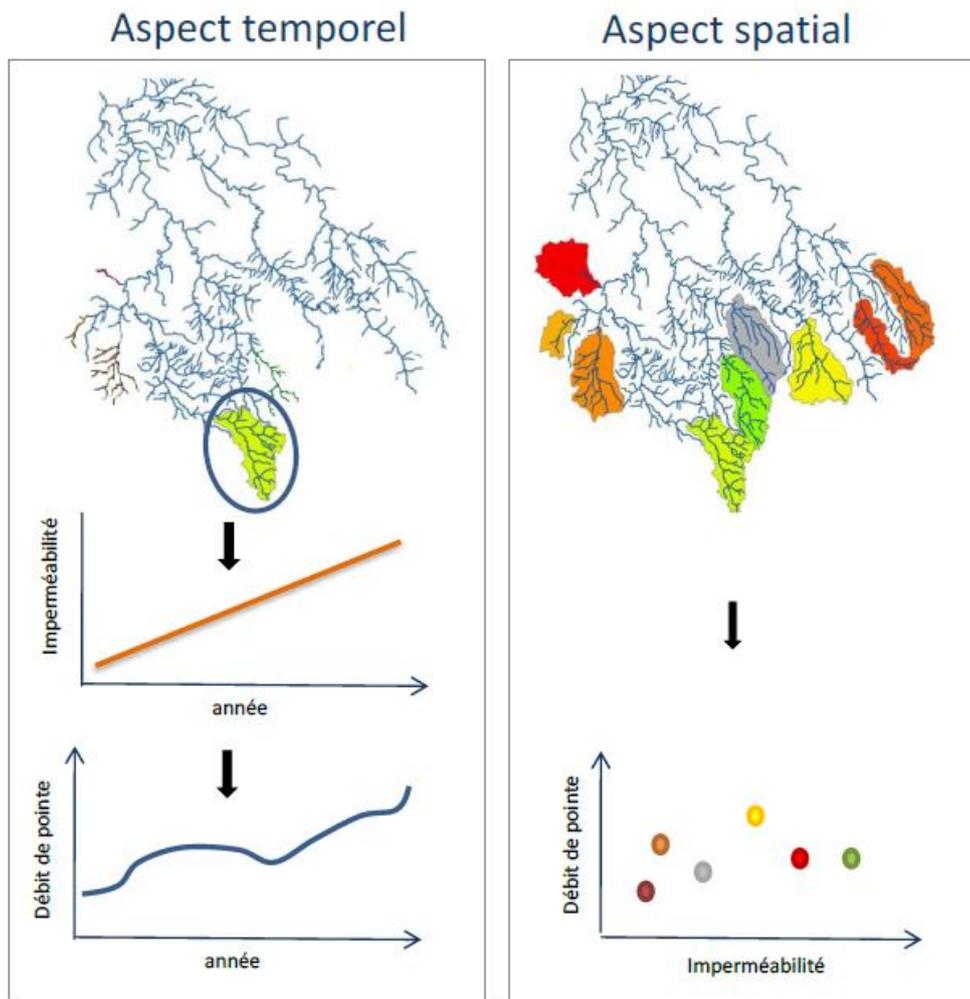


Fig2.13 : Illustration des approches comparatives existantes pour analyser l'impact de l'urbanisation sur la réponse hydrologique de bassins versants (exemple du débit de pointe) (Salavati, 2015).

L'approche comparative temporelle consiste en une analyse comparative de deux contextes urbains temporellement différents. Ainsi, l'évaluation des changements qui se sont opérés sur des paramètres hydrologiques se fait par l'utilisation de chroniques de débits observés, sur cet intervalle de temps. Cela dit, cette approche présente des limites comme par exemple la négligence de l'impact de la variabilité climatique, ainsi la distinction entre l'impact de l'urbanisme et celui du climat devient difficile (Lorup et al, 1998).

L'approche comparative spatiale, par ailleurs, réside en la comparaison spatiale de plusieurs bassins versants en termes d'urbanisation, elle permet, à son tour, d'étudier et d'analyser le fonctionnement hydrologique de plusieurs bassins versants urbains, situés dans une même région, afin de limiter les effets des autres facteurs, comme en exemple, les caractéristiques géomorphologiques ou climatiques, et de tenir en compte que celui de l'urbanisation (Rozell, 2010). Cette approche exige l'existence de bassins versants géographiquement voisins, avec un degré d'urbanisation nettement différencié.

Ainsi, pour une identification et une évaluation plus correcte et plus générale, des impacts de l'urbanisation sur le fonctionnement hydrologique des bassins versants, **ces deux approches, à savoir, temporelle et spatiale, doivent être complémentaires.**

Par ailleurs, classiquement, les études scientifiques, qui ont porté sur les impacts de l'urbanisation sur le fonctionnement des hydrosystèmes, ont utilisé des paramètres quantitatifs qui relèvent de la statistique, à savoir, la densité de la population, le taux des surfaces imperméables, ou pourcentage de la voirie (Salavati, 2015). Effectivement, l'utilisation de la densité de la population a été longuement utilisée comme indicateur de l'urbanisation (Devalle et al, 2000). Mais, l'utilisation de ce paramètre dans une recherche scientifique sur l'impact hydrologique de l'urbanisme connaît ses limites dans le sens où la densité de la population urbaine n'illustre pas l'agencement des surfaces perméables et imperméables, une information qui reste indispensable pour l'étude des écoulements des eaux surfaciques (Pomeroy, 2007).

Le taux des surfaces imperméables, est un indicateur directement lié au pourcentage des zones urbaines, (Homer et al, 2007) décrivent respectivement quatre catégories de zones imperméables suivant leurs saturations ; "0-20%, 20-40%, 40-60%, et supérieur à 60% ". En outre, pour évaluer l'impact de l'urbanisation sur l'écoulement des eaux, des valeurs minimales de surfaces imperméables ont été proposées, On en cite, et un seuil de 3 à 5% (Yang et al, 2010), 10% (Schuler, 1994), 20% (Brun et Band, 2000), 25% (Departement of Natural ressources, 2005). La diversification des propositions de ces seuils rend ainsi l'utilisation du paramètre quantitatif du taux des surfaces imperméables difficile dans l'étude de l'impact urbain hydrologique d'un bassin versant.

Plus récemment, des travaux de recherches scientifiques, s'articulant autour de l'évaluation des impacts de l'urbanisme sur l'hydrosystème, introduisent des paramètres plutôt qualitatifs (Mac-Mahon et al, 2003, Weng 2007, Buyantuyev et al 2010). Parmi ces mesures qualitatives, on en cite, le type d'activité urbaine (industrielle, commerciale, résidentielle...), la fragmentation des zones urbaines, ou encore, l'emplacement et/ou la distance des zones urbaines par rapport au réseau hydrique. On cite le travail scientifique de (Alberti et al, 2007), dans lequel une étude empirique de l'impact de la distribution spatiale de l'imperméabilité sur les conditions écologiques de 42 sous bassins versant a été développée. La prise en considération de la fragmentation des zones urbaines permet d'apprécier plus efficacement les écoulements des eaux surfaciques dans un bassin versant (Jacobson, 2011).

Dans un bassin versant, les surfaces imperméables se superposent aux différentes autres surfaces, les territoires sont, ainsi, découpés, fragmentés, composés de mailles ou de patches (polygones) non homogènes (Dale et al, 2000). Ces patches composent finalement les éléments constitutifs d'un paysage, "qui est une portion de territoire hétérogène composée d'ensembles d'écosystèmes en interaction dont l'agencement se répète de manière similaire dans l'espace" (Forman et Gordon, 1986, p 86). L'analyse de l'agencement de ces surfaces imperméables par rapport au réseau hydrographique existant, permet de comprendre et de maîtriser le mode d'organisation urbaine d'un bassin versant donné et d'évaluer qualitativement l'impact de l'urbanisation sur ses paramètres hydrographique. Le nombre et la superficie des patches, composant un paysage donné, permettent de décrire sa structure (Weng, 2007).

Une évaluation complète de l'impact de la dynamique urbaine sur le fonctionnement des hydrosystèmes requiert de fait l'utilisation des deux approches ; quantitative et qualitative.

C'est en cherchant à trouver des mécanismes qui offrent la possibilité de répondre aux exigences du développement urbain sans compromettre le fonctionnement durable des hydrosystèmes que la présente recherche s'est focalisée sur l'évaluation qualitative et quantitative spatio-temporelle de la dynamique urbaine sur le fonctionnement de l'hydrosystème. Posant, de fait, une hypothèse qui stipule que :

- La dynamique urbaine aurait un impact variable sur la durabilité des hydrosystèmes.
- La dynamique urbaine continue et maintenue serait moins dommageable par son propre fait, que par sa répartition sur le territoire notamment celui de l'eau qui constitue l'espace de mobilité des composantes superficielles et souterraines des hydrosystèmes.
- La répartition spatiale de la dynamique urbaine est source du déséquilibre du fonctionnement de l'hydrosystème, du fait de l'imperméabilisation de l'espace de mobilité des eaux qui circulent entre les composantes superficielles et souterraines des hydrosystèmes.

Des orientations d'aménagement urbain favorables à l'eau, pour le contexte du cas d'étude, seront proposées à la suite du travail de l'évaluation quantitative, qualitative spatio-temporelle de l'impact urbain, et ce sur la base des résultats obtenus. Ces résultats constituent une aide à la décision pour des futurs aménagements urbains axés sur la préservation de l'hydrosystème.

La présente recherche est, ainsi, structurée en 06 chapitres.

Le premier chapitre est le chapitre introductif, il présente la problématique générale de la thèse, l'hypothèse et les objectifs de recherche, ainsi que la stratégie de recherche adoptée.

Le deuxième chapitre de la thèse présente le champ théorique, méthode et outils d'analyse utilisés. Il se compose essentiellement en trois sous chapitres. Le premier définit la dynamique urbaine, son processus et ses enjeux environnementaux, il définit également les critères de durabilité de l'hydrosystème. Le deuxième présente le risque des inondations

urbaines comme une pathologie générée par le dysfonctionnement du système urbain-hydrique. Les approches urbaines favorables à l'eau, ainsi que le développement à faible impact (LID) ont été présentés comme une alternative urbaine pour remédier à la vulnérabilité des villes face au risque des inondations. Le but étant de définir des stratégies urbaines à adapter pour une dynamique urbaine axée sur la préservation du fonctionnement de l'hydrosystème. Le troisième sous chapitre concerne la méthodologie de la présente recherche déclinée, en définissant son positionnement dans la littérature et les matériels et outils méthodologiques utilisés, ainsi que les étapes suivies dans l'analyse qualitative, quantitative spatio-temporelles des bassins versants.

Le troisième chapitre présente le cas d'étude concerné par le présent travail de recherche. Il se compose également de trois sous chapitres. Le premier décrit le contexte environnemental et hydrique régional de Annaba, à savoir, la physiographie et le climat, l'hydrographie et les différents bassins versants existants, pluviométrie et étages bioclimatiques. Le deuxième décrit, par ailleurs, le contexte urbain du cas d'étude. Il présente, en effet, l'histoire du développement urbain de Annaba, l'état actuel et tendances d'extension urbaine, ainsi, qu'une prospective urbaine, établie selon les orientations du plan directeur d'aménagement et d'urbanisme (PDAU), le projet urbain de Draa Erich bordant la zone humide du Lac Fetzara est également présenté. Dans le troisième sous chapitre, sont définies les servitudes spatiales liées aux aménagements hydrauliques, à savoir, les infrastructures de production, d'adduction, de stockage et de distribution, liés au domaine public hydraulique. Cette dernière section présente également les périmètres de protection et les servitudes relatives au risque des inondations.

Le quatrième et le cinquième chapitres présentent le travail expérimental, l'évaluation quantitative qualitative spatiotemporelle de l'impact de la dynamique urbaine sur l'hydrosystème, ses résultats et leurs interprétations et la discussion des résultats. Ils englobent trois sous chapitres. Le premier délimite le périmètre d'étude et la zone d'urbanisation, comme une préparation des données de l'analyse. Le deuxième sous chapitre présente l'analyse quantitative spatio-temporelle de l'impact de la dynamique urbaine sur la durabilité des hydrosystèmes, à travers une analyse diachronique des cartes satellitaires et une analyse de l'impact de la dynamique urbaine sur des indices hydrologique, à savoir, le débit de pointe et le temps de concentration. *L'évaluation*

quantitative de l'impact de la dynamique urbaine sur le fonctionnement des trois hydrosystèmes s'appuie sur une méthode qui consiste à i) l'analyse diachronique de trois générations d'images satellitaires à l'aide du logiciel Arcmap (ArcGIS) ; ii) calcul et comparaison des indices hydrologiques (débits de pointe et temps de concentration). Le résultat attendu est d'apprécier la répartition de cet impact en termes de surface et de densité urbaine à travers les trois bassins versants d'étude. Quant au troisième sous chapitre, il présente l'analyse qualitative spatio-temporelle de l'impact de la dynamique urbaine sur la durabilité de l'hydrosystème, à travers une classification supervisée des bassins versants et une analyse de la fragmentation spatiale urbaine. *L'évaluation qualitative* des effets de la fragmentation spatiale engendrée par la dynamique urbaine de Annaba à l'échelle des bassins versants s'appuie sur une méthode qui consiste à i) la classification supervisée des bassins versants à l'aide du logiciel Arcmap; ii) calcul des métriques paysagères (i.e. le nombre de fragments, l'indice de forme du paysage, l'indice d'agrégation, la distance euclidienne moyenne au plus proche voisin) à l'aide du logiciel FRAGSTAT. Le résultat attendu est d'apprécier l'impact de la dynamique urbaine sur le temps de concentration des bassins versants.

Le sixième chapitre présente cependant la conclusion générale de la thèse, une synthèse de l'analyse spatio-temporelle qualitative et quantitative et des principaux résultats est présentée en plus d'une perspective d'aménagements urbains favorables à l'eau à Annaba.

A la suite des différents chapitres, sont mentionnées les références bibliographiques consultées lors de l'élaboration du présent travail de recherche scientifique.

2.3.2. AMC, SIG et FRAGSTAT, outils d'évaluation quantitative qualitative spatio-temporelle.

Le présent travail de recherche s'appuie sur **une analyse comparative quantitative qualitative spatio-temporelle de la dynamique urbaine appliquée au cas d'étude**. Cependant, et afin de répondre à l'objectif principal du présent travail de recherche qui consiste en l'analyse des effets de la dynamique urbaine sur le fonctionnement de l'hydrosystème, la maîtrise et l'utilisation de trois différents approches et outils ; L'Analyse Multicritères (AMC), le logiciel ArcGIS, Arcmap 10.3, et enfin le logiciel FRAGSTAT, reste essentiel pour le bon déroulement du travail expérimental.

Des définitions relatives aux outils utilisés sont présentées dans les passages qui suivent en plus de l'identification des métriques spatiales employées.

L'Analyse Multicritère, AMC.

En général, l'objectif de l'analyse multicritère est de proposer aux décideurs, aux gestionnaires ou aux chercheurs des outils pour la résolution de problèmes décisionnels de sélection ou de choix (Agrebi, 2018).

En effet, les méthodes d'aide multicritères à la décision sont des procédures en plein développement, elles permettent de s'orienter vers un judicieux compromis. L'AMC nécessite le suivi de quelques étapes ;

- La première étape consiste en la définition de l'objet de la décision et des différentes décisions ou solutions potentielles.
- Dresser la liste des actions potentielles, une action potentielle est "une action réelle ou fictive provisoirement jugée réaliste par un acteur au moins ou présumée comme telle par l'homme d'étude en vue de l'aide à la décision ; "L'ensemble des actions potentielles sur lequel l'aide à la décision prend appui au cours d'une phase d'étude" (Roy, 1985, 29p).
- Dresser la liste des critères à prendre en considération. Un critère d'évaluation se définit comme une "expression qualitative ou quantitative de points de vue, objectifs, aptitudes ou contraintes relatives au contexte réel, permettant de juger des personnes, des objets ou des évènements" (Maystre et al, 1994, 57p). La liste des critères est établie sur la base de l'ensemble des conséquences qu'émane chaque action. En d'autres termes : "Tout effet ou attribut de l'action susceptible d'interférer avec les objectifs ou avec le système de valeurs d'un acteur du processus de décisions, en tant qu'élément primaire à partir duquel, il élabore, justifie, ou transforme ses préférences" (Benmena, 2000, 54p).
- La pondération des critères est une étape très importante dans le processus de l'analyse multicritères, elle se fait par le gestionnaire, le chercheur en monôme ou en groupe. Elle s'établit, au fait, suivant la capacité du chercheur à effectuer une perspective sur le résultat probable si le critère x est mis en exécution. C'est, en d'autres termes, une comparaison prospective sur les conséquences des mises en

exécution de chacun des critères dans une situation donnée (Laforest et al, 2013). Cependant, avant d'attribuer un poids sur chaque critère, des notions de base doivent acquies, leurs définitions et compréhensions ont été nécessaires dans le cadre de la présente recherche. **L'indifférence**, est un jugement d'équivalence entre deux actions, ce jugement est pris suite à l'existence de raisons claires et significatives, **la préférence stricte**, ou une préférence totale portée sur une action par rapport à une autre suivant l'existence de raisons claires et positives, la préférence faible est quand deux actions présentent des raisons claires et positives qui ne permettent pas d'isoler l'une d'elles comme la seule appropriée, **l'incomparabilité** est, par ailleurs, une notion qui exprime l'absence totale de terrains de mesures entre deux actions permettant la comparaison de situation entre elles.

Une fois les critères définis et pondérés, le tableau matriciel est ainsi dressé. Le tableau matriciel est un tableau permettant la comparaison de plusieurs propositions (Al Amraoui et al, 2017). La dernière étape de l'analyse AMC consiste en l'agrégation des résultats. Trois différentes approches opérationnelles le permettent ; La méthode de l'agrégation complète, l'agrégation partielle ainsi que d'autres méthodes dites locales. La diversité des méthodes s'explique par le fait qu'aucune méthode ne pourrait répondre à toutes les exigences posées par tous les décideurs.

L'agrégation complète est la somme ou la moyenne pondérée des notes, l'agrégation partielle, est, cependant, le fait d'appréhender partiellement les conséquences des divers jugements (Maurin, 1999). Cette technique consiste à comparer les actions deux à deux et établir une hiérarchie de classes, c'est à dire un classement allant de la classe la plus importante à la classe la moins importante. Enfin, la méthode d'agrégation locale s'applique dans le cas où le nombre des actions possibles est important, cette technique consiste de proposer la potentielle meilleure solution et de voir ensuite autour s'il y 'a une meilleure solution (Caillet et al, 2003).

Le choix d'une de ces techniques dépend des moyens dont on dispose, de la quantité d'information recueillie et du type de résultat souhaité. En récapitulatif, l'objectif de l'AMC est d'aider à prendre une décision. Elle consiste, grossièrement, à mentionner les critères à

considérer dans l'analyse, leur attribuer une note suivant leurs importances, noter chaque action relativement à tous les critères pour enfin agréger les résultats.

La méthode de l'analyse multicritères a été utilisée dans le cadre d'une recherche précédente en urbanisme, concernant "les impacts des projets urbains sur l'équilibre des hydrosystèmes en Algérie, cas de la nouvelle ville de Draa Errich" (Wilaya de Annaba), (Mellouk, 2014). L'AMC a permis d'identifier les impacts urbains selon leur type et d'attester, de fait, de l'importance de la prise en compte des hydrosystèmes par la planification urbaine dans le cadre du développement durable pour un cadre de vie en équilibre sain avec l'environnement naturel qui l'abrite.

En général, dans un travail de recherche, l'Analyse Multicritères peut être associée à d'autres méthodes. C'est le cas de l'étude de (El Idrissi et al, 2017), s'intitulant : "Intégration du SIG et de l'analyse hiérarchique multicritère pour l'aide dans la planification urbaine : étude de cas de la province de Khemisset, Maroc". Ce travail de recherche s'inscrit, en effet, dans une démarche de réflexion sur "la création d'un modèle de planification urbaine qui favorise la compréhension du processus de programmation des ressources foncières pour les besoins de l'urbanisation qui s'appuie sur l'utilisation combinée de l'analyse multicritères (AMC) et des systèmes d'information géographiques (SIG)". Le processus méthodologique adopté a montré sa pertinence pour interpréter les problèmes spatiaux complexes et a conclu à "l'élaboration d'un Atlas qui définit l'utilisation du sol propice pour l'urbanisation ; Zones à ouvrir pour l'urbanisation, à préserver ou à sauvegarder". L'AMC a également été utilisée dans "l'évaluation de la vulnérabilité de l'espace urbain face au risque des inondations par l'élaboration d'une liste d'indicateurs d'enjeux en zone inondables" (Moulin et al, 2017).

Cependant, dans le cadre de la présente recherche, l'analyse multicritère est utilisée dans la sélection des bassins versants les plus représentatifs pour effectuer l'évaluation comparative quantitative qualitative spatio-temporelle de l'impact de la dynamique urbaine sur l'équilibre de l'hydrosystème. A cette fin, trois critères de sélection ont été choisis, le critère n°01 : La localisation du bassin versant par rapport à la ville de Annaba, le critère n°02 : L'état du réseau hydrographique du bassin versant, et le dernier critère n°03 : Disponibilité de l'information relative aux inondations (2002-2019).

Le système d'information géographique (SIG) et photos satellites.

SIG, diminutif des systèmes d'informations géographiques, représente une série d'approches munie d'outils informatiques qui a pour principal objectif le prétraitement, la structuration et le traitement de l'information géographique.

"Dans une définition étroite, le SIG est un système informatique pour la saisie, la manipulation, le stockage et la visualisation des données spatiales numériques. Dans une définition plus large, il est un système numérique d'acquisition, de gestion, d'analyse, de modélisation et de visualisation de données spatiales aux fins de la planification, l'administration et le contrôle de l'environnement naturel et aux applications socio-économiques" (Konecny, 2014, p102). Un SIG, en général, peut traiter l'information selon trois niveaux :

- Le niveau géométrique : A ce niveau, l'objet est représenté par une forme géométrique, comme un point pour les bâtis, ligne ou arc pour les réseaux routiers ou encore surfaces et polygones pour représenter les espaces verts ou les ensembles d'habitation. Ces différents objets sont munis d'un géo référencement qui peut être établi par des coordonnées géographiques (la longitude et l'altitude) ou par des coordonnées planes.
- Le niveau topologique : La topologie, d'un point de vue mathématique, étudie la notion de voisinage et ses propriétés. Le niveau topologique dans les SIG représente, ainsi, les relations de voisinage constituées entre les objets.
- Le niveau attributaire, thématique ou sémantique : Ce niveau est, par ailleurs, relatif aux informations et attributs des objets de la carte. Le type de ces informations est alphanumérique, on y retrouve en exemple, le type de bâtiments, le nom de la commune ou des voies, le nom des routes... (Alboody, 2011).

Le SIG peut être décomposé en plusieurs sous-systèmes, l'entrée des données et leurs sorties, le stockage et la gestion des données, la manipulation des données et leur analyse et enfin, le dialogue avec l'utilisateur (Fig2.14).

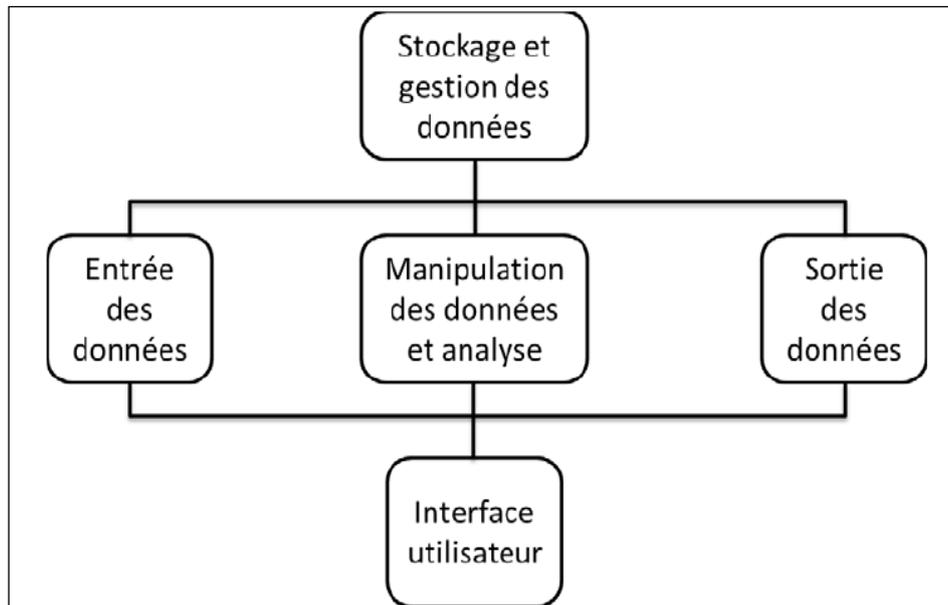


Fig2.14 : Structure d'un système d'information géographique, (Malczewski, 1999).

Les SIG sont finalement des outils de gestion des données à références spatiales qui se distinguent des logiciels graphiques (CAD et CAM) et des logiciels à références spatiales (SIRS) par leur capacité à effectuer des analyses spatiales et de cartographier automatiquement (Laaribi, 2000). En effet, les SIG ont la particularité de gérer des données à références spatiales.

Contrairement aux autres logiciels, les bases de données dans les SIG sont gérées par un géo référencement, en effet, les bases de données dans les autres logiciels se résument uniquement à de simples informations de localisation, comme les codes postaux ou les adresses de rue.

Également, les SIG ont la capacité d'assurer des fonctionnalités qui, classiquement, étaient fractionnées sur plusieurs technologies différentes. Effectivement, les SIG peuvent créer des cartes, préparer des modèles statistiques, analyser des images satellitaires et photos aériennes ; des capacités offertes ensemble au sein d'un SIG complet. Les SIG peuvent, également, jouer un rôle important dans le processus de prise de décision de par la façon dont les données sont saisies, stockées et analysées qui reflète la position que peut tenir l'information dans une tâche particulière (Le Berre et Brosset, 2020). Les données sont introduites dans les SIG sous forme de couches (Fig2.15).

Analyse conceptuelle, méthodes et outils.

Une même couche contient un ensemble d'objets géographiques qui partagent le même territoire ayant, de fait, la même couverture spatiale. Ces couches peuvent être analysées, suivant les besoins, séparément à des échelles variées ou associées dans un même écran.

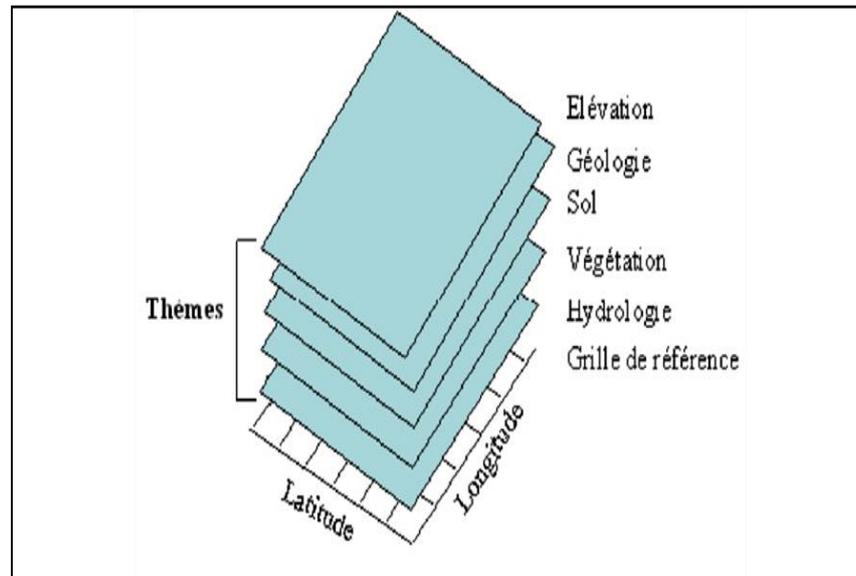


Fig2.15 : Représentation d'une couche, (Chakhar, 2006).

Quant aux représentations spatiales, elles peuvent être schématisées, dans les SIG, par deux différents modes ; Le mode Raster et le mode vecteur (Fig2.16) (Chakhar, 2006). Pour comprendre l'utilité des SIG aujourd'hui et assimiler leurs importances, il est utile de connaître leurs champs d'application.

En effet, la cartographie, l'occupation du sol, l'environnement, la gestion du risque, la gestion des ressources en eau ou encore la planification urbaine et la gestion des territoires sont autant de branches scientifiques qui utilisent les SIG dans leurs différents travaux d'analyse et de recherche.

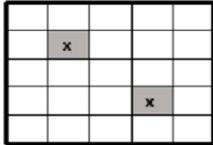
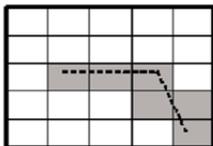
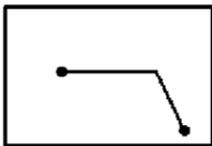
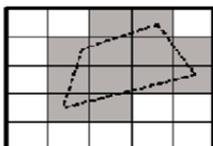
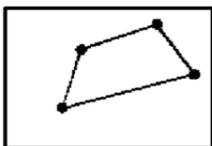
	Mode raster	Mode vecteur
Point		
Ligne		
Polygone		

Fig2.16: Représentation des points, lignes et polygones en modes Raster et Vecteur, (Chakhar, 2006).

Les photos satellitaires.

Les produits satellitaires représentent, désormais, une source de données incontournable et de plus en plus nécessaires pour le fonctionnement des systèmes d'information géographique (Alboody, 2011). Une image satellitaire, un produit spatial, ou une donnée de télédétection sont autant de termes qui désignent les données d'observation de la terre acquis et potentiellement traitées par le principe de télédétection.

Les produits satellitaires sont fournis depuis plusieurs serveurs dont Earth Explorer du site de l'USGS³, qui est considéré comme une banque de données d'images Landsat gratuites. L'information est exprimée dans une image par des groupes de pixels illustrant, à l'utilisateur, des formes et des couleurs. Plus le nombre de pixels est important plus les objets dans l'image sont clairement définis, c'est la résolution spatiale. Il existe deux catégories d'images satellitaires ; Image de type Raster et image de type Vecteur. Les images de type Raster sont composées de pixels, à la différence, des images de type Vecteur qui sont plutôt composées de géométries comme des points, des lignes ou des polygones et surfaces. Dans les systèmes d'information géographique, c'est les images de

³ USGS, United States Geological Survey ou l'institut d'étude géologique des Etats est un organisme sous le gouvernement Américain, spécialisé dans les sciences de la terre notamment dans la surveillance de l'activité sismique en Amérique et à travers le monde, (USGS, 2016).

type Vecteur qui sont utilisées car elles permettent une représentation simplifiée et maniable du territoire. Les images de type Raster sont également utilisées dans le cas des images aériennes, ou dans le cas des MNT, les modèles numériques de terrain (Colin, 2011). Dans une image satellitaire, **l'analyse des transformations des dynamiques spatiales se fait, à travers, l'étude de la progression ou la régression des axes routiers, le changement de l'occupation du sol, la dégradation du couvert végétal, l'évolution des espaces vides et des espaces bâtis dans un espace donné.** En effet, l'observation de la croissance et son évolution dans un produit satellitaire reste un outil important dans l'analyse de la dynamique urbaine et celle de l'environnement.

La classification et les métriques paysagères.

La **classification** est considérée comme une des méthodes les plus souvent utilisées pour l'analyse des cartes et l'extraction des informations, la classification dans les SIG est une méthode, en effet, qui consiste à **identifier les pixels ou des groupes de pixels ayant les mêmes références spatiales et à les regrouper, par la suite, de sorte à constituer des classes spectrales homogènes** (Ducrot et al, 2015).

Il existe deux types de classifications ; Une classification **supervisée** et une classification **non supervisée**.

Dans le cas de la classification non supervisée, les classes ne sont pas prédéfinies, le fractionnement de l'image en classes spectrales se base uniquement sur l'information numérique des données. L'intervention de l'opérateur dans ce type de classification se fait à travers l'application d'un algorithme pour la modification de certains paramètres relatifs à la distance entre les classes, à leurs combinaisons, ou à leurs séparations selon les besoins (Arbia, 2019). Par ailleurs, lors de la classification supervisée, et c'est le cas de la classification utilisée dans le cadre de ce travail de recherche, l'opérateur précise préalablement les classes thématiques selon ses connaissances du terrain et sa familiarité avec la région géographique de la zone à analyser, ainsi qu'en fonction des besoins de sa recherche. L'analyse identifie, par la suite, sur la carte des échantillons homogènes représentant les différents types de surfaces selon le type de classes prédéfini, c'est les classes d'information. Chaque ensemble de pixels, défini par l'opérateur, contient des informations numériques qu'utilise le logiciel (mis en fonction) pour définir

automatiquement les régions aux propriétés similaires à chaque échantillon. Chaque classe, contient, de fait, sa propre signature numérique (Bolon et al, 2017). Le travail de la classification s'avère être un outil incontournable dans le suivi et l'observation des changements du paysage naturel et du paysage urbain, notamment dans le suivi de la dynamique urbaine. Effectivement, **la classification d'images satellitaires en dates différentes permet de détecter les changements qui se sont opérés sur un territoire donné à travers les années.**

Cependant, les résultats d'une classification se basent essentiellement sur le calcul du nombre de tâches présentes dans l'image de télédétection. La classification n'est pas insensible à la variation de la résolution spatiale des images à traiter. En effet, différentes classifications d'une même région peuvent présenter différentes conclusions, la qualité thématique dépend, finalement, de la différence de contraste entre les classes, et de la qualité de résolution du capteur. La faible séparabilité spectrale des objets implique une bonne précision de la cartographie de l'occupation du sol (Brown et al 2005 *in Aguejdad et al, 2016*).

Cependant, les images satellitaires de haute résolution ne couvrent pas la totalité d'une agglomération moyenne d'où le choix, **dans ce présent travail de thèse, d'une échelle urbaine plus réduite, celle des bassins versants.** La classification supervisée a d'ores et déjà montré sa capacité et son utilité dans les études urbaines, notamment à partir d'images satellitaires à haute résolution spatiale (Puissant, 2003).

La télédétection permet l'obtention d'images multi dates, l'obtention d'une série d'images d'une zone particulière offre la possibilité de retracer l'évolution des trajectoires des axes de la dynamique urbaine à travers les années, et de suivre également l'évolution spatio-temporelle des espaces et ainsi que leurs fragmentations urbaines spatiales. La détection du changement peut se réaliser soit ; par comparaison d'images en images, par comparaison post-classification, par la soustraction d'images, par la régression entre deux images, par l'étude des modifications de la morphologie urbaine, par la comparaison d'indices de végétation, par l'analyse des vecteurs de changement, par la classification par réseaux neuronaux ou encore par la classification orientée objet (Laroche et al, 2006, Xiao et al 2005, Yang et al, 2002).

La comparaison post-classification est une parmi les nombrables méthodes utilisées pour la quantification des dynamiques urbaines (Skupinski, 2009). La démarche suivie consiste en l'acquisition d'images satellitaires à des dates espacées dans le temps, elles couvrent dans le présent travail de recherche, deux décennies. Afin de minimiser les erreurs qui sont généralement issues des variations saisonnières et de l'angle solaire, les images satellitaires sont obtenues d'un même capteur et donc avec une même géométrie d'observation.

L'utilisation de la télédétection et des SIG permet la quantification et le suivi des foyers de la dynamique urbaine. Cependant, le type de la fragmentation urbaine ou la façon dont la dynamique urbaine procède est définie, dans le cadre du présent travail de recherche, par le calcul **d'indicateurs métriques** empruntés de l'écologie du paysage. "L'écologie du paysage vise à comprendre comment la structure de l'espace qui nous entoure interfère avec les processus qui animent la dynamique des populations, des communautés et des écosystèmes". (Forman et Gordon, 1986, Young et al, 1993 *in AGUEJDAD, 2011*). L'écologie du paysage a vu ses techniques d'analyse évoluer dans le temps notamment en géomatique et en télédétection (Bourget,2012).

Les relations entre les composantes du paysage urbain sont définies à travers des indicateurs spatiaux dits, "metrics", "spatial metrics" ou encore "landscape metrics" sous leur nom anglophone. Les metrics ont été développées, vers les années 1980, dans le but de décrire l'organisation spatiale du paysage (Iverson, 1988, Forman et Godron, 1986, Turner et al, 1988, O'Neill et al, 1988). Ces mesures sont également utilisées dans la quantification et la description de la forme du paysage et le type de la répartition spatiale (Mc Garigal et al, 2002, Hargis et al, 1998, O'Neill et al, 1988). Le degré du changement de l'hétérogénéité d'une zone donnée peut être détecté à travers l'application des métriques paysagères sur des données multi temporelles, multi spatiales (Dunn et al, 1991, Wu et al, 2000). Cette hétérogénéité spatiale dépend, cependant, de la résolution spatiale de l'image, de l'étendue spatiale de la zone d'étude, et du nombre de classes thématiques enregistrées. Ainsi, avant d'effectuer ou de projeter une analyse par métriques paysagères, la classification des images de télédétection doit tenir compte de la résolution spatiale du capteur, et du nombre de classes qu'il faut pour générer les métriques paysagères spatiales. Quand la qualité spatiale est d'ordre décimétrique il est recommandé, dans la littérature, d'effectuer une classification en deux types d'occupation de sol ; On parle de zone

anthropique urbaine et de zone naturelle non artificielle. Cependant, dans ce type de classification certaines structures ne peuvent pas être détectées. La diversité de la fragmentation paysagère est alors sous-estimée, le paysage obtenu est homogène (Janin, 2011).

Dans le cas où la résolution spatiale des données est augmentée la classification est plus détaillée, le résultat donne, alors, un paysage très hétérogène avec une fragmentation prononcée où les structures spatiales majeures, la forme du bâtis et l'agencement de ces derniers ne sont plus visibles (Herold et 2005). Les indicateurs métriques sont calculés au niveau de trois échelles différentes, les tâches, les classes ou le paysage dans sa totalité en moyennant de logiciels dont le plus utilisé reste FRAGSTAT (Mc Garigal et al, 2002). FRAGSTAT est, en effet, un logiciel libre accès qui permet de mesurer des indices, ou communément appelés métriques, qui décrivent la structure, la fragmentation ou la connectivité d'un paysage (Cushman, 2012).

Les cartes introduites dans FRAGSTAT doivent être sous format Raster, elles peuvent provenir depuis plusieurs sources, dont les SIG où il est indispensable d'effectuer une rastérisation de la couche paysagère, le passage donc du mode Vecteur au mode Raster tout en illustrant le champ attributaire qui est la base de calcul des valeurs de pixels, support de l'analyse paysagère (Zennir et al, 2020).

Le calcul des indices est, alors, élaboré sur la base de mesures basiques effectuées, en exemple, sur la tâche, le type de la tâche, sa surface, son périmètre ... Les indicateurs metrics paysagers se déclinent en trois différentes catégories, les indices de **forme**, les indices de **composition** et les indices de **configuration** (Forman, 1995). Les indices de forme donnent une description de la forme du paysage avec l'hétérogénéité de ses tâches et sa complexité. Les indices de composition donnent, par ailleurs, des informations sur la composition de la mosaïque paysagère comme le nombre de tâches, leurs densités, leur taille, les types d'occupation du sol et leurs proportions (Dumas, 2005).

Quant aux indices de configuration, comme leur nom indique, ils décrivent la configuration du paysage. En d'autres termes, ils rendent compte du degré d'isolement et de connectivité entre les tâches du paysage, ils illustrent, de fait, la fragmentation du paysage. Parmi ces indices, on en cite, les indices de proximité, de cohésion, de connectivité, de la distance

moyenne entre les tâches voisines, les indices d'agrégation... En somme, les indices de configuration sont répartis en deux classes ; Les indices basés sur la distance entre les tâches et les indices de texture.

Les indicateurs métriques, empruntés de l'écologie, ont été repris par d'autres disciplines notamment en écologie urbaine, en géographie, ou en encore en urbanisme. Dans le milieu urbain, les indicateurs métriques sont utilisés dans la description des "patrons" du paysage urbain et de la dynamique urbaine et aussi dans l'illustration de la distribution spatiale du paysage urbain (Aguejdad, 2011, Parker et al, 2001). **Les indices métriques déterminent la forme de la dynamique urbaine à travers la description des caractéristiques et l'évolution des surfaces artificielles** (Sudhira et al, 2004). Effectivement, les metrics sont utilisés dans la dynamique urbaine à travers le suivi des changements de l'occupation des sols sur une période donnée, aussi, elles servent à la caractérisation des villes selon leurs organisations spatiales ou selon leurs morphologies, une caractérisation qui peut servir, par la suite, à effectuer des comparaisons entre ces villes (Aguejdad et Hubert, 2017, Aguilera et al, 2011, Schwarz, 2010, Skupinski et al, 2009, Huang et al, 2007, Herold et al, 2005, Mc Gaigal et al, 2002). L'utilisation des indices métriques en milieu urbain a montré également son intérêt dans l'évaluation des impacts anthropiques sur l'environnement naturel (Alberti et Waddell 2000).

La télédétection offre les données nécessaires pour le calcul des indicateurs metrics (Herold et al, 2005). De fait, la précision du calcul dépend de l'échelle et de la qualité des produits de la télédétection ainsi que de la qualité sémantique de la classification (Lausch, 2002). En conséquence, une classification en *deux catégories principales* de l'occupation du sol, à savoir, la surface naturelle et tout ce qu'elle englobe comme ressources ; Eau, sol nu, végétation, sol agricole... et la surface artificielle avec ses bâtis, ses axes routiers, ses aires de jeux...semble être la mieux adaptées pour le calcul des mesures paysagères. Enfin, les métriques paysagères appliquées en milieu urbain permettent la caractérisation des espaces urbains avec leurs irrégularités, fragmentations, compacités et diversités.

Conclusion.

Le deuxième chapitre de ce manuscrit de thèse a présenté, tout d'abord, l'outillage théorique auquel se réfère le présent travail de recherche. La dynamique urbaine est retenue, dans ce cadre, au sens des transformations spatiales qui s'opèrent au niveau du territoire en termes de bâtis, suivant le principe que la ville grandit, s'étend et s'étaie et en référence au concept de l'étalement urbain. L'hydrosystème représente, par ailleurs, la somme d'un ensemble d'écosystèmes aquatiques qui concourent au fonctionnement d'un cours d'eau donné et qui évoluent avec le temps. Dans le même contexte, une vision systémique des deux concepts clés a été présentée, les inondations ont été identifiées comme une manifestation de dysfonctionnement du couple urbain-hydrique. La nécessité d'intégrer les principes de l'urbanisme hydrophile dans la gestion du risque des inondations a été illustrée par l'exemple de la ville éponge. Le deuxième chapitre de thèse a présenté la méthodologie de la recherche. La thématique de la présente thèse s'articule autour de la dynamique urbaine et de la durabilité des hydrosystèmes. L'objectif principal étant d'évaluer l'impact de la dynamique urbaine sur l'équilibre de l'hydrosystème, un travail qui nécessite, de fait, la mise en relation de deux systèmes dynamiques différents. De fait, il est proposé dans ce travail de recherche d'effectuer une analyse comparative quantitative qualitative spatiotemporelle de la dynamique urbaine sur l'hydrosystème. L'analyse comparative spatiotemporelle permet d'apprécier les conséquences des changements d'occupation du sol dans trois zones différentes à travers trois dates distinctes. On a procédé, en premier lieu, à une analyse quantitative de l'impact de la dynamique urbaine prise dans toutes ses dimensions sur l'hydrosystème local, par la suite, c'est l'analyse qualitative qui est mise en place afin d'évaluer l'impact d'un des paramètres qualitatifs de la dynamique urbaine qui est la répartition spatiale sur le fonctionnement de l'hydrosystème pour répondre, au final, à l'hypothèse de recherche qui stipule que la dynamique urbaine ne serait pas dommageable, par son fait, mais ça serait plutôt sa répartition spatiale qui serait source de déséquilibre des hydrosystèmes. La pertinence des résultats tiendra en leur opérationnalité immédiate dans la planification urbaine en vue d'aménagements urbains à moindre impact sur les hydrosystèmes qui drainent les villes. Les résultats constitueront également une aide pour la prise de décision dans le cadre des études prospectives d'établissements humains respectueux du cycle de l'eau.

**CHAPITRE III,
ANNABA, LE CAS D'ETUDE.**

CHAPITRE III, ANNABA, LE CAS D'ETUDE.

Introduction.

Annaba, située au Nord-est du pays faisant face à la mer sur une bande littorale de plus de 80 km, fait partie des quatre grandes villes à l'échelle nationale qui, par leur position géographique, leur taille et leur rôle économique, assument la fonction de métropole régionale qui équilibre l'armature urbaine du pays, elle se place au quatrième rang après Constantine, Oran et Alger (PATW, 2014). Le territoire est situé à environ 600 Km d'Alger et à 100 Km de la frontière tunisienne. Il s'étend sur une superficie de 1393,20 Km² et s'étale sur environ 50kms de long du nord au sud et sur 40kms de large d'Est en ouest. Sa population totale était estimée à 609 499 habitants selon RGPH, 2008, elle s'élève à 640 050 habitants en 2019 (Atlas, 2020). Administrativement, la wilaya de Annaba est organisée en 12 Communes et 06 Daïras (Annaba, El Bouni, El Hadjar, Berrahal, Ain Berda, Chetaibi). Le Chef-lieu de la wilaya d'Annaba, la commune d'Annaba est dominée au nord-ouest par le massif de l'Edough (1.008 m d'altitude). L'accès à la wilaya de Annaba se fait du côté Est et Sud, le côté Nord est cependant dominé par le massif de l'Edough qui forme une véritable barrière face à la mer. Les contreforts de l'Edough continuent au-delà de la wilaya en allant vers la wilaya de Skikda rendant ainsi l'accès difficile du côté Ouest. Nombreuses sont les routes nationales et wilayales qui traversent la wilaya de Annaba ; la RN.44 relie Annaba à Constantine, la RN.16 relie Annaba à Souk Ahras, la RN.21 reliant Annaba à Guelma. Tandis que la route wilaya, qui traverse la plaine de Annaba du Nord-Ouest au Sud Est, relie la RN.44 à la RN.21.

L'originalité du territoire Annabi réside en le fait qu'il présente des milieux très contrastés allant des forêts littorales des piémonts du massif de l'Edough aux différents lacs dont celui de Fetzara qui est répertorié sur la liste Ramsar des zones humides d'importance internationale depuis 2002, aux paysages collinaires. Toutefois, c'est un environnement fortement menacé par l'anthropisation de plus en plus croissante. Effectivement, la dynamique urbaine de Annaba est en perpétuelle évolution et s'accompagne par des perturbations remarquables des hydrosystèmes locaux. Des perturbations qui se manifestent par des inondations remarquables, on en cite, 11 novembre 1972, 5 avril 1973, 10 novembre 1982, 3 avril 1983, 27 septembre 1995, 2 juin 1997, 4 janvier 1999, 26 août

2002, 6 septembre 2002, 25 novembre 2002, 26 novembre 2002, 1 février 2003, 4 avril 2003, 5 septembre 2003, 12 décembre 2005, 13 décembre 2005, 03 janvier 2006, 22 mars 2007, 12 janvier 2009, 21 septembre 2009, 24 septembre 2009, 22 février 2012, (URBAN,2020). La plus récente est celle du 25 au 26 Janvier 2019 (DGPC, Annaba, 2020).

3.1. Le contexte naturel.

Deux grandes entités morphologiques composent le territoire de la wilaya de Annaba, le massif de l'Edough au Nord, et la plaine au Sud développée autour du Lac Fetzara. C'est un territoire extrêmement riche en paysages, à la fois de plaines, de montagnes, de collines et de littoraux. Annaba, se distingue par un littoral qui s'étend de Kef N'za Hossein dans la commune de Chetaibi (limite de la wilaya de Skikda) jusqu'à la limite de la wilaya d'El Taref, avec une façade maritime de 122.5 Km sur laquelle se succèdent 27 plages. De surcroît, elle dispose d'un réseau hydrographique dense et ramifié, détaillé dans la partie qui suit.

Au sud de la Méditerranée, les milieux semi arides et arides sont dominants. Mais souvent, les vallées des cours d'eau méditerranéens permanents font partie des zones humides où les potentialités économiques, de loisirs et de production de la biomasse sont relativement importantes. Le lac Fetzara, en exemple, est un véritable réceptacle de biodiversité. Il est situé au Sud-est de la ville de Annaba, est une dépression de 20680 ha de superficie, de forme dissymétrique constitue un exutoire d'un bassin versant endoréique de 515 Km² de superficie (Habes et al, 2011).

Le lac Fetzara est officiellement classé comme une zone "Ramsar"¹, il abrite un pour cent de la population mondiale de canards siffleurs et plus de 30 000 oiseaux hivernants (Mellouk, 2014).

Aussi, le site de l'Edough, qui longe le côté Nord du territoire Annabi, présente des caractéristiques écologiques et biologiques remarquables. Effectivement, ce site constitue un véritable sanctuaire de la nature, "les beaux peuplements de zeen, de pins maritimes, de châtaignier, constituent des spécimens uniques avec leur port majestueux donnant une esthétique paysagères extraordinaire pour la région" (TAD Consult, 2011).

¹ La convention Ramsar est une convention relative aux zones humides d'importance internationale, est un traité international adopté le 2 février 1971 pour la conservation et l'utilisation durable des zones humides, qui vise à les protéger de toutes dégradations ou disparitions, aujourd'hui et demain, en reconnaissant leurs fonctions écologiques ainsi que leur valeur économique, culturelle, scientifique et récréative.

Annaba, le cas d'étude.

Annaba Possède, ainsi, un potentiel naturel diversifié ; Plan d'eau, site de montagnes, relief côtiers et forestiers qui doit être valorisé car une telle richesse pourrait être un levier important pour le développement futur de la région.

3.1.1. Physiographie du territoire Annabi.

Le territoire Annabi situé au Nord Est de l'Algérie, à environ 100 Kms de la frontière Tunisienne, est limité au Nord par la mer Méditerranée, au Sud par la Wilaya de Guelma, à l'Est par la wilaya d'El Taref et enfin à l'Ouest par la wilaya de Skikda (Fig3.1).



Fig3.1 : Situation géographique de Annaba (Aroua, Mellouk, 2015).

Annaba, le cas d'étude.

La wilaya de Annaba est formée sur deux grandes entités morphologiques essentielles ; l'Edough au Nord et la plaine au Sud. Le territoire de plaine est développé autour du lac Fetzara, une large partie de la wilaya est développée sur cette plaine, le territoire de montagne est, par ailleurs, formé dans la partie Nord par les reliefs autour de Dj. Edough. Une autre partie de la wilaya est développée sur des reliefs collinaires rencontrés au piémont Sud du massif de l'Edough et sur le piémont Nord des reliefs de Guelma au Sud de Annaba. Quant aux limites Nord et Est de Annaba, elles sont matérialisées par la double marge méditerranéenne avec un linéaire de côtes d'environ 80 Kms ; La première, au Nord, est d'orientation WNN-ESE qui définit le massif du Dj. Edough du côté Nord et la seconde est celle de l'Est, développée entre Cap de Garde au Nord et l'embouchure de la Seybouse au Sud. Le profil ci-après relie le massif de l'Edough au Nord au relief piémontais au Sud en passant par la plaine de Annaba au centre (Fig3.2).

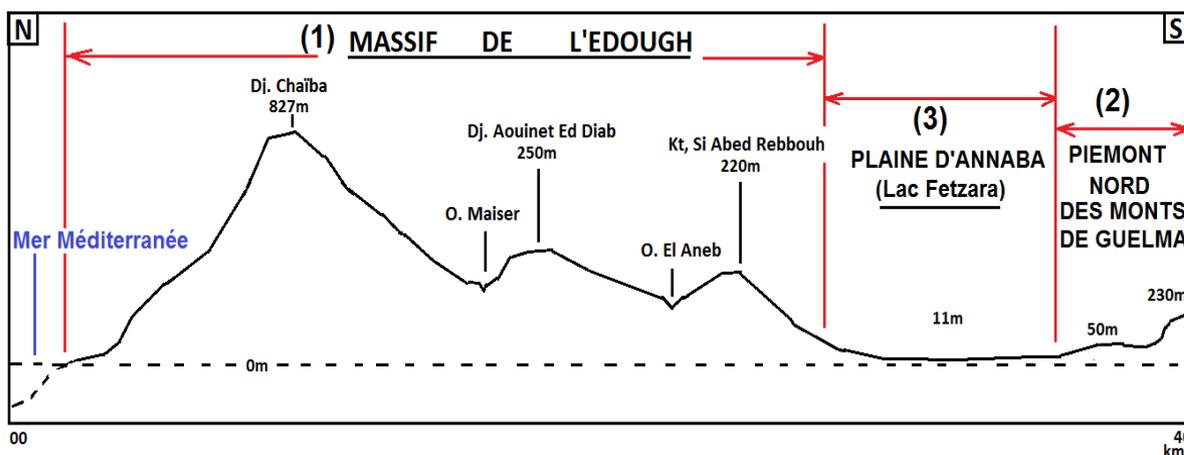


Fig3.2 : Profil Schématique topographique N-S à travers le massif de l'Edough (PATW Annaba, 2014).

L'organisation des reliefs est décrite à travers l'analyse topographique qui suit ;

Les pentes les plus fortes sont situées dans le massif de l'Edough, elles atteignent les 25%, un pourcentage qui illustre le caractère accidenté du domaine montagneux, marqué par les dénivellations entre le haut des reliefs et le lit des oueds existants. Cette classe de pente constitue 40% de la superficie totale de la wilaya.

En suivant la ligne de crête, longue et rectiligne d'orientation Sud-ouest/ Nord-est, du mont de l'Edough, l'altitude s'élève à plus de 600m à Koudiet El Rohna, atteint, par la suite, les 1008m de Kef Sbaa et s'abaisse à partir de ce point culminant pour s'achever par la presqu'île du cap de garde (PDAU, 2008). La deuxième classe des pentes concerne les bordures immédiates de la zone de plaine et celles des zones de montagnes accidentées.

La pente moyenne de cette classe varie de 3 à 14 %. Les terrains munis de cette pente représentent 15 % de la superficie totale de la wilaya, leur altitude est de 100 à 300 m.

Enfin, la troisième classe de pentes concerne la plaine de Annaba, la moyennes des pentes est très insignifiante, elle est inférieure à 3%. Les terrains concernés par cette classe de pente se distinguent par un relief subhorizontal avec une altitude inférieure à 30m. Ils représentent l'équivalent d'environ 40% de la superficie totale de la wilaya de Annaba, c'est les terrains de la plaine et ceux développés autour du lac Fetzara (PATW, 2014). Succinctement, trois entités à savoir, le massif de l'Edough, les reliefs piémontais et enfin la plaine de Annaba constituent la morphologie de la wilaya de Annaba, elles sont décrites comme suit ;

Le massif de l'Edough : Ce massif a fait l'objet de plusieurs études géologiques (Hilly 1968, Vila 1970, Gleizestal 1988, Marignac et Zimmerman 1983, Marignac 1985, Monie et al 1992, Hammor 1992, Aissa et al 1995, Hammor et Lancelot 1998, Laouar et al 2002, Oularbi et al 2009). Ce massif appartient, administrativement, dans sa quasi-totalité à la wilaya de Annaba (Beloulou, 2008).

Il se distingue dans le territoire Annabi par son imposante masse dont la localisation lui confère le caractère de presqu'île. En effet, le massif de l'Edough est isolé à l'Est, à l'Ouest et au Nord par la mer Méditerranée, tandis que le Sud est cerné par le lac Fetzara. L'Edough se manifeste également par son littoral sinueux engendrant un bon nombre de criques ou "Caps" allant de cap de garde à l'Est situé au Nord de Annaba au cap de Fer à l'Ouest orienté vers la wilaya de Skikda. Aussi, sur le plan topographique, ce dôme est témoin d'événements géologiques et tectoniques (PDAU, 2008). Effectivement, le massif de l'Edough est, à son tour, subdivisé, sur le plan topographique et morphologique, en plusieurs entités ou "sous-ensembles" (PATW, 2014).

Le premier sous ensemble est appelé l'Oriental, il est regroupé autour du point culminant de Kef S'baâ 1008 m. Ce sous ensemble est limité au Nord et à l'Est par la méditerranée, à l'Ouest par l'Oued El Aneb et au Sud par la plaine de Annaba et le lac Fetzara. Le second ensemble est l'ensemble central, il est regroupé autour du Dj.Chaïba qui culmine à 827 m. Et, enfin, le troisième sous ensemble, il est appelé l'Occidental, développé autour du Kef N'Sour, il s'étend du Nord-Ouest de la wilaya de Annaba à la limite de la wilaya de Skikda.

Ce dernier sous ensemble se caractérise par des altitudes relativement moyennes entre 550 m de Dj.N'Sour et 364 m de Kef-Sosta. Il se distingue, aussi, par le tracé sinueux de son littoral. Le Sud de cet ensemble se termine au contact de l'Oued El Kebir (TAD. Consult, 2011).

Les reliefs piémontais : Les reliefs piémontais du territoire Annabi constituent le deuxième ensemble. Ils sont formés, comme leur nom indique, de petits reliefs qui vont du piémont Sud de l'Edough au piémont Nord des monts de Guelma (la bordure Sud de la wilaya de Annaba).

Le piémont Sud de l'Edough est formé par une série de collines disséminées le long du contact plaine-montagne depuis le relief de Bouhamra de 152 m d'altitude qui rejoint la colline de Belelieta de 282 m pour former un croissant qui débouche directement dans la ville de Annaba. A l'Ouest, par ailleurs, c'est les collines qui séparent le lac Fetzara de la vallée de l'Oued El Kebir qui viennent se greffer avec des altitudes de 80 à 226 m (PATW, 2014). La particularité du piémont Sud de l'Edough réside en sa nature géologique qui lui confère un réseau hydrographique riche et bien dense.

Effectivement, sa nature géologique se distingue par une série d'alternances de roches cristallophylliennes (Gneiss, micaschistes, etc.) (Chafai et al, 2005). C'est une série tectonisée qui se caractérise par une fissuration le long des failles ce qui engendre un réseau hydrographique dense donnant naissance, ainsi, à des sources et des cours d'eau (Beloulou, 2008). C'est les oueds de Kouba, de Forcha et de Sidi Harb qui représentent les cours d'eau les plus développés du piémont. Ils drainent un territoire qui appartient, administrativement, à la commune de Annaba et une partie de la commune de Séraïdi. Par ailleurs, l'altitude des reliefs collinaires qui forment la bordure du **piémont Nord des Monts de Guelma** est aux alentours de 300m (TAD. Consult, 2011).

Effectivement, autour d'Ain Berda, à l'Est, les collines de Hadjar Nahal (de 203 m) sont développées sur la rive droite. Sur la rive gauche, c'est plutôt, les collines d'autour de Si Goulea qui sont développés avec une altitude allant de 310 à 412 m. Aussi, aux environs du lac Fetzara, à l'Ouest, c'est un paysage identique, de collines dont l'altitude est entre 200 m et 350 m, qui se répète. Cet ensemble collinaire s'achève au Sud pour donner lieu à un ensemble différent à caractère montagneux, c'est les Monts de Guelma (Fig3.3).

Annaba, le cas d'étude.



Fig3.3: L'ensemble collinaire ou Reliefs piémontais (Piémont nord des monts de Guelma), (tiré de la carte d'Etat major, 1/200 000e).

Enfin, **la plaine centre** ou la plaine de Annaba, se distingue, quant à elle, facilement à la lecture de la carte d'état-major de la wilaya de Annaba (Fig3.4). Sa tâche s'individualise dans le paysage et constitue le tiers de la wilaya de Annaba, c'est l'unité qui représente les altitudes les plus basses des reliefs de la wilaya (PATW, 2014). La plaine de Annaba est développée au Nord-est de l'Oued la Seybouse, les altitudes, à ce niveau, vont de 0 m à 5 m. La morphologie du terrain est, cependant, ornée de plages, de rivages, de cordons dunaires et de marécages. Les plus fortes altitudes de la plaine sont aperçues, à l'Est, le long de la RN.21, qui relie la wilaya de Annaba à celle de Guelma, elles vont de 12 m à 30 m. En suivant, cette ligne d'Est à l'Ouest, ces altitudes décroissent pour atteindre les 10 m à 15 m jusqu'aux environs du lac Fetzara, et s'accroissent encore une fois à l'Ouest dudit lac à 20 m, à 30 m jusqu'aux reliefs de Skikda (TAD. Consult, 2011).

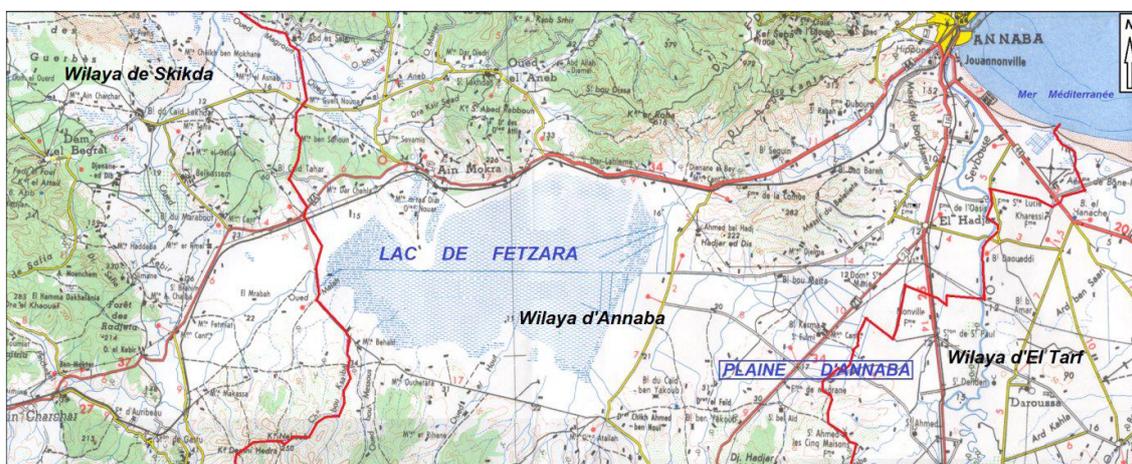


Fig3.4 : La plaine de Annaba, (tiré de la carte d'Etat major, 1/200 000e).

3.1.2. Etage bioclimatique et régime pluviométrique.

Les formations géographiques des sols sont influencées fortement par les conditions climatiques régionales (Oularbi et al, 2009). La région de Annaba est soumise à un climat méditerranéen. On y distingue deux saisons dont les durées ne sont pas similaires ; La saison d'été, chaude et sèche qui va de mois de Juin au mois d'Aout et la saison d'hiver, douce et humide, qui est relativement longue, en effet, elle s'étend du mois de Septembre au mois de Mai (PDAU, 2008). **Les précipitations** représentent l'élément climatique le plus important, en effet, elles conditionnent l'écoulement saisonnier, le régime des cours d'eau de même que celui des nappes, elles reflètent, ainsi, la circulation des eaux superficielles et souterraines (Sadoune, 2012).

Le territoire Annabi fait partie des territoires les plus arrosées du pays, la moyenne des précipitations est de 700 mm par an, la plus importante quantité de pluies tombe entre les mois d'Octobre et de Février avec une moyenne de 12 jours de pluie sur chaque mois (ABH, 2019) (Tab3.1). Le noyau de précipitations est situé, selon la répartition géographique de la pluviométrie de Annaba, sur la zone du mont de l'Edough avec 800 mm par an, tandis que, la pluviométrie dans les localités des plaines d'El Hadjar à Ain Berda et autour du Lac Fetzara se situe aux environs de 600 mm par an, cela est dû, essentiellement, à leurs situations géographiques, à l'arrière du mont de l'Edough, car finalement, la pluviométrie, dans la région de Annaba, est ramenée par les perturbations importantes du Nord-Ouest (PATW, 2014). Par ailleurs, "la reconstitution de la réserve du sol s'effectue, à partir du mois d'Octobre ou de Novembre, le sol atteint la saturation dès les mois de Novembre et de Décembre. Elle commence à s'épuiser à partir du mois de Mai pour se vider complètement en Juin" (Beloulou, 2008, 95p).

Ainsi, la période de saturation des sols favorise la genèse des inondations. Les écoulements de surface et les eaux d'infiltration représente respectivement 57 et 31% des pluies totales annuelles. En outre, l'apport moyen en eau de surface est irrégulièrement réparti dans la région, il s'élève à 135Mm (Abbaci, 2013).

Annaba, le cas d'étude.

Tab3.1: Dépouillement des pluviogrammes à Annaba de 2007/2008 à 2012/2013, stations de Pont Bouchet et des salines, Annaba (ABH Annaba, 2019).

		Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout
2007/2008	Annaba, les salines	31,2	117,7	92,1	142,2	17,6	5,4	148,9	16,8	24,3	0		
	Pont Bouchet	40,9	119,4	89,5	123,6	15,0	10,4	127	19	31,9	2,9	7,4	0
2008/2009	Annaba, les salines	79,8	54,8	38,3	134,5	211,2	105	73,4	108,2	99,6	0	0	2,1
	Pont Bouchet	69,9	44,6	49,2	91,2	228,8	89,6	75,4	120,5	79,5	0	1	21,4
2009/2010	Annaba, les salines	199,5	95,6	73,3	124,6	94,3	58	56	10,4	32,7	16,1	0	0,5
	Pont Bouchet	157,5	61	68,7	85,2	108,1	65,6	54,2	32,4	42,9	20,5	0	1,5
2010/2011	Annaba, les salines	19,9	154	95,3	41,2	57,6	122,9	89,9	61	51,9	2,9	15	0
	Pont Bouchet	29,4	118,6	173,5	50,1	52,3	107,3	99,9	69,6	62,2	6,3	6	1,2
2011/2012	Annaba, les salines	22,3	140	48,1	114,4	8,9	234,8	48,6	46,3		0	0	9,2
	Pont Bouchet	11,2	169,5	84,8	96,4	37,9	219,4	58,9	60,9	3,3	0,4	0,3	16,8
2012/2013	Annaba, les salines	9,5	65,9	36,7	106,2								
	Pont Bouchet	31,9	75,4	34,1	79,6	134,2	132,7	58,3	48,8	15,2	0	0	38,6

Tout comme les précipitations, les températures représentent un facteur climatique important, elles agissent sur la vie des végétaux de par leurs impacts sur l'évapotranspiration, de fait, le déficit, des écoulements annuels et saisonniers sont influencés (Djellouli et Djabailli, 1984 *in Alitatar, 2010*). Allant du mois de Décembre au mois de Mars, en saison hivernale, les températures vont de 2° dans les montagnes constantinoises et des Aurès-Nementchas à 8° au bord de la mer de Annaba, par ailleurs, du mois de Juin au mois de Septembre les températures croissent du bord de la mer jusqu'aux montagnes des Aurès-Nementchas, elles vont jusqu'à 40°.

Ce changement est dû à l'effet d'altitude sur les reliefs à l'intérieur du pays et l'influence maritime au Nord (PATW, 2014). Le mois d'Août reste le mois le plus chaud avec 31.9°, tandis que, le mois de Janvier enregistre les températures les plus basses avec 6.9° (Tab3.2). De fait, l'évapotranspiration maximale mensuelle est observée le mois d'Août, elle est de l'ordre de 150 mm, le minimum de l'évapotranspiration est de l'ordre de 16 à 24

Annaba, le cas d'étude.

mm, ce minimum est, par ailleurs enregistré au mois de Janvier en plein saison hivernale (DAPE, 2014).

Tab3.2 : Températures moyennes sur Annaba (ONM-Période : 1990 – 2005), (ABH, 2019).

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sept	Oct	Nov	Décbre	Annuel
Moy des T° Moy	11,5	11,8	13,2	15	18,1	21,7	24,4	25,4	23,6	20	15,7	12,5	17,8
Moy des T° Mini	6,9	6,9	8	9,9	12,8	16,4	18,8	19,9	18,2	14,7	10,8	8	12,7
Moy des T° Maxi	16	16,6	18,3	20,2	23,3	27	30	30,9	28,9	25,2	20,7	17	22,9

La température a, en outre, un effet important sur **l'humidité relative à l'air**. La région de Annaba appartient à l'étage subhumide inférieur sur ses plaines intérieures, et à l'étage subhumide supérieur sur ses plaines côtières, les monts de l'Edough se rattachent, cependant, à l'étage humide (ONM, 2005) (Tab3.3).

Tab3.3 : Moyennes mensuelles et moyenne annuelle de l'humidité relative de l'air à la station des Salines en % (1980/2010) (SADOUNE, 2012).

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Annuel
H %	72.3	74.5	76.5	77.15	78.43	74.28	75.48	74.60	74.97	72.92	70.07	71.39	74.47%

Les vents constituent, à leurs tours, un facteur climatique tout aussi important, ils impactent les régimes pluvieux et l'évapotranspiration de la région. A Annaba, on y distingue des vents dominants propres à chaque saison ; hivernale et sèche. Durant la saison humide qui va du mois de Novembre jusqu'au mois de Mars, les vents du secteur Sud-Ouest à Ouest soufflent dans la région de Annaba. Quant à la vitesse des vents, elle est relativement stable tout au long de l'année (3 m/s). La plus forte vitesse maximale

Annaba, le cas d'étude.

moyenne est, par ailleurs, enregistrée entre le mois de Janvier et le mois d'Avril avec (9 m/s) lors des perturbations d'origine atlantique, et sous les orages d'été entre Juillet et Aout (ANRH, 2019) (Tab3.4).

Tab3.4 : Vitesses du vent moy et du vent max à Annaba (ABH, 2019).

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	An
V moyenne (m/s)	3.5	3.2	3.2	3.2	3.0	3.3	3.3	3.5	3.2	2.9	3.1	3.4	3.2
V maximale (m/s)	9.7	9.6	9.8	9.5	9.2	9.6	10.1	10.5	9.8	8.9	8.9	9.1	9.6

3.1.3. Hydrographie et bassins versants.

Dans le massif de l'Edough, la direction principale des Oueds est le NE-SW. Par ailleurs, une dissymétrie existe, sur le plan hydrographique, entre le versant Nord et le versant Sud de l'Edough. La façade Sud draine la majorité des Oueds de l'Edough vers le lac Fetzara et la plaine de Annaba.

L'Oued El Kebir est considéré comme étant l'Oued principal de la façade Sud, il reçoit les eaux des Oueds de l'Oued El Aneb, l'Oued Maiser, l'Oued Boudjenane et l'Oued Prinkouche, pour les déverser à l'Ouest, en mer en dehors de la wilaya de Annaba. La façade Nord ne draine, cependant, qu'une petite partie du réseau hydrographique de l'Edough directement vers la mer Méditerranée. Ce réseau est composé essentiellement de grands ravins à forte pente. L'Oued le plus important est l'Oued Ouider qui débouche en mer à Ain Barbar (PATW, 2014).

Cependant, les oueds qui concernent la plaine de Annaba et le lac Fetzara suivent la direction N-S, ils prennent source de l'Edough au Nord et des Monts de Guelma au Sud, c'est des oueds de drainage, on y distingue deux types ; endoréiques, clos comme les Oueds d'El Hout, Boumessous et Bou Ksaiba et exoréique, comme l'Oued Seybouse qui déverse dans la Méditerranée (PDAU, 2008).

Annaba, le cas d'étude.

Cette zone de plaine se particularise par la présence des lacs et marécages et, également, la prédominance de sols hydro morphes. Lors des crues et des inondations, la plaine de Annaba est sujette aux débordements des Oueds (Affoun, 2006).

De la description hydrographique de la région de Annaba, il en sort que les parties du Nord du territoire, et celles de l'Ouest, sont des zones de stagnation des eaux et d'accumulation des sédiments en périodes de crues, notamment lors des pluies torrentielles (Fig3.5).



Fig3.5: Le réseau hydrographique drainant la ville de Annaba (Projet PNUD, 2008, in ALITATAR, 2010).

Les bassins versants surplombant la ville de Annaba.

L'analyse hydro morphologique de Annaba élaborée dans le plan Directeur d'aménagement et d'urbanisme (PDAU, 2008), détermine trois grands bassins versants ; le bassin versant Nord de l'Oued Seybouse, le bassin versant de l'oued Boudjemâa, et les bassins versants dominant la ville de Annaba.

Le bassin versant Nord de l'Oued Seybouse : Il englobe les parties Sud et Sud-Ouest de la région de Annaba, il est limité au Sud par les hautes plaines de Ain Berda. C'est la confluence des Oueds Cherf et Bouhamadanne qui donne naissance à la Seybouse. C'est un bassin versant qui draine une superficie importante qui est de l'ordre de 6471 Km². Cependant, l'Oued Seybouse connaît une baisse des débits et de sérieux problèmes de pollution (Reggam, Bouchelaghem et Houhamdi, 2015). Ce sont, en effet, des conséquences directes des travaux de Barrage du Hammam Debagh, entamés par les responsables du secteur hydraulique au début des années quatre-vingt (Bechiri, 2011).

Le bassin versant de l'Oued Boudjemâa: Quant à ce bassin, il est situé à la terminaison Est du Massif de l'Edough. Il est limité par les lignes de crêtes de Bouaziz, Séraïdi, Col des chacals, au Nord et au Nord-Ouest de Bellileita, au Sud et au Sud-Ouest et de Bouhamra et des Caroubiers à l'Est (Tatar Braham, 2010). Le collecteur principal dudit bassin versant, l'Oued Boudjemâa reçoit les eaux de Kef N'Sour et débouche dans la mer.

Quant aux bassins versants qui drainent la ville de Annaba, ils s'organisent en deux ensembles, **le premier ensemble** des bassins versants se situe au Nord-est (Fig3.6). On en cite :

a) Le bassin versant de chaabet Mérsébu : L'écoulement temporaire de cette chaabet draine un bassin de 125ha. Ce dernier est caractérisé par un sol à texture fine en aval et un sol grossier en amont.

b) Le bassin versant de Kef- Lemette : La chaabet de Kef- Lemette draine un bassin versant de l'ordre de 62.5 ha. Elle débouche sur la mer à l'extrémité Nord de la plage Rizzi Amor.

c) Le bassin versant de l'Oued Kouba : Ce bassin, quant à lui, couvre une superficie d'environ 614 ha, il est caractérisé par un sol à texture grossière, perméable.

d) Le bassin versant de l'Oued Zaafrania: C'est un bassin versant qui couvre 78 ha.

Annaba, le cas d'étude.

Le second ensemble des bassins versants surplombent la ville de Annaba, il se situe au Sud-ouest ;

e) Le bassin versant de l'Oued Forcha: Ce bassin couvrent une totalité de 728 ha. Les versants Est et Nord-est de ce bassin versant sont caractérisés par des pentes relativement faibles par rapport au reste du bassin, C'est ce qui a permis une extension de la ville, une extension matérialisée le lotissement d'Oued Forcha.

f) Le bassin versant de l'Oued Sidi Harb : Ce bassin versant est essentiellement marqué par ses pentes fortes, il couvre une superficie de 790 ha.

g) Le bassin versant de l'Oued Bouhdid: C'est un bassin versant qui couvre une superficie de 2182 ha, son réseau hydrographique est dense et ramifié (PDAU, 2008).

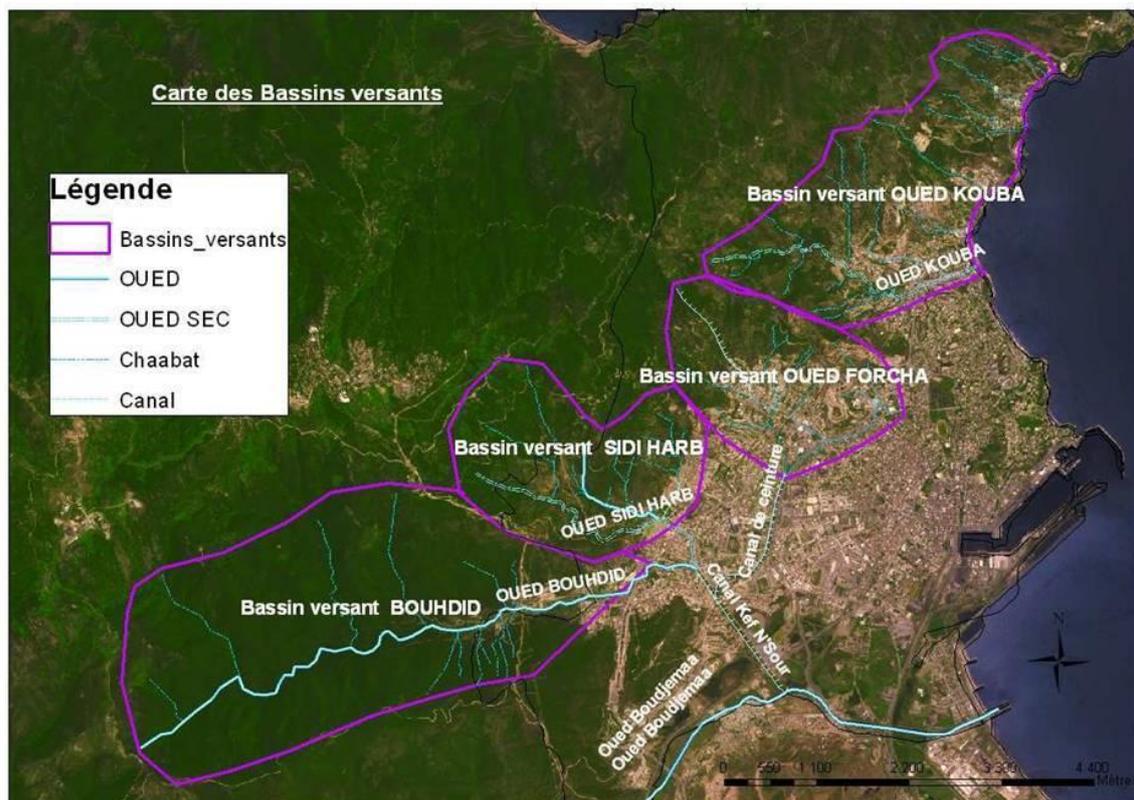


Fig3.6: Les bassins versants qui drainent la ville de Annaba (Projet PNUD, 2008, *in* ALITATAR, 2010).

Par ailleurs, concernant le couvert végétal de la zone de l'étude, "l'interaction des différents facteurs climatiques, géologiques et orographiques caractérisant Annaba et sa région, fait que le versant Sud de l'Edough se distingue par un couvert végétal forestier (forêts, maquis, reboisements, broussailles)" (Beloulou, 2008, 60p).

Autrefois, ces formations étaient très denses dans les vallées des oueds. A présent, la couverture végétale se trouve en grande partie dégradée au point que la roche mère est mise à nue. L'urbanisation, les incendies, le surpâturage et le défrichage en sont les principales causes (Toubal et al, 2014, Tatar Braham, 2010).

Au niveau des Plaines Ouest et Nord ; les bassins versants de l'Oued Kouba, de Sidi Harb et de l'Oued Forcha, la couverture végétale se résume aux différents « espaces verts » définis par les programmes d'urbanisme et à la végétation développée dans certains secteurs du lit des cours d'eau (Belkhiri, 2019). Cette dernière, bien alimentée par les eaux d'égout, constitue un frein à l'écoulement et peut avoir, par conséquent, un effet local de rehaussement considérable de la ligne d'eau lors des crues (Beloulou, 2008).

3.2. Le contexte urbain.

"L'urbanisation en Algérie est un phénomène fort ancien : Les périodes romaines puis arabe en particulier, furent citadines. Mais, c'est en même temps un phénomène très récent par son ampleur. Durant les quarante dernières années, il a pris cette allure d'explosion urbaine qui a bousculé les paysages, les mentalités et la société elle-même." (Cote, 1996, p 36). Ce dynamisme urbain est dû essentiellement à l'explosion démographique et aux choix stratégiques en termes de développement économique et industriel. Par ailleurs, la relation entre la croissance urbaine et l'environnement a, dans la majorité des cas, été perturbée ce qui a engendré d'importants impacts négatifs, et parfois irréversibles sur l'environnement naturel, notamment sur les hydrosystèmes et sur la durabilité de leurs fonctionnements.

Effectivement, "la crise que connaît l'Algérie, à l'instar des pays du continent Africain est due, dans une large mesure, à l'accroissement de la pression démographique sur les ressources naturelles limitées dans un contexte de faible niveau technologique...L'une des dimensions de cette crise de développement est la dégradation de l'environnement." (Stein,2004, p 54). Selon l'office National des Statistique (ONS, 2018), l'espace urbain abrite, sept Algériens sur dix. De surcroît, et comme indiqué dans la partie introductive de la thèse, la dynamique urbaine Algérienne ne se fait pas de manière homogène sur tout le territoire. La structure urbaine du pays se distingue par une forte polarisation sur le Nord et plus particulièrement sur la bande côtière.

Les agglomérations de la frange Nord se distinguent des autres agglomérations par un rythme d'urbanisation accéléré. Annaba, Alger, Oran et Constantine regroupent le quart de la population totale (Sefouhi, 2013). Annaba, qui est une agglomération portuaire à vocation industrielle, est le deuxième pôle industriel du pays après celui d'Alger. En outre, Annaba se distingue par sa zone portuaire et par sa zone aéroportuaire, qui favorisent son ouverture vers l'extérieur, à l'échelle national et/ou à l'échelle international, et donc ses échanges commerciaux et lui confère également une situation géographique stratégique qui rayonne sur les wilayas voisines d'EI-Taraf, Oum el Bouaghi, Tébessa, Khenchela Guelma, et Souk Ahras.

Le territoire Annabi connaît, ainsi, une dynamique territoriale rapide alimentée essentiellement par la puissance de son industrie sidérurgique et les différentes

infrastructures qui en découlent. Depuis l'indépendance, Annaba a connu une expansion urbaine des plus importantes du pays (PDAU, 2008).

3.2.1. Dynamique urbaine à Annaba, perspective historique (la périurbanisation).

Dans l'histoire de la croissance de la population de Annaba, c'est à partir de l'année de 1950 que la dynamique démographique s'est accélérée avec un essor sans précédent. Une dynamique favorisée par les politiques mises en œuvre à cette période qui favorisent la littoralisation de l'urbanisation et la concentration de la population dans le Nord du pays (Kateb, 2003). Effectivement, le nombre des habitants est passé de 86000 en 1936 à 145000 en 1958 (RGPH, 2008). Cet accroissement a marqué l'espace urbain, effectivement, des programmes de logements ont été lancés pour la prise en charge de la nouvelle population, le nombre de ces logements était à l'ordre de 22000 en 1958, et augmente à 46000 en 1975 (PDAU, 2008). Cette croissance a orienté, de fait, la dynamique urbaine du centre de Bône vers d'autres territoires périphériques.

C'est le plan de Constantine de 1958 qui était élaboré pour cadrer la dynamique urbaine et prendre en charge les besoins grandissants de la population. Le plan de Constantine a vêtu Bône d'un nouveau caractère industriel, une zone d'urbanisation prioritaire (ZUP) est prévue dans ce plan (l'actuelle ZHUN d'El Bouni), une zone considérée comme une ville ouvrière pour l'usine d'El Hadjar qui était également prévue dans le plan de Constantine (Fig3.7). Des modifications ont été, également, prescrites pour le centre de Bône, en injectant des promotions immobilières. Cependant, le cachet de ville Européenne a été maintenu, en effet, l'ossature urbaine de Bône obéissait toujours aux normes de ville moderne européenne, on y distinguait aisément les radiales des rocares (Mayer,2010).

A l'indépendance, la politique d'urbanisation suivra le principe du plan de Constantine qui avait pour principe d'industrialiser la ville de Annaba par le renforcement de l'axe (RN16) qui relie les deux pôles, celui de Annaba et celui d'El Hadjar par l'injection de ZHUN. Cependant, la différence s'est effectuée au niveau de l'intégration des ZHUN.

Effectivement, le mode d'intégration de ces ZHUN n'a pas suivi une logique axiale mais plutôt une logique de zoning, un éclatement urbain s'en est suivi (PDAU, 2008). La dynamique urbaine s'oriente, alors, vers l'Ouest malgré un réseau hydrographique

Annaba, le cas d'étude.

contraignant. Les ZHUN créés à ce niveau connaissent jusqu'à ce jour des problèmes d'inondations et d'assainissement jusqu'à ce jour (DHW, 2019).

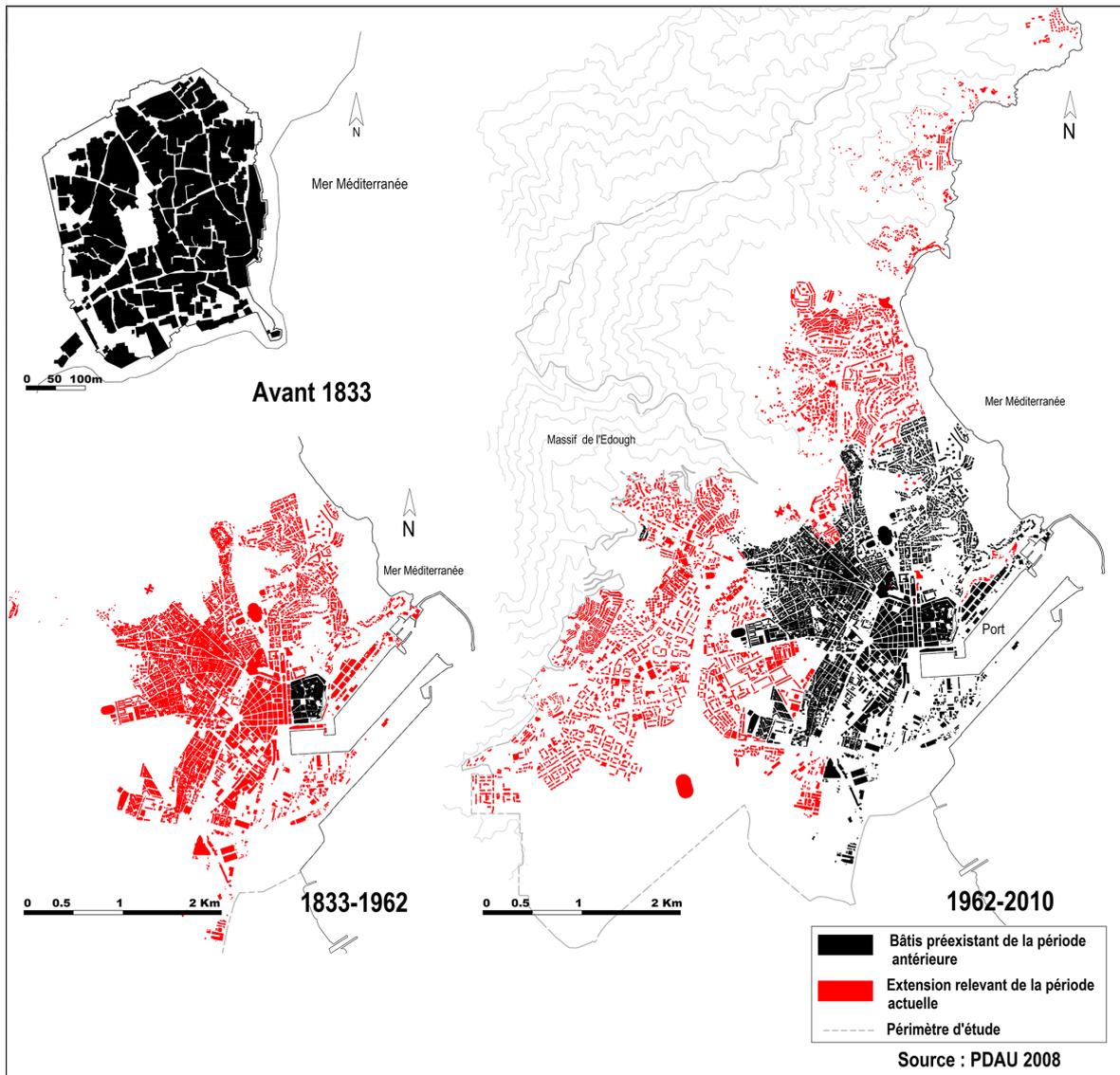


Fig3.7. La dynamique urbaine de la ville de Annaba, (Laouar et al, 2019).

Le rythme de la dynamique urbaine a continué, dans les années de 1970 tout en ayant comme principal objectif de répondre aux besoins grandissants de la population, et de régulariser l'habitat précaire qui continuait à se greffer en périphérie du centre de Annaba du fait de l'attractivité qu'exerçait son pôle industriel (Kerdoud, 2005). Effectivement, en 1975, un PUD a été lancé pour planifier l'extension de la ville de Annaba et l'inscription

des nouvelles ZHUN, l'extension de la ville a été prévue vers la plaine Ouest avec un élargissement de la RN44 et la création de la rocade Ouest (PDAU, 2008).

Ce choix d'orientation Ouest de l'extension de la ville de Annaba, s'est effectué, encore, sans tenir en considération la densité du réseau hydrographique existant.

Vers les années 1980, la dynamique urbaine s'oriente vers l'axe Annaba- Berrahal pour transférer l'habitat précaire vers des sites urbains (TAD Consult, 2011). Cependant, l'urgence de la délocalisation de l'habitat vers ces sites a engendré une certaine anarchie dans l'implantation et l'extension des constructions qui échappent, jusqu'à une période récente, au contrôle techniques et habilités, notamment ceux de l'approvisionnement en eau potable (APW, 2019). La crise économique de 1986 et la crise sécuritaire des années de 1990 ont engendré, sur le plan urbain, la politique de la promotion immobilière, des sites attractifs ont été sélectionnés pour recevoir ces programmes. La ville de Annaba s'est retrouvée, ainsi, fragmentée entre l'habitat social peu soucieux de l'esthétique urbain de la ville et des logements promotionnels qui participent, quant à eux, au rehaussement de l'image de la ville, c'est, ainsi, qu'une ségrégation sociale s'est créée (PDAU, 2008, PATW, 2014).

La stratégie urbaine s'oriente, par la suite, à la prise en charge des différentes couches sociales, des plates formes sont, ainsi, créées, on en cite en exemple, les formules de location-vente, ou celle de LSP, logement social participatif. L'espace intercommunal Annabi continu, alors, sa dynamique urbaine en confrontant toutes ces conjonctures, de natures bien différentes, menant à une division de l'espace urbain, entre des territoires attractifs, et des territoires répulsifs, sur le plan de l'offre des commodités urbaines (URBAN, 2019). Le PAW de 1995 a présenté dans son étude une logique de zonage basée sur un principe d'articulation autour de l'espace dynamique central constitué du centre de Annaba, d'El Bouni, de Sidi Amar et d'El Hadjar. Ceci dit, les principes de ce PAW n'ont pas été concrétisés. En effet, le nouveau système urbain qui s'est installé a présenté, finalement, plusieurs pôles urbains hiérarchiques. Ce qui a favorisé la fragmentation spatiale urbaine de la région et l'artificialisation de nombreux sites naturels. L'attractivité qu'exerçait l'espace central sur l'espace régional a également été minimisée.

Le pôle urbain de première importance est composé de la conurbation de la ville de Annaba, d' El Bouni, et de Sidi Salem avec une taille de 450000 habitants.

Deux pôles urbains d'une importance secondaires se sont également créés ; Le premier d'une taille de 100000 habitants, composé d'El Hadjar et de Sid Amar, et le deuxième avec une taille d'habitants presque identique (110000 habitants).

Cependant, il s'est organisé autour de noyaux urbains déjà existants, Hadjar Eddis, El Gantra, Berka zerga et Oued Zied. Par ailleurs, d'autres agglomérations, de tailles moins importantes (vers les 10000 habitants), étaient considérées comme des agglomérations d'appui (PDAU, 2008).

Dans le cadre de l'opération de régularisation de la situation de l'habitat illicite qui continuaient à se greffer en périphérie, notamment du côté Ouest de la ville de Annaba (Sidi Harb), des réformes ont vu le jour, il s'agit des instruments de l'urbanisme PDAU et POS.

3.2.2. Urbanisation de la zone humide du Lac Fetzara.

La rareté du foncier urbanisable a constitué un problème d'extension majeur pour la dynamique urbaine de Annaba. La dynamique urbaine s'opérait alors par densification et par extension (PATW, 2014). L'extension horizontale s'est réalisée en dépit des terrains de plaines, ce qui a mené à une occupation déséquilibrée du territoire et une tendance à la périurbanisation (DSA, 2019).

Cependant, les équipements supérieurs tels que les grandes entreprises industrielles, sont concentrés au niveau central, cette dynamique urbaine mono centralisée a créé un groupe urbain aggloméré qui monopolise la wilaya de Annaba, le GUA, qui s'étend à Annaba, El Bouni, Sidi Amar et El Hadjar. En effet, c'est un groupe urbain qui concentre l'essentiel des activités économique et de services, comme les équipements de santé, de l'éducation, de sport, et même de tourisme, de même 65 % de la population totale de la wilaya réside au niveau de ce pôle (ONS, 2019).

Cependant, les autres communes comme celles de Berrahal ou de Ain Berda se retrouvent marginalisées sur le plan urbanistique, c'est dans ce sens, qu'une volonté de redéploiement de l'urbanisation a été concrétisée par le projet de ville nouvelle à Draa Errich avec un programme de logements et des équipements structurants comme le CHU, l'extension du pôle universitaire, un stade et une salle omnisports (Fig3.8, 3.9).

Annaba, le cas d'étude.

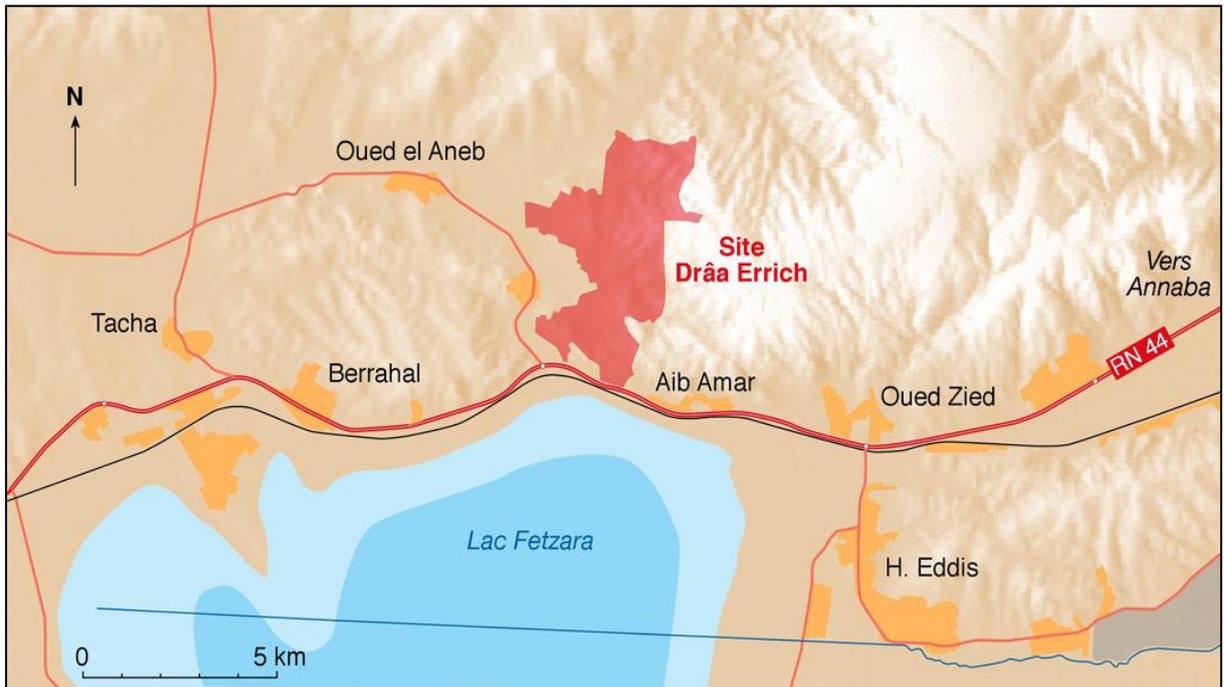


Fig.3.8: Situation géographique du projet de nouvelle ville Draa Errich (wilaya d'Annaba), (MELLOUK, Aroua, 2015).

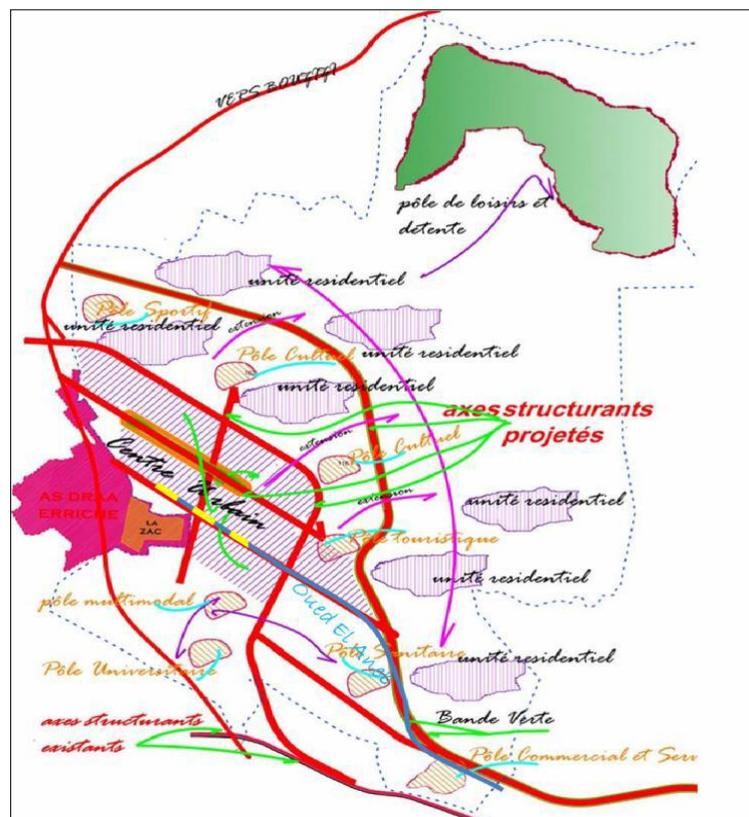


Fig.3.9: Schéma de principe de l'aménagement de la nouvelle ville de Draa Errich, (URBAN 2013, in MELLOUK, 2015).

Annaba, le cas d'étude.

Le projet d'aménagement urbain de Draa Errich répond, certes, à quelques exigences d'ordre urbain, mais au dépend de la durabilité du fonctionnement de l'hydrosystème *in situ*. En effet, dans **une étude antérieure** (Mellouk et Aroua, 2015), les résultats d'une analyse multicritère effectuée pour mesurer l'impact du projet urbain de Draa Errich sur la durabilité de l'hydrosystème, il a été conclu que ledit projet aurait des impacts non négligeables sur l'équilibre de l'hydrosystème local. "L'analyse multicritère utilisée dans le cadre de cette recherche a porté sur l'interaction entre le projet d'aménagement urbain et l'hydrosystème local afin de pouvoir se prononcer sur l'acceptabilité du projet ou la nécessité de le modifier. Deux listes d'indicateurs sont dressées puis organisées en tableau de type matriciel permettant leur croisement" (Mellouk, Aroua, p137) (Tab3.5, 3.6).

Tab3.5: Composantes et indicateurs descriptifs de l'hydrosystème du site de Draa Errich (W. Annaba), (Mellouk,2014).

Composantes superficielles				Composante souterraine	
<i>L'Oued</i>		<i>Le Lac</i>		<i>La Nappe</i>	
I-O-1	I-O-2	I-L-1	I-L-2	I-N-1	I-N-2
Qualité de l'eau	Hydrodynamique	Qualité de l'eau	Entretien de la biodiversité	Qualité de l'eau	Processus de recharge

Tab3.6: Déclinaisons et indicateurs descriptifs du projet d'aménagement urbain de la nouvelle ville de Draa Errich (W. de Annaba),(Mellouk,2014).

Projet d'aménagement urbain de la nouvelle ville de Draa Errich (W. de Annaba).					
<i>Aménagements urbains</i>		<i>Activités</i>		<i>Système viaires</i>	
I-U-1	I-U-2	I-A-1	I-A-2	I-V-1	I-V-2
Trame verte	Trame bleue	Logements	Equipements	Voiries	AEP/Assainissement

L'AMC s'est appuyée, par ailleurs, "sur un barème de notation préétabli qui conserve, certes, une part inévitable de subjectivité susceptible d'être discutée et levée par jugement d'experts dans le cadre d'une étude exhaustive" (Mellouk,Aroua, 2015, p139).

A l'issue de cette analyse, il s'est avéré que le système viaire et la voirie, en particulier, semblent être les déclinaisons les plus perturbatrices de l'équilibre de l'hydrosystème local et les plus polluantes (Tab3.7). Tandis que la nappe phréatique est la composante la plus menacée de l'hydrosystème local.

Annaba, le cas d'étude.

"Le site d'implantation de la nouvelle ville de Draa Errich (W. de Annaba) semble fortement être concerné par quatre risques : l'imperméabilisation des sols, l'accélération des écoulements, la construction obstacles à l'écoulement et la pollution des milieux récepteurs. Les effets de l'urbanisation sur l'hydrosystème seraient de fait nombreux." (Mellouk, Aroua, 2015, p136).

Les résultats de la recherche ont permis, donc, de se prononcer sur la nécessité de modifier le projet d'aménagement urbain de façon à minimiser ses impacts sur l'ensemble des composantes de l'hydrosystème local (Mellouk, 2014).

Tab3.7 : Evaluation de l'impact du projet d'aménagement urbain de la nouvelle ville de Draa Errich (w de Annaba) sur l'hydrosystème local, (Mellouk, 2014).

			Déclinaisons du Projet d'aménagement urbain						Note de l'indicateur descriptif/12	Note de la composante/24
			Aménagements urbains		Activités		Système viaires			
			AU1	AU2	AC1	AC2	SV1	SV2		
Composantes de l'Hydrosystème	Oued	IO1	0	0	1	2	1	1	5	10
		IO2	0	0	1	1	2	1	5	
	Lac	IL1	0	0	1	1	1	1	4	8
		IL2	0	0	0	1	2	1	4	
	Nappe	IN1	0	0	2	2	2	2	8	16
		IN2	0	0	2	2	2	2	8	
Note de l'indicateur descriptif/12			0	0	7	9	10	8		
Note de la déclinaison /24			0		16		18			

Le long processus d'urbanisation qu'a connu la ville de Annaba, depuis la création de son pôle industriel, a donné lieu, sur le plan organisationnel et le plan morphologique, à deux entités ; une partie Est qui fait face à la mer et une partie Ouest qui se situe sur la plaine, séparées par une brèche ornée d'espaces publics aménagés essentiellement en jardins et espaces verts (PDAU, 2008). Un choix qui ne semble pas judicieux à l'égard de la préservation du fonctionnement de l'hydrosystème local.

En effet, l'urbanisation à Annaba a favorisé la plaine, zone de convergence du réseau hydrographique en provenance de l'Edough. L'imperméabilisation de cette zone favorise les inondations en diminuant considérablement la quantité des eaux infiltrées et en augmentant le taux de ruissellement des eaux de surface.

3.2.3. Etat des lieux et prévisions du PDAU 2020.

Annaba, une agglomération qui atteindra une taille de population totale de 742 000 habitants, à l'horizon de 2030, garde, aujourd'hui sa position de quatrième grande ville (ONS, 2019). Sachant, par ailleurs, que "l'instigateur principal à la croissance urbaine, à Annaba, est la croissance démographique" (Hacini et al, 2009, 28p). C'est, ainsi, une ville qui connaît une dynamique urbaine continue sous l'effet de la croissance démographique et de l'attractivité économique créée essentiellement par son pôle industriel. En plus d'être une région à vocation industrielle et agricole, qui fait d'elle une grande utilisatrice d'eau, Annaba se caractérise par zone portuaire et par sa zone aéroportuaire, qui favorisent son ouverture vers l'extérieur, à l'échelle nationale, comme à l'échelle internationale, et multiplient donc ses échanges commerciaux. la zone portuaire et la zone aéroportuaire de Annaba lui confèrent également une situation géographique stratégiques qui rayonne sur les wilayas voisines d'El Taref, Guelma, Souk Ahras, Oum El Bouaghi, Tébessa et Khenchela.

La dynamique urbaine à Annaba s'exprime d'abord par un étalement urbain et une multiplicité de nouveaux centres urbains posant, de fait, la problématique de son rapport à son environnement naturel qui est devenu très complexe, difficile à gérer et encore plus à maîtriser (PATW, 2014).

Se référant à l'histoire, c'est au cours de la période post coloniale qu'Annaba s'est engagée dans sa croissance urbaine. En effet, le complexe industriel installé a généré un complexe résidentiel pour héberger les travailleurs. Annaba est finalement une unité qui s'est structurée à partir de fonctions industrielles et urbaines (Fenet-Rieutord, 2013).

L'essor démographique remarquable, qu'a connu Annaba, est dû aux effets du développement économique de la ville suite à l'implantation des unités industrielles, lancée à la fin 1960. On cite en exemple, le complexe sidérurgique d'El-Hadjar, aujourd'hui Mittal Steel Annaba (ex-ISPAT) et celui d'engrais phosphates et azotes d'Asmidal, autour desquels gravitent 174 entreprises. En effet, la base industrielle de Annaba, doté par l'Etat Algérien, a généré cet accroissement de la population (Benlakhlef, 2009).

Cela n'a pas été sans conséquences puisque la ville déborde sur des zones périphériques comme : El Bouni, Sidi Amar et El Hadjar engendrant une multiplicité de nouveaux centres et posant de fait la problématique de son rapport à l'environnement naturel qui est devenu difficile à gérer.

L'interaction de la croissance économique avec la dynamique urbaine a donné les premiers fragments d'extension de la ville (Spiga, 2012). Dans les faits, un port minier, dont le programme d'aménagement fut déclaré d'utilité publique en 1885, a été réalisé pour but d'exporter les produits industriels et agricoles vers la France (Tomas, 1970). L'installation du port a suscité, par la suite, la mise en place de banques et sociétés métallurgiques Européennes, qui à leurs tours, investirent dans la création d'un chemin de fer local et interrégional pour relier le port aux mines, et à la zone industrielle. Cette ligne ferroviaire a été créée dans un seul objectif d'exporter les produits industriels et agricoles sans se soucier de son impact sur le fonctionnement de l'hydrosystème local. En effet, le chemin de fer traverse les plaines agricoles de Annaba ce qui a engendré une destruction et une coupure du parcellaire par l'emprise agricole, en plus des plates formes ferroviaires créées en perpendiculaire au cheminement naturel des eaux de surface, représentant ainsi un véritable obstacle à leurs écoulements.

L'aspect commercial du port a attiré, par la suite, d'autres investisseurs, de nature bien différente, c'est l'union agricole de l'Est Algérien, elle instaure, à Annaba, une économie de marché où l'offre d'emploi se diversifie (Tomas, 1977). Cette coopérative a permis, donc, que les fonctions urbaines priment aux fonctions économiques, de nouveaux symboles urbains voient, alors, le jour comme le théâtre, palais de justice...De nouveaux symboles qui ont participé à créer l'image de Annaba d'aujourd'hui, une image urbaine que reflète les villes maghrébines coloniales. En effet, Annaba ville s'identifie par son style très variée passant de la médina historique, aux bâtiments modernes, aux maisons contemporaines et même à l'informel, qui constitue la partie récente de l'extension urbaine (Laouar et al, 2019).

Cependant, Annaba s'est retrouvée entre deux dualités, des secteurs installés à l'Est surplombant la mer, de la classe bourgeoise et une extension Ouest réalisée pour abriter la classe ouvrière, c'est les faubourgs ouvriers constitués de constructions basses, maisons et immeubles. En outre, des extensions précaires se sont greffées sur les noyaux ruraux déjà existants. " Les acteurs de la ville de Annaba, qu'ils soient gestionnaires, professionnels ou sociétés, s'accordent à considérer sa morphologie comme éclatée et hétérogène car composée d'éléments très hétéroclites formant une mosaïque ou un puzzle" (Laouar et al, 2019, 63p).

C'est une ville fragmentée, caractérisée par une mono-centralité, chapotée par le noyau colonial et les premières extensions de la dynamique urbaine, tandis que le centre historique, marqué par son caractère labyrinthique, se retrouve aujourd'hui désintégré du noyau de commandement (Mazouz et al, 2019).

La fragmentation urbaine de Annaba favorise l'imperméabilisation de l'environnement naturel, ce facteur perturbe d'avantage le fonctionnement naturel de l'hydrosystème en limitant la recharge des eaux souterraines et l'augmentation de la vitesse et du volume du taux de ruissellement des eaux de surface.

Quant à l'expansion urbaine du territoire Annabi, elle progresse par sauts, et non pas de façon continue du centre à la périphérie, c'est autour des pôles secondaires que les nouveaux noyaux urbains tendent à se structurer (Benlakhlef, 2009). C'est finalement une forme de dynamique urbaine héritée d'une politique de zoning que l'Algérie a adopté jusqu'au début des années 1990, c'est les plans quinquennaux des années de 1980 qui ont notamment mis à niveau la structure du territoire et son urbanisation (Spiga, 2012). En effet, la forme urbaine s'identifie et s'apparente à celles des villes industrielles, et ce, à travers la création du campus universitaire, la création des ZHUN, d'El Bouni, de Sidi Amar, à caractères de cités dortoirs qui font face au tissu urbain, ainsi que la création plus tard de quelques fragments dans des sites éloignés, comme Hdjar- Diss, Draa Errich.

La RN 21 et la RN 44 sont les principaux axes porteurs de l'urbanisation à Annaba, la RN 44 est l'un des axes les plus importants de la wilaya, avec ses 50.7 Km, il relie l'Est de l'Algérie à son Ouest, tout en passant par le Chef-lieu de Annaba et traversant les communes de Berrahal, Oued El Aneb et El Bouni. En outre, la RN 21 est à son tour un axe structurant de l'espace régional. En effet, la pénétrante Nord-Sud, traverse le territoire de la wilaya en lui permettant la liaison avec la wilaya de Guelma au Sud tout en passant par les communes d'El Hadjar et de Ain Berda. Sur ses 27.68 Km, cet axe bidirectionnel, de sinuosité moyenne, dessert le pôle industriel d'El Hadjar et fait intersection avec d'autres axes aussi importants ; La RN 84, la RN 16, le CW 106, et le CW120.

Le GUA, par ailleurs, domine le réseau urbain à Annaba de fait qu'il concentre l'essentiel des activités sociales et économiques (TAD Consult, 2011) (Fig3.10).

Annaba, le cas d'étude.

Aujourd'hui, c'est finalement une configuration spatiale de type macrocéphale. Le reste du territoire est occupé par quelques villes de petites tailles comme Berrahel, Aïn Berda, Séraïdi, Chetaïbi, Treat.

Suite au problème de congestionnement généré, des opérations de régularisation et de rééquilibrage du territoire ont suivi, et ont donné lieu à l'aménagement du grand pôle urbain à Draa Errich. Un pôle qui se présente comme une alternative à la réduction des effets de la polarité et la réduction de l'occupation de la plaine.

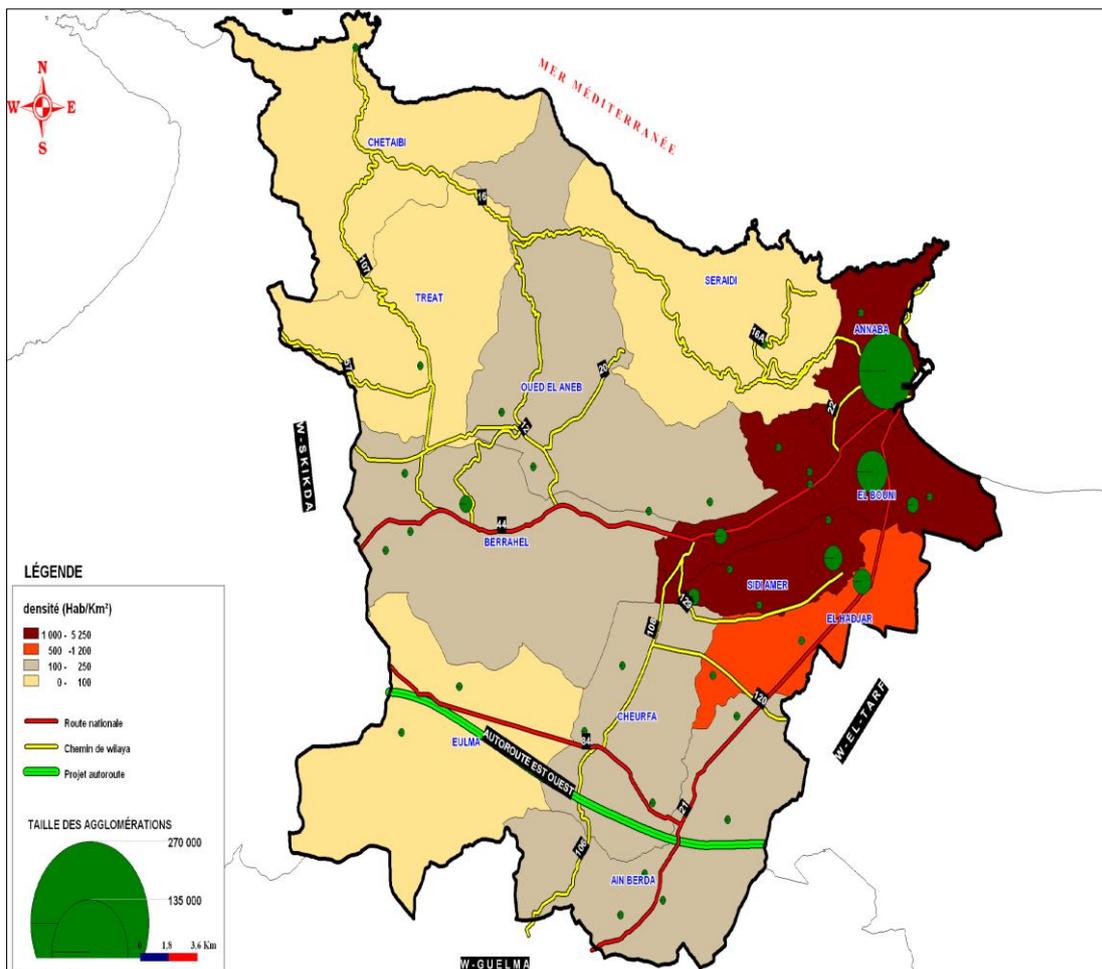


Fig3.10: Taille des agglomérations à Annaba, (PATW, 2014).

In fine, le système urbain de Annaba s'organise en trois entités principales ; Annaba, la ville centre, la première extension ayant comme foyer la RN 21, et la RN 44. Elle est étalée sur une dizaine de Km en direction Sud/ Sud-Ouest, on y retrouve ; Le complexe sidérurgique, les zones industrielles, l'université, et les petites agglomérations limitrophes.

Une deuxième extension s'adresse autour du pôle urbain de Draa Errich. On y distingue alors une extension intercommunale et une autre à l'échelle de la wilaya, C'est deux extensions accueillent la croissance urbaine de la ville de Annaba (Spiga, 2012). Cependant, la situation urbaine actuelle de Annaba présente une tendance d'extension urbaine sur les terres agricoles et sur les zones inondables de la plaine de Annaba avec une macrocéphalie de tâche urbaine (PATW, 2014).

Prévisions du PDAU.

En référence au PDAU 2008, l'horizon du plan d'aménagement intercommunal présenté dans ce document est étalé sur 22 années, et l'élaboration du nouveau PDAU n'a pas eu encore lieu (URBAN, 2020).

Le PDAU prévoit que l'agglomération Annabie atteigne le million d'habitants à l'horizon de 2025. Il accorde à Annaba le statut de métropole régionale à l'échelle Méditerranéenne, la démarche stratégique, présentée dans le document du PDAU, se base sur cette perspective, et a pour but de maîtriser et d'assurer une croissance graduelle et évolutive avec une cohérence et une durabilité territoriale pour éviter toutes formes de congestion ou de marginalisation.

Classiquement, et dans la littérature, l'armature de l'agglomération de Annaba est composée de trois formations hiérarchiques ; la première formation englobe la ville centre de Annaba, un espace urbain compact et assez structuré, la deuxième formation, par ailleurs, est représentée par un conglomérat de quatre localités : El Bouni, Sidi Amar, El Hadjar et enfin Hadjar Eddis, la position de ce complexe par rapport à la ville centre est définie est confuse entre complémentarité et concurrence.

Enfin, la troisième formation englobe les localités de Kherraza, d'Oued Ennil et de Chabbia, ces localités sont relativement moins structurées, leur développement est fragilisé par leur positionnement par rapport aux grandes artères de communication. Cependant, le PDAU présente une autre description de la structuration urbaine sur laquelle il se base pour analyser le contexte urbain et propose des perspectives d'aménagement urbain.

La présentation de la structure urbaine exposée par le PDAU se base sur la mise en équation des ensembles urbaines, "ces ensembles se définissent comme étant toute formation urbaine ou urbanisation qui n'est pas reconnue comme ville, les ZHUN, les lotissements ou leurs juxtapositions sont des ensembles" (PDAU, 2008).

Les ensembles urbains, à Annaba, se présentent comme suit :

- L'ensemble de la ville centre de Annaba : Son centre historique concentre l'essentiel des équipements structurants. Ce secteur connaît des problèmes de congestionnement et la dégradation de l'habitat au niveau des quartiers historiques. Le PDAU préconise, de fait, des opérations de renouvellement urbain.
- L'ensemble d'El Bouni: il se constitue en trois entités; Bouzaâroura, Boukhadra et El Bouni centre. Par son positionnement par rapport aux radiales et aux rocade (CW22, CVO), cette agglomération a gagné, d'après l'analyse du PDAU, en termes de centralité et d'urbanité malgré la morphologie physique contraignante de son site.
- L'ensemble d'el Hadjar- Sidi Amar : C'est un tissu industriel constitué par l'usine d'El Hadjar et la zone industriel de Meboudja qui s'y positionne. Cependant, la dynamique des relations entre les infrastructures techniques, le port et l'aéroport n'est pas favorisé, ce qui hypothèque le développement économique.
- L'ensemble Hadjar Eddis-El Gantra: Cet ensemble est constitué de trois localités, Berka Zerga, Hadjar Eddis et El Gantra, c'est un secteur qui présente de réelles potentialités de développement. Il se trouve à proximité du passage du chemin de fer, la traversée du CW129 et la RN 44 Ouest. Cependant, ce secteur se trouve en manque en matière d'équipements et d'activités.
- L'ensemble Port- Aéroport : Cet ensemble se particularise par l'existence d'importantes infrastructures de transport et d'un tissu industriel important. Ceci dit, le tissu urbain existant dépend de la ville de Annaba en matière d'équipements et de services.
- Le couloir Kherraza, quant à lui constitue un ensemble plutôt éclaté de localités situées en forme d'anneau autour du bassin de Kherraza. C'est un secteur qui dépend toujours de la ville de Annaba malgré sa proximité de la RN 44 (Fig3.11).

Annaba, le cas d'étude.

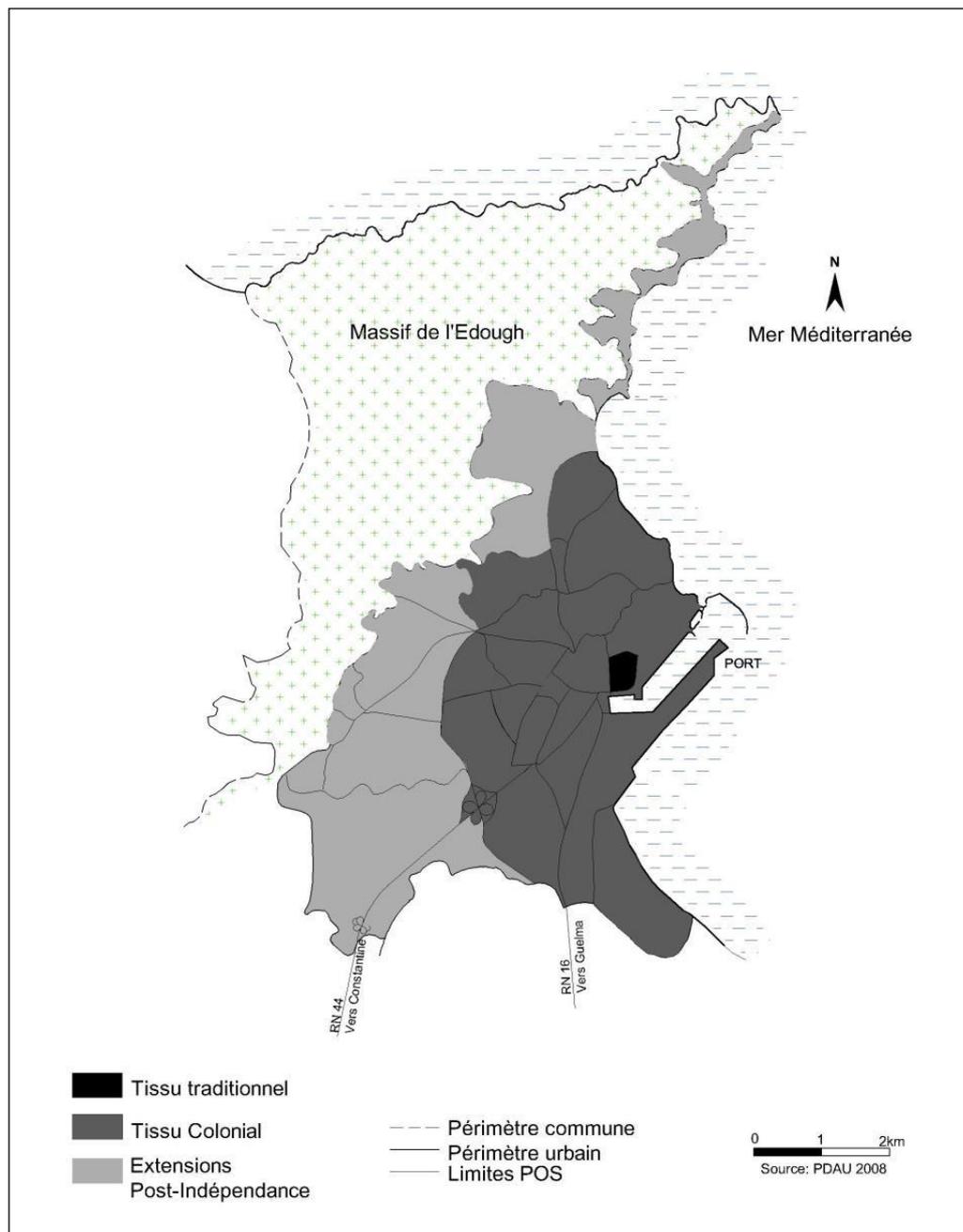


Fig3.11: Les ensembles urbains à Annaba, (Kebir, 2016).

Ce sont, ainsi, les ensembles urbains qui constituent l'armature urbaine. Ils sont mis en relation par les axes structurants existants (Fig3.12). C'est à partir de ce système descriptif que le PDAU appréhende la structure urbaine de Annaba.

Suite à son étude, le PDAU souligne les problématiques de fonctionnement urbains et de déséquilibre territorial qu'endurent ces ensembles urbains. Le PDAU met l'accent effectivement, dans son document, sur l'insuffisance des itinéraires de contournement par

Annaba, le cas d'étude.

le trafic routier, les liaisons sont mal assurées du côté Est-Ouest, l'extension urbaine en périphérie est aussi non maîtrisée en périphérie, en exemple de l'habitat non desservi des équipements d'accompagnement ou encore de transport en plus des déséquilibres sociaux et urbains. En effet, l'état actuel de l'espace intercommunal se dessine comme un ensemble d'agréats hétéroclites et déstructurés, se greffant autour d'une ville centre concentrant la majorité des biens et des services.

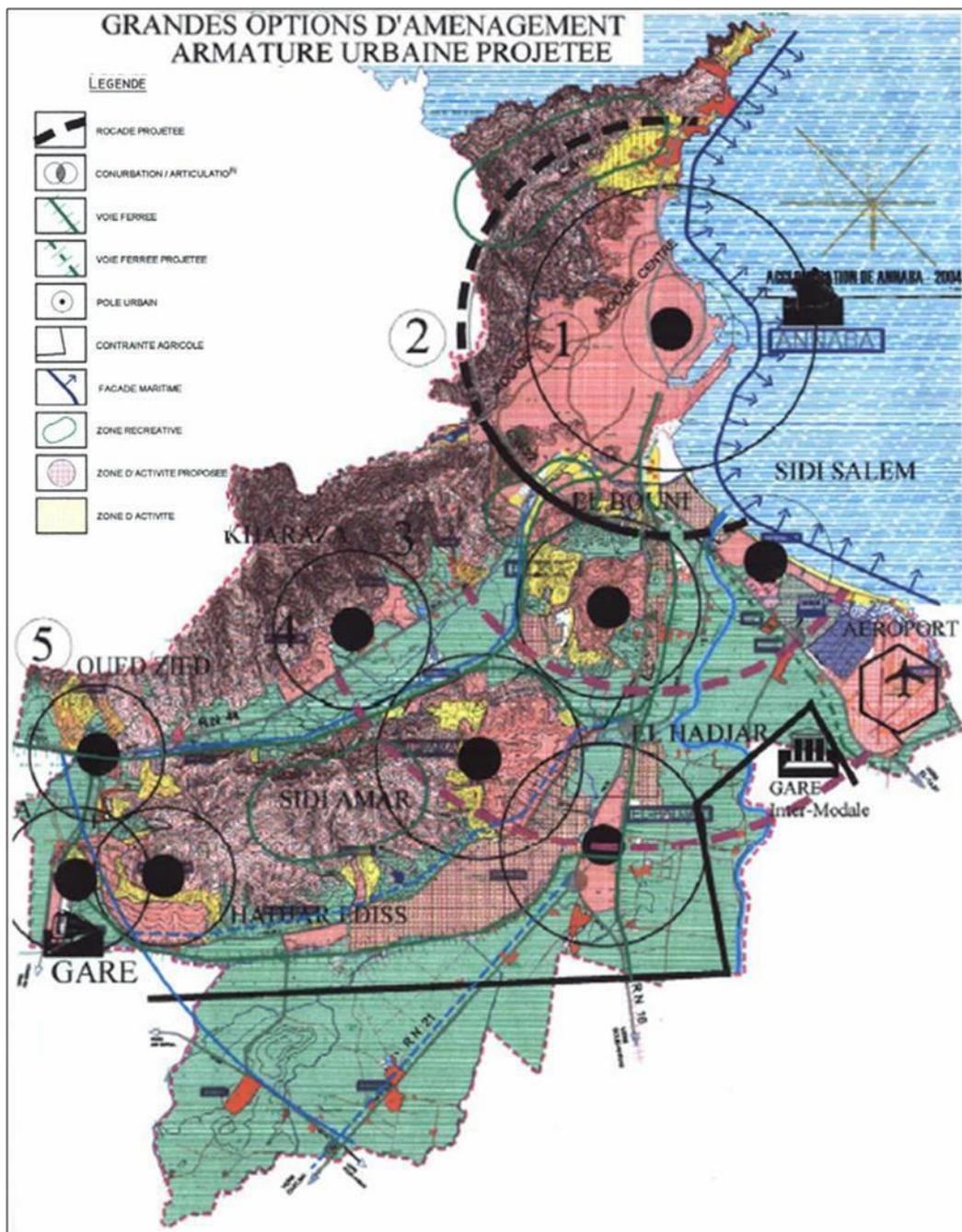


Fig3.12 : Les ensembles urbains de l'armature urbaine de Annaba, (URBAN, 2014).

D'après le PDAU, en viabilisant ces petites localités périphériques, de grands espaces publics auront lieu, ce qui participe à la modernisation du territoire Annabi. Le PDAU met, effectivement, en place une politique de réajustement structurel et de redéploiement pour atteindre une certaine cohérence territoriale.

Sa politique repose sur un nombre de principes comme assurer un développement géographique urbaine équitable tout en mettant en valeur les particularités de chaque site, offrir une certaine cohésion sociale à travers la maîtrise des mécanismes d'éradication des bidons villes et de leurs conséquences, et aussi protéger l'environnement par le déplacement des localités des usines polluantes au effets néfastes vers d'autres sites plus éloignés. Dans sa prospective, le PDAU pose comme objectif d'assurer la cohérence territoriale urbaine de Annaba, ainsi qu'une dynamique urbaine équitable.

Pour ce faire, il introduit le thème de centralité avec deux différents niveaux ; Un premier au niveau des localités et un deuxième au niveau des ensembles précités. Le thème de centralité est entrepris dans le document du PDAU dans une perspective de moderniser le centre actuel de Annaba, qui a besoin d'être allégé, et de réaliser des centres spécialisés au niveau des ensembles de sortes à renforcer les embryons des centres qui se forment au niveau des localités. Il introduit le thème de centralité jusqu'aux travaux routiers et ferroviaires pour assurer la cohérence de ces centralités dans leurs développements, on y propose, pour ce faire, des réajustements et des contournements qui renforcent la hiérarchie du réseau au niveau des infrastructures routières et le raccordement du réseau ferroviaire de la partie Est, car ce dernier s'est développé uniquement dans la partie centrale et dans la partie Ouest (Fig3.13).

La liaison entre les différentes localités et leurs développements équilibrés et harmonieux reste, ainsi, un objectif principal du PDAU. De fait, on y définit différents niveaux d'articulations qui se déclinent comme suit :

- Annaba- le port : Le renforcement de ce lien permet le développement de nombreuses activités dont celle de l'activité portuaire. L'articulation est matérialisée dans le PDAU par le transport de quelques activités du port vers la ville et inversement. Le glissement du port vers le Sud est également recommandé afin de récupérer une importante réserve foncière.

- Annaba- El Bouni- Entrée Ouest : Cette articulation concerne l'entrée Ouest de Annaba le long de la RN 44. C'est un site qui se situe entre Annaba et Boukhadra, il se particularise par la présence de marécages, une opportunité pour le développement des activités économiques liées, en exemple, au tourisme aquatique.
- El Bouni-Sidi Amar : Un couloir non urbanisé traversé par le chemin de fer qui dessert l'université. Il est accessible que par le CW0. Le PDAU y prévoit la prise en charge des friches de pauvreté par le développement d'opérations économiques.
- Sidi Amar-El Hadjar: Cette articulation se trouve au niveau de l'axe Annaba-El Hadjar, et desservi par la RN16 et le CN56, le PDAU préconise pour cette articulation des activités de type technopolitain.
- Hadjar Eddis- El Gantra- Oued Zied : Le développement des activités économiques ainsi que d'autres activités de nature différente, en exemple du tourisme des lacs ou des activités de type agro-industrielles.
- Kherraza-Chabbia-1er Mai 56 : Le PDAU propose pour cette articulation des opérations mais à différentes échéances, il donne la priorité à l'injection d'activités industrielles pour rejoindre la RN44. En deuxième lieu, on y propose d'étendre l'urbanisation autour du bassin de Kherraza, prévu le centre de la nouvelle ville.

Annaba, le cas d'étude.

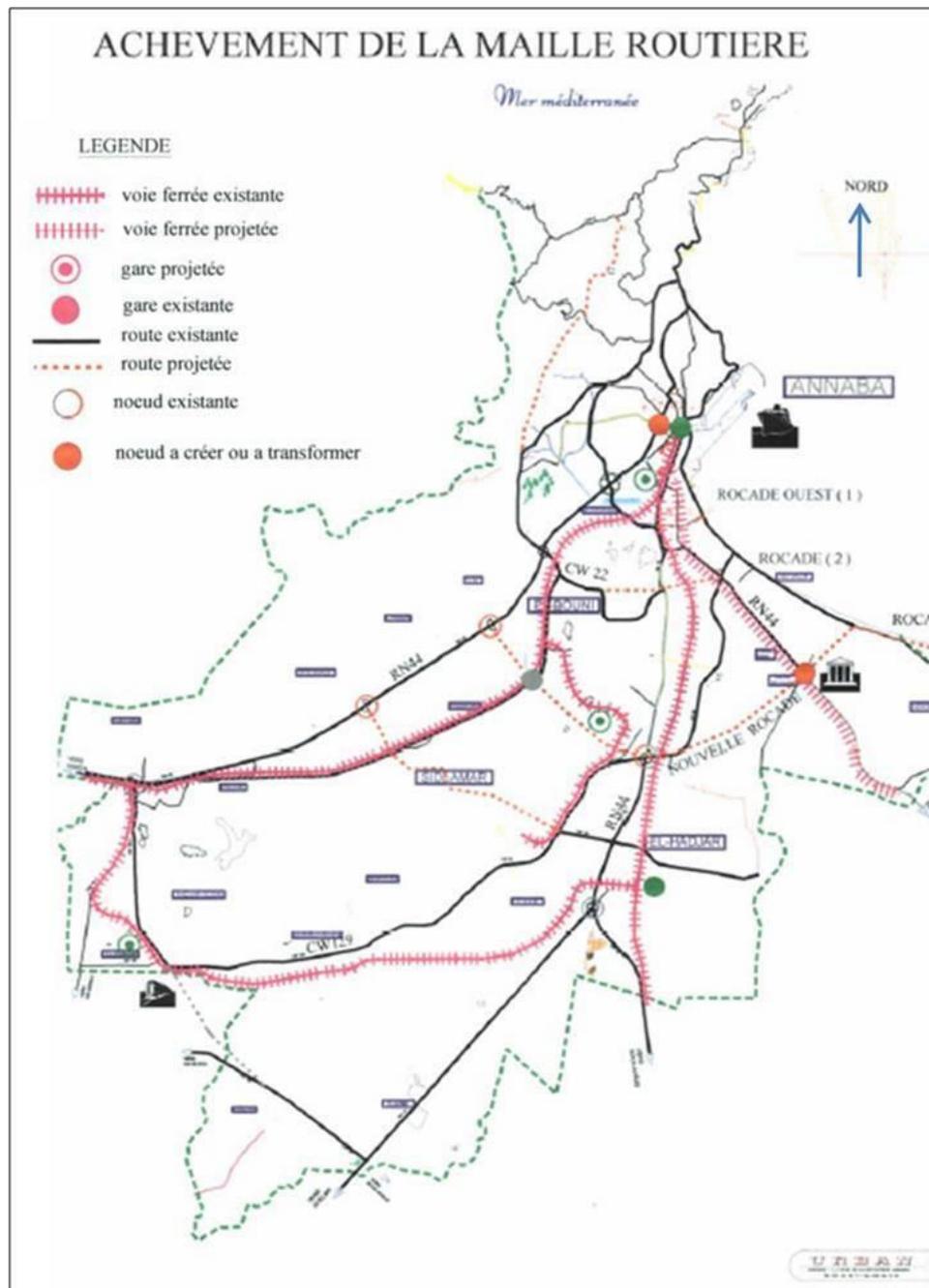


Fig3.13 : La maille routière de l'armature urbaine intercommunale de Annaba (URBAN, 2014).

Les actions préconisées, par le PDAU, pour le développement économique et social, elles se déclinent en deux catégories ; Spatiales et a spatiales ou sectorielles.

A/ Spatiales :

- La purification des fonctions tertiaires et le remplacement des friches urbaines par des fonctions d'excellence.

- Le développement des zones d'activités, des sites et des activités économiques des grands équipements ainsi que le développement des axes et des nœuds de circulation.
- La prise en charge des sites contenant de l'habitat illicite, ainsi que la prise en charge des espaces naturels en remédiant à leurs dévalorisations.
- L'amélioration du réseau viaire et du réseau ferroviaire compte tenu de leurs importances dans l'articulation des différentes composantes de la structure urbaine de l'agglomération de Annaba.

B/ Sectorielles :

L'Habitat :

La première action du PDAU consiste à chercher un équilibre entre les terrains où se concentrent le promotionnel et la périphérie où est repoussé le logement social.

Le tertiaire et les services :

On y prévoit de régulariser le commerce informel à travers l'aménagement d'espaces spécifiques. Egalement, le développement des petites opérations commerciales est prévu au sein du secteur de l'habitat afin d'assurer un commerce de proximité tout en offrant de l'emploi.

L'industrie :

Maitriser la mise en vente des friches industrielles afin d'étudier leurs futures utilisations qui se basent sur le renforcement des liens entre l'université et les industries.

Le tourisme :

Le PDAU recommande de lier le tourisme au territoire et à l'environnement, il pose des propositions comme l'établissement d'un parc aquatique aux alentours de zones humides de l'entrée Ouest. On y prévoit également la mise en valeur des entrées Ouest, centrale, et Est (celle de l'aéroport) de l'agglomération de Annaba. Le traitement et la restauration des cours et des places publiques y sont également prévus, le PDAU entrevoit, également, la multiplication du nombre des hôtels balnéaires, les jardins publics ainsi que l'introduction des plans d'eau dans la ville comme les fontaines ou les bassins d'eau.

Le secteur universitaire :

Pour ce secteur, le PDAU pose un constat par rapport à l'évolution de l'occupation du territoire des équipements universitaire en la qualifiant d'anarchique. On prévoit également

l'élaboration de stratégies de formation orientée vers les besoins locaux, en d'autres termes une stratégie d'ouverture de l'université sur l'entreprise locale.

Transport et déplacement :

Le PDAU propose la modernisation et la diversification des modes de transport ainsi que la saisie des opportunités qu'offre le réseau ferroviaire.

Les infrastructures techniques et réseaux :

Les réseaux sont présentés dans le document du PDAU comme sous dimensionnés qui ne peuvent prendre en charge la nouvelle échelle urbaine de l'agglomération. On y prévoit, alors, la réalisation de galeries, au niveau des grands ensemble, qui permettent l'entretien et le redimensionnement du réseau. Le PDAU pose également le diagnostic que les terrains inondés ont pour cause principale le sous dimensionnement des réseaux.

C'est cet ensemble d'actions, que propose le PDAU, sur le plan social et sur le plan économique, ces actions constituent les principes du projet d'agglomération (Fig3.14).

En synthèse, le PDAU pose le fait que le territoire de l'agglomération de Annaba offre de nombreuses potentialités pour un développement urbain accéléré. Il propose, de fait, d'orienter cette dynamique vers les terrains relativement vulnérables face au risque d'inondation et au dépend de leur valeur agricole. En effet, on peut lire dans le texte des perspectives de développement urbain de Annaba (PDAU, 2008) : " S'opposer à cette dynamique urbaine sous prétexte de préservation des terres agricoles, des broussailles, des forêts...risque de se traduire par des assauts illicites sur ces territoires qui gagneraient à être urbanisés de façon réfléchie que de les subir dans le cadre d'opérations de régularisation".

C'est finalement une vision réductrice du point de vue de la protection des écosystèmes naturels et notamment hydriques. Car, le concept de développement durable appelle à des changements dans les pratiques urbaines de façon à préserver la durabilité de l'environnement naturel. En effet, une dynamique urbaine axée sur la préservation du fonctionnement de l'hydrosystème suppose de nouvelles pratiques de conception.

Annaba, le cas d'étude.

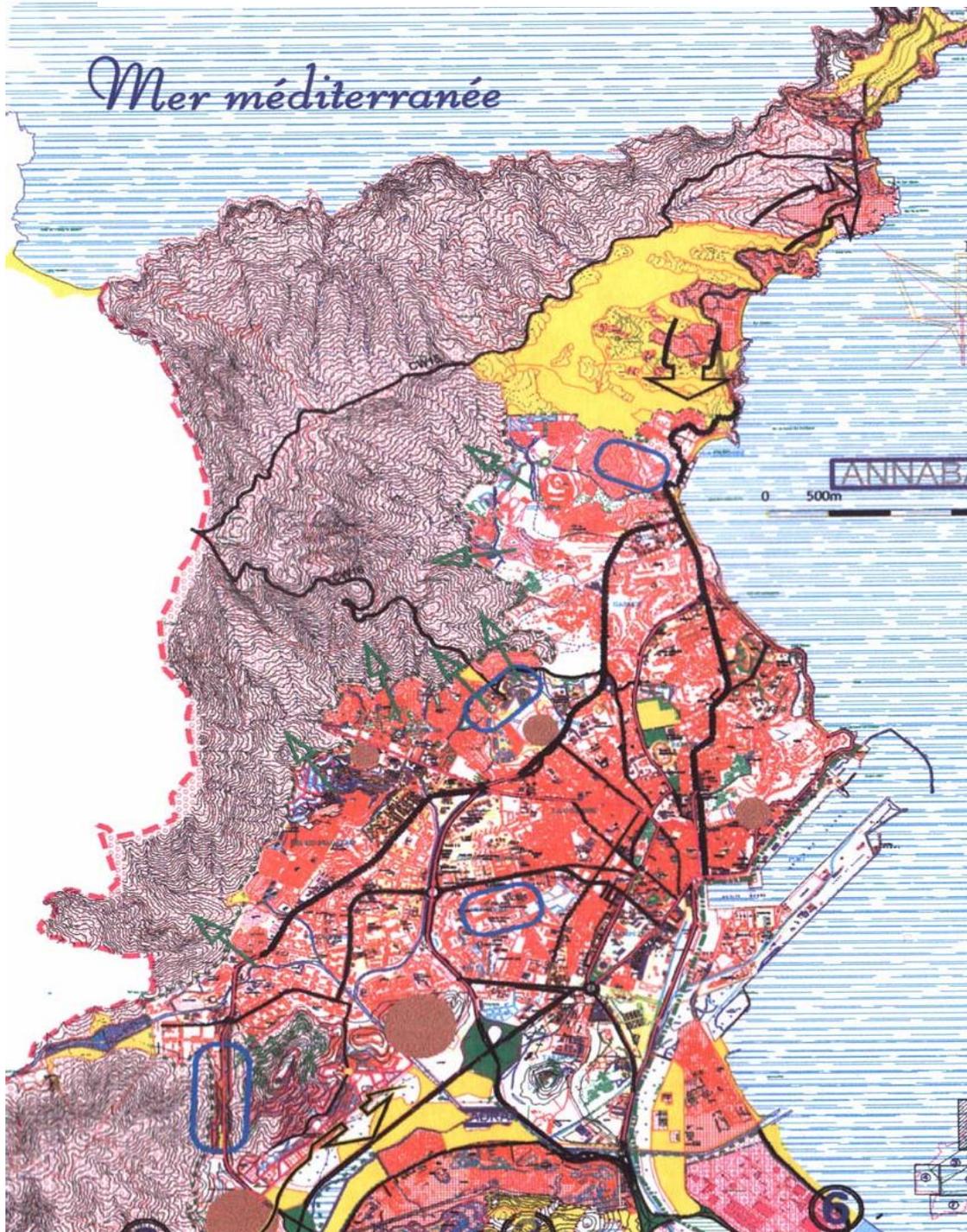


Fig3.14: Synthèse de l'occupation et tendances d'évolution du territoire Annabi, (PDAU, 2008).

Des solutions techniques favorisant le rapprochement du fonctionnement de l'hydrosystème en milieu urbain au fonctionnement de l'hydrosystème en milieu naturel peuvent être mises en œuvre notamment l'utilisation des surfaces perméables. En effet, l'imperméabilisation des sols constitue l'un des facteurs menaçants pour le fonctionnement de l'hydrosystème, car l'absence de surfaces capables d'absorber l'eau fait en sorte qu'elle se retrouve en grande quantité dans les réseaux d'évacuation des eaux pluviales.

Ainsi, lors d'une précipitation, seulement 32% de l'eau est absorbée par les sols urbains, le reste est soit évaporé (25%), soit évacué par les réseaux d'évacuation (43%). C'est donc pratiquement la moitié des précipitations qui ruisselle en surface dans les milieux urbains. Il faut souligner que ces proportions varient selon la densité du care bâti (Mellouk,2014).

Ainsi, Différentes alternatives axées sur la préservation de l'hydrosystème peuvent être intégrées dans une étude prospective d'un aménagement urbain à Annaba afin de se rapprocher le plus possible du cycle naturel de l'eau. Cependant, un développement urbain durable requiert l'intégration de l'hydrosystème comme un élément pleinement territorial qui peut être un vecteur d'aménagement urbain.

En somme, la question des problématiques de l'eau et celle de sa durabilité n'a finalement pas fait l'objet d'étude dans le document du PDAU, uniquement des solutions techniques classiques ont été proposées pour remédier aux problèmes d'inondations que connaît Annaba.

3.3. Le contexte hydraulique.

Le centre de l'agglomération de Annaba, la commune de Annaba, est considéré comme un des foyers principaux de la wilaya avec un haut risque d'inondation (DAPE, 2014, DRE, 2019). La ville s'inscrit au fond d'une baie ouverte à l'Est sur le golf de Annaba. Elle est baignée par la Méditerranée au Nord et à l'Est, au Sud et à l'Ouest se trouve la Seybouse dont l'embouchure donne sur la mer au Sud-est de la ville et le lac de Fetzara. Son réseau hydrographique se particularise par l'intensité de sa pluviométrie et par sa densité (Fig3.15).

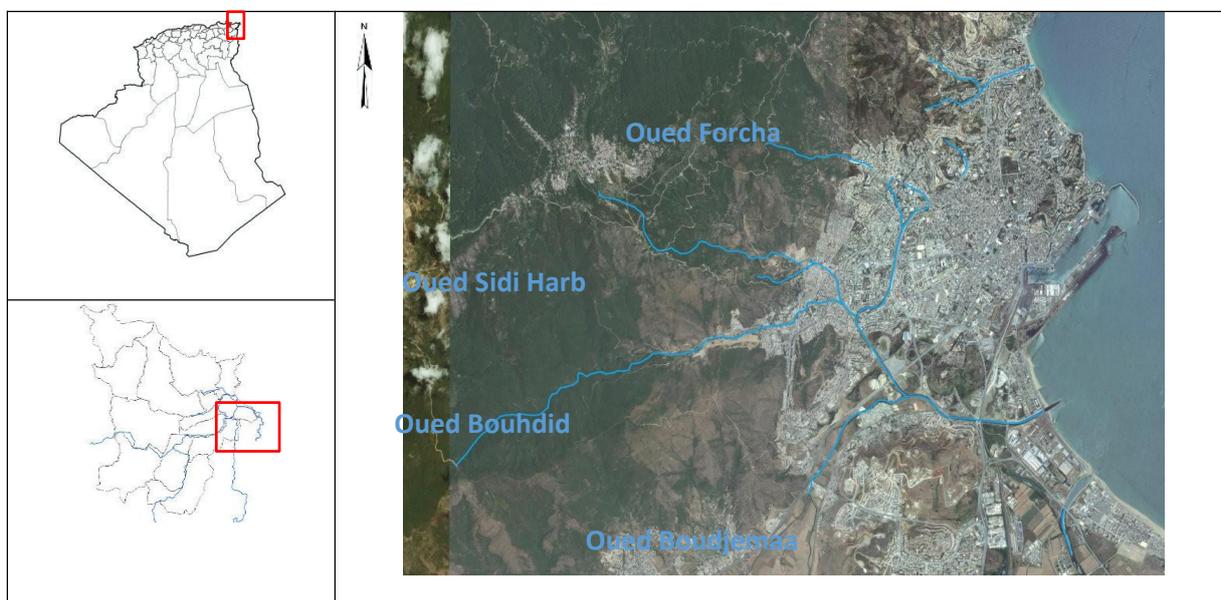


Fig3.15 : Réseau hydrographique de la commune de Annaba, (Lorenzo, 2014).

En effet, Annaba se caractérise par un relief très accidenté et relativement arrosé, avec 700 à 1200 mm/an (ABH, 2019). En saison des pluies, la ville de Annaba est envahie sévèrement par les crues, la situation géographique particulière de Annaba l'expose au risque naturel des inondations. Elle est située au piémont de l'Edough et englobe des zones basses dont le niveau est inférieur à celui de la mer. De surcroit, des parties de la ville sont d'un niveau inférieur à celui de la mer (-1 à -2 m).

De par leurs caractéristiques hydrodynamiques, hydro climatiques, géomorphologiques et géologiques, les quartiers bas de la ville essentiellement situés dans les parties Nord et Ouest de la ville, sont considérés comme des zones de stagnation des eaux et d'accumulation des sédiments en période de pluie (DRE, 2018).

En plus de sa nature physique qui la soumet aux eaux pluviales et l'expose aux crues et à leurs effets dévastateurs, le contexte urbain de Annaba favorise, à son tour, l'intensité des inondations. En effet, la ville renferme des constructions datant de l'époque coloniale dont la précarité du réseau d'assainissement a contribué à l'augmentation de la vulnérabilité de la ville au risque de l'inondation. Les rues y sont également étroites, imperméables, avec une population urbaine très dense. C'est des zones favorables à la stagnation des eaux et d'accumulation des sédiments en période de crues car ils constituent des terrains plats.

De fait, "l'urbanisation anarchique sur ces terrains marécageux ne va pas sans difficultés (engorgements lors de chaque forte pluie, inondations graves de 1982). Le creusement d'un canal de ceinture, et plus récemment une vaste opération de débidonvillisation (Bou Hamara), ont tenté d'y mettre un peu d'ordre" (Cote et Camps, 1988, p 12).

3.3.1. Le domaine public hydraulique.

Vers les années 1850, avant le développement urbanistique de Annaba, l'actuelle zone portuaire était le déversoir des Oueds qui composent la plaine Ouest. Des terrains marécageux occupaient par ailleurs, la zone basse où les embouchures des fleuves de Boudjemâa et de la Seybouse arrivaient à la mer d'une manière diffuse (Fig3.16).

Annaba, le cas d'étude.

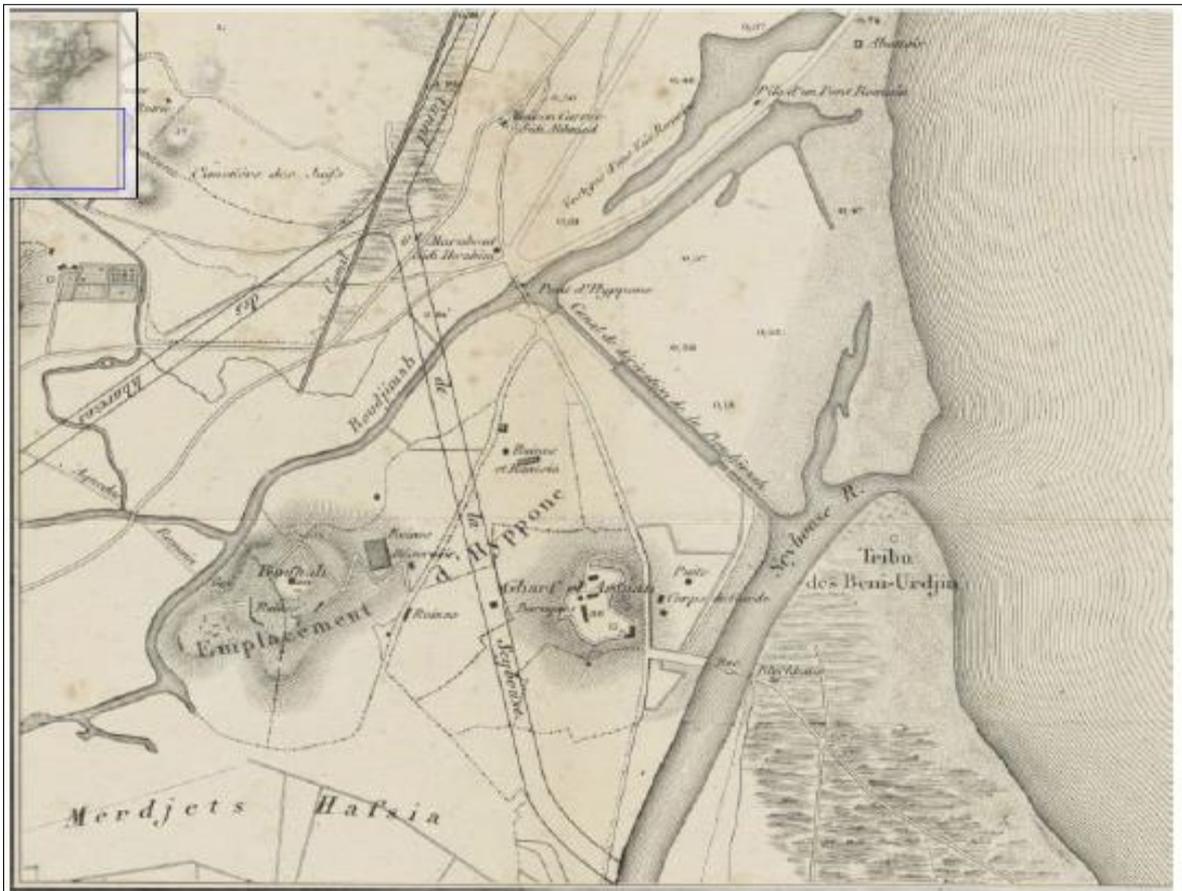


Fig3.16: Réseau hydrographique initial précédant le développement urbanistique du centre de la ville de Annaba, (Lorenzo, 2014).

A partir du 19e siècle, où Annaba a entrepris son développement urbain et a été reconnue comme un pôle industriel, des travaux de canalisation des Oueds furent engagés. Les terrains bien irrigués étaient destinés à la production agricole tandis que les terrains secs étaient au profit des activités d'expansion économique, et au développement urbain.

Suivant le schéma directeur d'assainissement,

Annaba, est traversée par un réseau hydrographique dense d'environ 14 Km. Ce réseau compte deux Oueds principaux, à savoir, l'Oued Zaafrania et l'Oued Bouhdid qui se distinguent par des débits élevés. L'Oued Zaafrania est considéré comme étant un collecteur urbain et l'Oued Bouhdid couvre, à son tour, un bassin versant de taille très importante (DRE, 2019).

Le schéma directeur d'assainissement, SDA², décrit, dans son texte, la situation actuelle du réseau d'assainissement de l'agglomération urbaine de la wilaya de Annaba. Il divise le territoire de la wilaya en trois zones distinctes :

- **La zone 1** englobe la zone côtière Nord, le centre de Annaba, la plaine Ouest 1, la plaine Ouest 2, et Annaba, cité Rhym.
- **La zone 2** correspond au pôle de Sidi Amar, d'El Hadjar, et de la station d'épuration des salines.
- **La zone 3** représente, cependant, les zones de Hadjar Eddis, Berka Zerga, El Gantra Bergougga, Deradji Redjem, El Horeïcha, Chaïbi Larbi, El Kerma, et Station d'épuration d'El Gantra.

Le cas d'étude de la présente recherche s'inscrit, de fait, dans la zone 1 du schéma directeur d'assainissement (fig3.17).

..

² Le schéma directeur d'assainissement est le résultat d'une démarche qui a nécessité le regroupement des services de la DHW, de l'ONA et de l'URBAN. Il a pour but de discuter les problèmes situés au niveau des réseaux d'assainissement de Annaba et d'en proposer des solutions et aménagements pour y remédier, comme des opérations relatives à l'épuration des effluents, la mise en place des stations de pompage... Ce SDA est établi avec une perspective allant aux horizons de 2025. L'étude de ce schéma a été lancée en 2006.

Annaba, le cas d'étude.

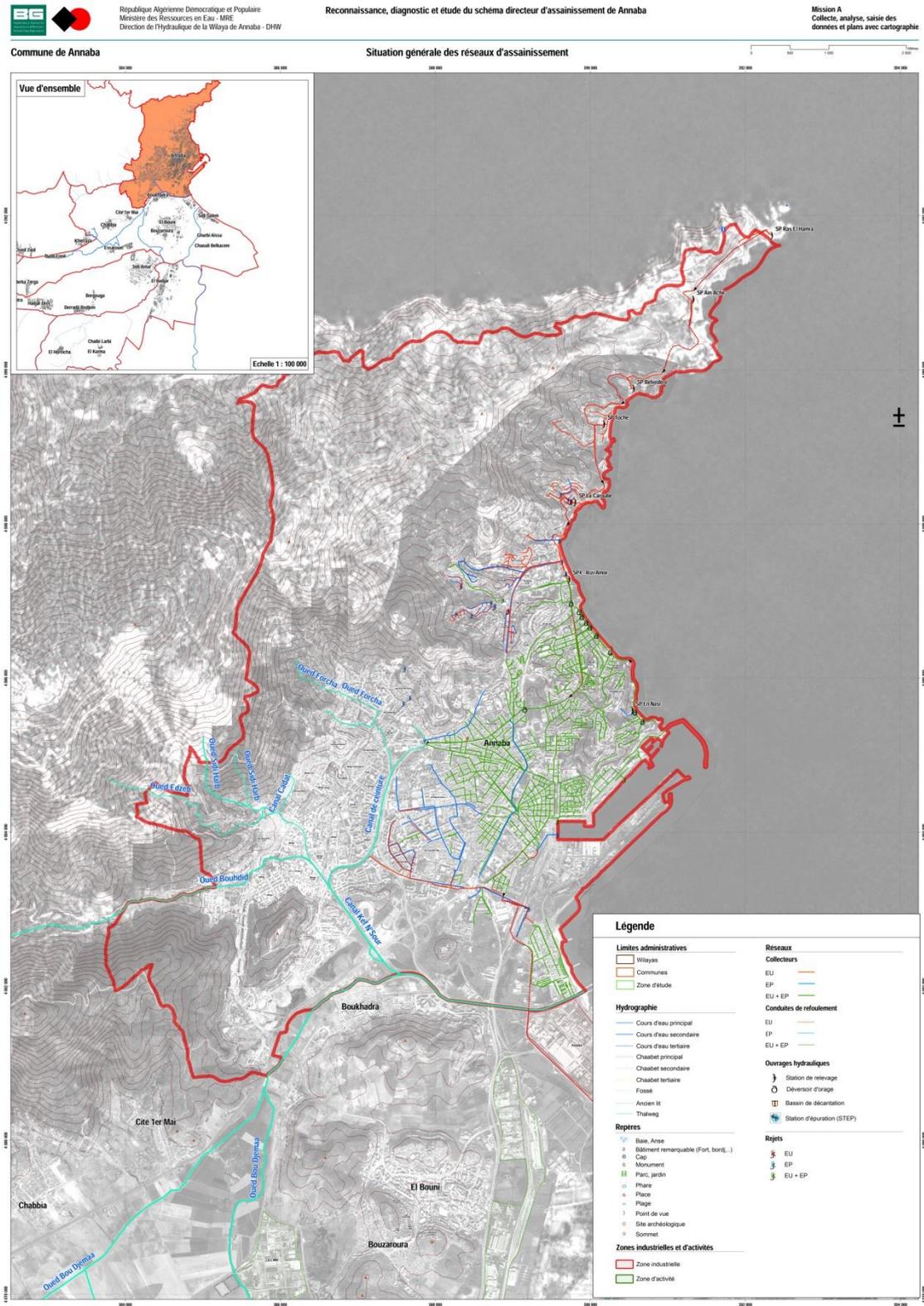


Fig3.17. Situation générale du réseau d'assainissement, la zone 1, Annaba, (DHW, 2018).

Annaba, zone côtière Nord.

Les réseaux d'assainissement qui déversaient, initialement, directement à la mer, ont connu par la suite des travaux d'aménagement afin d'équiper les canalisations, dont le rejet donne sur la mer. Quand ces dernières sont fermées, les effluents atteignent plutôt les stations de pompage de Rizi Amor et d'En Nasr pour déverser, par la suite, dans le réseau d'assainissement du centre-ville. Ces opérations ont eu lieu suite à la croissance démographique de Annaba d'où l'augmentation du taux de polluants particulièrement durant la période estivale avec la venue des touristes. La fermeture de ces vannes se passe, justement, pendant cette période, entre les mois de Juillet et Aout (DHW, 2018).

Ce dispositif présente, ainsi, un réel danger d'inondation des quartiers du front de mer en cas d'orage durant la période estivale car le dimensionnement du réseau d'assainissement du centre-ville ne peut supporter la charge ajoutée des rejets qui se déversent, habituellement, vers la mer. En outre, les réseaux d'assainissement existants ont connu des travaux d'extension suivant la dynamique urbaine vers les collines environnantes avec des surfaces de plus en plus imperméables. Les parties aval du réseau se trouvent, alors, saturées avec des débordements assez fréquents et importants. On cite en exemple, l'avenue de Benboulaid qui longe la façade maritime et qui se situe dans la zone basse des bassins versant qui drainent la ville de Annaba. Le quartier de l'avant-port se trouve, à son tour, submergé des eaux de pluies à chaque phénomène d'inondation. Le SDA remet en cause sa topographie plane et le manque d'exutoire.

Annaba centre.

Cette partie de la zone 1 est limitée, dans le document du SDA, à l'Est, par la ligne de crête de la zone côtière Nord, à l'Ouest, elle est limitée par l'Oued Forcha et le canal Kef N'sour, au Sud, par l'Oued Boudjemâa et enfin au Nord par la limite d'urbanisation des premiers contreforts du massif de l'Edough. Une assiette parfaitement plane, avec une altitude proche de la mer excepté sa périphérie Nord et Est. Ses terres sont marécageuses, elle se sont formées à travers les années, par comblement naturel des alluvions charriés par les affluents. Ainsi, de par sa nature, cette partie emmagasine l'eau, son rôle est défini dans le SDA comme "stockeur d'eau".

Cependant, la quête de terrains par la dynamique urbaine continue incessamment sous l'effet de la pression démographique, a fait que ces terrains ont été convoités et drainés.

Or, la pente naturelle ne permet pas d'évacuer les débits de crues d'où les inondations fréquentes des quartiers, on en cite celui de la colonne, Oued Dheb... (DHW, 2019). Pour y remédier, des stations de refoulement des eaux issues du réseau d'assainissement mis en place ont été installées. Ces eaux ne peuvent atteindre la mer naturellement. Un système qualifié de "stratégique" par le SDA car il a tenu et a pu faire face, avec l'avancement de l'extension urbaine, à l'augmentation des flux engendrés par la croissance un nombre d'années. Cependant, à partir des années de 2000 une grande partie de ce système, composé de collecteurs structurants et de stations de pompage s'est retrouvé saturé avec un tracé initial non accessible (DHW, 2019). Une nouvelle arborescence de collecteurs est définie alors par le schéma directeur d'assainissement .

Annaba, la plaine Ouest1.

Cette partie constitue l'extension Ouest à partir du canal de ceinture de la précédente partie; Annaba-centre. L'assiette topographique qui compose cette partie est composée de deux formations d'aspect différent. A l'Est et au Sud, on retrouve la même nature topographique qu'Annaba centre, à savoir, une plaine marécageuse. Cependant, la partie Nord-Ouest est ornée de petites vallées, elle se situe, effectivement, sur les contreforts de l'Edough, les collines de Sidi Harb et de Belaid Belkacem. Elle est décrite, d'un point hydraulique, comme étant une surface quasi horizontale située à l'aval d'importantes pentes d'où la nécessité d'un traitement hydraulique spécifique pour évacuer les eaux de stagnation et remédier, de fait, au risque imminent d'inondation. Le réseau d'assainissement établi est de type séparatif avec des collecteurs des eaux usées qui versent dans la station de pompage et des collecteurs des eaux pluviales qui atteignent la station de pompage. Dans le cas de fortes crues, le canal de ceinture se trouve saturé; La hauteur des eaux atteint le réseau d'assainissement par les exutoires provoquant, ainsi, des problèmes d'inondation des zones basses.

3.3.2. Les inondations à Annaba.

La ville de Annaba et sa périphérie, qui reposent, sur un réseau hydrographique dense, représente un des foyers d'inondation principaux de la wilaya (DHW, 2019). Les inondations récurrentes qui touchent de grands secteurs de Annaba représente l'un des problèmes aigus pour la ville. De surcroit, les pentes raides caractérisent les versants surplombants la basse plaine de Annaba, où il y a accumulation des sédiments et stagnation des eaux, favorisent l'accélération des eaux de ruissellement, les crues y sont, alors, violentes et rapides.

Les sections d'écoulement sont également insuffisantes pour évacuer les débits des crues moyennes et fortes. C'est une région qui se caractérise, de surcroit, par de fortes intensités pluviométriques. En exemple des inondations de 1982, où des pluies orageuses se sont localisées aux Monts de l'Edough, elles étaient enregistrées du 10/11 au 11/11/1982 avec 35 mm en l'espace de 40 minutes engendrant de fortes crues des oueds notamment celui de Forcha et El Aneb causant, de fait, des pertes humaines et des dégâts matériels. En somme, les risques d'inondation à Annaba sont le résultat d'interaction de plusieurs facteurs ; Topographiques, géologiques, hydrologiques, anthropiques et météorologiques (PNUD, 2009). Cependant, le PATW expose dans son document que le risque des inondations est lié, exclusivement, aux débordements des Oueds et aux écoulements pluvieux, ainsi que l'état du canal de ceinture situé au Sud de la ville qui récolte toutes les eaux pour les évacuer vers la mer et qui ne permet plus d'assurer tous les écoulements et déborde fréquemment. Parmi les causes anthropiques, il faut citer :

- Le manque d'entretien du réseau d'évacuation causant sa défaillance.
- Les gonflements des oueds par les décombres et les détritits.
- Des constructions qui sont réalisées sur les berges des oueds.
- L'accumulation des déchets dans les canaux et les lits des Oueds provoquent la réduction de la capacité d'écoulement des Oueds.

En outre, la dynamique urbaine maintenue de Annaba a accentué la vulnérabilité de la ville face aux inondations. De surcroît, cette dynamique s'est orientée vers l'Ouest et vers le Sud de la ville occupant, de fait, une plaine de basse altitude caractérisée par la densité de son réseau hydrographique. L'extension urbaine est conjuguée, en outre, à la disparition graduelle du couvert végétal, le risque des inondations est, de fait, aggravé.

Le nombre d'inondation dans la wilaya de Annaba, à travers les années, témoigne de la protection de la ville contre les inondations qui s'avère insuffisante.

Les différents ouvrages hydrauliques minimisent, en effet, le risque de débordement au niveau des plaines Nord et Ouest, ceci dit, l'effet de ces aménagements sur la partie inférieure du réseau hydrographique reste très limité (ABH, 2019).

Réellement, un goulet d'étranglement, un bouchon hydraulique est constitué au niveau de la confluence du canal de ceinture avec l'Oued Boudjemâa à cause de sa capacité d'évacuation réduite ($40 \text{ m}^3/\text{s}$), or, le débit de transit est de 220 à $300 \text{ m}^3/\text{s}$ (ONA, 2019).

3.3.3. Stratégie actuelle de prévention et protection contre le risque d'inondation.

Une série de mesures, purement techniques, ont été mises en place par les autorités de la wilaya (APW, 2019). Parmi lesquelles, le lancement d'une étude en 2006 qui a porté sur l'établissement d'un schéma d'assainissement et de protection contre les crues de Annaba, des travaux en secteurs différents comme des stations de relevage, création de bassins (Zet et Zaafrania), ainsi que des opérations de curage et de bétonnage de certains tronçons comme celui de Kef N'Sour.

Egalement, des études ont été réalisées sur l'Oued Boudjemâa et la faisabilité de mise en place d'un barrage excréteur sur un de ses affluents ; Qu'est l'Oued Bouhdid. Dans un diagnostic du risque d'inondation de la ville de Annaba dressé par la DHW suite aux inondations dévastatrices qui se sont succédées, des mesures structurelles et non structurelles contre les inondations qui ont été entreprises par les autorités de wilaya y sont présentées. Ce diagnostic est une partie prenante d'une étude objectivant l'élaboration d'une stratégie nationale de lutte contre les inondations, lancée par la direction de l'assainissement et de la protection de l'environnement, en 2014, dans le cadre d'un programme d'appui au service de l'eau et de l'assainissement (Fig3.18).

Annaba, le cas d'étude.

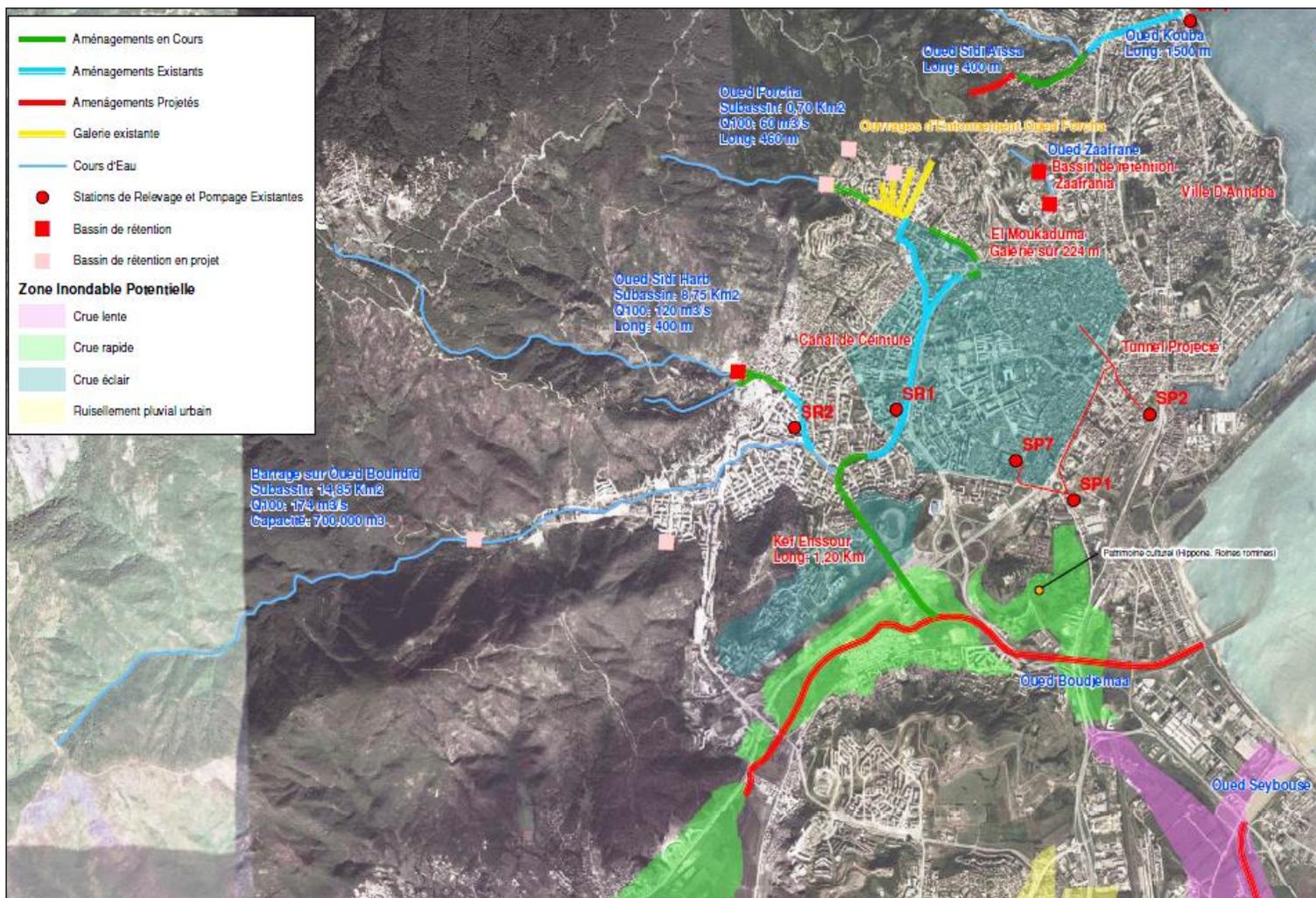


Fig3.18: Les servitudes relatives aux risques d'inondation, (DRE, 2019).

Suite aux nombreuses inondations qui ont touché l'espace urbain Annabi, des mesures structurelles et non structurelles ont été envisagées par la DHW :

Les mesures structurelles :

- Le traitement des bassins versants par des opérations de déforestation et une rectification des torrents.
- Le curage permanent du réseau hydrographique pour entretenir les capacités d'écoulement des cours d'eau.
- Les Oueds Kouba, Sidi Harb, Bouhdid ainsi que le canal de ceinture ont connu des travaux de recalibrage et de bétonnage.
- Accélérer l'écoulement des eaux émanant des bassins versants par la réhabilitation des bassins de rétention et des retenues d'eau sur les Oueds de Kouba, Forcha et certains affluents de l'Oued Boudjemâa.
- Parachèvement du réseau hydrographique dans les zones urbaines en s'appuyant sur l'ossature du réseau des eaux pluviales.

En outre, et sur le plan institutionnel et gouvernemental, la wilaya établit des opérations de curage des Oueds en zone à risque avant la période pluvieuse, pendant la saison hivernale et après des phénomènes de crue. Quant au réseau d'assainissement et aux avaloirs, leurs entretiens sont sous la charge de la société de l'eau et de l'assainissement Annaba et Taref, (SEATA).

Les mesures non structurelles.

Les seules campagnes de sensibilisation qui se sont passées à Annaba sont établies par la protection civile, ces mesures n'ont pas été véritablement prioritaires dans la gestion de lutte contre les inondations (DPC, 2019). Par ailleurs, le PNUD a élaboré une étude comme un "appui au renforcement des capacités nationales pour l'analyse des facteurs de vulnérabilité liés aux risques et catastrophes naturelles en Algérie". Le fruit de cette étude s'est concrétisé en la réalisation d'une carte des zones vulnérables aux inondations de la commune de Annaba (Fig3.19). Cette carte est une préparation pour l'élaboration du plan d'exposition aux risques (PER), et une base ultérieure pour le plan de prévention aux risques d'inondations (PPRI).

Annaba, le cas d'étude.

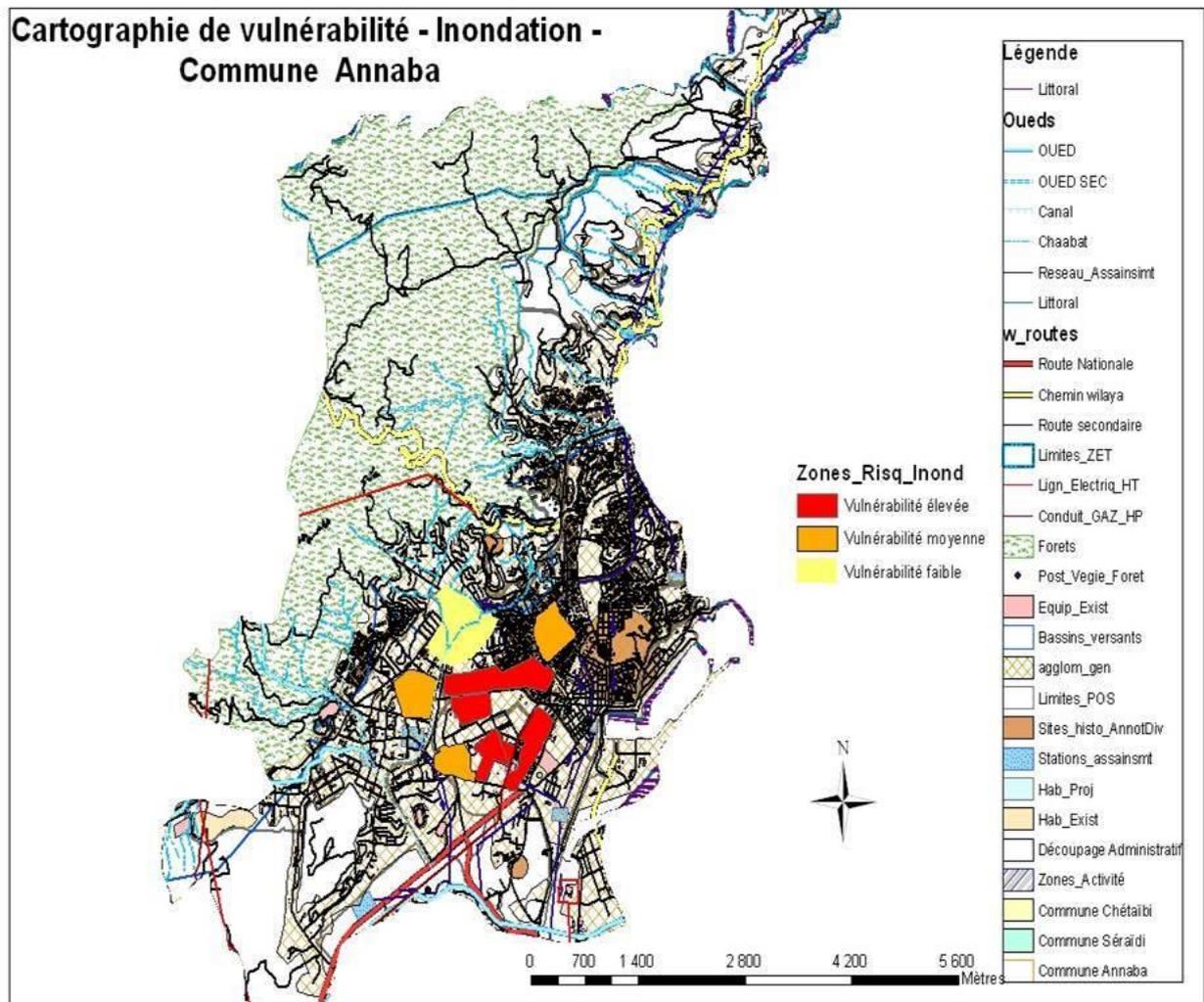


Fig3.19: Carte de vulnérabilité de Annaba face au risque d'inondation, (PNUD, 2009).

En outre, depuis Janvier 2014, un plan d'organisation et de coordination des secours lors des catastrophes a été disposé par la wilaya de Annaba qui expose des mesures organisationnelles, matérielles et techniques qui doivent être mises en place en cas d'inondation. Le PDAU, à son tour, a traité la problématique des inondations dans son étude en délimitant les secteurs non urbanisables, les terrains marécageux à faible portance, les terrains qui sont fréquemment inondés, les bassins d'épandage des eaux usées, les retenues collinaires, les zones des décharges publiques, les zones industrielles, les terrains érodés et inondés par les Oueds ou chaabet (PDAU, 2006, PDAU, 2008). Cependant, c'est l'habitat informel qui a occupé ces zones à fort risque potentiel.

In fine, la majorité des terrains qui composent le territoire Annabi doit, aujourd'hui être diagnostiquée car ces terrains sont exposés en permanence à de nouveaux aléas climatiques (DAPE, 2014). Cependant, le problème des inondations demeure l'un des plus importants. En effet, Les inondations récurrentes qui touchent Annaba représentent l'un des problèmes aigus pour le développement urbain de la ville (APW, 2019).

Annaba, est traversée du Sud au Nord par l'Oued Seybouse qui représente un affluent majeur, "le Bassin que draine la Seybouse compte deux barrages de stockage, le barrage du Cherf sur l'Oued Cherf d'une capacité de 152,7 millions de m³ et le barrage Hammam Debbagh sur l'Oued Bou Hamdane d'une capacité de 184,3 millions de m³ qui sont utilisés pour l'irrigation et l'alimentation en eau potable" (Arif et Doumani, 2018, 35p) . D'autres Oueds (Kouba, Meboudja, Badjimeh, Forcha...) d'importance secondaire et d'apport en eaux moyen constituent des ressources hydriques superficielles. S'ajoutent à ces composantes superficielles des composantes souterraines, telles que la nappe Gerbez et la nappe d'El Hadjar. De fait, Annaba repose sur un hydrosystème très important sur le plan des potentialités hydriques de la wilaya. Toutefois, elle compte parmi les wilayas les plus concernées par les problèmes de l'eau, les pénuries épisodiques, les pollutions hydriques et les inondations qui ne sont que des témoins de la détérioration du cadre de vie du citadin et de son inconfort. Effectivement, la mémoire des Annabis retient plusieurs aléas liés à l'eau, on cite en exemples : les inondations de 1907, 1958, 1967, 1973, 1982, 1996, 2002, 2005, 2010, 2019. Quelques inondations ont fait l'objet de modélisation dans le cadre de travaux de recherches :

- "Modélisation des inondations du segment de l'Oued Seybouse par HEC-RAS" (Kouidri et Labeled, 2019),
- "Analyse de l'aléa pluviométrique dans la ville de Annaba" (Skhakhfa, 2009). La plus récente des inondations à Annaba est celle de Janvier 2019 qui a causé trois morts et des dégâts matériels considérables.

Une fréquence accrue des inondations serait l'une des causes des maladies hydriques. En effet, les fortes inondations sont susceptibles d'entraîner, dans les cours d'eau et les aquifères, des matières organiques et des substances chimiques. A Annaba, des maladies à potentiel épidémique sont déclarées au niveau de la Direction de la santé et de la population de la wilaya (Tab3.8).

Annaba, le cas d'étude.

Effectivement, dans un rapport établi dans le cadre de la préparation de la saison estivale 2019 d'un dispositif de lutte contre les maladies à transmission hydrique MTH et les épidémies, on peut lire une augmentation du nombre des cas atteints de ces maladies à travers les années (2015/2016/2017 et 2018).

Tab3.8: Maladies à potentiel épidémique (2015-2016-2017-2018) (Direction de la santé et de la population de la wilaya de Annaba, 2019).

Maladies à potentiel épidémique	MDO		MTH		TIAC		ZOOLOSES	
	Nbre de cas	Taux d'incidence						
2015	777	119.33	09	1.38	36	5.52	13	1.99
2016	581	88.38	16	2.43	27	4.11	06	0.91
2017	860	129.58	11	1.65	28	4.21	23	3.46
2018	1062	158.58	32	4.77	21	3.13	42	6.26

Il est à noter, que ces maladies sont transmissibles, pour la plupart des cas, par l'eau. Ainsi, l'accroissement du nombre des cas de personnes atteintes n'est que synonyme d'une présence d'une eau polluée. Cette eau traduit, la présence d'un système d'assainissement mal entretenu. En effet, une forte urbanisation, non maîtrisée notamment sur le plan hydraulique, entraîne une augmentation de la production des déchets solides et liquides.

Plusieurs facteurs favorisent les inondations à Annaba. La plaine de Annaba est surplombée par des versants à pentes fortes et raides favorisant le développement d'un réseau hydrographique dense et ramifié à écoulement torrentiel temporaire sur les versants. En effet, le cadre physique de Annaba se caractérise par des dépressions dont les pentes sont faibles à très faibles. En effet, la moyenne est inférieure à 3% (PATW, 2014). De surcroit, l'artificialisation des espaces naturels, à Annaba, prend un essor remarquable, les espaces verts existants se résume à quelques espaces verts définis par le Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme (PDAU) (Tab3.9).

Un autre type de végétation est développé dans les lits de quelques cours d'eau. Ce type de végétation peut cependant avoir un effet de rehaussement important de la ligne des cours d'eau lors des inondations (Beloulou, 2008).

Tab3.9: Les espaces verts à Annaba, (Mebirouk, 2008).

Secteurs	Types	Superficie m ²	Epoques
I	Cour de la révolution	11707,38	Coloniale
I	Jardin Boukhtouta	8030,68	Post-Coloniale
II	Axe Sidi Brahim « rond point »	2679,69	Post- Coloniale
II	Oued Edheb El Djadid	11100	Post-Coloniale
III	Placette Georges Isaak	3525, 84	Coloniale
III	Jardin Chabou Nord	32375	Coloniale
III	Jardin Chabou Sud	118853	Coloniale
IV	Jardin ELHouriya	18505,77	Coloniale
V	Jardin 08 mai 1945	15377,73	Post-Coloniale
V	Jardin El Moukawama	116160	Post-Coloniale
V	Axe SAFSAF	600	Post-Coloniale
V	Axe 05 Juillet	2234,42	Post-Coloniale
V	Bacs à plantes SAF-SAF	1428, 29	Post-Coloniale
VI	Jardin zeghouane	4756,44	Post-Coloniale

Aussi, les chenaux sont aujourd'hui encombrés et obstrués par des déchets principalement urbain et toute forme d'embâcles. Quant au réseau d'assainissement, sa majorité est en état défaillant comme les avaloirs et les grilles qui sont colmatés. A l'Ouest et au Sud-ouest de la ville de Annaba, la fréquence des débordements des Oueds est importante (ABH, 2019).

Les diagnostics établis par la direction de l'hydraulique de Annaba posent comme cause principale les pentes d'inclinaison fortes à l'aval de la ville centre et l'état du système d'assainissement actuel qui est sous dimensionné et n'assure pas l'évacuation des eaux qui proviennent de l'amont.

Des vies humaines sont menacées ainsi que leurs biens et leurs confort. Sur le plan architectural et culturel, il est important de signaler que l'établissement premier de la basilique de Saint Augustin est menacé par le problème d'inondation (Lorenzo, 2014). Effectivement, la partie inférieure du site archéologique est située dans une zone potentiellement à risque d'inondation par l'Oued Boudjemâa. Pendant les inondations de 2012 et celles de 2019, des aires de surfaces bien importante ont connu des problèmes de stagnation d'eau, or, des travaux de fouilles sont toujours en cours de réalisation par l'OGEBEC, l'office général de l'exploitation des biens culturels.

Ainsi, il devient nécessaire de revoir de façon globale la problématique de l'eau en repositionnant l'enjeu de la durabilité du fonctionnement équilibré de l'hydrosystème au cœur de la dynamique urbaine de la ville de Annaba. Les problèmes d'inondations, de pénuries, de pollution hydrique ou encore les maladies à transmissions hydriques s'intensifient au rythme de l'évolution de la dynamique urbaine.

En dépit de toutes les opérations et mesures de les préventions entrepris contre les inondations, le potentiel du risque persiste. C'est un risque des inondations qui doit être pris en charge par des mesures plutôt urbaines qui, aujourd'hui dans le cadre du développement durable, ont montré leurs efficacités en termes d'augmentation de la capacité de résilience des villes contre le risque des inondations tout en valorisant l'élément eau dans la ville en le réintroduisant comme un axe majeur d'aménagement urbain. En effet, ses composantes sont considérées non plus d'un point de vue utilitaire et comme un seul segment de la ville, mais au contraire comme éléments structurants du milieu urbain.

Conclusion.

Annaba fut bâtie à l'origine autour d'un promontoire de la Casbah. Puis, la ville a entamé son extension vers l'intérieur, vers la plaine environnante qui va jusqu'aux contreforts du massif de l'Edough. Cette extension a vu son rythme accroître au lendemain de l'indépendance sous l'effet de la croissance démographique, et s'est orientée vers le Sud et l'Ouest. L'urbanisation a recouvert, de fait, l'ensemble de la plaine qui s'ouvre sur la mer, une plaine de très faible altitude considérée comme le réceptacle des Oueds dévalant du massif de l'Edough, on en cite ; Chaabet Zaafrania, Oued Bouhdid, oued Forcha. Une topographie qui provoque des insuffisances pour l'évacuation des eaux pluviales. L'urbanisation de cette partie a suscité à travers les années des crues l'une plus dévastatrice que l'autre occasionnant, outre des dégâts matériels important, des pertes humaines. C'est une partie de ville qui vit constamment sous la menace de se voir très souvent recouverte par les eaux. Les inondations *in situ* sont une des manifestations du déséquilibre des hydrosystèmes.

En effet, l'hydrodynamique est fortement impactée par la dynamique urbaine. Cela dit, ce mouvement urbain est un fait inévitable dans un contexte d'accroissement démographique remarquable qui nécessite un accompagnement urbain qui répond à ses besoins. Cependant, la dynamique urbaine doit se faire dans le respect de l'environnement naturel et du fonctionnement de ses écosystèmes, notamment l'hydrosystème. Une vision durable consiste à rechercher des solutions pour répondre aux besoins du développement urbain des villes sans pour autant compromettre le fonctionnement de l'hydrosystème.

En plus des techniques alternatives qui consistent à favoriser l'infiltration des eaux superficielles, la mise en place de noues paysagères, les chaussées drainantes, les bassins de rétention ou encore la réutilisation des eaux grises pour l'irrigation des espaces verts, la préservation de l'hydrosystème doit être valorisée et intégrée comme un axe d'aménagement urbain, un élément de qualité du cadre de vie et de bien-être. L'intégration de l'hydrosystème dans le milieu urbain ne peut se limiter à sa vision utilisatrice. La stratégie de réintroduction de l'hydrosystème doit passer tout d'abord par l'évaluation des impacts de la dynamique urbaine sur le fonctionnement de l'hydrosystème pour projeter, par la suite, une dynamique urbaine axée sur la préservation de l'hydrosystème.

**CHAPITRE IV,
EVALUATION QUANTITATIVE SPATIOTEMPORELLE
RESULTATS, INTERPRETATION ET DISCUSSION.**

CHAPITRE IV, EVALUATION QUANTITATIVE SPATIOTEMPORELLE, RESULTATS, INTERPRETATION ET DISCUSSION.

Introduction.

L'outillage théorique auquel se réfère la présente recherche associe la dynamique urbaine, comme phénomène artificiel caractérisant le processus d'urbanisation, avec l'hydrosystème comme siège d'interférence du cycle de l'eau avec l'environnement terrestre. La dynamique urbaine est assimilée ici à la résultante des forces (e.g. mobilité de la population, périurbanisation, développement socio-économique, mondialisation) qui poussent à l'action urbaine. L'hydrosystème désigne, par ailleurs, les cours d'eau et les milieux aquatiques associés ainsi que la dynamique des flux superficiels et souterrains à l'échelle du bassin hydrographique. Le constat aujourd'hui est que son équilibre s'épuise. L'espace de mobilité des cours d'eau en effet est de plus en plus envahi par l'étalement urbain avec pour corolaire l'aggravation des risques et dommages liés aux inondations, la perte de biodiversité, la pollution hydrique et la destruction de paysages aquatiques singuliers.

La dynamique urbaine, à Annaba, continue depuis l'Indépendance (en 1962), elle est due essentiellement à l'industrie sidérurgique et aux besoins croissants d'une population en augmentation rapide. Cependant, Annaba, compte, parmi les villes d'Algérie les plus concernées par les problèmes de l'eau tels que la pénurie d'eau, la pollution hydrique et les inondations telles celles de 2002, 2010 et 2019 qui ont eu des effets humains et matériels dévastateurs (ANBH, Annaba, 2019). Au regard de ce contexte de croissance démographique continue, d'une urbanisation galopante et d'un risque d'inondation aggravé par le réchauffement climatique, la présente recherche se propose de procéder à l'évaluation quantitative et qualitative de l'impact de la dynamique urbaine de Annaba sur le fonctionnement des trois hydrosystèmes qui la drainent, à savoir, l'Oued Kouba, l'Oued Forcha et l'Oued Sidi Harb. L'association de l'évaluation qualitative et l'évaluation quantitative dans l'analyse permettrait une identification, plus correcte et plus générale, des impacts de l'urbanisation sur le fonctionnement hydrologique des bassins versants.

Le résultat attendu est de conclure à des recommandations opérationnelles en vue de la double sécurisation de la précieuse ressource et de la population urbaine face aux risques liés à l'eau, les inondations en particulier.

4.1. Le périmètre d'étude.

Dictée par la problématique de thèse, s'articulant autour de l'évaluation quantitative et qualitative de l'impact de la dynamique urbaine sur le fonctionnement de l'hydrosystème, l'approche méthodologique suivie incite à travailler à l'échelle des Bassins Versants. L'échelle spatiale est justifiée par le fait que dans sa définition, le bassin versant comprend les activités naturelles et anthropiques qui s'y passent. Le champ spatial d'analyse est, ainsi, plus vaste que l'agglomération. C'est une approche qui permet d'associer les territoires, les paysages, les ambiances et leurs dynamiques.

En outre, la compréhension des interrelations qui régissent deux systèmes dynamiques de nature bien différente, à savoir, naturelle et artificielle, et l'analyse de leurs évolutions nécessite la mise en place d'une démarche comparative spatiotemporelle qui rend compte des spécificités de leurs dynamiques. Cependant, la rapidité avec laquelle la dynamique urbaine s'opère aujourd'hui et le degré d'hétérogénéité qu'elle présente, hypothèquent, aujourd'hui, les approches classiques de cartographie et mettent l'outil de la télédétection en avant dans la recherche urbaine (Aguejdad, 2011, Herold et al, 2005, Clarke et al, 2002, Donnay et Unwin, 2001). En effet, Assimiler le sens des dynamiques urbaines et évaluer leurs impacts sur l'environnement naturel en général nécessitent le recours à des procédures de modélisation et de simulation avec une mise en exécution de méthodologie innovante et des techniques robustes (Yang et al, 2002).

Le travail d'analyse basé sur la télédétection nécessite des images satellitaires de hautes résolutions, l'échelle des bassins versant réduite relativement à celle de l'agglomération, permettrait d'acquérir des images spot à haute résolution. Par ailleurs, dans le milieu urbain, les surfaces sont rythmiquement imperméables suivant le plan de l'aménagement urbain mis en place. De fait, les eaux de ruissellement sont plus ou moins immédiatement drainées vers un réseau de canalisation. Ainsi, le bassin versant présente de multiples composantes, à savoir, urbanistiques, naturelles, socio-économiques et physiques, dans le milieu urbain.

Ces composantes s'hiérarchisent et s'interconnectent à travers des corrélations complexes. Il s'agit, donc, d'un système muni de son propre fonctionnement (Fig4.1). Les composantes du bassin versant urbain peuvent être classées en deux catégories. Effectivement, "la première catégorie concerne les composantes de type structurel, on en cite: La topographie naturelle, la géomorphologie ne s'exprime que par la pente et le réseau hydraulique et hydrographique qui communiquent généralement dans le sens amont-aval, la deuxième catégorie concerne les composantes de type dynamiques telles que: La pluie qui est considérée comme une composante dynamique naturelle et les aménagements urbains mis en place qui expriment la dynamique socio-économique" (Respaud-Medous, 1999, 38p).

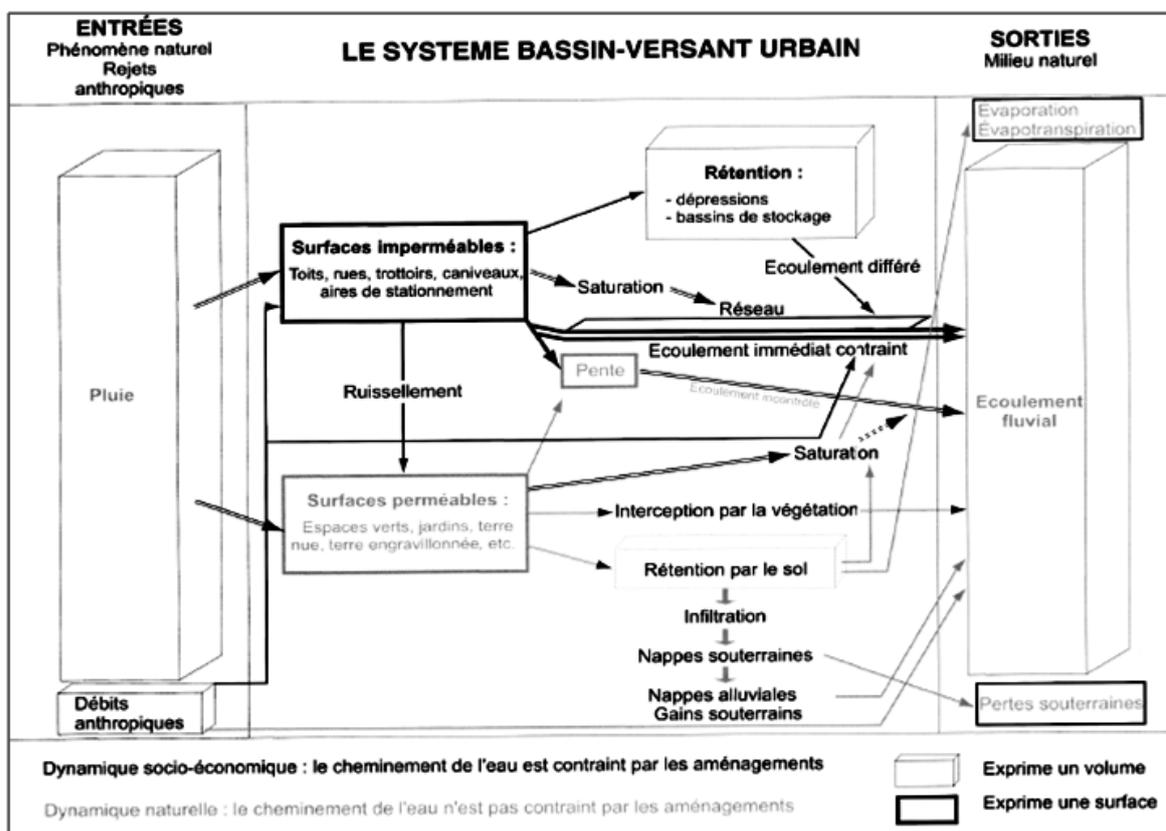


Fig4.1: Le bassin versant en milieu urbain (Respaud-Medous, 1999).

De ce schéma, on en synthétise que dans le fonctionnement du système du bassin versant urbain, c'est de la composante naturelle "la pluie" que dépende la dynamique du système. Effectivement, la logique naturelle est prépondérante à l'amont du système : La composante essentielle dans le fonctionnement de ce système demeure la composante naturelle, aléatoire, qu'est la pluie, c'est d'elle que dépendent la dynamique du système, la

saturation des sols, la saturation des divers ouvrages construits et donc la nature des écoulements engendrés. De fait, **les inondations** sont une des manifestations du déséquilibre du fonctionnement de l'hydrosystème.

4.1.1. Choix des bassins versants par Analyse Multicritères (AMC).

Dans le cadre du présent travail de recherche, trois bassins versants de l'ensemble des bassins versants définis par l'analyse morphologique de Annaba, ont été sélectionnés. Ce choix s'est établi suivant une analyse multicritère (AMC). L'objectif, à cette étape-là, est de définir les trois bassins versants les plus représentatifs, qui servent, de fait, de socles pour l'application de notre méthodologie de recherche qui vise, essentiellement, à vérifier si la répartition spatiale de la dynamique urbaine que connaît Annaba serait la cause du déséquilibre du fonctionnement de l'hydrosystème.

La réalisation d'une matrice multicritère permet de comparer différentes solutions en fonction de critères de section objectifs. En règle générale, l'objectif de l'AMC est d'aider à prendre une décision (ou à choisir entre plusieurs solutions) dans les situations de choix où aucune possibilité n'est parfaite et où différents critères entrent en conflit. L'idée de base est de considérer tous les critères entrant en compte, leur attribuer une note liée à leur importance relative, noter chaque action par rapport à tous les critères et finalement d'agrèger ces résultats (Caillet, 2003).

Par conséquent, il est nécessaire de procéder, en premier, à la détermination des critères de sélection :

Le critère n°01 : La localisation du bassin versant par rapport à la ville de Annaba.

Les bassins versants qui drainent la ville de Annaba ont un impact sur les inondations qu'a connu le milieu urbain Annabi. Effectivement, le débordement des oueds situés au sein des bassins versants qui surplombent la ville de Annaba a une influence directe sur les inondations de la ville de Annaba (Tatar Braham, 2010). Nous considérons les inondations comme indicateurs du déséquilibre des hydrosystèmes.

Le critère n°02 : L'état du réseau hydrographique du bassin versant.

Il s'agit de distinguer les bassins versants ayant un réseau hydrographique dense et ramifié des bassins versants ayant un réseau hydrographique léger ou délayé.

Le critère n°03 : La disponibilité de l'information sur les inondations (2002-2019).

L'accès à l'information auprès des administrations n'a pas été une tâche aisée. Notons ici, que le nombre d'informations relatif au cas d'étude diffère d'un bassin versant à un autre.

En récapitulatif, nous allons sélectionner trois bassins versants parmi les neufs présentés par l'analyse morphologique de la wilaya de Annaba, et ce, suivant une Analyse Multicritères (AMC). Les bassins versants sont notés sur 10 et les critères sont pondérés. Soit, la localisation du bassin versant par rapport à la ville compte pour 5/10, l'état du réseau hydrographique du bassin versant compte pour 3/10 et enfin, la disponibilité de l'information compte pour 2/10 (Tab4.1).

Tab4.1 : Critères de sélection et pondération, (Mellouk, 2019).

Pondération des critères	Note du critère /10
La localisation du BV par rapport à la ville de Annaba	5
L'état du réseau hydrographique du BV	3
La disponibilité de l'information relative au BV	2

Le critère relatif à la localisation du bassin versant par rapport à la ville de Annaba obtient la pondération la plus forte 5, c'est un paramètre important dans l'illustration de l'état de l'hydrosystème. Effectivement, nous avons pris comme point de départ les inondations à Annaba, qui sont une des manifestations du déséquilibre du fonctionnement d'un hydrosystème. Ainsi, les bassins versants qui surplombent et drainent la ville de Annaba sont les plus concernés. Par ailleurs, la pondération de 3 est attribuée au critère relatif à l'état du réseau hydrographique du bassin versant, ce critère est, également, important dans la mesure où plus le bassin versant a un réseau hydrographique dense et ramifié plus il est plus illustratif.

Et enfin, le critère relatif à la disponibilité de l'information relative au bassin versant obtient la pondération de 2 car plus l'information est facile d'accès plus le travail est enrichi. Ainsi, chaque Bassin versant sera noté suivant les critères présentés. Chaque note sera, par la suite, pondérée suivant les notes de pondération affecté à chaque critère. Il s'agira, ensuite, de déduire les trois bassins versants qui obtiendront les trois plus fortes notes (Tab4.2).

Evaluation quantitative spatiotemporelle, Résultats, Interprétation et Discussion.

Tableau 4.2: Tableau matriciel illustrant la sélection des bassins versants, (Mellouk, 2019).

	La localisation du BV par rapport à la ville de Annaba	L'état du réseau hydrographique du BV	La disponibilité de l'information relative au BV	Note /100	Rang /9
Le BV de l'Oued Seybouse	7	7	8	72	7
Le BV de l'Oued Boudjemâa	5	5	3	46	8
Le BV de Kef Lemette	6	8	2	58	6
Le BV de l'Oued Kouba	8	9	8	83	3
Le BV de l'Oued Zaafrania	8	6	4	66	4
Le BV de l'Oued Forcha	8	9	6	79	1
Le BV de l'Oued Sidi Harb	8	9	5	77	2
Le BV de l'Oued Bouhdid	7	9	2	66	5
Le BV de chaabet Mérsébu	6	5	1	47	9

La lecture verticale du tableau matriciel (Tab4.2) permet la lecture des notes attribuées à chaque bassin versant suivant les critères de sélection.

Ces notes sont accordées respectivement aux bassins versants suite à un travail bibliographique et un travail sur terrain.

- Les notes relatives au critère "La localisation du bassin versant par rapport à la ville" ont été attribuées suivant l'influence de chaque bassin versant sur les inondations de la ville de Annaba, notons ici que chaque bassin versant qui draine la ville de Annaba impacte sur ses inondations. C'est les bassins versants de l'Oued Kouba, de l'Oued Zaafrania, de l'Oued Forcha et enfin celui de l'Oued Sidi Harb qui obtiendront la note la plus forte (8/10) car ces quatre bassins versants qui bordent la ville de Annaba.
- En ce qui concerne les notes affectées aux différents bassins versants et suivant le critère " l'état du réseau hydrographique du bassin versant" c'est les bassins versants de l'Oued Kouba, de l'Oued Forcha, de l'Oued de Sidi Harb et de l'Oued Bouhdid qui obtiendront la plus forte note (9/10). Cela peut être justifié par leurs caractéristiques géomorphologiques. C'est les bassins versants qui se caractérisent par des pentes faibles à très faibles à l'aval et des versants à pentes très fortes et raides à l'amont, le réseau hydrographique est ainsi bien dense et ramifié.
- Quant aux notes attribuées aux bassins versants relatives à la disponibilité de l'information, elles sont justifiées par le travail de récolte d'information sur terrain, nous avons, donc, attribué les plus fortes notes aux bassins versants dont l'accès à l'information est le plus aisé. Ainsi, c'est les bassins versants de l'Oued Seybouse, de l'Oued Kouba et de l'Oued Forcha qui acquièrent respectivement les notes de (8, 8 et 6).

La note globale qu'a obtenue chaque bassin versant a été calculée suivant la formule suivante :

Note G = (La note relative au critère "localisation"* 5) + (la note relative au critère "état du réseau hydrographique"*3) + (la note relative au critère "disponibilité de l'information"*2).

Partant, les notes globales ont été agencées suivant un ordre progressif, les trois premières notes renseignent sur les trois bassins versants :

- Qui drainent la ville de Annaba ayant de fait un impact sur les inondations à son niveau.
- Ayant un réseau hydrographique dense et ramifié.
- Les informations relatives à ces derniers sont disponibles.

En conséquent, les bassins versants de **l'Oued Kouba**, de **l'Oued Forcha** et enfin de **l'Oued Sidi Harb** ont été choisis comme cas d'étude.

Les trois bassins versants appartiennent au versant Sud de l'Edough. Ils surplombent la ville de Annaba et se particularisent par une grande dépression constituée par une série de koudiats et de collines. On y distingue, ainsi, la plaine Nord drainée par l'Oued Kouba, et la plaine Ouest drainée par l'Oued Forcha et l'Oued Sidi Harb. C'est une zone qui se distingue par la série des alternances des roches cristallophylliennes (gneiss, micaschistes, etc.), une série, très tectonisée, se caractérise par une fissuration bien marquée le long des failles donnant naissance à un réseau hydrographique dense et à l'émergence de quelques sources (PDAU, 2008).

4.1.2. Acquisition et traitement des données satellitaires.

Classiquement, le suivi et l'analyse des dynamiques urbaines des territoires sont réalisés sur la base de données sur les recensements de la population ou sur la base de données sur l'occupation du sol existantes (Castel, 2004). Cependant, avec le développement des capteurs satellitaires qui a mené à la production des images satellitaires à très hautes résolutions spatiales, la télédétection devient un outil incontournable et très sollicité dans le suivi des changements de l'occupation du sol et des dynamiques urbaines (Skupinski et al, 2009).

Les images satellitaires qui concernent les bassins versants de l'Oued Kouba, de l'Oued Forcha et celui de l'Oued Sidi Harb sont obtenues par un même capteur (*Landsat 7 ETM+*), et ainsi, une même géométrie d'observation. L'utilisation d'un même capteur épargne, de fait, quelques corrections géométriques.

En effet, les prises de vue ne se font pas dans des coordonnées calées, avec exactitude, sur les systèmes de projection cartographique standards. De surcroit, des facteurs influent sur la géométrie d'observation de chaque capteur satellitaire, comme les effets de rotondité de la terre, les déformations dans les périphéries de l'image dues essentiellement aux variations d'inclinaison du capteur. Les images satellitaires obtenues sont dépourvues de couvert nuageux (période d'acquisition entre le mois de Mai et le mois de Juillet). De ce fait, les ombres portées sont négligeables, un point important pour le travail des classifications supervisées qui suit.

En effet, la classification dépend de la qualité et des propriétés des images satellitaires. Par exemple, dans un paysage de zone urbaine, on devra définir une classe zone urbaine au soleil et une classe de zone urbaine ombragée, cette séparation en sous classes rend le procédé plus complexe. Le choix d'une période d'acquisition dépourvue de couvert nuageux évitera cette séparation et le recours au prétraitement topographique.

Dans l'étude des changements de l'occupation du sol à travers des données satellitaires la période d'acquisition des images est très importante. C'est effectivement, les images prises pendant les mois les plus ensoleillés de l'année que le contraste est le plus significatif entre les objets urbains et les objets non urbains. Aussi, l'acquisition d'images satellitaires dans la même période de l'année est recommandée pour l'étude diachronique. Cela réduit les erreurs liées aux variations saisonnières, au changement phénologique de la végétation, aux différences d'angles solaires et aussi à la différence d'humidité des sols.

Cependant, les images satellitaires disponibles sur l'USGS et sur Google-earth de la zone d'étude pour l'année 2002 sont d'une résolution très faible, et donc inutilisables dans le cadre de la présente recherche.

Par conséquent, une demande a été adressée à l'INCT (Institut national de cartographie et de télédétection) qui a fourni une série d'images aériennes, datant de 2002, couvrant l'ensemble des trois bassins versants de la zone d'étude (Fig4.2).

Un travail d'assemblage de ces images a été réalisé par la suite avec l'outil ArcGIS (Arcmap 10.3). La phase suivante de prétraitement des images satellitaires et l'assemblage des photographies aériennes a consisté au géoréférencement des cartes. C'est une procédure qui consiste à indiquer les coordonnées géographiques connues d'un nombre suffisant de points sur l'image que l'on traite (Audelan et al, 2016).

Une fois la carte rattachée à un système de coordonnées connu, elle est prête pour être utilisée dans l'analyse spatiale. Le géo référencement est un principe fondamental et de base de tout travail avec les systèmes d'informations géographiques (SIG). Il permet la superposition de plusieurs couches de données SIG sur la surface de la terre.

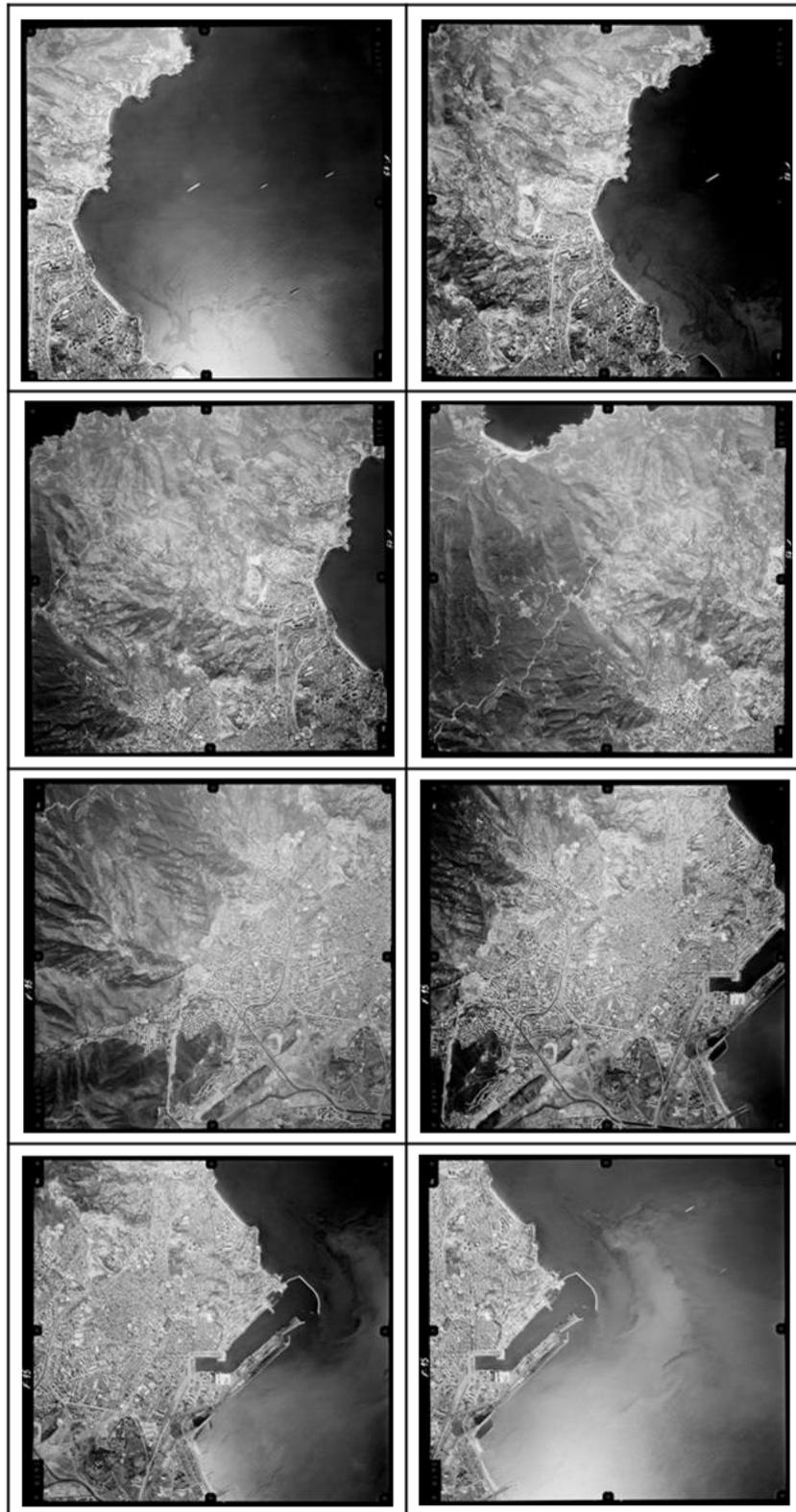


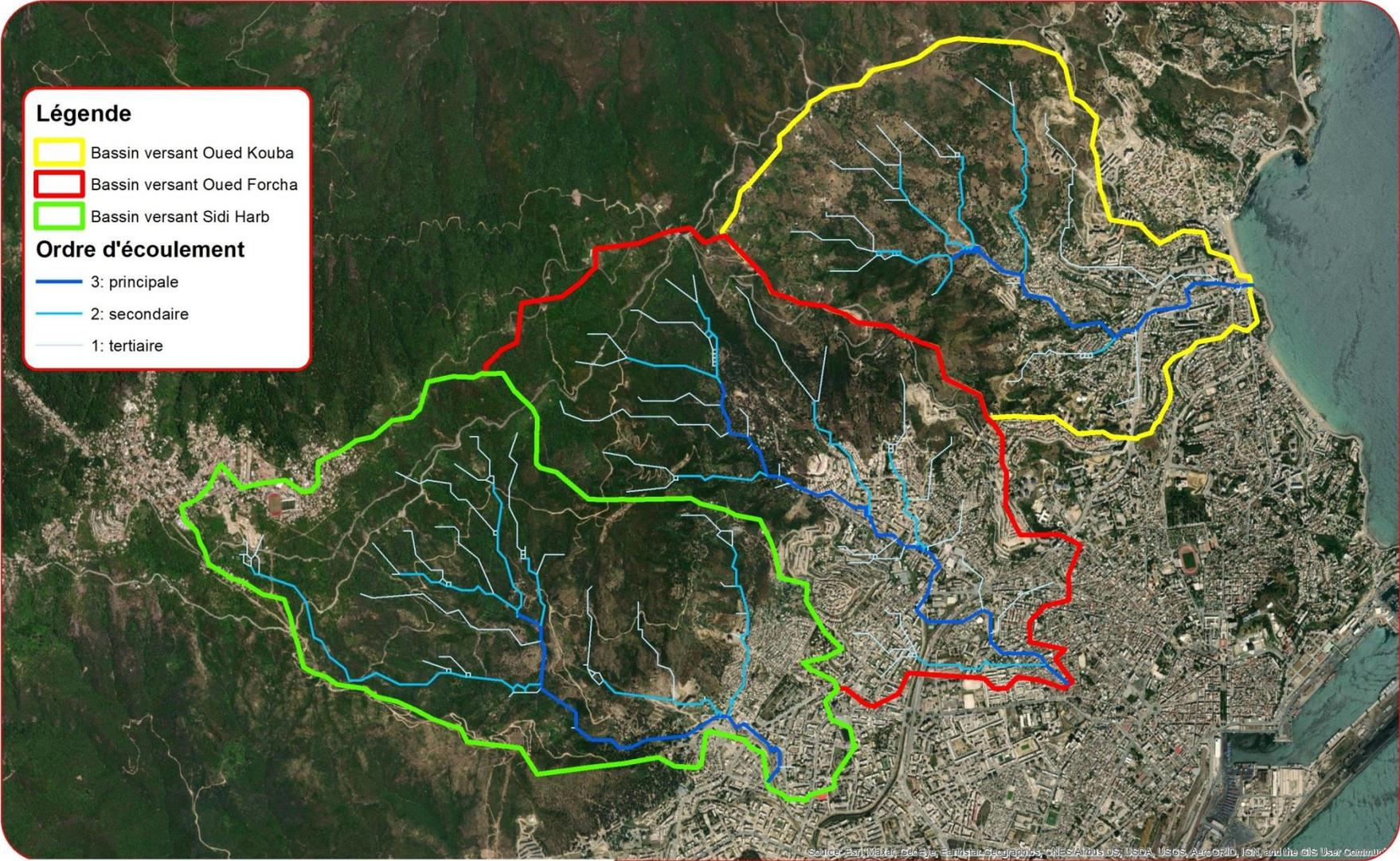
Fig4.2 : Photographies aériennes, avant assemblage, qui couvrent la zone d'étude (BVs de l'Oued Kouba, de l'Oued Forcha et l'Oued Sidi Harb), (INCT, 2018).

4.1.3. Délimitation de la zone d'étude et profil hydrographique.

La carte IV.1 a été réalisée avec Arcmap 10.3 (ArcGIS) dans l'objectif de délimiter la zone d'étude et les réseaux hydrographiques associés. La zone d'étude est constituée de trois bassins versants, à savoir, le bassin versant de l'Oued Kouba, le bassin versant de l'Oued Forcha, et enfin celui de l'Oued Sidi Harb. La carte montre le réseau hydrographique dépourvus de toutes modifications anthropiques (travaux de canalisation, de calibrages...). La délimitation des bassins versants ainsi que leurs réseaux hydrographiques respectifs est réalisée à partir du Modèle Numérique d'Altitude (MNA) disponible pour la région d'étude. Les MNA contiennent toute l'information géométrique et radiométrique pertinente requise pour partitionner les bassins versants et délimiter le réseau hydrographique. Le modèle numérique d'altitude est créé à partir d'une série de points qui recueillent des données d'un altimètre ou d'un GPS. Des hauteurs sont interpolées entre les points. Le fond satellitaire a été par la suite ajouté pour intégrer la zone d'étude délimitée dans son environnement urbain et paysager. L'image satellitaire est téléchargée depuis Google-earth. Les bassins versants sont spatialement limitrophes, situés dans le versant Sud du mont Edough dont la particularité réside en sa nature géologique (alternances de roches cristallophylliennes, Gneiss, micaschistes, etc.) qui lui confère un réseau hydrographique riche et dense (Chafai et al, 2005). Les différents bassins versants possèdent des caractéristiques géomorphologiques et climatiques quasi identiques. La similarité de leurs caractéristiques facilite la comparaison de l'impact de l'urbanisation sur le processus d'écoulement dans chacun d'eux. L'évaluation quantitative et qualitative de la dynamique urbaine de la zone d'étude se réfère à une série de neuf images satellitaires à haute résolution spatiale espacées d'une période de (± 8.5 années) qui montrent l'évolution de l'occupation des sols, l'intervalle de temps d'étude est 2002 - 2019. Les images satellitaires de 2010 et de 2019 sont téléchargées depuis le site de l'USGS¹ (United States Geological Survey), une plateforme qui fournit, depuis son *Data Set*, une large gamme d'images satellitaires.

¹ <https://earthexplorer.usgs.gov/>

Délimitation des bassins versants (w. Annaba)



Système de coordonnées: WGS 1984 UTM Zone 32N

Carte réalisée par Karima Mellouk

4.2. Analyse quantitative spatio-temporelle de l'impact de la dynamique urbaine sur la durabilité des hydrosystèmes.

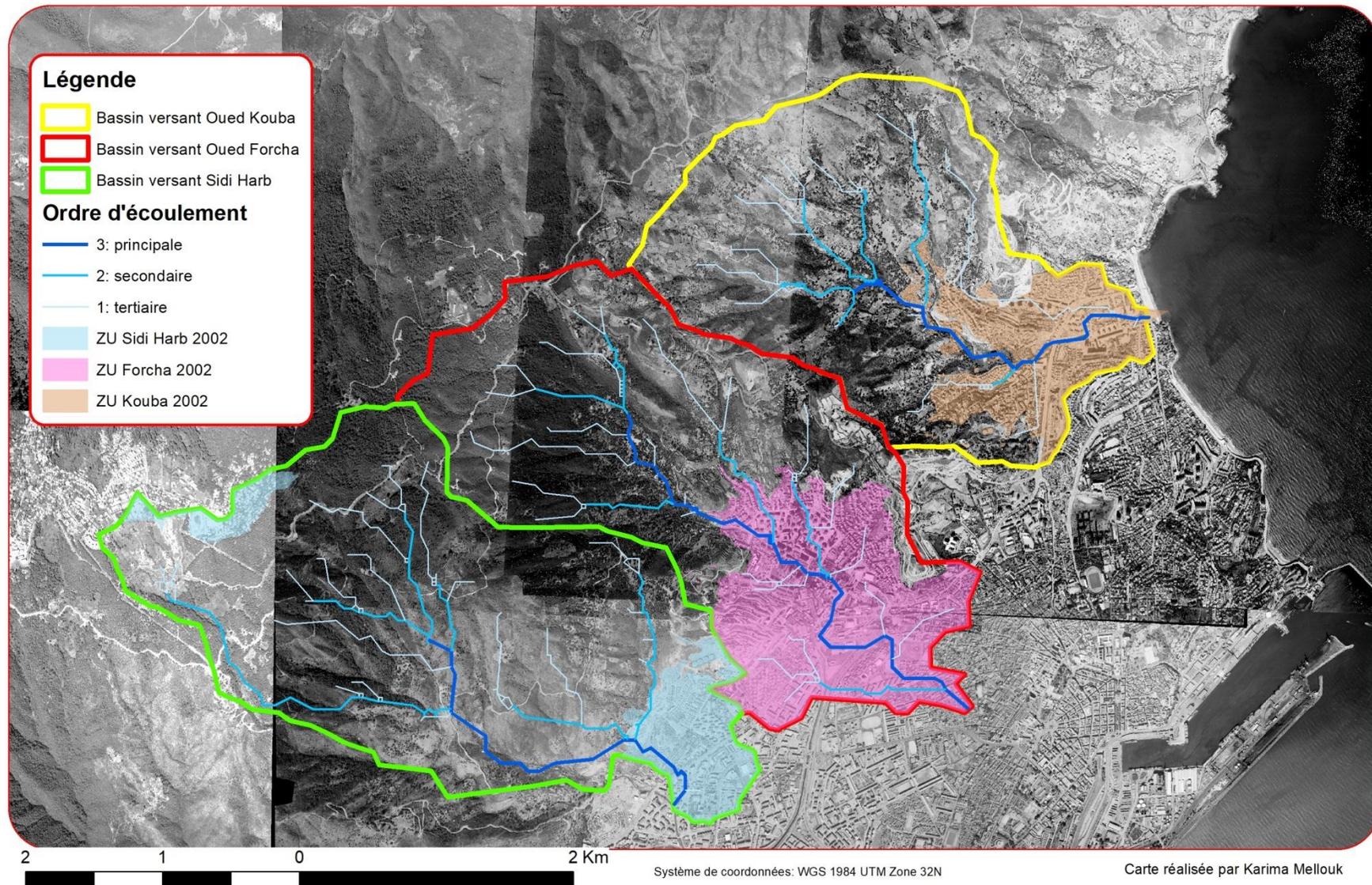
Dans le cadre de la présente recherche, il est fait référence à deux systèmes dynamiques, évolutifs et de nature différente : la dynamique urbaine d'une part et l'hydrodynamique ou dynamique d'un hydrosystème d'autre part. **La dynamique urbaine** est assimilée à la résultante des forces (e.g. mobilité de la population, périurbanisation, développement socio-économique, mondialisation) qui poussent à l'action urbaine (Bouzahzah, 2015). **L'hydrosystème** désigne, les cours d'eau et milieux aquatiques associés ainsi que la dynamique des flux superficiels et souterrains à l'échelle du bassin hydrographique. Le constat aujourd'hui est que le fonctionnement de l'hydrosystème est contraint par la dynamique urbaine. Cela génère des inondations, la perte de biodiversité, la pollution hydrique et la destruction de paysages aquatiques singuliers. Pour rappel, ce travail de thèse stipule que la dynamique urbaine serait dommageable au bon fonctionnement des hydrosystèmes moins de son propre fait, que par sa distribution spatiale interférant avec la géographie et la dynamique de l'eau au sein des bassins versants. Le travail d'analyse qui suit confronte la dynamique urbaine, comme phénomène artificiel caractérisant le processus d'urbanisation, avec l'hydrosystème comme siège d'interférence du cycle de l'eau avec l'environnement terrestre.

L'objectif principal consiste en l'évaluation quantitative et qualitative de l'impact de la dynamique urbaine sur l'équilibre du fonctionnement de l'hydrosystème. La première étape de l'évaluation est détaillée dans le présent chapitre, à savoir, l'*évaluation quantitative* de l'impact de la dynamique urbaine sur le fonctionnement des trois hydrosystèmes, a comme principal objectif d'apprécier la répartition de cet impact en termes de surface et de densité urbaine à travers les trois bassins versants d'étude. La méthode consiste à i) l'analyse diachronique de trois générations d'images satellitaires à l'aide du logiciel Arcmap (ArcGIS) ; ii) calcul et comparaison des indices hydrologiques (débits de pointe et temps de concentration).

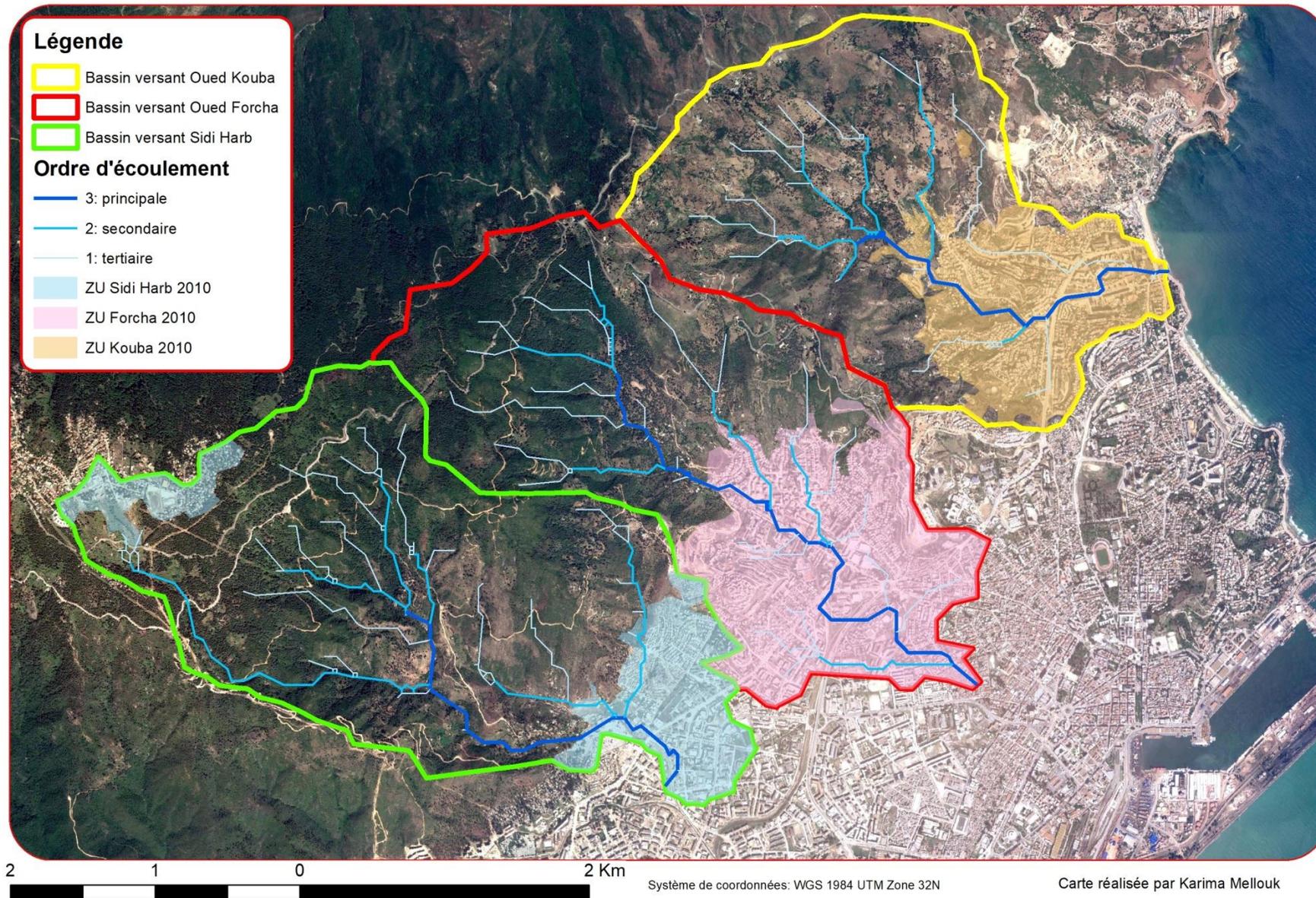
4.2.1. Analyse diachronique de la dynamique urbaine par images satellitaires.

L'analyse spatiale diachronique consiste à comparer des images entre elles (cartes : 4.2-4.3- 4.4).

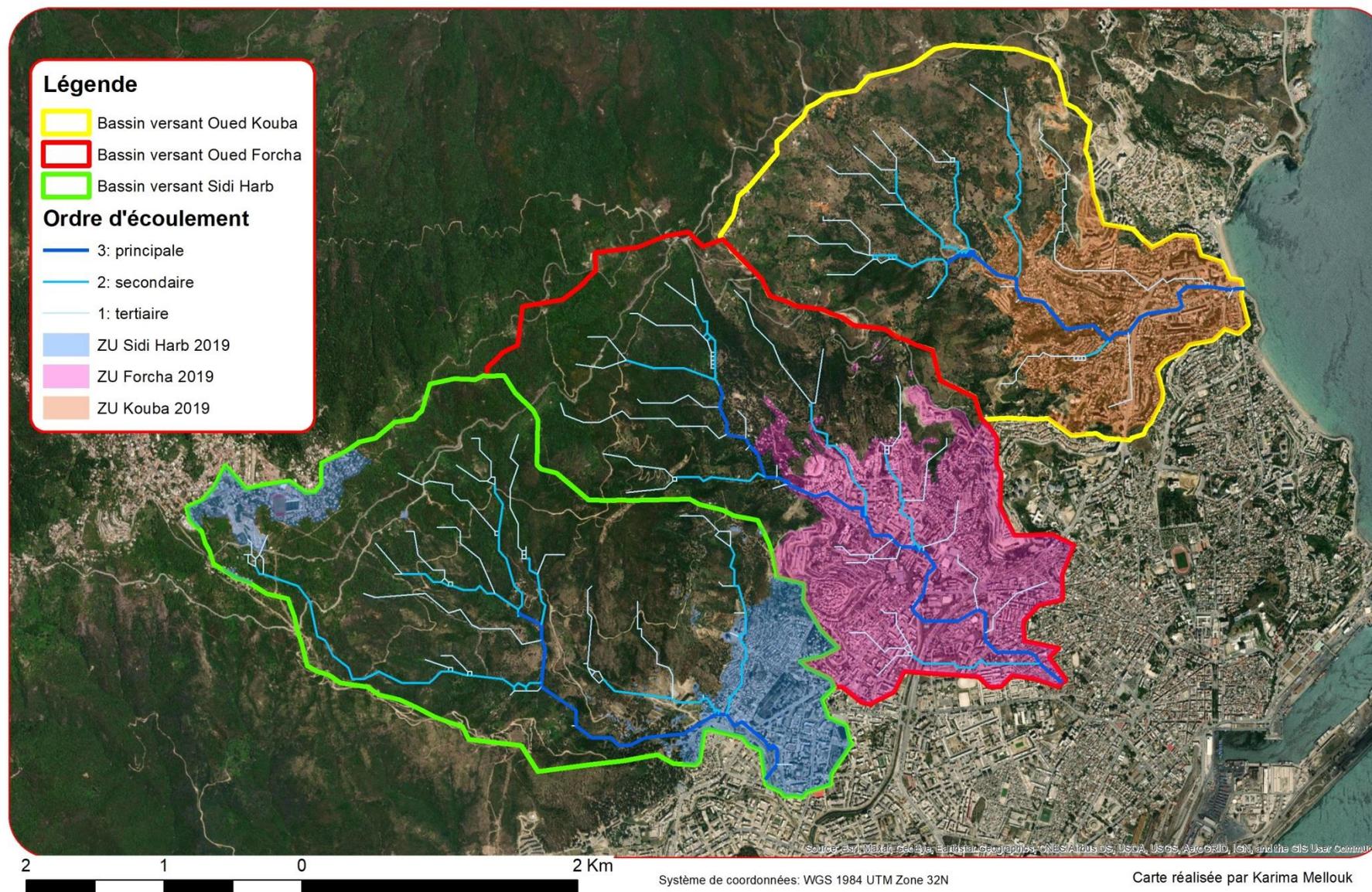
Délimitation des zone urbaines par sous bassins versants (W.Annaba 2002)



Délimitation des zone urbaines par sous bassins versants (W.Annaba 2010)



Délimitation des zones urbaines par sous bassins versants (W. Annaba 2019)



De prime abord, les premières observations permettent de diagnostiquer une dynamique urbaine continue durant l'intervalle de temps d'étude (2002-2019). Le taux d'urbanisation, cependant, et le mode d'expansion diffèrent d'un bassin versant à un autre.

Aussi, il peut être aisément constaté que la dynamique urbaine de la zone d'étude s'est faite, dans l'ensemble des trois bassins versants, par extension de ses limites plus ou moins continue. L'analyse des orientations de l'évolution de l'occupation de sol entre 2002 et 2019 montre que les directions des axes des trois différentes dynamiques urbaines sont orientées Sud-Ouest, vers les versants Sud de l'Edough.

C'est une dynamique urbaine qui peut être assimilée, à *un feu de forêt* comme l'exprime Enault : « la ville consume les surfaces les plus proches tout en envoyant des mèches enflammées sur de longues distances, ces dernières sont à l'origine de nouveaux feux secondaires agissant comme le foyer principal. Tout comme un processus de diffusion classique, l'étalement urbain procède donc par contagion » (Enault, 2003, 54p).

Les trajectoires de la dynamique urbaine prennent siège, d'après l'analyse des différentes cartes, essentiellement dans les parties plates des bassins versants, dans les lits majeurs des cours d'eau principaux et secondaires. La dynamique urbaine se produit, en grande partie au détriment de la végétation et des espaces naturels.

De surcroît, on remarque, à travers ces images satellitaires, qu'au fur et à mesure qu'avance le front de la dynamique urbaine, le réseau hydrographique apparent s'estompe. La visite de terrain a, effectivement, permis de confirmer que les cours d'eau principaux, à savoir, l'Oued Kouba, l'Oued Forcha et l'Oued Sidi Harb ont connu des travaux d'endiguement et de rectification. Ils sont acheminés dans des canalisations visibles (Fig4.3). Tandis que, les rivières les plus modestes, de second ordre, ont été enterrées.

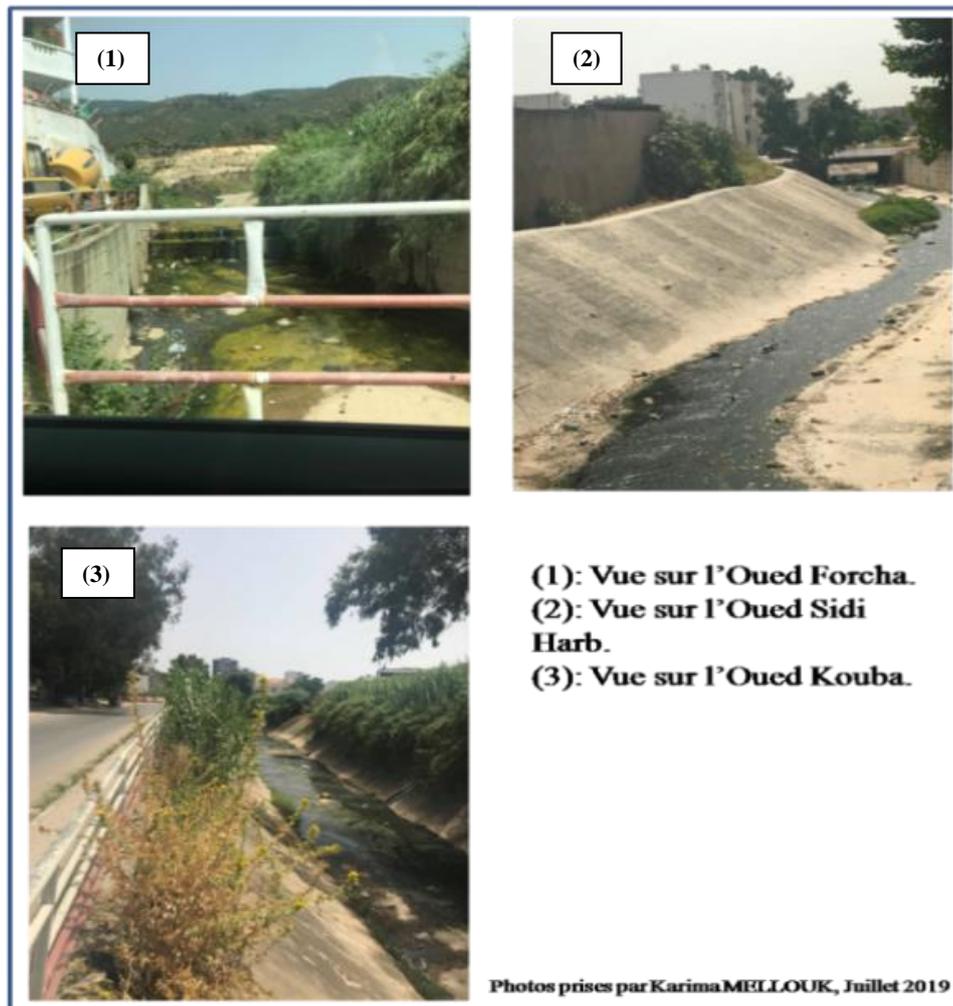


Fig4.3: Endiguement des cours d'eau principaux des trois bassins versants de la zone d'étude, (Mellouk, 2019).

L'artificialisation des rivières principales des trois bassins versants qui drainent la ville de Annaba représente un réel danger et a favorisé, en partie, la vulnérabilité de la ville aux inondations en cas de fortes crues. Effectivement, les cours d'eau principaux des bassins versants de l'Oued Kouba, de l'Oued Forcha, et de l'Oued Sidi Harb ont perdu, toutes possibilités d'épanchement de leurs trop-pleins en cas de crues.

Finalement, la ville est protégée tant que la hauteur du ruissellement des eaux au sein de l'endiguement ne dépasse pas la hauteur des digues. Une protection qui connaît très vite ses limites car à l'accroissement de l'intensité des précipitations, la ville se retrouve submergée d'eau créant ainsi des paysages de véhicules et de marchandises flottants, c'est le cas des inondations de Janvier 2019 (fig4.4).



Fig.4.4: Arrêt sur image, Inondations de Janvier 2019 (cité Mars, Sortie de Annaba vers Guelma et S/Ahras), (Mellouk, 2019).

En outre, par la création de chemins artificiels d'écoulement, l'urbanisation tend à réduire le temps de concentration², qui a un impact direct sur le risque des crues par l'augmentation des débits à l'exutoire des bassins versants (Fig.45).

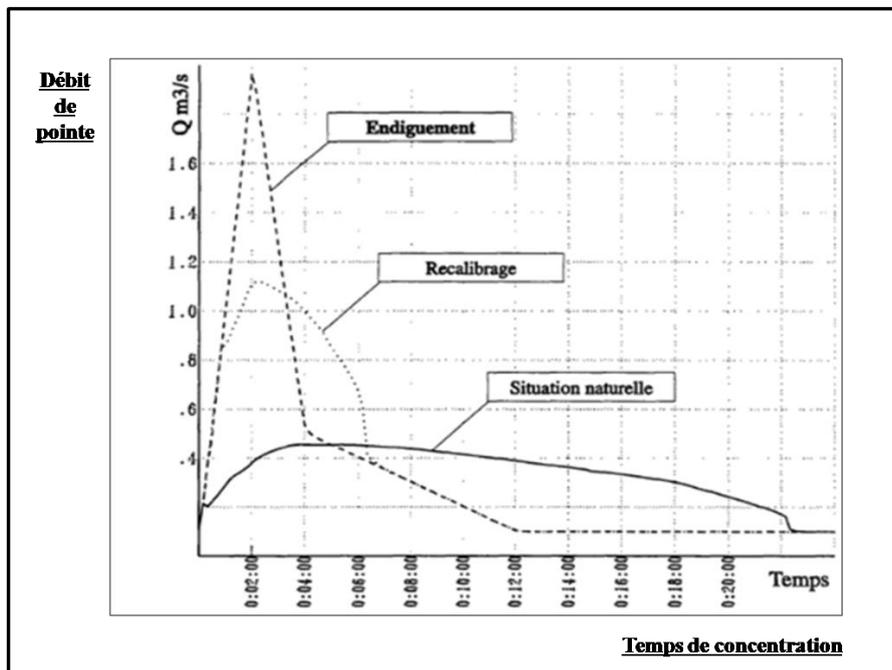


Fig4.5: Effets de l'artificialisation des cours d'eau sur le temps de concentration et le débit de pointe (Wasson et al, 1998).

² Le temps de concentration est le temps nécessaire pour permettre à l'eau de ruisseler du point le plus haut d'un bassin versant jusqu'au point le plus bas de ce dernier (STAMPFLI, 2007).

Effectivement, ces chemins artificiels ont la particularité d'être des chemins directs avec moins de rugosité et moins élevés que les surfaces naturelles. L'impact majeur de l'artificialisation des collecteurs naturels des eaux de surfaces, ou la "chenalisation" (recalibrage, réalignement, endiguement, rectification, curage) est l'homogénéité des conditions d'écoulement.

L'impact de l'artificialisation des cours d'eau combiné à d'autres facteurs, comme le non-respect de l'entretien et du nettoyage régulier des ouvrages hydrauliques expliquent en partie, la récurrence des inondations que connaît la ville de Annaba. De surcroît, sur le plan écologique, l'artificialisation des cours d'eau menace la durabilité du fonctionnement de l'hydrosystème. Effectivement, le cours d'eau est un milieu vivant et doit être considérée dans sa dynamique fluviale et ne peut être cloisonné, séparé de son environnement, du bassin versant qui l'alimente et en particulier de son lit majeur et de sa nappe phréatique avec lesquels il entretient des échanges indispensables à son fonctionnel. Effectivement, l'urbanisation tend à créer une uniformisation des milieux d'eau, alors que la diversité est nécessaire à l'accomplissement des principales phases du cycle biologique de nombreuses espèces (Oertli et al, 2019).

L'alternance des crues et des étiages, le transport solide et la diversité des habitats aquatiques sont indispensables à la durabilité du fonctionnement du cours d'eau, en leurs absences, la pollution de ces espaces augmente et c'est le cas des cours d'eau principaux de la zone d'étude (Fig4.6, Fig4.7 et Fig4.8).



Photo prise en 2019, source Mellouk.



Photo prise en 2009, source Beloulou.

Fig4.6: Etats du cours d'eau de l'Oued Kouba.



Photo prise en 2019, source Mellouk.



Photo prise en 2009, source Beloulou.

Fig4.7: Etats du cours d'eau de l'Oued Forcha.



Photo prise en 2019, source Mellouk.

Photo prise en 2009, source Beloulou.

Fig4.8: Etats du cours d'eau de l'Oued Sidi Harb.

Par ailleurs, et à travers l'analyse des différentes images satellitaires de 2002,2010 et de 2019, on constate que le réseau viaire se densifie et se développe suivant deux axes, un premier perpendiculaire à la pente du talweg et un deuxième parallèle à cette dernière. En suivant l'axe perpendiculaire à la pente, le réseau viaire a constitué un véritable obstacle à l'écoulement des eaux qui sont, par le fait, acheminées vers des passages artificiels.

La voirie se développant parallèlement à la pente n'est pas dépourvue de conséquences sur l'équilibre de l'hydrosystème. Effectivement, le réseau routier, marqué par son imperméabilité, achemine les eaux de ruissellement vers les points exutoires en aval avec des vitesses importantes. Pouvant ainsi engendrer des effets dévastateurs pour le milieu naturel et pour le milieu urbain.

4.2.2. Evaluation de l'impact de la dynamique urbaine sur les indices hydrologiques (débit de pointe et temps de concentration).

Dans le but de quantifier l'impact de la dynamique urbaine sur la dynamique de l'hydrosystème, l'évolution de l'urbanisation est rapportée à la réponse hydrologique des bassins versants urbains par le calcul du temps de concentration (T_c) et du volume des débits à l'exutoire (Q).

Les effets les plus fréquents de l'urbanisation sur l'hydrologie en général sont la diminution des temps de concentration et l'augmentation du débit à l'exutoire. Cela dit, l'intensité de l'impact de l'urbanisation peut varier selon le contexte. En effet, les caractéristiques géographiques, morphologique, climatologique ou encore l'historique urbain de chaque contexte peut influencer sur l'intensité de l'impact de l'urbanisation (Salavati, 2015).

Pour rappel, le temps de concentration est le temps nécessaire à l'eau pour ruisseler du point le plus haut d'un bassin versant jusqu'au point le plus bas de ce dernier. Le temps de concentration (T_c) peut être déduit de mesures sur le terrain ou estimé par des formules empiriques (Stampfli, 2007). En règle générale, le temps de concentration est utilisé pour mesurer la réponse d'un bassin versant à un événement pluvieux. La réponse hydrologique décrit la réaction d'un bassin versant sollicité par un événement pluvieux, elle peut être nulle, ce qui traduit une absence de crues, et une absence de modifications de l'écoulement ou dans le cas contraire, positive.

Le temps de concentration résume les processus suivants :

- (T_h), le temps d'humectation ; qui est le temps nécessaire à l'imbibition par le sol de l'eau précipitée avant qu'elle ne ruisselle.
- (T_r), le temps de ruissellement ou d'écoulement ; qui est le temps qui correspond à la durée d'écoulement de l'eau à la surface ou dans les premiers horizons du sol jusqu'à un système collecteur, qu'il soit naturel comme un cours d'eau ou artificiel.
- (T_a), le temps d'acheminement ; ou le temps mis par l'eau pour se déplacer dans le système de collecte jusqu'à l'exutoire (Frossard et Oertli, 2013).

Les surfaces urbanisées, caractérisées par des zones imperméables à l'eau, augmentent le volume de l'eau écoulé à l'exutoire d'un bassin versant, réduisent les infiltrations des eaux et diminuent, de fait, le temps de concentration (T_c). Effectivement, l'évaluation de l'effet de l'urbanisation sur le temps de concentration montre que l'urbanisation a un impact considérable sur le temps de concentration, la conversion de la surface terrestre de rugueuse (état naturel) à lisse ou de perméable à imperméable fait que le temps de concentration soit plus court (Laterrasse, 2018).

Il existe, par ailleurs, une corrélation négative entre le temps de concentration (T_c) et le débit à l'exutoire des bassins versants, ce dernier défini comme étant le débit maximal d'un bassin versant pour une précipitation donnée (Jourget, 2014). Effectivement, avec la diminution du (T_c) le débit de pointe croît remarquablement, " La réduction des temps de concentration a pour conséquence d'élever considérablement les débits de pointe. Elle augmente la sensibilité des bassins versants aux pluies. Selon certaines études, la réduction des temps de réponse peut conduire à une multiplication du débit de pointe par un facteur allant de 5 à 50" (Beseme, 1995, 40p) (Fig4.9).

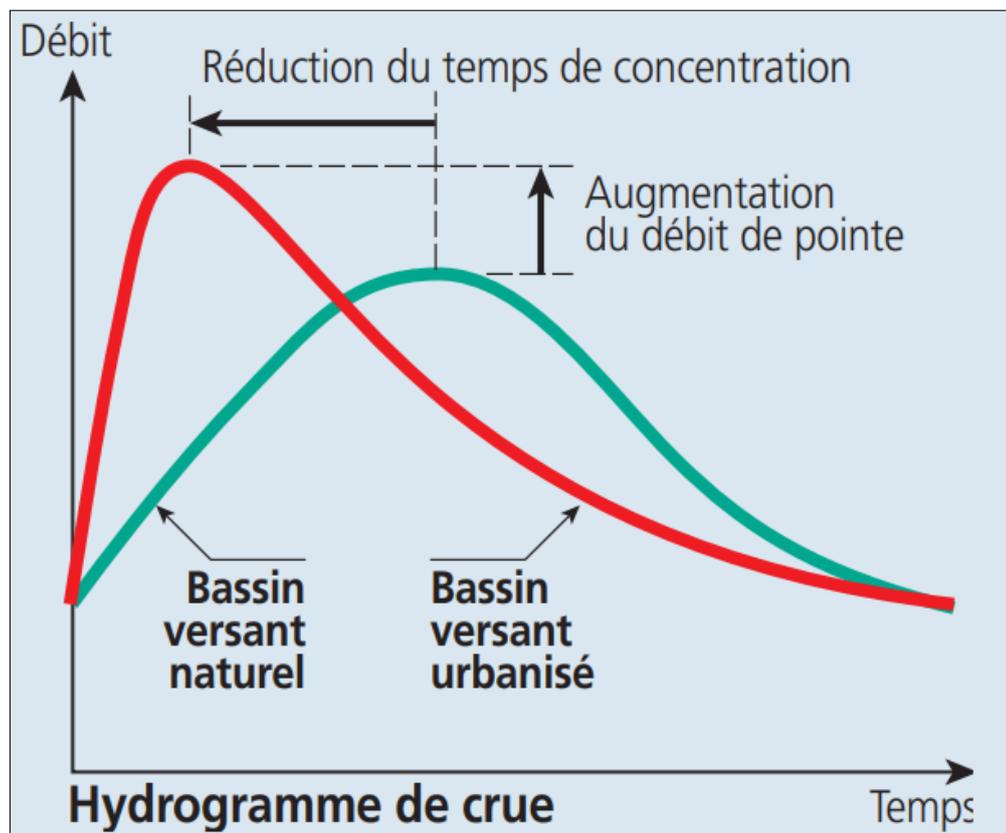


Fig4.9: Débit de pointe et temps de concentration, (Astee, et al, 2013).

Ces indices hydrographiques, à savoir le temps de concentration (T_c) et le débit de pointe (Q), dépendent de plusieurs paramètres comme la topographie, la géologie, la pente et notamment l'occupation du sol (Nestor-Raul, 2014).

Dans le cas d'étude c'est l'impact de l'occupation du sol sur, le temps de concentration et le débit de pointe, qui est mis en avant vu que les trois bassins versants concernés par ce présent travail de recherche, l'Oued Kouba, l'Oued Forcha et l'Oued Sidi Harb sont très proches spatialement et en termes de caractéristiques géomorphologiques et climatologiques. Cela a permis de diminuer l'effet de ces caractéristiques et de ne retenir que celui de la dynamique urbaine.

De prime abord, il est essentiel de préciser que les bassins versants étudiés **ne disposent pas de moyens de mesure de la majorité des paramètres hydrologiques** (la hauteur des eaux lors des inondations, les débits de pointes...) (Beloulou, 2008, ABH de Annaba, 2019). Le recours, ainsi, aux méthodes empiriques (calcul se basant sur des formules) de transposition de la donnée a été indispensable.

Le calcul du temps de concentration (T_c) est réalisé pour les trois bassins versants étudiés à trois dates, 2002, 2010 et 2019. L'analyse des valeurs du (T_c) rapportées à la dynamique urbaine permet d'apprécier, quantitativement l'impact de cette dernière sur le temps de concentration (T_c) des trois bassins versants.

Le temps de concentration (T_c) de chaque bassin versant est calculé pour chaque année considérant une moyenne de précipitations (i), de (45 mm/h), calculée pour une période de retour de 10 ans, par Beloulou, dans son travail de thèse³ de doctorat en hydrologie.

Cette donnée est indispensable pour le calcul du temps de concentration, détaillée dans le paragraphe qui suit. La même valeur ($i= 45\text{mm/h}$) a été adoptée pour le calcul des différents temps de concentration afin de mieux apprécier les résultats de l'impact urbain sur la variation du temps de concentration et d'analyser, l'impact de la dynamique urbaine sur le fonctionnement des hydrosystèmes des bassins versants étudiés.

Le changement de la réaction des bassins versants face aux précipitations d'une même intensité (i) est, ainsi, analysé à travers les résultats des calculs. Il existe dans la littérature plusieurs méthodes de calcul du temps de concentrations d'un bassin versant, les équations de Passini, 1998, Papadakis et Kazan, 1986, Mocks, 1972, Kirpich, 1940.

³ Thèse soutenue en Décembre 2008, à l'Université Badji Moukhtar, Annaba, département de l'hydraulique, par Laroussi BELOULOU.

Le choix s'est porté sur la formule la plus récente de Wolfe, 2006, qui fait intervenir le pourcentage de la partie imperméable dans le calcul.

La formule utilisée dans le travail d'évaluation qui suit se présente comme suit :

$$T_c = 0.31 \times L^{0.483} / (C_d \times i)^{0.519} \times I^{0.135}$$

$$C_d = (0.9 \times IMP) + (1.0 - IMP) \times C_u$$

T_c : Temps de concentration (min).

L : Longueur du plus long parcours (ft).

C_a : Coefficient de ruissellement de la partie développé du bassin.

i_t : Intensité de pluie à l'instant t (in/h).

I : Pente du plus long thalweg (ft/ft).

IMP : Pourcentage de la partie imperméable exprimé en décimal (de 0.0 à 1.0).

C_u : Coefficient de ruissellement de la partie non développé du bassin. " (Wolfe, 2006, Beloulou 2008).

Les résultats de calcul sont dressés dans le Tableau 4.3 ci-après.

Tab4.3 : Evaluation du temps de concentration des bassins versants de O-Kouba, O-Forcha et O-Sidi Harb à une intensité (i), (Mellouk, 2019).

Temps de concentration (T _c), en (min)	2002	2010	2019	Variation de la valeur de (T _c) en (%).
BV de l'Oued Kouba	55,5	53,5	48	-13.5
BV de l'Oued Forcha	58.5	56	52	-11
BV de l'Oued Sidi Harb	62	52	56	-9.7

La lecture verticale des valeurs des temps de concentration dressées dans le tableau 4.3 permet de comparer les résultats de calcul du Tc entre les trois bassins versants suivant l'année d'étude. Effectivement, chaque bassin versant de la zone d'étude se distingue par un temps de concentration (Tc) spécifique.

En 2002, le temps de concentration du bassin versant de l'Oued Sidi Harb 62 min est le plus lent relativement aux temps de concentration des bassins versants de l'Oued Forcha et de l'Oued Kouba, ce dernier connaît, par ailleurs, le temps de concentration le plus rapide.

En 2010, les valeurs changent, les temps de concentration de l'ensemble des bassins versants ont diminué, le bassin versant de l'Oued Forcha a, cependant, le temps de concentration le plus lent 56 min, et le bassin versant de l'Oued Sidi Harb a, en cette même année, le temps de concentration le plus court.

En 2019, le temps de concentration le plus court correspond au bassin versant de l'Oued Kouba 48 min, le bassin versant de l'Oued Sidi Harb connaît, cependant, le temps de concentration le plus lent 56 min.

La lecture verticale de la variation du temps de concentration admet que tous les trois bassins versants ont connu une diminution de leurs temps de concentration entre 2002, 2010 et 2019. Le bassin versant de l'Oued Kouba connaît la diminution la plus rapide de son temps de concentration, comparé aux deux autres bassins versants. La diminution du temps de concentration du bassin versant de l'Oued Sidi Harb est, cependant, la plus lente.

Par ailleurs, la lecture horizontale du Tab4.3 illustre l'évolution du (Tc) de chaque bassin versant en 2002, 2010 et 2019. Les bassins versants de l'Oued Kouba et de l'Oued Forcha connaissent une diminution continue du Tc. Le bassin versant de l'Oued Kouba enregistre une diminution de -13.5%, et l'Oued Forcha de -11%. Le bassin versant de Sidi Harb a connu également une diminution du Tc de -9.7% entre 2002 et 2019. Cependant le rythme de régression n'est pas continu, puisque la valeur de (Tc) qui était de 62min en 2002, est de 52 min en 2010 puis de 56 min en 2019.

La diminution du temps de concentration s'est effectuée dans les trois bassins versants aux dates étudiées. Cela est dû à l'évolution de la dynamique urbaine. Cependant, la variation de temps de concentration est spécifique à chaque bassin versant.

Le calcul du volume des débits à l'exutoire des différents bassins versants.

Ces calculs sont réalisés, suivant la formule de Caquot qui relève d'une méthode empirique fréquemment utilisée par les hydrologues pour la détermination des débits à l'exutoire des bassins versants, Elle est appelée également la méthode superficielle (Bennis et al, 2005). C'est une formule qui fait intervenir tous les mécanismes de l'écoulement, comme le coefficient de ruissellement, dans le calcul (Bizudi Bazola, 2011). La formule empirique de Caquot pour le calcul du débit de pointe est donnée comme suit ;

$$Q(F) = K^{1/u} \cdot I^{v/w} \cdot C^{1/u} \cdot A^{w/u}$$

Où :

Q – Débit brut en m^3/s

F – la fréquence de dépassement (année⁻¹).

I – la pente moyenne du bassin versant (m/m).

C – le coefficient de ruissellement (surface imperméable/ surface perméable).

A – la superficie du bassin versant (ha).

K, u, v, w – coefficients dépendant de la loi de Montana $a(F)$ și $b(F)$

$$K = \frac{0.5^{b(f)} \cdot a(f)}{6.6}$$

$$u = 1 + 0.287 \cdot b(f)$$

$$v = -0.41 \cdot b(f)$$

$$w = 0.95 + 0.507 \cdot b(f)" \text{ (Badea et al, 2002, Ourahou 2009, Outfarouin, 2013).}$$

Le tableau 4.4 présente les résultats de calcul suivant la formule de Caquot du volume des débits à l'exutoire des différents bassins versants en 2002, 2010 et 2019.

Tab4.4: Calcul des débits à l'exutoire des bassins versants de O-Kouba, O-Forcha et O-Sidi Harb suivant la formule de Caquot, (Mellouk,2019).

Débit de pointe (Q) en (m ³ /s)	2002	2010	2019	Variation de la valeur de (Q) en (%).
BV de l'Oued Kouba	86.93	116.24	227.68	161.91
BV de l'Oued Forcha	208.52	217.86	326.96	56.8
BV de l'Oued Sidi Harb	81.00	267.92	199.46	146.25

La lecture verticale du Tab4.4 permet de comparer les valeurs du débit à l'exutoire des différents bassins versants suivant en 2002, 2010 et 2019.

En 2002, c'est le bassin versant de l'Oued Forcha qui présente une forte valeur du débit 208.52 m³/s relativement aux deux bassins versants de l'Oued Kouba et de l'Oued Sidi Harb.

En 2010, les valeurs des débits à l'exutoire des bassins versants de l'Oued Kouba et de l'Oued Sidi Harb ont significativement augmenté et particulièrement celle de Sidi Harb qui est passée de 81 m³/s à 267.92 m³/s. Le bassin versant de l'Oued Forcha a, cependant, vu la valeur de son débit très faiblement augmenter.

En 2019, le débit à l'exutoire du bassin versant de l'Oued Forcha a atteint 326.96 m³/s, et celui de l'Oued Kouba 227.68 m³/s. Cependant, le débit à l'exutoire du bassin versant de l'Oued Sidi Harb a diminué jusqu'à atteindre 199.46 m³/s.

En comparant l'évolution des débits à l'exutoire des différents bassins versants entre 2002, 2010 et 2019, il apparaît que ce débit connaît une augmentation maintenue et assez rapide dans le bassin versant de l'Oued Kouba relativement aux deux autres bassins versants.

Par ailleurs, le débit à l'exutoire du bassin versant de l'Oued Forcha connaît, le rythme d'évolution le moins rapide.

La lecture horizontale du Tab4.4, permet d'apprécier l'évolution du volume du débit à l'exutoire de chacun des bassins versants séparément.

- Le volume du débit à l'exutoire du bassin versant de l'Oued Kouba continue à augmenter d'une progressivement entre 2002, 2010 et 2019.

- Le bassin versant de l'Oued Forcha connaît une évolution continue mais cependant relativement lente.

- Le rythme d'évolution du volume du débit à l'exutoire du bassin versant de l'Oued de Sidi Harb semble irrégulier. Entre 2002 et 2010, la valeur du débit a plus que triplée, le volume du débit est passé de 81m³/s à 267.92 m³/s, tandis qu'entre 2010 et 2019, il a connu une évolution négative de -25.55%.

En règle générale, la diminution du temps de concentration fait augmenter l'amplitude du débit de pointe et le rend hâtif, son augmentation produit l'effet inverse (Bounab, 2010). Ces propriétés sont utilisées pour vérifier les résultats de calcul du temps de concentration et du débit de pointe, précédemment détaillés. Dans le cas correct, la diminution du temps de concentration dans un bassin versant correspond à l'augmentation du volume du débit à son exutoire.

La comparaison des tableaux (4.3) et (4.4) montre ce qui suit ;

Le bassin versant de l'Oued Kouba, enregistre en 2002 un débit de 86.93 m³/s avec un temps de concentration de 55.5 min. En 2010, le débit a augmenté à 116.24 m³/s cependant le temps de concentration a diminué à 53.5 min, tandis qu'en 2019 le volume du débit à l'exutoire a nettement progressé atteignant 227.68 m³/s tandis que le temps de concentration a diminué à 48 min.

Le volume du débit à l'exutoire du bassin versant de l'Oued Forcha est de 208.52 m³/s, en 2002, avec un temps de concentration de 58.5 min. En 2010, la valeur du débit a augmenté à 217.86 m³/s tandis que le temps de concentration a diminué à 56 min. En 2019, le débit est de 326.96 m³/s tandis que le temps de concentration est de 52 min.

Ces résultats sont valables pour le bassin versant de l'Oued Sidi Harb qui, en 2002, a un débit de 81 m³/s et un temps de concentration de 62 min. En 2010, le débit a augmenté remarquablement et a atteint la valeur de 267.92 m³/s tandis que le temps de concentration a diminué à 52 min. Par ailleurs, en 2019, le volume du débit à l'exutoire a diminué à 199.46 m³/s et le temps de concentration a augmenté à 56 min.

Les calculs sont, ainsi, vérifiés par la confirmation d'une corrélation négative entre la diminution du temps de concentration (Tc) et l'augmentation du volume du débit à l'exutoire des bassins versants.

In fine,

Le calcul des indices hydrologiques des trois bassins versants concernés par le présent travail de recherche, à savoir, le bassin versant de l'Oued Kouba, le bassin versant de l'Oued Forcha et le bassin versant de l'Oued Sidi Harb, a permis de conclure au fait que face à une même intensité de précipitations chacun des trois bassins versants se distingue par son propre temps de concentration et son propre débit de pointe.

Cela dit, à travers les années de 2002, de 2010 et de 2019, les bassins versant ont vu augmenter le volume des débits à leurs exutoires et diminuer leurs temps de concentration. Cependant, le rythme de régression des temps de concentrations et celui de l'augmentation des débits de pointe sont spécifiques à chaque bassin versant.

Ces rythmes ne sont pas continus dans les trois bassins versants. En effet, le bassin versant de l'Oued Sidi Harb a vu son temps de concentration diminuer entre 2002 et 2010 et s'accroître entre 2010 et 2019. De même, le calcul de son débit de pointe a permis de constater que le volume du débit de pointe à l'exutoire du bassin versant de Sidi Harb s'est accentué entre 2002 et 2010, et il a diminué entre 2010 et 2019.

La réponse hydrologique des bassins versants, présentée par le calcul du Tc et Q est ainsi rapportée, dans l'analyse qui suit, à la dynamique urbaine des bassins versant, et ce afin de rechercher des éléments de réponses à l'irrégularité des rythmes d'évolution de ces paramètres dans les bassins versants concernés par le présent travail de thèse.

Dynamique urbaine et indices hydrologiques.

La confrontation des indices hydrographiques avec la dynamique urbaine se fait en deux étapes.

Etape 1 : l'appréciation de l'évolution de l'emprise de la dynamique urbaine dans les trois bassins versant.

Etape 2 : la détermination du type de corrélation qui existe entre la dynamique urbaine de chaque bassin versant, le volume du débit à son exutoire et son temps de concentration (Tc).

Etape 1 : Dans un premier temps, on a procédé à l'appréciation de l'évolution de l'emprise de la dynamique urbaine dans les trois bassins versant. Le tableau 4.5, présente, de fait, l'évolution de l'urbanisation dans les bassins versants de l'Oued Kouba, l'Oued Forcha et l'Oued Sidi Harb sur l'intervalle de temps considéré dans le cas d'étude.

Ces différentes surfaces sont calculées à partir des cartes de délimitation des zones urbaines à partir d'Arcmap présentées plus haut (p : 139-140-141). Ces surfaces englobent les zones résidentielles, les zones industrielles, les voiries, enfin toute artificialisation urbaine de l'espace.

Tab4.5: Evolution de la superficie des espaces urbains des bassins versants de O-Kouba, O-Forcha et O-Sidi Harb suivant les années (2002,2010 et 2019), (Mellouk,2019).

Superficie des espaces urbains (S), en (ha)	2002	2010	2019	Evolution de la (S) en (%)
BV de l'Oued Kouba	55	76	164	198
BV de l'Oued Forcha	145	154	238	64
BV de l'Oued Sidi Harb	53	194	143	170

Le Tab4.5 permet d'apprécier spatialement (dans les trois bassins versants) et temporellement (pendant l'intervalle de temps considéré) la dynamique urbaine dans la zone d'étude.

La quantification de la progression de la dynamique urbaine est élaborée, dans le cadre de ce travail, par l'estimation des surfaces des zones urbaines dans chaque bassin versant, en 2002, 2010 et 2019. La zone urbaine comprend les zones résidentielles, industrielles et commerciales, ainsi que par le réseau routier et ferré.

La lecture verticale du Tab4.5, montre que la superficie de la zone urbaine diffère d'un bassin versant à un autre.

En 2002, c'est le bassin versant de l'Oued Forcha qui est le plus urbanisé avec une superficie urbaine de 145 ha. Les zones urbaines dans les bassins versants de l'Oued Kouba et de l'Oued Sidi Harb sont presque identiques 55 ha et 53 ha.

En 2010, c'est le bassin versant de l'Oued Sidi Harb qui a presque quadruplé sa zone urbaine 194 ha entre les années de 2002 et 2010, les bassins versants de l'Oued Forcha et de l'Oued Kouba ont, par ailleurs, connu une extension urbaine plus faible relativement au bassin versant de l'Oued Sidi Harb.

En 2019, la dynamique urbaine est maintenue dans les trois bassins versants, les bassins versants de l'Oued Kouba et de l'Oued Forcha ont connu une extension de leurs zones urbaines, par contre, la superficie de la zone urbaine du bassin versant de l'Oued Sidi Harb a régressé à 143 ha. La dynamique urbaine des bassins versants diffère également d'un bassin versant à un autre. Le bassin versant de l'Oued Kouba représente l'évolution urbaine la plus forte 198%, en doublant presque l'emprise de sa surface urbaine sur l'intervalle du temps considéré par l'étude, le bassin versant de l'Oued Forcha représente, l'évolution urbaine la plus basse 64%.

La lecture horizontale, permet d'apprécier plus en détail l'évolution de la dynamique urbaine dans chaque bassin versant. Le bassin versant de l'Oued Kouba a connu un rythme d'urbanisation continu, qui s'est accéléré considérablement entre 2010 et 2019.

Le bassin versant de l'Oued Forcha a connu également un rythme d'urbanisation continu, mais à un rythme relativement plus faible.

Cependant, le bassin versant de Sidi Harb a connu une dynamique urbaine accélérée entre 2002 et 2010, l'emprise urbaine a presque quadruplé, tandis qu'entre 2010 et 2019 le bassin versant de l'Oued Sidi Harb a connu une régression de l'emprise urbaine d'environ 30%. Cela s'explique partiellement par le programme global de résorption de l'habitat précaire (RHP). En effet, le site de Sidi Harb s'est inscrit dans une dynamique d'inclusion en bénéficiant d'un RHP, avec un projet de 500 logements. Le programme a été lancé en 1994 par l'Office de promotion et de gestion immobilière de Annaba (OPGI) (Mebirouk, 2018).

La dynamique urbaine s'est accélérée entre 2002 et 2010, sous l'effet de la réalisation des logements, et de la réhabilitation des infrastructures. L'évolution de la dynamique urbaine a régressé par la suite, entre 2010 et 2019 suites aux opérations d'éradication de l'habitat précaire établies suite aux opérations de relogement de leurs occupants.

Etape 2 : Dans un deuxième temps, on a procédé à la détermination du type de corrélation qui existe entre la dynamique urbaine de chaque bassin versant, le volume du débit à son exutoire et son temps de concentration (T_c). **La quantification de l'impact urbain sur le fonctionnement de l'hydrosystème, se fait, sur la base d'une comparaison spatio-temporelle de la dynamique urbaine du bassin versant, le volume du débit à son exutoire et son temps de concentration.**

Les résultats sont dressés dans le Tableau 4.6.

Tab4.6: Tableau comparatif spatio-temporel de l'évolution de la dynamique urbaine et les indices hydrographique dans les BVs de l'Oued Kouba, l'Oued Forcha et l'Oued Sidi Harb, (Mellouk, 2019).

	2002			2010			2019		
Bassins versants Indices	S Du (ha)	Q (m ³ /s)	Tc (min)	S Du (ha)	Q (m ³ /s)	Tc (min)	S Du (ha)	Q (m ³ /s)	Tc (min)
Oued Kouba	55	86.93	55.5	76	116.24	53.5	164	227.68	48
Oued Forcha	145	208.52	58.5	154	217.86	56	238	326.96	52
Oued Sidi Harb	53	81	62	194	267.92	52	143	199.46	56

La lecture horizontale du Tab4.6, permet d'apprécier la dynamique urbaine, le débit maximal et le temps de concentration de chaque bassin versant pendant les années de 2002, 2010 et 2019.

Dans le bassin versant de l'Oued Kouba, la surface urbaine s'accroît, le débit maximal s'accroît simultanément, et le temps de concentration diminue. Le constat est le même pour les bassins versants de l'Oued Forcha et de l'Oued Sidi Harb.

La lecture verticale, permet de comparer la dynamique urbaine, le débit maximal et le temps de concentration dans les différents bassins versants.

En 2002, c'est le bassin versant de l'Oued Forcha qui est le plus urbanisé 145 ha, c'est également le bassin versant qui a le débit maximal le plus important 208.52 m³/s. Par ailleurs, le temps de concentration le plus court correspond au bassin versant de l'Oued Kouba. A cette même année, le bassin versant de l'Oued Sidi Harb est le moins urbanisé 53 ha, le débit maximal est le plus faible 81 m³/s et le temps de concentration dudit bassin est relativement le plus long 62 min.

En 2010, le bassin versant de l'Oued Sidi Harb est le plus fortement urbanisé 194 ha, son débit maximal est également le plus accentué 267.92 m³/s, et son temps de concentration est le plus court 52 min. Le bassin versant le moins urbanisé est celui de

l'Oued Kouba 76 ha, son débit maximal est également le plus faible 116.24 m³/s. Par ailleurs, le temps de concentration le plus long correspond à celui du bassin versant de l'Oued Forcha 56 min.

En 2019, la plus forte urbanisation est enregistrée dans le bassin versant de l'Oued Forcha 238 ha où le débit maximal est augmenté 326.96 m³/s. C'est le bassin versant de l'Oued Kouba qui enregistre cependant le temps de concentration le plus court 48 min. Le bassin versant de l'Oued Sidi Harb, le moins urbanisé 143 ha, enregistre un débit maximal faible 199.46 m³/s et le temps de concentration le plus long 56 min.

D'après ces résultats, il semble que parallèlement à l'évolution de la dynamique urbaine, et donc l'augmentation des zones imperméables, le débit de pointe des bassins versants s'accroît. Partant, une corrélation positive existe entre l'évolution de la dynamique urbaine et l'accroissement du volume du débit à l'exutoire des bassins versants. En effet, l'accélération des eaux de ruissellement est une conséquence directe de l'urbanisation et de l'imperméabilisation des sols.

La vitesse d'écoulement impacte sur le volume du débit à l'exutoire du bassin versant. Effectivement, l'urbanisation rapide impacte négativement les processus de ruissellement, une augmentation du ruissellement peut entraîner un risque accru des inondations par effet de l'augmentation des volumes des débits à l'exutoire des bassins versants (Zongxue et al, 2016). L'analyse spatio-temporelle de l'impact de la dynamique urbaine sur le débit maximal permet d'affirmer que **l'augmentation des surfaces urbaines imperméables engendre la hausse du volume du débit à l'exutoire des bassins versants**. Ainsi, il est confirmé, que dans la zone d'étude qui comprend les bassins versants de l'Oued Kouba, l'Oued Forcha et l'Oued Sidi Harb, il existe une corrélation positive entre la dynamique urbaine et le volume du débit maximal.

Cependant, **l'impact de la dynamique urbaine sur le temps de concentration est variable**. D'après l'analyse spatio-temporelle du Tab4.6, il semble que dans un même bassin versant, la diminution du temps de concentration est liée proportionnellement à l'augmentation de sa surface urbanisée en 2002, 2010 et 2019.

La comparaison des surfaces urbaines avec les temps de concentration, entre les différents bassins versants, montre toutefois que cette relation n'est pas systématique puisqu'un bassin versant plus urbanisé n'enregistre pas nécessairement un temps de concentration moins long.

A titre d'exemple, en 2002, le bassin versant de l'Oued Kouba qui est le moins urbanisé (55 ha de surfaces urbaines) enregistre le temps de concentration le plus long (62 min). En 2010, le temps de concentration du bassin versant de l'Oued Forcha est le plus long (56 min) mais c'est le bassin versant de l'Oued Kouba qui est le moins urbanisé. Malgré la similitude des caractéristiques géomorphologiques des trois bassins versants, la relation entre la diminution du temps de concentration et l'augmentation des surfaces imperméables n'est pas systématique.

Se basant sur le changement des valeurs du temps de concentration suivant l'évolution de la dynamique urbaine, l'imperméabilisation du sol a, effectivement, un impact non négligeable sur le temps de concentration (T_c). L'imperméabilisation des sols se manifeste hydrologiquement par une suppression complète de l'infiltration des eaux dans le sol provoquant un ruissellement de surface immédiat à la chute des premières gouttes de pluies (Jourget, 2014). Les surfaces imperméables diminuent, alors, le temps de concentration des bassins versants en supprimant la temporisation que produit l'infiltration des premières pluies (Jourget, 2014).

En ce sens, à l'état naturel, le sol du bassin versant se présente comme des couches d'éponge de porosités différentes, lors des précipitations ; une partie des eaux est absorbée par le sol et une partie ruisselle sur la surface terrestre. Cependant, dans un environnement anthropique, une grande partie du sol d'un bassin versant est imperméable (bâtiments, espaces de circulations, réseau routier...), l'infiltration est donc très minime, les eaux de pluie s'écoulent directement dans le cours d'eau. Les inondations urbaines rapides se présentent, dès lors, comme première conséquence de cet état (USGS, 2020).

4.2.3. Synthèse de l'analyse quantitative.

L'analyse quantitative de l'impact de la dynamique urbaine sur le fonctionnement de l'hydrosystème s'est réalisée en deux étapes.

La première étape a consisté en une analyse diachronique des images satellitaires des bassins versants d'étude. Cette analyse a illustré l'effet de l'avancée du front de la dynamique urbaine sur le réseau hydrographique par la mise en place des travaux d'endiguement et de canalisation.

Une artificialisation complète des cours d'eau principaux des bassins versants de l'Oued Kouba, de l'Oued Forcha et de l'Oued Sidi Harb. Ces cours d'eau ont perdu, de fait, toutes possibilités d'épanchement de leur trop plein en cas de crues, en plus de la perturbation de leurs fonctionnements écologiques en les cloisonnant et en minimisant les échanges indispensables à la pérennité de leurs systèmes biologiques.

La deuxième étape de l'analyse quantitative a nécessité le calcul de paramètres hydrographiques, à savoir, le débit de pointe et le temps de concentration, qui caractérisent la réponse hydrologique des bassins versants. Les résultats ont conclu à l'identification d'une corrélation négative entre la diminution du temps de concentration et l'augmentation du volume du débit à l'exutoire des différents bassins versants, et une deuxième corrélation positive entre l'évolution de la dynamique urbaine et l'accroissement du débit à l'exutoire des bassins versants. Cependant, ces premiers résultats n'ont pas défini le type corrélation entre la dynamique urbaine et le temps de concentration. Elle est variable, le temps de concentration diminue avec l'augmentation des surfaces imperméables en générale, cependant, cette relation n'est pas systématique. Le bassin versant le plus urbanisé n'enregistre pas systématiquement le temps de concentration le moins long.

L'évaluation qualitative de la dynamique urbaine de la zone d'étude présentée dans le chapitre qui suit a pour objectif d'expliquer la variation de l'impact de la dynamique urbaine sur l'indice hydrologique (temps de concentration) par la méthode d'analyse de la fragmentation spatiale. Cette évaluation permettrait de déduire les mécanismes urbains influant sur le changement du temps de concentration d'un bassin versant.

Conclusion.

La quantification de l'impact de la dynamique urbaine sur l'hydrosystème qui s'est établie, à travers une comparaison spatio-temporelle de l'emprise urbaine du bassin versant, le volume du débit à son exutoire et son temps de concentration a permis d'identifier deux types de corrélation :

- ✓ **Une corrélation positive** entre l'évolution de l'emprise de la dynamique urbaine des bassins versants et l'accroissement du volume de leurs débits de pointe.

- ✓ **Une corrélation négative** qui existe entre la dynamique urbaine et le temps de concentration. Cependant, cette corrélation ne semble pas être absolue. Les résultats de calculs dressés dans le Tab4.6, montrent en effet que la diminution du temps de concentration n'est pas forcément liée à l'accroissement des surfaces urbaines.

**CHAPITRE V,
EVALUATION QUALITATIVE SPATIOTEMPORELLE
RESULTATS, INTERPRETATION ET DISCUSSION.**

CHAPITRE V, EVALUATION QUALITATIVE SPATIOTEMPORELLE, RESULTATS, INTERPRETATION ET DISCUSSION.

Introduction.

Cette deuxième étape analyse, qualitativement, les impacts de la distribution spatiale urbaine sur la variation du temps de concentration (Tc) des bassins versants d'étude ; L'Oued Kouba, l'Oued Forcha et l'Oued Sidi Harb. Cette analyse utilise le logiciel FRAGSTAT qui présente et calcule des indices métriques paysagers sur la base de la lecture de cartes préalablement traitées par une classification. Le travail préalable de classification est effectué dans le but de distinguer la zone de l'espace urbain de la zone de l'espace hors urbain (Long et Leveiller, 2016).

- Dans un premier temps, il est nécessaire de procéder à la classification des trois bassins versants, puis à leur analyse chronologique en 2002, 2010 et 2019. La classification des bassins versants, permettra par la suite de comparer les modes d'expansion urbaine par rapport à l'espace environnant.
- Dans un deuxième temps, les cartes traitées par la classification supervisée sont introduites dans le logiciel de FRAGSTAT afin d'extraire les différents indices de distribution spatiale urbaine dans la zone d'étude.

La classification supervisée des images satellitaires de la zone d'étude, en 2002,2010 et 2019 a été réalisé avec l'aide du logiciel ArcGIS (Arcmap 10.3).

Les produits satellitaires de base ont été préalablement traités avec un géo référencement ainsi que par des corrections radiométriques et atmosphériques. La classification, orientée selon un maximum de vraisemblance, a été réalisée suivant deux niveaux, un premier niveau qui illustre les trajectoires principales de la dynamique urbaine dans le paysage naturel et un deuxième niveau dont les résultats présentent des données d'entrée du logiciel FRAGSTAT pour le calcul des indices métriques.

5.1. Analyse qualitative spatio-temporelle de l'impact de la dynamique urbaine sur la durabilité des hydrosystèmes.

5.1.1. Classification supervisée des bassins versants.

Le Tableau 5.1 montre les classes thématiques des deux niveaux (01) et (02) sur lesquelles s'est basée la classification supervisée.

Tab 5.1: Niveau (1) et niveau (2) de la classification supervisée des bassins versants de O-Kouba, O-Forcha et O-Sidi Harb, (Mellouk, 2019).

Classification supervisée	Les classes thématiques
Le niveau (1)	Zone urbaine. Zone végétale et espace arboré. Zone des terrains nus.
Le niveau (2)	Zone urbaine. Hors zone urbaine.

Le choix d'une nomenclature en trois classes, pour le niveau (1), s'explique par le niveau de détail recherché, qui permet la mise en évidence des principales dynamiques d'expansion urbaine dans le paysage naturel. Cependant, les résultats de la classification supervisée du niveau (2) ont été utilisés comme données d'entrée dans le logiciel FRAGSTAT pour l'identification des métriques paysagères urbaine nécessaires à l'analyse de la fragmentation urbaine. Les classes thématiques de la classification supervisée du premier niveau sont détaillées comme suit (Tab5.2).

Tab5.2 : Classification supervisée, les classes thématiques, (Mellouk, 2019).

Classes thématiques	Descriptions
La zone urbaine	Cette classe englobe les espaces dominés par des bâtiments résidentiels, les voiries, les zones industrielles et commerciales, les zones recouvertes artificiellement (zones cimentées, goudronnées, imperméables).
La zone végétale et espace arboré	Cette zone inclue les formations végétales constituées par des arbres, arbustes, la végétation herbacées, les petits végétaux ligneux sous arbustifs, les cultures ainsi que les espaces verts situés au sein de la zone urbaine.
La zone des terrains nus	Cette zone est composée des espaces ouverts non bâtis et sans végétations.

Les différentes classifications ont été réalisées pour les trois bassins versants d'étude, le BV de l'Oued Kouba, le BV de l'Oued Forcha et enfin le BV de l'Oued Sidi Harb. Les classifications supervisées de chaque bassin versant sont présentées par ordre chronologique en 2002, 2010 et 2019. La comparaison des cartes permet d'apprécier le changement de l'occupation du sol de chaque classe (urbaine, végétale et terrains nus) susceptible de fortement influencer le fonctionnement de l'hydrosystème.

- **La zone urbaine** imperméable a des effets sur le ruissellement des eaux de surfaces et provoque les pollutions des cours d'eau.
- **Le couvert végétal** influe sur la stabilisation du sol et atténue la vitesse des ruissellements de surface par l'interception des précipitations.
- **Les sols mis à nu** peuvent créer ou occasionner de l'érosion.

Résultats de la classification supervisée des bassins versants.

En 2002, le bassin versant de **l'Oued Kouba** était urbanisé à 9%, le pourcentage de la végétation existante était de 8.35%. Par ailleurs, le pourcentage des terrains nus était de 82.65% (Fig5.1). Le faible taux de végétation pourrait être expliquée par les feux de forêt (URBAN, 2019). En effet, Annaba fait partie des wilayas très sensibles aux incendies. Entre 1990 et 2000, trois wilayas de l'extrême Nord Est Algérien, dont la wilaya de Annaba, ont été régulièrement touchées par les incendies (Buisset, Meddour, 2013).

En 2002, la zone urbanisée du bassin versant de **l'Oued Forcha** occupe 20% de la superficie totale. La surface végétale occupe, quant à elle, 35% et celle des terrains nus 45% de la superficie totale du bassin versant (Fig5.2). Le pourcentage de la zone végétale du bassin versant de l'Oued Forcha est supérieur à celui de l'Oued Kouba (8.35%). Ceci contribue à expliquer la valeur du temps de concentration du bassin versant de l'Oued Forcha qui reste supérieure à celle de l'Oued Kouba pourtant le moins urbanisé. De fait, la végétation a un rôle régulateur sur le fonctionnement de l'hydrosystème au sein d'un bassin versant sollicité par des précipitations, "le premier effet du couvert végétal, est l'augmentation du seuil minimal de pluie nécessaire à l'apparition d'un écoulement : les crues du bassin boisé sont moins fréquentes" (Cosandey et al, 2008). Le temps de concentration est, de ce fait, ralenti.

En 2002, au sein du bassin versant de **l'Oued Sidi Harb**, l'urbanisation a atteint un pourcentage de 6.80% de la superficie totale. La végétation représente 40% et les terrains nus 53.20% de la superficie totale du bassin versant (Fig5.3).

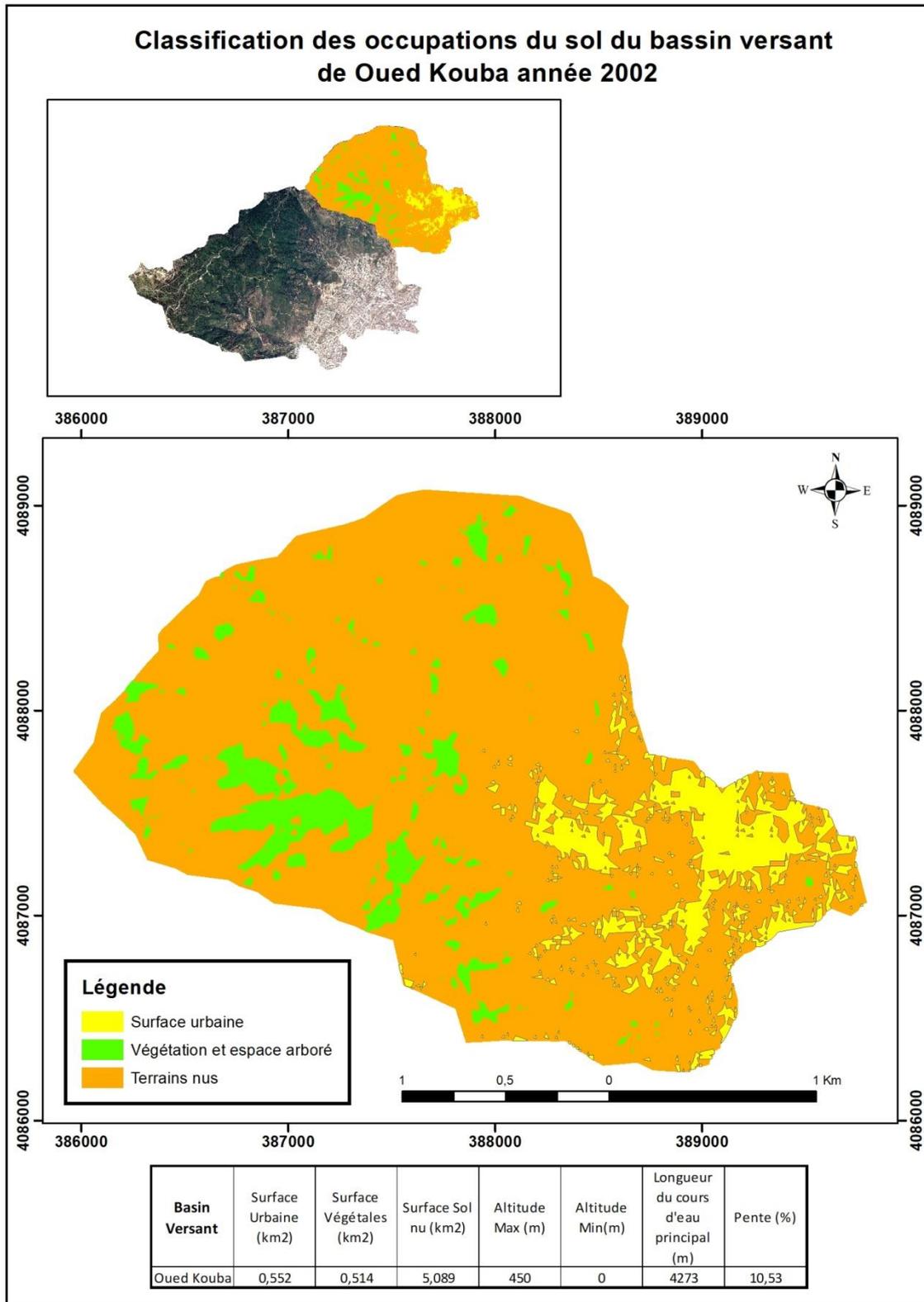


Fig 5.1: Classification supervisée de l'occupation du sol du bassin versant de l'Oued Kouba, année 2002, (Mellouk, 2019).

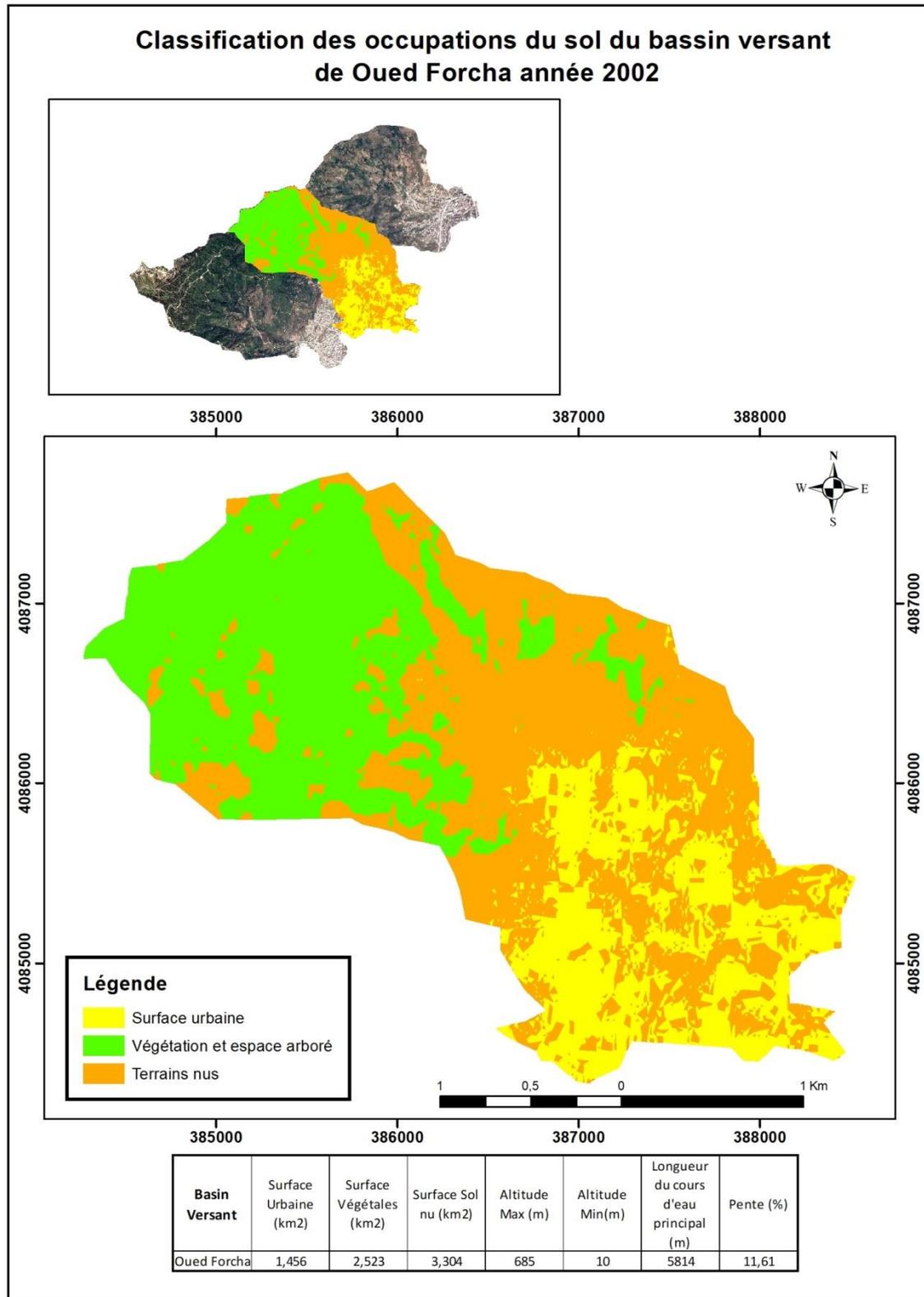


Fig5.2: Classification supervisée de l'occupation du sol du bassin versant de l'Oued Forcha, année 2002, (Mellouk, 2019).

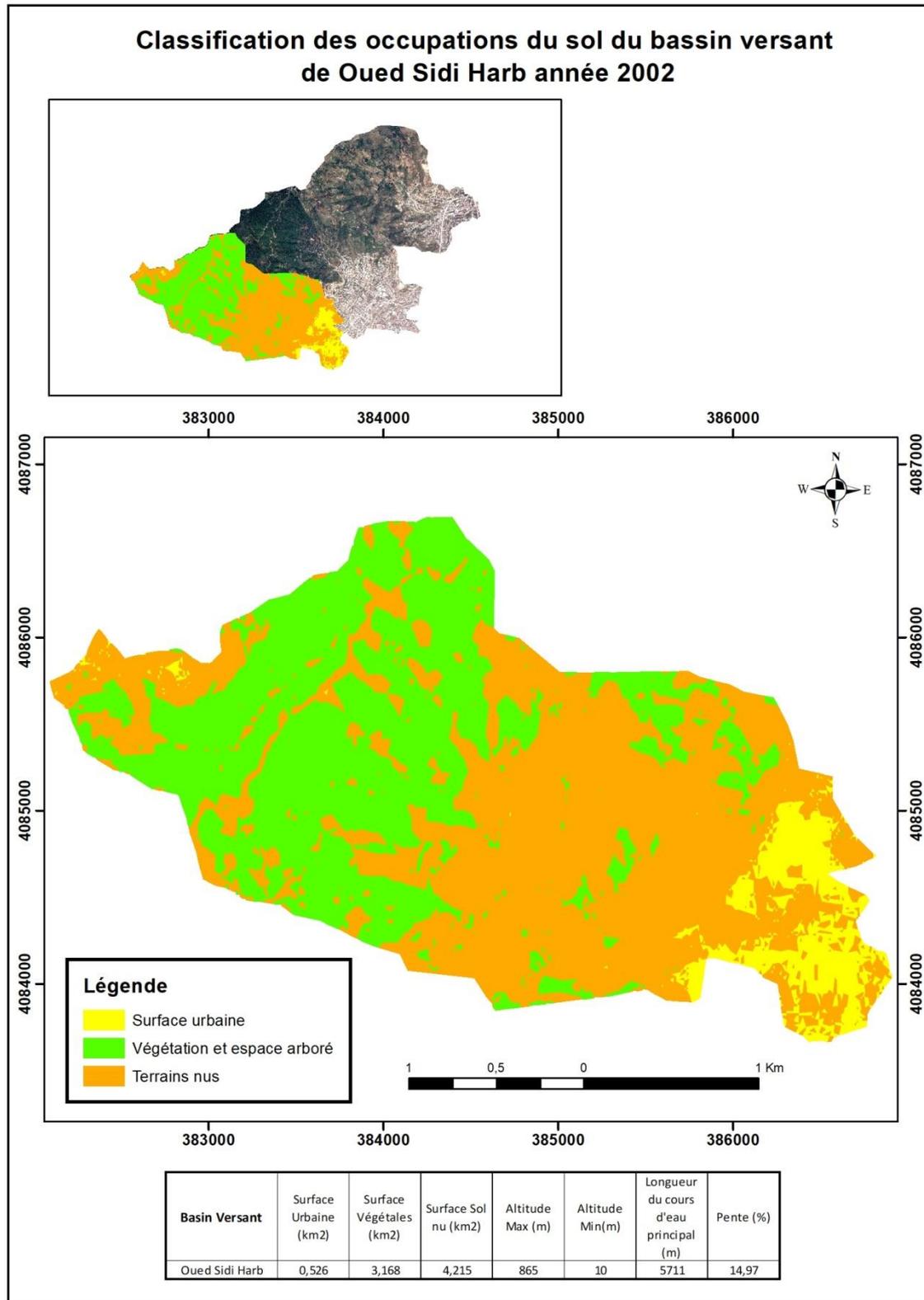


Fig5.3: Classification supervisée de l'occupation du sol du bassin versant de l'Oued Sidi Harb, année 2002, (Mellouk, 2019).

Evaluation qualitative spatiotemporelle, Résultats, Interprétation et Discussion.

Le bassin versant de l'Oued Sidi Harb enregistre **en 2002**, le pourcentage le moins fort en termes de surface urbaine relativement à ceux de l'Oued Forcha et l'Oued Kouba. C'est comparativement le bassin versant le moins urbanisé. Le Tableau 5.3 indique le pourcentage des zones urbaines dans les bassins versants de l'Oued Kouba, l'Oued Forcha et l'Oued Sidi Harb et leurs temps de concentration respectif en 2002.

Tab 5.3: Zones urbaines et temps de concentration des bassins versants, année 2002, (Mellouk, 2019).

Bassins versants	O-Kouba	O-Forcha	O-Sidi Harb
Pourcentage Z. Urb	9%	20%	6.80%
Temps de concentration (Tc)	55.5 min	58.5 min	62 min

La lecture du Tab 5.3, montre que le taux d'urbanisation (année 2002) du bassin versant de l'Oued Kouba (9%), est inférieur à celui du bassin versant de l'Oued Forcha (20%). Cependant, la valeur du temps de concentration de l'Oued Kouba reste inférieure à celle de l'Oued Forcha. Le bassin versant de l'Oued Sidi Harb présente le pourcentage le moins fort en zone urbaine et la valeur la plus importante du temps de concentration (Tc) (Fig5.4). Rappelons, par ailleurs, que les bassins versants de l'Oued Kouba et l'Oued Forcha et l'Oued Sidi Harb présentent les mêmes caractéristiques géomorphologiques.

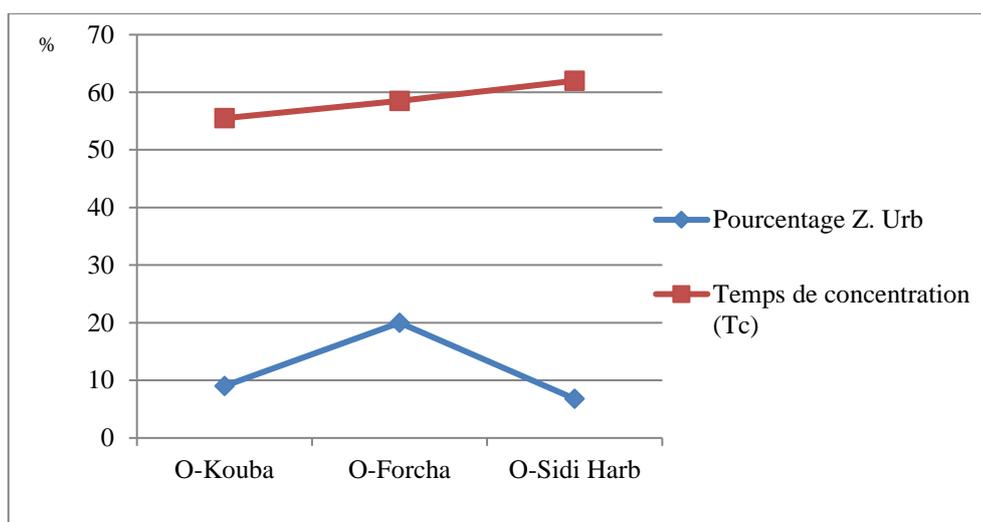


Fig 5.4: Dynamique urbaine et temps de concentration, année 2002 (Mellouk, 2019).

Evaluation qualitative spatiotemporelle, Résultats, Interprétation et Discussion.

En 2010, l'urbanisation du bassin versant de **l'Oued Kouba** est passée à (12.5%), la surface des terrains nus a, quant à elle, diminué. Le pourcentage de terrains nus est passé de 82.65% en 2002 à 50% en 2010. La végétation, par ailleurs, a connu une augmentation importante, elle est passée de 8.35% en 2002 à 37.5 en 2010 (Fig 5.5).

En 2010, Le taux d'urbanisation du bassin versant de **l'Oued Forcha** est passé de 20% en 2002 à 31.38% en 2010, c'est une évolution relativement assez lente. La surface des terrains nus a diminué de 45% en 2002 à 27.5% en 2010. Cependant, le taux des surfaces végétales est passé de 35% en 2002 à 52.12% en 2010 (Fig 5.6).

En 2010, au sein du bassin versant de **l'Oued Sidi Harb**, le taux des surfaces urbaines est passé de 6.8% en 2002 à 24.55% en 2010. Une évolution assez importante. Les surfaces végétales sont passées de 40% en 2002 à 65.82% en 2010. Et comme dans les deux précédents bassins versants, les terrains nus ont vu une régression qui est passé de 53.02% en 2002 à 9.62% en 2010 (Fig 5.7).

Le tableau 5.4 présente le pourcentage des zones urbaines dans les trois bassins versants d'étude, ainsi que leurs temps de concentrations respectifs, en 2010.

Tab 5.4: Zones urbaines et temps de concentration des bassins versants, année 2010, (Mellouk, 2019).

Année	2010		
Bassins versants	O-Kouba	O-Forcha	O-Sidi Harb
Pourcentage Z. Urb	12.5%	31.38%	24.55%
Temps de concentration (Tc)	53.5 min	56 min	52 min

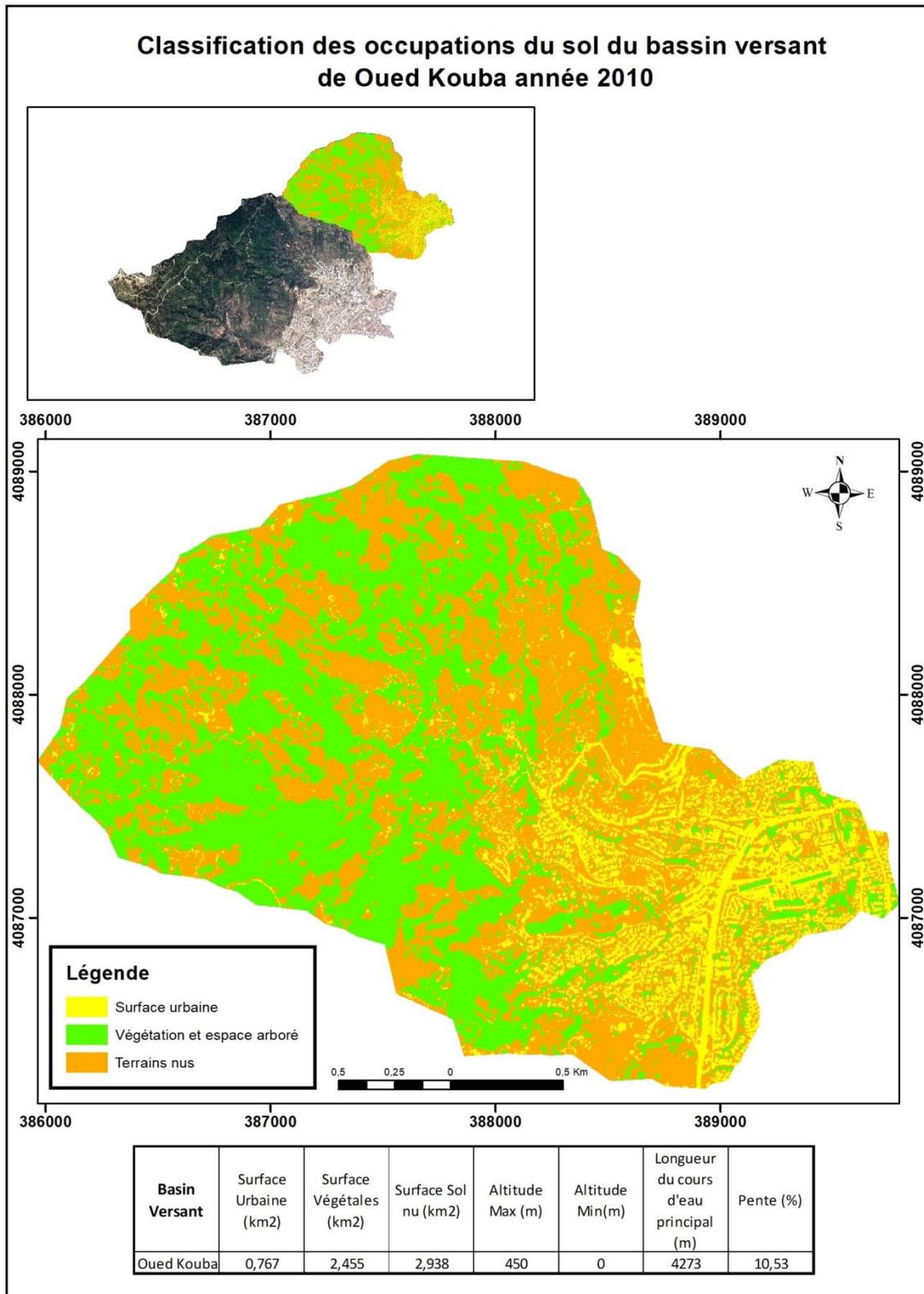


Fig5.5 : Classification supervisée de l'occupation du sol du bassin versant de l'Oued Kouba, année 2010, (Mellouk, 2019).

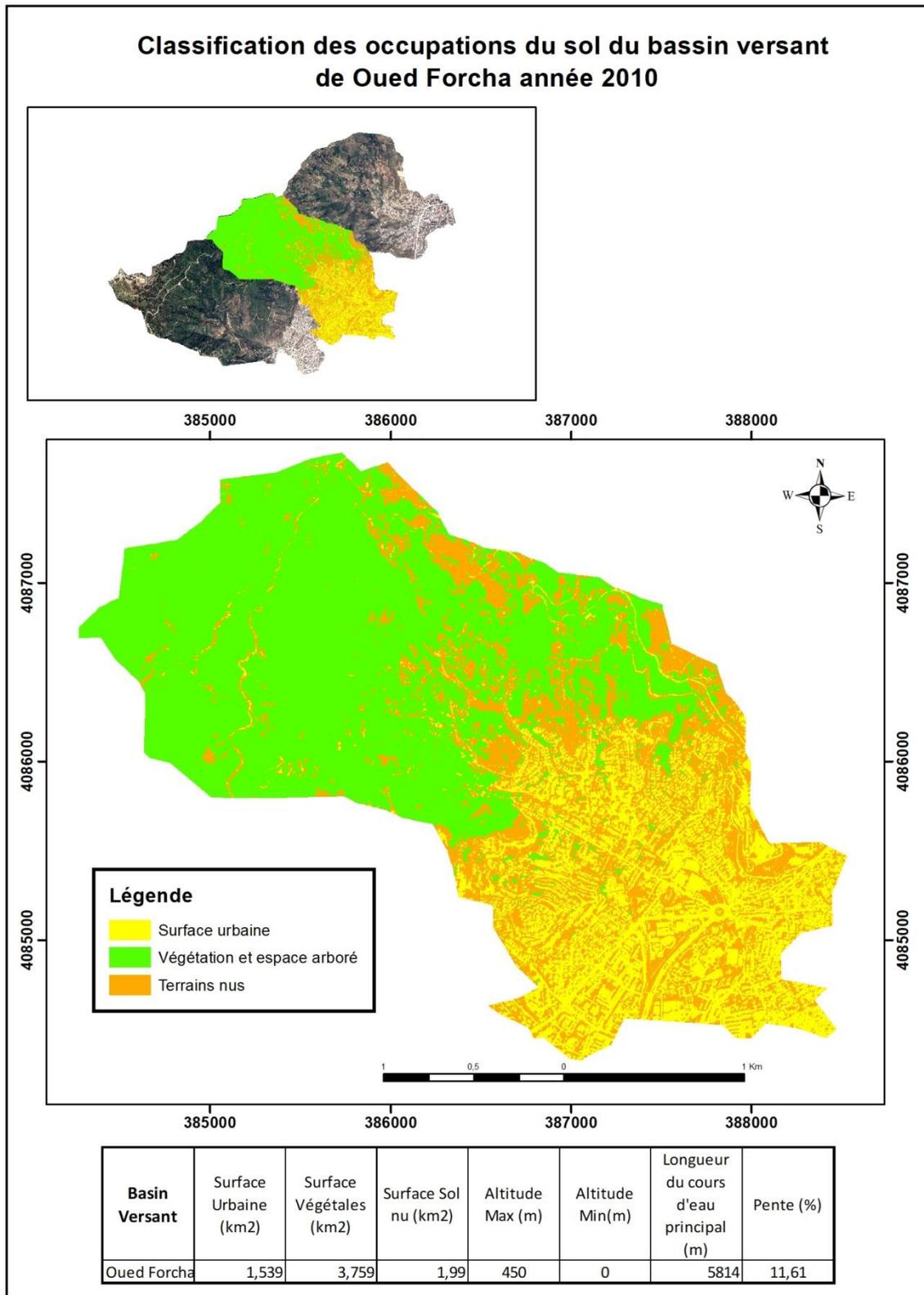


Fig5.6: Classification supervisée de l'occupation du sol du bassin versant de l'Oued Forcha, année 2010, (Mellouk, 2019).

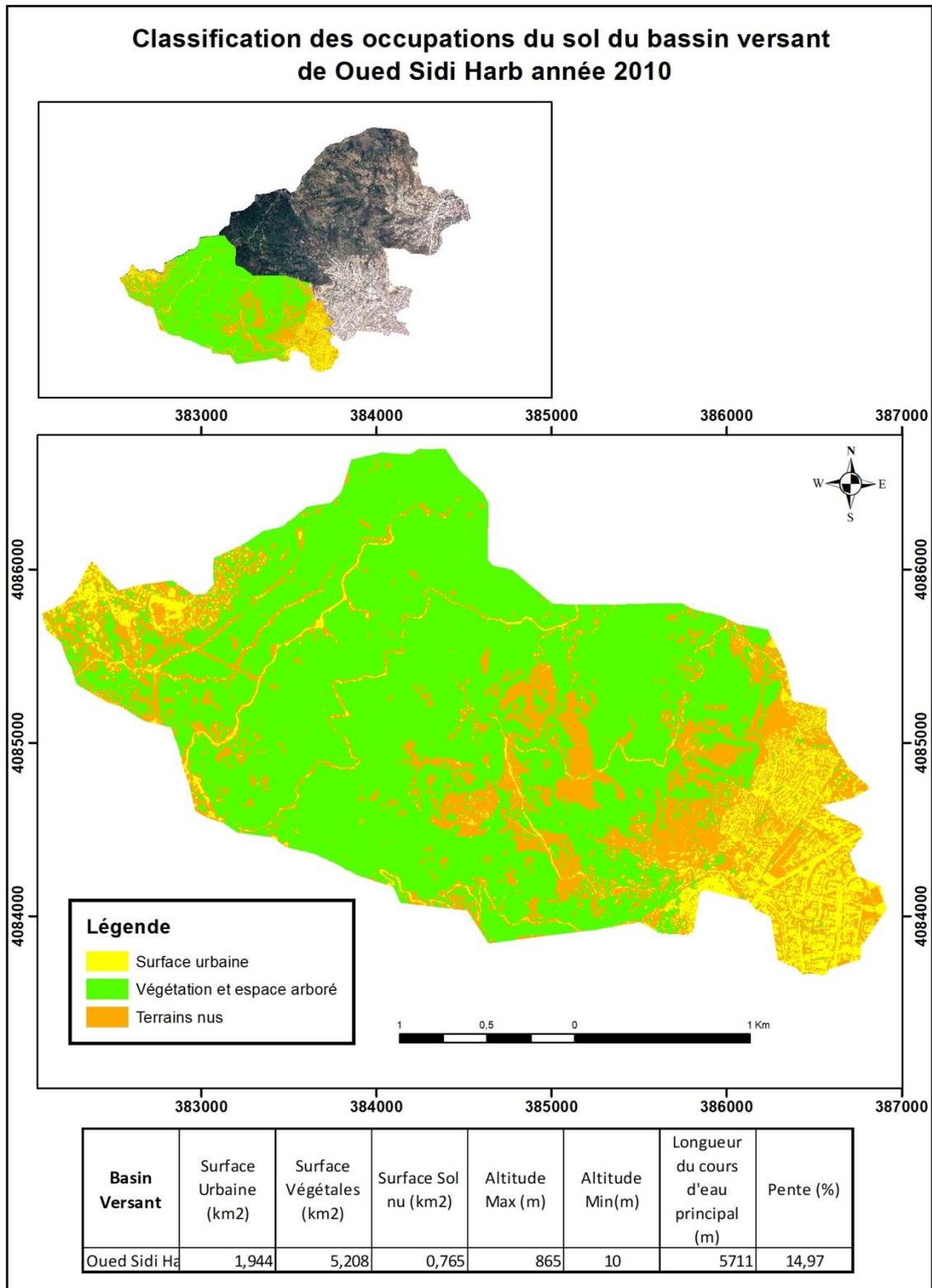


Fig5.7: Classification supervisée de l'occupation du sol du bassin versant de l'Oued Sidi Harb, année 2010, (Mellouk, 2019).

En 2010, le bassin versant de l'Oued Forcha a le taux d'urbanisation le plus important (31.38%), tandis que l'Oued Sidi Harb affiche un taux d'urbanisation de (24.55%) et enfin le bassin versant de l'Oued Kouba urbanisé est à 12.5% (Tab5.4). Cependant, le temps de concentration (Tc) le plus rapide ne correspond pas au taux d'urbanisation le plus élevé. Effectivement, le bassin versant de l'Oued Sidi Harb a le temps de concentration (Tc) le plus rapide (52 min) et c'est le bassin versant de l'Oued Forcha qui a le taux d'urbanisation le plus élevé (31.38%). Le bassin versant de l'Oued Kouba est le bassin versant le moins urbanisé en 2010, son temps de concentration (Tc) (53.5 min) supérieur à celui de Sidi Harb et inférieur à celui de l'Oued Kouba.

De même, en 2010, le temps de concentration (Tc) le plus rapide ne correspond pas au bassin versant le plus urbanisé. La dynamique urbaine des bassins versants a, certes, un impact sur la diminution du temps de concentration, cependant, il semble que l'accroissement de l'emprise urbaine dans sa totalité n'en soit pas la seule cause (Fig5.8).

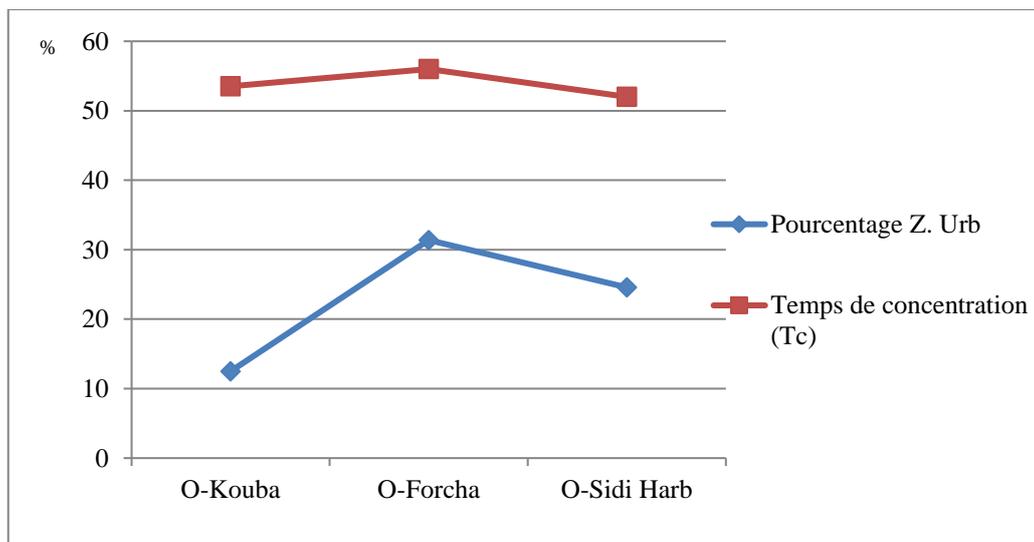


Fig5.8: Dynamique urbaine et temps de concentration, année 2010 (Mellouk, 2019).

L'évolution du temps de concentration (Tc) des différents bassins versants ne coïncide pas avec celui de leur dynamique urbaine. Il semble que, l'évolution de l'emprise urbaine dans chacun des bassins versants est accompagnée par un changement du temps de concentration (Tc), cependant, un fort accroissement dans l'emprise urbaine d'un bassin versant ne s'accompagne pas forcément d'une importante diminution du temps de concentration.

Evaluation qualitative spatiotemporelle, Résultats, Interprétation et Discussion.

En 2019, l'urbanisation du bassin versant de **l'Oued Kouba** a atteint 26.66% tandis que la végétation occupait 37.9% de la superficie totale (Fig5.9). Cependant la superficie des terrains nus, a continué à diminuer de 50% (2010) à 35.44% en 2019.

En 2019, le bassin versant de **l'Oued Forcha** a également connu des changements dans l'occupation du sol (Fig5.10). L'urbanisation occupe 33% de la superficie totale. La végétation occupe un taux de 50.40% de la superficie totale. Les terrains nus continuent à régresser au profit de la végétation et de l'urbanisation. Ils occupent 16.6% de la superficie totale du bassin versant.

En 2019, le taux d'urbanisation du bassin versant de **l'Oued Sidi Harb** a régressé à 18.10% de la superficie totale (Fig5.11). La végétation occupe, la plus grande part de la superficie du bassin versant atteignant 58%. La surface qu'occupent les terrains nus continue à régresser, comme c'est le cas des deux précédents bassins versants. Les terrains nus représentent 24.30%.

Le Tableau 5.5 présente le pourcentage des zones urbaines dans les trois bassins versants concernés par le travail de recherche, ainsi que leurs temps de concentrations respectifs, à l'année de 2010.

Tab 5.5: Zones urbaines et temps de concentration des bassins versants, en 2019, (Mellouk, 2019).

Bassins versants	O-Kouba	O-Forcha	O-Sidi Harb
Pourcentage Z. Urb	26.66%	33%	18.10%
Temps de concentration (Tc)	48 min	52 min	56 min

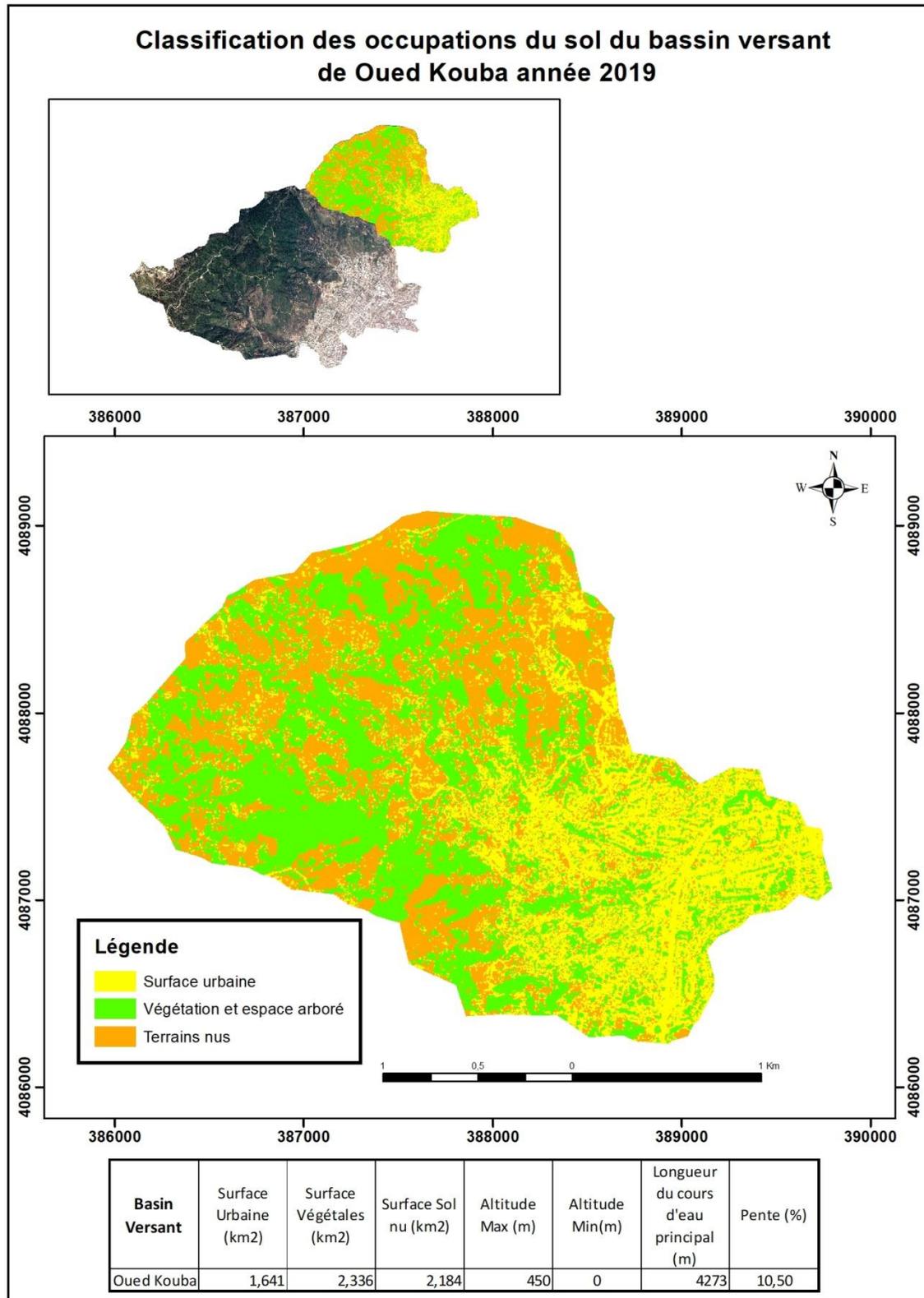


Fig5.9: Classification supervisée de l'occupation du sol du bassin versant de l'Oued Kouba, année 2019, (Mellouk, 2019).

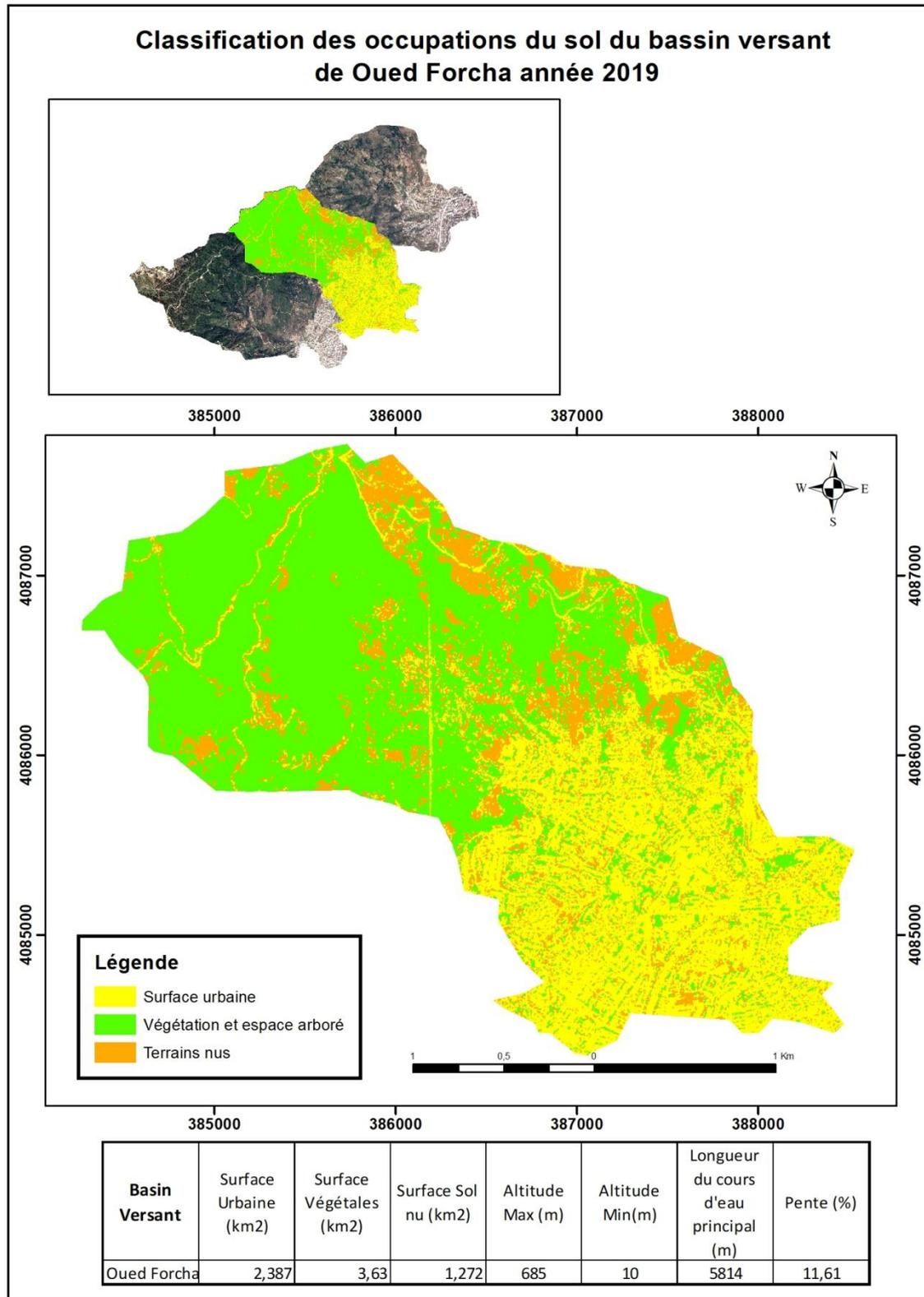


Fig5.10: Classification supervisée de l'occupation du sol du bassin versant de l'Oued Forcha, année 2019, (Mellouk, 2019).

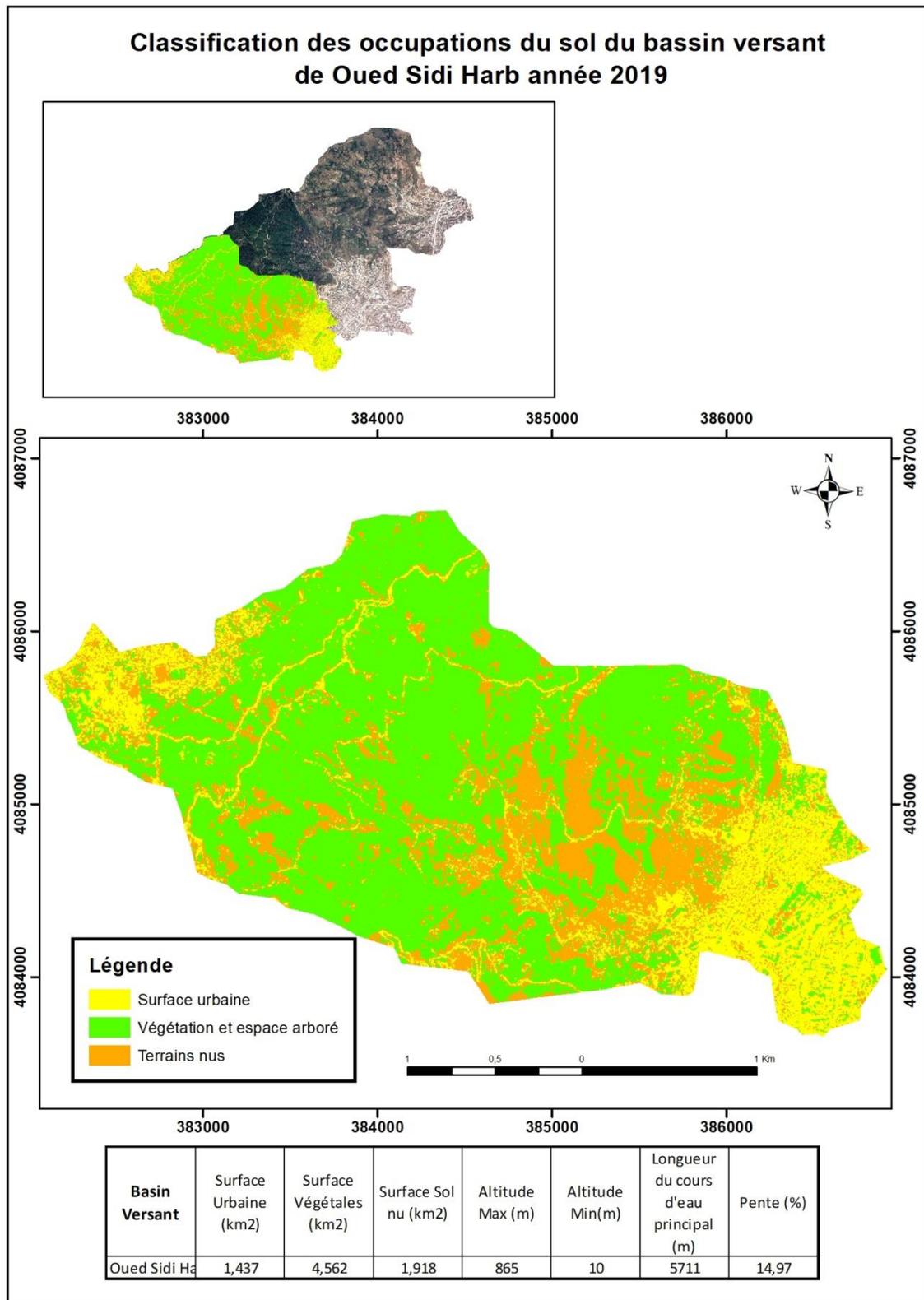


Fig5.11: Classification supervisée de l'occupation du sol du bassin versant de l'Oued Sidi Harb, année 2019, (Mellouk, 2019).

L'analyse du Tab5.5 révèle qu'en **2019**, le taux d'urbanisation le plus important correspond au bassin versant de l'Oued Forcha (33%), suivi du bassin versant de l'Oued Kouba (26.66%) puis celui de l'Oued de Sidi Harb (18.10%). Le temps de concentration, a également changé.

Le bassin versant de l'Oued Kouba a le temps de concentration le plus rapide (48 min), suivi du bassin versant de l'Oued Forcha avec un (Tc) de (52 min) et enfin le bassin versant de l'Oued Sidi Harb qui a un temps de concentration de (56 min) (Fig5.12).

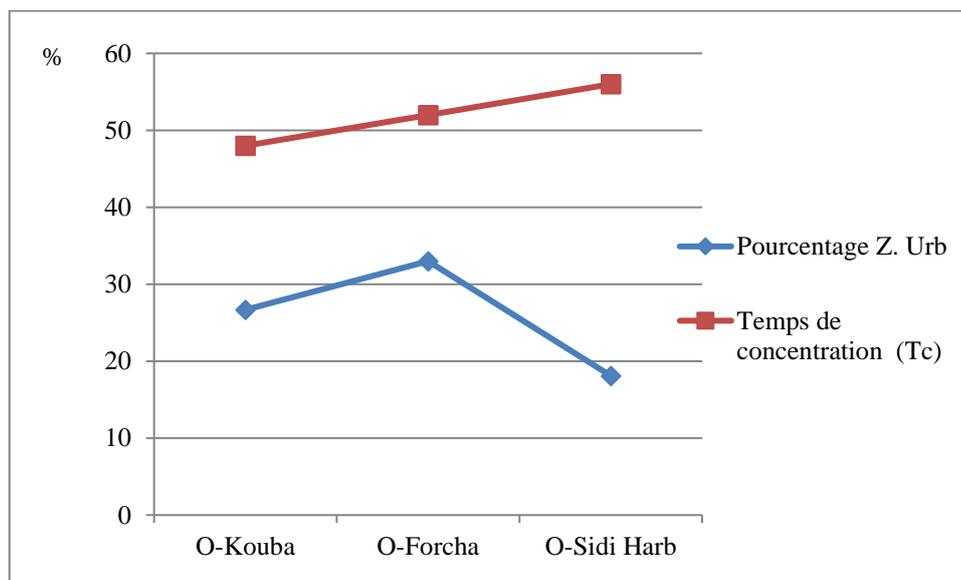


Fig5.12 : Dynamique urbaine et temps de concentration, en 2019, (Mellouk, 2019).

Discussion des résultats de la classification supervisée des bassins versants.

La comparaison des résultats de la classification supervisée des images satellitaires relatives aux trois bassins versants à travers l'intervalle de temps considéré (2002-2019) a permis l'appréciation le changement de l'occupation du sol de chaque classe ; Urbaine, végétale et la classe des terrains nus.

A ce stade d'analyse, il peut être admis que, l'évolution de la dynamique urbaine a eu un impact sur le temps de concentration des bassins versants. Cependant, le changement de ces valeurs ne semble pas coïncider avec le taux d'urbanisation. Le taux d'urbanisation le plus fort n'enregistre pas le temps de concentration le plus rapide.

C'est le cas en 2002 et en 2010. En effet, il semble que le bassin versant qui a le temps de concentration le plus rapide en 2002 ne soit pas celui qui a le temps de concentration le plus

rapide en 2010 et 2019 malgré une évolution continue de l'emprise urbaine durant ces années. En 2002, c'est le bassin versant de l'Oued Kouba qui présente le temps de concentration le plus rapide (55min). En 2010, c'est le bassin versant de l'Oued Sidi Harb qui présente le temps de concentration le plus rapide (52 min). En 2019, c'est le bassin versant de l'Oued Kouba qui présente le temps de concentration le plus rapide (48 min).

Les résultats de la classification supervisée ont conclu également à une évolution continue de la dynamique urbaine dans les trois bassins versants. Aussi, l'analyse a confirmé l'impact variable de la dynamique urbaine sur le temps de concentration des bassins versants. En effet, les résultats de cette classification supervisée ont permis de confirmer les résultats de la quantification de l'impact de la dynamique urbaine sur l'hydrosystème par indices hydrologiques (p: 160), qui ont conclu à l'existence d'une corrélation de type variable et non systématique entre l'évolution de la dynamique urbaine et celle du temps de concentration.

De fait, il semble que l'accroissement de l'emprise urbaine n'en soit pas la seule cause. Il est probable que la répartition spatiale de la dynamique urbaine dans les différents bassins versants ait un impact sur la variation du temps de concentration C'est ce qui va être vérifié à travers l'évaluation qualitative de l'impact de la dynamique urbaine sur l'hydrosystème à travers l'analyse de la fragmentation spatiale urbaine par métrique paysagère dans la section qui suit.

5.1.2. Analyse de la fragmentation spatiale urbaine par l'outil de FRAGSTAT.

Choix des métriques utilisées.

L'analyse de la fragmentation spatiale de la zone urbaine dans les trois bassins versants est réalisée avec l'aide du logiciel FRAGSTAT sur la base du calcul de 04 métriques paysagères :

- NP (le nombre de fragments).
- LSI (l'indice de forme du paysage).
- ENN-MN (la distance euclidienne moyenne au plus proche voisin).
- AI (l'indice d'agrégation), (Tab5.6).

L'échelle d'analyse est celle de la zone urbaine. La classification supervisée du niveau 02 (zone urbaine, hors zone urbaine) est utilisée comme donnée d'entrée dans le logiciel pour l'identification des métriques paysagères urbaine nécessaires à l'analyse de la fragmentation urbaine. Il est supposé, par ailleurs, que l'image satellitaire prise en 2002, en 2010 ou en 2019 est une description du terrain pendant toute l'année.

Tab5.6 : Les métriques paysagères utilisées dans la présente recherche (d'après Mc Garigal, 2015).

Nom de la métrique	Formule	Echelle d'analyse	Description
Nombre de tâches/ de fragments (NP)	NP= n <i>où n est le nombre de composants présents dans le paysage.</i>	Class metrics	Indique le nombre de composants individuels et fournit une vision de la croissance de certains éléments paysagers. Il nous permet de savoir s'il y a des créations de nouveaux pôles entre les diverses périodes temporelles considérées.
L'indice de forme du paysage (LSI)	LSI= $e_i / \min e_i$ <i>où e_i est la longueur totale de bordure.</i>	Class metrics	Permet de mesurer la régularité des fragments. Les fortes valeurs de cet indice indiquent que les fragments présentent

Evaluation qualitative spatiotemporelle, Résultats, Interprétation et Discussion.

			des formes irrégulières et complexes.
L'indice d'agrégation (AI)	$AI = \left[\frac{g_{ii}}{\max \rightarrow g_{ii}} \right] (100)$ <p>Où g_{ii} est le nombre d'arêtes adjacentes, jointures communes, des fragments de classe i et $\max \rightarrow g_{ii}$ est le nombre maximum d'arêtes adjacentes des fragments de classe i.</p>	Class metrics	<p>Permet de décrire le niveau d'agrégation ou d'isolement des fragments urbains.</p> <p>AI forte valeur: forme compacte</p> <p>AI faible valeur: forme dispersée</p>
La distance euclidienne moyenne au plus proche voisin (ENN-MN)	$MNN = \frac{\sum_{j=1}^{n'} h_{ij}}{n'_i}$ <p>Où n, n_i est le nombre de fragments ayant des voisins proches, h_{ij} est la distance séparant un fragment ij au plus proche fragment voisin (m).</p>	Class metrics	<p>Illustre la manière dont les fragments urbains sont dispersés à l'échelle du paysage.</p> <p>ENN-MN > 1</p>

Résultats et discussions de l'analyse de la fragmentation spatiale.

L'analyse, par métriques paysagers des bassins versants de l'Oued Kouba, l'Oued Forcha et celui de l'Oued Sidi Harb, en 2002, conduit aux résultats suivants :

En 2002, le graphe représentant le nombre de fragments (**NP**) par bassin versant (Fig5.13) révèle que le bassin versant de l'Oued Kouba présente le nombre de fragments urbains le plus important, le bassin versant de l'Oued Forcha présente un nombre de fragments légèrement moins important que celui de l'Oued Kouba et bien plus important que le nombre d'ilots urbains qui composent le bassin versant de l'Oued Sidi Harb. Cet indice avance une première description de la fragmentation urbaine des différents bassins versants. Effectivement, c'est le paysage urbain le plus morcelé qui présente le nombre le plus important de fragments. Le bassin versant de l'Oued Kouba présente ainsi la disposition spatiale urbaine la plus fragmentée.

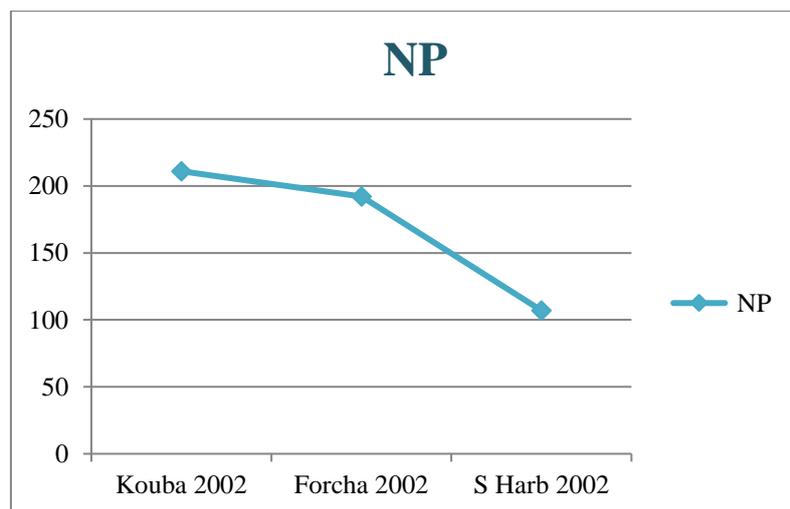


Fig5.13: Le nombre des fragments (NP) par bassins versants, année 2002.

Le deuxième graphe (Fig5.14) représente les indices de forme du paysage (**LSI**), une métrique paysagère qui illustre la complexité des formes des ilots urbains. L'Oued Kouba présente la plus forte valeur tandis que le bassin versant de l'Oued Sidi Harb présente la plus faible valeur. La forte valeur de cet indice indique que la dynamique urbaine favorise la production d'ilots urbains de formes irrégulières et complexes, c'est le cas du bassin versant de l'Oued Kouba. Le bassin versant de l'Oued Sidi Harb est, de fait, de formes simples et régulières. Ainsi, le bassin versant de l'Oued Kouba présente la disposition spatiale urbaine la plus fragmentée avec des ilots de formes irrégulières et complexes.

Evaluation qualitative spatiotemporelle, Résultats, Interprétation et Discussion.

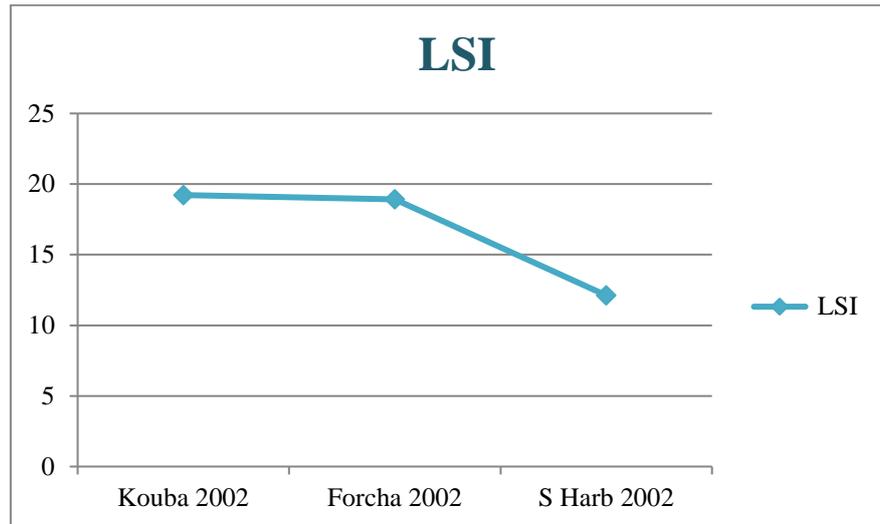


Fig5.14: l'indice de forme de paysage (LSI) par bassins versants, année 2002.

Le graphe de la métrique paysagère (A_i) ou l'indice d'agrégation illustre, l'organisation spatiale des fragments urbains au sein des trois bassins versants (Fig5.15). La faible valeur de cet indice indique que l'espace urbain présente une morphologie urbaine fragmentée ou dispersée. Le bassin versant de l'Oued Kouba, en 2002, présente la morphologie urbaine la plus dispersée, tandis que le bassin versant de l'Oued Forcha présente la morphologie urbaine la plus compacte.

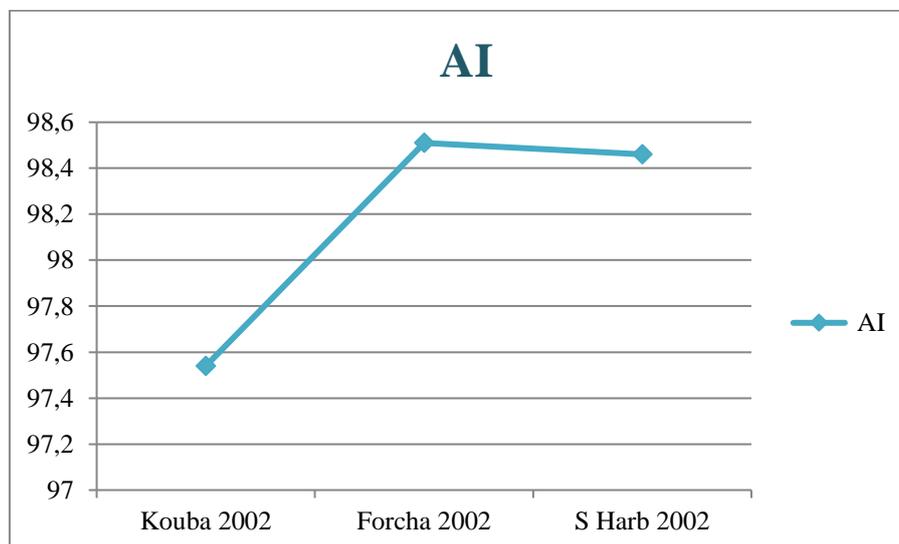


Fig5.15: L'indice d'agrégation (A_i) par bassins versants, année 2002.

L'analyse du graphe (Fig5.16) qui représente la variation de la distance euclidienne moyenne au plus proche voisin ($ENN-MN$) vient confirmer les résultats de l'analyse de la métrique paysagère (A_i). Un espace présentant une faible valeur de (A_i) est, par conséquent, un espace fragmenté qui s'associe, une distance importante entre les îlots urbains. Cette distance est

Evaluation qualitative spatiotemporelle, Résultats, Interprétation et Discussion.

exprimée par l'indice paysager (ENN-MN). Parmi les bassins versants étudiés c'est le bassin versant de l'Oued Kouba qui présente la valeur la plus forte de la distance moyenne entre les fragments urbains de même type. Le bassin versant de l'Oued Sidi Harb présente, par ailleurs, la valeur la plus faible, les îlots urbains qui le composent étant proches spatialement.

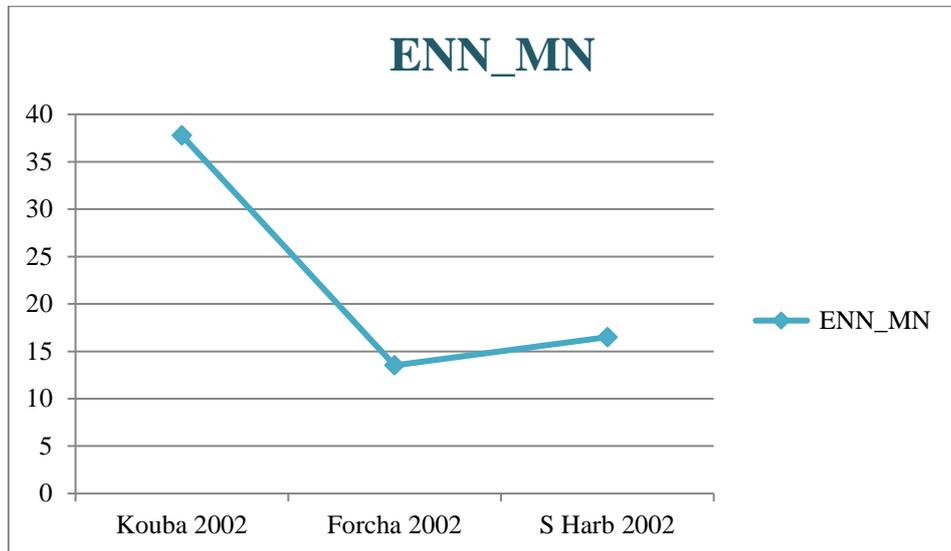


Fig5.16 : La distance euclidienne moyenne au plus proche voisin (ENN-MN) par bassins versants, année 2002.

En 2002, le bassin versant de l'Oued Kouba présente un temps de concentration (T_c) rapide relativement aux temps de concentration des deux autres bassins versants (Fig5.17). L'analyse de la fragmentation urbaine par métrique paysagère révèle que les fragments urbains qui le composent présente des formes irrégulières et complexes. Ces fragments, dispersés dans l'environnement naturel d'une manière diffuse, présentent une morphologie spatiale fragmentée avec, par conséquent, une distance importante entre les îlots urbains. Le bassin versant de l'Oued Sidi Harb a le temps de concentration le plus long.

D'après l'analyse par métriques paysagers, le bassin versant de l'Oued Sidi Harb présente une morphologie spatiale compacte car la distance moyenne entre les fragments urbains qui le composent est courte. Ils sont par ailleurs de forme plutôt régulière.

Evaluation qualitative spatiotemporelle, Résultats, Interprétation et Discussion.

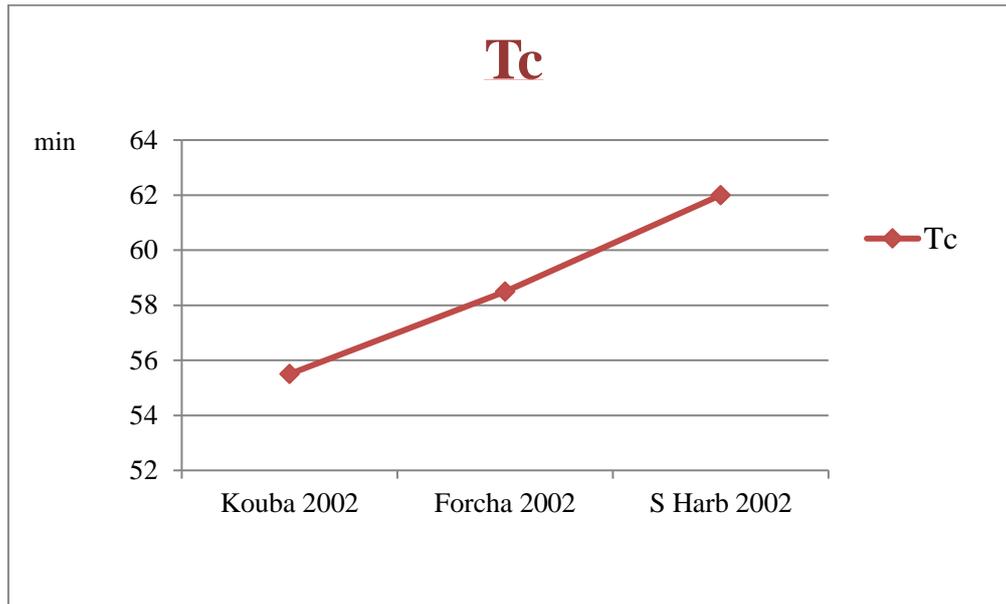


Fig5.17: Le temps de concentration par bassins versants, année 2002.

L'analyse, par métriques paysagers des bassins versants de l'Oued Kouba, l'Oued Forcha et celui de l'Oued Sidi Harb, en 2010, conduit aux résultats suivants :

En 2010, Le nombre de fragments (**NP**) au sein du bassin versant de l'Oued Kouba reste supérieur à celui du bassin versant de l'Oued Forcha (Fig5.18). Le nombre de fragments de l'Oued Sidi Harb est légèrement inférieur à celui de l'Oued Kouba. Ces résultats viennent confirmer les résultats de la dynamique urbaine des bassins versants.

En se référant aux résultats du taux d'urbanisation, entre 2002 et 2010, le bassin versant de l'Oued Forcha a présenté une évolution urbaine de 6.20 % d'où le maintien de la forme compacte de sa morphologie urbaine. Le bassin versant de l'Oued Kouba a présenté, un pourcentage d'évolution urbaine de 38.18%. Les nouveaux fragments créés entre 2002 et 2010 présentent une morphologie morcelée. Le bassin versant de Sidi Harb a présenté, quant à lui, une évolution urbaine de 266.03%. Les nouveaux fragments sont créés, d'une manière fragmentée dans l'espace.

Evaluation qualitative spatiotemporelle, Résultats, Interprétation et Discussion.

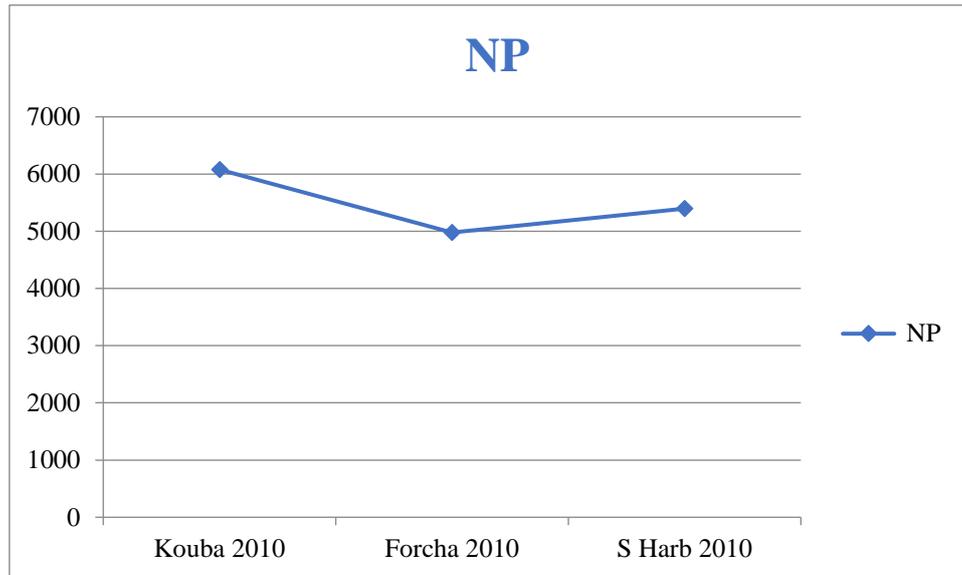


Fig5.18: Le nombre des fragments (NP) par bassins versants, année 2010.

Se référant à l'analyse du graphe présentant la courbe de variation de la métrique paysagère de la forme du paysage (**LSI**), les fragments urbains du bassin versant de l'Oued Sidi Harb en 2010 présentent les formes les plus régulières relativement aux formes des composants urbains des deux bassins versants de l'Oued Forcha et de l'Oued Kouba (Fig5.19).

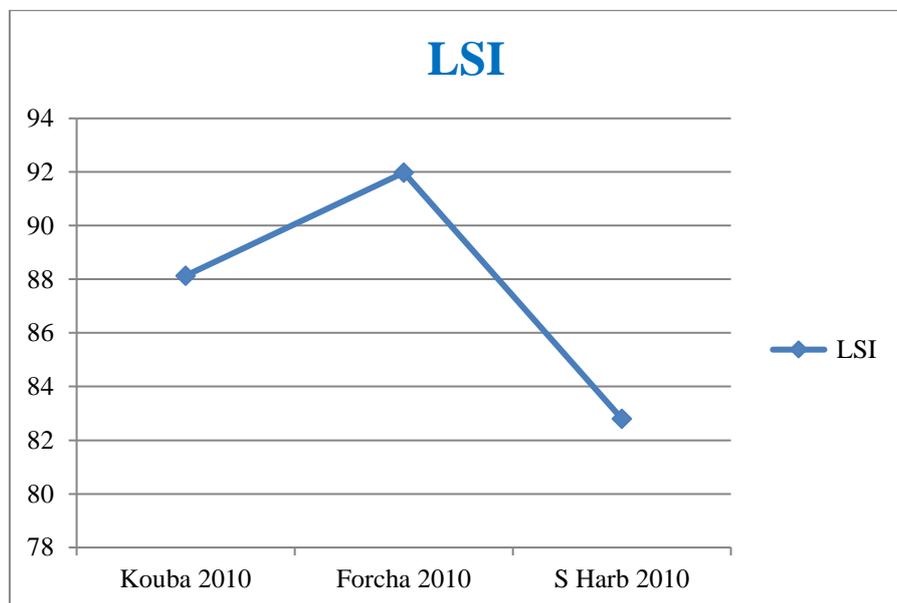


Fig5.19: l'indice de forme de paysage (LSI) par bassins versants, année 2010.

En analysant l'organisation spatiale des fragments urbains illustrée dans le graphe de l'indice d'agrégation (**Ai**) (Fig.5.20), il apparaît que les îlots urbains qui composent le bassin versant de l'Oued Forcha s'organisent dans l'espace d'une manière compacte relativement aux composants

Evaluation qualitative spatiotemporelle, Résultats, Interprétation et Discussion.

urbains de l'Oued Kouba et de l'Oued Sidi Harb qui présentent une morphologie spatiale fragmentée.

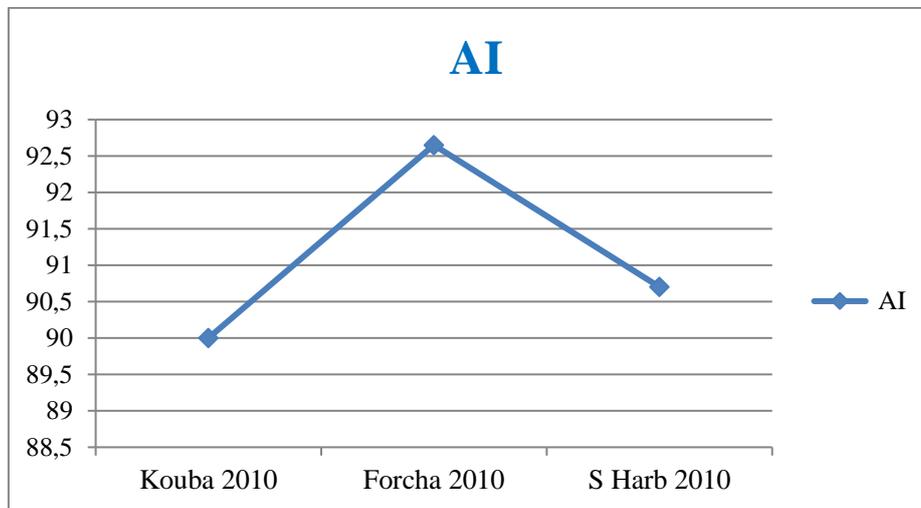


Fig5.20: L'indice d'agrégation (Ai) par bassins versants, année 2010.

Le graphe (Fig5.21) illustrant la distance euclidienne moyenne au plus proche voisin (ENN-MN) révèle que les fragments urbains composant le bassin versant de l'Oued Sidi Harb s'agencent dans l'espace avec une importante distance entre chacun d'eux.

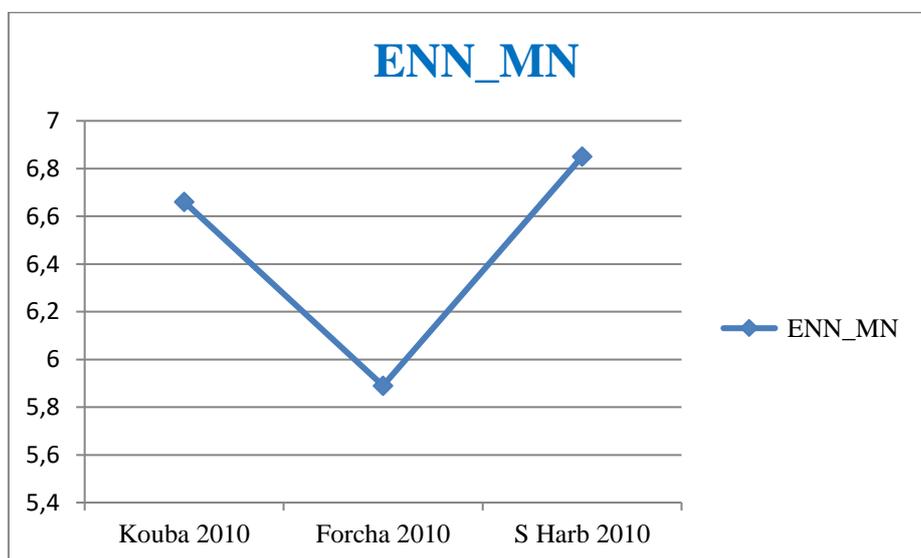


Fig5.21: La distance euclidienne moyenne au plus proche voisin (ENN-MN) par bassins versants, année 2010.

Evaluation qualitative spatiotemporelle, Résultats, Interprétation et Discussion.

En 2010, le bassin versant de l'Oued Sidi Harb présente le temps de concentration (T_c) le plus rapide relativement aux deux bassins versants de l'Oued Kouba et de l'Oued Forcha (Fig5.22). L'analyse par métrique paysagère du bassin versant de l'Oued Sidi Harb indique que les fragments urbains qui le composent donnent lieu à une morphologie spatiale urbaine fragmentée car la distance qui sépare les ilots urbains est importante. Ces fragments urbains sont par ailleurs de formes régulières. L'analyse par métrique paysagère, révèle que le bassin versant de l'Oued Forcha qui a le temps de concentration (T_c) le plus long se compose de fragments urbains de formes irrégulières et complexes, organisés dans l'espace d'une manière dispersée avec une importante distance entre eux.

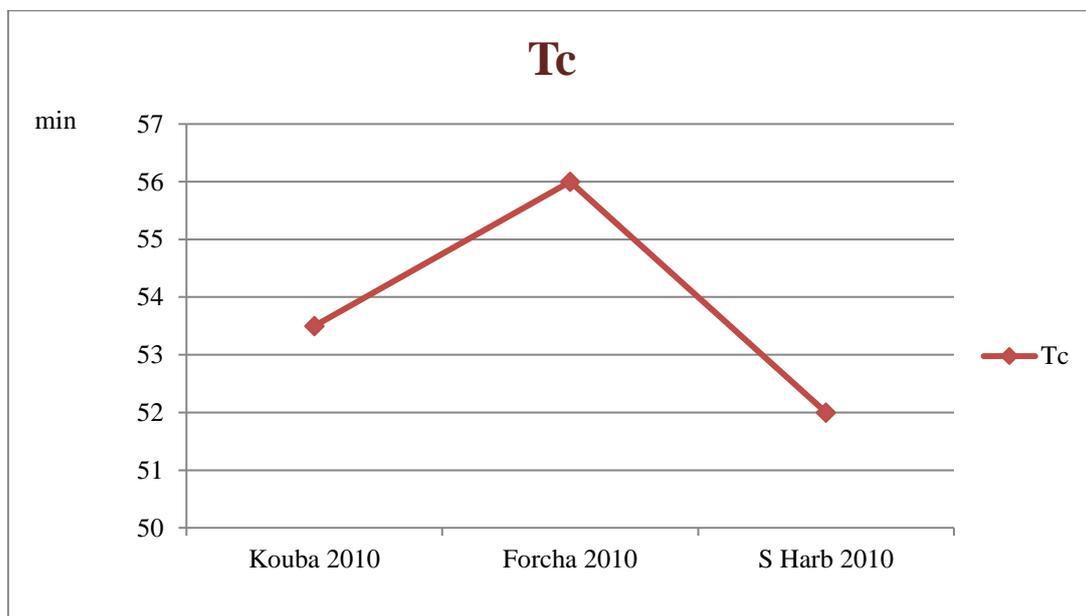


Fig5.22 : Le temps de concentration par bassins versants, année 2010.

L'analyse, par métriques paysagers des bassins versants de l'Oued Kouba, l'Oued Forcha et celui de l'Oued Sidi Harb, en 2019, a donné les résultats suivants :

Le nombre de fragments (NP) présents dans le bassin versant de l'Oued Kouba est supérieur à celui des bassins versants de l'Oued Forcha et celui de Sidi Harb (Fig5.23). Le taux de l'urbanisation qu'a connu le bassin versant de l'Oued Kouba entre 2002 et 2010 de 116% l'explique partiellement. Le bassin versant de l'Oued de Sidi Harb présente un nombre de fragments largement supérieur à celui de l'Oued Forcha où il tend à se stabiliser.

Evaluation qualitative spatiotemporelle, Résultats, Interprétation et Discussion.

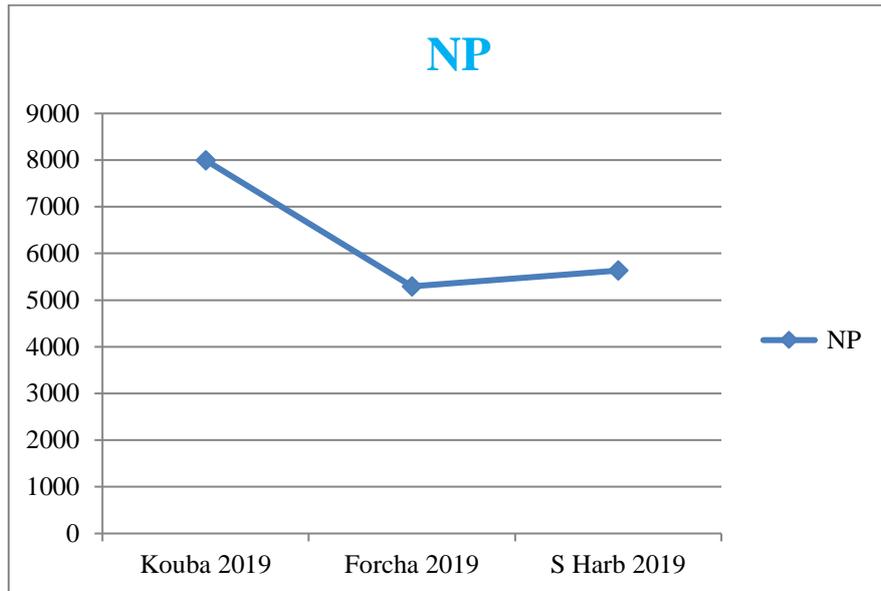


Fig5.23: Le nombre des fragments (NP) par bassins versants, année 2019.

L'Oued Kouba présente la valeur de l'indice de forme de paysage (**LSI**) la plus importante, et par conséquent, les formes les plus irrégulières et complexes relativement aux bassins versants de l'Oued Forcha et l'Oued Sidi Harb (Fig5.24). Les formes des fragments urbains de l'Oued Forcha et de l'Oued Sidi Harb sont relativement régulières.

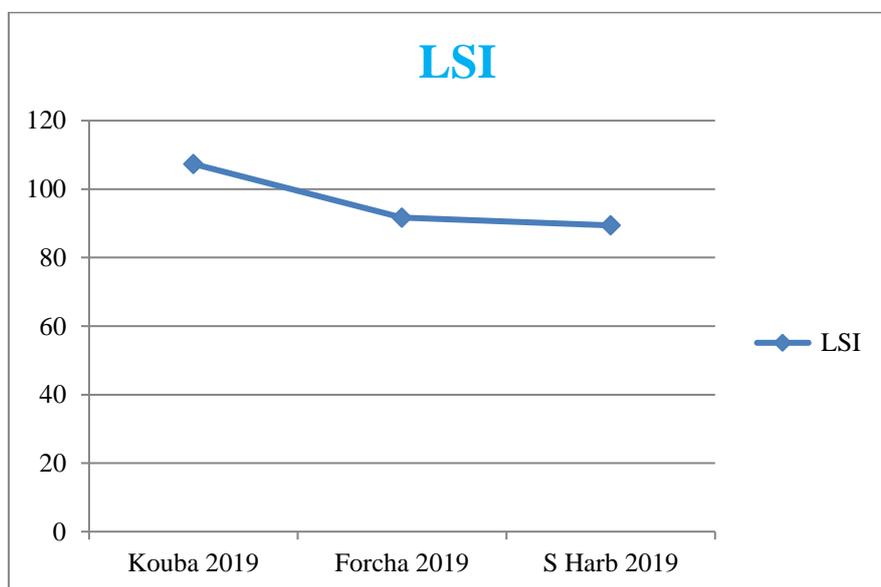


Fig5.24: l'indice de forme de paysage (LSI) par bassins versants, année 2019.

Le bassin versant de l'Oued Kouba présente le niveau d'agrégation (**Ai**) de la morphologie urbaine le plus important, suivi du bassin versant de l'Oued Sidi Harb (Fig5.25). Le bassin

Evaluation qualitative spatiotemporelle, Résultats, Interprétation et Discussion.

versant de l'Oued Forcha présente, par ailleurs, une morphologie spatiale urbaine plus compacte.

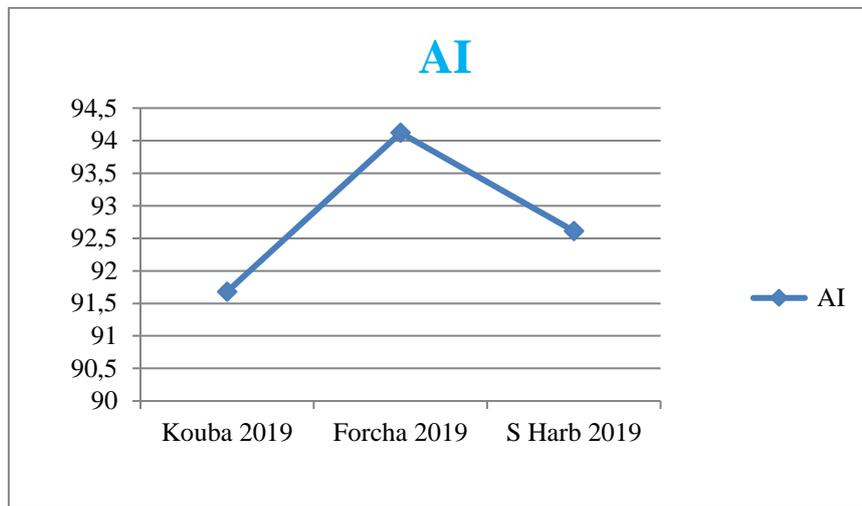


Fig5.25: L'indice d'agrégation (Ai) par bassins versants, année 2019.

Le graphe illustré dans la Fig5.26, illustre la distance euclidienne moyenne au plus proche voisin (ENN-MN) par bassin versant, permet de déduire que les bassins versants de l'Oued Kouba et celui de Sidi Harb présentent les valeurs les plus importantes en termes de distances entre les fragments urbains, ce qui confirme les résultats de l'analyse de l'indice d'agrégation. Les bassins versants qui présentent des morphologies spatiales fragmentées s'accompagnent en effet de distances inter-ilots importantes.

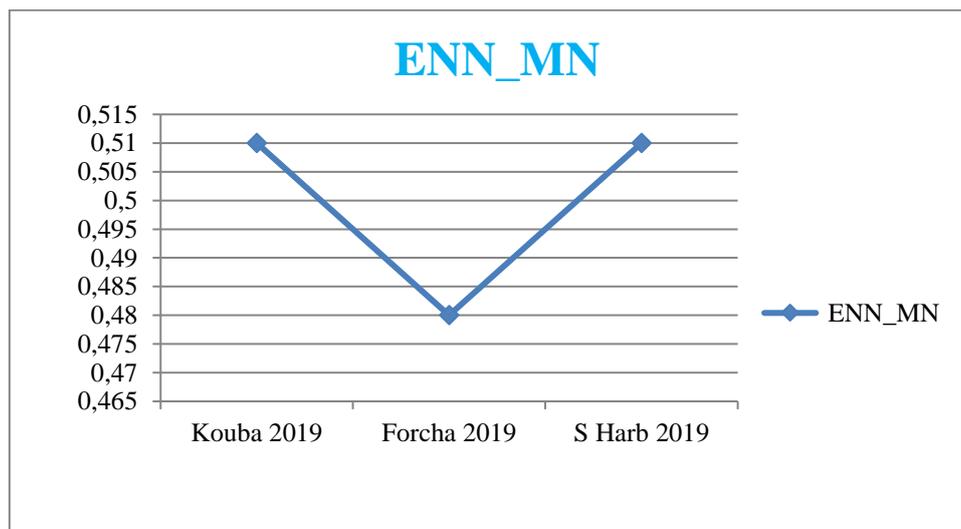


Fig 5.26: La distance euclidienne moyenne au plus proche voisin (ENN-MN) par bassins versants, année 2019.

Evaluation qualitative spatiotemporelle, Résultats, Interprétation et Discussion.

En 2019, le bassin versant de l'Oued Kouba présente le temps de concentration (**T_c**) le plus rapide (Fig5.27). L'analyse de fragmentation urbaine par métriques paysagères, montre par ailleurs qu'il présente le nombre de fragments le plus important. Ces fragments sont de formes irrégulières et s'agencent dans l'espace avec des distances inter-ilots importantes, créant ainsi une morphologie spatiale urbaine très fragmentée.

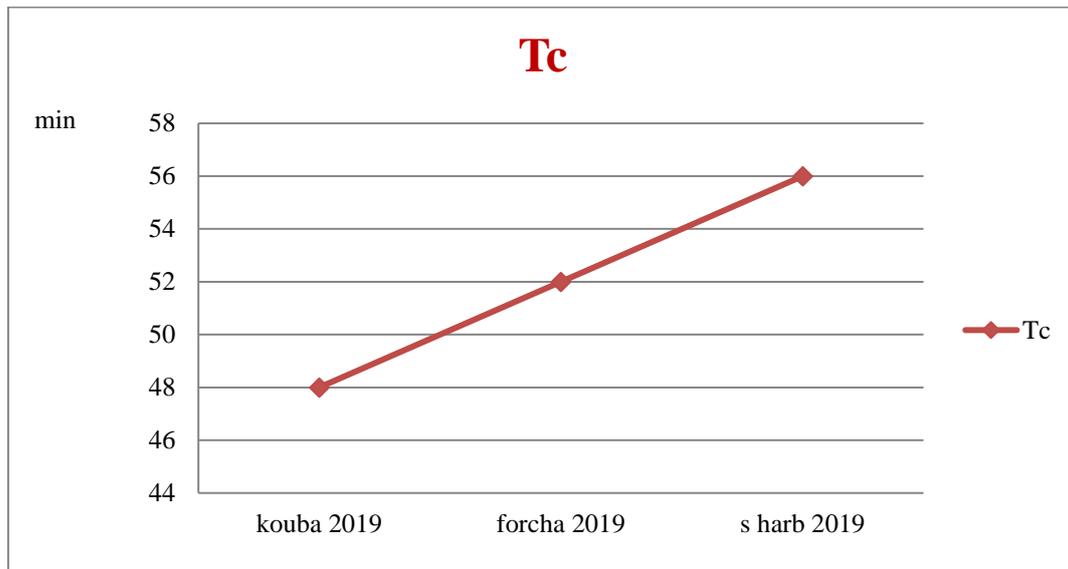


Fig5.27: Le temps de concentration par bassins versants, année 2019.

In fine, L'analyse qualitative par métriques paysagères révèle **une corrélation négative entre la répartition spatiale de la dynamique urbaine et le temps de concentration** des bassins versants.

Au terme de l'analyse qualitative, il s'avère que ;

L'évaluation qualitative de l'impact de la distribution spatiale urbaine sur la variation des valeurs des temps de concentrations, au sein des trois bassins versant, de l'Oued Kouba, l'Oued Forcha et l'Oued Sidi Harb, et ce à travers un intervalle de temps (2002-2010 et 2019), a été réalisée à travers une classification supervisée des images satellitaires. Elle a permis de comparer les modes d'expansion urbaine par rapport à l'espace environnant d'une part et à travers le calcul d'indices paysagers qui ont permis de caractériser la distribution spatiale urbaine dans la zone d'étude d'autre part.

Evaluation qualitative spatiotemporelle, Résultats, Interprétation et Discussion.

Les résultats de l'évaluation qualitative ont conclu que dans les trois bassins versants à travers l'intervalle de temps (2002, 2010, et 2019) le temps de concentration diminue avec l'augmentation de la distance entre les fragments urbains. En d'autres termes, l'évolution de la dynamique urbaine par fractionnement des entités spatiales dans l'environnement favorise l'accélération du temps de concentration, d'où son impact sur l'équilibre de fonctionnement de l'hydrosystème.

5.1.3. Synthèse de l'analyse spatio-temporelle qualitative et quantitative de la zone d'étude.

L'analyse de l'évolution de la dynamique urbaine et la mesure de son impact sur le fonctionnement de l'hydrosystème a nécessité une analyse comparative quantitative et une analyse comparative qualitative urbaines spatiotemporelles des bassins versants concernés par l'étude. Ceci dit, **l'analyse quantitative** s'est établie en deux étapes, la première étant d'analyser diachroniquement des images satellitaires et la deuxième étant d'analyser l'impact de la dynamique urbaine sur des indices hydrologiques qui sont le débit de pointe et le temps de concentration.

L'analyse diachronique des différentes images satellitaires consiste en un travail de comparaison des informations urbaines que fournissent ces images à travers les années concernées par le travail de recherche, les années de 2002, 2010 et 2019, des dates qui ont marqué le territoire Annabi par des phénomènes d'inondation remarquables, de par le nombre de victimes et dégâts matériels engendrés. Le phénomène des inondations étant considéré comme un signe pathologique de l'atteinte au fonctionnement sain et équilibré de l'hydrosystème local. Les informations urbaines incluent les taux de l'urbanisation, l'évolution des axes routiers, des surfaces urbaines des espaces verts...La deuxième étape de l'analyse quantitative a consisté en l'analyse de l'impact de la dynamique urbaine sur des indices hydrologiques ; Le débit de pointe et le temps de concentration. Ces deux paramètres hydrologiques sont considérés, dans le présent travail de recherche, comme des indicateurs significatifs qui caractérisent l'état du fonctionnement de l'hydrosystème dans un contexte de dynamique urbaine maintenue.

En effet, les effets les plus apparents de l'urbanisation sur l'hydrosystème dans, un bassin versant donné, restent la diminution de son temps de concentration (T_c) et l'augmentation de son débit de pointe (Q) (Salavati, 2015). Ainsi, c'est dans l'objectif de quantifier l'impact de la dynamique urbaine sur le fonctionnement de l'hydrosystème qu'on a relié l'évolution des

Evaluation qualitative spatiotemporelle, Résultats, Interprétation et Discussion.

paramètres urbains (taux d'urbanisation, pourcentage des surfaces imperméables...) à l'évolution des paramètres hydriques afin de définir le type de corrélation existant entre les dynamiques urbaines, hydriques. Cependant, les valeurs des temps de concentration et celles des débits des différents bassins versants ne sont pas disponibles tant au niveau des agences des bassins hydrographiques locales qu'au niveau des documents issus de la littérature et de la recherche bibliographique. Le recours au calcul manuel de ces valeurs s'est nécessaire. On s'est référé, alors, à la littérature portant sur l'hydrologie en général, plusieurs formules existent, le choix s'est porté, par ailleurs, sur des formules dont les variables à mettre en fonction peuvent être connues dans le cadre de ce travail de thèse.

Quant à l'**analyse qualitative** spatiotemporelle, elle vise à analyser qualitativement les effets d'un paramètre qualitatif de la dynamique urbaine qui est sa répartition spatiale sur la durabilité du fonctionnement équilibre de l'hydrosystème local représenté par ses indices hydrographiques. Cette analyse s'est effectuée, essentiellement, en moyennant du logiciel FRAGSTAT, qui permet l'analyse de la fragmentation urbaine à travers le calcul des indices paysagers. Cependant, les images satellitaires destinées à cette analyse subissent un prétraitement qui consiste en une classification supervisée en moyennant de l'Arcmap 10.3. Le but de la classification étant, finalement, double, de fait, la classification des bassins versants s'est effectuée suivant deux différents niveaux. Le premier niveau de la classification comprend trois classes thématiques ; La zone urbaine, la zone végétales et espace arboré et enfin la zone des terrains nus. L'objectif de cette première classification chronologique des trois bassins versants est d'illustrer le mode d'expansion urbaine par rapport à l'espace environnant. Le deuxième niveau de classification comprend, par ailleurs, deux classes thématiques ; Zone urbaine et hors zone urbaine, les résultats de ce niveau de classification servent uniquement de données d'entrée dans le logiciel FRAGSTAT. En effet, les différentes cartes prétraitées sont introduites, succinctement, dans le logiciel, les différents indices sont, par la suite, extraits.

L'outil de FRAGSTAT présente un nombre important d'indices¹. Ces indices peuvent être calculés au niveau de la tâche ou du pixel, *Patch metrics*, au niveau de la classe qui est constituée d'un groupe de pixels présentant les mêmes caractéristiques, *Class metrics*, ou encore au niveau du paysage, *Landscape metrics*. Se référant aux définitions données dans le document d'aide (actualisé en 2015) qui accompagne le logiciel FRAGSTAT, édité par l'auteur Mc

¹ La liste des différents indices paysagers que propose FRAGSTAT sur trouve en annexe.

Evaluation qualitative spatiotemporelle, Résultats, Interprétation et Discussion.

Garigal, quatre métriques paysagères sont utilisées dans le présent travail de recherche. Ces metrics combinés donnent une illustration exacte de la répartition spatiale urbaine.

- Le nombre de tâches ou de fragments (N_p): Cet indice indique le nombre de fragments et permet de savoir si, à travers, les années de l'étude, il y a eu des créations de nouveaux pôles urbains.
- L'indice de forme du paysage (L_{si}): Il illustre, à son tour, la forme des fragments urbains (forme régulière, forme complexe, forme simple, forme irrégulière...).
- L'indice d'agrégation (A_i): Cet indice permet, par ailleurs, de décrire le niveau d'agrégation ou d'isolement des fragments urbains pour déduire si la forme de la tâche urbaine est compacte ou plutôt dispersée.
- Et enfin, la distance euclidienne moyenne au plus proche voisin (ENN_{MN}): C'est un indice qui sert à décrire la manière dont les fragments urbains sont dispersés à l'échelle du paysage.

Le but étant d'analyser l'évolution de la répartition spatiale de la dynamique urbaine dans le paysage naturel, ces différents indicateurs sont calculés dans le logiciel FRAGSTAT à l'échelle *Class metrics*.

Les résultats de l'analyse spatio-temporelle qualitative et quantitative de la zone urbaine d'étude dans les bassins versants de l'Oued Kouba, l'Oued Forcha et l'Oued Sidi Harb à travers l'intervalle de temps considéré (2002-2010 et 2019) se déclinent comme suit ;

- Le pourcentage des surfaces imperméables varie d'un bassin versant à un autre entre 2002, 2010 et 2019. Par conséquent, la variation du pourcentage de surfaces imperméabilisées a plutôt une tendance à la hausse dans les trois bassins versants.
- La dynamique urbaine à l'intérieur des bassins versants de l'étude est marquée par l'extension des limites de la tâche urbaine plutôt que par une densification des centres urbains.
- L'artificialisation des cours d'eau se fait au fur et à mesure que l'urbanisation avance. Des conséquences perceptibles hydrologiques et écologiques peuvent être appréhendées.

Evaluation qualitative spatio-temporelle, Résultats, Interprétation et Discussion.

- Le développement du réseau viaire impacte le réseau hydrographique par l'accélération du coefficient de ruissellement.
- L'accentuation du volume du débit à l'exutoire du bassin versant dépend de l'augmentation des surfaces imperméables. La corrélation positive entre les surfaces imperméables et le volume du débit à l'exutoire du bassin versant a été déduite par l'analyse quantitative des bassins versants.
- La classification supervisée a confirmé une progression continue de la dynamique urbaine entre 2002, 2010 et 2019.
- La classification supervisée a également illustré la dynamique des surfaces des espaces végétaux et des espaces nus entre augmentation et réduction, et ce en 2002, 2010 et 2019.

L'analyse qualitative spatio-temporelle de la dynamique urbaine des bassins versants a confirmé une deuxième corrélation négative entre la fragmentation urbaine spatiale d'un bassin versant et son temps de concentration.

La morphologie spatiale urbaine a un impact direct sur cet indice hydrologique, de fait, il peut être affirmé que **la dynamique urbaine est dommageable au bon fonctionnement des hydrosystèmes moins de son propre fait (augmentation de la surface urbanisée), que par sa distribution spatiale interférant avec la géographie et la dynamique de l'eau au sein des bassins versants. L'hypothèse de recherche est ainsi vérifiée.**

Conclusion.

La démarche de l'évaluation qualitative et quantitative de l'impact de la dynamique urbaine sur le fonctionnement équilibré de l'hydrosystème, appliquée dans le présent cas d'étude a compris quatre grandes étapes :

- La reconstitution de l'historique des trajectoires de la dynamique urbaine à partir d'images satellitaires et de photos aériennes.
- Le calcul d'indices hydrologiques qui caractérisent le fonctionnement de l'hydrosystème.
- La classification supervisée des différentes images satellitaires couvrant les différents bassins versants pendant un intervalle de deux décennies.
- La production d'indicateurs écologiques, appliqués en milieu urbain, permettant la mise en correspondance de ces données avec les données hydrologiques.

Les résultats de l'analyse ont révélé une progression continue de la dynamique urbaine dans les bassins versants pendant l'intervalle de temps d'étude. La dynamique urbaine est inégalement répartie, en effet, le pourcentage des surfaces imperméables varie d'un bassin versant à un autre. L'accentuation du volume du débit à l'exutoire du bassin versant et la diminution de leurs temps de concentration dépendent du pourcentage des surfaces imperméables. Il est déduit une double corrélation : Positive entre l'augmentation du volume du débit de pointe et l'augmentation du pourcentage des surfaces imperméables et négative entre la diminution du temps de concentration et l'augmentation du taux des surfaces urbanisées. Une troisième corrélation négative, définie par l'analyse qualitative par métriques paysagères, existe entre la répartition spatiale et le temps de concentration des bassins versants. En effet, un agencement spatial compact a un impact minime sur le fonctionnement de l'hydrosystème relativement à un agencement fragmenté.

Les résultats de l'analyse ont présenté, également, l'intérêt de l'utilisation de la télédétection et des SIG et des métriques paysagères pour la modélisation, le suivi et la mesure quantitative et qualitative de la dynamique urbaine et de son impact sur le fonctionnement de l'hydrosystème. Aussi, il a été prouvé que des images, dont la résolution spatiale est relativement faible, peuvent être adaptées à l'étude des milieux urbains et leurs impacts sur le fonctionnement de l'hydrosystème. L'utilité de leurs utilisations dans des domaines de recherche a été démontrée à

Evaluation qualitative spatio-temporelle, Résultats, Interprétation et Discussion.

travers la présente étude. Cela remonte à plusieurs années que des travaux de recherche ont été réalisés avec l'outil de la télédétection (Aaguejda, 2011). Cependant, le présent travail de recherche s'est en plus appuyé sur l'utilisation conjointe d'images spot multi dates, multi spatiales avec l'utilisation de métriques spatiales dans l'évaluation de l'impact de la dynamique urbaine sur le fonctionnement de l'hydrosystème. Cette approche a permis de retracer les formes principales de l'évolution de la dynamique urbaine et de mesurer quantitativement et qualitativement l'impact qu'entraîne l'avancée de son front sur le fonctionnement de l'hydrosystème.

Les projections de la wilaya en termes de démographie et d'activités sont réunies pour indiquer que la dynamique urbaine dans la wilaya de Annaba soit continue et maintenue dans les années à venir. Ainsi, dans un contexte actuel de changement climatique, de dégradation des hydrosystèmes et d'une dynamique urbaine, la définition d'un agencement spatial permettant une dynamique urbaine avec de moindres impacts sur le fonctionnement hydrologique présente un intérêt majeur pour les urbanistes en particulier et pour la communauté scientifique en général. La pertinence de ces résultats tient à leur opérationnalité immédiate dans la planification urbaine en vue d'aménagements à moindre impact sur les hydrosystèmes qui drainent les villes. Ils peuvent également faciliter la prise de décision dans le cadre des études prospectives d'établissements humains respectueux du cycle de l'eau. L'originalité de cette recherche tient, **i) au choix du sujet qui traite de l'interférence de deux systèmes dynamiques, complexes et évolutifs : la ville comme système socio-écologique (artificiel) et la rivière comme système hydro-écologique (naturel); ii) l'approche spatio-temporelle par bassin versant durant un intervalle de temps de plusieurs années; iii) l'utilisation conjointe d'images satellitaires et de métriques spatiales pour caractériser la dynamique urbaine en termes quantitatif et qualitatif ; iv) le choix du cas d'étude n'ayant pas été traité sous cet angle auparavant ; v) enfin la reproductibilité de la démarche adoptée et son apport aux études prospectives portant sur la réduction du risque d'inondation et la préservation des hydrosystèmes urbains.**

**CHAPITRE VI,
CONCLUSION GENERALE.**

CHAPITRE VI,

CONCLUSION GENERALE.

6.1. Synthèse de l'analyse spatio-temporelle qualitative et quantitative et des principaux résultats.

L'anthropisation des territoires engendre des conséquences non négligeables sur l'environnement naturel en général. Cependant, ses composantes ; La faune, la flore, l'air, le sol et les ressources naturelles indispensables à notre survie exigent le maintien d'un équilibre permanent. Le cycle de l'eau compte parmi les plus grands équilibres écologiques vulnérables à l'action de l'homme. Les actions anthropiques mettent, en effet, en place des surfaces imperméables sur des espaces initialement végétales avec un degré de perméabilité important, le taux de ruissellement est, de fait, augmenté et la réalimentation des nappes est appauvrie à cause de la diminution de l'infiltration des eaux, le fonctionnement de l'hydrosystème est, ainsi, amplement contraint. Les précipitations, les écoulements, les infiltrations, ou encore l'évapotranspiration sont des composants du cycle hydrologique. Leurs fonctionnements assurent les phénomènes de mouvement et de renouvellement des eaux superficielles et souterraines, la moindre faille dans le maintien de cet équilibre peut engendrer d'importants dysfonctionnements.

La présente recherche se positionne dans le champ scientifique de l'urbanisme et de développement durable. Elle se propose d'évaluer l'impact de la dynamique urbaine sur le fonctionnement de l'hydrosystème dans l'objectif de répondre à l'hypothèse émise et qui stipule **que la dynamique urbaine serait dommageable au bon fonctionnement des hydrosystèmes moins de son propre fait, que par sa distribution spatiale interférant avec la géographie et la dynamique de l'eau au sein des bassins versants.**

Le présent travail de recherche fait référence à i) la dynamique urbaine comme étant un phénomène artificiel (anthropique) résultant d'une combinaison de plusieurs forces à l'origine de l'action urbaine (e.g. mobilité de la population, périurbanisation, développement socio-économique, mondialisation) (Bouzahzah, 2015). Elle est analysée ici à travers deux critères : l'emprise urbaine (surface imperméabilisée) et le mode d'étalement (compacte ou fragmenté) ; ii) la dynamique de l'hydrosystème est rapportée aux flux superficiels et souterrains à l'échelle du bassin hydrographique.

Au regard du type d'inondations enregistrées dans le cas d'étude, la dynamique de l'hydrosystème est analysée ici à travers celle des oueds, rapportée à deux critères : le débit à l'exutoire et le temps de concentration. La méthodologie suivie s'est appuyée sur une évaluation quantitative et qualitative de l'impact de la dynamique urbaine sur le fonctionnement de l'hydrosystème à travers une approche comparative spatio-temporelle. L'approche méthodologique suivie a incité à travailler à l'échelle des bassins versants. L'échelle spatiale est justifiée par le fait que dans sa définition, le bassin versant comprend les activités naturelles et anthropiques qui s'y passent.

Le champ spatial d'analyse est, ainsi, plus vaste que l'agglomération. C'est une approche qui permet d'associer les territoires, les paysages, les ambiances et leurs dynamiques.

L'analyse, s'est appuyée, essentiellement, sur des données de télédétection multi spatiales, multi temporelles. Les années concernées par le travail de recherche sont celles de 2002, 2010 et 2019. Ces années sont marquées par des phénomènes d'inondations remarquables sur le territoire Annabi. Les différentes images spot ont permis de retracer dans le temps l'évolution des trajectoires d'occupation des sols et de suivre l'évolution spatio-temporelle de la fragmentation spatiale de la dynamique urbaine. L'analyse a nécessité, également, le calcul d'indices hydrologiques qui présentent l'évolution du fonctionnement de l'hydrosystème. Des indicateurs écologiques, appliqués au milieu urbain, ont été également définis.

L'évaluation quantitative de l'impact de la dynamique urbaine s'est établie en deux étapes, la première a analysé diachroniquement des images satellitaires, elle a consisté en un travail de comparaison des informations urbaines (l'étendue de l'occupation urbaine du sol, l'état du couvert végétal, l'évolution du réseau routier, la canalisation des cours d'eau...). La détermination de l'évolution de la dynamique urbaine s'est basée sur le suivi du changement de la couverture végétale, et le changement de l'emprise des surfaces artificialisées. Ces dernières sont représentées par les zones industrielles, commerciales, résidentielles ainsi que par le réseau routier et ferré. Ces surfaces représentent un élément clé pour quantifier les trajectoires de la dynamique urbaine. Leurs progressions sont identifiées, à cette étape, par observation. L'ensemble de ces informations sont fournies à travers des images spot multi spatiale, multi temporelle.

La deuxième étape est d'analyser l'impact de la dynamique urbaine sur des indices hydrologiques qui sont le débit de pointe et le temps de concentration, des indicateurs significatifs de l'état du fonctionnement de l'hydrosystème.

L'évaluation qualitative a visé, par ailleurs, à mesurer les effets de la fragmentation urbaine spatiale de la dynamique urbaine sur le fonctionnement de l'hydrosystème local représenté par ses indices hydrologiques, l'analyse qualitative est établie sur la base d'un travail de classification. Beaucoup de techniques sont utilisées pour détecter, sur le produit satellitaire, l'évolution de la dynamique urbaine, comme la technique de la photo-interprétation ou celle de l'échantillonnage de points. Cependant, l'outil de la classification reste la technique la plus utilisée pour quantifier les surfaces artificialisées. Cela dit, l'exactitude des résultats de la classification dépendent de la résolution des données satellitaires, du chevauchement spectral, des algorithmes et des procédures exécutées (Lu et Weng, 2005, Smith et al, 2002). Les différents paysages urbains qui ont résulté de la classification supervisée, ont été, par la suite, caractérisés avec une série d'indicateurs, empruntés de l'écologie, appliqués en milieu urbain.

Il s'agit des métriques paysagères suivantes ; Le nombre de tâches ou de fragments (N_p), l'indice de forme du paysage (L_{si}), l'indice d'agrégation (A_i), la distance euclidienne moyenne au plus proche voisin (ENN_{MN}). Le calcul s'est effectué en moyennant du logiciel FRAGSTAT. L'analyse comparative de l'évolution de ces métriques paysagères, appliquées en milieu urbain, et l'évolution des paramètres hydrologiques aboutit à une évaluation de l'impact de la répartition spatiale urbaine sur le fonctionnement de l'hydrosystème. Les résultats de l'évaluation quantitative et qualitative spatio-temporelle de la zone d'étude ont permis finalement d'affirmer l'hypothèse de recherche qui stipule que la dynamique urbaine est dommageable au bon fonctionnement des hydrosystèmes moins de son propre fait, que par sa distribution spatiale interférant avec la géographie et la dynamique de l'eau au sein des bassins versants.

Les projections de la wilaya en termes de démographie et d'activités sont réunies pour indiquer que la dynamique urbaine dans la wilaya de Annaba soit continue et maintenue dans les années à venir.

Ainsi, dans un contexte actuel de changement climatique, de dégradation des hydrosystèmes et d'une dynamique urbaine, la définition d'un agencement spatial permettant une dynamique urbaine avec de moindres impacts sur le fonctionnement hydrologique présente un intérêt majeur pour les urbanistes en particulier et pour la communauté scientifique en général. En effet, modéliser la dynamique urbaine en identifiant les changements d'usage des sols, peut servir, dans une étude ultérieure à l'élaboration de scénarios prospectifs de dynamiques urbaines axées sur la préservation de l'hydrosystème.

6.2. Une perspective d'aménagements urbains favorables à l'eau à Annaba.

Autant l'eau est une ressource stratégique en urbanisme. Trop d'eau peut contraindre les fonctions urbaines. Ainsi, une meilleure compréhension des synergies qui régissent le système urbain et le système de l'eau s'impose afin de parvenir à des compromis qui assurent l'équilibre et la pérennité des deux systèmes.

Le cas d'étude de la présente recherche est fortement concerné par les inondations comme le prouvent les événements récents. En effet, la ville de Annaba a connu des inondations en 2002, 2010, 2019 qui ont suscité des pertes économiques et humaines non négligeables.

Les résultats de la présente recherche ont mis en exergue les facteurs anthropiques qui aggravent la vulnérabilité de Annaba face aux inondations. L'évaluation qualitative et quantitative de l'impact de la dynamique urbaine sur l'équilibre de l'hydrosystème dans trois bassins versants affichant différents taux d'urbanisation a permis de relever les pratiques urbaines qui perturbent le fonctionnement de leurs hydrosystèmes et par conséquent aggravent l'effet des inondations.

Dans les trois bassins versants de l'Oued Kouba, l'Oued Forcha et l'Oued Sidi Harb, la dynamique urbaine est continue. Elle procède par extension des limites urbaines vers les versants Sud du mont de l'Edough, marqués par la richesse de leurs réseaux hydrographiques. La dynamique urbaine à Annaba prend siège essentiellement dans les terrains plats des bassins versants, au niveau des lits majeurs des cours d'eau principaux et secondaires, au détriment de la végétation et des espaces naturels.

Les cours d'eau principaux ont connu des travaux d'endiguements et de rectifications, tandis que les cours d'eau secondaires ont connu des travaux de canalisations puis d'enterrement. En outre, le réseau viaire s'est densifié entre 2002 et 2019 suivant deux axes. Le premier axe, perpendiculaire à la pente du talweg, constitue un obstacle à l'écoulement des eaux d'où leurs cheminements vers des passages artificiels, les réseaux d'assainissement. Le deuxième axe, parallèle à la pente, achemine les eaux vers leurs exutoires avec des vitesses, parfois trop importantes dues à l'imperméabilisation du sol, ce qui augmente le risque des inondations.

En effet, lorsque les lignes de la voirie sont perpendiculaires aux lignes d'écoulement naturelles de l'eau, elles constituent de véritables digues, qui obligent l'écoulement des eaux accumulées à s'orienter vers des passages artificiels. Cependant, lorsque les lignes de la voirie sont dans le sens de la pente, elles peuvent se transformer en de véritables canaux, rigides, rectilignes, parfois munies d'une forte pente, et toujours de faible rugosité à la différence d'un relief naturel, les écoulements peuvent alors atteindre des vitesses très grandes provoquant ainsi des effets dévastateurs.

Afin d'assurer une dynamique urbaine favorable au bon fonctionnement de ces hydrosystèmes tout en augmentant sa résilience face au risque des inondations, quelques mesures peuvent être prises à comme suit :

Recommandations concernant l'aménagement urbain (moyen et long terme).

L'eau doit être perçue comme un élément de valorisation dans la dynamique urbaine de la ville et prendre peu à peu la forme d'un objet pleinement territorial pour devenir un vecteur de qualité de vie et de bien-être. Plusieurs initiatives peuvent être avancées dans ce sens :

- L'utilisation de l'eau comme élément d'aménagement urbain.
- La mise en valeur du patrimoine lié à l'eau : patrimoine historique, architectural, comme les ponts, aqueducs...ou industriel, tels que les quais ou les moulins.
- L'utilisation de l'eau comme élément de sociabilité : développement des lieux de rencontre ou d'activité (pêche, baignade, jeux d'eau, etc.).

En effet, les Oueds principaux des bassins versants concernés par le cas d'étude, à savoir, l'Oued Kouba, l'Oued Forcha et l'Oued Sidi Harb peuvent réintégrer le milieu urbain dans le cadre d'opérations de requalifications urbaines, qui peuvent faire de ces milieux actuellement répulsifs, des atouts d'aménagement urbain et des leviers pour une attractivité renouvelée à Annaba. C'est l'exemple du projet de requalification de la rivière la Savoureuse dans la ville de Belfort en France. Ce projet conçoit la rivière comme un parc urbain écologique, des valeurs patrimoniales, historiques et écologiques lui ont été attribuées (Wodli, 2017).

La rivière est devenue, de fait, un lien privilégié entre les quartiers. Globalement, le projet de la requalification de la Savoureuse s'est constitué essentiellement à partir de trois grands principes : La mise en place d'un parc écologique sur les rives de la Savoureuse, la sensibilisation des habitants à la réintégration urbaine de la rivière, et l'amélioration de la mobilité urbaine.

La renaturation de la rivière a également été programmée dans le projet. Effectivement, le caractère artificiel de la rivière a été rattrapé par l'élimination des seuils, le profil des quais a été également modifié de sorte à intégrer des voies d'accès au lit mineur, l'élimination de l'homogénéité architecturale des quais et enfin, par la suppression des arbres en alignement au profit de plantations au caractère plus aléatoires.

Ces opérations participent non seulement à l'embellissement des berges mais aussi au rééquilibrage de fonctionnement de l'hydrosystème dans lequel s'intègre la rivière de la Savoureuse (Fig6.1).

Conclusion générale.

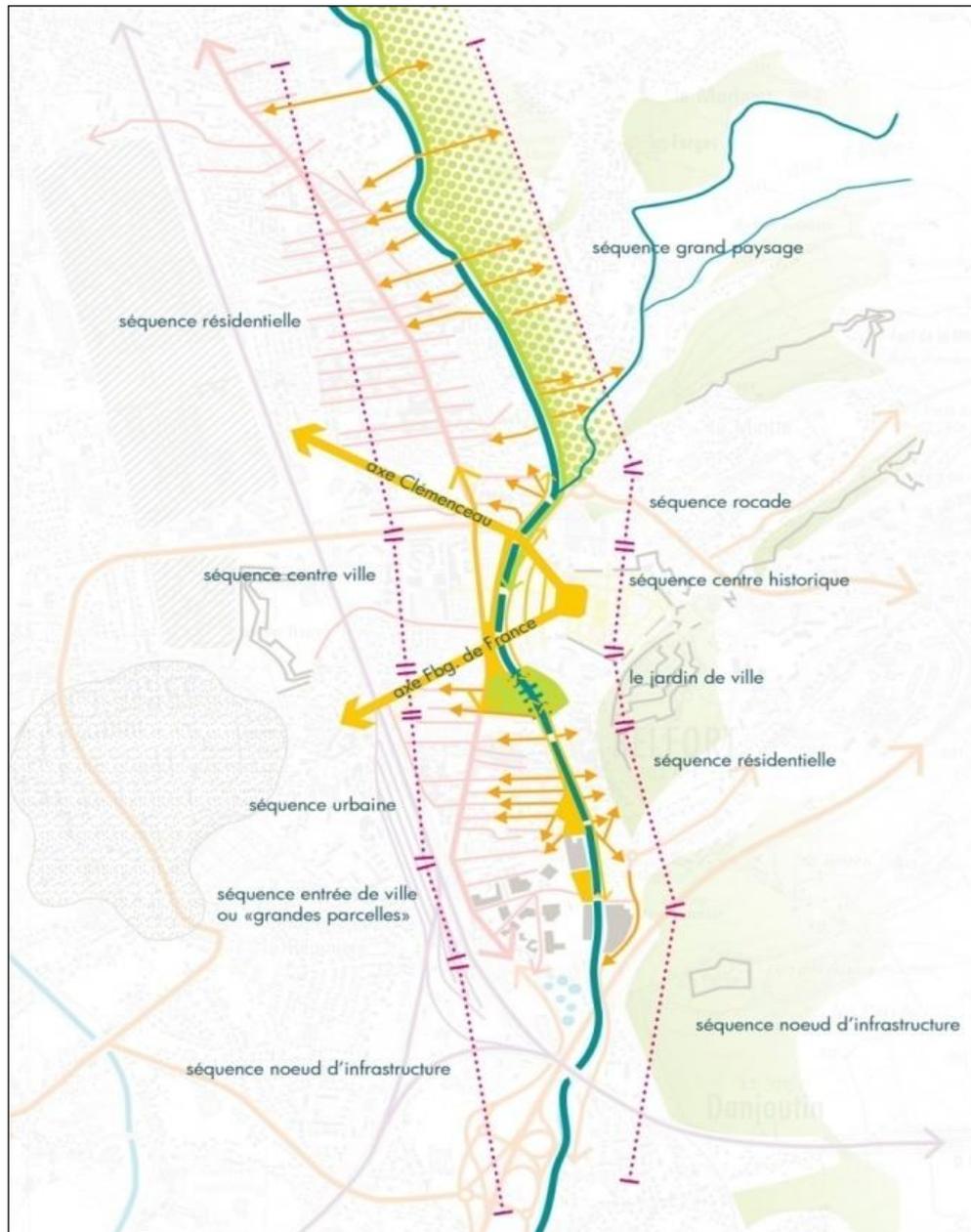


Fig6.1: Les séquences urbaines bordant la Savoureuse, (Moro, 2017).

Recommandations concernant l'aménagement urbain (court terme).

Les aménagements urbains à court terme ont pour principal objectif de réduire la vulnérabilité du milieu urbain face au risque des inondations en rétablissant le parcours des eaux de ruissellement, en assurant l'infiltration de la quantité d'eau nécessaire à la réalimentation des nappes, et en luttant contre la pollution des milieux récepteurs.

Ces aménagements apportent également une valorisation esthétique et fonctionnelle des espaces urbains.

a. La prévention des risques majeurs.

En matière d'inondation, il est bien difficile de se protéger contre tous les risques majeurs parce qu'ils sont des phénomènes exceptionnels se produisant lorsque la période de retour est supérieure à celle retenue pour le dimensionnement des ouvrages. La protection contre ces événements peut se faire à travers la réglementation en interdisant par exemple l'urbanisation dans les zones potentiellement inondables ou encore en optant pour les solutions techniques (les systèmes majeurs et mineurs d'assainissement).

Les mesures réglementaires :

Les résultats de l'évaluation qualitative et quantitative des impacts de la dynamique urbaine sur l'hydrosystème ont conclu au fait que la dynamique urbaine à Annaba est maintenue et procède par extension des limites urbaines, notamment vers les piémonts Sud de l'Edough. Annaba fait face alors à une double problématique, celle d'augmenter sa résilience face au risque des inondations, en désimperméabilisant certaines surfaces associées à la dynamique de l'eau d'une part et celle de répondre aux exigences de développement de la dynamique urbaine d'autre part.

Des outils réglementaires peuvent être introduits dans ce sens. En exemple, la ville de Crépy en Valois (France) reconnue par sa richesse environnementale et la présence de réseaux denses d'écoulement des eaux de surface, a répondu à des objectifs similaires (Fig6.2).

Conclusion générale.

La ville de Crépy en Valois développe sa dynamique urbaine en tête de bassin versant et connaît des points noirs d'inondations en sein de ses communes situées dans la partie avale. De fait, la problématique principale de la ville s'est articulée autour de la gestion des eaux pluviales sur son territoire en maîtrisant l'imperméabilisation de ses surfaces urbaines et en continuant sa dynamique urbaine en accueillant de nouvelles habitations sans pour autant redimensionner les ouvrages classiques de collecte des eaux pluviales, en répondant ainsi à un double objectif économique et écologique. A cette fin, il a été mis en place un outil réglementaire qui trace un zonage pluvial qui encadre toute création d'imperméabilisation et toute modification de l'existant (Blanchard, 2019). Les modifications de bordures de trottoir et des noues se sont multipliées dans l'espace urbain alors que des lotissements entiers se sont créés sans réseau pluvial. Ils contiennent, par ailleurs, des mares de récupération agissant pour la biodiversité. Un plan *zéro phyto* a été, également, intégré pour minimiser la pollution des eaux pluviales qui ruissellent sur les espaces urbains. Ce plan a permis de mettre en œuvre des solutions d'infiltration des eaux de pluies sans risques de dégradation de la qualité des eaux souterraines.

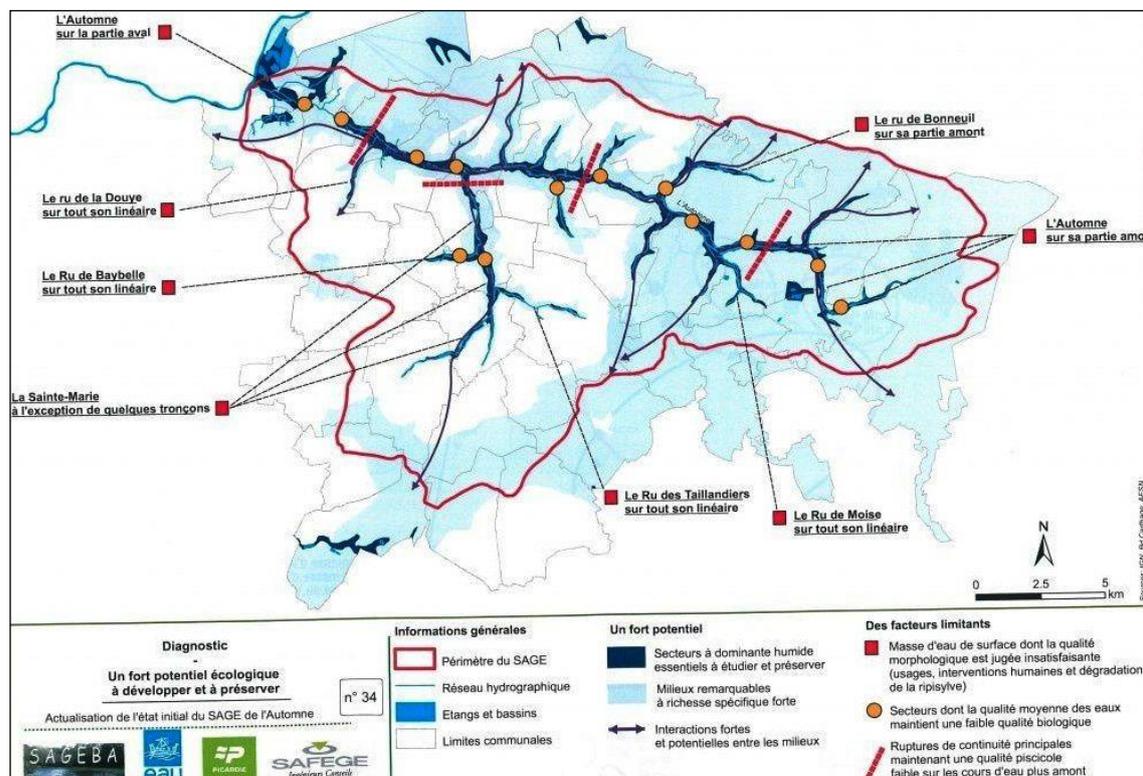


Fig6.2: Crépy en Valois et son potentiel écologique, (Association Crépy environnement et qualité de la vie, 2016).

Conclusion générale.

Le résultat de ces opérations a été très favorable. En effet, en l'espace de cinq ans la ville de Crépy en Valois a accueilli plus de 1000 habitants sans réalisation de travaux de redimensionnement du réseau de collecte pluviale et sans aggravation du risque des inondations.

De surcroît, une valeur esthétique a été ajoutée par les espaces libres qui sont devenus plus verts, sans arrosage. Le fonctionnement de l'hydrosystème est également respecté du fait que la goutte d'eau précipitée est rapidement infiltrée et au plus près de son point de chute, le volume et la vitesse des eaux de ruissellement sont de fait minimisées, le débit des cours d'eau est maîtrisable et la réalimentation des nappes souterraines est assurée.

Les mesures urbaines.

Le concept de systèmes mineur et majeur d'assainissement, déjà utilisé en Australie sous le nom de système dual, est à ce titre exemplaire pour la gestion des risques majeurs en milieu urbain. Le principe majeur de cette mesure est le traitement séparatif de l'assainissement normal des eaux de pluies de celui des écoulements exceptionnels (Fig6.3).

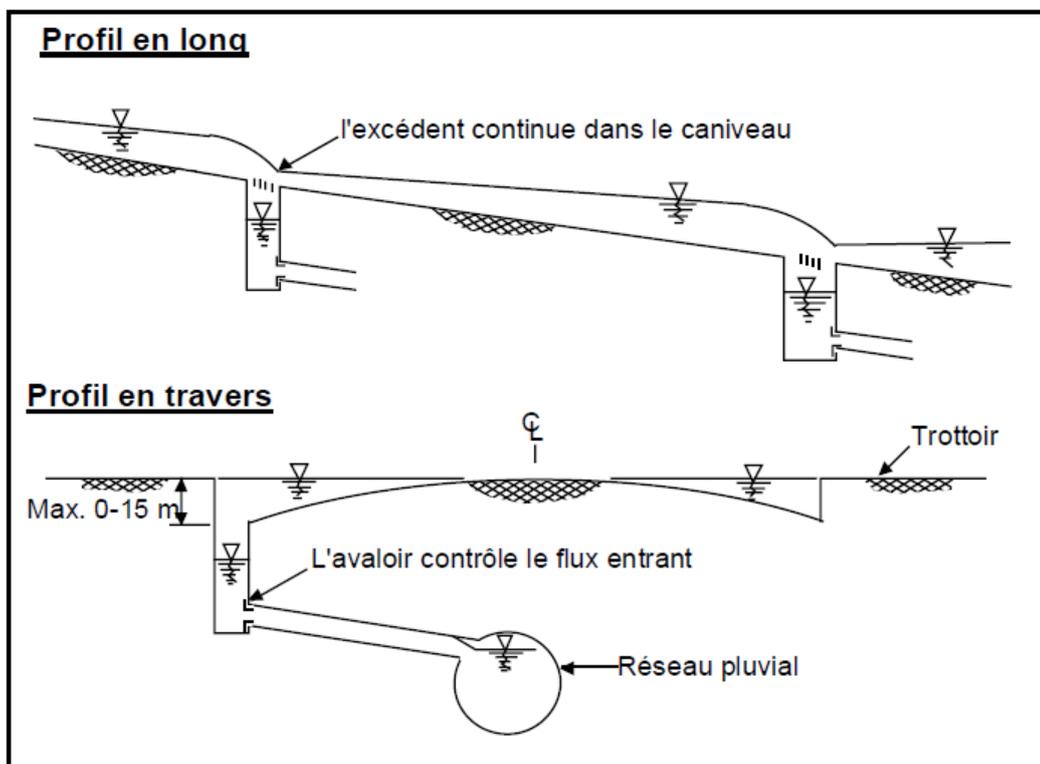


Fig6.3 : Principe du système dual d'assainissement, (AUDA, 2005).

Les surfaces urbaines sont intégrées à ce système d'assainissement. Les voiries sont par exemple considérées comme des canaux périodiques d'évacuation des eaux de ruissellement, "L'eau recueillie est transportée sur des distances aussi courtes que possibles, pour être ensuite détournée, soit vers un talweg naturel non construit mais aménagé pour réduire les vitesses, soit vers un champ d'inondation temporaire" (Chocat, 2007, 15p). Ce dernier peut être un parc urbain, une aire de sport, etc. C'est une alternative qui pourrait être introduite à Annaba, plus précisément dans le réseau viaire qui se développent dans les bassins versants concernés par le présent travail de recherche. L'introduction de l'alternative de système d'assainissement dual pourrait minimiser les effets dévastateurs engendrés pour le milieu naturel et pour le milieu urbain.

b. Intégrer les techniques alternatives dans les aménagements urbains.

L'assainissement par réseau a montré ses limites, qui se manifestent aujourd'hui par le nombre de dégâts matériels et humains lors des inondations, par les pénuries d'eau ou encore par les pollutions hydriques. Depuis une vingtaine d'années de nombreuses techniques, dites alternatives ou compensatoires, qui ont pour principal objectif de compléter, voire de remplacer radicalement le système par réseau ont été imaginées. Elles reposent sur une stratégie : Essayer de se rapprocher le plus possible du cycle naturel de l'eau et continuer à utiliser au mieux les cheminements naturels que prenait l'eau avant l'occupation du sol, dans le but de retarder le transfert de l'eau vers les exutoires de surface et accélérer son évacuation vers les exutoires souterrains. Les techniques alternatives d'aménagement urbains ont été mises en place et testées dans différents pays (Australie, France, Chine...) depuis plusieurs dizaines d'années : chaussées à structure réservoir avec ou sans revêtements poreux, bassins de retenue, puits d'infiltration, tranchées drainantes, stockage en toiture, etc.

Cela peut réduire de manière significative le débit de pointe et la quantité de polluants rejetés. Elles ont montré que l'utilisation de technologies alternatives d'assainissement pluvial peut également avoir un rôle économique favorable et ce en minimisant les coûts de viabilisation à l'échelle de la zone équipée.

Conclusion générale.

Ces techniques innovantes représentent donc une alternative efficace et pertinente à l'assainissement traditionnel par réseau. Elles peuvent être appliquées dans la ville de Annaba afin de remédier à la perturbation des hydrosystèmes locaux et à la récurrence des inondations. En outre, elles peuvent constituer l'occasion ou le moyen de développer de nouveaux espaces naturels en ville, autour des cours d'eau permanents comme l'Oued Seybouse, l'Oued el Aneb ou autour de la zone humide de Fetzara.

La ville de Annaba pourrait envisager ce genre d'alternative aussi bien dans son centre-ville situé essentiellement dans des zones de plaines d'inondations que dans les zones d'urbanisation future. Plusieurs exemples de bonnes pratiques d'aménagement favorables à l'eau qui sont adaptables à notre cas d'étude, Tels que :

Les tranchées de rétention et/ou infiltration. Ce type de technique est adapté à la gestion des eaux pluviales d'une maison ou d'un lotissement par traitement des espaces imperméabilisés, le long de bâtiments ou de la voirie sous forme de tranchée drainante (Fig6.4).

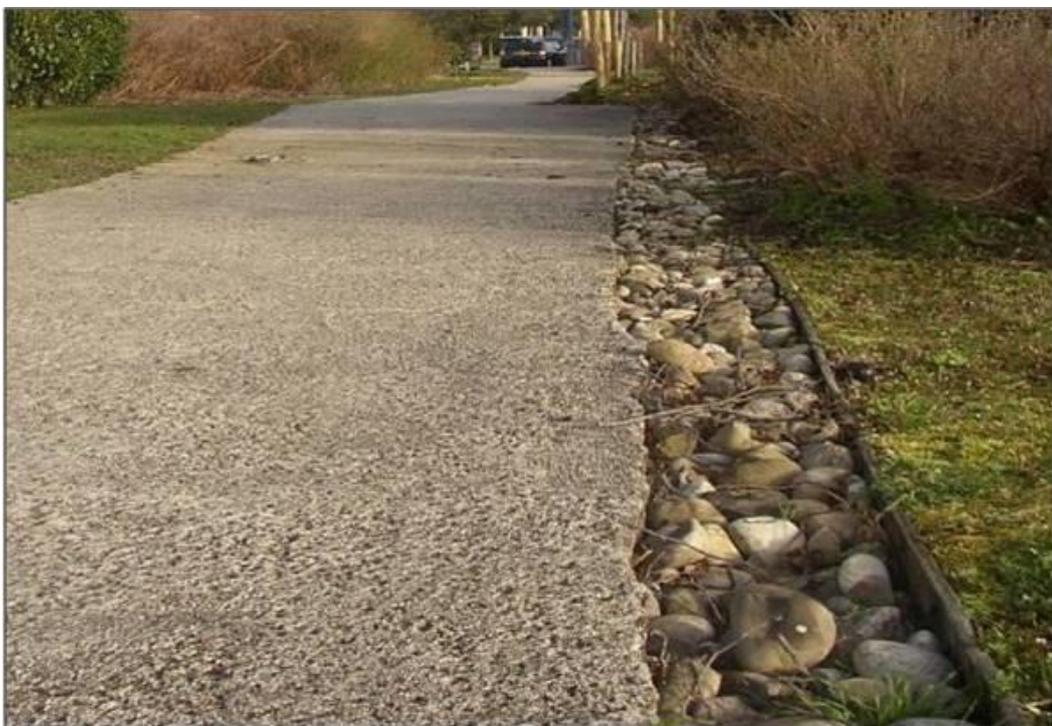


Fig6.4: Tranchée drainante le long d'un espace piétonnier, (economic.grandlyon.com).

Conclusion générale.

Cette mesure pourrait être introduite à Annaba, d'autant plus que les matériaux nécessaires à ce type de revêtement sont disponibles. En effet, les tranchées d'infiltration peuvent être intégrées dans les parties aval de la ville qui se trouvent saturées avec des débordements assez fréquents et importants. On cite en exemple, l'avenue de Benboulaid qui longe la façade maritime et qui se situe dans la zone basse des bassins versant qui drainent la ville de Annaba, l'avenue connaît des problèmes d'inondations à chaque événement pluvieux.

- *Les puits d'infiltration.*

Le rôle principal des puits d'infiltration est d'emmagasiner temporairement les eaux pluviales avant de les drainer par infiltration vers les couches perméables du sol (Fig6.5).



Fig6.5 : Avaloir conduisant les eaux pluviales de voirie vers le puits d'infiltration, (Chassieu, non Daté).

Il existe une expérience de ce type en Algérie, dans la wilaya de Tipaza où les lâchers d'eau par la vanne de fond du barrage de Boukourdane permettent de réalimenter la nappe et par conséquent réduire le coefficient de ruissellement de surface. Cependant, le principe de ces systèmes a été utilisé en Algérie depuis plus de cinq siècles dans la vallée de M'Zab. Le long de l'oued M'Zab il y avait dix-sept digues appelées « Ahbess » ; le dernier barrage se trouve à El Atteuf. Les ouvrages ralentissent les crues en rechargeant la nappe phréatique. Des milliers de puits (Hassi) alimentaient les oasis de la vallée.

Malheureusement, aujourd'hui, il ne reste que deux « Ahbess » qui se trouvent dans un état très dégradé. Il s'agit de : Ahbess Ajdid et Ahbess El Atteuf (Mellouk, 2014).

Ce même principe pourrait être reproduit à Annaba, plus précisément dans la vallée de l'Oued Seybouse qui a connu une forte crue en 2019 qui a participé à l'aggravation des inondations urbaines de 2019.

Le creusement de digues dans la vallée de l'Oued Seybouse permettrait de réalimenter sa nappe d'accompagnement (nappe des sables argileux et limons), d'augmenter la résilience de la ville face aux inondations, de réutiliser l'eau des pluies, par exemple, à des fins d'entretien des espaces verts urbains.

La mise en œuvre de cette alternative dans l'Oued Seybouse présenterait une occasion pour effectuer des travaux de requalification urbaine des espaces urbains situés à proximité en apportant des éléments de confort (hygiène, air, lumière) à travers la mise en place d'espaces de loisirs, de restauration... surtout que ces espaces souffrent actuellement de sérieux problèmes de pollutions hydriques et atmosphériques.

Les chaussées à structures réservoirs. Les structures réservoir peuvent être confectionnées sous des surfaces destinées à supporter la circulation routière ou des surfaces de stationnement (Fig6.6).

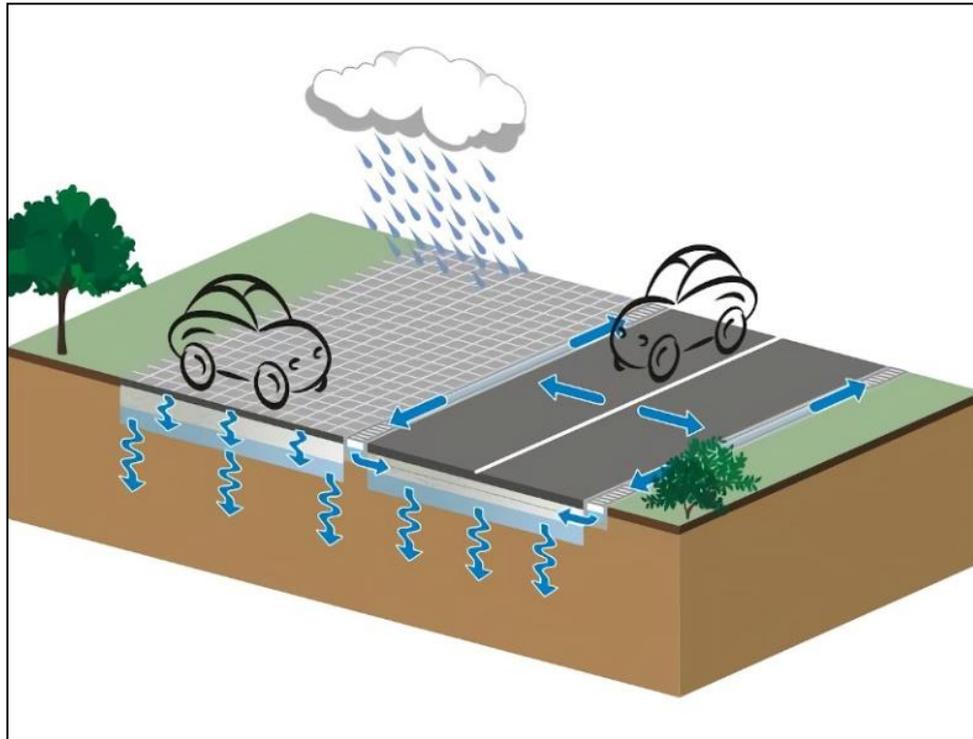


Fig6.6 : Chaussée à structure réservoir, Craponne, (guidebatimentdurable, 2019).

Les chaussées à structure réservoir ont pour but d'écarter les débits de pointe de ruissellement en stockant temporairement la pluie dans le corps de la structure. Si le revêtement de surface est poreux (enrobés drainants, béton poreux ou pavés poreux), les eaux s'infiltrent directement dans la structure (Fig6.7). Par contre, si le revêtement est étanche, les eaux sont injectées dans la structure par l'intermédiaire d'avaloirs. Les eaux emmagasinées sont par la suite évacuées selon deux modes ; Soit par restitution vers un exutoire, par exemple vers le réseau d'assainissement ou vers le milieu naturel, soit par infiltration directe dans le sol support (Fig6.8).

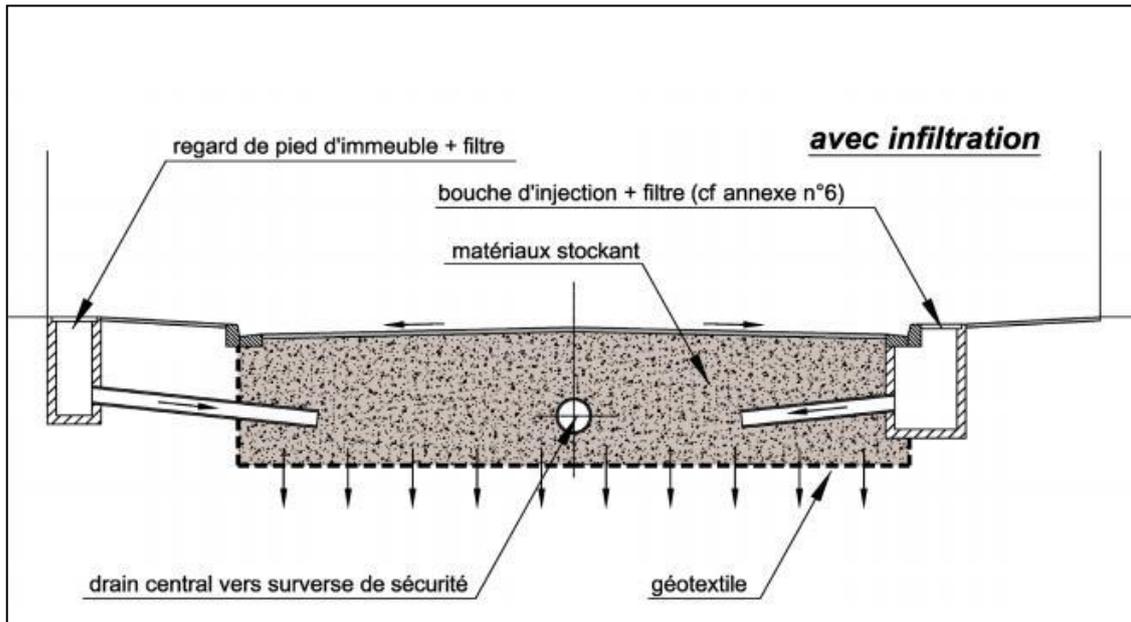


Fig6.7: Exemple de chaussée à structure réservoir avec enrobé drainant et évacuation par Infiltration (CETE Nord-Picardie, 2012).

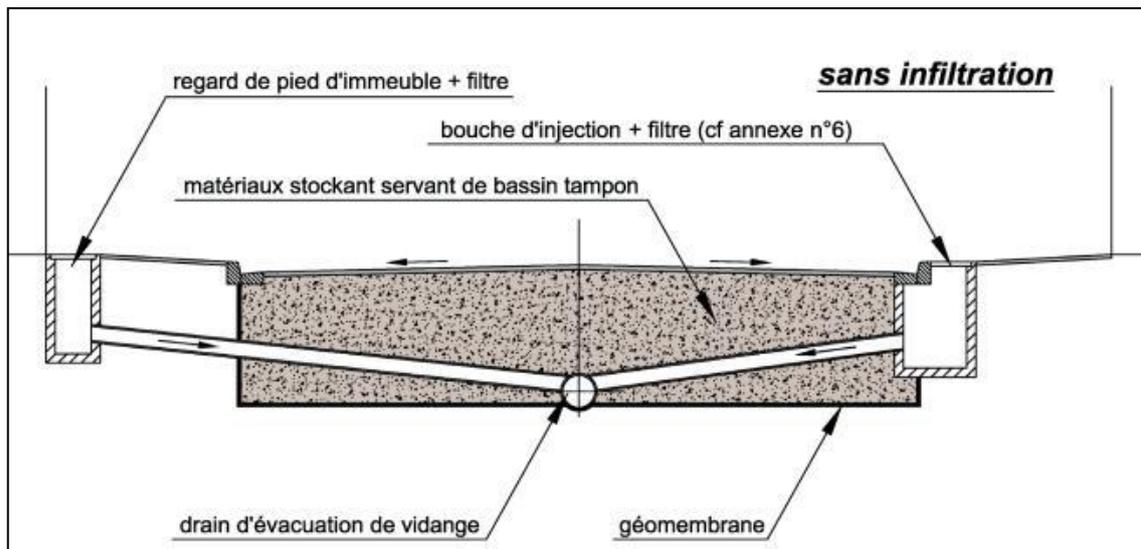


Fig6.8: Exemple de chaussée à structure réservoir avec enrobé dense (étanche) sans infiltration (CETE Nord-Picardie, 2012).

Cette alternative pourrait faire usage au niveau du quartier de l'avant-port qui se trouve submergé des eaux de pluies à chaque phénomène d'inondation.

Conclusion générale.

Les bassins de rétention.

Le principe du bassin de rétention est simple : intercepter les eaux pluviales de façon à étaler dans le temps les volumes d'eau s'engouffrant dans le réseau sanitaire lors d'averses. Ils servent aussi à prévenir les inondations en aval d'espaces imperméabilisés par l'urbanisation. Ils peuvent être classés selon l'apparence (à ciel ouvert ou enterrés) ou selon l'usage (contrôle du ruissellement pluvial, dépollution, etc.) (Fig6.9).



Fig6.9: Bassins de rétention à ciel ouvert, (Outrequin, 2009).

Les bassins de rétention servent à stocker temporairement les eaux des ruissellements. En période de fortes pluies, ils permettent de protéger les habitations et les infrastructures notamment situés en aval du bassin. Il doit s'intégrer au maximum dans le paysage et occuper le moins de surface foncière possible, tout en restant à ciel ouvert. Concrètement, on décaisse le terrain, les déblais permettent la construction d'une digue (2 à 3m) au-dessus du terrain naturel. Il est le plus souvent directement raccordé au réseau d'assainissement.

Il est à noter que la wilaya de Annaba dispose d'un bassin de rétention, s'étendant du parc d'attraction de Sidi Achour jusqu'au stade du 19 mai 1956, situé à 23Km de l'implantation de la nouvelle ville de Draa Errich.

Conclusion générale.

Cet aménagement tampon est inaliénable et a pour principale fonction de gérer les fluctuations dans l'apport des eaux de pluies issues de ces surfaces et de les restituer uniformément dans l'environnement naturel. Cependant, cette zone inconstructible a été convertie en lotissements. L'on constate également sur les lieux des tonnes de remblais et de tout-venant sont jetés quotidiennement dans cette zone.

La croissance urbaine incontrôlée et la construction des zones de rétention ont fait que les inondations dans la wilaya de Annaba sont devenues une réalité omniprésente ce qui peut engendrer un important déséquilibre dans le fonctionnement de l'hydrosystème et menacer la sécurité des habitants et leurs biens.

Le toit végétal.

Les matériaux disponibles pour la réalisation de toits verts ont permis de systématiser son emploi. Le toit végétal utilisé à grande échelle favoriserait la rétention d'une grande quantité d'eau, ce qui permettrait aux villes de résoudre une partie du problème de ruissellement des eaux pluviales. La rétention des eaux pluviales sur les toits rendrait ces eaux disponibles à l'évaporation et donc permettrait de réduire la température du milieu urbain. En somme, la végétalisation des toits réduirait le besoin d'implanter des bassins de retenue pour contrôler le ruissellement urbain tout en favorisant le refroidissement du climat urbain par évaporation. Cela permettrait par le fait même, d'humidifier l'air asséché des villes. Considérant la surface que représentent les toits en ville, l'alternative des toits verts peut s'envisager. Certaines données générales indiquent que les toits reçoivent 13% des eaux d'une précipitation (Fig6.10).



Fig6.10: Toit végétal, Chicago, Etats Unis, (Larue, 2013).

Les avantages du toit végétal sont les suivants :

- Diminution des dimensions des réseaux à l'aval (diminution des encombrements, travaux).
- Gain économique à l'aval.
- Maitrise du risque d'inondation.
- Ne nécessite pas une importante emprise foncière.
- Bonne intégration dans le tissu urbain, il constitue une plus-value esthétique.
- Pas de technicité particulière par rapport aux toitures traditionnelles.
- Permet la maitrise du débit des eaux récoltées en sortie. Une technique avec laquelle on peut associer un dispositif d'infiltration à l'exemple d'un puits.

Les toitures vertes connaissent ces dernières années un regain d'intérêt croissant à travers le monde ; du fait qu'elles font partie de l'expression d'une nouvelle appréhension du rôle et de la place de la nature dans le paysage urbain.

La pose d'une toiture végétalisée ne doit être faite que sur un revêtement parfaitement étanche, or en Algérie, les problèmes d'étanchéité semblent fréquents.

En effet, le toit végétal tient compte de l'élément porteur du bâtiment ; la réglementation algérienne tolère les toitures terrasses jardins sur des éléments porteurs en maçonnerie sur dalle flottante ou sous forme adhérente en béton. Le toit végétal nécessite également une structure suffisamment forte du toit et une pente relativement faible.

Les pavés poreux et l'inter bloc ajouré.

Les pavés poreux possèdent une porosité qui peut atteindre 20%. S'ils permettent l'infiltration sur place des eaux pluviales, ils présentent la contrainte de ne pas protéger les nappes phréatiques et de se colmater avec le temps. Ce type d'aménagement pourrait très bien convenir pour les trottoirs et pour les entrées de garages résidentiels. L'inter bloc ajouré, pour les entrées résidentielles, présente des perspectives intéressantes.

D'une part il offre pour les voitures, le support nécessaire pour le stationnement et d'autre part, il permet une infiltration optimale de l'eau tout en permettant à des herbacées de pousser entre les blocs.

Les entrées d'autos en gravier offrent elles aussi une bonne capacité d'intercepter l'eau de pluie. Même si elles ne peuvent traiter ou intercepter les polluants.

Cette mesure, appliquée à grande échelle, pourrait avoir des effets non négligeables sur les quantités d'eau de ruissellement urbain (Centre d'Information sur l'Environnement de Longueuil, Québec, 2011). La perméabilité naturelle des sols est préservée grâce aux espaces entre chaque module (Fig6.11).



Fig6.11: Aménagement urbain d'un parking en pavés drainants, (guidebatimentdurable.com, 2019).

Ce type de mesure favorise l'infiltration d'eau dans le sol au lieu de la diriger vers les canalisations d'égout ou les cours d'eau, comme c'est le cas depuis l'avènement de l'urbanisation. En fait, l'eau s'infiltré entre les pavés, une partie de cette eau est filtrée par une membrane géotextile, en retenant la plupart des matières polluantes accumulées à la surface du pavage, avant d'être absorbée dans le sol, cependant, la partie excédentaire est collectée par des drains installés sous le pavage, puis dirigée vers l'égout pluvial municipal (Garon, 2013).

Cela a donc pour conséquence un double avantage, en effet, ce système permet d'améliorer la gestion écologique durable des eaux pluviales dans le milieu urbain, et de remédier aux problèmes de surcharges des réseaux d'infrastructures existants, spécialement lors de forts épisodes pluvieux. Ce type d'alternative pourrait être une solution pour remédier à la stagnation des eaux dans la partie basse, la plaine de Annaba, lors des événements pluvieux.

Conclusion générale.

La construction de réservoirs de collecte d'eau de pluie.

La collecte de l'eau de pluie figure parmi les solutions préconisées pour améliorer la gestion de l'eau. Les surfaces pavées des villes ne permettant pas à la pluie de s'infiltrer dans le sol, une quantité impressionnante d'eau ruisselle jusqu'aux égouts, fleuves et rivières. La collecte d'eau de pluie, qui peut être réutilisée ensuite à différentes fins, permet donc non seulement de réduire la consommation d'eau potable, mais aussi de réduire les risques d'inondations (Fig6.12).



Fig6.12 Réservoir d'eau dans un parc à Melbourne, Australie, (onedrop.org).

Par exemple, le volume d'eau de pluie qui ruisselle chaque année à Brisbane, Melbourne et Sydney s'élève à 1 285 giga litres, soit presque l'équivalent du volume total d'eau consommé par les ménages de ces villes.

La plus importante usine de recyclage d'eaux usées domestiques de Sydney, Rouse Hill, alimente en eau recyclée 20 000 foyers. 1,7 milliard de litres d'eau recyclée sont ainsi utilisés chaque année par les citoyens pour alimenter leurs toilettes, arroser leur jardin, laver leur voiture, etc.

Ces alternatives sont exploitées dans le cadre du *water sensitive urban design*, qui est une approche de l'aménagement du territoire et la conception d'ingénierie qui intègre le cycle urbain de l'eau, y compris la gestion des eaux pluviales, des eaux souterraines et des eaux usées et l'approvisionnement en eau (Piel, 2010). Ce design urbain permet de minimiser la dégradation de l'environnement, notamment aquatique, et d'améliorer l'esthétique du cadre de vie urbaine. Cependant la conception de ces mesures en elle-même ne suffit pas à préserver l'hydrosystème, l'entretien permanent en est indispensable.

Annaba, à l'instar de plusieurs villes dans le monde, subit les effets du changement climatique, les pluies y deviennent de plus en plus intenses. Cependant, la ville continue sa dynamique urbaine en créant des zones imperméables, minimisant ainsi sa résilience face aux risques des inondations et impactant également sur la qualité et la quantité de l'eau disponible. La ville se doit d'intégrer l'élément aquatique au sein de sa planification urbaine présente et future, tout en introduisant des solutions urbaines pour remédier, de façon durable, aux problèmes actuels relatifs à l'eau, car les solutions techniques ont montré leurs limites.

En somme, la gestion durable de l'hydrosystème dans la ville consiste à copier la gestion naturelle et donc à infiltrer la goutte d'eau au plus près de son point de chute. Plusieurs grands principes urbains se déclinent dont la maîtrise du taux d'imperméabilisation et des eaux de ruissellement. Plusieurs alternatives existent pour infiltrer et stagner l'eau tel qu'illustré dans les exemples d'aménagement présentés (les noues, les chaussées à structures réservoirs, jardin de pluie, tranchée drainante...). La mise en œuvre de ces alternatives est fonction des contraintes et capacité de chaque zone urbaine. Des avantages qualitatifs et quantitatifs se déclinent de l'introduction de ces alternatives, et ce sur le plan de la gestion urbaine tout comme sur le plan de la gestion écologique de la ville.

On en cite, limiter la pollution des milieux récepteurs, assurer la recharge des nappes phréatiques, augmenter la résilience face au risque des inondations, embellissement de la ville, participer à l'amélioration de l'attractivité de la ville en créant des espaces de loisirs et de divertissement autour des cours d'eau, introduire la nature dans la ville en protégeant les zones humides par la création, en exemple de parc naturel qui valorise leurs richesses biologiques, renforcer les liens entre les citoyens en faisant des milieux d'eau en ville des lieux de rencontre et de réciprocité, sensibiliser les acteurs de la ville dont les citoyens à protéger la ville et ses écosystèmes.

Recommandations concernant la gouvernance urbaine (acteurs et secteurs impliqués) et la participation citoyenne.

Les principaux freins à l'utilisation de ces nouvelles approches ne seraient pas seulement techniques comme le montrent les résultats de l'analyse. La réussite du développement de ces nouvelles solutions nécessite surtout à ce que plusieurs secteurs, notamment celui de l'urbanisme, changent d'attitude par rapport à l'eau. La vision utilisatrice de l'eau devrait s'estomper au profit de son intégration dans toutes les réflexions urbaines.

Les découpages territoriaux de nature administrative pourraient s'estomper devant des découpages pour une meilleure gestion de la ressource en eau. Des interrelations entre politique, technique, économie et urbanisme pourraient émerger un autre découpage territorial. A titre d'exemple, l'échelle du bassin versant pourrait être une solution raisonnable dans la gestion des hydrosystèmes du point de vue écologique. Le bassin versant délimité par sa ligne de partage des eaux représente une organisation naturelle hiérarchique de l'espace. D'ailleurs, vers le 19^e siècle, des géographes ont proposé un découpage régional, en France, selon les bassins versants.

En Algérie, la création des agences de bassins versants a débuté vers les années de 1996. Ce découpage permettrait une meilleure gestion de l'hydrosystème du fait qu'il se base sur l'ordre des écoulements des eaux dans l'organisation territoriale et dans la gestion de l'hydrosystème au sein du bassin versant.

Cependant, la mise en place de cette échelle n'est pas facilement adaptable à tous les contextes surtout en la présence d'une nappe phréatique.

En effet, la trajectoire d'une nappe phréatique peut traverser plusieurs bassins versants, la délimitation serait, de fait, difficile, un bassin versant pourrait intégrer des parties d'un bassin versant avoisinant.

Dans ce sens, une structure pourrait être mise en place pour la gestion des découpages. Comme dans le cas de la région de Valence en Espagne qui a mis en place une structure d'arbitrage, appelée les tribunaux de l'eau il y a plus de 1000 ans.

Une structure qui est considérée comme un héritage du passé islamique et continue à œuvrer au sein des communes. Cette institution repose sur des fonctions, à savoir, le contrôle de l'accès aux ressources en eau, la gestion et l'usage de ces ressources, la centralisation du mécanisme de transfert des ressources, la régulation des systèmes de comportement et d'interactions sociales (Bordet, 2009). C'est une pratique qui représente un exemple de bonne gestion des ressources naturelles notamment la ressource d'eau.

En outre, la gestion fragmentée ou sectorielle des ressources naturelles et notamment de la ressource en eau, entrave la mise en place d'alternatives visant à protéger les hydrosystèmes au sein des dynamiques urbaines. De fait, la segmentation qui existe entre les différents services techniques doit s'estomper au profit d'une bonne coordination entre les secteurs. Par exemple, l'utilisation de chaussées à structure réservoir interdit de raisonner "voirie" puis "assainissement". Les deux domaines devraient être étudiés simultanément.

La mise en place de telles solutions présente les limites de certaines pratiques actuelles et favorise de fait un système multi-technique comme point de départ à une organisation nouvelle des services techniques des collectivités. Dans le contexte Bônois marqué par la récurrence des inondations et l'insécurité de l'espace urbain face à ce risque, les domaines de l'urbanisme et de l'hydraulique pourraient activer conjointement pour la mise en application des mesures visant à augmenter la résilience des villes face au risque des inondations par un aménagement urbain adéquat, tout en protégeant durablement le fonctionnement de l'hydrosystème.

L'exemple de Nantes (France), qui comme la ville de Annaba, attire continuellement de nouveaux habitants, et qui connaît une dynamique urbaine continue qui favorise l'imperméabilisation, d'où le problème des inondations en milieu urbain. Afin d'y faire face, Nantes s'est dotée d'outils basés sur une modélisation des écoulements des eaux de surface en intégrant le bâti, la modélisation s'est basée sur les dégâts engendrés par l'orage de Juillet 2017.

Conclusion générale.

De fait, une cartographie des zones inondables a été élaborée et transcrite dans le plan local d'urbanisme métropolitain pour assurer une dynamique urbaine compatible avec les risques liés aux inondations d'aujourd'hui et de demain tout en protégeant l'existant.

Connaitre le risque est essentiel pour savoir y faire face et construire pour en réduire les impacts (Fig6.13).

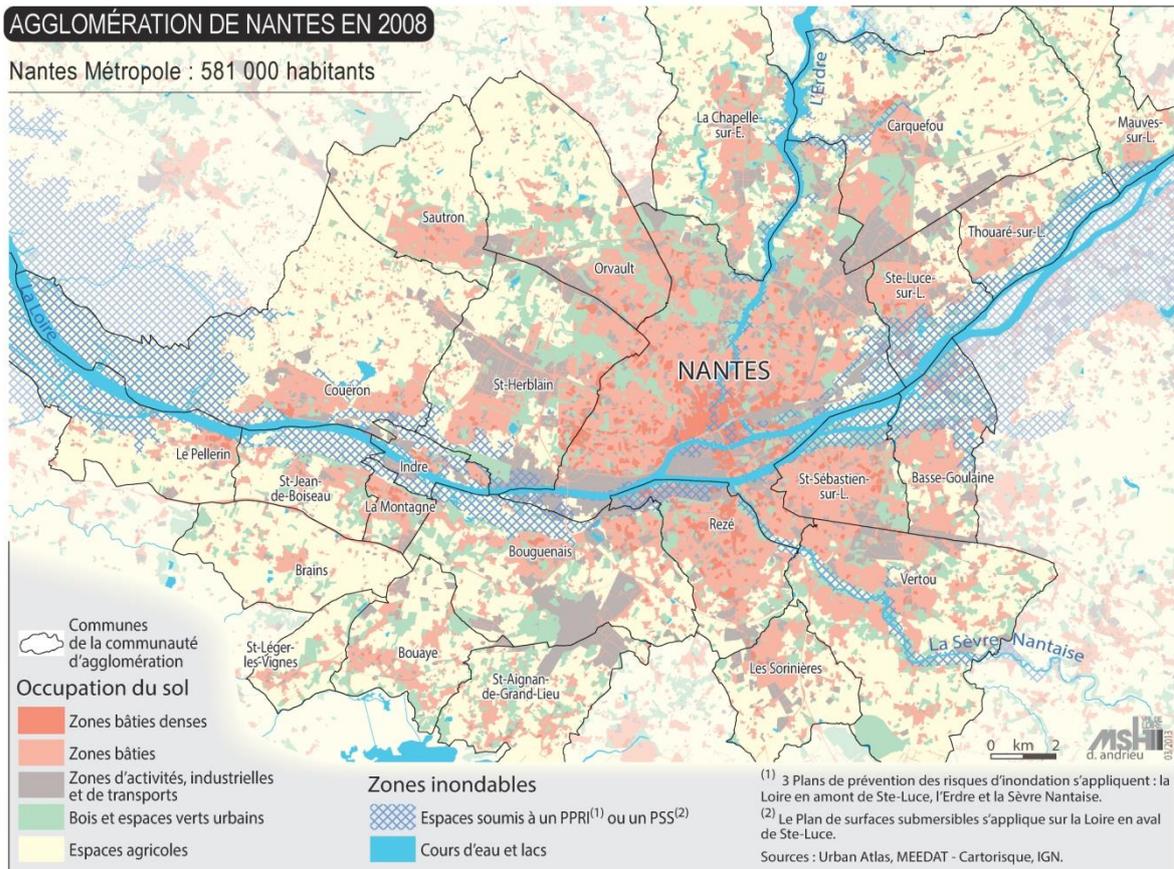


Fig6.13: Occupation du sol et zones inondables dans l'agglomération de Nantes, (Dournel et al, 2015).

En somme, l'atteinte des objectifs de développements durables inscrits dans l'Agenda 2030, requiert la transversalité des actions publiques et la participation active des citoyens. En effet, chaque citoyen a une part de responsabilité dans le maintien de l'équilibre fonctionnel des villes.

Conclusion générale.

La participation des citoyens dans la protection de l'hydrosystème en ville peut, en exemple, se faire à travers l'introduction de quelques alternatives d'aménagements favorables à l'eau à l'échelle architecturale comme la création de jardin de pluie, l'utilisation de toitures végétales ou en la mise en place de réservoirs d'eau de pluies.

L'encadrement de ces opérations peut être intégré dans les programmes d'associations relatives à l'eau, tel que l'association *des amis de l'eau*, créée par l'Agence de Bassin Hydrographique Constantinois–Seybouse-Mellegue, pour permettre aux citoyens de s'informer, de débattre et de discuter des questions liées à l'eau en Algérie.

La sensibilisation des citoyens à la protection et à la réappropriation de leurs milieux d'eau pourrait, dans une autre dimension, avoir un impact favorable sur le déroulement de la vie quotidienne en général, et ce en créant des occupations productives et en chargeant chaque citoyen de responsabilités, ce qui favoriserait l'union, l'équité sociale et un cadre de vie harmonieux et durable.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.

Ouvrages et articles.

1. Abbaci, S.(2013) *Les inégalités écologiques en milieu urbain et leur impact sur l'attractivité des quartiers cas d'étude : Annaba*. Mémoire de Magister, urbanisme, Université de Badji Moukhtar, Annaba, 191p.
2. ADEME. (2003) *Environnement et urbanisme, pour une meilleure prise en compte de l'environnement dans les opérations d'aménagement et les documents d'urbanisme, Document de synthèse, Délégation Pays de Loire*, 180 p.
3. Adnani, M. Tikniouime, A. (2002) *Essai d'intégration des SIG à représentation multiple et des méthodes multicritères d'aide à la décision pour l'aménagement du territoire*, 56th Meeting of the European Working Group, Portugal.
4. Affeltranger, B. Lasserre, F. (2003) *La gestion par bassin versant : du principe écologique à la contrainte politique- le cas du Mékong*, in VertigO, Vol , n°3, 15p.
5. Affoun, S.(2006) *Ressources en eaux, mobilisation et utilisation dans le bassin versant de la Mafragh*. Mémoire de magister, géographie et aménagement du territoire, option : milieux physiques, université Mentouri de Constantine, Algérie, 223p.
6. Agence d'urbanisme pour le développement de l'agglomération Lyonnaise, AUDA .(2005) *Aménagement durable et eaux pluviales : du bâtiment à la ville*, le cycle des conférences aménagement et eaux pluviales, p 91.
7. Agrebi, M. (2018) *Méthodes d'aide à la décision multi-attribut et multi-acteur pour résoudre le problème de sélection dans un environnement certain/incertain : cas de la localisation des centres de distribution*. Intelligence artificielle [cs.AI]. Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambresis; Université de Sfax , Tunisie.
8. Aguejdad R. (2011) *Etalement urbain et évaluation de son impact sur la biodiversité, de la reconstitution des trajectoires à la modélisation prospective, application à une agglomération de taille moyenne, Rennes métropole*, thèse de doctorat, géographie, université Rennes 2,France, 351p+ Annexes.
9. Aguejdad, R. Houet, T. Hubert-Moy, L.(2017) *Spatial validation of land-use change models using multiple assessment techniques: A case study of transition potential models*. Environmental Modeling and Assessment, vol. 22(6),p 591-606.
10. Aguilera, F. Valenzuela,L-M. Botequilha-Leitão,B. (2011) *Landscape metrics in the analysis of urban land use patterns : A case study in a Spanish metropolitan area*, Landscape and Urban Planning, 99, p 226-238.
11. Aissa, D. (1995) *Géologie et métallogénie sommaire du massif de l'Edough (N.E.Algérie)*. Mémoires du service géologique de l'Algérie, p 7-55.
12. Alberti, M. Waddell, P. (2000) *An integrated urban development and ecological simulation model*, Integrated Assessment, 1, p 215-227.

13. Alboody, A. (2011) *Réception des données spatiales et leurs traitements : Analyse d'images satellites pour la mise à jour des SIG par enrichissement du système de raisonnement spatial RCC8*, thèse de doctorat, Informatique, université Toulouse 3 Paul Sabatier (UT3 Paul Sabatier), France, p 174.
14. Alitatar, B. (2010) *Cartographie de la dynamique de la végétation face à l'urbanisation dans la région de Annaba*, mémoire de Magister, Cartographie des écosystèmes Forestiers de l'Est Algérien, université Badji Mokhtar Annaba, Algérie, p 94.
15. Angel, L et Valverde, A. (2008) *Comprendre le cycle de l'eau, condition sine qua non du développement durable*, Bulletin n° : Vol 57 (3), p 50-69.
16. Antoni,J. Thévenot,J. (2008) *Modéliser les dynamiques d'urbanisation pour accompagner la planification territoriale*. XLVe Colloque de l'ASRDLF, Rimouski, Canada.
17. Arama, Y. (2007) *Périurbanisation, métropolisation et mondialisation des villes, l'exemple de Constantine*, thèse de doctorat d'état, urbanisme, Université Mentouri de Constantine, 291p.
18. Arbia, D. (2019) *Métaheuristiques appliquées à la classification non supervisée de données*, mémoire de fin d'étude, informatique, université Mohamed Boudiaf, M'sila, 58p.
19. Arnell, N-W. (2004) *Climate change and global water resources: SRES emissions and socio-economic scenarios*. Global Environmental, Change n°14, p 31-52.
20. Aroua, N. (2020-a) *Géohistoire des effets de l'urbanisation sur les hydrosystèmes côtiers algérois*, Padova University Press, 14 p.
21. Aroua, N. (2020-b) *Flood risk reduction strategy in Algiers. A brief modern history (XVIthc -XIXthc)*, (2020), Larhyss Journal n°43 (Sept). www.larhyss.net
22. Aroua, N. (2018), *Planifier la ville durable hydrophile*, Revue francophone du développement durable, n°11.
23. Aroua, N. (2015) *Urban vulnerability and resiliency over water related risks. A case study from Algiers*. Water Science &Technology: Water Supply, IWA Publishing, doi 10.2166/wst.2015.588
24. Aroua, N. (2013), *Le risque intrinsèque à la gestion locale des risques liés à l'eau en Algérie*, *La Revue Géographique de l'Est*, vol. 53 / 1-2 | 2013, (ISSN= 0035-3213)
25. ATELIER D'AMENAGEMENT D'URBANISME ET D'ENVIRONNEMENT.(1999) *Milieu urbain et gestion de l'eau*, Québec, p 44.
26. ATELIER AUE. (1990) *Milieu urbain et gestion de l'eau au Québec*, Atelier d'aménagement, d'urbanisme et d'environnement, développement durable, Québec, p 65.
27. Atik,T.(2010) *Les toitures végétalisées à Alger : Pour une contribution à l'amélioration du microclimat urbain méditerranéen*, mémoire de Magister, Urbanisme, Ecole polytechnique d'architecture et d'urbanisme d'Alger, Algérie, p 200.

28. Audelan,C. Humbert,M. Lescuyer,C. de Vergnette,A. la Motte,V. (2016) *Géo localiser des cartes anciennes : procédure* , Bulletin du centre d'études médiévales d'Auxerre | BUCEMA [En ligne], Hors-série n° 9.
29. Aujollet, Y. (2017) *Gestion des eaux pluviales*, conseil général de développement et de l'environnement, diagnostic n° 010159-01, 342p.
30. Awou, K-A. (2011) Contribution à l'amélioration de la gestion des excréta et eaux usées dans la ville de Kpalimé, Mémoire de TSGS, université de Togo, p 60.
31. AZZAG-BEREZOWSKA, E. (2011) *Projet urbain, guide méthodologique*, Vol 01, Alger, Synergie, p 209.
32. Bachelard, G.(2013) *L'Eau et les rêves, essai sur l'imagination de la matière*, Librairie José Corti 1942. Le livre de Poche n°4160, Paris, France, p 13-15.
33. Bachelet, R.(2011) *L'évaluation des projets*, wikimédia Commons, Lille, France, p 60.
34. Barles, S. (2017) *Écologie territoriale et métabolisme urbain : quelques enjeux de la transition socio écologique*, , Revue d'Économie Régionale & Urbaine, {{{volume}}}, p 819-836.
35. Barnier,M. (1993) *Pour une nature mieux protégée, une directive européenne pour gérer ensemble notre patrimoine naturel*. ministère de l'Environnement, Paris: 16 p.
36. Barnsley, M-J. Barr S-L.(2000) *Distinguishing urban land-use categories in fine spatial resolution land-cover data using a graph-based, structural pattern recognition system* , Computers, Environment and Urban Systems, vol. 21, No.3-4, p 209-225.
37. Barthel, P. (2006) *Aménager la lagune de Tunis : un modèle d'urbanisme et de développement durable ?*, Autrepart 3 (n° 39), p 129-146.
38. Barton, H.(2001) *Urbanisme et santé*, Association internationale pour la promotion de la santé et du développement durable, Europa, p 158.
39. Barton,L .(2001) *Crisis in organizations II*, South-Western College Publishing, Thomson Learning, Cincinnati, Ohio, États-Unis.
40. Baudot, P.(1996) *Impact de l'homme sur les milieux naturels. Perceptions et mesures*, Château neuf de Grasse, Editions du Bergier, Travaux de la Société d'Ecologie Humaine, p 208.
41. Bavoux, J-J et Chapelon, L. (2014) *Dictionnaire d'Analyse spatiale*, Paris, Armand Colin, p 608.
42. Beaucire, F. BRAVARD, J-P. GARRY, G. (1996) *Les grandes vallées, des sites attractifs à préserver*, Les français dans leur environnement, Paris, Nathan, p. 199-228, 1996.

43. Bechiri, N.(2011) *Evolution du chimisme des eaux de surface et Souterraines dans le bassin versant de la Seybouse (Nord-Est Algérien)*. Mémoire de Magister, hydrologie, université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie, p129.
44. Bédard, D. Béchar, J-P. (2009). *Innover dans l'enseignement supérieur*. Paris, France : Presses universitaires de France]. *Revue des sciences de l'éducation*, 36 (1), 269–270. <https://doi.org/10.7202/043998ar>.
45. Bekhtari, M-C.(2016) *Intégration des méthodes multicritères et des ensembles flous dans un SIG pour analyser l'adaptabilité des terres agricoles : application au maïs grain en Languedoc-Roussillon*, thèse présentée en vue de l'obtention du diplôme de hautes études du Ciheam, Institut agronomique méditerranéen de Montpellier, France, p 200.
46. Belguidoum, S. Cattedra,R. Iraki,A. (2015) *Villes et urbanités au Maghreb* , L'Année du Maghreb, 12 / 11-32.
47. Belkhiri, D.(2019) *Modélisation De La Crue Du Janvier 2019 D'oued Boudjemaa Par Logiciel (Wms Et Hec-Hms)*, mémoire de Master, hydraulique, université Badji Moukhtar, Annaba, 122p.
48. Beloulou, L. (2008) *Vulnérabilité aux inondations en milieu urbain. Cas de la ville de Annaba (Nord-Est Algérien)*, thèse de doctorat, hydrologie, Université Badji Mokhtar de Annaba, Algérie, p 342.
49. Benbitat,F. Guendouz,M. (2012) *Une urbanisation linéaire, dynamique démographique et mutations spatiales dans la périphérie littorale Algéroise : cas de la commune de Heuraoua*, les cahiers du Cread n°102.
50. Benlakhlef, B.(2009) *L'aire métropolitaine, un nouveau champ d'analyse de la ville algérienne. L'exemple d'Annaba*. *Penser la ville – approches comparatives* Khenchela, Algérie, p.259.
51. Benmena, S. (2000) *Introduction aux méthodes multicritères d'aide à la décision*, *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 4(2): 83-93.
52. Bensaâd, R. Belkacem, L. Janniere, H. (2015) *Traces de plans et fabrique de Bône (Annaba): le plan d'aménagement, d'embellissement et d'extension (1932-33)*. *Sciences Technologie D-N°42*, p15 - 28.
53. Bensalah,I. Badreddine, Y. Nadjat. Mena, N et Bougattoucha,Z. (2018) *Urbanisation de la vallée du M'zab et mitage de la palmeraie de Ghardaïa (Algérie) : un patrimoine oasien menacé* , *Belgeo* [En ligne], URL: <http://journals.openedition.org/belgeo/24469> ; DOI :<https://doi.org/10.4000/belgeo.24469>
54. Bernard, C. Mabit, L. Laverdière, S. (1998a) *Césium-137 et érosion des sols*, *Cahiers Agricultures* 7(3):179-186.

55. Bernard, C. Mabit, L. Laverdière, S. (1998b) *Long-term soil redistribution in a small French watershed as estimated from Cs data*. Journal of Environmental Quality 27:1178–1183.
56. Berthier, M. (2016) *Infiltration des eaux pluviales à travers les surfaces urbaines, Des revêtements imperméables aux structures-réservoirs*, bulletin des laboratoires des ponts et chaussées - 238 - - RÉF. 4418 - PP. 39-50.
57. Bertrand, J. *Cours d'hydrologie urbaine*, URGC, INSA Lyon, 2006, p 65.
58. Beseme, J-L. (1995) *Influence de l'occupation des sols sur les inondations. Compte rendu de la journée d'étude Risques naturels, dans le cadre des entretiens du GREF*. 10 p.
59. Bethemont, J. Vincent, A. (1998) *La revitalisation des fronts d'eau urbains dans la vallée du Rhône*, Revue de géographie de Lyon, vol. 73, No.4, 331-335.
60. Bisudi Bazola, A.(2012) *Evacuation des eaux pluviales en système séparatif par caniveaux superficiels :(cas du versant droit de la rivière Mbinza dans sa limite comprise entre la ligne de crête et la route de Matadi au quartier mbinza pigeon) et conception et dimensionnement d'un bassin de retenue en Béton Armé*, mémoire de fin d'étude, institut national du bâtiment et travaux publics, université, Congo, p 151.
61. Bolon,P. Chassery,J. Cocquerez,J. Demigny,D. Graffigne, C. (1995) *Analyse d'images : Filtrage et segmentation*, Enseignement de la physique, 2-225-84923-4. hal-00706168.
62. Bonin,S. (2007). *Fleuves en ville : enjeux écologiques et projets urbains*, Strates [En ligne], 13.
63. Blais, J-P. (2012). *Typologie de l'érosion interne et érosion interne des digues fluviales, Une courte revue bibliographique*. Colloque technique sur la sécurité des digues fluviales et de navigation, Orléans, France, p 65-70.
64. Blanchard, L.(2019) *Crépy-en-Valois gère ses eaux pluviales à la parcelle*, Environnement, Volume2/3, 50p.
65. Blume, J. Leboulleur de courlon, R. (2002), *Etude d'impact hydraulique des zones en projet d'urbanisation. Commune de Baho*, <http://www.enseeiht.fr/hmf/travaux/CD0203/travaux/>
66. Bochet, B. et Dacunha, A. (2003). *Métropolisation, forme urbaine et développement durable*. In DA CUNHA, A. et RUEGG, J. *Développement durable et aménagement du territoire*. Lausanne: PPUR, pp 83-100.
67. Booth, D. Karr, J. Schauman, S. Konrad, C. Morley, S. Larson, M. G. et Burges, J. (2004). *Reviving urban streams: Land use, hydrology, biology, and human behavior*. Journal of the American Water Resources Association 40(5): 1351-1364.

68. Boucher, I. (2007). *Une pratique d'urbanisme durable: la gestion écologique des eaux de pluie*. Urbanité. p.19-21.
69. Boudjemaa, S. (2010) *Cartographie des relations sol-eau-végétation dans un milieu salé (lac Fetzara)*. Mémoire de Magister en Ecologie végétale, cartographie des écosystèmes forestiers de l'Est Algérien. Université Badji Mokhtar, Annaba., Institut de Biologie, p 541.
70. Bouguerra, L. (2002) *La gouvernance et la question de l'eau. Sept propositions pour la gouvernance de l'eau*. Alliance pour un monde responsable et solidaire, 2002.
71. Bounab,S. (2017) *Ressources en eau et développement durable cas de la région Annaba-el tarf (nord-est Algérien)*, thèse de doctorat, hydrologie, université de Badji Moukhtar, 256p.
72. Bourget, E. (2011) *Téledétection et atlas de paysages : Approche multiscalaire des paysages en Bretagne*. Histoire. Université Rennes 2, 2011. Français. NNT : 2011REN20044. tel-00670229.
73. Bouzahzah, F. (2017) *Dynamique urbaine et nouvelle centralité*, Constantine, université des frères Mentouri, p. 193-194, 276p.
74. BRGM. (2012) *Projet Explore 2070, évaluation de l'impact du changement climatique*, volume1, 656p.
75. BRUCKMANN, L. AMANEJIEU, A. Zogning MOFFO, M. et OZER, P. (2019) *Analyse géohistorique de l'évolution spatio-temporelle du risque d'inondation et de sa gestion dans la zone urbaine de Douala (Cameroun)* , Physio-Géo, Volume 13 | -1, 91-113.
76. Brun, S. Band, L. (2000) *Simulating runoff behavior in an urbanizing watershed* Computers, Environment and Urban Systems 24(1): 5-22.
77. Buyantuyev, A. Wu, J. Gries, C. (2010). *Multiscale analysis of the urbanization pattern of the Phoenix metropolitan landscape of USA: Time, space and thematic resolution*. Landscape and Urban Planning 94(3-4): 206-217.
78. Caillet, R.(2003) *Analyse multicritère: Étude et comparaison des méthodes existantes en vue d'une application en analyse de cycle de vie*, CIRANO, Montréal.
79. Chaffai,H. Djabri,L. Lamrous,S. (2005) *Réserves hydriques de la wilaya d'Annaba. Inventaire, évaluation et besoins futurs en ressources en eau*, Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 04, pp.31-36.
80. Chakhar S. (2006) *Cartographie décisionnelle multicritère : Formalisation et implémentation informatique*. Thèse de Doctorat, DFR Sciences des organisations, Université Dauphine Paris, 288 p.
81. Chaline,C.(1983) *La Dynamique urbaine*, Annales de géographie514, p 712-714.

82. Chalot, R. (2015) *Écologie et urbanisme : comment les experts du vivant peuvent-ils contribuer à la conception du cadre urbain ?*, VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement, Débats et Perspectives.
83. Cheikh, B. (2020) *Changement climatique et gouvernance des risques hydrologiques : quels modèles de gouvernance ? Cas de l'estuaire du fleuve Sénégal*. en ligne, <https://www.theses.fr/s119693>
84. Chen, Z. Lu, M. Ni, P.(2016) *Urbanization and Rural Development in the People's Republic of China*; ADBI Working Paper 596; Asian Development Bank, Institute:Tokyo,Japan, En ligne <https://www.adb.org/publications/urbanization-and-rural-development-peoples-republic-china/>
85. Cherif Ali, H. (2017) *Dynamique des ménages et demande potentielle de logements en Algérie dans le court, le moyen et le long terme*, en ligne https://www.researchgate.net/publication/261877730_Dynamique_des_menages_et_demande_potentielle_de_logements_en_Algerie_dans_le_court_le_moyen_et_le_long_terme
86. Chiron, T. (2008) *Quelle gestion durable des ressources en eau et du risque de pénurie sur les petites îles ?*, thèse de doctorat, Géographie, Université de Bretagne occidentale, 413p.
87. Chocat, B.(2013) *Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement*. Tec & Doc, Lavoisier, Paris (France), 1136 p.
88. Chocat B. (2014), *Ingénierie appliquée aux milieux aquatiques. Pourquoi ? Comment ?* ASTEE: <http://www.astee.org/production/ingenierie-ecologique-appliquee-aux-milieux-aquatiques-pourquoi-comment>.
89. Chouraqui, J. (2017) *Décroissance urbaine et dynamiques socio-spatiales : quelles relations ? Exemple du cas dunkerquois*, mémoire de Master, Projet ANR Altergrowth, université Paris I Panthéon Sorbonne, 161p.
90. Chrisman N.(2005) *Charting the Unknown: How Automated Mapping became GIS at the Harvard Lab*, ESRI Press, Redlands CA.
91. Clarke K.C., Parks B.O. and Crane M.P., 2002. *Geographic information systems and environmental modeling*. New Jersey: Prentice Hall.
92. Colin, J. Déqué, R. Radu, N. Somot, S. (2011) *Sensitivity study of heavy precipitation in limited area model climate simulations : influence of the size of the domain and the use of the spectral nudging technique*, Tellus A, vol. 62, no 5, p. 591–604.
93. Collin N. (2009) *Geodynamic framework of large volcanic fields highlighted by SRTM DEMs: Method evaluation and perspectives exemplified on three areas from the Cameroon Volcanic Line*. J. Volcano and Geoth Res., 187, p 13-25.
94. Colsaet, A.(2017) *Gérer l'artificialisation des sols : une analyse du point de vue de la biodiversité. Rapport, Institut du Développement Durable et des Relations Internationales (Iddri)*, Paris, France, 105 p.

95. Colten, C. (2005). *An Unnatural Metropolis, Wrestling New Orleans from Nature*, Louisiana State University, Baton Rouge, 245 p.
96. Comité 21. (2012) *La Ville, Nouvel Écosystème Du Xxie Siècle. Ville, Réseaux, Développement Durable*, Victoires éditions | « Vraiment durable » n° 2 | pages 171 à 175.
97. Cosandey, C. Robinson, M. (2000) *Hydrologie continentale*, Revue Géographique de l'Est [En ligne], vol. 42 / 4.
98. Cote, M. (2006) *Constantine -cité antique et ville nouvelle*, Ed. Média plus, Constantine, p 122.
99. Cote, M. (1996) *L'Algérie In: Travaux de l'Institut Géographique de Reims*, vol. 24, n°93-94, Érosion, aléas naturels et cartographie, p 156-157.
100. Cote, M et Camps, G. (1988) *Annaba*, Encyclopédie berbère [En ligne], 5 | URL: <http://journals.openedition.org/encyclopedieberbere/2511>
101. Coquery, M. (1963) *Quartiers périphériques et mutations urbaines*, Méditerranée 6-4 pp. 285-298.
102. Dacharry, M. (1993) *Conceptions évolutives de l'eau dans la ville*, Hommes et Terres du Nord H-S, p 53-57.
103. Dacunha, A. BOTH, J-F. (2004) *Métropolisation, villes et agglomération*, OFS, Neuchâtel.
104. Dakhia, K. (2015) *Empreinte Eco-Institutionnelle Urbaine, outil d'aide à la décision pour l'évaluation et le contrôle du métabolisme urbain en Algérie*, thèse de doctorat, architecture et environnement, école polytechnique d'architecture et d'urbanisme, Alger, Algérie, 321p.
105. Dale, V-H. McNulty, L. Neilson, S. (2000) *The interplay between climate change, forests, and disturbances*, Science of the Total Environment 262: 201–204.
106. Damon, J. (2008). *Inégalités et pauvretés urbaines. Évolutions mondiales et perspective transnationale*. In J. Damon (Ed.), *Vivre en ville* (pp. 183-208). Paris: Presses universitaires de France.
107. Delaître, M. Di Nardo, M. Gonzva, M. Barroca, B. Diab, Y. (2016) *Échelles spatiales et approches méthodologiques pour l'analyse de la vulnérabilité*, Espace populations sociétés [En ligne].
108. Delus, C. (2012) *Hydrosystèmes et enjeux de gestion*, Revue Géographique de l'Est [En ligne], vol. 51 / 3-4 | 2011, mis en ligne le 28 août 2012, consulté le 20 août 2020. URL : <http://journals.openedition.org/rge/3487>.
109. Denis, D. (2012) *Intervenir pour l'assainissement dans les pays en développement*, 1ère édition, programme Solidarité Eau, Paris, France.
110. Denise, P. (1997) *Pour une théorie évolutive des villes*, L'Espace géographique 26-2 pp. 119-134.

111. Departement of Environment (DoE). (1987) *Handling Geographic Information*. HMSO, London.
112. Dobre, C.(2016) *Urban Stormwater management : possible catalyst for moving towards a Water Sensitive City = Gestion de l'eau de pluie dans la ville dense : un catalysateur de la « Ville Sensible à l'Eau ?*, thèse de doctorat en art de bâtir et urbanisme, Faculté d'architecture La Cambre Horta, p 540.
113. Donnay, J-P. Unwin, D. (2001) *Modelling Geographical Distributions in Urban Areas*. In Donnay,Barnsley, Longley (dir.), *Remote Sensing and Urban Analysis*, p 205-224
114. Dooge, J. (1968). *The hydrologic cycle as a closed system*, International Association of Scientific Hydrology.Bulletin 13(1), 58–68.
115. Dournel S. (2014) *L'eau miroir de la ville, contribution à l'étude de la requalification urbaine des milieux fluviaux et humides (Bassin Parisien, Amiens, Orléans)*, géographie, aménagement, environnement, Orléans, école doctorale des sciences de l'homme et de la société, 680p.
116. Ducrot, D. (2015) *Méthodes d'analyse et d'interprétation d'images de télédétection multi-sources*, Extraction de caractéristiques du paysage. Toulouse, INP Toulouse.
117. Dumas, L. (2014) Outil d'évaluation de projets potentiels de développement des ressources naturelles et du territoire des régions ressources du Québec, Mémoire de maîtrise de l'environnement, université de Sherbrooke, 111p.
118. El Amraoui, S. Rouchdi, M. Bouziani, M. El Idrissi, A. (2017) *Intégration du SIG et de l'analyse hiérarchique multicritère pour l'aide dans la planification urbaine : étude de cas de la province de khemisset, Maroc*, Géographia, Murcia, n° 63, [http:125](http://125). DOI:10.6018/geografia/2016/280211.
119. Emmanuelle, R. (2006), *Gestions de l'eau et du développement urbain dans l'espace dijonnais : quels modes d'intégration territoriale ?*, *Revue Géographique de l'Est* [En ligne], vol. 46 / 1-2 |. URL : <http://journals.openedition.org/rge/1274> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/rge.1274>
120. Enault, C. (2003) *Vitesse automobile et étalement urbain dans l'aire urbaine dijonnaise*. XXXIX^e colloque de l'ASRDLF « Concentration et ségrégation », Lyon : LET, ENTPE.
121. Erostate, M. (2020) *Dynamique spatio-temporelle des flux naturels et anthropiques vers les Hydrosystèmes littoraux tributaires des eaux souterraines*, thèse de doctorat, terre solide, géodynamique des enveloppes supérieures et paléo biosphère, Université de corse-pascal Paoli Ecole doctorale environnement et société, 195 p.
122. Faury,M.(2018) *Hypothèses : l'inscription d'une pratique de communication dans l'activité de recherche*, *Revue française des sciences de l'information et de la communication* [En ligne], 15.

123. Fenet-Rieutord, M.(2013) *Mutation de l'espace, mouvements de population (Annaba,Algérie)*, Institut de recherches et d'études sur les mondes arabes et musulmans IREMAM - UMR 7310 - CNRS/Aix Marseille Université, p 121-131.
124. Flipo N.(2013) *Modélisation des hydrosystèmes continentaux pour une gestion durable de la ressource en eau, interfaces continentales*, environnement, université Pierre et Marie Curie, Paris VI, p 258.
125. Forman R-T. Godron- M. (1986) *Landscape ecology*. Wiley, New York.
126. Forman, T.(1995) *Some general principles of landscape and regional ecology*, Landscape Ecology vol.10 no.3 pp 133-142.
127. Frossard,P-A. Oertli,B.(2019) *Mares et étangs. Ecologie, gestion, aménagement et valorisation*, les Presses Polytechniques et Universitaires Romandes.
128. Garon, R. (2013). *Étude comparative des logiciels d'aide à l'analyse de données qualitatives : de l'approche automatique à l'approche manuelle*, *Recherches qualitatives*, 32(1), 154-181.
129. General Office of the State Council (GOSC).(2015) *Guideline to Promote BuildingSpongeCities*.Enligne: http://www.gov.cn/zhengce/content/201510/16/content_10228.htm.
130. Geoghegan, J. Wainger, L-A. Bockstael, N-E. (1997) *Spatial landscape indices in a hedonic framework: an ecological economics analysis using GIS*. Ecological Economics, 23(3), 251–264.
131. Gerardot,C. (2004) *Les élus lyonnais et leurs fleuves : une reconquête en question* , Géocarrefour, Vol. 79/1 | p 75-84.
132. Girard, M-C.(1995) *Apport de l'interprétation visuelle des images satellitaires pour l'analyse spatiale des sols. Un exemple dans la région*. Cahiers Agricultures, Vol.03, p 237-246.
133. Giret, A. (2007) *Le risque hydrologique : du concept à sa gestion*, Éditions Le Manuscrit, Paris, p 249.
134. Gleizes, G. (1988) *Données lithologiques et pétrostructurales nouvelles sur le massif cristallophyllien de l'Edough (Est Algérie)*. C.R. Acad. Sci.Paris, 36, p1001-1008.
135. Godmaire, H. Demers, A. (2010) *Eaux usées et Fleuve Saint-Laurent problèmes et solution*. [En ligne]. <http://www.eausecours.org/acrobat/usee/a004.pdf>
136. Goeury, R. (2006) *Katrina : L'échec des politiques de prévention contre les ouragans à La Nouvelle-Orléans*, mémoire Master 2, Géomatique et gestion des territoires, Université d'Orléans, p 58.

137. Gossiaux, A. (2019) *Effets des changements environnementaux sur le fonctionnement des ruisseaux de tête de bassin versant*, Sciences de l'environnement, Université de Lorraine. [{NNT : 2019LORR0260}](#). [{tel-02558265}](#).
138. Gralepois, M et Guevara, S. (2015) L'adaptation aux risques d'inondation façonnée par les métiers de la ville , *Développement durable et territoires* [En ligne], Vol. 6, n°3 | en ligne URL : <http://journals.openedition.org/developpementdurable/11014> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/developpementdurable.11014>.
139. Grandgirard, A. Barbier, R. Tsanga, T. (2009) *Le Département, un acteur clef de la politique de l'eau*. Économie rurale. DOI: [10.4000/economierurale.278](https://doi.org/10.4000/economierurale.278).
140. Gravari-Barbas, M. (1998) *Belle, propre, festive et sécurisante : l'esthétique de la ville touristique*, Norois , Poitiers, 178 , p 175-193.
141. Guillerme, A.(1984) L'eau et ses vapeurs, *Urbanisme*, n° 201, p. 54-55.(CDU).
142. Habes, S. Djabri,L. Djabri, Y.(2011) Qualité des eaux d'un lac dans une région côtière de l'est algérien : cas du lac Fetzara, Conférence Méditerranéenne Côtière et Maritime, EDITION 2, TANGER, MAROC.
143. Hacini-chikh,N. Rouag-saffidine,D. (2009) *Annaba : Une mutation de la ville pédestre à la ville automobile*, Sciences & Technologie D – N°30, p 27-34.
144. Hammor, D. Lancelot,J. (1998) *Métamorphisme miocène de granites panafricains dans le massif de l'Edough (Nord-Est de l'Algérie)*, Comptes Rendus de l'Académie des Sciences - Series IIA - Earth and Planetary Science Volume 327, Issue 6, Pages 391-396.
145. Herold, Martin, Couclelis, Helen, & Clarke, Keith C. (2005). The role of spatial metrics in the analysis and modeling of urban land use change. *Computers, Environment and Urban Systems* 29 (4), 369-399.
146. Hilly, J. (1962) *Etude géologique du massif de l'Edough et du Cap de Fer (Est Constantinois)*. Bull. n°19, carte géologique Algérie, Alger, pp.339.
147. Huang, J. X, X. Lu. Sellers, 2007, A global comparative analysis of urban form : Applying spatial metrics and remote sensing, *Landscape and Urban Planning*, 82, pp. 184-197.
148. Hubert Gérardin, J-P. (2010) *L'attractivité des territoires : un concept multidimensionnel*, Mondes en développement /1 (n° 149), p 27 à 41.
149. Hui, L. Liuqian, D. Minglei, R. Changzhi,L et Wang, H. (2017) *Sponge city construction in china: A survey of the challenges and opportunities*, water, 9(9), 594, <https://doi.org/10.3390/w9090594>
150. Iverson, L-R. (1988) *Land-use changes in Illinois, USA: the influence of landscape attributes on current and historic land use*. *Landscape Ecology* 2:45-61.

151. Jacobson, C. R. (2011). *Identification and quantification of the hydrological impacts of imperviousness in urban catchments: A review*. Journal of Environmental Management 92(6): 1438-1448.
152. Jacobson, D. (2002) *Splintering Urbanism: Networked Infrastructures, Technological Mobilities and the Urban Condition*.
153. Janin, G.(2010) *Contrôle optimal et applications au transfert d'orbite et à la géométrie presquiemannienne*, Mathématique, thèse de doctorat, Université de Bourgogne, 165p.
154. Jeannine, C. Cosandey, C. Bigot, S. Dacharry, M. Gille, E. Laganier, R. Salvador, P-G. (2006) *Les eaux courantes. Géographie et environnement*, Géomorphologie : relief, processus, environnement [En ligne], vol. 12 - n° 1.
155. Jégou, A. (2011) *Territoires, acteurs, enjeux des dynamiques de durabilité urbaine : le cas de la métropole parisienne*. Thèse de doctorat, Environnement et Société. Université Panthéon-Sorbonne - Paris I, 722p.
156. Joly, G. (2020), *3 pistes pour mieux gérer l'utilisation de l'eau potable*. En ligne: <https://leshorizons.net/mieux-gerer-utilisation-eau-potable/>
157. J.O.R.A. (Journal Officiel de la République Algérienne démocratique et populaire), 29 décembre 2004. Alger, 13-21.
158. Jourget, M. (2014) *Guide méthodologique pour la gestion des eaux pluviales dans les projets d'aménagement*. Direction départementale des territoires et de la mer de l'Hérault p70.
159. Jourdan, C.(2020) *Approche mixte instrumentation-modélisation hydrologique multi-échelle d'un bassin tropical peu jaugé soumis à des changements d'occupation des sols : cas du bassin de la Méfou (Yaoundé, Cameroun)*. thèse de doctorat en science de la terre et de l'eau, Université de Montpellier, 368p+Annexes.
160. Kadri, Y. Kettaf, F. (2018) *Reconquête du quartier ancien Yaghmouracen d'Oran : documents d'urbanisme et jeux d'acteurs en question*, Cybergeog : European Journal of Geography .
161. Kadri, Y. Madani, M. (2015) *L'agglomération oranaise (Algérie) entre instruments d'urbanisme et processus d'urbanisation*, EchoGéo [En ligne], 34.
162. Kamal, A. Bennis, S. (2005) *Effet d'échelle sur la simulation du ruissellement en milieu urbain*. Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science, 18 (2), 225–246. <https://doi.org/10.7202/705558ar>.
163. Kasdallah, N. (2014) *Dynamiques d'urbanisation des villes intermédiaires au Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie): Effet chef lieu et perspectives de développement*, thèse de doctorat en géographie, France, Université de Cergy Pontoise 328p+Annexes.

164. Kateb, K. (2003) *Population et organisation de l'espace en Algérie*, Espace géographique 3/4 tome 32, p 311-331.
165. Kauffman, G. Belden, A. Vonck, K. Homsey, A. (2016) *Link between impervious cover and base flow, in the white clay creek wild and scenic watershed in Delaware*, Journal of hydrologic engineering 14 (4), 324-334p.
166. Kebir, B. (2016) *Annaba, entre morphologies et politiques urbaines. Vers un renouvellement?*, Thèse de doctorat, Urbanisme, Université de Badji Moukhtar Annaba, 353p+Annexes.
167. Kebir, B et Zeghiche, A. (2014) *Le renouvellement de la ville algérienne par la démolition-reconstruction du vieux bâti. De la sanction à la recherche de légitimité, Cas de la ville d'Annaba*, cybergeog Article 697.
168. Kerdoud, N. (2005) *Bengladesh ou Medina? Espaces urbains périphériques et représentations : deux exemples à Annaba et Guelma (Algérie)*, Cybergeog : European Journal of Geography [En ligne], Aménagement, Urbanisme, document 327, URL : <http://cybergeog.revues.org/3000> ; DOI : 10.4000/cybergeog.3000.
169. Konecny, G. (2014) *Geo-information: Remote Sensing, Photogrammetry and Geographic Information Systems*. CRC Press.
170. Konrad, C. P. et Booth, D. (2005) *Hydrologic Changes, Urban Streams and Their Ecological Significance*. (47): 157–177.
171. Konrad, C. P. et Booth, D. B. (2002) *Hydrologic trends associated with urban development for selected streams in the Puget Sound Basin*, Western Washington. Water-resources investigations report ;02-4040. Tacoma, WA : Denver, CO, U.S. Geological Survey ; U.S. Geological Survey, Information Services [distributeur]: vi, 40 p.
172. Kouidri, M et Labeled, B. (2019) *Modélisation des inondations du segment de l'Oued Seybouse par HEC-RAS*, mémoire de master, hydraulique, université Badji Moukhtar, Annaba, 2019, 118p.
173. Kouzrit, D. (2017) *L'eau et l'espace agraire dans la vallée du M'Zab : cas de la palmeraie de Ghardaïa*, mémoire de Magister, Systèmes Spatiaux et Aménagements Agricoles Sahariens, UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA, 135p.
174. Kurtulus, B. Flipo, N. Goblet, P. Vilain, G. Tournebize, J. Tallec, G. (2012). *Hydraulic head interpolation in an aquifer unit using ANFIS and ordinary kriging*. In Studies in computational intelligence, Number 343, pp. 265–273.
175. Laaribi, A., 2000, *SIG et analyse multicritère*. Paris : Hermès Science Publications, p124.
176. Laforest, V. Batton-Hubert, M. Meave, M. Brula, P. Méhu, J. (2013) *Analyse Multicritère des procédés ou stratégies de traitement de sédiments*, Travaux de Recherches et Développement sur la gestion terrestre des sédiments marins non immergeables. En ligne.

177. Laganier, R. (2002) *Recherches sur l'interface Eau-Territoire dans le Nord de la France*. Soutenue à l'USTL, p 237 .
178. Laganier, R. Davy, L. (2000) *La gestion de l'espace face aux risques hydro-climatiques en région méditerranéennes*, in Bravard J.P. Les régions françaises face aux extrêmes hydrologiques, SEDES, p 13-38.
179. Laganier, R. Davy, L. (2000) *La gestion de l'espace face aux risques hydroclimatiques en région méditerranéenne*, in J.-P Bravard., Les régions françaises face aux extrêmes hydrologiques. Gestion des Excès et de la pénurie, Paris, Sedes, p 15-38.
180. Laganier, R. Picouet, P. Salvador, P-G. Scarwell, H-J. (2000) *Inondation, territoire et aménagement : de la rupture à la réconciliation entre risque et société. L'exemple de la vallée de la Canche (Pas-de-Calais, France)*, Revue de Géographie de Lyon, Géocarrefour, volume 75, n° 4, p 375-382.
181. Laganier, R. Scarwell, H-J. (2001) *Risque inondation, aménagement du territoire et développement durable : l'exemple du bassin versant de la Canche (Pas-de-calais)*, Revue CLES, n° 37, Développement durable et territoires, l'Harmattan, p 87-102.
182. Laganier, R. Scarwell, H.J. (2003) *Risques hydrologiques et territoires*, in *Les risques, question de géographie*, sous la direction de Vincent Moriniaux, Editons du Temps, pp. 106-137.
183. Lahlah, S. (2004) *Actes des Journées Techniques /Risques Naturels, Inondation, Prévision, Protection /Batna*.
184. Lang delus, C. (2011) *Les étiages : définitions hydrologique, statistique et seuils réglementaires*. Cybergegeo, Environnement, Nature, Paysage, document 571. URL : <http://cybergegeo.revues.org/24827> ; DOI : 10.4000/cybergegeo.24827.
185. Laouar, R. (2002) *Stable isotope study of the igneous, metamorphic and mineralized rocks of the Edough complex, Annaba, Northeast Algeria*. Journal of African Earth Sciences. 35, 271–283.
186. Laouar, L. Mazouz,S. Teller,J.(2019) *L'accessibilité spatiale comme indice de fragmentation urbaine dans les villes coloniales. Le cas de la ville d'Annaba*, Cybergegeo : European Journal of Geography UMR 8504 Géographie-cités <http://journals.openedition.org/cybergegeo/31539> ; DOI : 10.4000/cybergegeo.31539.
187. Laroche, B. Thorette J. Lacassin, J.-Cl. (2006) *L'artificialisation des sols : pressions urbaines et inventaire des sols*. Étude et Gestion des Sols, Volume 13, 3, pp. 223-235.
188. Laterrasse,J.(2018) *Urbanisme et trame urbaine : ce que nous apprend l'histoire des villes, e-Phaistos* URL : <http://journals.openedition.org/ephaistos/1281> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/ephaistos.1281>.

189. Lausch, A. Herzog F. (2002) *Applicability of landscape metrics for the monitoring of landscape change: issues of scale, resolution and interpretability*. Ecological Indicators Volume 2, Issues 1-2, November 2002, Pages 3-15.
190. Leberre, I. Brosset, D. (2020) *Aide à la décision par l'identification de formes d'urbanisation : application au littoral breton*, Cybergeog : European Journal of Geography [En ligne], Aménagement, Urbanisme, document 935.
191. Lebris, E. (1998) *Urbanisation et politiques urbaines dans les pays en développement*. In : Loriaux M. (ed.) *Populations et développements : une approche globale et systémique*. Louvain-la-Neuve (BEL) ; Paris : Academia-Bruylant ; L'Harmattan, (5), 297-356. (Population et Développement ; 5). ISBN 2-87209-422-9.
192. Lechner, G. (2006) *Le fleuve dans la ville, La valorisation des berges en milieu urbain*, les dossiers, n°34, p 25-28.
193. Lecoutere, J. (2015) *La « reconquête » des fronts fluviaux : vers un nouveau lien entre la ville et son fleuve ? Etude de Lyon, Bordeaux et Nantes*, projet de fin d'étude, Aménagement et environnement, école d'ingénieurs polytechnique de l'université de Tours, 103p.
194. Leeson, G.W. (2018) *The Growth, Ageing and Urbanisation of our World*. Population Ageing **11**, 107–115. <https://doi.org/10.1007/s12062-018-9225-7>.
195. Le Hir, P. Cayocca, F. Vareilles, J. Bassoullet, P. Jestin, H. Le Berre, D. Verney, R. Lecornu, F. Bouvier, C. Bioret, F. Sawtschuk, J. Ledez, M. Walther, R. Lediszez, A. Baulin, S. Bayart, E. Prud'homme, B. Saur, N. Cerisier, S. Berthier, C. Bona, P. Schmidt, S. (2014) *Conséquences du Changement Climatique sur l'Ecogéomorphologie des Estuaires*. Projet C3E2. Rapport final, partie 1, 104p.
196. Le Tourneau, F. Dubertret, F. (2019) *L'espace et l'eau, variables clés de la croissance urbaine dans le Sud-Ouest des États-Unis : le cas de Tucson et du Pima County (Arizona)*. L'Espace géographique (Tome 48), pages 39 à 56.
197. Li, L. Zongxue, X. Depeng, Z. Jie, Z. (2016) *A grid-based integrated surface-groundwater model (GISMOD)*, Journal of Water and Climate Change **7** (2): 296–320.
198. Livneh, B. Rosenberg, E. A. Lin, C. Nijssen, B. Mishra, V. Andreadis, K. Maurer, E. P. Lettenmaier, D. (2013). *A Long-Term Hydrologically Based Dataset of Land Surface Fluxes and States for the Conterminous United States: Update and Extensions*. Journal Climate **26**(23): 9384-9392.
199. Long, N. Leveiller, T. (2016). *Comment les politiques d'urbanisation se traduisent-elles dans le paysage urbain : une approche par les métriques spatiales*. [VertigO] La revue électronique en sciences de l'environnement, **16** (2).
200. Loudière, D. Gourbesville, P. (2020) *Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2020*, La Houille Blanche, 76–81.

201. Luck M. Wu, J.(2002) *A gradient analysis of urban landscape pattern: A case study from the Phoenix metropolitan region, Arizona, USA*. *Landscape Ecology* 17:327–339.
202. Madonsela B. Koop S. Van Leeuwen. K. Carden K. (2019) *Evaluation of Water Governance Processes Required to Transition towards Water Sensitive Urban Design—An Indicator Assessment Approach for the City of Cape Town*. *Water* , 11, 292.
203. Malavoi, J. Bravard,J. (2010) *Éléments d'hydromorphologie fluviale*. Office national de l'eau et des milieux aquatiques, 59p.
204. Malczewski, J. (1999) *GIS and multicriteria decision analysis*. New York: John Wiley & Sons, xv, 392 p.
205. Marcotte, J.(2013) *Service de l'eau de la ville de Montréal, La Station d'épuration des eaux usées*, Montréal, document pdf, 30 p.
206. Maret,I et Goeury, R.(2008) *La Nouvelle-Orléans et l'eau : un urbanisme à haut risque* , *Environnement Urbain / Urban Environment* [Enligne], Volume 2, URL: <http://journals.openedition.org/eue/867>
207. Marignac, C-h. (1976) *Mise en évidence des successions paragénétiques dans les principaux filons minéralisés du district filonien polymétallique d'Ain-Barbar (Willaya d'Annaba, Algérie)*. *Sci. de la Terre* XX (1975–1976), 4, p 333–401.
208. Martin,C. Didon-Lescot,J-F. Cosandey,C.(2018) *Le fonctionnement hydrologique des petits bassins versants granitiques du Mont-Lozère : influence du couvert végétal sur les crues et les étiages*. *Etudes de Géographie Physique, UMR 6012 "ESPACE" - Équipe G.V.E*, pp.3-25.
209. Martine,A. (2009) *L'honneur retrouvé des quais de Bordeaux* , *Diagonal*, n° 163, p 29-34.
210. Maurin M. (1999) *L'impact visuel et le calcul de l'angle solide*, Inrets, Bron.
211. Maystre, L. Pictet, J. Simos, J. (1994) *Méthodes multicritères ELECTRE : description, conseils pratiques et cas d'application à la gestion environnementale*. Lausanne, Presses polytechniques et universitaires romandes (Coll. Gérer l'environnement).
212. McGarigal, K. (2015) *FRAGSTATS Help*. university of Massachusetts, Amherst,182p.<http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/documents/fragstats.help.4.2.pdf>.
213. McGarigal K., Cushman S.A., Neel M.C. Ene E. (2002) *FRAGSTATS: Spatial pattern analysis program for categorical maps*. Computer software program, University of Massachusetts,Amherst. <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>.
214. McKinney, M-L.(2006) *Urbanization as a major cause of biotic homogenization*. *Biological Conservation* 127, 247-260.

215. McMahon, G. Bales, J-D. Coles, J-F. Giddings, E. Zappia, H. (2003). *Use of stage data to characterize hydrologic conditions in an urbanizing environment*. Journal of the American Water Resources Association 39(6): 1529-1546.
216. Mebarki, A.(2005) *Hydrologie des bassins de l'est algérien : ressources en eau, Thèse doctorat, aménagement et environnement*, Université MENTOURI de Constantine, Alegria, p 541.
217. Mebirouk, H. (2008) *Entretenir, valoriser, et préserver les espaces verts dans les ensembles de logements collectifs à Annaba*, Sciences & Technologie D – n°28, Décembre (2008), p 31-38 .
218. Mebirouk, H.(2018) *Urban improvement operations: Evaluation of new urban habitat area of Annaba*, international journal of human settlements vol. 2 . nr.1
219. Mebirouk, H et Boubendir Mebirouk, F. (2019) *La pollution a Annaba : Sources, conséquences et mesures préventives*, Sciences et technologie D, n°50, p 61-70.
220. Meddour-sahar,O. Bouisset,C.(2013) *Les grands incendies de forêt en Algérie : problèmes humains et politiques publiques dans la gestion des risques* , Méditerranée, 121 | 2013, 33-40.
221. Mejía, A-I. Niemann, J-D.(2008) *Identification and characterization of dendritic, parallel, pinnate, rectangular, and trellis networks based on deviations from planform self-similarity*. Journal of Geophysical Research: Earth Surface, 113(2), p1–21.
222. Mellouk K. et Aroua N. (2016) *Le lac Fetzara, une zone humide fragile menacée par l'extension urbaine de la ville de Annaba (littoral Est Algérien, Méditerranée, Revue Méditerranée, Hors Série n°125*.
223. Mellouk K. (2014) *Impact des projets urbains sur l'équilibre des hydrosystèmes en Algérie, cas de la nouvelle ville DRAA ERRICH, w.de Annaba*, mémoire de Master en Urbanisme et environnement, Alger, Ecole polytechnique d'architecture et d'urbanisme, 105p+Annexes.
224. Meybeck, M. Friedrich, G. Thomas, R. Chapman, D. (1996). *Rivers, Water quality assessments: A guide to the use of biota, sediments and water in environment monitoring*, Chapman edition,2nd ed. E & FN Spon, London,p 59-126.
225. Meyer, S. (2010) *Des migrants et des villes, Mobilité et insertion: Mutation de l'espace, mouvements de population (Annaba, Algérie)*,Institut de recherches et d'études sur le monde arabe et musulman, Aix en Provence, p. 121-131.
226. Meyer, S. C. et Wilson, S. D. (2002). Impact of urbanization on base flow and recharge rates, northeastern Illinois: Summary of year 1 activities. *Proceedings of the Annual IGC Conference*, Illinois Groundwater Consortium.
227. Meyer-Grandbastien, A. (2019) *Perception écologique et sociale de la biodiversité des espaces verts urbains publics*, thèse de doctorat en écologie, évolution, université de Rennes, 139p+ Annexes.

228. Ministry of Housing and Urban-Rural Development (MHURD). (2016) *Technical Guide for Sponge Cities—Water System Construction of Low Impact Development*, Enligne: http://www.mohurd.gov.cn/zcfg/jsbwj_0/jsbwjcsjs/201411/W020141102041225.pdf
229. Mohamed El Amraoui, S. Rouchdi, M. Bouziani, M. El idrissi, A. (2017) *Intégration du SIG et de l'analyse hiérarchique multicritère pour l'aide dans la planification urbaine : étude de cas de la province de khemisset*, Maroc, papeles de geografía 63 pp. 71-90 doi: <http://dx.doi.org/10.6018/geografia/2017/280211>.
230. Monie, K. (1992) *Age Burdigalien de la tectonique ductile extensive dans le massif de l'Edough (Kabylies, Algérie)*. Données radiométriques As - Ar. Bull. Soc. géol. France, n°5, p 571-584.
231. Moulin, C. Faytre, L. Bauduceau, N. (2017) *Réduire la vulnérabilité des territoires aux inondations, évaluer pour agir*, volume 2 Numéro 23, p 12 -17. ISSN 2109-3016.
232. Nait Merzoug, M.L. Kouadria, N. Amara. (2012) *Gouvernance urbaine et développement local en Algérie. Quels enjeux pour les métropoles régionales ? Cas d'Annaba*, Revue des Sciences Humaines – Université Mohamed Khider Biskra No :24.
233. Nassori, D. (2017) *Dynamiques Urbaines et Développement Économique au Maroc*, thèse de doctorat, Sciences Economiques, Faculté des Sciences Economiques et de Gestion, université de Toulon, 158p.
234. Nestor raul, R. (2014) *Débits de crue et analyse hydrologique de petits bassins versants*, Maîtrise en génie agroalimentaire, université Laval, Québec, Canada, 129p.
235. Noss, R-F. (1990) *Indicators for monitoring biodiversity: a hierarchical approach*. Conserv. Biol. 4, p 355-364.
236. Nouri, M, Ozer, A. Ozer, P. (2016) *Etude préliminaire sur le risque d'inondation en milieu urbain (Algérie)*, Geo-Eco-Trop, 40, 3, n.s.: 201-208.
237. O'Neill, R-V. Milne, B-T. Turner, M-G. Gardner, R-H. (1988) *Resources utilization scales and lanscape pattern*, Landscape Ecology 2, p 63-69.
238. OCDE. (2012g) *Water Governance in OECD Countries: A Multi-level Approach*, Études de l'OCDE sur l'eau, Éditions de l'OCDE, doi: 10.1787/9789264119284-en ligne.
239. OCDE/CSAO (2020), *Dynamiques de l'urbanisation africaine 2020 : Africapolis, une nouvelle géographie urbaine*, Cahiers de l'Afrique de l'Ouest, Éditions OCDE, Paris, <https://doi.org/10.1787/481c7f49-fr>.
240. Oertli, B. Parris, K-M. (2019) *Urban ponds as habitats for freshwater biodiversity*. submitted, Review paper , p 25-29.
241. Ogilvie, A. Le Duc, C. Le Goulven, P. Calvez, R. (2016) *Réponse hydrologique d'un bassin semi-aride aux événements pluviométriques et aménagements de versant*

(*bassin du Merguellil, Tunisie centrale*), in Hydrological Sciences Journal, En ligne, p 54-60.

242. Orlandini, S .Moretti, G. Franchini,M. (2003) *Path-based methods for the determination of non dispersive drainage directions in grid-based digital elevation models*. Water Resources Research, **39**(6), 1144.

243. Ostrom, E. LAURENT, E. (2012). *Par-delà les marchés et les États. La gouvernance polycentrique des systèmes économiques complexes* , Revue de l'OFCE, 120, p. 13-72.

244. Oudot-Canaff, J. (2014) *Effet des restaurations des écosystèmes, de la trophie et de la connectivité hydrologique sur la diversité génétique des plantes aquatiques*, thèse de doctorat, Evolution Ecosystèmes Microbiologie Modélisation, l'université de Lyon, 252p+Annexes.

245. Oularbi, A. Zeghiche,A.(2009) *Sensibilité à l'érosion du massif cristallophyllien de l'Edough (Nord-Est Algérien)*, Revue Synthèse N° 20, p25-30.

246. Ourahou, M. (2003) *Conception et dimensionnement des canaux d'irrigation*. [en ligne], <http://fr.slideshare.net/guest4a5dea/dimensionnement-ouvrages-du-reseau>.

247. Outfarouin, A.(2013) *Etude d'assainissement et de voiries du lotissement Beni Amir à Fquih Ben Saleh*, mémoire de Master Professionnel, gestion de l'assainissement en milieu urbain, Faculté des sciences, Merrakech, Maroc, p 146.

248. Parker, D-C. Evans, T-P. Meretsky, V. (2001) *Measuring emergent properties of agent-based land use/land cover models using spatial metrics*. Seventh annual conference of the International Society for Computational Economics, n°421, p 64-87.

249. Pelletier, J.(1990) *Sur les relations de la ville et des cours d'eau*, Revue de géographie de Lyon, vol. 65, No.4, 233-239.

250. Perrodin, Y. (2013) *Pollution des milieux aquatiques*, CNRS Éditions, p. 242-243.

251. Petitjean, O.(2008) *Les conséquences du changement climatique sur les ressources en eau*, panorama général, <https://www.partagedeseaux.info/>

252. Philippart J.-C., 2009, *Expertise saumon – barrage de Poutès*, rapport pour le MEEDDAT.

253. Piel, C. Veiga, L. Pire, M. (2010) *Le cycle de l'eau, élément structurant d'une ville durable*,document,pdf:<http://documents.irevues.inist.fr/bitstream/handle/2042/35640/13105-112PIE.pdf?sequence=1>.

254. Pott, B.(2018) *Les "villes éponges", la nouvelle façon de penser nos milieux urbains*, en ligne, <https://novae.ca/les-villes-eponges-nouvelle-facon-de-penser-nos-milieux-urbains/>

255. Puissant, A. (2003) *Information géographique et images à très haute résolution. Utilité et application en milieu urbain*. Thèse de géographie, laboratoire Image et Ville, UMR 7011, université Louis Pasteur, Strasbourg I, France, p 321.
256. Rahal, F. Hadjou, Z. Blond, N. Aguejdad, R. (2018) *Croissance urbaine, mobilité et émissions de polluants atmosphériques dans la région d'Oran, Algérie*, Cybergeog : European Journal of Geography [En ligne], Cartographie, Imagerie, SIG, document 850.
257. Reggam, A. Bouchelaghem, H. Houhamdi, M. (2015) *Qualité Physico-Chimique des Eaux de l'Oued Seybouse (Nord-Est de l'Algérie): Caractérisation et Analyse en Composantes Principales*, J. Mater. Environ. Sci. 6 (5) 1417-1425, p 9.
258. Régis Caloz, R. Collet, C. (2011) *Analyse spatiale de l'information géographique, Lausanne*, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, collection Ingénierie de l'Environnement, p 383.
259. Renou Y. (2013) *Ecologie politique urbaine, métabolisme et résilience hydro-sociale, Ecologie politique vs écologie industrielle : Quelles stratégies pour le développement durable ?*, Editions Oeconomia, pp 110-129.
260. Respaud-Médous, A. (1999) *Le système bassin-versant urbain et le problème de ses limites*, Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest. Sud-Ouest Européen 4, p 77-84.
261. Renaud-Hellier, E. (2006) *Gestions de l'eau et du développement urbain dans l'espace dijonnais : quels modes d'intégration territoriale ?*, Revue Géographique de l'Est [En ligne].
262. Reux, S. (2017) *Trajectoires résidentielles et morphologiques des franges périurbaines : une méthode appliquée au Limousin*, Cybergeog : European Journal of Geography [En ligne], Regional and Urban Planning, document 810. URL : <http://journals.openedition.org/cybergeog/27985> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/cybergeog.27985>
263. Richard, T. Foreman, T. Godron, M. (1986) *Landscape Ecology*, illustrée Wiley, 619p.
264. Rodriguez, M. (2015) *Venise La ville et l'eau*, <https://voirenvrai.nantes.archi.fr/?p=2022>.
265. Rougé, C. et Cai, X. (2014) *Crossing-Scale Hydrological Impacts of Urbanization and Climate Variability in the Greater Chicago Area*. Journal of Hydrology 517, p13-27.
266. Rousset, N. (2010) *Impacts du changement climatique, sécurité hydrique et enjeux agricoles*, Perspectives chinoises [En-ligne], URL : <http://journals.openedition.org/perspectiveschinoises/1913>
267. Roy, B. (1985). *Méthodologie multicritère d'aide à la décision*. Economica, p 128.

268. Roy, B. Bouyssou, D. (1993). *Aide multicritère à la décision: méthodes et cas*. Economica Paris, p 75.
269. Rozell D.P.E. (2010) *Urbanization and trends in long island stream base flow, seven tenth annual conference on geology of long island and metropolitan*, New York, 136p.
270. Saboua, T. (2010) *Origines de la pollution hydrique et atmosphérique dans la plaine Ouest de la région d'Annaba [The origin of the water and air pollution in the plain west of D'Annaba region]*. mémoire de Magister,Hydrologie, université de Badji Moukhtar, Annaba, Algérie, p 95.
271. Sadoune, A. (2012) *Vulnérabilité, et évaluation des ressources en eau dans l'extrême Nord-Est Algérien. [Vulnerability, and assessment of water resources in the extreme Northeast Algeria]*. Master Thesis. Annaba. Univ, Hydrologie, Badji Mokhtar .p 99.
272. Sharma A., Gardner T and Begbie D. (Ed), (2018) *Approaches to Water Sensitive Urban Design: Potential, Design, Ecological Health, Economics, Policies and Community Perceptions*, Elsevier Science & Technology, 628p.
273. Salavati, B. (2015) *Impact de l'urbanisation sur la réponse hydrologique des bassins versants urbains*, hydrologie urbaine, Université Pierre et Marie Curie,Paris, France, 186p.
274. SCANDIA CONSULT INTERNATIONAL. (1985). *Protection de la ville de Annaba contre lesinondations: avant projet détaillé* . DHW de Annaba.
275. Schneider, C. Laizé, C-L-R. Acreman, M-C. Florke, M.(2013) *How will climate change modify river flow regimes in Europe?* Hydrol. Earth Syst. Sci. 17, p 325–339.
276. Schwarz, N. (2010) *Urban form revisited – Selecting indicators for characterizing*, European cities, Landscape and Urban Planning, 96, p 29-47.
277. Sefouhi, L.(2013) *Croissance urbaine et son impact sur L'environnement de la ville de Batna (Bilan et perspectives), Cas des déchets solides*, Doctorat, Université de Batna, p. 172 AND, Agence Nationale des Déchets: <https://and.dz/>
278. Seto, K-C. Fragkias, M. (2005) *Quantifying spatiotemporal patterns of urban land-use change in four cities of China with time series landscape metrics*. Landscape Ecology 20 (7): 871–88.
279. Sherif, A et Doumani,F. (2018) *Algérie coût de la de dégradation des ressources en eau du bassin de la Seybouse*, Sustainable Water Integrated Management (SWIM) - Support Mechanism, Project funded by the European Union.
280. Singh, A. (1989) *Review Article Digital change detection techniques using remotely-sensed data*. International Journal of Remote Sensing, 10, 989-1003.

281. Skupinski, G. BinhTran, D. Weber, C.(2010) *Les images satellites Spot multi-dates et la métrique spatiale dans l'étude du changement urbain et suburbain – Le cas de la basse vallée de la Bruche (Bas-Rhin, France)*, Cybergéo : European Journal of Geography, Systèmes, Modélisation, Géostatistiques, document 439, [En ligne] URL : <http://cybergeo.revues.org/21995>
282. Skhakhfa, I.(2012) *Analyse de l'aléa pluviométrique dans la ville de Annaba*, mémoire de Magister, hydraulique, université de Badji Moukhtar Annaba, 97p.
283. Smadja, O.(2017) *Gouvernance foncière et développement commercial en périphérie de Paris et Londres : quels impacts sur les formes urbaines et sur les inégalités spatiales?*, Sciences du Vivant [q-bio]. AgroParisTech, document n°22, p 95-120.
284. Spiga, S. (2010) *l'environnement et la ville, lequel des deux subit les effets de l'autre a l'heure des grands questionnements et remises en cause*, in Séminaire International Environnement Urbain et Développement Durable.Entre Discours Politiques et Pratiques d'Aménagement, Faculté des sciences de la terre, Annaba Les 20-21-22.
285. Spiga,S. (1998) *La question de maitrise des décisions d'aménagement ponctuel : cas de la création du nouveau port d'El-Kala*, actes du colloque national sur l'aménagement urbain, Alger 14 et 15 Avril 1998, P81.
286. Spiga,S et Guessoum, D-E.(2012) *La portée des projets urbains récents pour la grande ville algérienne une lecture a partir d'Annaba*, Les cahiers du CREAD n°102, p10-49.
287. Stampfli, N. (2007) *Évaluation des débits de pointe pour les petits bassins versants agricoles du Québec*, rue du Cap-Diamant, no 350-4, Québec,Canada.
288. Sudhira, H-S. Ramachandra, T-V. Jagadish, K-S.(2004) *Urban sprawl: metrics, dynamics and modelling using GIS*. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 5, p 29–39.
289. Sylvain, R. (2017) *Reconquérir les cours d'eau pour aménager la ville*, Cybergéo, article 806. (<http://cybergeo.revues.org/27933>).
290. T.A.D Consult. (2014) *Etude du plan d'aménagement du territoire de la wilaya de Annaba*, Aménagement territoire et développement, Alger, 345p.
291. Tatar, S-E. (2010). *Impact Des Inondations Sur L'espace Urbain Le Cas De La Wilaya Sidi Bel Abbes*, mémoire de Magister, Université Oran, Algérie, p 221.
292. Takács, A. Márton, K. Angela, H. Eszter, T. Ágnes, G. Noémi, K. (2016) *Microclimate modification by urban shade trees—an integrated approach to aid ecosystem service based decision-making*. In : *Procedia Environmental Sciences* 32, p 97–109.
293. Talbi, E.(2008) *Evaluation de la ressource en eau superficielle (bilan hydriques des bassins versants du nord de l'Algérie)*, mémoire de magistère, Hydrologie, université de Annaba, Algérie, p 208.

294. Tomas, F.(1977) *Annaba et sa région. Organisation de l'espace dans l'extrême nord-est algérien.* (en ligne), p 79.
295. Tomas, F.(1970) *Les mines et la région d'Annaba*, Géo carrefour , volume 45-1 , p 31-59.
296. Toubal, O. Boussehaba, A. Toubal, A. Samraoui, B.(2014) *Biodiversité méditerranéenne et changements globaux : cas du complexe de zones humides de Guerbès-Senhadja (Algérie).* Volume 8. DOI : 10.4000/physio-geo.4217.
297. Touchart, L. (2014) *Les territoires de l'eau en Russie*, Paris, L'Harmattan, 333 p.
298. Veber, M. (2014) *Le rôle joué par les ONG agissant au sein du système des droits de l'homme des nations unies dans le processus de reconnaissance et de définition du droit à l'eau et à l'assainissement entre 1997 et 2011*, Mémoire de fin d'études en ligne : http://memoires.sciencespotoulouse.fr/uploads/memoires/2013/5A/memoire_VEBER-MARION.pdf
299. Vermeren,H.(2017) *Les Italiens à Bône (1865-1940). Migrations méditerranéennes et colonisation de peuplement en Algérie*, Rome, École française de Rome, Collection de l'École française de Rome, p 546 -628.
300. Vila, J-M. (1980) *La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-tunisiens*, Thèse de Doctorat . Es-science. Nat. Univ. Pierre et Marie - Curie, Paris VI, France p 395.
301. Wantzen, K. Alves, M. Badiane, C-B-M. Bala, R. Blettler, M. Callisto, M. Cao, Y. Kolb, M. Kondolf, G. Leite, M. Macedo, D. Mahdi,O. Neves, M. Peralta,M. Rotgé,V. Rueda-Delgado, G. Scharager, A. Serra-Llobet,A. Yengué,J. Zingraff-Hamed, A.(2019) *Urban Stream and Wetland Restoration in the Global South—A DPSIR Analysis.* Sustainability , 11, 4975.
302. Wasson, J-G. Marin, R. Guyot, J-L. Maridet, L. (1998) *Hydro morphological variability and benthic community structure in five high altitude Andean streams (Bolivia).* Verhandlungen Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie 26(3), 1169–1173.
303. Weng, Q. (2007) *Spatiotemporal changes of landscape pattern in response to urbanization.* Landscape and Urban Planning 81(4): 341-353.
304. Weng, Q. Lu, D. (2008) *A sub-pixel analysis of urbanization effect on land surface temperature and its interplay with impervious surface and vegetation coverage in Indianapolis*, United States. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 10(1): 68-83.
305. Wodli, S. (2017) *Les berges de la Savoureuse : d'un aménagement urbain de la fin du XIX^e siècle à un projet de parc urbain écologique*, Pierre d'Angle, Dossier 76,

<https://anabf.org/pierredangle/dossiers/xixe/les-berges-de-la-savoireuse-dun-amenagement-urbain-de-la-fin-du-xixe-siecle-a-un-projet-de-parc-urbain-cologique>.

306. Wolfe, D-L., 2006, *Hydrology Manual*, Los Angeles County Department of Public Works, Water Resources Division, 160 p.

307. Xiao, J. Shen, Y. Ge, J. Tateishi, R. Tang, C. Liang, Y. Huang, Z.(2005) *Evaluating urban expansion and land use change in Shijiazhuang, China by using GIS and remote sensing*. *Landscape and Urban Planning*, p 1-12.

308. Yang, L. Smith, J-A. Wright, D-B. Baeck, M-L. Villarini, G. Tian, F. Hu, H. (2013) *Urbanization and Climate Change: An Examination of Nonstationarities in Urban Flooding*. *Journal of Hydrometeorology* 14(6): 1791-1809.

309. Yang, X. Lo, C-P.(2002) *Using a time series of satellite imagery to detect land use and land cover changes in the Atlanta, Georgia metropolitan area*. *International Journal of Remote Sensing*, Vol.23, 1775-1798.

310. Zaninetti, J. (2007) *Statistiques de produit croisé pour l'analyse exploratoire de la dépendance spatiale*, Cybergeog : *European Journal of Geography* [En ligne], Dossiers, document 397.

311. Zennir,A. Rabah,Z. Derradji,S. Guessoum,D. Djakjak, A. Lekoui, A.(2020).*International Journal of Innovation and Applied Studies; Rabat*, Vol. 28, N° 4, 860-868.

312. Zerzour,A. Benouar,D. (2006) *La crue torrentielle de Bab El Oued (Alger) :les effets sur l'environnement*, *Vie des villes*, Dossier : Faire face aux risques majeurs en ville, revue n°4, page n°44.

313. Zimmermann, J-L.(1977) *Les excès et les pertes d'argon dans les dolérites: exemple d'un filon métamorphisé des Calédonides moyennes de Norvège; possibilité d'obtenir de fausses isochrones*. *C.R. Acad. Sc. Paris*, t. 285, série. D, 1159–1162.

314. Zomorodi, K. (2012) *Evaluation of the response of a water table to a variable recharge rate in Ghazvin Plain, Iran*, *Hydrological Sciences Journal*, Vol. 36, No. 1, pp.67–78.

Sites web:

Ministère de la ressource en eau, Algérie : www.mre.gov.dz
www.aquatechnique.fr
Ministère de l'environnement et l'aménagement du territoire :
www.environnementdz.com
www.usgs.gov
journals.openedition.org
www.theses.fr
www.urbanwater.fr
www.outil2amenagement.certu.developpement-durable.gouv.fr (étude d'impact).
www.dictionnaire-environnement.com
www.certu.fr
www.eaudanslaville.fr
www.oieau.fr
www.ons.dz/-Population-.html
www.eau-loire-bretagne.fr
www.aquaportail.com
www.osuna.univ-nantes.fr (environnement urbain)
www.eaufrance.fr (schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux)
www.lodevoisetlarzac.fr
www.annabacitu.com
www.vitaminedz.com
www.annabacity.net
www.labolae.wordpress.com
www.dziri-dz.com

Textes officiels

Loi n°01-20 du 12/12/2001 relative à l'aménagement et au développement durable du territoire.
Loi n° 03-10 du 19/07/2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable.
Loi n° 86-2 du 3 janvier 1986 relative à l'aménagement, la protection et la mise en valeur du littoral.
Loi n° 04-20 du 13 Dhou El Kaada 1425 correspondant au 25 décembre 2004 relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable.
la loi n° 05-12 du 28 Joumada Ethania 1426 correspondant au 4 août 2005, modifiée et complétée, relative à l'eau.
la loi n° 07-06 du 25 Rabie Ethani 1428 correspondant au 13 mai 2007 relative à la gestion, à la protection et au développement des espaces verts.
Décret exécutif n° 06-198 du 4 Joumada El Oula 1427 correspondant au 31 mai 2006 définissant la réglementation applicable aux établissements classés pour la protection de l'environnement.
Décret exécutif n° 09-78 du 27/02/1990 relatif aux études d'impact sur l'environnement.

ANNEXES



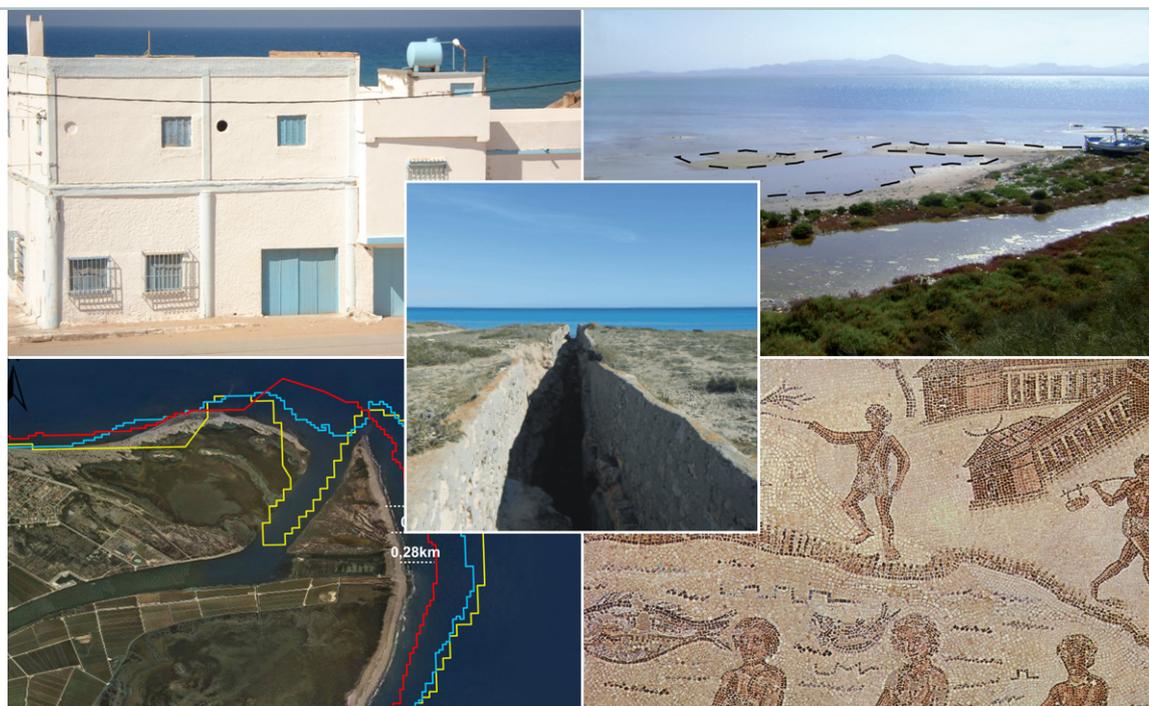
méditerranée

revue géographique des pays méditerranéens

Journal of Mediterranean Geography

Dynamiques des zones humides littorales et enjeux de gestion en Méditerranée

Mediterranean coastal wetlands: dynamics and management issues



N. Maughan, A. Oueslati, N. Aroua, J.-M. Miossec, dir.

Le lac Fetzara, une zone humide fragile, menacée par l'extension urbaine de la ville d'Annaba (littoral Est algérien)

The Fetzara lake, a fragile wetland threatened by the urban growth of Annaba city (western Algeria)

Karima MELLOUK

Université de Constantine 3, Institut de gestion des techniques urbaines
Algérie
karimamellouk@live.fr

Najet AROUA

École polytechnique d'architecture et d'urbanisme d'Alger
Algérie
arouanajet@yahoo.fr

Résumé – À l'instar des villes côtières méditerranéennes, Annaba (Est algérien), connaît une forte croissance urbaine. Entre la mer à l'est et le massif de l'Edough à l'ouest, la seule possibilité d'extension de la ville et du port semble être le sud. De fait, les plaines alluviales sont de plus en plus envahies par l'étalement urbain. Ce qui engendre des impacts négatifs sur le milieu naturel et notamment les zones humides dont l'équilibre écologique est aujourd'hui menacé. C'est le cas du lac Fetzara, situé à une vingtaine de km au sud-ouest d'Annaba. Bien que répertorié comme zone humide d'intérêt international, il est aujourd'hui cerné par le projet d'aménagement d'un nouveau pôle urbain dans la localité de Draa Errich.

L'objectif de cet article est d'évaluer par analyse multicritère les impacts de ce projet d'aménagement sur l'hydrosystème local dont font partie la zone humide et le lac. Les résultats obtenus témoignent de l'ampleur de sa dégradation et soulignent la nécessité d'engager des mesures de protection urgentes dans le cadre d'une stratégie durable d'aménagement du territoire.

Mots-clés : Annaba, lac Fetzara, AMC, aménagement urbain, impacts environnementaux, zone humide

L'eau est un facteur fondamental d'implantation urbaine. La plupart des villes se développent à proximité ou sur les rives des lacs et des rivières où elles puisent la ressource nécessaire à leur développement. En conséquence, elles affectent le fonctionnement et la dynamique naturelle des hydrosystèmes en présence. Au cycle de l'eau est alors associé un facteur risque non négligeable auquel il est nécessaire de parer dès l'amont du processus de planification urbaine. Le projet de ville nouvelle dans la localité de Draa Errich (wilaya d'Annaba à l'est d'Alger) illustre ce propos. Le site, qui offre une assiette foncière riche en potentialités hydriques, est sur le point de recevoir un grand nombre de logements, d'équipements d'accompagnement et d'infrastructures supposés contribuer à lever la pression sur la ville d'Annaba. Or, les impacts potentiels de ce projet d'aménagement urbain sur les composantes de l'hydrosystème local, auquel appartiennent le lac Fetzara, l'oued Anneb et la nappe Guerbez, pourraient être irréversibles ce qui soulève d'ores et déjà quelques questionnements. Par exemple, le site choisi est-il propice à un aménagement de cette envergure ? A-t-on tenu compte de l'équilibre et de la dynamique de l'hydrosystème local ? Ainsi conçu, le projet urbain représente-t-il un risque pour ses composantes ? Si tel est le cas, quels seraient les effets néfastes prévisibles ? Quelles mesures pourraient contribuer à les minimiser ?

Les informations recueillies auprès des professionnels de l'urbanisme prêtent à croire à une « catastrophe urbanistique annoncée ». Il semblerait en effet que le choix du site d'implantation de la nouvelle ville n'ait pas fait

Abstract – The Mediterranean coastal city of Annaba (Eastern Algeria) faces a strong urban growth for several decades. Limited east by the shoreline and west by the Edough Massif, the only development opportunity for the city and its harbor is the south part of the plain. Nowadays, alluvial plains are increasingly invaded by urban sprawl with negative impacts on natural environment, including wetlands whose ecological integrity is seriously threatened. This is the case of the Fetzara lake, located twenty kilometers south-west of Annaba. Although included in the Ramsar list (since 2002), it is now surrounded by a new urban project within the Draa Errich locality.

The main goal of the present paper is to assess the impact of the urban project on the local hydrosystem, which includes the wetland and the lake through a multi-criteria analysis. The final results showed their continual ecological degradation and stress the need to implement urgent conservation measures in the framework of a sustainable development strategy for this territory.

Keywords : Annaba, Fetzara lake, wetland, multicriteria analysis, environmental impacts, urban design

l'objet d'une vision stratégique mais aurait été dicté par la disponibilité foncière à accueillir un programme de cette envergure. De plus, le plan prévoit une artificialisation quasi totale du site et le déboisement de plus de 1340 ha de domaine forestier et agricole, tandis que la trame orthogonale et le système d'ilotage très rigide seraient inadaptés à sa nature curviligne. À cet égard, le présent article se propose d'évaluer les impacts du projet de nouvelle ville Draa Errich sur l'équilibre des composantes de l'hydrosystème local grâce à une analyse multicritère des indicateurs qui les caractérisent.

I - Cas d'étude

I.1 - Le projet de nouvelle ville Draa Errich (wilaya de Annaba) vs l'environnement naturel

Le projet de ville nouvelle Draa Errich a pour vocation d'aider à décongestionner la ville d'Annaba. La localité qui l'héberge, distante de 20 km à l'ouest (soit 15 minutes de trajet), est rattachée à la commune de oued El-Aneb, (Daïra de Berrahel, wilaya d'Annaba). Son périmètre d'implantation est délimité au nord par le chemin de wilaya n° 20, à l'est par le mont Eddough, à l'ouest par le chemin de wilaya n° 12, au sud par la route nationale n° 44 et le lac Fetzara. Il est accessible par la RN 44 et CW 12 et occupe une superficie de 1344 ha (fig. 1).

Le climat local est de type méditerranéen, doux et humide en été en raison de la proximité de la mer, humide et frais en hiver. Les températures sont supérieures à 19 °C de mai



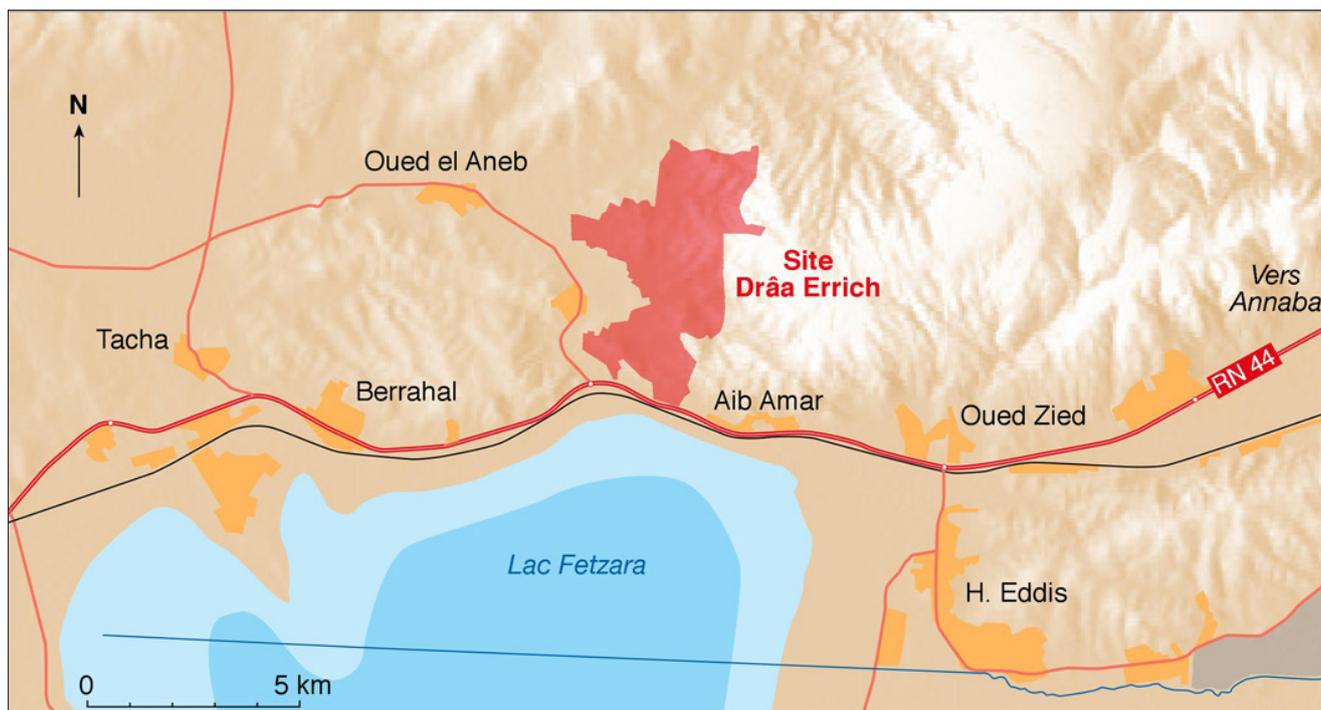


Fig. 1 – Situation géographique du projet de nouvelle ville Draa Errich (wilaya d'Annaba) – Conception P. Pentsch.

à octobre. Les moyennes annuelles varient de 13 °C à 19 °C environ sur le littoral (température mensuelle moyenne = 12,42 °C.). La période pluviale s'étend d'octobre à avril et atteint une moyenne mensuelle de 162,42 mm (moyenne annuelle = 1 000 mm) (URBAN, 2013). Janvier reste le mois le plus pluvieux (en moyenne 297,87 mm) et le plus froid (en moyenne 7 °C). L'humidité atteint 70 % en moyenne annuelle à cause de l'effet régulateur de la mer.

Le site présente quatre types de pentes : pentes douces (15 % du terrain), pentes moyennement raides (35 % du terrain), pentes raides (30 % du terrain) et pentes très raides (20 % du terrain) (URBAN, 2013). Les pentes douces se concentrent à l'ouest et les pentes fortes à l'est. Ce qui prêche à croire que la partie est serait plus exposée au risque d'inondation par ruissellement et la partie ouest celui d'un débordement de réseau. La superposition de la carte des pentes avec celle du *master plan* de la ville nouvelle de Draa Errich montre que l'aménagement prévu dans la première phase se situe dans la partie à faible pente, tandis que la partie pentue est réservée à des programmes d'équipement. En aval, le rythme de ruissellement décroît en raison de la morphologie du terrain (pente douce à faible). L'artificialisation de cette zone laisse supposer une réduction considérable du taux de renouvellement de la nappe ainsi qu'un risque accru d'inondation.

La couverture végétale est composée de 83 % de maquis (1 110 ha), 4 % de chêne dense et clair (52 ha) et 5 % d'oléastre (65 ha). Les terres cultivées occupent 8 % de la surface (2 % de terres agricoles et parcours 117 ha et 6 % de terres agricoles et vergers). Le projet d'aménagement urbain prévoit un déboisement général qui perturbera considérablement la structure hydrologique existante. D'un autre côté, la déforestation réduira la capacité du sol à retenir l'eau de pluie. Celle-ci, s'écoulant rapidement, pourra entraîner une accélération de l'érosion du sol et

par conséquent une réduction de fertilité. La disparition du couvert végétal et par voie de conséquence des plantes fixatrices, rendront les sols vulnérables aux phénomènes d'érosion hydrique.

Le sol est constitué à 76 % de Gneiss (composée de lits sombres et de lits clairs), 3 % d'argile et 19 % de micaschistes. Il est peu perméable, ce qui implique un coefficient de ruissellement naturellement élevé et un taux d'infiltration bas. La réalimentation de la nappe est par conséquent faible et pourrait être davantage ralentie, vu l'étendue des surfaces qui seront imperméabilisées dans le cadre du projet. Cette opération réduira considérablement la quantité d'eau infiltrée et accroîtra le ruissellement de surface en milieu urbain.

Dans le cadre de l'aménagement des berges de l'oued El Aneb – avec le double objectif d'embellissement et de protection contre les inondations –, deux alternatives de passage des eaux usées sont prévues : soit par recalibrage de l'oued avec installation de collecteurs d'assainissement de part et d'autre, soit à travers une galerie de collecte des eaux usées et pluviales. La modification des paramètres physiques du cours d'eau aura des répercussions sur le fonctionnement de l'hydrosystème.

La structure de trame viaire projetée lui semble également défavorable dans la mesure où elle privilégie la technique traditionnelle de chaussées et trottoirs et par conséquent l'imperméabilisation des sols par le recours à des revêtements étanches. La pollution due au trafic automobile étant chronique, un pourcentage important de ces micropolluants évacué vers le milieu naturel peut être d'ores et déjà appréhendée. Le *master plan* de la nouvelle ville de Draa Errich prévoit une distribution des différentes activités telle que : zone d'habitat, zone de centralité urbaine et équipements structurants





Fig. 2 – Situation géographique du lac Fetzara en Algérie – Conception P. Pentsch.

se trouveront à proximité de l’oued El Aneb, non loin du Lac Fetzara. Ces activités peuvent être source de dysfonctionnement d’ordre qualitatif et quantitatif.

1.2 - Le lac Fetzara, composante superficielle de l’hydrosystème local

Le site d’implantation de la nouvelle ville Draa Errich est remarquable par la densité de son hydrosystème dont on distingue le lac Fetzara, l’oued Aneb et l’oued Ziad (composantes superficielles) ainsi que la nappe Guerbez (composante souterraine). Le relief en cuvette de la partie centrale du site constitue un important réceptacle d’eaux pluviales alimentant l’oued. Le site est traversé par plusieurs cours d’eau pour la plupart saisonniers à l’exception de l’oued El Aneb (écoulement permanent) qui a donné son nom à la commune.

Le lac Fetzara se trouve à 18 km au sud-ouest de la wilaya d’Annaba (Daïra et commune de Berrahal). Plusieurs petites agglomérations le bordent : au nord, le chef lieu de

la commune de Berrahal (dont le site de Draa Errich), au sud les communes d’El Eulma (traversée par l’oued El Hout) et de Cheurfa, à l’est les petits villages d’El Gantra et de l’oued Zied. Le lac Fetzara est répertorié sur la liste Ramsar des zones humides d’importance internationale depuis 2002. Sa grande étendue et son caractère relativement temporaire en font une zone humide représentative de la région méditerranéenne (BOUMEZBEUR, 2003). La fonction hydrologique du lac contribue à la maîtrise des crues, à la rétention des sédiments et des nutriments ainsi qu’à la recharge de la nappe phréatique (fig. 2).

Le lac Fetzara, situé à l’est de la ville de Annaba, s’étend sur 17 km de long et 13 km de large. Le plan d’eau libre, qui dépend presque exclusivement de l’intensité de la saison des pluies, occupe une étendue de plus de 5 800 ha (photo 1).





Photo 1 – Vue aérienne du lac Fetzara en 2015 (source: Sandervalva, en ligne : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Lac_de_Fetzara]).

S'ajoutent à cela plusieurs milliers d'hectares de terres inondables formant de vastes prairies humides. Au début du XX^e siècle, cette zone humide était le site de nidification et d'hivernage le plus important de l'est algérien (photos 2 et 3).



Photos 2 et 3 – Faune ornithologique du lac Fetzara. 2. Ibis falcinelle (*Plegadis falcinellus*) et un groupe d'échasses blanches (*Himantopus himantopus*), 3. Héron cendré (*Ardea cinerea*). (source: Boudjéma Samraoui, université d'Annaba, Algérie).

Après des travaux d'assèchement effectués durant l'époque coloniale, le lac a perdu cette qualité notamment pour la nidification de douze espèces d'Anatidés dont l'oie cendrée (BOUMEZBEUR, 2003).

Date à laquelle la fiche a été remplie :	15 avril 2002
Pays :	Algérie
Nom de la zone humide :	Lac de Fetzara
Coordonnées géographiques :	
Latitude 36°43' et 36°50' N	Longitude 7°24' et 7°39' E
Altitude : mini : 10,25 m	maxi : 40 m moyenne : 25,35 m
Superficie :	20 680 ha

Fig. 3 – Fiche descriptive de la zone humide du lac Fetzara – Source : Direction générale des Forêts, 2003.

Les eaux du lac Fetzara dérivent des oueds El Hout, El Mellah, Zied et Al Aneb, ainsi que celles qui se déversent le long des pentes périphériques. Durant la saison pluvieuse, l'eau remonte jusqu'à la côte 12 m du niveau du centre du lac. La superficie submergée en hiver est de l'ordre de 5 800 ha, ce qui peut atteindre le site d'implantation du projet de Draa Errich (la distance séparant le site du lac étant de 5 km). La période d'étiage intervient durant la saison sèche (précipitations quasi nulles). Le drainage du site a lieu tout au long de l'année par l'intermédiaire du canal principal dont les eaux d'évacuation se déversent dans l'oued Seybouse qui débouche sur la mer. La détérioration de l'écluse située à El Gantra, à l'est du lac, provoque son assèchement total durant l'été (BOUDJEMAA, 2010).

Plusieurs milieux caractérisent le Lac Fetzara. Parmi eux, (de l'extérieur vers l'intérieur), un groupement naturel constitué de chêne liège et d'olivier et un groupement artificiel de plantations de pin maritime et d'eucalyptus. Puis une strate arbustive composée de genêts et d'oléastres, une strate herbacée et enfin une végétation palustre diversifiée, constituée principalement de roseaux, de massettes et une végétation aquatique assez importante (BOUMEZBEUR, 2003)

À l'issue de cette présentation, il apparaît que le site de Draa Errich dispose d'un hydrosystème assez complexe. Les impacts du projet d'aménagement urbain en cours de réalisation risquent de troubler considérablement son équilibre écologique et son hydrodynamique. Les oueds peuvent devenir l'exutoire de tous types de rejets (industriels et domestiques) et véhiculer ainsi une charge polluante importante affectant en conséquence les eaux et inhibant leur capacité d'auto-épuration. Cette pollution pourrait contaminer par la suite l'ensemble des composantes de l'hydrosystème existant. Dans le périmètre d'étude, l'imperméabilisation de surfaces importantes va nécessiter l'installation d'un réseau d'assainissement surdimensionné dans ses parties amont, avec un tracé direct pour en limiter la longueur et une pente confortable pour diminuer son diamètre (et son coût) et limiter son ensablement. Ce réseau ne permettra en aucun cas de remplacer le réseau hydrographique naturel.

L'évaluation qualitative de ces différents impacts démontre l'ampleur des effets nuisibles qu'aura le projet



d'aménagement urbain de la nouvelle ville de Draa Errich sur l'hydrosystème local.

2 - Méthode et outils

2.1 - Concepts et méthode d'analyse

Il est fait référence ici à la vision systémique du cycle de l'eau à l'origine du concept d'hydrosystème continental décliné en composantes souterraines (les aquifères, écoulement lent) et superficielles (lac, rivière, cours d'eau, écoulement rapide) (DACHARY, 1993 ; DOOGE, 1968 ; KURTULUS *et al.*, 2011 ; FLIPO 2013). L'objectif de cette recherche étant d'évaluer les impacts potentiels du projet d'aménagement urbain de la nouvelle ville de Draa Errich¹ sur l'équilibre de l'hydrosystème local, l'analyse multicritère (AMC) semble constituer une méthode appropriée afin de pouvoir se prononcer sur l'acceptabilité du projet ou la nécessité de le modifier². Dans ce but, deux listes d'indicateurs sont dressées puis organisées en tableau de type matriciel permettant leur croisement. L'hydrosystème local est décliné selon ses deux principales composantes superficielles, l'oued El Aneb et le lac Fetzara, et sa composante souterraine, (la nappe Guerbez) (tableau 1)³.

Tableau 1 – Composantes et indicateurs descriptifs de l'hydrosystème local

Oued El Aneb		Lac Fetzara		Nappe Guerbez	
IO1	IO2	IL1	IL2	IN1	IN2
Qualité de l'eau	Hydro-dynamique	Qualité de l'eau	Maintien de la biodiversité	Qualité de l'eau	Processus de recharge

Conception : Mellouk et Aroua.

- 1 Le projet d'aménagement urbain de la nouvelle ville de Draa Errich étant en cours de réalisation, l'objectif de la présente contribution est d'évaluer ses impacts et de proposer des mesures d'atténuation.
- 2 À notre connaissance, ce projet n'aurait pas fait l'objet d'une étude d'impact sur l'environnement à ce jour.
- 3 Un deuxième oued traverse la localité de Oued Zied. Cependant, la distance qui le sépare du site d'implantation de la ville nouvelle ne justifie pas sa prise en compte dans le cadre de cette évaluation.

Tableau 3 – Barème de notation des impacts du projet d'aménagement urbain sur l'hydrosystème local

Note	Type d'impact	Arguments
0	Restauratoire	Les impacts restauratoires sont ceux qui ne demandent pas d'intervention ou dont les effets sont négligeables.
1	Compensatoire	Les impacts compensatoires sont ceux que l'on peut maîtriser à travers l'installation de dispositifs adéquats.
2	Conservatoire	Les impacts conservatoires sont les impacts non maîtrisables.

Conception : Mellouk et Aroua.

Tableau 4 – AMC des impacts du projet de ville nouvelle Draa Errich sur l'hydrosystème local

			Déclinaisons du projet d'aménagement urbain						Note de l'indicateur descriptif /12	Note de la composante /24
			Aménagements urbains		Activités		Système viaire			
			AU1	AU2	AC1	AC2	SV1	SV2		
Composantes de l'hydrosystème	Oued	IO1	0	0	1	2	1	1	5	10
		IO2	0	0	1	1	2	1	5	
	Lac	IL1	0	0	1	1	1	1	4	8
		IL2	0	0	0	1	2	1	4	
	Nappe	IN1	0	0	2	2	2	2	8	16
		IN2	0	0	2	2	2	2	8	
Note de l'indicateur descriptif/12			0	0	7	9	10	8		
Note de la déclinaison /24			0		16		18			

Conception : Mellouk et Aroua.

Parallèlement, le projet de nouvelle ville de Draa Errich est marqué par le système viaire, les aménagements urbains et les activités à héberger (tableau 2).

Tableau 2 – Composantes et indicateurs descriptifs du projet de ville nouvelle Draa Errich

Aménagements urbains		Activités		Systèmes viaires	
IU1	IU2	IA1	IA2	IV1	IV2
Trame verte	Trame bleue	Logements	Équipements	Voiries	AEP/ Assainissement

Conception : Mellouk et Aroua.

Les critères et les indicateurs ainsi identifiés sont notés selon le type d'impact (restauratoire, compensatoire ou conservatoire)⁴ et un barème préétabli (tableau 3)⁵. La lecture par colonne donne la note par déclinaison du projet d'aménagement urbain. La lecture par ligne permet d'obtenir la note d'impact par indicateur descriptif et composante de l'hydrosystème local.

- 4 L'étude d'impacts distingue trois types d'impacts potentiels : les impacts restauratoires, qui sont les impacts maîtrisables, les impacts compensatoires, qui sont les impacts négligeables, les impacts conservatoires, qui sont les impacts non maîtrisables, qu'on ne peut pas atténuer (BRACH, 1997).
- 5 La note 0 est attribuée aux impacts de types restauratoire, ce qui signifie qu'un impact a eu lieu, mais qu'il s'atténuera sans intervention ou correction (le facteur temps pourra à lui seul réduire l'ampleur de l'impact).
La note 1 est attribuée aux impacts de type compensatoire qui nécessitent une intervention pour les réduire (on cite en exemple l'installation d'une STEP pour réduire la pollution hydrique des cours d'eau).
La note 2 est affectée aux impacts de type conservatoire, ceux qu'on ne peut ni corriger, ni réduire, ni supprimer avec des mesures ou des interventions (par exemple, si la nappe est polluée il devient très difficile d'y remédier).



2.2 - Interprétation des résultats de l'analyse multicritère

L'AMC permet de déduire ce qui suit :

- Concernant la déclinaison « Aménagements urbains » : la composante « trame verte » (AU1) facilite l'infiltration de l'eau de pluie vers la nappe phréatique, contribue au maintien de la biodiversité du lac et permet le ralentissement de l'onde de ruissellement vers l'oued (empêche son débordement). Par conséquent, elle obtient la note 0. La composante « trame bleue » (AU2) ayant un rôle esthétique uniquement, ne pourra pas perturber les composantes de l'hydrosystème. Elle obtient également la note 0.
- Concernant la déclinaison « Activités » : croisée avec l'ensemble des composantes de l'hydrosystème, la déclinaison « logements » (AC1) obtient 7/12. Une note qui dépasse de peu la moyenne car elle aurait effectivement un impact non négligeable sur chacune d'elles. Les zones consacrées à l'habitat se traduisent par des surfaces non perméables. Par temps de pluie, les précipitations qui ruissellent sur ces surfaces se chargent d'éléments du sol (sédiments, engrais, pesticides...), ce qui provoque un phénomène de lessivage, source de pollution hydrique au niveau de l'oued et du lac. De plus, les surfaces imperméables empêchent l'infiltration des eaux, ce qui ralentit le processus de renouvellement de la nappe phréatique. La déclinaison « équipements » (AC2), obtient 9/12, car les surfaces imperméables accélèrent le ruissellement et empêchent l'infiltration des eaux. Lors des précipitations, ces dernières sont transportées par un système d'assainissement entraînant un débordement du cours d'eau, ce qui érode les berges ou encore perturbe la qualité de la vie aquatique. Notons également que la quantité de polluants issus des différents équipements est plus importante que la quantité de polluants issus des zones de résidence. La composante « activités » (AC) pourrait avoir des impacts compensatoires sur les différentes composantes de l'hydrosystème. Deux stations d'épuration ont été prévues, l'une à proximité du lac et l'autre à proximité de l'oued afin de traiter les eaux polluées issues des infrastructures urbaines avant de les rejeter dans le milieu naturel. Cependant, rien n'a été prévu pour réduire les surfaces imperméabilisées, l'accélération des ruissellements et la non-infiltration des eaux, d'où un total de 16/24.
- Concernant la déclinaison « Système viaire » : la déclinaison « voiries » (SV1), obtient 10/12, la note la plus élevée en comparaison avec les autres indicateurs. Cela est justifié par le fait qu'elle aura des impacts conservatoires sur chaque composante de l'hydrosystème. En effet, les surfaces bâties ou revêtues accélèrent davantage le ruissellement. De surcroît, les divers usages de la voirie et de l'environnement urbain sont à l'origine de dépôts fortement pollués sur la chaussée. Lors des ruissellements, 40 % de ces micro-polluants sont évacués vers le milieu naturel (FLIPO, 2013). Son impact est par conséquent direct et non maîtrisable sur la qualité de l'eau, son hydrologie, l'entretien de la biodiversité et le renouvellement de la nappe phréatique. La déclinaison « approvisionnement en eau potable et assainissement » (SV2) obtient 8/12 car elle a un impact sur l'hydrologie naturelle des cours d'eau. L'assainissement accélère les écoulements qui peuvent alors atteindre des vitesses très grandes, provoquant des effets dévastateurs et perturbateurs de l'hydrodynamique du cours d'eau. De plus, l'assainissement par réseau retenu dans le cadre de ce projet d'aménagement urbain affecte chaque déclinaison et chaque indicateur de l'hydrosystème dans le sens où l'on oblige l'eau à emprunter des cheminements autres que ceux qu'elle suit naturellement. Par conséquent, la déclinaison « système viaire » (SV), obtient une note totale de 18/24 qui traduit l'existence d'impacts conservatoires sur les différentes composantes de l'hydrosystème.
- Concernant la composante « oued » : l'indicateur « Qualité de l'eau » de la composante « oued » obtient la note 5/10 car il est exposé à une pollution hydrique due aux déchets issus des infrastructures urbaines. La proximité de l'oued par rapport au projet d'aménagement urbain accentuera ce risque. Cependant, une station d'épuration est prévue. L'indicateur « hydrodynamique » de la composante « oued » obtient la note 5/10 car les surfaces environnantes de l'oued seront imperméabilisées, ce qui accroîtra le coefficient de ruissellement, qui à son tour perturbera l'hydrodynamique. S'ajoute à cela le recalibrage prévu pour l'oued dans le cadre du projet d'aménagement urbain.
- Concernant la composante « Lac » : l'indicateur « qualité de l'eau » de la composante « lac » obtient la note 4/12 car ce dernier peut également être contaminé par les eaux polluées issues des infrastructures urbaines. Néanmoins, la distance qui sépare le lac du projet pourrait ralentir ce phénomène. Cependant, cela ne signifie pas que le lac sera épargné car l'hydrosystème est un circuit fermé où l'eau circule entre les différentes composantes. L'indicateur « entretien de la biodiversité » obtient la note 4/12 car la biodiversité dépend du milieu dans lequel elle évolue, milieu qui risque d'être perturbé par les rejets d'eaux usées urbaines. La composante « lac » obtient un total de 8/12. Le lac subit les impacts des différentes composantes du projet d'aménagement urbain. Cependant, ces impacts sont pour la plupart compensatoires puisque des mesures de contrôle sont prévues dans le cadre du projet.
- Concernant la composante « Nappe » : l'indicateur « qualité de l'eau » de la composante « nappe » obtient la note de 8/12, car il subit les impacts conservatoires des différentes déclinaisons du projet en dehors des aménagements urbains (trame verte et bleue). Ces impacts sont non maîtrisables car on ne prévoit aucune correction. L'indicateur « processus de renouvellement » est fortement perturbé par les déclinaisons du projet d'aménagement urbain. Ce dernier prévoit une imperméabilisation d'importantes surfaces, d'où un total de 8/12. La composante « nappe » obtient un total de 16/24. Cette composante est la plus menacée par le projet d'aménagement urbain. Pour les deux autres composantes de l'hydrosystème (l'oued et le lac) on prévoit des stations d'épuration afin d'atténuer le risque de pollution hydrique. Cependant, les eaux polluées s'infiltreront dans le sol et atteignent la nappe sans aucun traitement préalable. S'ajoute à cela la diminution des surfaces perméables (les espaces verts représentent



seulement 13 % de la surface totale dédiée au projet d'aménagement urbain).

À son issue, cette analyse montre que dans le périmètre d'étude, le système viaire et la voirie en particulier constituent les déclinaisons les plus perturbatrices de l'équilibre de l'hydrosystème local et les plus polluantes. Tandis que la nappe phréatique est la composante la plus menacée de l'hydrosystème. Par ailleurs, le site d'implantation de la nouvelle ville de Draa Errich semble fortement concerné par quatre risques liés à l'eau : l'imperméabilisation des sols, l'accélération des écoulements, la construction d'obstacles à l'écoulement et la pollution des milieux récepteurs. Bien que les effets de l'urbanisation sur la zone humide soient nombreux, les rejets urbains seront la principale cause de sa dégradation. Certes, le projet d'aménagement urbain de Draa Errich prévoit deux stations d'épuration : l'une à proximité de l'oued et l'autre à proximité du lac⁶. Cependant, en cas de problème technique, les eaux ne subiront pas de traitement d'épuration avant d'atteindre le cours d'eau. Le recalibrage de l'oued en prévention des inondations causera de même une artificialisation du cours d'eau. Or, la modification de ses paramètres physiques (pentes, profondeur...) induit une diminution de la diversité naturelle des habitats et des espèces présentes, ainsi qu'un abaissement du niveau de la nappe phréatique. L'aménagement de ses berges et leur bétonnage l'enserrera dans un chenal étroit qui lui fera perdre toute possibilité naturelle d'épanchement en cas de crue.

Au terme de cette analyse, l'impact du projet d'aménagement urbain de la nouvelle ville Draa Errich sur l'hydrosystème local semble confirmé. S'il obtient la somme totale de 34/72 en termes d'impact sur l'hydrosystème local, ce dernier obtient une note globale d'endommagement de 34/72, principalement due à la menace qui pèse sur la nappe phréatique qui traverse son site d'implantation. La note (34/72) en apparence rassurante qu'obtient le projet de la nouvelle ville est justifiée par les études lancées ou les mesures prévues et non encore réalisées. Si celles-ci venaient à manquer,

les impacts seraient différents (et par ricochet les notes qui leurs sont affectées). Par conséquent, ce projet risquerait d'engendrer de nombreux dysfonctionnements, car les composantes de l'hydrosystème n'ont pas été suffisamment prises en compte lors du processus de la planification urbaine.

Conclusion

L'analyse multicritère utilisée dans le cadre de cette recherche a porté sur l'interaction entre le projet d'aménagement urbain et l'hydrosystème local. Elle s'est appuyée sur un barème de notation préétabli qui conserve, certes, une part inévitable de subjectivité susceptible d'être discutée et levée par jugement d'experts dans le cadre d'une étude exhaustive. Les résultats obtenus permettent néanmoins de se prononcer sur la nécessité de modifier le projet d'aménagement urbain de façon à minimiser ses impacts sur l'ensemble des composantes de l'hydrosystème local. Une des pistes de recherche future consisterait à l'adaptation des outils réglementaires et opérationnels de l'urbanisme à l'objectif de valorisation des zones humides par l'urbanisme. L'objectif de ces mesures ou pratiques est d'intervenir le moins possible sur le cycle naturel de l'eau. Il est aujourd'hui admis que la dégradation des hydrosystèmes prend l'allure d'une véritable catastrophe écologique aux conséquences désastreuses sur la qualité de vie de la population locale ainsi que la santé et l'équilibre des écosystèmes naturels. Cette situation serait due à la non-application d'actions correctives préventives. Cependant, la problématique de l'équilibre hydrosystème – projet d'aménagement urbain ne peut se limiter à quelques actions techniques. L'approche du *Water sensitive urban design* dans le cadre d'un urbanisme écologique constitue à cet égard une intéressante pratique d'aménagement du territoire et de conception d'ingénierie intégrant le cycle urbain de l'eau - y compris la gestion des eaux pluviales, des eaux souterraines et des eaux usées et l'approvisionnement en eau (BROWN *et al.*, 2008). Ce faisant, il permet de minimiser la dégradation de l'environnement et d'améliorer l'esthétique du cadre de vie urbain.

⁶ L'information recueillie au cours de cette recherche (2012) prête à croire que les études techniques n'auraient pas encore été lancées.

Bibliographie

- BOUDJEMAA S., (2010), *Cartographie des relations sol-eau-végétation dans un milieu salé (lac Fetzara)*, mémoire de magister, université Badji Mokhtar Annaba, faculté des sciences, département de biologie, 123 p.
- BOUMEZBEUR A., (2003), *Fiche descriptive sur les zones humides Ramsar, chott Zaherz chergui (Algérie)*, Direction générale des forêts, 10 p.
- BRACH M., (1997), *Étude hydrogéochimique du champ géothermique de Bouillant (Guadeloupe)*, Rap. BRGMR 39880, 84 p.
- BROWN R. *et al.*, (2008), *Transitioning to water sensitive cities: Historical, current and future transition states*, 11th International conference on urban drainage, UK.
- DACHARRY M., (1993), *Encyclopédie AXIS*.
- DOOGE J., (1968), The hydrologic cycle as a closed system. *Bulletin of the International Association of Scientific Hydrology*, 13, 1, p. 58-68.
- FLIPO N., (2013), *Modélisation des hydrosystèmes continentaux pour une gestion durable de la ressource en eau*, université Pierre-et-Marie-Curie Paris 6, Spécialité science de la terre et de l'univers, 128 p.



- KHERICI N., (1993), *Vulnérabilité à la pollution chimique des eaux souterraines d'un système de nappes superposées en milieu industriel et agricole (Annaba-la Mafragh) Nord-Est algérien*, Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar, Annaba, 143 p.
- KURTULUS B., FLIPO N., GOBLET P. *et al.*, (2011). Hydraulic head interpolation in an aquifer unit using ANFIS and ordinary kriging. *In: Studies in computational intelligence*. Vol. 343, Springer, p. 265-273.
- MICHEL P., (2006), *L'étude d'impact sur l'environnement*, BCEOM, 156 p.
- ZERROUGUI A., (2013), *Lac Fetzara: une grave atteinte à l'écologie*, en ligne : [abdelhakz.wordpress.com].





Dynamiques des zones humides littorales et enjeux de gestion en Méditerranée

Mediterranean coastal wetlands: dynamics and management issues

	<i>In memoriam</i>	3
Nicolas Maughan	Introduction.....	7
	Foreword	17

Rôle des milieux humides dans la reconstitution des paléopaysages

Sanda Balescu, Hajer Mejri, Ameer Oueslati et al.	Datation IRSL des dépôts lagunaires pléistocènes de la côte orientale de la Tunisie.....	27
	<i>IRSL dating of Pleistocene lagoonal deposits along the eastern Tunisian coast: or a better reconstruction of coastal paleoenvironments and palaeolandscapes</i>	
Sahbi Jaouadi, Vincent Lebreton, Beya Mannai-Tayech et al.	Apport de l'analyse pollinique des sédiments de la sebkha Boujmel (Sud-Est tunisien) à la reconstitution des paléopaysages et paléoclimats holocènes en milieu aride	39
	<i>The contribution of pollen analysis of sediment from the sebkha boujmel (Southeastern Tunisia) in reconstructing holocene paleoenvironments and palaeolandscapes in arid land</i>	
Fawzi Brahim	Évolution de la paléolagune-sebkha d'Ennjila et de ses environs (Sahel tunisien – Tunisie orientale). 51	
	<i>The evolution of Ennjila paleolagoon-sebkha and its surrounding lands (Tunisian Sahel, Eastern coast of Tunisia)</i>	

Fonctionnement hydrosédimentaire et impacts anthropiques

Ameer Oueslati, Ouadii El Aroui, Naziha Sahtout	Sur la grande vulnérabilité du lido du complexe lagunaire de Ghar El Melh et de ses terres humides (Tunisie septentrionale)	65
	<i>Vulnerability of the barrier island and wetlands of the Ghar El Melh lagoon (Northren Tunisia): erosion hazards, increasing risk of marine ingression and threats on the Ramli culture</i>	
Walid Chouari	Apport de la cartographie au suivi de l'anthropisation des milieux humides littoraux	75
	<i>The contribution of cartography in reconstructing past human impacts on coastal wetlands: the case the Tunis Lagoon in the 20th century</i>	
Amal Boyauzan et Zoulikha Irzi	Effets des aménagements sur les dynamiques morphosédimentaires de l'île barrière de la lagune Nador (Nord-Est du Maroc, région de l'Oriental)	85
	<i>Impacts of man-made structures on sediment fluxes and water circulation around the barrier island of the Nador lagoon (North-East of Morocco, Oriental region)</i>	

Dynamiques spatiales contemporaines et enjeux de gestion

Coralie Beltrame, Christian Perennou, Anis Guelmami	Évolution de l'occupation du sol dans les zones humides littorales du bassin méditerranéen de 1975 à 2005	97
	<i>Trends in land cover change in coastal wetlands around the mediterranean basin: survey findings from 1975 to 2005</i>	
Nicolas Maughan	Dynamiques spatio-temporelles et évolution des modes de gestion des milieux humides de l'est de l'Étang de Berre (Sud-est de la France, XVIII ^e -XXI ^e siècle)	113
	<i>Spatio-temporal dynamics of wetlands and changes in management practices on the eastern shore of the Berre lagoon (Southeastern France, 18th-21st century)</i>	
Karima Mellouk, Najet Aroua	Le lac Fetzara, une zone humide fragile, menacée par l'extension urbaine de la ville d'Annaba dans le littoral Est algérien.....	133
	<i>The Fetzara lake, a fragile wetland threatened by urban growth of Annaba city in western Algeria</i>	
Mohamed Larid	L'apport du retour d'expérience au processus de gestion intégrée des zones côtières.....	141
	<i>Feedback contribution to an integrated coastal management plan: application to the Reghaia's coastal Wetland (Algiers province)</i>	
Tarik Ghodbani, Adam Milewski, Sid Ahmed Bellal	Un écosystème littoral fragile menacé sur la rive sud de la Méditerranée.....	153
	<i>The wetlands of the Terga area, a vulnerable coastal ecosystem in the southern Mediterranean (western Algeria)</i>	
Anila Shallari, Nicolas Maughan	Les zones humides littorales de la plaine albanaise, reflet des évolutions socio-économiques en Albanie (1945 - 2015)	165
	<i>Albanian coastal wetlands, as an accurate picture of the country's recent socio-economic transformations (1945 - 2015)</i>	



Nom et Prénom: MELLOUK Karima.

Titre: DYNAMIQUE URBAINE ET DURABILITE DES HYDROSYSTEMES, CAS DE LA VILLE DE ANNABA ET SA PERIPHERIE.

Thèse présentée pour l'obtention du diplôme de Doctorat
en Urbanisme et Dynamique Territoriale.

Résumé.

L'objectif principal de la présente recherche est d'évaluer qualitativement et quantitativement l'impact de la dynamique urbaine de Annaba sur le fonctionnement des hydrosystèmes qu'elle implique à l'échelle de leurs bassins versants. En effet, l'urbanisation, qui a pour corollaire l'imperméabilisation des aires d'infiltration des eaux de ruissellement, entrave la réalimentation des nappes et modifie sensiblement leur débit en aval aggravant ainsi le risque d'inondation. Or, l'urbanisme durable, plus particulièrement l'urbanisme hydrophile ou *water sensitive urbanism*, a pour mission de contribuer à conserver et/ou rétablir cet équilibre vital à travers des aménagements urbains respectueux de la géographie et la dynamique de l'eau.

La méthode d'évaluation utilisée ici consiste en une analyse spatiotemporelle quantitative et qualitative comparant la dynamique urbaine avec la dynamique des hydrosystèmes locaux durant un intervalle de temps de vingt ans environ. Elle s'appuie sur des produits satellitaires, des cartes SIG et des indices paysagers urbains définis par Fragstat à trois dates distinctes 2002, 2010 et 2019. Elle permet ainsi d'apprécier la variation des effets des changements d'occupation du sol sur la dynamique des hydrosystèmes des bassins versants étudiés.

Les résultats montrent que la dynamique urbaine est dommageable au bon fonctionnement des hydrosystèmes moins de son propre fait que par sa distribution spatiale interférant avec la géographie de l'eau à l'échelle des bassins versants. Afin d'y parer, quelques recommandations pratiques sont préconisées en lien avec la planification, l'aménagement urbain et la gouvernance dans le cas d'étude. Ces mesures, généralisables à d'autres cas similaires, orientent également la prise de décision dans le cadre des études prospectives d'établissements humains durables et résilients.

Mots clés: Annaba, dynamique urbaine, USGS, SIG, FRAGSTAT, hydrosystème, inondation.

Directeur de thèse : Pr Hamza AMIRECHE, Université Mohamed Seddik Ben Yahia, Jijel.

Année universitaire: 2020-2021.