

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR - ANNABA
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة بادجي مختار – عنابة

Faculté : Sciences de l'Ingénierat

Département : Hydraulique

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Hydraulique

Spécialité : Ouvrages Hydrauliques

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème:

Les techniques alternatives « une nouvelle approche pour la gestion des eaux pluviales »

Présenté par : *GHARSA Mohamed Tahar*

TORKI Amel

Encadrant : *BOUTAGHANE Hamouda M.C.A Université Badji Mokhtar Annaba*

Jury de Soutenance :

BOUSLAH Soraya	M.C.B	Université Badji Mokhtar Annaba	Président
BOUTAGHANE Hamouda	M.C.A	Université Badji Mokhtar Annaba	Encadrant
HAMZAOUI Wahiba	M.C.B	Université Badji Mokhtar Annaba	Examineur

Année Universitaire : 2019/2020

Dédicace

A la mémoire de mon-PERE et ma MERE, j'aurais tant aimé que vous soyez présents. Que Dieu ait vos âmes dans sa sainte miséricorde inchaalah.

A mon frère et mes sœurs.

A ma femme et mes filles Aya, Oumaima et Isra.

A tous mes amis et collègues.

A tous ceux et celles qui m'ont aidé et encouragé de près ou de loin dans la réalisation de ce travail. Il me serait difficile de les citer tous. Qu'ils trouvent ici, l'expression de ma reconnaissance.

A toute la promotion 2019 -2020 du département option : Ouvrage

Mes remerciements et ma reconnaissance à mon encadreur : Mr Hamouda BOUTAGHANE d'avoir proposé et suivi ce travail en tant que directeur mémoire et aux enseignants du département.

Je tiens à remercier vivement mon collègue à l'IFEP-ANNABA Monsieur Noureddine BOUSSATHA pour sa contribution en matière informatique.

Mohamed-Tahar GHARSA

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A mon père qui m'a toujours soutenu avec son encouragement, sacrifice, patience.

A l'âme de ma mère que dieux l'accueillera dans son vaste Paradies Inchaalah.

A mes très chers frères : SOFIANE et KARIM.

A tous les collègues des différents secteurs " URBANE, CTH, IFEP, pour leurs aide à ce mémoire.

A toute la promotion 2019 -2020 du département option : Ouvrage.

Que ce travail soit un témoignage de ma gratitude et mon profond respect à mon encadreur : Mr Hamouda Boutaghane et à mes professeurs de département.

Torki Amel

RÉSUMÉ

Au point de vue environnemental, l'utilisation de techniques alternatives sur un projet permet de traiter les eaux pluviales à la parcelle et soulage ainsi les infrastructures de collecte et de traitement présentes sur l'agglomération. De plus, la gestion en surface par des noues et bassins ouverts contribue à faire pénétrer la nature dans la ville en dynamisant les espaces publics. L'approche classique elle ne présente pas un grand intérêt environnemental. Les eaux sont juste évacuées loin de la zone d'étude.

Cost de réalisation la mise en place des techniques alternatives jouit d'un avantage réel en termes de coût (généralement pas très important)

Mots clés : environnementale, technique alternative, traiter, pluviales, collecte, gestion, noues, bassins, évacuation

ABSTRACT

From an environmental point of view, the use of alternative techniques on a project makes it possible to treat rainwater on the plot and thus relieve the collection and treatment infrastructures present in the city. In addition, surface management by open valleys and basins helps bring nature into the city by revitalizing public spaces. The classic approach is not of great environmental interest. The water is just drained away from the study area.

Cost of implementation The implementation of alternative techniques enjoys a real advantage in terms of cost (generally not very important).

Key words : environmental, alternative technique, rainwater, treat, collection, management, valleys, bassins, drained

ملخص

من الناحية البيئية فإن استخدام التقنيات البديلة في المشروع يجعل من الممكن معالجة مياه الأمطار على قطعة الأرض وبالتالي تخفيف البنى التحتية للتجميع والمعالجة الموجودة في المدينة. بالإضافة إلى ذلك، تساعد إدارة السطح من خلال الخنادق والأحواض المفتوحة على جلب الطبيعة إلى المدينة من خلال تنشيط الأماكن العامة. النهج الكلاسيكي ليس له أهمية بيئية كبيرة. لأنه يتم تصريف المياه بعيداً عن منطقة الدراسة.

تكلفة التنفيذ يتمتع تطبيق التقنيات البديلة بميزة حقيقية من حيث التكلفة (بشكل عام غير مهم جداً)

الكلمات المفتاحية : البيئة ، التقنيات البديلة ، معالجة ، الأمطار ، تجميع ، إدارة ، الخنادق ، تصريف ،

SOMMAIRE

INTRODUCTION :	1
Chapitre I : HISTORIQUE.	
I -1 APPROCHE HISTORIQUE:.....	3
I-2- ÉVENEMENTS HISTORIQUES MARQUANTS.....	4
I-2.1- DE L'ANTIQUITE AU XIXIÈME SIÈCLE.....	4
I -2-2- DEBUT DU SIÈCLE.....	9
A- INFRASTRUCTURE INDISPENSABLE.....	10
-B- LES DEVERSOIRS D'ORAGE.....	11
-C-STOCKAGE AU SEIN DU RESEAU.....	12
-D-LE STOCKAGE EN AMONT ET LES TECHNIQUES ALTERNATIVES.....	12
Chapitre II : TECHNIQUES ALTERNATIVES DE GESTION DES EAUX PLUVIALES.	
II-1 INTRODUCTION.....	21
II-2 DEFINITION.....	23
II-3 OBJECTIFS D'UNE GESTION ALTERNATIVE.....	23
II-4 PRINCIPES D'UNE TECHNIQUE ALTERNATIVE.....	24
II-5 AVANTAGES.....	25
II-6 EXEMPLES DE TECHNIQUES « ALTERNATIVES ».....	25
II-7 CONDITIONS DE REUSSITE.....	27
Chapitre III : STRATEGIE DES PAYS EN VOIE DE DEVELOPPEMENT	
III-1 PROBLEMATIQUE.....	30
III-1-1- POLITIQUE ET ETAT DES LIEUX DES PAYS.....	30

III-1-2- SITUATION AFRICAINE.....	32
III-1-3- L'INTERVENTION DES HABITANTS.....	34
III-2-INNOVATION DE LA TECHNIQUE.....	35
III-2-1- DEMARCHE.....	36
III-2-2- LES PISTES POUR DES ACTIONS ALTERNATIVES.....	38
A- DIAGNOSTIC CLAIR.....	38
B- OBJECTIFS REALISTES.....	38
B- CHOIX DE SOLUTIONS REALISTES.....	38
C- MISES EN PLACES DES FINANCEMENTS.....	39
D- MISES EN PLACES DE STRUCTURE OPERATIONNELLE DURABLE.....	39
CONCLUSION.....	39
Chapitre IV : DIMENSIONNEMENT TECHNIQUES ALTERNATIVES	
IV-1 METHODES DE DIMENSIONNEMENT.....	41
IV-1-1-METHODE DES PLUIES:.....	42
A- PRINCIPE DE LA METHODE	42
B- FORMULATION ANALYTIQUE :.....	43
C- INTRODUCTION DE LA DUREE MAXIMUM EN EAU :.....	44
D- RAISONNEMENT EN TERMES D'INTENSITE ET DE DEBIT SPECIFIQUE :.....	45
E- FORMULATION DE LA METHODE DES PLUIES EN TERMES DE HYETOGRAMME :	46
F- IDENTIFICATION DE LA METHODE DES PLUIES CLASSIQUE A LA METHODE DES DEBITS :	47
G- GENERALISATION DE LA METHODE DES PLUIES A D'AUTRES FORMES DE PLUIES DE PROJET :	47
H- INTERPRETATION EN TERMES D'INCERTITUDE :.....	50

I- AVANTAGE DE LA METHODE :.....	50
IV-1-2 METHODE DES DEBITS.....	51
A- PRINCIPE DE LA METHODE :.....	51
B- ANALYSE DES RESULTATS :.....	52
C- AVANTAGE DE LA METHODE :.....	53
D- LIMITES ET DIFFICULTES D'UTILISATION :.....	53
IV-1-3 METHODE DES VOLUMES.....	54
A- PRINCIPES DE LA METHODE.....	54
B- COMPARAISON ENTRE LES METHODES :.....	57
IV-1-4 METHODE ADAPTEE.....	58
Chapitre V : APPLICATION	
V-1 PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE.....	60
V-1-1 SITUATION GEOGRAPHIQUE :.....	60
V-1-2 SITUATION TOPOGRAPHIQUE ET MORPHOLOGIQUE :.....	61
V-1-3 CLIMATOLOGIE	61
V-2 COMMENT CHOISIR LA TECHNIQUE ALTERNATIVE ADAPTEE.....	62
V-2-1 ETUDES AMONT.....	62
V-2-2 MODELISATION ET DIMENSIONNEMENT DES TECHNIQUES ALTERNATIVES.....	63
LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES.....	70
BIBLIOGRAPHIE.....	72

INTRODUCTION GENERALE

L'eau de pluie autrefois précieuse et indispensable à la vie est devenue dans la ville d'aujourd'hui une nuisance potentiellement destructrice. C'est bien la construction de la ville qui est à l'origine de l'amplification des inondations et de pollution c'est donc bien à nous tous qui la renouvelons chaque jour de trouver une solution. Les techniques du tout-à-l'égout et de l'évacuation loin des villes, imposées au XIXe siècle par les hygiénistes, ont prouvées leurs limites aujourd'hui à maîtriser pleinement les phénomènes d'inondation et de pollution sur l'ensemble de notre agglomération.

Dans ce domaine les actions individuelles à l'échelle de chaque parcelle peuvent apporter un vrai complément aux solutions collectives. Redonnons sa place à l'eau de pluie dans nos jardins et nous construirons ensemble une agglomération plus agréable et respectueuse du cycle de l'eau.

La gestion de l'eau en sites urbains vise conjointement trois objectifs : Limiter les risques d'inondation Limiter les risques de pollution Intégrer la gestion des eaux pluviales dans l'aménagement.

Le réseau est saturé développé il y a plus d'un siècle dans le centre urbain, le réseau d'assainissement ne peut accepter toutes les eaux de pluie. Lorsque les flux sont trop importants, à l'occasion d'orages violents, les égouts se mettent en charge et finissent par déborder sur la chaussée, inondant routes et habitations. Les stations d'épuration apportent-elles une solution ? Non, elles ont été conçues pour traiter les effluents chargés de matières organiques produites par les hommes (eaux domestiques des WC, des éviers, des machines à laver...), pas pour évacuer les eaux de pluies ! Elles ne sont d'ailleurs pas prévues pour recevoir de grosses quantités d'eau et traitent plus difficilement les métaux lourds et autres déchets importants.

L'approche la plus efficace pour traiter les eaux de pluie c'est la Technique Alternative à travers :

- La filtration à travers le sol et la végétation : le passage de l'eau à travers la végétation et le sol se fait au ralenti : les polluants fixés dans l'eau ont le temps de se déposer dans le sol et les bactéries qui y vivent jouent pleinement leur rôle épurateur.
- La décantation : l'eau qui surnage peut-être considérée comme épurée à plus de 80 %, après décantation.

INTRODUCTION GENERALE

Dans ce travail qui a pour but l'application d'une nouvelle approche « les méthodes alternatives », le contenu des chapitres est le suivant ;

Chapitre I : l'historique et la problématique de la méthode classique.

Chapitre II : présentation des techniques alternative et leurs utilisations.

Chapitre III : relater les problèmes et la stratégie des pays en voie de développement pour une mise en œuvre d'une nouvelle politique pour la gestion deux eaux pluviales.

Chapitre IV : les différents méthodes le dimensionnement des techniques alternative.

Chapitre V : étude et application des méthodes alternatives sur la nouvelle zone dite BOUKHADRA III el BOUNI III.

CHAPITRE I : HISTORIQUE

I -1 APPROCHE HISTORIQUE :

Aujourd'hui le réseau d'assainissement est considéré comme une infrastructure indispensable pour chaque ville. Cela n'a pas toujours été le cas. La question de l'eau dans la ville a changé à travers les siècles. La perception du rôle de l'eau pluviale dans la ville actuelle dépend du passé. Les villes européennes ont hérité non seulement d'un patrimoine urbain (bâtiments, infrastructures et aménagement du territoire) mais aussi d'une attitude envers l'eau urbaine (l'eau arrive par le robinet et repart par l'égout dans une direction inconnue) et d'une organisation institutionnelle pour sa gestion (services d'eau et d'assainissement, etc.). Divers documents ont été mobilisés pour montrer le caractère structurant des choix techniques passés dans les modes de gestion actuels : documents historiques qui analysent les institutions chargées de la gestion urbaine aujourd'hui, et documents qui examinent l'attitude du public et des spécialistes envers la gestion de l'eau pluviale.

Dans ce chapitre nous essayons de mettre en lumière divers aspects imbriqués de l'histoire technique. Les villes ont aujourd'hui un système d'assainissement qui est la résultante de celui dont elles ont hérité des générations passées.

Le découpage en trois époques historiques servira à étudier l'avancement des techniques : de l'Antiquité au XII^e siècle, les XII^e et XIII^e siècles, et du XIV^e siècle à nos jours. Pour chaque époque, nous allons étudier la façon dont un avancement technique a influencé les autres secteurs techniques.

La première partie, très brève, a pour but de faire comprendre l'état de l'art, au début du XII^e siècle. Les "anciennes/ traditionnelles techniques" étaient encore utilisées dans la campagne et encore très tard dans les quartiers très pauvres. Elles ne caractérisent pas seulement une époque historique mais une étape technique que tous les quartiers n'ont pas franchi en même temps.

La deuxième partie décrit les grands changements techniques du XII^e et surtout du XIII^e siècle, qui ont créé de nouveaux principes dans le fonctionnement des villes et dans la gestion de l'eau et qui ont apporté les fondements de l'époque moderne.

La troisième partie, la plus détaillée, décrit les événements du XIV^e siècle qui ont eu comme résultat la réalisation des principes du XIII^e siècle (desservir chaque maison en eau

courante et en assainissement collectif), mais aussi leur mise en doute (limites techniques des réseaux d'assainissement, impacts de la pollution générée sur les milieux récepteurs). Les événements les plus récents sont encore d'actualité. Plusieurs lois et choix techniques datant des dernières décennies n'ont pas encore été modifiés. Ce chapitre servira donc de clé pour mieux déchiffrer la gestion actuelle de l'eau pluviale.

I-2 ÉVÉNEMENTS HISTORIQUES MARQUANTS

I-2-1 De l'Antiquité au XIX siècle

Les grands travaux sont un moyen pour une civilisation de montrer sa souveraineté, d'attirer des activités commerciales et d'améliorer les activités productives (agriculture et artisanat).

Les villes sont les centres de la civilisation, du pouvoir et du commerce, mais la plus grande partie de la population habite à la campagne. Les grands travaux hydrauliques - aqueducs, bains, travaux d'irrigation et d'assainissement, etc.- sont des travaux de grande envergure. Leur réalisation est longue et dispendieuse et ils ne desservent qu'un petit pourcentage de la population (palais, temples, marchés, etc.). L'infrastructure romaine existante n'est pas toujours entretenue. Les villes commencent à grandir et à devenir plus importantes que les campagnes en terme économique.

Dans les grandes villes, il y a un besoin réel pour la distribution de l'eau potable à domicile et pour l'assainissement des eaux pluviales (les eaux usées sont peu gênantes), mais il n'existe pas de vrais "réseaux", seulement des bouts de canalisations et des conduits.



Figure I-1 : Rome -Aqueducs gravitaires (drainage des eaux pluviales) [current, 25/10/2005].

Les villes et leur environnement : le début de l'artificialisation

Dès le Moyen Age, les rivières commencent à être canalisées et enfermées par des quais élevés afin de faciliter les activités commerciales et maritimes. L'installation de différents métiers (lavoirs, tanneurs, teinturiers, mégissiers, etc.) au bord de l'eau va nécessiter des travaux d'aménagement (canaux, barrages, écluses, moulins, etc.). Même s'il existe l'idée que les rivières et leurs zones inondables doivent être maîtrisées, les moyens manquent pour la réalisation de tels travaux. Les travaux de canalisation de rivières et d'assèchement restent exceptionnels.

Les citadins avaient l'habitude d'utiliser les ruisseaux et rivières urbaines comme égouts à ciel ouvert, aussi bien pour les eaux usées (teintureries, laveries, etc.) que pour les déchets. Les mesures prises par les autorités de Londres et de Paris pour arrêter cette pratique n'ont aucun effet. Les rus dans la ville sont déjà perçus comme des égouts à ciel ouvert et des décharges. La transformation des ruisseaux urbains en égouts permettait une évacuation plus rapide des eaux pluviales urbaines, par rapport au ruissellement naturel, et l'assèchement des zones marécageuses. Les ruisseaux et les rivières urbaines sont déjà pollués, mais la menace de la pollution n'est pas encore ressentie.

Les techniques anciennes pour fournir l'eau et pour assainir la ville sont encore utilisées (aqueducs gravitaires, moulins à eau, canalisation des ruisseaux), mais elles sont très fragmentaires. En ville, l'eau n'a déjà plus qu'un caractère purement utilitaire : les sources et les rivières servent de ressources en eau potable, et les ruisseaux et les rivières servent à véhiculer les déchets et à la navigation

La disponibilité de l'eau à domicile a inévitablement généré des eaux usées plus abondantes. Mais leur stockage dans des fosses d'aisance et leur transport dans la ville posent des problèmes.

En même temps, le besoin d'assainissement pluvial s'accroît avec l'augmentation des surfaces imperméabilisée du ruissellement urbain. Le ruissellement est non seulement abondant mais aussi pollué par les détritiques qui s'accumulent dans les rues. Malgré la distribution de l'eau, les villes ne sont pas très propres. La dégradation de la qualité de l'eau des ruisseaux urbains, à cause des rejets de déchets, et les pressions foncières rendent systématique leur couverture.

CHAPITRE I : HISTORIQUE

Le mouvement des “hygiénistes” atteint son plus grand développement au milieu du XIX^e siècle, quand les conditions de vie dans les grandes villes industrielles comme Paris et Londres sont vraiment déplorables (habitations insalubres, amoncellement d’excréments et de détritus dans les rues).



Figure I-2 : Paris en 1832, quand le choléra dévastait la capitale [le parisien-2008].

Après avoir accueilli de grandes vagues migratoires attirées par l’industrialisation de leur pays, les grandes villes doivent faire face à des épidémies. Dans ce siècle des sciences, on trouve la source des épidémies dans l’eau contaminée et un assainissement inadéquat, la découverte du bacille du choléra, ...etc.

Le mouvement des “hygiénistes” qui touche le Royaume-Uni et la France stipule la construction de réseaux d’eau et d’assainissement dans les grandes villes. Les réseaux d’assainissement, qui étaient jusqu’au là théoriquement réservés au ruissellement urbain (ruisseaux convertis en égouts à ciel ouvert, puis canalisés) offrent également une solution pratique pour le transport des eaux usées hors des villes. Le raccordement des eaux usées au réseau d’assainissement (*le “tout-à-l’égout”*) devient obligatoire pour des raisons d’hygiène.



Figure I-3 : Photographie d'un égout de Paris en 1861 par Nadar[le parisien-2008].

Une grande idée avait germé : celle de créer un réseau d'assainissement qui assainirait la ville de tous ses détritues et la revitaliserait, grâce à la construction souterraine *d'un grand tunnel* qui permettrait l'écoulement des eaux pluviales et des eaux usées.

Les égouts existants (un collage hétérogène de conduits et de ruisseaux canalisés) sont incorporés au sein d'un véritable réseau d'assainissement. Le dimensionnement des réseaux est désormais fondé sur l'expérience et l'hydraulique théorique. Les égouts gravitaires représentent un véritable exploit technique. Des plans globaux sont faits pour toute la ville, et non plus seulement par conduite, comme c'était le cas auparavant. Des chasses d'eau sont installées pour le nettoyage des égouts. L'hydraulique sort du champ de la technique empirique pour devenir une science exacte.

Action	Royaume-Uni	France	Grèce
Canalisation des rivières/ Bousage des petites ruisseaux urbains / Couverture des rivières	A partir du XVIème siècle	A partir du XIVème siècle. Travaux importants au XIXème siècle.	Premiers projets en 1860. Première canalisation de Kifissos en 1900.
Premiers réseaux d'eau potable	1712	1778	L'aqueduc d'Adrian (an 140), après rénovation en 1840, sera opérationnel jusqu'en 1940.
Réseau d'assainissement unitaire	Dès 1815 il est possible de connecter une fosse d'aisance aux réseaux d'assainissement 1848 « tout-à-l'égout » au niveau national.	1894 « tout-à-l'égout » au niveau national, plusieurs villes ont un réseau unitaire auparavant (St. Etienne en 1854).	Premiers travaux en 1840, après la fondation de l'État (1830) : Des égouts sont construits pour desservir le palais.
	13. 000 miles de réseau local (pas d'intercepteurs ni émissaires centraux) à Londres en 1859	Dernières villes importantes : Toulouse en 1960 et Lyon en 1961	17 Km d'égouts. (Pas de mouvement hygiéniste)
Stations d'épuration	1890 traitement primaire pour Londres. 1908 Royal Commission on Sewage Disposal (Niveau National)	1889 épandage pour Paris,	Rien
Gestion privée	Fondation de Chelsea Water Company en 1721 à Londres	Fondation de la Compagnie des Eaux de Paris en 1778	Construction des premiers réseaux par des concessions. Pour Athènes : ULEN 1926-1974.
Protection des rivières	River Pollution Prevention Act , en 1876		

Tableau I-1 : Événements de référence en matière d'eau et d'assainissement au Royaume-Uni, France et en Grèce jusqu'au XX^e siècle [Félix Nadar décembre 2013].

I-2-2 Début de siècle

Les villes et leur environnement : l'environnement au service de la ville

Les progrès techniques ont rendu possibles l'assèchement, le rehaussement et l'urbanisation des zones inondables. Les pompes à vapeur remodelent le paysage. Des activités hydrovores sont installées dans des zones marécageuses et, grâce au pompage systématique de l'eau, elles font vite baisser la nappe phréatique. L'existence de zones humides, au-dessous des nouveaux bâtiments, est bientôt oubliée. Les pompes permettent l'assainissement des zones de niveau inférieur aux rivières. Le pompage de l'eau assure l'assèchement temporaire des ruisseaux et du sous-sol pour permettre la construction à sec de canalisations, de quais, de tunnels, de fondations, etc. L'eau peut être évacuée pour faire place à des activités industrielles et à l'urbanisation. Le cycle naturel de l'eau est rompu sans beaucoup de réflexion sur les effets secondaires qui ne sont pas encore visibles.

Le premier effet induit est l'amplification des crues des rivières, mais il est perçu comme un nouvel enjeu à maîtriser. L'insuffisance des réseaux et des travaux actuels est accusée d'être la cause des inondations urbaines et de la rupture des digues. Digue et tout leur les rivières urbaines dont le niveau monte à cause de la réduction de leur lit naturel.

L'artificialisation des rivières rend les villes plus vulnérables aux inondations. Avec l'industrialisation, le débit et la morphologie des rivières urbaines ont été changé.

Après la deuxième guerre mondiale, la situation est différente. Les villes ont été dévastées et tout doit être reconstruit et réorganisé :

Royaume-Uni : l'urbanisme planifié des nouvelles banlieues

La planification des années 60 a surévalué l'agrandissement des "villes nouvelles". Ces projets étaient toujours partiellement en cours pendant les années 80 et 90. Aujourd'hui encore, quelques-unes de ces "villes nouvelles" ont un grand potentiel de développement. Pour combattre le gigantisme de Paris et l'exode rural l'État se préoccupe aussi des villes moyennes, dans les années 1970. Elles peuvent offrir une Alternative d'urbanisme intéressante en gardant la population près de la campagne et loin de grandes villes.

La forme d'urbanisation est primordiale pour les choix d'assainissement. Une ville dense laisse peu de place pour les espaces verts et pour des techniques alternatives.

a- Infrastructure indispensable

La conquête de l'eau et de l'assainissement :

Au début du siècle, l'une des premières priorités est l'approvisionnement en eau et l'assainissement de toutes les villes. Les innovations techniques testées dans les grandes capitales doivent être appliquées dans toutes les villes.

Le Royaume-Uni disposait déjà de STEPS. En 1908, des standards techniques sont introduits pour la qualité des effluents avant leur rejet dans les rivières¹⁹. Le traitement biologique est introduit entre 1920 et 1939.

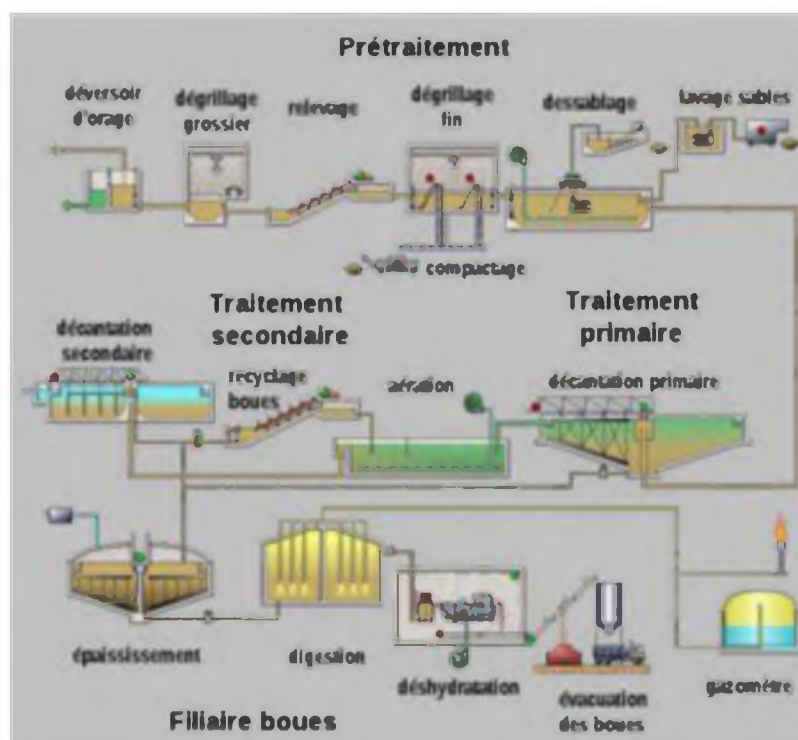


Figure I-4 : Les différents étapes de traitement des eaux usées STEPS [Bazar G. 2003].

Le rallongement des émissaires loin des villes et l'agrandissement des villes rendent le réseau unitaire trop coûteux. *Le réseau séparatif* semble être un choix plus économique. Le réseau d'eau pluvial ne peut desservir que les rues principales. L'eau pluviale ruisselle en surface avant d'atteindre les avaloirs.



Figure I-5 : Schéma d'un réseau séparatif [Certu 2003].

b- Les déversoirs d'orage

Le choix des réseaux séparatifs a séparé le destin des eaux usées et des eaux pluviales., le choix technique retenu a consisté à faire un délestage direct vers les milieux récepteurs par des déversoirs d'orage : le trop plein des réseaux en temps de pluie est déversé vers le récepteur le plus proche. C'est un choix technique peu onéreux, le réseau est protégé du phénomène de surcharge, la ville est à l'abri des inondations qui imperméabilisent les sols et encombrant les sous-sols pour la construction de nouvelles infrastructures : parkings, rues pavées, réseaux souterrains, etc.

L'agrandissement concentrique des villes et l'évolution des banlieues fait que l'eau pluviale doit traverser plusieurs "villes -quartiers" avant d'arriver au milieu récepteur. De plus, le milieu récepteur n'a pas souvent la capacité hydraulique de convoyer autant d'eau et il cause des inondations en aval.

Les réseaux d'assainissement rendent le problème plus aigu parce qu'ils accélèrent le ruissellement et, de ce fait, des pluies plus courtes deviennent des pluies critiques. La première solution apportée à ce problème hydraulique est la construction de réseaux plus grands. Mais les plus grands réseaux accélèrent encore plus le débit de l'eau pluviale et en un temps très bref, ils sont à nouveau saturés et inondent les quartiers en aval. Pour que les réseaux seuls soient capables de protéger une ville contre les inondations il faudrait que l'extension de la ville soit arrêtée, ou que les réseaux soient réhabilités chaque fois que la ville grandit où se densifie.

c- Stockage au sein du réseau

La diminution de la pollution des milieux récepteurs, grâce à la construction et au bon fonctionnement des stations d'épuration, a rendu encore plus visible la pollution due aux déversoirs d'orage. Les poissons, qui avaient commencé à repeupler les rivières urbaines à partir des années 1980 en France et au Royaume-Uni, sont maintenant victimes de chocs contrôle en amont de leur réseau : leur réseau étant déjà surchargé, ils sont obligés de résoudre le problème en aval.

d- Le stockage en amont et les techniques alternatives

La meilleure méthode pour ne pas avoir de l'eau pluviale dans un réseau unitaire est de ne pas la laisser y pénétrer. En amont des réseaux, l'eau pluviale est moins polluée et elle peut être stockée à ciel ouvert, infiltrée dans les nappes, ou elle peut être utilisée dans des lacs (bassins) et des étangs d'agrément.

Le choix des réseaux séparatifs de même que le choix de construction des villes nouvelles en France et au Royaume-Uni ont produit de nouveaux enjeux techniques. Les villes nouvelles étaient naturellement mal assainies et les exutoires naturels se trouvaient parfois aussi trop éloignés ou trop fragiles pour recevoir le ruissellement urbain. Motivés par ces considérations hydrauliques, les concepteurs des villes nouvelles ont mis en place de nouvelles techniques (tranchée drainante, puits d'infiltration, noues, étangs, lacs artificiels, etc.). Les techniques sont multiples et leurs applications diverses, mais elles ont comme point commun leur objectif de stocker l'eau pluviale en amont.



Figure I-6 : L'effet hydraulique des structures de stockage [Euridice 92-1997].



*Figure I-7 : Vue de la ville nouvelle de DEX (Dumfermline Eastern Expansion) en Écosse
[Euridice 92-1997]*

La pollution du ruissellement urbain dépend de l'imperméabilisation du sol, des matériaux de construction, des modes de construction (lessivage des matières premières), de la mobilité urbaine, des modes de nettoyage des pavés, etc. Dans une grande ville, cette pollution peut être comparable à la pollution des eaux usées. De plus, le déversement de grands volumes prenant en compte toutes ces considérations, les villes ont commencé d'équiper leurs réseaux séparatifs avec des bassins de retenue. Ils permettent la protection contre les inondations en même temps que la dépollution de l'eau pluviale avant son déversement contrôlé dans les milieux récepteurs.

Dès les années 1970, des études ont été menées en France et en Royaume-Uni. Les techniques alternatives, après les projets ambitieux des villes nouvelles, passent par une période « d'hibernation ». La maîtrise de la pollution des eaux usées était l'enjeu principal important pendant les années 80 et 90 pour la France et le Royaume-Uni. Néanmoins, des villes confrontées à des problèmes aigus de pollution et d'inondation ont continué d'appliquer des techniques alternatives en grande et en petite taille. Les qualités de dépollution des techniques alternatives existantes ont été mises en évidence.

Les partisans des techniques alternatives argumentent qu'elles sont *moins coûteuses* à construire, elles protègent les quartiers en aval et elles peuvent offrir une valeur ajoutée comme espace d'agrément ou autre *installation multifonctionnelle*.

CHAPITRE I : HISTORIQUE

Les techniques alternatives ont avancé Elles sont appliquées tant dans l'espace public que l'espace privé et elles offrent une bonne solution in situ. La dernière étape de leur avancement est la déconnexion des eaux pluviales des réseaux existants (surtout des réseaux unitaires), déjà entreprise au Royaume-Uni.

Les techniques alternatives ont pris un caractère environnemental (création de zones humides artificielles, régénération des ruisseaux urbains, création d'espaces verts et d'habitats naturels, diminution de la pollution). En France, cette démarche date des années 70. Au Royaume-Uni, elles ont pris cette tournure dans les années 90 et ont été renommées "techniques d'assainissement durable". La promotion et le succès de plusieurs projets de techniques alternatives sont basés sur cet aspect "environnemental". Les techniques alternatives sont acceptées plutôt comme une solution présentant des agréments : espaces verts "améliorés" par des éléments éphémères d'eau, des jeux d'eau charmants. Des projets créés sans considération esthétique (bassins profonds et vides, etc.) ont connu un échec. L'intégration des techniques alternatives dans la ville avec des projets multifonctionnels représente un grand enjeu : lacs d'agrément bien gérés, zones humides artificielles mais d'aspect naturel, terrains inondables qui accueillent aussi d'autres activités (sportives et culturelles), des noues et des tranchées drainantes qui créent un fil conducteur dans les quartiers sans être un obstacle à la circulation, etc.



Figure I-8 : Vue d'une tranchée drainante devant une habitation [Bob Bray-7/2005].

L'artificialisation continue Des barrages, des digues et des écluses sont construits pour protéger les villes contre les inondations. Des ruisseaux et des rivières sont canalisés et couverts pour limiter les inondations,

L'aménagement du territoire, après-guerre, essaie de remédier au problème d'hydraulique des inondations en protégeant la morphologie des rivières. Mais, comme on l'a vu, on assiste à une forte demande en terrains constructibles. Plusieurs villes nouvelles au Royaume-Uni et en France sont bâties en zones inondables ou naturellement mal assainies. De nouvelles techniques sont utilisées pour leur assainissement. La plupart des villes nouvelles ont pour caractéristique d'utiliser des éléments artificiels d'eau (étangs, rivières, lacs) pour créer des zones d'agrément. Dès les années 1970, des mesures sont prises pour *la protection de l'environnement* dans sa globalité pour toute activité.

CONCLUSION

L'eau pluviale au centre du développement durable

- La couverture et la canalisation des rivières ainsi que le busage des ruisseaux semblent être terminés. La tendance actuelle consiste au contraire à réhabiliter les rivières, les ruisseaux urbains et les zones inondables. La France et le Royaume-Uni sont plus avancés dans ce domaine, mais l'eau est aussi beaucoup plus présente dans leurs villes, et celles-ci sont beaucoup plus grandes qu'en Grèce.
 - L'eau pluviale se trouve au centre du développement durable urbain : sa pollution doit être limitée et elle peut servir comme ressource en eau. L'eau pluviale s'infiltré naturellement, elle recharge les nappes, alimente les sources, elle crée des zones humides et des habitats pour la faune et la flore locales. Avec l'imperméabilisation des sols et les réseaux d'assainissement, l'urbanisation a détruit ce cycle. Les techniques alternatives, la réutilisation de l'eau pluviale incluse, proposent un remède partiel du cycle naturel de l'eau.
- Des techniques et des projets innovants sont mis en place avec cet objectif : imiter le cycle naturel tout en essayant de limiter les inondations urbaines.

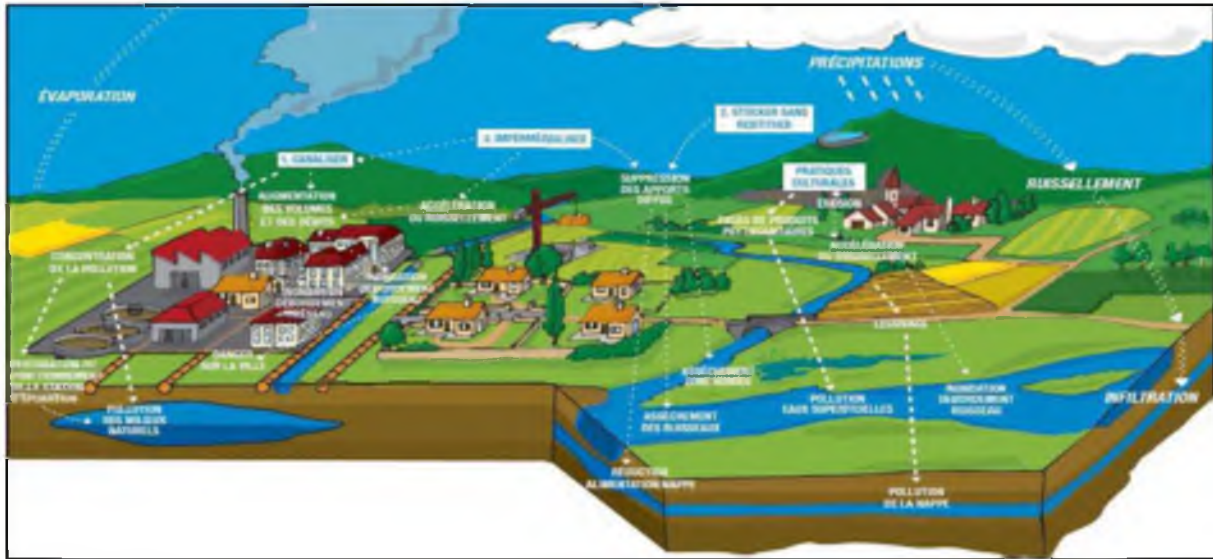


Figure I-9 : Les enjeux de gestion des eaux pluviales [Certu 2003].

Action	Royaume-Uni	France	Grèce
<ul style="list-style-type: none"> Protection de la morphologie des grandes rivières / protection des zones inondables 	Derniers projets de couverture de rivières dans les années 1950	Après guerre	Lois 880/1979, 1371/1983, 2052/1992, 2242/1994 : les mesures nécessaires commencent à être prises.
<ul style="list-style-type: none"> Protection des ruisseaux urbains 	Dès 2000 la canalisation des ruisseaux est illégale	Années 1990-2000 jusqu'à présent	Lois 880/1979, 1371/1983, 2052/1992, 2242/1994 : les mesures nécessaires commencent à être prises.
<ul style="list-style-type: none"> Réouverture des ruisseaux 	Dès les années 1990	Au milieu des années 1980	Non envisagée
<ul style="list-style-type: none"> Réseaux d'eau dans chaque ville et village 	XIX ^e et début du XX ^e siècle	Loi 1902, période avant guerre et après guerre	Construction de réseaux dans des villages de moins de 2.000 habitants jusqu'aux années 1980.

CHAPITRE I : HISTORIQUE

<ul style="list-style-type: none"> • Problèmes d'alimentation en eau des régions arides 	<p>Ces problèmes sont actuels</p> <p>Ressources insuffisantes pour le futur. Thames Water a proposé un projet de dessalement pour la future alimentation de Londres.</p>		<p>Problèmes d'alimentation toujours d'actualité. Projets de barrages et de dessalement en service et en cours. Alimentation de quelques îles par bateau.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Réutilisation de l'eau 	Plusieurs projets	Projets pilotes,	Encore en usage en

<ul style="list-style-type: none"> • pluviale urbaine 	<p>pilotes dans le cadre d'une meilleure gestion des ressources naturelles.</p>	<p>usage collectif et industriel.</p> <p>Problèmes légaux pour l'adoption par le grand public</p>	<p>région aride et même dans les villes (30.000 habitants et plus)</p> <p>Ni contrôle ni coordination étatique</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Réseau d'assainissement séparatif 	<p>Construction systématique après guerre</p>	<p>Après guerre, Instruction technique 1949. Circulaire 1977. Financement par les agences de l'eau et construction systématique à partir 1980.</p>	<p>Premières études dans les années 1930-1940. Plusieurs réseaux sont encore en cours. Athènes n'a que 40% du réseau d'eau pluviale. Construction systématique à partir des années 1980</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Stations d'épuration 	<p>1908 Royal Commission on Sewage Disposal- STEPS généralisées. Traitement biologique introduit entre 1920 et 1939</p>	<p>1940 première tranche de la STEP de Paris. Circulaire 1949 STEPS généralisées. Financement par les agences de l'eau en 1969- financement et construction systématique à partir 1980.</p>	<p>Construction systématique à partir de 1980. Plusieurs projets en cours.</p>

CHAPITRE I : HISTORIQUE

<ul style="list-style-type: none"> • Déversoirs d'orage Construction et réglementation 	1970 Technical Committee on Storm Overflow	Circulaire Chaland on 1969	Dès la construction des systèmes, réglementation après la directive eaux résiduaires de 1991 (pas encore mise en action).
<ul style="list-style-type: none"> • Bassins d'orage 	Avant 1970	Circulaire 1977	Pas encore de réalisation
<ul style="list-style-type: none"> • Stockage de l'eau pluviale à la source/ premières techniques 	Bassins dans les Villes nouvelles (années 50, 60 et 70)	Bassins dans les Villes nouvelles (années 60 et 70) Circulaire 1977	Projets pilotes (années 2000)
<ul style="list-style-type: none"> • Stockage souterrain, gestion en temps réel 	Années 1990- 2000	Années 1990-2000	Pas de réalisation
<ul style="list-style-type: none"> • Techniques alternatives intégrées aux projets urbains 	Années 1990-2000	Années 1990-2000	

<ul style="list-style-type: none"> • Déconnexion du réseau unitaire 	Présente	Pas encore de réalisation	Pas encore de réalisation
<ul style="list-style-type: none"> • Gestion au niveau du bassin versant 	Création des autorités régionales en 1971. Création du National River Authority en 1989. Création du Environment Agency en 1995	Création des Agences Financières de Bassin en 1964, renommées en Agences de l'Eau.	Les lois 1739/1987 et 3199/2003 jamais mises en application.
<ul style="list-style-type: none"> • Etudes d'impacts environnementaux 		Loi de 10 Juillet 1976 sur la protection de l'environnement (études d'impacts)	Premières études faites en 1977. Application systématique avec le décret 1180 de 1981
<ul style="list-style-type: none"> • Autorisation/contrôle des rejets d'eaux usées/ industrielles 	1951	Loi sur l'eau 1964	Mesures et contrôles seulement à la sortie des STEPS et autres activités polluantes (raffineries pétroliers, industrie etc.).
<ul style="list-style-type: none"> • Autorisation / contrôle des rejets d'eaux pluviales 	Pollution Control Act of 1974, mis en force 1985-1986	Loi sur l'eau 1964	Néant

CHAPITRE I : HISTORIQUE

<ul style="list-style-type: none"> Amélioration de la qualité des rivières 	Réforme du secteur de l'eau en 1971, Water Resources Act 1991	Loi sur l'eau de 1964, Loi sur l'eau de 1992	
<ul style="list-style-type: none"> Aménagement du territoire 	Council for the preservation of Rural England 1926. Town and County Planning Act 1932. National Green Belt System 1955.	Après la guerre	Travaux entrepris dès les années 1980 et en cours.
<ul style="list-style-type: none"> Urbanisme non réglementé. Agrandissement des villes concentrique et linéaire 	1919-1939 Restriction of Ribbon Development Act 1935		Pose encore des problèmes. Urbanisme linéaire toujours possible.
<ul style="list-style-type: none"> Villes nouvelles 	New Towns Act 1946. Planification - construction années 1950-1980	Années 1960-1980	Aucune
<ul style="list-style-type: none"> Intensification, urbanisation des friches 	Années 1990-2000 National Project	Années 1990-2000	Années 1990-2000
<ul style="list-style-type: none"> renouvellement des urbains, consolidation villes moyennes 	« Building sustainable communities»		

Tableau I-2 : Événements de référence au Royaume-Uni, en France et en Grèce du début du XX^e siècle à nos jours [Charle de Saint saveur le 22 mars 2020].

La gestion de l'eau pluviale à la source et le mouvement du "développement durable" ont entraîné de nouvelles solutions techniques : réutilisation de l'eau pluviale, infiltration de l'eau pluviale, intégration d'éléments d'eau visibles dans la ville, toitures végétales, etc. Les techniques préexistaient, isolées les unes des autres, mais elles sont perçues maintenant comme des pièces de la même image.

C'est une façon très schématique d'interpréter l'histoire technique de l'Europe. Mais il y a des étapes très distinctes que les trois pays étudiés ont suivies et dont on peut affirmer que les autres pays Européens les ont, plus ou moins, aussi suivies. L'histoire de l'assainissement

CHAPITRE I : HISTORIQUE

urbain et le développement des techniques de gestion des eaux pluviales, peut se décomposer en dix séquences historiques :

- ✓ Urbanisation.
- ✓ Réseaux d'eau et d'assainissement.
- ✓ Pollution des rivières.
- ✓ Stations d'épuration.
- ✓ Réseaux séparatifs.
- ✓ Expansion et intensification urbaine.
- ✓ Protection de l'environnement.
- ✓ Gestion quantitative de l'eau pluviale urbaine.
- ✓ Gestion qualitative de l'eau pluviale urbaine.
- ✓ Réintroduction de l'eau pluviale dans la planification urbaine.

CHAPITRE II : TECHNIQUES ALTERNATIVES DE GESTION DES EAUX PLUVIALES

II-1 INTRODUCTION

Pourquoi les villes ont-elles un système d'assainissement ?

Aujourd'hui le réseau d'assainissement est considéré comme une infrastructure indispensable pour chaque ville. Cela n'a pas toujours été le cas. La question de l'eau dans la ville a changé à travers les siècles (*voir chapitre I*). La perception du rôle de l'eau pluviale dans la ville actuelle dépend du passé. Les villes européennes ont hérité non seulement d'un patrimoine urbain (bâtiments, infrastructures et aménagement du territoire) mais aussi d'une attitude envers l'eau urbaine (l'eau arrive par le robinet et repart par l'égout dans une direction inconnue) et d'une organisation institutionnelle pour sa gestion (services d'eau et d'assainissement, etc.). Divers documents ont été mobilisés pour montrer le caractère structurant des choix techniques passés dans les modes de gestion actuels : documents historiques qui analysent les institutions chargées de la gestion urbaine aujourd'hui, et documents qui examinent l'attitude du public et des spécialistes envers la gestion de l'eau pluviale. (Parmi les plus importants.

Le cycle de l'eau est aujourd'hui fortement perturbé par l'urbanisation et l'imperméabilisation des sols, alors que les orages se font plus intenses. Résultats : les inondations sont plus fréquentes, les nappes phréatiques s'épuisent et la qualité de l'eau elle-même est menacée. Une gestion intégrée de l'eau sur la parcelle permet cependant de prévenir ces phénomènes en privilégiant des techniques compensatoires d'assainissement.

La gestion de l'eau est devenue une question essentielle pour préserver les ressources en eau, mais aussi limiter les risques d'inondations et de pollution. Seule une approche globale, dès la conception du projet, permet d'apporter des réponses durables, autrement dit : minimiser l'imperméabilisation des sols, réduire le volume d'eau de ruissellement et garantir la qualité de l'eau.

Pour agir en amont, il faut commencer par réduire les volumes d'eaux pluviales qui sortent de la parcelle : minimiser les surfaces imperméables, mais aussi récolter l'eau de pluie, l'utiliser sur site ou la restituer autant que possible au milieu naturel par infiltration, évaporation ou rejet à faible débit.

CHAPITRE II : TECHNIQUES ALTERNATIVES DE GESTION DES EAUX PLUVIALES

L'imperméabilisation croissante du sol des villes, liée à la suppression d'espaces verts et de terre-pleins végétalisés, cause des problèmes d'inondation en aval (ou sur place) et d'éventuel déficit en alimentation de la nappe sous-jacente, des **techniques alternatives pour la gestion des eaux de ruissellement urbain**, incluant des techniques de *perméabilisations* sont testées dans différents pays, notamment dans le cadre de concepts de «ville perméable».



Figure II-1 : Chaussée-réservoir.



Figure II-2 : Chaussée drainante absorbante

Ces techniques, souvent incluses dans l'écologie urbaine ou associées à des approches de types haute qualité environnementale (HQE) ont souvent aussi comme objectif de limiter la pollution de l'eau et d'améliorer l'environnement urbain et la santé.

Les eaux pluviales et de ruissellement peuvent aussi faire l'objet de récupération et réutilisation, directement à partir des toitures ou plus en aval, pour une ou plusieurs valorisations successives.

Exemple de gestion des eaux de pluies



Figure II-3 : Exemple de gestion des eaux de pluies [Thomas J.-S et all 2000 :].

Ces techniques doivent être mises en œuvre par des spécialistes et avec un suivi adéquat, de manière à éviter l'infiltration dans la nappe de polluants ou substances indésirables.

II-2 DEFINITION

On attend par techniques alternatives de gestion des eaux pluviales, l'ensemble des ouvrages visant à déconcentrer les flux d'eau en redonnant aux surfaces sur lesquelles l'eau ruisselle un rôle fondamental de régulation. Ces techniques très diverses constituent une alternative aux réseaux de tuyaux classiques et permettent de traiter l'eau au plus près de son point de chute. Elles permettent notamment :

- > L'alimentation des nappes phréatiques
- > La création d'espace agréable et de détente
- > La dépollution et la réutilisation des eaux collectées

Elles reposent toutes sur deux principes fondamentaux à savoir la rétention et l'infiltration :

- **La rétention** : Consiste à stocker temporairement les eaux pluviales, en amont par un effet-tampon afin de ralentir et réguler les débits vers l'aval.
- **L'infiltration** : Les ouvrages d'infiltration ont pour but de faire pénétrer les eaux non polluées dans le sol, tant que possible, pour réduire les volumes s'écoulant vers l'aval des zones d'étude.

Les deux principes sus cités peuvent également se regrouper dans des ouvrages dits de rétention-infiltrant afin d'assurer une gestion optimale des eaux.

II-3 OBJECTIFS D'UNE GESTION ALTERNATIVE

Pour une bonne gestion des eaux pluviales, la technique alternative fixe des objectifs afin de limiter les effets de l'imperméabilisation des sols sur les biens et les personnes:

- Favoriser l'infiltration « à la parcelle ».
- Limiter les rejets au réseau public d'eaux pluviales.
- Prétraiter les eaux de ruissellement avant leur rejet au milieu naturel.
- Redonner sa place à l'eau dans la ville.

Les eaux de ruissellement accumulent souvent de grandes quantités de polluants ou nutriments trop brutalement apportés aux rivières ou polluant les nappes. Avec l'imperméabilisation croissante des villes et des zones d'activité, les pluies longues ou fortes pluies d'orages perturbent les capacités des stations d'épuration et dépassent celles des réseaux unitaires d'évacuation des eaux, et contribuent moins à l'alimentation des nappes phréatiques.

CHAPITRE II : TECHNIQUES ALTERNATIVES DE GESTION DES EAUX PLUVIALES

Une meilleure gestion et maîtrise des « *rejets urbains par temps de pluie* » (R.U.T.P.) est nécessaire pour atteindre les objectifs : la non détérioration de la qualité des eaux, le bon état écologique des masses d'eau.

Une gestion alternative et intégrée s'appuyant sur les techniques de génie écologique, elles-mêmes valorisant les capacités naturelles d'épuration et filtration des eaux permet de ne pas devoir continuellement augmenter la capacité des réseaux unitaires, des tuyaux et des bassins de rétention en dur, qui sont sources de contraintes techniques, foncières, financières, environnementales, sociales, juridiques, de sécurité et de coûts futurs d'entretiens³.

II-4 PRINCIPES D'UNE TECHNIQUE ALTERNATIVE

Les techniques alternatives sont basées sur un triple principe :

- 1- Stocker temporairement les eaux pluviales, en amont, pour, par un effet-tampon, ralentir et réguler les débits vers l'aval,
- 2- Infiltrer les eaux non polluées dans le sol, tant que possible, pour réduire les volumes s'écoulant vers l'aval,
- 3- Distinguer et traiter séparément les eaux polluées, les eaux pluviales et celles de ruissellement et parmi ces dernières veiller à ce que celles qui ont ruisselé sur des substrats pollués (routes, cours d'usines, sols pollués, etc.) soient traitées en fonction de leurs caractéristiques (charge en microbes, détergents, métaux lourds, pesticides, polluants routiers, etc.).

Ce qui implique de :

- gérer et si possible épurer l'eau au plus près de son point de chute, avec des solutions passives (ne dépendant pas de pompes, vannes, vannages et tuyaux qui risquent de se boucher, etc.), dès la toiture par exemple avec les terrasses végétalisées, ou près de la maison, avec des systèmes de noues et restauration de zones humides fonctionnelles (tels que des lagunages naturels qui épurent également l'eau, ce qui n'est pas le cas des égouts collectant les eaux pluviales),
- éviter ou limiter le ruissellement, qui est un puissant facteur de pollution de l'eau et de transferts rapides de polluants vers l'aval et la mer (la turbidité de l'eau est devenu une des paramètres les plus critiques pour les cours d'eau du Nord de la France et de nombreuses régions urbaines ou agricoles labourées).



Figure II-4 : Parking absorbe la pluie et la stocke avant de la relarguer lentement, et de manière différée.



Figure II-5 : Un filtre en nid d'abeille, intégrée dans le réseau, pré-épure l'eau de ruissellement avant un stockage/infiltration en noue ou bassin végétalisé.

II-5 AVANTAGES

- Lutte contre les inondations et les sécheresses
- Réapprovisionnement des nappes souterraines
- Coût réduit par rapport aux solutions classiques (tuyaux, pompes)
- Moindres rejets polluants dans le milieu naturel
- Fiabilité (en développant des systèmes passifs et solutions éco-techniques les plus auto-entretenués possibles, par les processus écosystémiques naturels).

II-6 EXEMPLES DE TECHNIQUES « ALTERNATIVES »

Elles associent diverses solutions telles que :

- **Chaussées-réservoir** : dont le matériau très poreux est conçu pour stocker temporairement l'eau de pluie, avec relargage lent pour écrêter les crues. L'eau s'y épure - dans une certaine mesure - en y percolant, grâce aux bactéries installées dans le substrat.

Des structures équivalentes enterrées peuvent recevoir l'eau des chaussées, injectées par des avaloirs judicieusement disposés si le revêtement est étanche. Après stockage, s'il y a un risque de pollution, l'eau peut être évacuée vers un exutoire destiné à son épuration (station d'épuration ou lagunage naturel selon le type de risque...)

- **Puits d'absorption** : ce sont des puits d'injection dans la nappe. Ils nécessitent donc que l'eau soit très propre, c'est pourquoi les puits d'infiltration leur sont préférés, l'eau s'épurant en percolant dans le sol et/ou un substrat épurateur préparé avant d'atteindre la nappe.

CHAPITRE II : TECHNIQUES ALTERNATIVES DE GESTION DES EAUX PLUVIALES

- **Fossés et/ou noues** : ils permettant un stockage à l'air libre avant infiltration et/ou évapotranspiration par les végétaux qui épurent l'eau des nitrates, phosphates et d'une partie de ses polluants ;
- **Tranchées drainantes** : structures linéaires, superficielles offrant un volume-tampon permettant un stockage provisoire de l'eau qui peut ensuite être traitée, lagunée ou infiltrée dans le sol.
- **Bassins d'infiltration végétalisés** : (il peut même s'agir d'un *jardin inondable*, conçu de manière qu'il n'y ait pas d'îlot où des enfants risqueraient d'être surpris par la montée de l'eau) ; ils sont d'une taille plus importante que les solutions précédentes, et positionnés pour recueillir les afflux massifs d'eau de ruissellement, avant de les épurer et lentement infiltrer dans le sol après stockage temporaire.
- **Dalles en nid d'abeille engazonnables** : en PEHD par exemple, résistantes aux U.V. et pour certains modèles 100 % recyclé et recyclable. Correctement posées, elles permettent 90 % d'engazonnement ou de végétalisation par une flore sauvage (à condition de ne pas y laisser pousser de ligneux). Certains modèles facilitent la circulation des vers de terre d'une cellule à l'autre. Les eaux de pluie sont en partie épurée et infiltrée dans le sol. supportant jusqu'à 200 tonnes par m², elles préviennent l'orniérage et éventuellement l'érosion de talus. Si le nombre de véhicules n'est pas trop important, elles permettent de construire des parkings végétalisés, ou de véritables routes permanentes végétalisées (dans certains écoquartiers par exemple). Les chevaux peuvent être gênés par la sensation inhabituelle qu'ils éprouvent sur ce sol.
- **Stockage/infiltration linéaire par le système de collecte** : l'introduction de dispositifs de régulation (vannes hydrodynamiques autonomes par exemple) permet de transformer les canalisations de collecte en autant d'organes de stockage tampon et même d'infiltration s'ils sont couplés à des drains au sein de structures de chaussée drainantes (de type ballast auto-compactant de granulométrie homogène 20/40 ou 40/80 par exemple). Tout le dispositif de compensation de l'imperméabilisation est alors géré sous la voirie, et ne nécessite donc pas de foncier dédié.



Figure II-6 : Ces pavés autobloquants laissent l'eau percoler dans une structure sous-jacente poreuses qui fait office de réservoir et zone-tampon.



Figure II-7 : Cette noue absorbe les pics de ruissellement sans envoyer l'eau vers l'aval. Elle s'y infiltrera lentement dans le sol, en grande partie dépolluée par les plantes et les bactéries naturellement présentes.



Figure II-8 : Ce rond-point fleuri cache plusieurs dizaines de mètres cubes d'une structure réservoir qui peut en quelques dizaines de minutes absorber le surplus d'eau d'une forte pluie d'orage, avant qu'elle ne ruisselle vers un point bas où elle provoquait autrefois des inondations.



Figure II-9 : Le pavage non maçonné permet de diminuer le ruissellement, mais il est plus fragile et il y a risque de pollution si la nappe sous-jacente est vulnérable

II-7 CONDITIONS DE REUSSITE

Ce sont une bonne transversalité des services de voirie, assainissement, espaces verts, qui doivent travailler en amont et peuvent utilement s'associer les services d'un paysagiste et d'un écologue pour développer une gestion écologique et donc différenciée favorable à une meilleure gestion et épuration des eaux. Ces solutions permettent de très importantes économies si les conditions suivantes sont réunies :

CHAPITRE II : TECHNIQUES ALTERNATIVES DE GESTION DES EAUX PLUVIALES

- Les solutions sont basées sur un diagnostic pertinent.
- Elles prennent en compte le risque climatique croissant, ainsi que les contraintes et opportunités des sites concernés.
- Elles sont intégrées de manière cohérente et dès l'amont des projets.
- Elles sont intégrées à l'échelle des bassins versants.

L'ensemble des ouvrages présentés dans ce mémoire ne constitue pas une liste exhaustive. En effet la question de la gestion intégrée des eaux de pluies aboutie souvent à des solutions singulières dépendant des contraintes liées à l'opération à réaliser. Nous avons choisi de présenter les techniques les plus répandues.

La détermination de la quantité d'eau que peut contenir un ouvrage d'infiltration dépend de plusieurs éléments :

- La superficie du bassin versant : C'est la surface totale sur laquelle ruisselle l'eau de pluie à stocker. Elle prend en compte celle de l'aménagement mais aussi celle des terrains en amont susceptibles de conduire de l'eau sur la zone d'étude.
- Le coefficient de ruissellement : La détermination de ce coefficient doit très souvent tenir compte de la topographie des lieux. En effet une surface perméable située sur un terrain fortement pentu peut être affectée d'un coefficient élevé. D'autre part l'action de l'eau sur un terrain le rend en général plus perméable au fil du temps, son degré d'infiltration aura donc tendance à évoluer.

CONCLUSION

Une analyse comparative entre les techniques alternatives et les techniques classiques permet de déceler les conclusions suivantes :

■ **L'aspect environnemental :**

Au point de vue environnemental, l'utilisation de techniques alternatives sur un projet permet de traiter les eaux pluviales à la parcelle et soulage ainsi les infrastructures de collecte et de traitement présentes sur l'agglomération. De plus, la gestion en surface par des noues et bassins ouverts contribue à faire pénétrer la nature dans la ville en dynamisant les espaces publics. L'approche classique elle ne présente pas un grand intérêt environnemental. Les eaux sont juste évacuées loin de la zone d'étude.

- **Coût de réalisation :** la mise en place des techniques alternatives jouit d'un avantage réel en termes de coût (généralement pas très important).

CHAPITRE II : TECHNIQUES ALTERNATIVES DE GESTION DES EAUX PLUVIALES

Les différentes analyses nous amènent à conclure qu'on ne pourrait choisir de façon rigide l'une ou l'autre des deux méthodes de gestion des eaux pluviales. Les décideurs (maîtres d'œuvres, maîtres d'ouvrages, etc.) doivent prendre en compte non seulement les contraintes liées au projet (coûts d'investissement et d'entretien) mais également celles liées à la réalisation des techniques (hydraulique, topographie, géologie), mais aussi de protection et valorisation de l'environnement. Par contre, fort est de constater que ces techniques sont encore peu utilisées par le grand public.

CHAPITRE III : STRATEGIE DES PAYS EN VOIE DE DEVELOPPEMENT

III-1 PROBLEMATIQUE

Le développement urbain dans les pays en voie de développement génère aujourd'hui un besoin très important dans la mise en œuvre d'infrastructures d'assainissement. En effet, très peu d'ouvrages sont aujourd'hui opérationnels que ce soit en terme de traitement mais également en réseau de collecte :

- L'augmentation du niveau de desserte en eau potable aggrave la problématique de la gestion des rejets.
- L'explosion de la croissance urbaine est aussi facteur d'accélération des problèmes et aujourd'hui la situation se dégrade.
- L'utilisation directe des eaux brutes pour l'irrigation.
- La dégradation des milieux en proximité urbaine ou subsistent des usages traditionnels (pêche, baignade).
- La dégradation de la qualité des ressources en eau, sont des problèmes sanitaires et environnementaux graves.

Malgré ce, aujourd'hui très peu de projets voient le jour. Les raisons de ces blocages sont autant techniques, financières qu'institutionnelles. Les modèles occidentaux ne peuvent être appliqués sur ces situations sans adaptations fortes. L'urgence de la situation sanitaire et environnementale impose la mise en œuvre d'une stratégie alternative.

III-1-1 Politique et état des lieux des pays

Aujourd'hui peu de pays et peu de villes dans ces pays ont engagé des démarches opérationnelles sur le sujet (peu de réflexions et surtout très peu de réalisations). Si la plupart possèdent des amorces de réseaux rudimentaires non opérationnels, les systèmes d'épuration sont quasi inexistantes.



Figure III-1 : Etat des lieux et pistes de réflexions pour un futur programme de recherche action [Ricardo Hinojosa -2015].

Ces systèmes sont immédiatement saturés à la première pluie, de nombreux débordements sont observés en milieu urbain, les effluents bruts sont rejetés dans le milieu naturel sans traitement préalable. Ces milieux récepteurs sont le plus souvent très sollicités par les populations locales (pêche, baignade, irrigation, ...). Cette situation aboutit donc à de graves problèmes sanitaires et environnementaux. Les infrastructures peu développées connaissent de plus, de graves déficit de maintenance et d'exploitation. En effet dans la plupart des cas les systèmes d'assainissement sont sous la responsabilité des municipalités qui n'ont ni les moyens techniques, ni humains, ni financier de pouvoir les gérer correctement. Le service n'étant pas rendu aux populations, il est difficile de pouvoir facturer la prestation et donc les moyens financiers ont du mal à se mettre en place et de ce fait les capacités humaines et techniques ne suivent pas. L'enjeu des années à venir sera d'arriver à trouver les solutions pour sortir de "ce cercle vicieux".

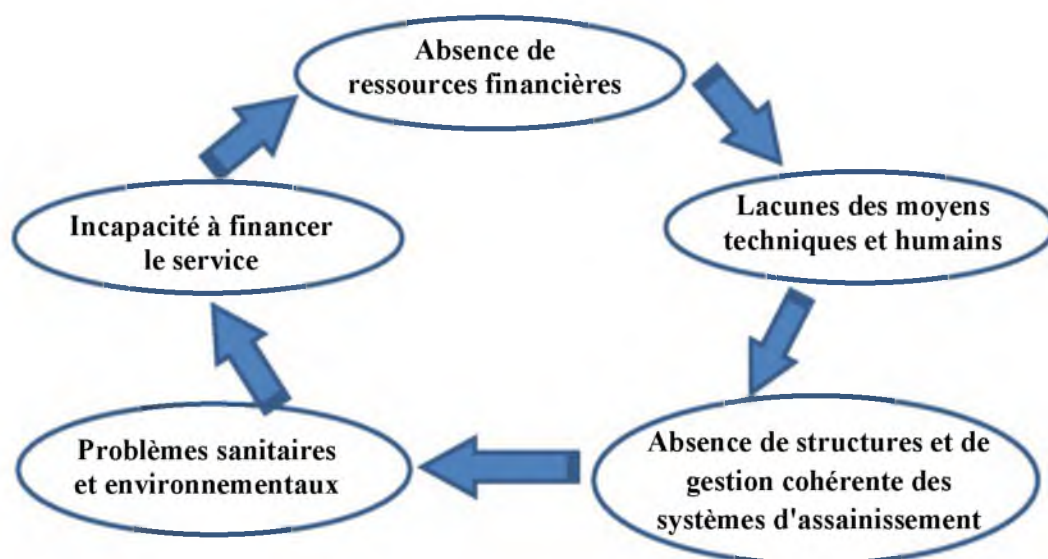


Figure III-2 : Le cercle vicieux des problèmes d'assainissement dans les pays en voie de développement

III-1-2 Situation africaine

Les premiers ouvrages sur l'assainissement en Afrique concernaient l'acheminement de l'eau dans le secteur urbain mais, par la suite, la nécessité d'évacuer les eaux est devenue impérative. Les études d'assainissement traitent jusqu'à présent la question de manière globale (eaux vannes, eaux ménagères et eaux pluviales). La situation est la même que dans les autres continents, hormis la question des services d'assainissement. Celui-ci est réalisé très souvent par les services communaux ou nationaux.

L'évacuation des eaux pluviales a constitué dans les pays africains à forte pluviométrie la principale contrainte de l'urbanisation, mais ce type de problèmes se retrouve aussi, dans les pays à faible précipitation, lié à la situation topographique de certaines villes (terrains plats difficiles à drainer). Initialement, l'assainissement urbain en Afrique a été résolu par un réseau unitaire (forme classique), le dispositif matériel se présentant de la manière suivante : un réseau de collecteurs souterrains implantés sous la voie publique qui recueillent les eaux de pluies, les eaux usées domestiques et industrielles. Cette technique s'est développée principalement dans les capitales des pays, créant des déséquilibres dans l'implantation du réseau d'assainissement. Les quartiers centraux administratifs ont été les premiers à posséder un réseau de drainage des eaux pluviales. Progressivement, la planification urbaine a permis l'implantation d'un réseau d'évacuation dans les quartiers à haut standing laissant à l'abandon les quartiers périphériques.

Face à l'échec du système unitaire, essentiellement à cause de remblaiement d'une érosion par des ordures.



Figure III-3 : Importantes inondations à Dakar au Sénégal après des pluies exceptionnelles [Ms-aplice-2009].

Les politiques africaines se sont tournées vers l'assainissement des eaux pluviales par un réseau séparatif. Dans ce système, les eaux pluviales sont collectées par un réseau de caniveaux à ciel ouvert, les eaux domestiques et les eaux industrielles quant à elles, sont recueillies par un autre réseau qui peut être enterré ou à ciel ouvert.

Malgré ce changement de politique, les difficultés restent les mêmes. La DIEPA fait le constat de l'impossibilité des pays africains à financer l'assainissement des eaux pluviales quel que soit le système. Donc, de nouvelles alternatives ont été avancées, notamment pour l'assainissement individuel des eaux pluviales et des eaux usées domestiques, afin de réduire les charges des collectivités locales.

III-1-3 L'intervention des habitants

Les actions qui auparavant suivaient un circuit lié à l'administration locale avec un financement de l'Etat se situent maintenant au niveau des organisations de quartiers qui agissent sur financements propres (cotisations volontaires) et avec l'aide des ONG. L'intervention de la population renvoie à la nécessité de changer la manière de concevoir un réseau de drainage des eaux pluviales, puis d'en déduire les conséquences concrètes au moment de la réalisation. La participation des habitants peut se situer dans chacune des quatre étapes du drainage des eaux pluviales : conception, investissement, gestion et entretien.

L'organisation des quartiers à Kinshasa (Zaïre) est un exemple d'intervention dans toutes les étapes de l'assainissement pluvial. L'administration locale avait commencé la construction de bassins de stockage des eaux pluviales. Quelques années plus tard, la subvention commencée a diminué. Les habitants, à partir de cette époque ont dû compter presque sur eux-mêmes. La conception se fait par l'intervention de techniciens locaux habitant dans la zone, les organisations de quartiers et la mission catholique.

La mobilisation de la population ne peut se faire qu'à travers des organismes locaux. Dans le cas présent, le changement institutionnel est étroitement lié au choix de la technique, et celle-ci est également fonction de l'investissement. La technique de lutte contre l'érosion est simple : il faut empêcher à tout prix le ruissellement et fixer le sol. La méthodologie employée est la suivante :

- Sur la parcelle : construction d'un trou d'infiltration dans le point le plus bas, plantation végétale.
- Sur la rue : talus pour la rétention des eaux pluviales à chaque niveau de la voie, aménagement végétal avec plantation de bambous sur les pentes abruptes, renforcement des trous produits par l'érosion avec l'accumulation de déchets (ordures ménagères, véhicules anciens, pneus, etc.)

De nombreux projets similaires n'arrivent pas à solutionner correctement le problème de l'assainissement des eaux pluviales, mais ils montrent une voie à explorer ; la participation de la population locale dans certaines étapes du drainage des eaux pluviales avec l'intervention de l'administration et des organisations de quartiers.

Le montage institutionnel serait alors toujours à trois têtes : l'administration, l'organisation de quartier et la population. La participation de la population peut être considérée comme une forme d'abaissement du coût. Cependant, il faut également promouvoir la

fabrication des matériaux sur place.

III-2 INNOVATION DE LA TECHNIQUE

L'évacuation des eaux pluviales a été traitée par l'élimination par un système de réseau. Actuellement d'autres techniques existent comme l'infiltration et l'évacuation différée. Leur but principal est la réduction du débit de pointe. Ce sont des solutions peu coûteuses qui ont l'avantage de permettre l'intervention d'une main-d'œuvre non spécialisée pour la réalisation. Leur entretien est sensiblement plus simple que la technique par réseau. Néanmoins, elles ont le désavantage de nécessiter un réseau de caniveaux à ciel ouvert pour l'acheminement des eaux vers l'exutoire naturel.

L'autre possibilité est la technique employée à Tahoua (Niger). Les objectifs du projet étaient d'utiliser une technique innovante (chaussée pavée + infiltration) et la création d'emplois locaux par la fabrication des pavés sur place. En période de pointe le projet devait embaucher près de cent personnes.

Les techniques utilisées sont : les rues pavées avec des bordures qui contrairement aux rues bitumées, ont l'avantage de servir comme collecteurs primaires permettant l'infiltration d'une partie des eaux pluviales sur place. L'exécution des travaux n'exige aucun personnel qualifié. Elle peut être réalisée par la population locale, ce qui est source de création d'emplois. Assainissement et emploi étant deux priorités du projet. La fabrication des pavés produits sur place à grande échelle est également source d'emploi.

Le projet Tahoua, à notre connaissance, est le seul à essayer d'intégrer au projet d'assainissement des eaux pluviales, deux autres programmes, celui de l'évacuation des ordures ménagères et de la sensibilisation, d'information et d'éducation (PISE) destinés à la population locale pour expliquer la nécessité du drainage et d'une bonne collecte des ordures ménagères. Dans ce dernier programme, les associations de jeunes participent activement à la collecte d'ordures ménagères par l'utilisation de charrettes à traction asine (ânes), les trajets sont coordonnés par le service de la voirie de la commune.

L'innovation technique peut venir aussi des techniciens de l'administration. Les propositions proviennent de la constatation du manque de ressources locales comme par exemple au Sarh-Tchad, où les urbanistes du projet ont proposé des solutions économiques sortant des sentiers battus : l'assainissement des eaux pluviales au niveau de la parcelle avec l'utilisation des tranchées filtrantes et, dans les quartiers, par des mesures d'accompagnement, telles la conception de profils de voiries permettant l'écoulement et le drainage des eaux dans les fossés de percolation. Des plantations d'arbres comme les

eucalyptus, le long des voies absorbant l'eau de la nappe.

III-2-1 Démarche

L'objectif est d'atteindre à terme un système permettant une protection satisfaisante de la santé publique et des milieux naturels. Pour cela la démarche consiste à établir un constat clair de la situation, définir des objectifs réalistes, identifier les solutions les plus appropriées. Ensuite il est nécessaire de mettre en place les financements pour la réalisation des travaux, concrétiser les infrastructures, mettre en place un service opérationnel d'exploitation des systèmes et mettre en œuvre les conditions de durabilité de cet ensemble.

Dans cette démarche les écueils sont nombreux, s'il est fréquent d'obtenir un constat clair de la situation il est déjà plus difficile de discuter sereinement d'objectifs réalistes. En effet entre les situations actuelles souvent catastrophiques et une situation idéale il est parfois difficile de faire accepter un processus évolutif qui oblige à passer par des étapes intermédiaires non totalement satisfaisantes sur le plan de la santé ou de l'environnement.

Dans ce même esprit il est fréquent de voir proposer des solutions techniques parfaites qui du fait de leur coût ou de leur niveau technologique inadapté ne pourront jamais être mises en œuvre. L'acceptation de techniques plus rustiques non parfaites mais apportant une amélioration réelle est là encore difficile à obtenir. Il est enfin essentiel de détailler le problème du financement. La plupart des pays occidentaux ayant réalisé leurs systèmes d'assainissement l'ont fait grâce à l'utilisation massive de subventions publiques, en effet les besoins sont tellement énormes par rapport aux capacités et à l'acceptabilité à payer des usagers qu'il est impossible d'autofinancer en totalité ce type de projet. En France si l'exploitation est à peu près autofinancée par le service, des investissements notamment système d'épuration peuvent être subventionnés entre 50 et 80 %. Pour prendre un exemple pratique de la comparaison entre le besoin et les capacités le schéma national d'assainissement du Maroc estime à 3,5 DH/m³ les besoins en financement pour la mise en œuvre de l'assainissement sur l'ensemble des grandes villes (> 100 000 habitants). L'étude des capacités contributives et l'analyse de l'acceptation à payer montre que les ressources disponibles sont d'un peu moins de la moitié (1,5 dH/m³). Le Maroc, pays avancé sur le plan économique et sur le plan de la mise en place des infrastructures met en évidence cette distorsion entre besoins et ressource financière pour mettre en œuvre une stratégie rationnelle d'assainissement. Pour finir, la recherche de la mise en place de conditions durables de fonctionnement d'un système de gestion se heurte à des soucis institutionnels. La mise en place d'une structure opérationnelle d'exploitation nécessite dans la plupart des situations des modifications institutionnelles profondes.

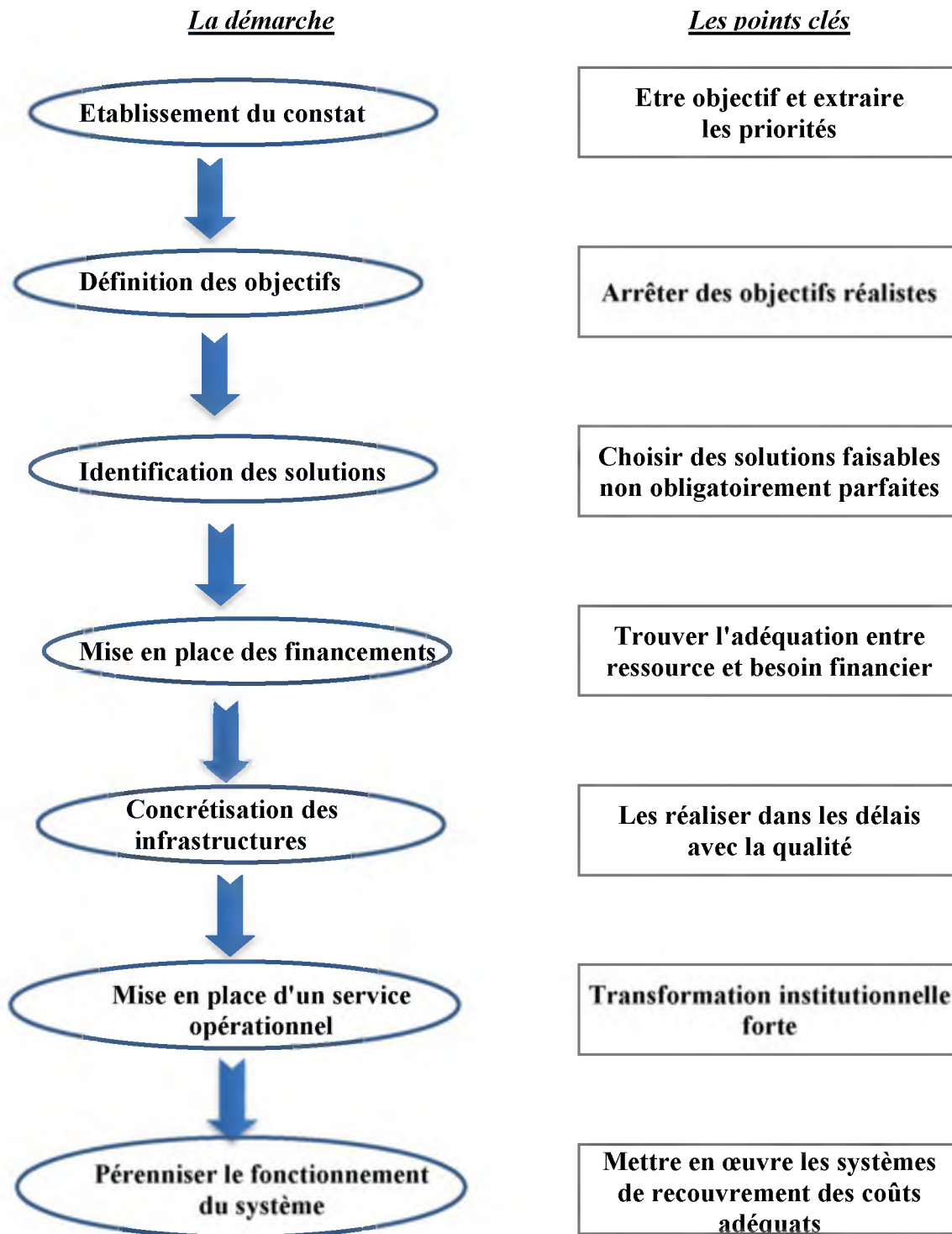


Figure III-4 : Demarche de mise en œuvre d'une politique d'assainissement et points clés de la réussite du processus

III-2-2 Les pistes pour des actions alternatives

Il est donc possible d'identifier les pistes de réflexions face aux différents points clés du processus.

a- Diagnostic clair

L'ampleur de la tâche à réaliser implique un esprit de synthèse et une obligation de priorisation des problèmes pour mettre en œuvre une politique qui aboutisse à une réelle amélioration de la situation. Le cas d'Oujda sera pris en exemple dans la présentation.

Définir des priorités par grande famille de problèmes (pluvial, traitement, réhabilitation...)

b- Objectifs réalistes

L'acceptation d'une progressivité dans l'obtention des objectifs à atteindre est au préalable essentiel dans la mise en œuvre d'une amélioration réelle par contre la volonté absolue d'obtenir immédiatement l'objectif final peut bloquer totalement le projet et figer la situation en l'état. Cette acceptation d'objectifs progressifs peut se retrouver dans les objectifs de qualité des rejets mais également dans les occurrences de protection vis à vis des inondations. Le cas d'Agadir illustrera le schéma (passage par une situation intermédiaire de traitement non définitif sur un système "rustique" : traitement par le sable).

Différentes options techniques seront envisageables :

- Traitement plus rustique avec des niveaux de traitement moins complet,
- Période d'occurrence de protection contre les inondations moins contraignantes,
- Techniques alternatives d'assainissement pluvial...

c- Choix de solutions réalistes

Cet élément est à traiter en parallèle de la définition d'objectifs réalistes, les technologies doivent être adaptées aux objectifs et permettent une évolution et un phasage. Ces points sont importants sur les volets traitements des effluents et techniques de drainage. La mise en œuvre de traitement secondaire par filière compacte est difficilement immédiatement transposable dans la plupart des cas. A ce stade il est intéressant de mettre en évidence l'intérêt de l'assainissement autonome, de la réutilisation des eaux usées, des technologies de traitement non conventionnelles ou des techniques alternatives en drainage pluvial.

L'intégration des contraintes d'assainissement dans une planification urbaine intelligente est également un facteur essentiel de progrès. Le cas de Lomé sera présenté pour l'assainissement autonome et Oujda pour l'assainissement pluvial (utilisation de techniques alternatives pour l'assainissement pluvial permettant des économies).

d- Mise en place des financements

L'évaluation des investissements issue des réflexions sur les solutions à mettre en œuvre aboutit de plus souvent à des montants impossibles à mettre en œuvre par l'autofinancement du secteur. Des mécanismes particuliers d'aide à l'investissement doivent être trouvés. L'exemple du financement des infrastructures en France pourra appuyer la discussion sur le besoin de l'aide publique au secteur.

e- Mise en place de structures opérationnelles durables

Le bon fonctionnement d'un système d'assainissement passe évidemment par la réalisation d'infrastructures mais également par l'existence d'un service d'exploitation opérationnel. Celui-ci doit disposer de moyens techniques, humains et financiers nécessaires à la bonne réalisation des prestations des services.

Aujourd'hui dans la plupart des cas la responsabilité de l'assainissement dépend des municipalités qui ne disposent d'aucune ressource pour effectuer le service correctement (cas du Togo). Le passage de cette responsabilité à la société qui gère l'eau est souvent un progrès, cependant il faut prendre garde au fait que ce transfert ne soit pas déstabilisant sur le plan financier pour ces sociétés à l'équilibre souvent fragile. Les conditions financières de ces transferts doivent être soignées pour permettre la durabilité du système.

La durabilité de ces structures passe par un équilibre financier de l'exploitation et de la maintenance des systèmes d'assainissement. Ce point impliquera en préalable une compréhension et une acceptabilité des populations nécessitant une politique de formation et de communication volontariste sur les sujets de la santé et de l'environnement. La voie de la privatisation peut être réfléchiée dans des situations particulières. L'exemple marocain de transfert aux Régies sera présenté.

CONCLUSION

L'urgence de la situation sanitaire et environnementale, l'état d'inertie des projets nous oblige à engager une action volontariste pour faire évoluer le secteur.

L'ensemble des acteurs, politiques, bailleurs de fonds, administration, ONG doivent rapidement engager des réflexions initiatives de la mise en place de solutions durables.

Dans les questions devant être débattues les axes suivants semblent prioritaires :

- Quelles organisations pourront permettre de développer le secteur ?
- Quels montages financiers sont acceptables pour favoriser l'émergence de solutions durables pour l'assainissement des agglomérations urbaines des pays en voie de développement ?
- Jusqu'où peut-on aller dans le compromis pour accepter des solutions techniques transitoires ?

Des réponses à ces questions sortiront peut-on l'espérer une politique cohérente permettant d'amorcer la résolution des problèmes d'assainissement des pays en voie de développement.

CHAPITRE IV : DIMENSIONNEMENT TECHNIQUES ALTERNATIVES

IV-1 METHODES DE DIMENSIONNEMENT

L'objectif de ce type d'étude est de calculer le volume maximum susceptible d'arriver dans un bassin de retenue des eaux pluviales pour une période de retour donnée et d'en déduire le volume de la retenue et la loi de vidange. Seules sont prises ici en compte des considérations de type hydraulique (protection contre les crues).

- La période de retour doit être choisie conformément aux décisions du maître d'ouvrage relatives au niveau de protection à assurer.
- La méthode de référence consiste à utiliser le modèle général de la collectivité.
- Les données pluviométriques à utiliser en entrée seront de préférence constituées par un ensemble de pluies de référence réelles mesurées sur le site ou sur un site voisin (représentatives de la pluviosité locale). Il est indispensable de tenir compte des pluies longues et des successions de pluies (même séparées par des intervalles de temps de plusieurs heures) pour tenir compte de l'état de remplissage du bassin au début de la pluie.
- On pourra utiliser un ensemble de pluies de projet. Dans ce cas, il est essentiel de tester des pluies de différentes durées pour une même période de retour.

Ce n'est en effet généralement pas la pluie qui provoque le débit maximum à l'exutoire du bassin versant qui générera les volumes les plus importants dans l'ouvrage de stockage.

Hypothèses :

Les méthodes décrites ci-dessous reposent sur les hypothèses suivantes :

- le débit de fuite de l'ouvrage de stockage est constant ;
- il y a transfert instantané de la pluie à l'ouvrage de retenue, c'est à dire que les phénomènes d'amortissement dus au ruissellement sur le bassin sont négligés (cette méthode ne sera donc applicable que pour des bassins versants relativement petits-quelques dizaines d'hectares - et ne contenant aucun ouvrage de stockage ou de régulation) ;
- les événements pluvieux sont indépendants ; ceci signifie que lors des dépouillements, les périodes de temps sec ne sont pas prises en compte.

IV-1-1 Méthode des pluies

a- Principe de la méthode :

Pour appliquer la méthode, on s'appuie sur les courbes *Intensité-durée-fréquence* que l'on transforme en courbe hauteur-durée-fréquence (ou courbes enveloppes), soit, pour un ajustement de type *Montana* :

$$H(t, T) = a(T) \cdot t^{b(T)+1} \quad (1)$$

Avec :

- $H(t, T)$: Hauteur de pluie précipitée pour la durée t et la période de retour T (m) ;
- $a(T)$ et $b(T)$: Coefficients d'ajustement d'une formule de type Montana pour la période de retour T (à choisir pour obtenir H en m avec t en s).

Dans la suite de l'article nous supposons que les calculs sont faits pour une période de retour donnée T et nous noterons simplement ces grandeurs $H(t)$, a et b .

Le volume entrant dans l'ouvrage de stockage $V_p(t)$ pour une pluie de durée t se calcule donc simplement :

$$V_p(t) = C_a \cdot S \cdot H(t) = S_a \cdot a \cdot t^{(b+1)} \quad (2)$$

Avec :

- C_a : coefficient d'apport ;
- S : surface totale du bassin versant drainé (m^2) ;
- $S_a = C_a \cdot S$: surface active (m^2) .

Comme le débit de vidange Q_v est supposé constant, le volume V_r évacué après une durée t est simplement égal à :

$$V_r(t) = t \cdot Q_v \quad (3)$$

On peut alors calculer, pour chaque durée de pluie t , la différence entre le volume entrant et le volume évacué, qui représente le volume à stocker V_s pour une pluie ayant cette durée t (Figure IV-1) :

$$V_s(t) = V_p(t) - V_r(t) \quad (4)$$

Soit :

$$V_s(t) = a \cdot S_a \cdot t^{(b+1)} - Q_v \cdot t \quad (5)$$

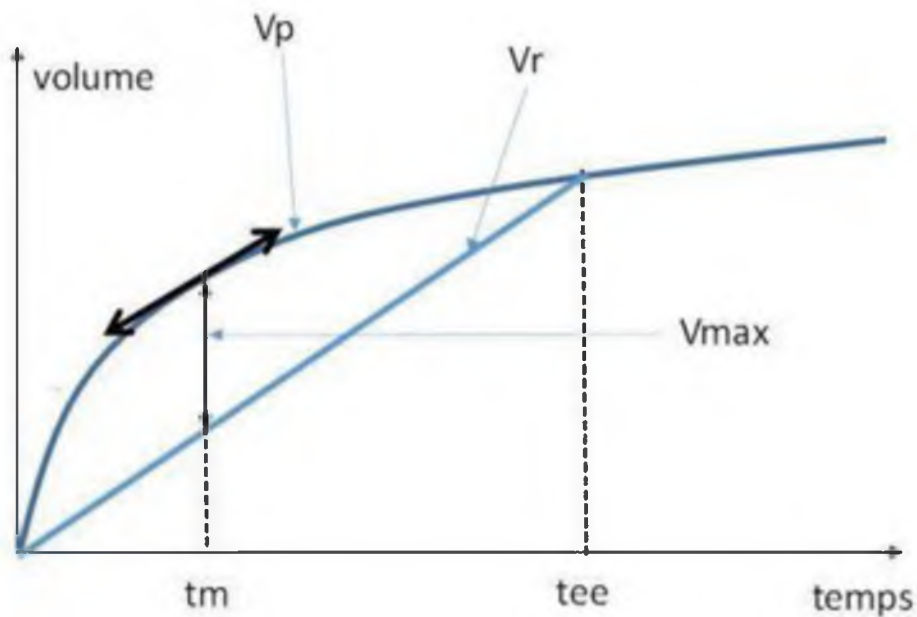


Figure IV-1 : Schéma de principe de la méthode des pluies ;
[Chocat et Cherqui- 2018].

Il existe une durée t_m pour laquelle cette différence est maximum. C'est donc pour cette durée qu'il faudra calculer le volume de stockage nécessaire pour la période de retour T .

Ce mode de calcul ne signifie pas que l'ouvrage soit capable de répondre à n'importe quelle forme de sollicitation pluvieuse ayant la période de retour choisie. En pratique il suppose implicitement une forme particulière de hyétogramme (pluie de type bloc) et de fonctionnement (maximum du volume obtenu à la fin de la pluie).

b- Formulation analytique :

La relation (5) permet de calculer le volume à stocker en fonction de la durée de la pluie. Ce volume sera maximum pour la durée qui t_m vérifiera :

$$\frac{dV_s(t)}{dt} = 0 \quad (6)$$

Soit :

$$a \cdot (b + 1) \cdot S_a \cdot t_m^b - Q_v = 0 \quad (7)$$

D'où :

$$t_m^b = \left(\frac{Q_v}{a \cdot (b+1) \cdot S_a} \right) \quad (8)$$

Et :

$$t_m = \left(\frac{Q_v}{a.(b+1).S_a} \right)^{1/b} \quad (9)$$

En reportant la relation (8) dans l'expression du volume stocké (5), il est possible de calculer le volume maximum V_{max} :

$$V_{max} = (a.S_a.t_m^b - Q_v).t_m$$

$$V_{max} = \left(\frac{Q_v}{b+1} - Q_v \right).t_m$$

soit :

$$V_{max} = \left(\frac{-b}{b+1} \right).Q_v.t_m \quad (10)$$

Et finalement en reportant la relation (9) dans la relation (10), on obtient une formule permettant le calcul analytique direct de V_{max} en fonction de Q_v :

$$V_{max} = \left(\frac{-b}{b+1} \right).Q_v.\left(\frac{Q_v}{a.(b+1).S_a} \right)^{1/b}$$

Il est alors possible de mettre en évidence une formule simple reliant directement V_{max} et Q_v [Chocat et Cherqui- 2018] :

$$\left(\frac{V_{max}}{C.S_a} \right)^b = \left(\frac{Q_v}{S_a} \right)^{b+1} \quad (11)$$

Cette formule fait apparaître une constante C qui ne dépend que des coefficients de Montana :

$$C = \frac{-a.b}{(a.(b+1))^{(b+1)/b}} \quad (12)$$

c- Introduction de la durée maximum en eau :

La figure IV-1 fait apparaître une autre durée intéressante : la durée t_{ee} qui correspond à la durée pour laquelle le débit de restitution moyen de l'ouvrage Q_v est égal au débit apporté à l'ouvrage. En d'autres termes, à partir de la durée t_{ee} , l'ouvrage restitue de façon instantanée la totalité du volume apporté par la pluie et aucun stockage n'est nécessaire. La durée t_{ee} correspond donc à la durée maximum pendant lequel il peut y avoir de l'eau dans l'ouvrage. Cette durée est très importante pour des questions multiples : risque d'événements successifs, durée pendant lequel l'espace utilisé par l'ouvrage est inutilisable pour d'autres activités, risque d'éclosion de moustiques, etc. Pour cette raison, il est généralement conseillé de limiter cette durée maximum en eau à quelques jours (typiquement 24 à 72h).

N.B : la pluie de durée t_{ee} n'est pas la même que la pluie dimensionnant de durée t_m . La durée t_{ee} ne représente donc pas le temps de vidange de l'ouvrage plein, lequel sera forcément inférieur à t_{ee} .

La durée t_{ee} est telle que les débits moyens entrant et sortant soient égaux, c'est à dire :

$$a \cdot S_a \cdot t_{ee}^b = Q_v \quad (13)$$

Il est donc possible d'écrire des relations explicites simples entre les trois grandeurs t_{ee} , V_{max} et Q_v .

$$a \cdot t_{ee}^b = \frac{Q_v}{S_a} = \left(\frac{V_{max}}{C \cdot S_a} \right)^{b/(b+1)} \quad (14)$$

Ces relations explicites sont schématisées sur la figure IV-2.

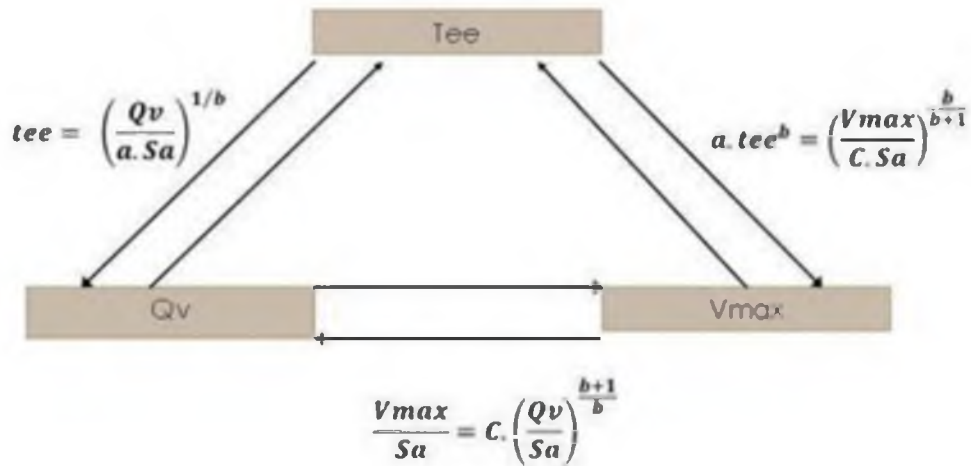


Figure IV-2 : Relations entre t_{ee} , Q_v et V_{max} [Chocat et Cherqui- 2018].

d- Raisonnement en termes d'intensité et de débit spécifique :

Une autre façon de raisonner, moins classique, consiste à étudier la relation entre le débit spécifique $q_v = Q_v/S_a$ et l'intensité de pluie i_m correspondant au temps t_m .

D'après la relation (8) :

$$t_m^b = \left(\frac{Q_v}{a \cdot (b + 1) \cdot S_a} \right) = \left(\frac{q_v}{a \cdot (b + 1)} \right)$$

Nous pouvons donc écrire :

$$i_m = a \cdot t_m^b = \left(\frac{q_v}{(b + 1)} \right)$$

Cette relation permet d'établir un lien extrêmement simple entre i_m et q_v :

$$\frac{q_v}{i_m} = b + 1 \quad (15)$$

Cette relation est étonnante. Elle signifie que le rapport d'amortissement, c'est à dire le rapport entre le débit spécifique de vidange q_v et l'intensité moyenne de la pluie i_m , est indépendant du débit de vidange et du volume de stockage. De plus il prend des valeurs qui varient relativement peu (entre 0,1 et 0,3 car b est généralement compris entre -0,6 et -0,9).

Ces notations permettent d'écrire de façon légèrement différente la relation (11) :

$$\left[\frac{H_{max}}{c} \right]^b = q_s^{b+1} \quad (16)$$

Avec :

$$C = \frac{-a.b}{(a.(b+1))^{(b+1)/b}} \quad (12)$$

e- Formulation de la méthode des pluies en termes de hyétogramme :

Posons les hypothèses suivantes conformes à la méthode des pluies :

Hypothèse H1 : le débit d'entrée est constant et commence au temps $t = 0$; en termes hydrologiques, ceci peut être obtenu en posant les trois sous-hypothèses suivantes :

- la pluie est de type bloc (intensité i_m constante sur toute la durée) ;
- le coefficient d'apport C_a est indépendant de la durée de la pluie ;
- il n'y a aucune prise en compte du ruissellement (la forme de l'hydrogramme entrant dans le bassin est strictement la même que celle de la pluie qui le provoque) ;

Avec ces hypothèses : le débit d'entrée est donc constant : $Q_p = C_a \cdot S \cdot i_m$.

Hypothèse H2 : le débit de sortie Q_v est constant et commence également au temps $t = 0$.

Le fonctionnement d'un ouvrage fonctionnant selon ces hypothèses peut alors être schématisé par la figure IV-3.

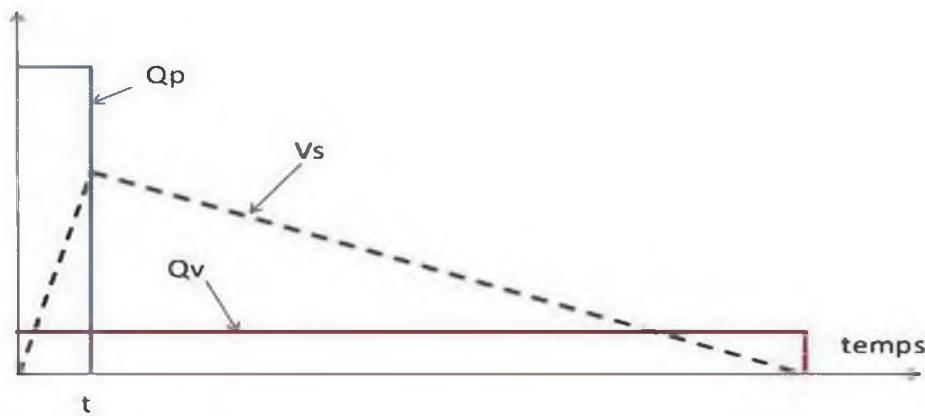


Figure IV-3 : Évolution du volume stocké dans un ouvrage fonctionnant selon les hypothèses H1 et H2.

Quelle que soit la durée de la pluie t , le volume stocké V_{max} est maximum à la fin de la pluie. Il est égal à la différence entre les débits constants d'entrée et de vidange, multipliée par cette durée.

$$V_{max} = (Q_p - Q_v) \cdot t$$

Si on choisit l'intensité de la pluie de durée t pour une période de retour T en utilisant un ajustement des courbes IDF de type Montana, on retrouve facilement la formule de la méthode des pluies.

f- Identification de la méthode des pluies classique à la méthode des débits :

La méthode des pluies peut donc être interprétée comme une mise en œuvre particulière de la méthode des débits :

- avec un modèle de production utilisant un coefficient d'apport constant égal à C_a ;
- sans prendre en compte l'amortissement de l'hydrogramme associé au transfert dans le bassin versant amont ;
- en utilisant en entrée des pluies blocs de toutes les durées possibles et en retenant celle qui nécessite le volume maximum.

g- Généralisation de la méthode des pluies à d'autres formes de pluies de projet :

L'intérêt de la remarque précédente est qu'elle montre qu'il est tout à fait possible de généraliser la méthode des pluies en prenant en compte d'autres formes de pluies de projet que des pluies blocs.

Il est par exemple possible de choisir des pluies de type double triangle symétrique, couramment utilisées en France. En général on identifie la période de retour associée à une telle pluie à l'intensité moyenne pendant la période de pluie intense D (Figure IV-4).

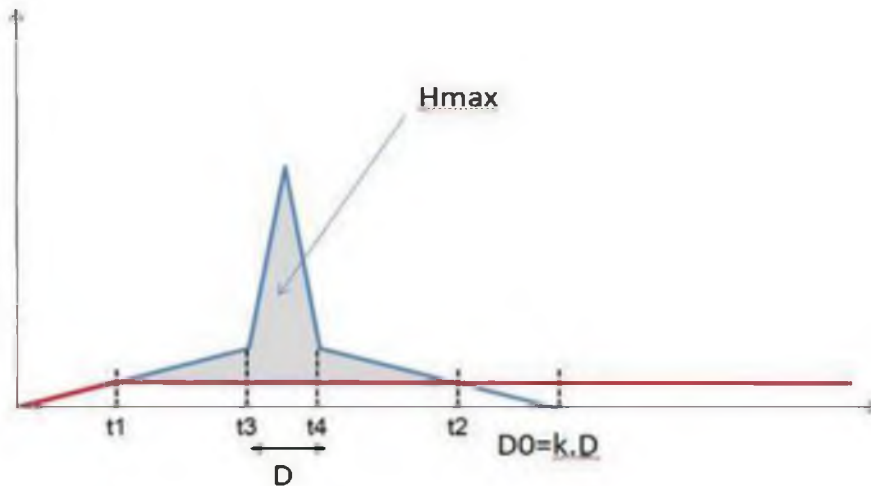


Figure IV-4 : Pluie de projet double triangle [Source-Année].

Dans ce cas le volume spécifique devient maximum au moment où le débit spécifique de vidange redevient supérieur à l'intensité de pluie. Le volume spécifique nécessaire est donc celui représenté par la partie grisée sur la figure IV-4.

Chocat (2020) a étudié, en reprenant la même démarche analytique que celle présentée pour les pluies blocs, la façon dont évoluait le rapport $\frac{\Delta H_m}{H_{max}}$ en fonction de la durée D et du rapport $k = \frac{D_0}{D}$. L'étude a été réalisée pour des valeurs de α et β correspondant à différentes régions pluviométriques.

Avec :

- D : durée de la période de pluie intense ;
- D_0 : durée totale de la pluie ;
- H_{max} : hauteur spécifique maximum de stockage calculée avec une pluie de type bloc de durée D_0 (méthode des pluies classique) ;
- ΔH_m : écart entre la hauteur spécifique maximum de stockage calculée avec une pluie double triangle et la hauteur calculée avec une pluie bloc.

N.B : Réaliser les mêmes calculs par la méthode des débits consisteraient à simuler toutes les pluies correspondant à toutes les durées de pluies intenses D et à toutes les durées totales D_0 possibles, de façon à déterminer le couple D, D_0 qui fournit la hauteur maximum de stockage.

Les calculs ont été effectués dans le cas très défavorable où les intensités de pluie sur la durée D et sur la durée D_0 ont la même période de retour T . Cette hypothèse conduit nécessairement à surestimer les volumes calculés avec les pluies double triangle.

Les conclusions sont les suivantes : Pour deux pluies de même durée D_0 et de même intensité moyenne (donc correspondant à la même période de retour), l'écart relatif entre les deux volumes spécifiques (rapport $\frac{\Delta H_m}{H_{max}}$) se calcule par la relation (17) :

$$\frac{\Delta H_m}{H_{max}} = \frac{(k-1)^2}{(k^2-k^1-b)} \cdot \frac{-(b+1)^2}{4 \cdot b} \quad (17)$$

Cette relation montre :

- que le volume spécifique calculé par la pluie double triangle est toujours supérieur à celui produit par la pluie bloc (b est négatif) ;
- que l'écart relatif entre les deux volumes spécifiques (rapport $\frac{\Delta H_m}{H_{max}}$) est compris entre 1% et 9% (Figure IV-5).

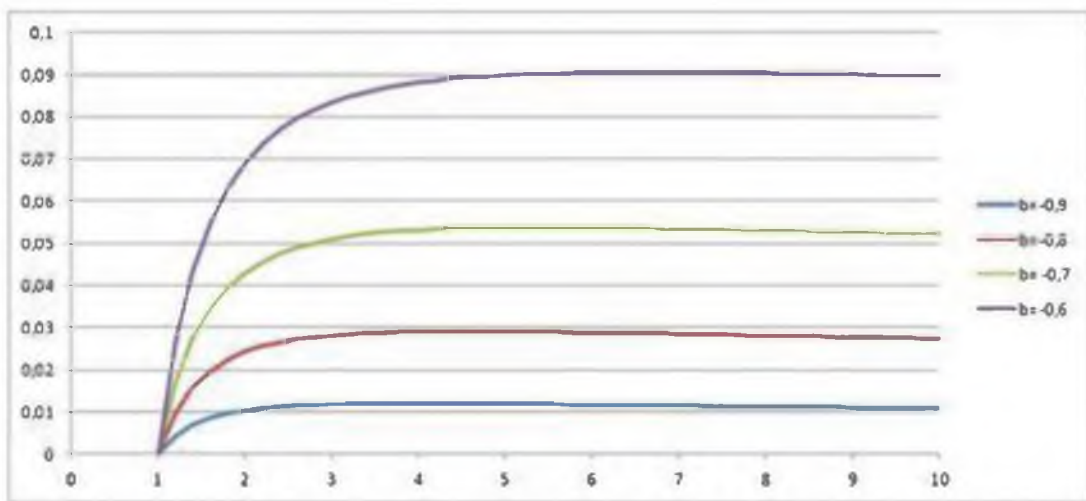


Figure IV-5 : Écart relatif entre les volumes spécifiques nécessaires calculés en utilisant une pluie double triangle symétrique et en utilisant une pluie bloc (méthode des pluies classiques) en fonction du paramètre b de la formule de Montana et du rapport $k = \frac{D_0}{D}$ entre la durée de la période de pluie intense et la durée totale de la pluie [Chocat- 2020].

h- Interprétation en termes d'incertitude :

En pratique aucune forme de pluie n'est plus probable qu'une autre et il n'y a aucune raison de considérer que les résultats fournis par une pluie double triangle sont plus proches de la réalité que ceux fournis par une pluie bloc. Il n'y a non plus aucune raison de choisir une valeur de k plutôt qu'une autre. Il n'est donc pas possible d'utiliser la relation (17) pour calculer un volume qui soit plus proche d'une hypothétique vérité que celui calculé avec une pluie de forme différente. En revanche il est possible de l'utiliser :

- pour déterminer un terme correctif à appliquer au résultat fourni par la méthode des pluies classique ;
- pour associer une incertitude à cette valeur.

La valeur maximum de l'écart relatif est obtenu pour les valeurs de k voisines de 6. On peut donc calculer de façon approximative une valeur de ce majorant en fonction de la valeur de b :

$$E_{max} = \frac{25}{(36-6^{1-b})} \cdot \frac{-(b+1)^2}{4 \cdot b} \quad (18)$$

Et il est alors possible de calculer une valeur corrigée du volume spécifique à prendre en compte associée à une incertitude :

$$H_{cor} = H_{max} \cdot \left(1 + \frac{E_{max}}{2}\right) \pm H_{max} \cdot \frac{E_{max}}{2} \quad (19)$$

- Le terme correctif est par construction strictement égal à l'incertitude et par conséquent la valeur calculée par la méthode classique est dans le domaine d'incertitude ; elle est donc acceptable.
- L'incertitude relative associée à la valeur corrigée varie entre 0,5% et 4,5% ; elle paraît donc faible par rapport à d'autres incertitudes (variabilité interannuelle de la pluie, connaissance très approximative de la capacité d'infiltration, etc.)

i- Avantage de la méthode :

La méthode des pluies donne des résultats tout à fait satisfaisants dans la mesure où les trois hypothèses sur lesquelles elle repose sont remplies, ce qui est le cas pour la plupart des petits ouvrages de retenue (en particulier pour tous les ouvrages de stockage dits à la parcelle).

IV-1-2 Méthode des débits

a- Principe de la méthode :

La méthode des débits consiste à simuler en continu le fonctionnement de l'ouvrage avec un pas de temps court (de quelques minutes à quelques dizaines de minutes). La simulation est faite sur une durée longue (plusieurs dizaines d'années) en utilisant en entrée une chronique locale de pluies.

L'application d'un premier modèle de ruissellement permet de transformer les intensités de pluie en une fonction représentant le débit entrant dans l'ouvrage en fonction du temps $Q_e(t)$.

On utilise ensuite l'équation de conservation pour calculer à chaque instant la valeur du volume stocké $V_s(t)$ et du débit de sortie $Q_s(t)$:

$$\frac{dV_s(t)}{dt} = Q_e(t) - Q_s(t) \quad (20)$$

La résolution de cette équation est généralement faite numériquement par la méthode des différences finies en discrétisant les différentes variables.

On utilise souvent la variable intermédiaire $H(t)$ qui représente la hauteur d'eau dans l'ouvrage. Les deux autres variables, $V_s(t)$ et $Q_s(t)$ sont en effet généralement reliées directement à $H(t)$.

- par une relation de stockage décrivant l'évolution du volume stocké $V_s(t)$ en fonction de la hauteur d'eau dans le bassin, $h(t)$:

$$V_s(t) = f[h(t)] \quad (21)$$

- par une (ou des) relation(s) de vidange décrivant l'évolution du débit de sortie $Q_s(t)$ du bassin en fonction de la hauteur d'eau dans le bassin :

$$Q_s(t) = g[h(t)] \quad (22)$$

Avec :

- $Q_e(t)$: débit entrant dans l'ouvrage de stockage (m^3/s) ;
- $Q_s(t)$: débit sortant (m^3/s) ;
- $h(t)$: hauteur d'eau dans l'ouvrage (m) ;
- $V_s(t)$: volume stocké dans l'ouvrage (m^3).

La hauteur d'eau et le volume stockés dans le bassin ainsi que le débit sortant peuvent alors être calculés en fonction du temps, en résolvant numériquement le système constitué par les équations (20), (21) et (22).

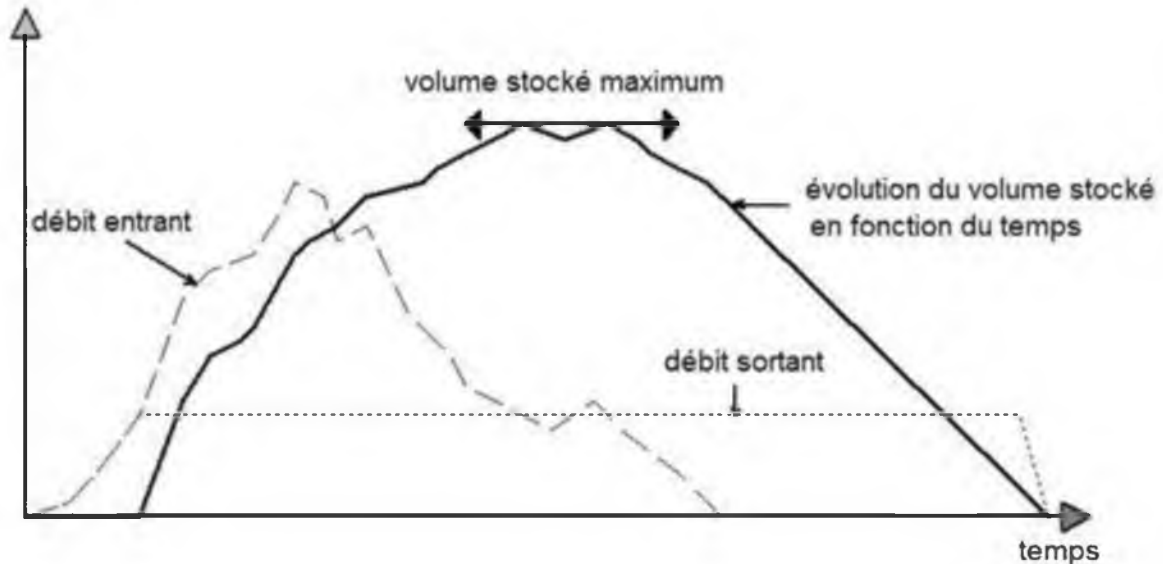


Figure IV-6 : Évolution des différentes grandeurs en fonction du temps [Source-Année].

b- Analyse des résultats :

Cette simulation produit en sortie des chroniques de hauteurs d'eau, de débits de sortie et de volumes stockés, associées au pas de temps de calcul choisi.

On peut donc facilement compter le nombre de valeurs qui, pour la variable d'intérêt, dépassent un seuil donné et en déduire la durée de dépassement pendant la durée de simulation. On peut par exemple calculer le nombre de pas de temps pendant lequel (ou la durée pendant laquelle) le volume à stocker a été supérieur à une valeur donnée. Ce résultat est cependant difficilement exploitable en termes de fréquence de dépassement (ou de période de retour) car il mélange deux notions différentes : le nombre de fois où le volume a dépassé la valeur choisie et la durée de chacun des dépassements. Pour éviter cet inconvénient il est donc nécessaire de compléter le raisonnement, ce qui peut se faire de deux façons différentes :

- Soit on raisonne par période temporelle (en général par journée) et on calcule le nombre de journées pendant lesquelles la variable d'intérêt (par exemple le volume) a dépassé la valeur seuil choisie au moins pendant un pas de temps (c'est le raisonnement qui est utilisé pour les déversements par des déversoirs d'orage).

- Soit on raisonne par événement et on calcule le nombre d'événements pour lesquels la valeur maximum de la variable d'intérêt (par exemple la valeur maximum du volume) a dépassé la valeur seuil choisie. Ce raisonnement nécessite de définir précisément comment on distingue deux événements successifs d'un événement unique avec plusieurs maximums. Ceci se fait en général en définissant une durée minimum pendant laquelle la valeur étudiée doit rester inférieure à une valeur donnée.

Il est difficile de trancher entre les deux méthodes qui présentent chacune des biais. Les deux méthodes permettent également de faire des statistiques légèrement différentes, plus faciles à exploiter en termes de période de retour ou de fréquence de dépassement.

c- Avantage de la méthode :

- La méthode des débits présente le principal avantage de ne réclamer aucune condition sur la géométrie de l'ouvrage de stockage ou sur la façon dont il restitue l'eau après son stockage. Il est aussi possible d'introduire des éléments de régulation en reliant Q_s au temps ou à une caractéristique de l'écoulement en un point quelconque du réseau.
- La simulation continue permet de tenir compte de phénomènes ayant des dynamiques temporelles très différentes. On peut par exemple simuler la façon dont l'évapotranspiration va permettre de retrouver une capacité de stockage dans l'ouvrage en fonction de la saison, voire de la météorologie si on dispose de mesures croisées de la pluie et de l'évapotranspiration.
- Ce modèle peut être couplé à des logiciels de simulation du ruissellement et éventuellement de propagation en conduite capables de produire les *hydrogrammes* entrants dans le bassin.
- Enfin l'analyse des résultats permet d'établir des statistiques non seulement sur la hauteur d'eau dans l'ouvrage ou le volume stocké, mais également sur toutes les autres variables. Par exemple dans le cas d'un ouvrage d'infiltration avec une surverse vers un réseau, on peut faire des statistiques sur les débits surversés.

d- Limites et difficultés d'utilisation :

La méthode présente cependant plusieurs limites et difficultés :

- Il s'agit d'une méthode de simulation et non d'une méthode de dimensionnement direct : il faut faire des hypothèses a priori sur la géométrie de l'ouvrage et sur les dispositifs de vidange avant de lancer la simulation.

- La simulation d'une durée longue avec un pas de temps courts peut prendre un peu de temps et nécessiter une place mémoire importante pour stocker tous les résultats (il est cependant possible de mettre en œuvre la méthode des débits en utilisant en entrée des *pluies historiques* ou des *pluies de projet*).
- Les données pluviométriques utilisées (donc le pluviomètre choisi) doivent être réellement représentatives des conditions locales passées (c'est à dire sur la durée de la période de mesure de la pluie) mais également des conditions locales futures (c'est à dire sur la durée de vie de l'ouvrage projeté). Cet inconvénient existe bien sûr pour toutes les méthodes utilisables. Il doit être pris en compte de façon à ne pas surévaluer le gain en qualité de calcul par rapport à des méthodes plus simples comme la méthode des pluies.
- Ce type de modèle suppose qu'il ne se produit aucune propagation au sein de l'ouvrage de retenue. Cette hypothèse est tout à fait justifiée pour des bassins de retenue urbains.

IV-1-3 Méthode des volumes

a- Principes de la méthode

La méthode des volumes diffère de la méthode des pluies par le fait que l'on essaye de mieux prendre en compte la réalité de la distribution temporelle des apports dans la retenue. Pour ce faire, on considère qu'un épisode pluvieux ne se termine qu'à la fin de la vidange (théorique) de la retenue.

Une des façons les plus courantes pour dépouiller les données consiste à tracer sur un même graphe l'évolution en fonction du temps de la hauteur d'eau précipitée cumulée et celle de la hauteur d'eau vidangée cumulée. Cette deuxième quantité est simple à évaluer, puisque le modèle repose sur l'hypothèse que le débit de vidange (exprime en hauteur d'eau) est constant et égal à q_s (du moins tant qu'il y a suffisamment d'eau dans la retenue pour l'alimenter). La courbe de hauteur vidangée cumulée est alors constituée de segments de droites horizontaux (lorsqu'il n'y a pas de vidange) et de segments de droites de pente égale à q_s lorsqu'il y a vidange. Le volume maximum à stocker pour un événement pluvieux donne est alors égal à la différence entre les deux courbes (voir la Figure IV-7).

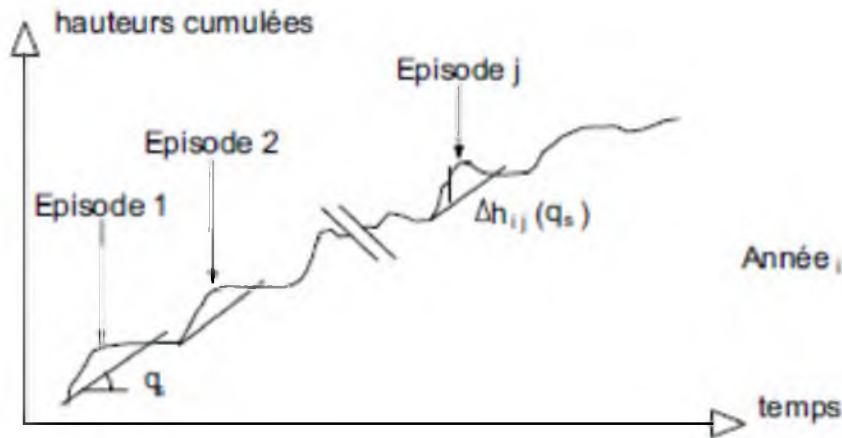


Figure IV-7 : Courbe des hauteurs cumulées sur la durée d'analyse [Source-Année].

On réalise ensuite un classement fréquentiel de ces valeurs maximales Δh_{max} , en supposant que la fréquence de retour empirique de l'événement qui a le rang i pour une durée d'observation de n années est égale à :

$$T_i = \frac{i}{n - \alpha}$$

α est un coefficient empirique, souvent pris égal à 0,5.

On peut ainsi ajuster les points obtenus et construire des graphes $\Delta h_{max}(q_s, T)$ en fonction de q_s et T (Figure IV-8).

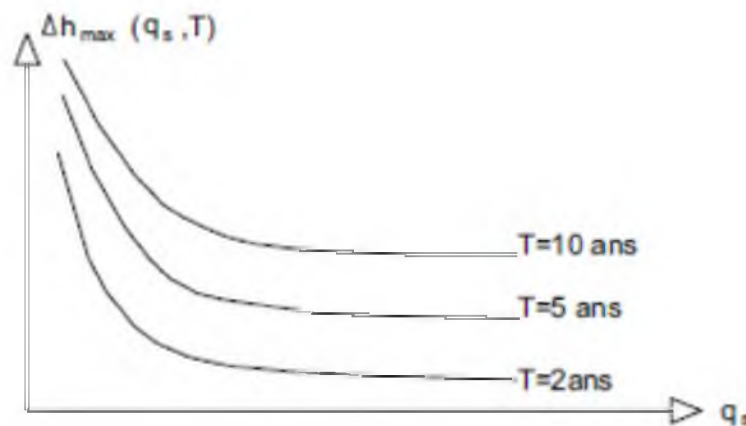


Figure IV-8 : Courbes permettant la détermination de la hauteur spécifique [Source-Année].

Dans le but, d'une part de faciliter les traitements, et d'autre part de travailler sur des événements indépendants et homogènes, on se contente souvent de ne conserver que les événements les plus forts. Par exemple, si l'on veut construire un abaque dans le but d'un dimensionnement hydraulique (c'est à dire pour des périodes de retour généralement comprises

entre 5 et 25 ans), il sera préférable de ne conserver que l'événement maximal pour chaque année de mesure.

Le volume à stocker est alors déterminé par la relation :

$$V = 10 \times \Delta h_{max} \times (q_s, T) \times S_a$$

Avec :

- V : volume stocké en m^3 ;
- Δh_{max} : hauteur cumulée maximum en mm ;
- S_a : Surface active en ha .

Le mode de construction peut lui facilement être mis en œuvre localement dès lors que l'on dispose de données pluviométriques sur une durée suffisamment longue (qui devrait être entre 3 et 5 fois la période de retour maximum considérée pour tenir compte de la variabilité interannuelle des pluies).

** Calcul de la surface active (en ha)*

$$\text{Surface active} = \text{Surface totale} \times \text{Coefficient d'apport}$$

Le coefficient de ruissellement (C_r) est calculé pour des pluies courtes (inférieure a une heure) pour calculer des débits de pointe.

Le coefficient de ruissellement prend le nom de coefficient d'apport (C_a) s'il est calculé sur des durées de pluies plus longues (quelques heures, voire quelques jour)

** Détermination du débit de fuite (en m^3/s)*

$$\text{Débit de fuite} = \text{Débit d'infiltration et /ou Débit vers exutoire}$$

*Le débit d'infiltration : à mesurer in-situ à l'emplacement et à la profondeur du projet par une méthode adaptée.

*Le débit vers exutoire : débit réglementaire [SIDAGE , documents d'urbanisme locaux] ou débit acceptable calculé par modélisation ou débit acceptable estimé par méthodes simplifiées de calcul

** Calcul du débit spécifique de fuite q_s*

$$\text{Débit spécifique de fuite} = 360 \times \text{Débit de fuite /surface active}$$

** Détermination de la capacité spécifique de stockage*

** Calcul du volume utile de la rétention*

$$\text{Volume utile} = 10 \times \text{Surface active} \times \text{Capacité Spécifique de Stockage}$$

b- Comparaison entre les méthodes :

La méthode des débits consiste à simuler le fonctionnement du système hydrologique constitué par le bassin versant et l'ouvrage de stockage pour un ensemble de pluies de projet ou de pluies réelles. Il peut sembler curieux de faire un lien entre les deux méthodes (des pluies et des débits) que tout semble opposer et pourtant la méthode des pluies peut être considérée comme une version simplifiée de la méthode des débits.

Des comparaisons ont été menées sur des séries pluviométriques longues des stations Montpellier Bel Air et Paris-Montsouris mettant en évidence le fait que la méthode des volumes donnait des valeurs supérieures à celles de la méthode des pluies. Les résultats obtenus sur la station Montpellier Bel Air à partir d'enregistrements pluvio-graphiques effectués sur 52 ans montrent des écarts de capacité entre les deux méthodes, pour une période de retour de 10 ans, variant de 5 à 50%.

On comprend bien pourquoi intuitivement. Dans la méthode des pluies, on isole et on extrait les événements "intéressants" d'une série pluviométrique complète, on perd alors la notion de succession des pluies. Or pour certains débits de fuite, et compte tenu du temps de vidange, plusieurs épisodes pluvieux peuvent se produire successivement, la deuxième pluie se produisant alors que le bassin n'est pas complètement vidangé de la première.

IV-1-4 Méthode adaptée

	Valeur à calculer	Valeur retenue ou calculée
Données générales	Surface totale (S) se décompose en deux surfaces identifiables : $S = S_{imper} + S_{végét}$ ($S_{impermeable} = \dots \dots \dots m^2$) ($S_{végétalisée} = \dots \dots \dots m^2$)	$S = \dots \dots \dots m^2$ Rappel : $1 \text{ ha} = 10\,000 \text{ m}^2$
	Coefficient de ruissellement	$C_r \text{ imperméable} =$ $C_r \text{ végétalisée} =$
	<u>Rejet à débit limité</u> : débit de rejet autorisé (q) <u>Infiltration prévue</u> , perméabilité du sol (k)	$q = \dots \dots \dots l/s.ha$ $k = \dots \dots \dots m/s$
Choix de l'événement pluvieux	Période de retour	$T = \dots \dots \dots ans$
Débit des fuites	<u>Rejet à débit limité</u> : $Q_f = S \times 10^{-7} \times q$ <u>Infiltration</u> : • Pour des bassins : $Q_f = S_{font \text{ du bassin}} \times k$ • Pour des noues ou fossés : $Q_f = S_{miroir} \times k$ • Pour des puits ou tranchées : $Q_f = 0,5 \times S_{parois \text{ verticales}} \times k$ Pour toutes ces formules les surfaces sont en m^2 .	$Q_f = \dots \dots \dots m^3/s$ $Q_f = \dots \dots \dots l/s$ Rappel : $1 m^3/s = 1000 l/s$
Stockage	Coefficient d'apport global $C_{aglobal} = C_{imper} \times S_{imper} + C_{végét} \times S_{végét}$	$C_{aglobal} = \dots \dots \dots$
	Surface active $S_a = C_{aglobal} \times S$	$S_a = \dots \dots \dots m^2$ $S_a = \dots \dots \dots ha$
	Débit spécifique de vidange $Q_s = 60\,000 \times Q_f / S_a$ (avec Q_f en m^3/s et S_a en m^2)	$Q_s = \dots \dots \dots mm/min$
	Hauteur maximale à stocker (déterminé à partir du graphique)	$\Delta H = \dots \dots \dots mm$
	Volume d'eau pluviale à stocker $V_{max} = 1,2 \times 10 \times \Delta H \times S_a$	$V_{max} = \dots \dots \dots m^3$

Tableau IV-1 : Tableau simplifiant les calculs de mémoire.

N.B : l'infiltration est possible lorsque la perméabilité $5.10^{-6} < 2.10^{-5}$

Type de sols	Capacité d'infiltration en mm/h	En m/s
Sable grossier	500	$1,4.10^{-4}$
Sable fin	20	$5,6.10^{-6}$
Sable fin limoneux	11	$3,1.10^{-6}$
Gravier léger	10	$2,8.10^{-6}$
tourbe	2,2	$6,1.10^{-7}$
limon	2.1	$5,8.10^{-7}$
Argile légère	1,5	$4,2.10^{-7}$
Argile modérément lourde	0,5	$1,4.10^{-7}$
Limon argileux	0,4	$1,1.10^{-7}$

Tableau IV-2 : Capacité d'infiltration selon la texture du sol [Source- Année].

Degré d'infiltration(cm/min)	Coefficient k(m/s)	Type d'infiltration possible
< 0,03	$< 5.10^{-6}$	Aucune infiltration possible
0 ,03 < 0,12	$5.10^{-6} < 2.10^{-5}$	Infiltration de surface possible
0,12 < 0,30	$2.10^{-6} < 2.10^{-3}$	Secteur idéal pour tous les infiltrations
> 30	$>5.10^{-3}$	Aucune infiltration admissible la perméabilité élevé offrant un risque de contamination de la nappe phréatique.

Tableau IV-3 : Possibilité d'infiltration selon la perméabilité sol [Source- Année].

CONCLUSION

Le dimensionnement des ouvrages de gestion des eaux pluviales doit tenir compte pour le débit entrant :

- de la pluviométrie (dont les événements exceptionnels pour les ouvrages publics) ; du coefficient de ruissellement ;
- de la surface totale de captage ;
- de la surface imperméable de captage.

Et pour le débit sortant :

- du débit de fuite autorisé, • du délai de vidange maximum acceptable (6 heures, pour que l'ouvrage puisse absorber deux orages consécutifs) ;
- de la pollution à éliminer et du devenir souhaité de l'eau (récupération, rejet vers milieu naturel ou réseau public) ;
- de la capacité d'infiltration du sol (pour les ouvrages d'infiltration).

CHAPITRE V : APPLICATION

V-1 PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

L'air d'étude est situé au niveau de la future ville d'el BOUNI. Ancienne terre agricole, aujourd'hui, cette zone est destinée à jouer un rôle important dans la zone vu sa position stratégique (Lieu d'articulation entre El BOUNI et BOUKHADRA). En position entre deux urbanisations, ce site est destiné à accueillir des équipements de grandes envergures.

V-1-1 Situation géographique :

L'air de la zone d'étude est délimité comme suite :

- A l'Ouest et au Nord : par BOUKHADRA ;
- Au sud : par la nouvelle voie recomposer du chemin de wilaya 22 ;
- A l'est : par l'entrée sud de la ville d'ANNABA RN16 ;
- Le terrain couvre une superficie de 190 ha.

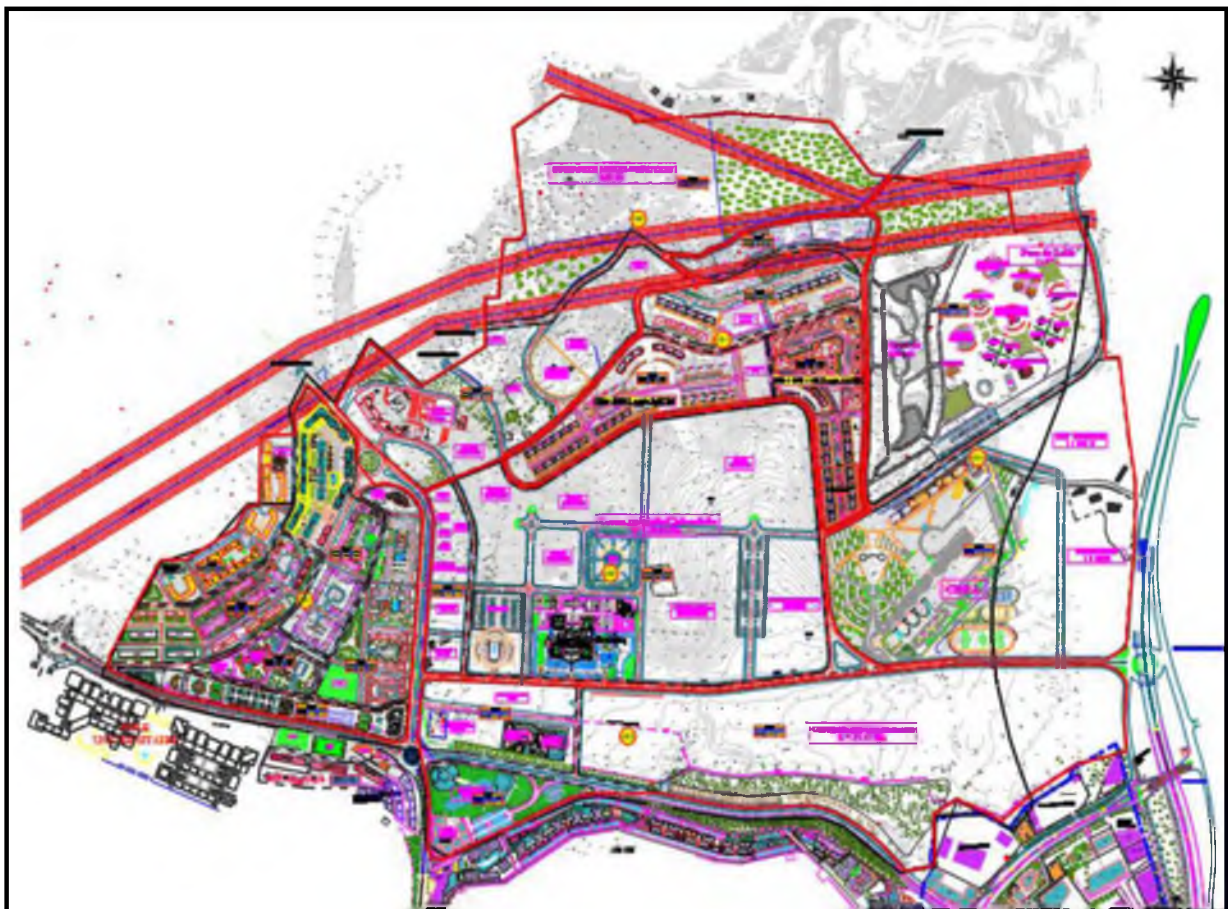


Figure V-1 : Plan d'occupation du sol BOUKHADRA III [urbane- 2019].



Figure V-2 : Image satellitaire de la zone d'étude .

V-1-2 Situation topographique et morphologique :

La zone d'étude est entourée d'un relief relativement accidenté, le terrain qui fait l'objet de notre étude présente une morphologie variée et très accidenté des formations géologiques alluvionnaire d'origine laguno-marine et de de formation métamorphique, allant des pentes douces au centre, au pente raides aux extrémités.

V-1-3 Climatologie

Le climat de la commune d'EL BOUNI est identique à celui de la plaine d'ANNABA qui est de type méditerranéen avec deux tendances bioclimatique liées à la topographie, à la mer à la végétation.

En générale sur les hauteurs règne un climat subhumide et sur les parties basses (plaine) un climat subhumide chaud. Il se caractérise par deux saisons :

- Une saison hivernale douce et humide allant d'octobre à avril à 86% des précipitations et une température moyenne de 14,3 C°.
- Une saison estivale chaude et séché allant de mai à septembre avec 14 de précipitation et une température moyenne de 24 C°.

V-2 COMMENT CHOISIR LA TECHNIQUE ALTERNATIVE ADAPTEE

V-2-1 Études amont

Dans le cadre d'un projet de construction, le pétitionnaire est amené à choisir une technique, qui doit tenir compte de plusieurs paramètres :

- la nature du projet (simple ou complexe) et de l'espace disponible: contexte urbain dense, péri-urbain... ;
- le mode d'assainissement: collectif ou individuel ;
- les conditions environnementales locales et des usages liés à l'Eau en aval du projet: sol, sous-sol (nappe), existence d'un exutoire naturel à proximité (cours d'eau, plan d'eau) ;
- la nature du projet et ses impacts potentiels sur le milieu naturel ;
- la nature géologique de sols ;
- la valorisation de l'ouvrage (l'eau constitue un élément structurant de la trame urbaine);
- le coût, de l'entretien et de la gestion de l'ouvrage pour assurer sa pérennité.

Lors de l'étude, une attention particulière devra notamment être apportée aux éléments suivants :

❖ Topographie :

L'étude de la topographie du site est la première étape technique à réaliser afin de vérifier la faisabilité du projet :

- En fonction des cotes de fil d'eau des collecteurs d'eaux pluviales d'arrivée et de départ,
- Par évaluation de la capacité de stockage pour différentes côtes du niveau de l'eau,
- Par approche des volumes de terrassements éventuellement nécessaires.

❖ Études géotechniques :

Les études géotechniques permettent d'apprécier la faisabilité de réalisation d'un ouvrage. Ces études permettent de définir :

- Si les matériaux du sol conviennent pour une bonne stabilité des talus notamment lors de réalisation de bassins,
- La perméabilité des matériaux, leurs modalités de compactage,

- La fondation des ouvrages, les contraintes de mise en œuvre...

❖ Hydrologie/Hydraulique :

L'hydrologie permet de calculer les apports en eau du bassin versant et le volume d'eau à stocker.

L'hydraulique permet de dimensionner le réseau de transport amont et aval ainsi que les ouvrages techniques de l'ouvrage. Les calculs permettent de préciser le volume de stockage nécessaire et le comportement de l'ouvrage de rétention (temps de vidange, niveau des plus hautes eaux...).

❖ Étude qualité des eaux :

Elle permet de cerner les objectifs de dépollution des eaux de ruissellement dans l'ouvrage de rétention.

Les données obtenues grâce à ces différentes études constituent un préalable indispensable à la réalisation d'un ouvrage de rétention. Elles permettent de définir la meilleure implantation possible en tenant compte de l'ensemble des critères techniques.

V-2-2 Modélisation et dimensionnement des techniques alternatives

Pour faciliter la compréhension de ces techniques compensatoires, on vous propose dans ce travail quatre modèles tirés de la zone d'étude, on prendra compte de tous les caractéristiques de chaque parcelle (surface, perméabilité du sol, intensité, période de retour, débit de fuite...).

Données	
Infiltration prévue	$K = 10^{-3}$
Coefficient de ruissellement	$C_r = 0,6$
Intensité de pluie	$I = 180 \text{ l/s.ha}$

A- LA DIRECTION DES MOUDJAHIDINE :

A-1 Principe :

La surface de la couche superficielle imperméable couvre une totalité $S = 66631m^2$.
On suppose une infiltration dans les sous couches.

On a appliqué la technique alternative en réalisant des puits d'infiltration de 1,2 m de diamètre de 2.50m de profondeur. Permettant de drainée quelques milliers de mètres carrés et d'évacuer les eaux directement dans le sol. Cette technique a l'avantage de pouvoir être employées dans des zones où la couche de sol superficielle est perméable mais pour lesquelles les couches profondes ont d'importantes capacités d'infiltration.

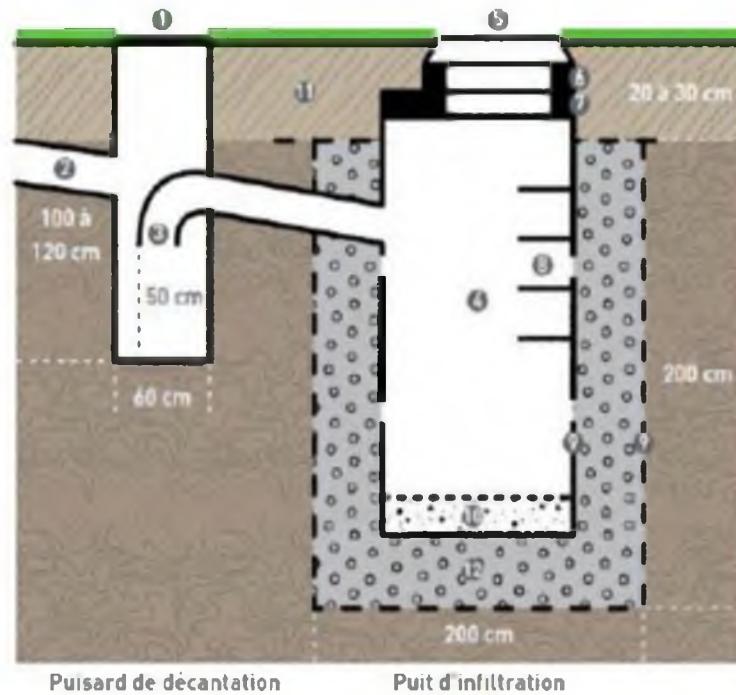
Dimensions d'ouvrage	
Surface	$A = 6631 m^2$
Rayon du puit	$r = 0,6m$
Profondeur de puit	$h_p = 2,5m$

A-2 Calcul du débit de fuite :

Résultats de calcul		
Surface verticale	$S_{paroi\ verticale} = 2\pi \times r \times h_p$ $S_{paroi\ verticale} = 2 \times 3,14 \times 0,6 \times 2,5$	$S_{paroi\ verticale} = 9,4 m^2$
Débit de fuite	$Q_f = 0,5 \times S_{paroi\ verticale} \times K$ $Q_f = 0,5 \times 9,4 \times 10^{-3}$	$Q_f = 0,0047 m^3/s$ $Q_f = 4,7 l/s$

A-3 Calcul du débit de ruissellement :

Résultats de calcul		
Débit de ruissellement	$Q = C_r \times I \times A$ $Q = 0,6 \times 180 \times 10^{-4} \times 6631$	$Q = 71,61 l/s$
Nombre de puits d'infiltration	$N = Q_f/Q$ $N = 71,61/4,7 = 15,23$	$N = 15 puits$



1	Regard de fermeture visible	7	Dalle réductrice (H 15cm)
2	Arrivée eau de pluie	8	Echelon
3	Coude de prolongement	9	Bâche perméable à l'eau (géotexte non-tissé)
4	Elément de puit (L=100 cm)	10	Couche filtrante (sable de rivière, cailloux grossier, à remplacer périodiquement)
5	Regard verrouillable compatible avec passage (piéton, voitures...)	11	Terre végétale.
6	Rehausse sous cadre (H 15cm)	12	Cailloux grossier calcaire (grave 20/80)

Figure V-3 : Schéma structure d'un puits d'infiltration.

B- ECOLE DE MUSIQUE

B-1 Principe :

On a choisi de réaliser la technique alternative d'une tranchée drainante qui a une faible emprise placée sur la chaussée ou le sol, d'une forme rapprochant d'un parallélépipède, on suppose que l'ouvrage est rempli avec une structure de certaine porosité.

Dimensions d'ouvrage	
Surface totale	4042 m ²
Surface non bâtie	A ₁ = 500 m ²
Longueur de tranchée	l ₁ = 10 m
Largeur de tranchée	L ₁ = 1 m
Profondeur de tranchée	h _{t1} = 0,5 m

B-2 Calcul du débit de fuite :

Résultats de calcul		
Surface verticale	$S_{paroi\ verticale} = 2 \times (h_{t1} \times l_1 + h_{t1} \times L_1)$ $S_{paroi\ verticale} = 2 \times (0,5 \times 10 + 0,5 \times 1)$	$S_{paroi\ verticale} = 11\ m^2$
Débit de fuite	$Q_f = 0,5 \times S_{paroi\ verticale} \times K$ $Q_f = 0,5 \times 11 \times 10^{-3}$	$Q_f = 0,0055\ m^3/s$ $Q_f = 5,5\ l/s$

B-3 Calcul du débit de ruissellement :

Résultats de calcul		
Débit de ruissellement	$Q = C_r \times I \times A_1$ $Q = 0,6 \times 180 \times 10^{-4} \times 500$	$Q = 5,4\ l/s$
Nombre de tranchée d'infiltration	$N = Q_f/Q$ $N = 5,5/5,4$	Les dimensions sont vérifiées

C- ECOLE DES BEAUX ARTS

C-1 Principe :

De même pour l'école de music on a choisi de réaliser la technique alternative d'une tranchée drainante qui a une faible emprise placée sur la chaussée ou le sol, d'une forme rapprochant d'un parallélépipède, on suppose que l'ouvrage est rempli avec une structure de certaine porosité.

Dimensions d'ouvrage	
Surface totale	4235 m ²
Surface non bâtie	$A_2 = 560\ m^2$
Longueur de tranchée	$l_2 = 8\ m$
Largeur de tranchée	$L_2 = 1\ m$
Profondeur de tranchée	$h_{t2} = 0,8\ m$

C-2 Calcul du débit de fuite :

Résultats de calcul		
Surface verticale	$S_{paroi\ verticale} = 2 \times (h_{t2} \times l_2 + h_{t2} \times L_2)$ $S_{paroi\ verticale} = 2 \times (0,8 \times 8 + 0,8 \times 1)$	$S_{paroi\ verticale} = 14,4\ m^2$
Débit de fuite	$Q_f = 0,5 \times S_{paroi\ verticale} \times K$ $Q_f = 0,5 \times 14,4 \times 10^{-3}$	$Q_f = 0,0072\ m^3/s$ $Q_f = 7,2\ l/s$

C-3 Calcul du débit de ruissellement :

Résultats de calcul		
Débit de ruissellement	$Q = C_r \times I \times A_2$ $Q = 0,6 \times 180 \times 10^{-4} \times 560$	$Q = 6,048 \text{ l/s}$
Nombre de tranchée d'infiltration	$N = Q_f / Q$ $N = 7,2 / 6,04$	Les dimensions sont vérifiées

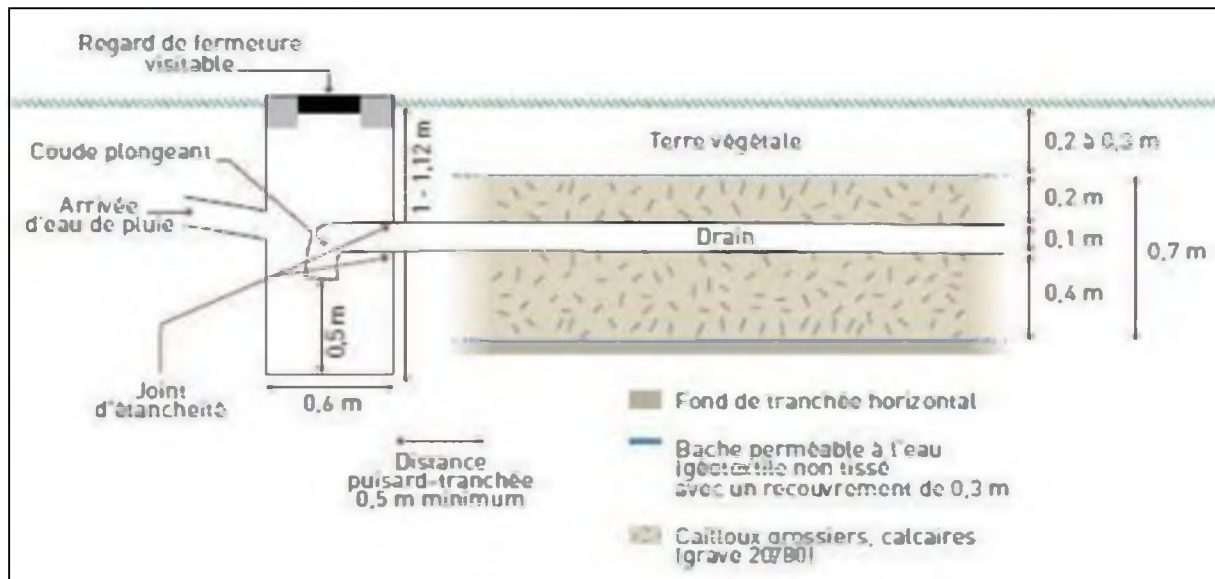


Figure V-4 : Exemple d'une tranchée drainante.



Figure V-5 : Coupes structure d'une structure drainante.

D- PARKING DE 360 PLACES DESTINE A L'HOPITAL

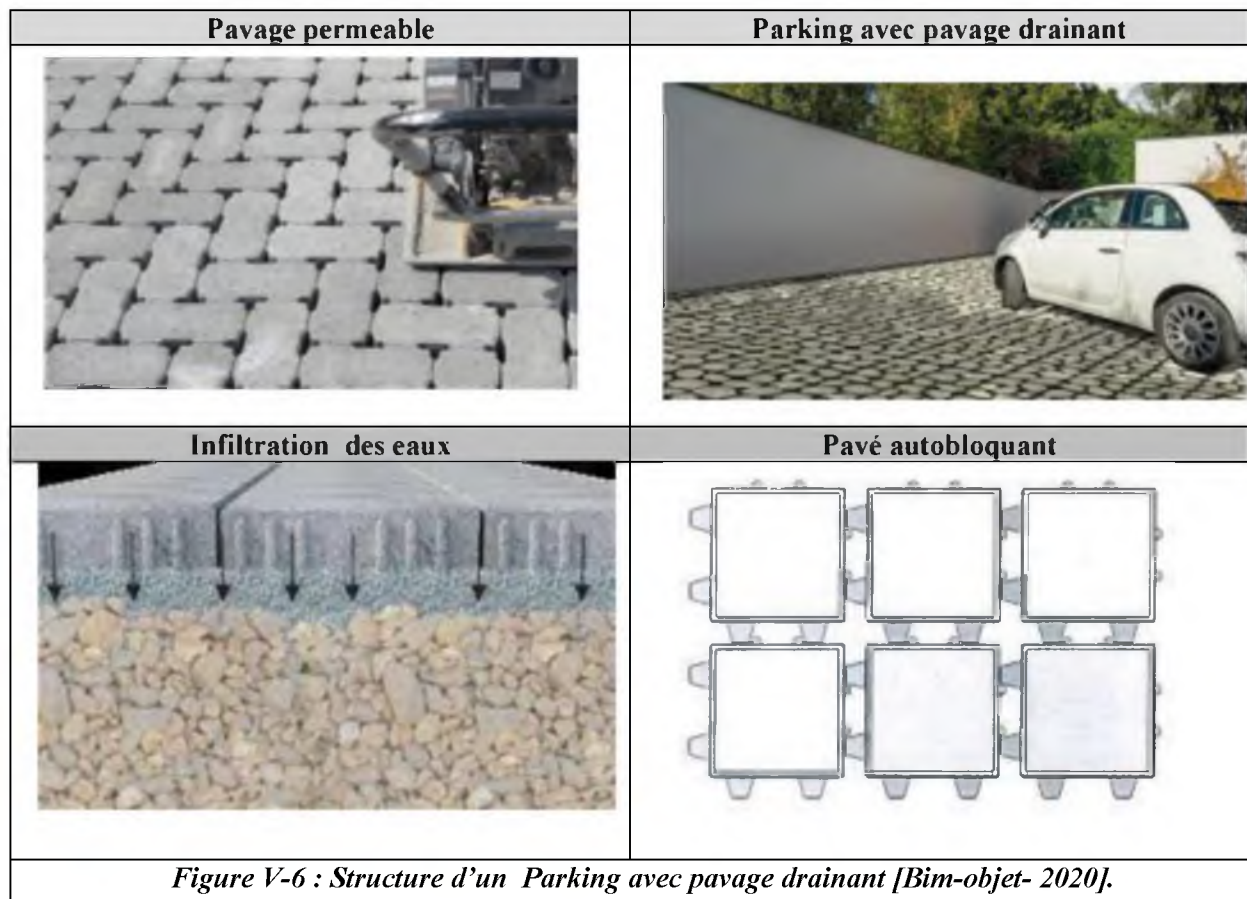
Dimensions d'ouvrage	
Surface totale	9950 m^2
Longueur de tranchée	$l_3 = 99,74 \text{ m}$
Largeur de tranchée	$L_3 = 99,74 \text{ m}$
Profondeur de tranchée	$h_3 = 0,6 \text{ m}$

D-1 Calcul du débit de fuite :

Résultats de calcul		
Surface verticale	$S_{\text{paroi verticale}} = 2 \times (h_3 \times l_3 + h_3 \times L_3)$ $S_{\text{paroi verticale}} = 2 \times (0,6 \times 99,74 + 0,6 \times 99,74)$	$S_{\text{paroi verticale}} = 239,37 \text{ m}^2$
Débit de fuite	$Q_f = 0,5 \times S_{\text{paroi verticale}} \times K$ $Q_f = 0,5 \times 239,37 \times 10^{-3}$	$Q_f = 0,1196 \text{ m}^3/\text{s}$ $Q_f = 119,68 \text{ l/s}$

D-2 Calcul du débit de ruissellement :

Résultats de calcul		
Débit de ruissellement	$Q = C_r \times I \times A_3$ $Q = 0,6 \times 180 \times 10^{-4} \times 9950$	$Q = 107,46 \text{ l/s}$



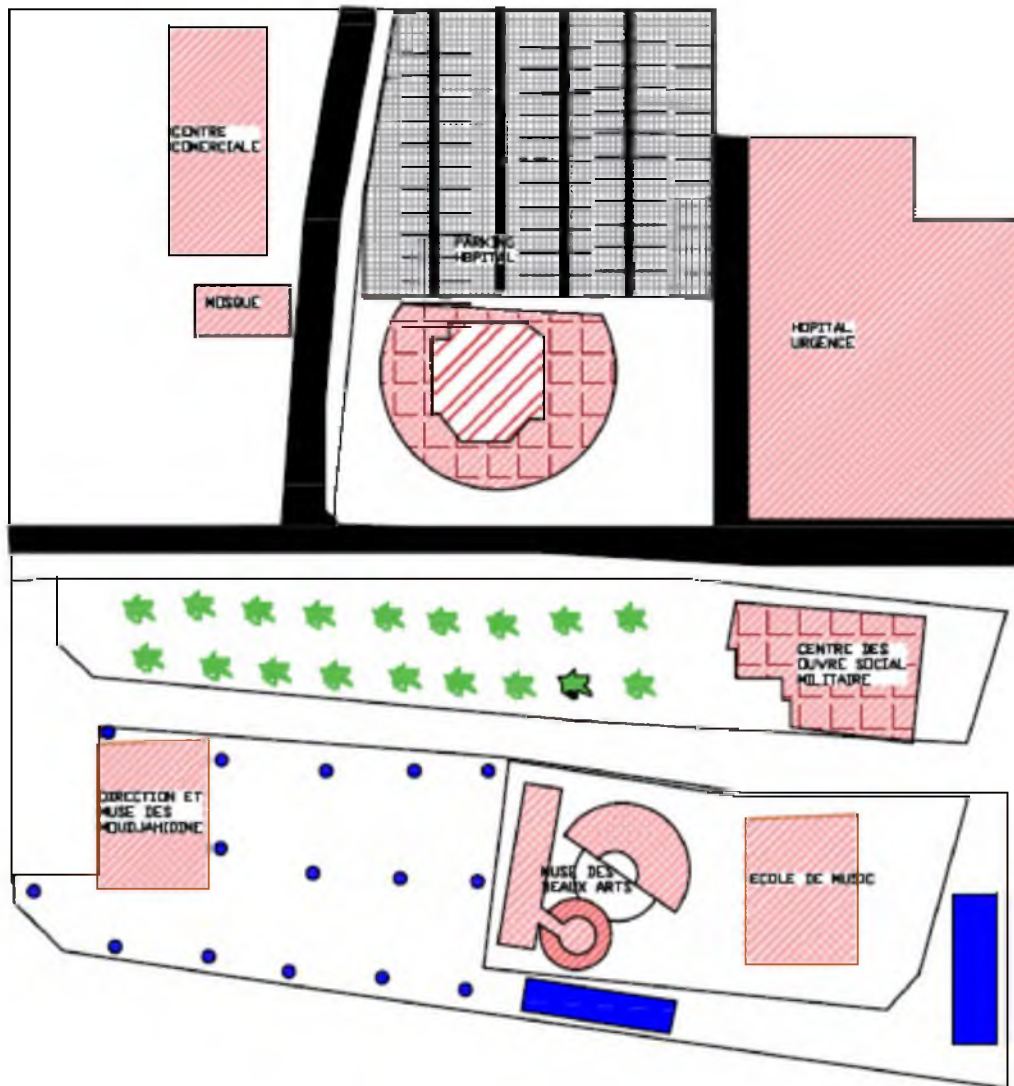


Figure V-7 : Localisation des ouvrages dimensionnés.

CONCLUSION

De l'analyse bibliographique des différents modèles de calcul des débits des eaux pluviales, il apparaît évident que les courbes Intensités-Durées-Fréquences, sont les éléments clés dans tous les dimensionnements d'ouvrage relatif à l'assainissement, de ce fait il est nécessaire de maîtriser le phénomène de pluie avant la construction du modèle de calcul du débit de pointe ou la construction de l'hydrogramme résultant à l'exutoire du bassin versant. Nous nous sommes intéressés à l'averse de projet qu'il faut utiliser pour différentes études. Il a été nécessaire de traiter les données pluviométriques disponibles, pour pouvoir déterminer les paramètres des précipitations pour la région d'ANNABA.

CONCLUSION GENERALE

Le monde compte actuellement 19 villes de plus de 10 millions d'habitants, il en comptera 27 en 2025. Les conséquences de ce développement urbain inexorable se manifestent par une imperméabilisation croissante des surfaces et donc un accroissement du ruissellement urbain, puisque l'eau s'infiltré moins dans les sols. L'eau arrive ainsi bien plus vite vers les points bas, ne permettant pas un écoulement progressif vers les réseaux d'assainissement. Ce déséquilibre provoque de multiples risques d'inondation de plus en plus fréquents et préoccupants ainsi qu'un transfert supplémentaire de flux de polluants vers le milieu naturel et une diminution théorique de la recharge des nappes. Depuis le 19^e siècle, différents concepts ont modelé la gestion des eaux pluviales : un concept hygiéniste apparaît dès le 19^e dans les pays développés avec pour objectif principal d'évacuer le plus rapidement possible les eaux souillées de toute nature » de la ville. Pour ce faire, des réseaux d'assainissement souterrains sont créés et se développent jusque dans les années 1960—à la fin des années 1960, le concept hydraulique de l'assainissement fait son apparition et préconise au contraire le ralentissement des écoulements sur les surfaces urbanisées grâce notamment à la création de bassins de rétention des eaux pluviales. Le terme de « **techniques alternatives** » fait alors son apparition et associe en plus des bassins de stockage, des techniques d'infiltration, à des échelles plus ou moins grandes, A la fin des années 1980, la prise en compte de l'impact des eaux pluviales sur le milieu récepteur fait que le concept environnementaliste s'impose, notamment du fait de l'imperméabilisation des sols et de l'extension de l'urbanisation qui engendrent de plus en plus de volumes d'eaux pluviales à collecter. Cette situation conduit à recourir à des ouvrages enterrés de taille toujours plus imposante et toujours plus chers pour évacuer les eaux pluviales. Ce concept prend également son essor du fait de l'évolution des politiques publiques et vise, par une approche plus « globale », à assurer simultanément différents enjeux, comme la protection des biens et personnes, ainsi que la protection des milieux.

Les techniques alternatives ne sont plus présentées seulement comme des outils techniques d'assainissement, mais également comme des équipements urbains, multifonctionnels et intégrés dans la ville. La restauration d'un cycle local de l'eau en milieu urbain devient donc un défi à relever dans le cadre de projets d'aménagement « soutenables » et une réelle opportunité visant à améliorer l'intégration de l'eau dans la ville et à considérer l'eau comme une ressource et non plus comme une contrainte ou une nuisance.

Depuis quelques années, les enjeux d'amélioration du cadre de vie, de réappropriation de l'eau par les habitants et d'adaptation au changement climatique, sont devenus prégnants, le constat d'une diminution de la pluviométrie, d'une augmentation des épisodes de fortes pluies, mais aussi des températures et de la détérioration de la qualité de l'air. L'échelle métropolitaine de l'Éco-Cité apparaît ainsi comme une réelle opportunité pour répondre à ces enjeux, afin de permettre : une meilleure régulation hydraulique des eaux ; un traitement des eaux avant rejet au milieu naturel le développement d'une nouvelle biodiversité l'eau ; l'amélioration du cadre de vie en lien avec la gestion de l'eau, en aménageant des espaces d'échanges et de partage à destination des habitants; la lutte contre le phénomène des îlots de chaleur, potentiellement couplée avec d'autres mesures innovantes telles que l'aménagement de zones ombragées et végétalisées, le choix de matériaux à faible absorption de chaleur; l'économie de l'eau par l'utilisation d'eaux brutes (non potable) par exemple ; et plus largement, une contribution au bien-être des usagers dans la ville.

1- LISTE DES FIGURES

Figures	Page
1-Figure I-1 : Rome -Aqueducs gravitaires (drainage des eaux pluviales) [Source-	4
2-Figure I-2 : Paris en 1832, quand le choléra dévastait la capitale [Source-Année] .	6
3-Figure I-3 : Photographie d'un égout de Paris en 1861 par Nadar[Source-Année]	7
4- Figure I-4 : Les différents étapes de traitement des eaux usées STEPS [Bazar G. 2003]	10
5- Figure I-5 : Schéma d'un réseau séparatif [Certu 2003] .	11
6- Figure I-6 : L'effet hydraulique des structures de stockage [Euridice 92-1997] .	12
7- Figure I-7 : Vue de la ville nouvelle de DEX (DumfermlineEastern Expansion) en Écosse [Euridice 92-1997]	13
8- Figure I-8 : Vue d'une tranchée drainante devant une habitation [Bob Bray-7/2005].	14
9- Figure I-9 : Les enjeux de gestion des eaux pluviales [Certu 2003].	16
10- Figure II-1 : Chaussée-réservoir.	22
11- Figure II-2 : Chaussée drainante absorbante	22
12- Figure II-3 : Exemple de gestion des eaux de pluies [Thomas J.-S et all 2000 :].	22
13- Figure II-4 : Parking absorbe la pluie et la stocke avant de la relarguer lentement, et de manière différée [Source-Année] .	25
14- Figure II-5 : Un filtre en nid d'abeille, intégrée dans le réseau, pré-épure l'eau de ruissellement avant un stockage/infiltration en noue ou bassin végétalisé [Source-Année].	25
15- Figure II-6 : Ces pavés autobloquants laissent l'eau percoler dans une structure sous-jacente poreuses qui fait office de réservoir et zone-tampon.	27
16-Figure II-7 : Cette noue absorbe les pics de ruissellement sans envoyer l'eau vers l'aval. Elle s'y infiltrera lentement dans le sol, en grande partie dépolluée par les plantes et les bactéries naturellement présentes.	27
17- Figure II-8 : Ce rond-point fleuri cache plusieurs dizaines de mètres cubes d'une structure réservoir qui peut en quelques dizaines de minutes absorber le surplus d'eau d'une forte pluie d'orage, avant qu'elle ne ruisselle vers un point bas où elle provoquait autrefois des inondations.	27
18- Figure II-9 : Le pavage non maçonné permet de diminuer le ruissellement, mais il est plus fragile et il y a risque de pollution si la nappe sous-jacente est vulnérable	27
19- Figure III-1 : Etat des lieux et pistes de réflexions pour un futur programme de recherche action [Ricardo Hinojosa-2015].	31
20-Figure III-2 : Le cercle vicieux des problèmes d'assainissement dans les pays en voie de développement	32
21- Figure III-3 : Importantes inondations à Dakar au Sénégal après des pluies exceptionnelles [Ms-aplice-2009].	33
22- Figure III-4 : Demarche de mise en œuvre d'une politique d'assainissement et points clés	37
de la réussite du processus	37
23- Figure IV-1 : Schéma de principe de la méthode des pluies ;	43
[Chocat et Cherqui- 2018].	43
24- Figure IV-2 : Relations entre t_{ee} , Q_v et V_{max} [Chocat et Cherqui- 2018].	45
25- Figure IV-3 : Évolution du volume stocké dans un ouvrage fonctionnant selon les hypothèses H1 et H2.	47
26- Figure IV-4 : Pluie de projet double triangle [Source-Année].	48
27- Figure IV-5 : Écart relatif entre les volumes spécifiques nécessaires calculés en	49

LISTE DES TABLEAUX ET DES FIGURES

<i>utilisant une pluie double triangle symétrique et en utilisant une pluie bloc (méthode des pluies classiques) en fonction du paramètre b de la formule de Montana et du rapport $k = \frac{D_0}{D}$ entre la durée de la période de pluie intense et la durée totale de la pluie [Chocat-2020].</i>	
<i>28- Figure IV-6 : Évolution des différentes grandeurs en fonction du temps [Source-Année].</i>	52
<i>29- Figure IV-7 : Courbe des hauteurs cumulées sur la durée d'analyse [Source-Année].</i>	55
<i>30- Figure IV-8 : Courbes permettant la détermination de la hauteur spécifique [Source-Année].</i>	55
<i>31- Figure V-1 : Plan d'occupation du sol BOUKHADRA III [urbane- 2019].</i>	60
<i>32- Figure V-2 : Image satellitaire de la zone d'étude [googlemaps- 2020].</i>	61
<i>33- Figure V-3 : Schéma structure d'un puits d'infiltration.</i>	65
<i>34- Figure V-4 : Exemple d'une tranchée drainante.</i>	67
<i>35- Figure V-5 : Coupes structure d'une structure drainante.</i>	67
<i>36- Figure V-6 : Structure d'un Parking avec pavage drainant [Source- Année].</i>	68
<i>37- Figure V-7 : Localisation des ouvrages dimensionnés.</i>	69

2- LISTE DES TABLEAUX

Tableaux	Page
<i>Tableau I-1 : Événements de référence en matière d'eau et d'assainissement au Royaume-Uni, France et en Grèce jusqu'au XX^e siècle [Félix Nadar décembre 2013].</i>	8
<i>Tableau I-2 : Événements de référence au Royaume-Uni, en France et en Grèce du début du XX^e siècle à nos jours [Charle de Saint saveur le 22 mars 2020].</i>	16
<i>Tableau IV-1 : Tableau simplifiant les calculs de mémoire.</i>	58
<i>Tableau IV-2 : Capacité d'infiltration selon la texture du sol [Source- Année].</i>	59
<i>Tableau IV-3 : Possibilité d'infiltration selon la perméabilité sol [Source- Année].</i>	59

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- Azzout Y., Alkakah E., Barraud S., Cres F-N., 1994. *Techniques alternatives en assainissement pluvial. Choix, conception, réalisation et entretien.* Tec et Doc, Lavoisier, Paris, 371 p.
- Bertrand C., Lehoucq C., Bignon E., Michaud A-C., 2010. Comment mettre en place une gestion pérenne des ouvrages de régulation des eaux pluviales ? *Novatech'2010*, Lyon (France), 28-30/06/2010, Villeurbanne, GRAIE, pp. 1-8.
- Bourgogne P., 2009. Les techniques alternatives sur la communauté urbaine de Bordeaux. 25 ans de retour d'expérience. *Techniques Sciences Méthodes*, 6, pp. 62-68.
- Bressy A., Gromaire M-C., Robert-Sainte P., Saad M., Chebbo G., 2009. Gestion à l'amont des eaux pluviales. Incidences sur les flux hydrauliques et la contamination métallique. *Techniques, Sciences, Méthodes*, 7-8, pp. 78-85.
- Brouquisse F., 2001. Influence des techniques alternatives sur le risque inondation par ruissellement pluvial. Étude de la zone artisanale du Rouquet (Mérignac). In : *Novatech'2001*, Lyon (France), 25-27/06/2001., Villeurbanne, GRAIE, pp. 1015-1018.
- Brown O., Lecoite T., 2009. Les bassins de retenues en Seine-Saint-Denis. Analyse des coûts. *Techniques Sciences Méthodes*, 6, pp. 46-52.
- Carré C., Deutsch J-C., Deroubaix J-F., Chouli E., 2004. Les voies de la décision dans la gestion des eaux pluviales en Europe. Pour une analyse des nouvelles formes de politisation de l'assainissement en Europe. In : *Novatech'2004*, Lyon (France), 07-08/06/2004. Villeurbanne, GRAIE, pp. 333-340.
- Certu, 2008. *L'assainissement pluvial intégré dans l'aménagement. Éléments clé pour le recours aux techniques alternatives.* Ministère de l'Écologie, du Développement et l'Aménagement Durable, Lyon, Certu, 180 p.
- Chocat B., 1994. Mieux gérer les eaux pluviales : les techniques alternatives d'assainissement. *Dossier Envirhonalpes*, Lyon, INSA (Institut National des Sciences Appliquées), 20 p.
- Chocat B., 1997. Techniques alternatives. In : Chocat. *Encyclopédie de l'Hydrologie Urbaine et de l'Assainissement.* Tec et Doc, Lavoisier. Paris. pp. 968-979.
- Chocat B., 2009. Ruissellements et eaux pluviales à l'échelle du bassin versant : phénomènes, stratégies de contrôle et évolutions nécessaires. In : *2^{ème} Journée de l'eau de l'Assemblée des Pays de Haute Savoie*, Annecy-Brassens (France), 26-27/05/2009. Disponible à : <http://www.graie.org/graille/index.htm> (consulté le 14/06/2011)
- Conseil Général de la Seine-Saint-Denis., 1997. *L'aménagement et la maîtrise des eaux pluviales en Seine-Saint-Denis (présentation et analyses du recensement des ouvrages de rétention privés ou communaux.* Bobigny, Direction de l'Eau et de l'Assainissement, 12 p.
- Deutsch J-C., 2000. *Les techniques alternatives.* Marne-la-Vallée, École des Ponts ParisTec, 8p. Disponible à : www.enpc.fr/cereve/HomePages/tassin/hydurb00/lessons/.../texte.pdf (consulté le 22/11/2010)
- Deutsch J-C., Vullierme M., 2003. L'évolution des techniques. *Flux*, 52-53, pp. 17-26.
- 20
- Dussart B., 2009. Conception et réalisation de bassins de stockage-restitution en site urbain. Retours d'expérience. *Techniques Sciences Méthodes*, 6, pp. 37-45.
- Gaber J., Balades J-D., 2004. La prévention du risque inondation par ruissellement pluvial en France. In : *Novatech'2004*, Lyon (France), 07-08/06/2004. Villeurbanne, GRAIE, pp. 1163-1170.
- Guelzim M., 2007. *Limitation des débits d'eaux pluviales en zones urbanisées. Quelles valeurs ? Sur la base de quels critères ? Que dit la législation ?* Synthèse technique, ENGREF (École Nationale du Génie Rural, des eaux et des Forêts), Montpellier, Études

BIBLIOGRAPHIE

Conseils. eau, Saturargues, 16 p.

Guillon A., Lovera M., Sénéchal Chr., 2008. Les ouvrages de gestion des eaux pluviales à la parcelle en France. État des lieux en terme de contrôle et d'entretien. *Techniques Sciences Méthodes*, 12, pp. 69-78.

Konstantinos C., 1997. La régulation des systèmes socio-techniques sur la longue durée. In : Garipey M., Marié M., *Ces réseaux qui nous gouvernent*. Paris, L'Harmattan, Coll. Villes et Entreprises, pp. 60-83.

Lovera, M., Blanchet F., 2009. De la conception à l'exploitation des bassins de rétention. Retours d'expérience. *Techniques Sciences Méthodes*, 6, pp. 31-36.

Maigne R., 2006. *La gestion durable des techniques alternatives en assainissement pluvial*. Synthèse technique, ENGREF (École Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts), Montpellier, Communauté Urbaine de Lyon, Lyon, 13 p.

Meunier A., 2009. *La phytoremédiation des Rejets Urbains par Temps de Pluie*. Synthèse technique, ENGREF (École Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts), Montpellier, Safege, Nanterre, 41 p.

Petrucci G., Deroubaix J-D., Bompard Ph., Deutsch J-C., de Gouvello B., Laffréchine K., Tassin B., 2010. Efficacité de la récupération des eaux de pluie dans la réduction des débordements de réseaux. Le cas du « Village Parisien » à Champigny sur Marne (Ile-de-France). In : *Novatech'2010*, Lyon (France), 28-30/06/2010, Villeurbanne, GRAIE, pp. 1-10.

Proton A., Chocat B., 2009. Comportement à long terme d'une tranchée d'infiltration. *Techniques Sciences Méthodes*, 5, pp. 41-50.

Renard F., Volte E., 2009. Étude des débordements de temps de pluie du système d'assainissement du Grand Lyon. *Techniques, Sciences, Méthodes*, 7-8, pp. 30-38.

Schlüter W., Jefferies, C., 2004. Modelling en monitoring three different in-ground SUDs in the East of Scotland. In : *Novatech'2004*, Lyon (France), 07-08/06/2004. Villeurbanne, GRAIE, pp. 1089-1096.

Sénéchal Chr., Guillon A., Kovacs Y., Lovera M., 2010. Pérenniser la gestion des eaux pluviales à la parcelles : cinq propositions à destinations des législateurs, des gestionnaires d'ouvrages et des aménageurs. In : *Novatech'2010*, Lyon (France), 28-30/06/2010, Villeurbanne, GRAIE, pp. 1-10.

Strecker E., Quigley M., Urbonas B., Jones J., Clary J., O'Brien J., 2004. Urban Stormwater BMP Performance : Recent findings from the International Stormwater BMP Database Project. In : *Novatech'2004*, Lyon (France), 07-08/06/2004. Villeurbanne, GRAIE, pp. 465-472.

Sites web de référence utilisés pour le texte de synthèse

<http://wikhydro.developpement-durable.gouv.fr/>

- <http://www.graie.org> : site du GRAIE, avec beaucoup de documents à télécharger et en particulier les actes des conférences Novatech.

- <http://www.certu.fr/eau-r266.html> : site du CEREMA – direction technique Territoires et Ville (ex CERTU)

Autres sites web pour trouver de la documentation sur les techniques alternatives

- <http://www.lesagencesdeleau.fr> : portail des sites des agences de l'eau.

- <http://www.adopta.fr> : site de l'Adopta, association de promotion des techniques alternatives.

<http://www.le.parisien.fr>. Par Charle de Saint saveur le 22 mars2020