

Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement
Brussels Instituut voor Milieubeheer



15 septembre 2006 – 31 décembre 2006

Étude en support au « Plan Pluies » pour la Région de Bruxelles - Capitale

Rapport de synthèse

Approche transversale de l'étude intégrant les retours d'expérience, les recommandations et les modalités d'une reproductibilité à Bruxelles

CEESE (ULB)
UHAGx (FUSAGX)
CERAA
ECOLAS
IRM



Coordonnées des auteurs

Coordination :

Dr. Walter Hecq
Mr. Bruno Heuze
Centre d'Etudes Economiques et Sociales de l'Environnement (CEESE)
Université Libre de Bruxelles (ULB)
Av. Jeanne, 44 CP124
B-1050 Bruxelles
Tel : +32-2-650 33 78
Fax : +32-2- 650 46 91
URL : www.ulb.ac.be/ceesse
e-mail : whecq@ulb.ac.be

Partenaires :

Pr. Sylvia Dautrebande, Ir Dr
Unité d'Hydrologie, Génie Rural & Environnemental
Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux (FUSAGx)
Passage des Déportés, 2
B-5030 Gembloux
e-mail : dautrebande.s@fsagx.ac.be

Benoît Thielemans architecte MA
ISA st-luc - ceraa asbl
134, chaussée de Charleroi
B-1060 Bruxelles
Tél : + 32-2-536 09 27
Fax : + 32-2-539 40 69
e-mail : benoit.thielemans@skynet.be

Dr. Ir. Renaat De Sutter
ECOLAS N.V.
"Mercatorgebouw" , Kortrijksesteenweg 302
B-9000 Gent
Tel. +32-9-241 77 00
Fax +32-9-241 77 01
e-mail: renaat.desutter@ecolas.be

François Brouyaux
Christian Tricot
Institut Royal Météorologique de Belgique (IRM)
Avenue Circulaire, 3
B-1180 Bruxelles
Tel : +32-2-373 05 25
Fax : +32-2-373 03 97
e-mail : francois.brouyaux@oma.be
Christian.Tricot@oma.be

Table des matières du rapport de synthèse

1. INTRODUCTION.....	7
2. OBJECTIFS DE L'ÉTUDE	8
3. DELIMITATION DE L'ETUDE.....	8
4. MÉTHODOLOGIE DE TRAVAIL	9
5. CONTEXTE URBAIN DES PRINCIPALES VILLES ET QUARTIERS ETUDIÉS	10
5.1. GAND	10
5.2. TOURNAI	10
5.3. LONDRES.....	10
5.4. LILLE.....	11
5.5. BORDEAUX.....	11
5.6. QUARTIERS VAUBAN ET RIESELFELD A FRIBOURG EN BRISGAU	12
6. DONNEES METEOROLOGIQUES ET CLIMATOLOGIQUES POUR BRUXELLES	13
6.1. APPROCHE CLIMATOLOGIQUE	13
6.1.1. <i>Comparaison climatique des villes européennes reprises dans l'Etude</i>	13
6.1.2. <i>Tendances climatiques à Bruxelles</i>	13
6.2. APPROCHE MÉTÉOROLOGIQUE.....	16
6.2.1. <i>Contribution possible de l'IRM au « Plan Pluies de la RBC »</i>	16
6.2.1.1. A court terme	16
6.2.1.2. A moyen terme et selon les budgets disponibles	17
6.2.1.3. A plus long terme	17
7. POSITION DU PROBLEME HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE EN MILIEU URBAIN	18
7.1. PRINCIPES DE BASES ET GENERALITES	18
7.1.1. <i>Les pluies de forte intensité et de brève durée</i>	18
7.1.2. <i>La saturation des égouts et collecteurs</i>	19
7.1.3. <i>Les inondations pluviales urbaines</i>	19
7.1.4. <i>... Suite à des pluies de forte intensité et de brève durée</i>	19
7.1.5. <i>La qualité des eaux pluviales</i>	20
7.2. L'ALEA ET LE RISQUE D'INONDATION PLUVIALE URBAINE	20
7.2.1. <i>L'aléa d'inondation</i>	20
7.2.2. <i>Le risque Inondation</i>	21
7.3. LES ZONES SENSIBLES AU RUISSELLEMENT	21
7.3.1. <i>Le petit bassin versant</i>	22
7.4. LES ZONES NATURELLEMENT EXPOSEES AUX INONDATIONS	22
7.5. LES PRESSIONS SUR L'ALEA D'INONDATION	23
7.6. EN RESUME	24
7.7. LA REGION DE BRUXELLES CAPITALE	25
7.7.1. <i>L'imperméabilisation</i>	25
7.7.2. <i>Le réseau artificialisé de collecte, de transport et d'évacuation</i>	27
8. MESURES NON STRUCTURELLES : STRATÉGIES, PLANS, RÉGLEMENTATIONS	30
8.1. EN FRANCE	30
8.2. EN REGION WALLONNE	33
8.3. EN RÉGION FLAMANDE.....	35
8.4. RETOURS D'EXPERIENCE EN MATIERE DE MESURES ET CRITERES	37
8.4.1. <i>En général</i>	37
8.4.2. <i>En particulier</i>	37
8.4.2.1. Lille	37
8.4.2.2. Tournai	39
8.4.2.3. Bordeaux	39
8.4.2.4. Le « Grand Toulouse »	40
8.4.2.5. Ville de Rennes.....	41
8.4.3. <i>L'approche spatiale raisonnée</i>	42
8.5. EN CONCLUSION	43

9. MESURES STRUCTURELLES : TECHNIQUES PREVENTIVES.....	44
9.1. ASSAINISSEMENT COMPENSATOIRE	44
9.1.1. Principes généraux... ou les chemins de l'eau	44
9.1.2. Exemples de dispositifs d'assainissement compensatoire	45
9.1.2.1. Surfaces de collecte : sol et imperméabilisation	46
9.1.2.2. Surfaces de collecte pluviale : toitures.....	47
9.1.2.3. Transfert du ruissellement	48
9.1.2.4. Bassins secs	49
9.1.2.5. Noues, fossés absorbants engazonnés ou plantés.....	50
9.1.2.6. Bassins de rétention en eau.....	51
9.1.2.7. Citerne d'eau de pluie.....	52
9.1.2.8. Canalisations surdimensionnées et réservoirs de stockage	53
9.1.2.9. Structures réservoirs	54
9.1.2.10. Puits d'infiltration.....	55
9.1.2.11. Régulation.....	56
9.1.2.12. Dispositifs de dépollution	57
9.2. ADAPTATION DES BÂTIMENTS	58
9.3. APPLICABILITÉ DES MESURES COMPENSATOIRES EN RÉGION DE BRUXELLES-CAPITALE	59
9.4. RETOURS D'EXPERIENCE EN MATIERE D'EFFICACITE DES MESURES	59
9.4.1.1. Les chaussées poreuses.....	60
9.4.1.1.1. Tournai	60
9.4.1.1.2. Bordeaux	61
9.4.1.1.3. Autres	62
9.4.1.2. Les toitures avec stockage	62
9.4.1.2.1. Aspects quantitatifs	63
9.4.1.2.2. Aspects qualité de l'eau pluviale.....	64
9.4.1.3. Les noues.....	65
9.4.1.4. Les Vues d'ensemble.....	65
9.4.1.4.1. Bordeaux	65
9.4.1.4.2. Seine-St-Denis.....	65
9.4.1.4.3. Douai	66
9.4.1.4.4. En synthèse.....	66
10. MODALITÉS DE FINANCEMENT ET STRUCTURE DES COÛTS.....	67
10.1. COÛT DES MESURES CONTRE LE RUISSELLEMENT URBAIN.....	67
10.1.1. Mesures « traditionnelles »	67
10.1.2. Mesures alternatives.....	67
10.1.2.1. Citerne d'eau de pluie.....	68
10.1.2.2. Rétention de l'eau au niveau des toitures-réservoir	69
10.1.2.3. Tranché drainante	70
10.1.2.4. Noue	70
10.1.2.5. Puits d'infiltration.....	70
10.1.2.6. Chaussée à structures réservoirs et revêtements perméables	72
10.1.2.7. Bassin de retenue.....	72
10.1.3. Retours d'expérience	73
10.2. MODALITÉS DE FINANCEMENT DE LA GESTION DES EAUX PLUVIALES	74
10.2.1. Taxes et redevances à l'assainissement.....	74
10.2.2. La redevance à l'imperméabilisation	75
10.2.3. Les primes et subventions	76
11. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS GÉNÉRALES.....	78
11.1. RETOUR D'EXPERIENCE	78
11.1.1. Le concept général.....	78
11.1.2. Les mesures compensatoires prioritaires	80
11.2. L'EFFICACITÉ DES MESURES	82
11.3. LA NECESSITE DE PLANIFICATION ET DE GESTION GLOBALE	83
11.3.1. Fixer une obligation de résultat	83
11.3.2. Fixer les modalités de contrôle et de conformité.....	84
11.3.3. L'entretien	85
11.3.4. Le suivi	85
11.3.5. Un financement approprié.....	86
11.4. RESUME ET RECOMMANDATIONS	87

12. LISTES DES ABRÉVIATIONS	90
13. BIBLIOGRAPHIE.....	92
14. LISTE DES CONTACTS.....	96

Table des figures

<i>Fig 1 : Evolution de la température annuelle à Bruxelles-Uccle entre 1833 et 2005 (données IRM)...</i>	14
<i>Fig 2 : Evolution de la quantité de précipitations annuelle à Bruxelles-Uccle entre 1833 et 2005 (données IRM).....</i>	14
<i>Fig 3 : Valeur annuelle la plus élevée de la quantité de précipitations cumulée sur 7 jours observée à Uccle entre 1898 et 2003 (données IRM).....</i>	15
<i>Fig 4 : Valeur annuelle la plus élevée de la quantité horaire de précipitations observée à Uccle entre 1898 et 2003 (données IRM).....</i>	15
<i>Fig 5 : Nombre de jours en été (juin à août) où la quantité de précipitations a dépassé 20 mm à Uccle entre 1880 et 2006.....</i>	16
<i>Fig 6 : Carte des inondations dans le Grand Tournai (par ruissellement ou par débordement de cours d'eau), sur base d'enquêtes (Document aimablement communiqué par la ville de Tournai à S. Dautrebande, FUSAGx).....</i>	21
<i>Fig 7 : Schéma de petit bassin versant, ses axes principaux et secondaires de concentration des eaux de ruissellement et les points critiques (jonction d'axes, axes-voiries, ...) (Schéma S. Dautrebande, FUSAGx).....</i>	22
<i>Fig 8 : En bleu : Surimpression des fonds de vallée et axes naturels de concentration des eaux de ruissellement à un extrait de carte topographique (Schéma S. Dautrebande, FUSAGx).....</i>	23
<i>Fig 9 : Résumé des effets des pressions anthropiques (Schéma S. Dautrebande, FUSAGx).....</i>	24
<i>Fig 10 : Schéma de la modification du cycle naturel de l'eau en raison de l'urbanisation : diminution de l'évapotranspiration réelle, de l'infiltration, de la recharge des nappes profondes et superficielles, de la contribution aux zones sourcières, au profit du ruissellement de surface ; apports extérieurs éventuels supplémentaires d'eaux de captage. (Aussi possibilité de modifications de la pluviométrie et de sa répartition locales en raison de microclimats) (Schéma S. Dautrebande FUSAGx).....</i>	25
<i>Fig 11 : Schéma des effets d'accélération des flux (Schéma S. Dautrebande FUSAGx).....</i>	25
<i>Fig 12 : PCD Région Bruxelles-Capitale (RBC) : (à gauche) en vert : espaces verts de la RBC, dont (à droite) agrandissement d'une zone ; source BE AGORA, ville de Bruxelles (1998).....</i>	26
<i>Fig 13 : Types d'espaces verts privés en RBC (Crédit photo : S. Dautrebande, FUSAGx).....</i>	26
<i>Fig 14 : Représentation symbolique de l'évolution temporelle de l'urbanisation dans un site de la RBC (carte de gauche extraite des Archives du Royaume, les deux photos aériennes de droite (source IGN) sont séparées de plusieurs années et sont volontairement dégradées pour faire apparaître qualitativement l'intensification progressive du bâti et des voiries (en blanc).....</i>	27
<i>Fig 15 : Evaluation sommaire de l'augmentation des volumes unitaires de ruissellement du fait de l'imperméabilisation (extrait Rapport annexe S. Dautrebande).....</i>	27
<i>Fig 16 : Réseau principal de réseau de collecteurs en RBC (Fiche IBGE/BIM).....</i>	28
<i>Fig 17 : Plan d'une partie d'un réseau d'égouttage en RBC.</i>	28
<i>Fig 18 : Résumé des modifications hydrologiques ou hydrauliques d'origine anthropique dans les petits bassins versants sensibles (Extrait Rapport annexe S. Dautrebande, FUSAGx).....</i>	29
<i>Fig 19 : Résumé des modifications hydrologiques ou hydrauliques d'origine anthropique dans les zones exposées aux inondations (Extrait Rapport annexe S. Dautrebande, FUSAGx).....</i>	29
<i>Fig 20 : Schéma de synthèse de la hiérarchie des plans et règlements traitant de la gestion des eaux pluviales en France.....</i>	31
<i>Fig 21 : Schéma de synthèse de la hiérarchie des plans et règlements traitant de la gestion des eaux pluviales en Région Wallonne.....</i>	33
<i>Fig 22 : Schéma de synthèse de la hiérarchie des plans et règlements en Région Flamande.....</i>	35
<i>Fig 23 : Les fonctions de l'assainissement compensatoire ou les chemins de l'eau (source : B. Thielemans, CERAA).....</i>	45
<i>Fig 24 : Vue axonométrique du Quartier Rieselfeld à Fribourg en Brisgau et graphique répartition des surfaces (en vert, les surfaces perméables) (source : ville de Fribourg; B. Thielemans – ceraa sur base des chiffres de la Ville de Fribourg).....</i>	46
<i>Fig 25 : détails de diverses toitures vertes de capacité de rétention d'eau entre 33 et 42 l/m² (source : documentation technico-commerciale Floradrain).....</i>	47

Fig 26 : les chemins de l'eau en plan, coupes et vue dans le quartier Vauban à Fribourg (sources : photo B. Thielemans – ceraa ; plan groupe de travail Forum Vauban ; coupes du service des eaux de la ville de Fribourg).....	48
Fig 27 : Bassin sec : espace vert collectif d'un ensemble de logements à Kupperbusch – Emscher Park - Allemagne ; vue en plan et coupe de principe d'un bassin sec (sources : photo B. Thielemans; Fascicule III - Les solutions compensatoires en assainissement pluvial. Version 2 du 20 février 2002 Laboratoire de Bordeaux - Section R.T.U.).....	49
Fig 28 : Vue et coupe d'un fossé dans le quartier Vauban à Fribourg (sources : photo de D. Vancutsem pour le ceraa ; coupe extraite du dépliant de la société mixte de gestion de l'assainissement Badenova).....	50
Fig 29 : Bassin en eau vue et coupe de principe ; exemple urbain à Pey Posterholz (NL) (Sources : Les eaux pluviales. Gestion intégrée. Jérôme Chaïb ; en bas à gauche photo B. Thielemans.).....	51
Fig 30 : Exemples de citernes : colonne « Plubo » et exemple d'une citerne d'eau de pluie au dessus du niveau d'évacuation (sources : documentation technico-commerciale Plubo ; dépliant de la société mixte de gestion de l'assainissement Badenova)	52
Fig 31 : Coupe dans une voirie avec canalisation surdimensionnée (sources : Fascicule III - Les solutions compensatoires en assainissement pluvial. Version 2 du 20 février 2002 Laboratoire de Bordeaux - Section R.T.U.).....	53
Fig 32 : Structures réservoir sous diverses formes (sources : plaquette « Les solutions compensatoires » CUB (photo); documentation technico-commerciale Wavin (structure alvéolaire); Les eaux pluviales. Gestion intégrée. Jérôme Chaïb.(schémas) ; Fascicule III - Les solutions compensatoires en assainissement pluvial. Version 2 du 20 février 2002 Laboratoire de Bordeaux - Section R.T.U.).....	54
Fig 33 : Puits d'infiltration avec décanteur préalable. (Source : Communauté d'Agglomération du Pays de Montbéliard. Guide de la gestion des eaux pluviales).....	55
Fig 34 : Schéma de principe d'un système de régulation du débit de fuite. (Source : Fascicule III - Les solutions compensatoires en assainissement pluvial. Version 2 du 20 février 2002 Laboratoire de Bordeaux - Section R.T.U.).....	56
Fig 35 : Dispositifs de dépollution des eaux pluviales après ruissellement et avant leur restitution au milieu naturel à Malmö en Suède et dans le quartier Riselfeld à Fribourg. (Sources : photo de B. Thielemans – ceraa ; ...).....	57
Fig 36 : Résumé des limitations générales de l'efficacité hydrologique ou hydraulique.	60
Fig 37 : Extrait de Compte-rendu de Commission de la CUB (Bordeaux) – Commission Assainissement et Eau : séance du 12 mai 2004.....	61
Fig 38 : Extrait de Compte-rendu de la CUB (Bordeaux) – Commission Assainissement et Eau : séance du 1 ^{er} décembre 2005.....	61
Fig 39 : Les Mesures compensatoires et les Techniques alternatives : un choix à composantes multiples, et une gestion coordonnée (Extrait rapport annexe S. Dautrebande).....	81

Table des tableaux

Tab 1 : Communes subsidiant l'installation d'une citerne d'eau de pluie en Région Wallonne.....	69
Tab 2 : Estimation grosso modo des coûts d'investissement et d'entretien auprès des systèmes d'infiltration.....	71
Tab 3 : Synthèse des coûts pour différentes techniques de gestion des eaux pluviales.....	73
Tab 4 : Le coût des différentes techniques compensatoires (hors foncier 2002).....	74
Tab 5 : Part de la redevance assainissement dans le prix de l'eau	75

1. Introduction

L'extension de l'urbanisation, par la multiplication des surfaces imperméables et des infrastructures linéaires et autres, constitue un facteur d'aggravation des processus de ruissellement de surface. La modification induite du cycle de l'eau porte sur une augmentation des volumes et débits ruisselés ainsi que sur la vitesse d'écoulement. Dans les zones naturellement exposées aux inondations, elle entraîne en outre une diminution de la capacité de stockage des excédents d'eau lors d'événements pluvieux importants.

Ensuite, les ouvrages hydrauliques de collecte, de transport et d'évacuation des eaux pluviales sont conçus pour évacuer « au plus vite » les flux et, par généralement, pour des situations pluviales non exceptionnelles ; à cela s'ajoute leur vétusté et des éventuels problèmes d'entretien.

D'autres interventions humaines sur le bassin versant aggravent encore le problème, par exemple le busage de ruisseaux ou le comblement de dépressions dans les fonds de vallée ; en milieu urbain et périurbain, ces modifications des axes d'écoulement naturel ont pour effet de réduire les capacités hydrauliques qui leur sont dévolues (lit majeur et lit mineur d'écoulement).

Enfin, il faut également s'interroger si, dans un contexte de changements climatiques, la fréquence des pluies intenses de courte durée à Bruxelles pourrait éventuellement mener à une aggravation du ruissellement.

L'ensemble de ces perturbations a pour résultat l'accroissement du risque d'inondation pluviale dans les milieux urbains. Conscients des nuisances engendrées par la modification du phénomène de ruissellement, les responsables politiques sont aujourd'hui à l'origine de la démarche veillant à déterminer les solutions les plus adéquates pour combattre ce risque naturel accru.

Cette étude s'intègre dans le cadre de l'élaboration d'un « Plan PLUIES pour Bruxelles-Capitale ». La mise en œuvre d'un tel plan demande un support d'informations pertinent tant du point de vue des sciences exactes, que des sciences humaines et des sciences appliquées. C'est donc dans cette optique que la présente étude a été réalisée.

L'étude a été réalisée par le consortium regroupant trois centres de recherche :

- le Centre d'Etudes Economiques et Sociales de l'Environnement de l'Université Libre de Bruxelles (CEESE-ULB) (coordination),
- l'Unité d'Hydrologie & Hydraulique agricole de la Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux (HA-FUSAGx),
- le Centre d'Etude, de Recherche et d'Action en Architecture (CERAA),

Par ailleurs, Les aspects climatologiques et météorologiques ont été traités par l'Institut Royal Météorologique de Belgique (IRM). Le groupe ECOLAS a également participé en sous-traitance, en une association momentanée.

2. Objectifs de l'étude

L'objectif est de fournir un document de réflexion pour l'élaboration d'un « Plan PLUIES pour la Région de Bruxelles-Capitale ». Cette aide à la planification est basée, comme demandé, sur l'analyse des options adoptées ou envisagées dans une perspective de développement durable par différentes régions et villes européennes en particulier.

L'analyse proposée s'attache à la comparaison de stratégies acquises ou projetées dans des villes présentant autant que possible des conditions écoclimatiques, hydrologiques, et d'urbanisation suffisamment proches de celles de la Région Bruxelles-Capitale (RBC). Les aspects positifs tout comme les éléments négatifs des mesures adoptées seront dès lors mis en évidence afin de nourrir la réflexion. Au-delà de ces critères de comparaison entre les villes observées et la Région de Bruxelles-Capitale, les villes de référence ont été choisies pour leur approche durable de l'assainissement, dépassant l'approche traditionnelle monofonctionnelle par réseau tout en intégrant, et conciliant des aspects environnementaux et économiques.

Conformément aux termes de référence, les différents éléments qui sont pris en compte pour l'analyse portent principalement sur le retour d'expérience de prévention et de gestion des inondations liées à la « *saturation des égouts et des collecteurs en zone urbaine suite à des pluies de forte intensité et de brève durée* ».

Pour rappel, en RBC, les principales inondations sont liées à des précipitations de fortes intensités et de courtes durées tombant sur des superficies relativement réduites (« petits bassins versants ») mais produisant des flux rapides et conséquents de ruissellement de surface via les réseaux d'égouts et de collecteurs ainsi que les linéaires de surface (voiries,...) ; ceux-ci sont reliés à des cours d'eau récepteurs soit voûtés soit plus rarement ou *in fine* à ciel ouvert et canalisés ou non, le réseau inclut des structures parfois complexes (déversoirs et bassins d'orage,...).

Le système à considérer en l'occurrence est donc composé de sous-systèmes, dont les éléments sont interdépendants : milieux naturels (eaux souterraines et de surface, milieux humides, etc, rarement totalement dans un état naturel), infrastructures (réseau, bassins d'orage, stations d'épuration,...), et aménagements (espaces publics, constructions,...).

Les interactions entre sous-bassins sont un aspect à ne pas négliger, que ce soit avec ou sans aménagements ; ceci demande une approche d'étude et, s'il échet, d'aménagement et de gestion, intégrée. Dans ce contexte, les répercussions des aménagements non seulement sur l'aval mais aussi sur l'amont sont à considérer en général.

3. Délimitation de l'étude

Au départ, cinq villes européennes ont été envisagées. Celles-ci présentent des conditions climatiques et hydrologiques suffisamment comparables à celles que

connaît Bruxelles. Par ailleurs, plusieurs de ces villes sont situées dans le district hydrographique de l'Escaut.

Ainsi ont été choisies les villes de Gand (Région Flamande), de Tournai (Région Wallonne) et de Lille (France), situées dans le bassin de l'Escaut, la ville de Londres, pour sa prise de conscience de l'apparition nouvelle de problèmes d'inondation en relation avec le réseau d'égouttage et pour sa vision prospective dans la perspective des changements climatiques, et Bordeaux, villes d'urbanisation ancienne dense en son centre, pour sa déjà longue expérience de réflexion depuis les années 80. L'intérêt s'est porté également sur d'autres villes et départements (Rennes, Douai, Seine-st-Denis, Hauts de Seine,...) ou même sur des quartiers comme Vauban et Rieselfeld à Fribourg en Brisgau, présentant des expériences ou des vues prospectives sur la question.

4. Méthodologie de travail

Deux sources d'information ont été investiguées : d'une part les documents officiels et de travail, d'autre part les rapports d'études et des articles scientifiques. L'analyse des différentes sources d'information est établie avec un regard critique et s'efforce dans le temps imparti de répondre à un certain nombre de critères tels que la validité scientifique, la cohérence, la reproductibilité, la précision, la comparabilité, la pertinence.

En vue de confirmer l'analyse, des contacts personnalisés ont été établis dans certains cas (voir liste de contacts au point 14).

5. Contexte urbain des principales villes et quartiers étudiés

5.1. Gand

Le territoire de la ville de Gand occupe 156,2 km² au total et compte 233.120 habitants (le 1/1/2006). Ceci correspond à une densité de population de 1.494 habitants/km². La densité de population dans les divers arrondissements varie fortement : de quelques dizaines d'habitants par km² (p.e. Mendonk) jusqu'à quelques milliers d'habitants par km² (p.e. Ledeborg, Gand centre). Cela s'explique par le caractère urbain de Gand centre et de Ledeborg, contrairement au caractère rural de Mendonk, St-Kruis-Winkel, etc.

Dans le passé Gand a dû faire face à multiples inondations causées par des précipitations importantes, en majeure partie pendant l'hiver. Toutefois, les inondations se produisent, ces dernières années, de plus en plus durant la période d'été. Les conséquences de ces inondations sont entre autres: caves, maisons et rues inondées à cause des égouts ne pouvant évacuer à temps toute l'eau de pluie, pollution des cours d'eau à cause de déversement des égouts dans les cours d'eau, dilution des eaux usées par laquelle l'installation d'épuration d'eau fonctionne mal.

Jusque dans les années 1990 des réseaux d'égouts principalement unitaires ont été placés. En raison de la politique actuelle, on essaye actuellement d'installer au maximum des réseaux d'égouts séparatifs. On estime actuellement *qu'environ 1% des réseaux d'égouts se composent d'un système* séparatif (communiqué de presse de Dirk De Baets, Service de Ponts et Chaussées de la ville de Gand).

5.2. Tournai

La population de Tournai s'élève à 67 534 (12 août 2006, SPF économie). La ville possède une densité de population peu élevée (315,7 hab/km²) répartie sur une superficie de 213,8 km² et s'implante dans les limites du sous-bassin hydrographique Escaut-Lys. Sa caractéristique urbaine est, à l'instar de Lille Métropole Communauté Urbaine développée ci-après, un développement urbain très hétérogène puisqu'on retrouve une typologie et une répartition de bâti allant d'un bâti ancien et dense implanté en centre urbain à un bâti isolé extrêmement étalé et discontinu.

Comme d'autres, la ville de Tournai doit ses inondations en partie à l'imperméabilisation des sols suite à l'urbanisation. Sa politique est actuellement englobée notamment dans une politique régionale de lutte contre les inondations lancée depuis 2003 sous le nom de Plan PLUIES de la Région Wallonne (Prévention et LUTte contre les Inondations et leurs Effets sur les Sinistrés)

5.3. Londres

Le Grand Londres qui comprend la Cité de Londres plus 32 arrondissements s'étend sur une surface de 1.584 km². Le Grand Londres est gouverné par le *Greater London Authority* (GLA), composé d'un maire élu, d'une assemblée et de services administratifs centraux.

En 2004 la population était estimée à 7,429 millions habitants. Par rapport aux statistiques de 2003, il s'agit d'une augmentation de 41.000 personnes. La tendance semble montrer que cette augmentation de la population se poursuivra dans les années à venir. La densité de la population du Grand Londres est, en moyenne, de 4.721 habitants par kilomètre carré.

Londres est construit dans la zone d'inondation naturelle de la Tamise et ses affluents. Ainsi Londres connaît une longue histoire liée aux problèmes d'inondation, qui semble s'aggraver ces dernières années.

Le réseau des égouts londonien est un système unitaire qui récupère les eaux usées et les eaux de ruissellement. Le réseau est gravitaire, drainant de l'ouest vers l'est, dans la direction des stations de traitements de Beckton et Crossness. *Ce système date de l'époque victorienne, sa capacité est insuffisante pour éviter les débordements en cas de fortes pluies.* De plus, il n'existe aucune carte assez complète des systèmes d'égouts et de drainage. La conséquence est que la maintenance de ces systèmes n'est pas assurée comme il le faudrait.

5.4. Lille

Les mêmes phénomènes d'inondations récurrentes qu'ailleurs peuvent être observés sur Lille Métropole Communauté Urbaine (LMCU), composée de 85 communes et comptant pas moins de 1 100 000 habitants répartis sur 612 km². La LMCU se caractérise par un espace urbain hétérogène et une topographie montrant de faibles dénivelées. La densité est cependant accrue au niveau de la ville de Lille et de ses proches alentours, par rapport à Lille Métropole Communauté Urbaine.

La lutte contre les inondations y fait écho aux effets directs de l'urbanisation et donc au ruissellement croissant des surfaces, rendant ainsi insuffisante la capacité d'évacuation des réseaux d'assainissement existants. La majorité des réseaux d'assainissement des communes de l'arrondissement de Lille sont unitaires et collectent donc à la fois les eaux usées et les eaux pluviales

5.5. Bordeaux

Bordeaux et sa Communauté Urbaine (CUB) comprennent 27 communes ne recensant pas moins de 670 000 habitants. La Communauté Urbaine de Bordeaux a pour caractéristique générale un habitat peu dense et très étendu. Cet étalement du bâti a induit un développement rapide de l'agglomération. Le bâti est cependant particulièrement concentré au centre de Bordeaux et au niveau de ses communes limitrophes et s'étale au fur et à mesure de l'éloignement du centre de Bordeaux.

Comme ailleurs, la Communauté Urbaine de Bordeaux a été soumise à de nombreuses inondations répétées au fil du temps dues notamment à la topographie du site, à son hydrographie, et à sa forte croissance urbaine elle présente cependant la particularité de voir son cours d'eau principal, la Garonne, soumis aux marées d'une amplitude de 7 m.

5.6. Quartiers Vauban et Rieselfeld à Fribourg en Brisgau

Le territoire de la ville de Fribourg compte 206 255 habitants pour une superficie de 150 km², dont les zones urbanisées ne représentant que 32,4 % du total. La vision d'aménagement du territoire de la ville de Fribourg consiste dans l'élaboration d'un modèle urbain compact et vert, fonctionnant essentiellement sur la base des transports publics. Les flux de circulation automobile sont rejetés de préférence en-dehors des quartiers, priorité est donnée aux piétons, cyclistes et transports publics (en majorité par rapport au transport individuel).

Deux nouveaux quartiers de la ville sont remarquables pour leur conception écologique en général et pour leur gestion innovante des eaux pluviales qui pourrait inspirer le développement des grands sites encore disponibles en Région de Bruxelles-Capitale tels que Tour et Taxis, la Gare de l'Ouest etc, mais également de sites destinés à accueillir des lotissements et des ensembles de bâtiments.

Situé à la périphérie sud de la ville de Fribourg et d'une superficie d'environ 41 ha, le **quartier Vauban** est destiné à l'habitat, entrecoupé de structures vertes et traversé par une ligne de tramway. Il possède un bâti dense et des équipements sociaux situés en périphérie.

Le **quartier Rieselfeld** est également destiné à l'habitat et possède un bâti dense. Il est néanmoins équipé d'une zone mixte en son centre qui prend place autour de la ligne de tramway. D'une superficie de 78 ha, le quartier possède une structure en petites parcelles et offre différentes typologies de bâtiments. Le sol est aménagé de manière à limiter au maximum son imperméabilisation. Le concept consiste à collecter les eaux de pluie séparément, à en infiltrer une partie directement en limitant les surfaces imperméables, et à réinjecter l'entièreté du produit du ruissellement au site naturel humide du Rieselfeld après une épuration biologique.

6. Données météorologiques et climatologiques pour Bruxelles

6.1. Approche climatologique

6.1.1. Comparaison climatique des villes européennes reprises dans l'Etude

L'analyse des données de l'Atlas climatologique européen¹ montre que le climat des villes européennes étudiées est similaire (climat tempéré de la façade océanique de l'Europe de l'Ouest), surtout entre les deux villes les plus proches (Bruxelles et Lille). Il y a un petit effet de continentalité pour Fribourg (amplitude saisonnière des températures plus importante qu'ailleurs et maximum des précipitations marqué en été). Les précipitations à Londres sont les plus faibles (effet géographique sur l'Angleterre).

En été, les valeurs de précipitations moyennes à Bruxelles sont intermédiaires entre les valeurs de Fribourg (les plus élevées) et Londres (les plus faibles).

Une analyse des courbes 'Intensité-Durée-Fréquence' montre également des intensités similaires (pour différentes durées [entre 1h et 3h, durées typiques des précipitations orageuses] et différentes périodes de retour [entre 5 et 100 ans]) pour les villes pour lesquelles les données ont pu être calculées de manière semblable (Uccle, Lille et Bordeaux).

6.1.2. Tendances climatiques à Bruxelles

Les mesures météorologiques à Uccle ont commencé vers 1880 (elles avaient débuté de manière régulière à Bruxelles en 1833). Les différentes séries de mesure (température, précipitations, vent...) ont été homogénéisées au mieux, à la différence des autres séries, plus courtes, disponibles ailleurs dans le pays.

On observe à Bruxelles un réchauffement de près de 2 °C entre le 19^e siècle et le début du 21^e siècle. Ce réchauffement ne s'est pas produit de manière régulière, mais en deux étapes : un premier réchauffement marqué vers 1910-1920 (de l'ordre d'un degré en moyenne annuelle) et un second dans le courant des années 1980 (également de l'ordre d'un degré).

¹ Bessemoulin, P. (ed), The Climate of Europe, European Climate Support Network Project, 3 CD Roms, 2005 (disponible via l'IRM).

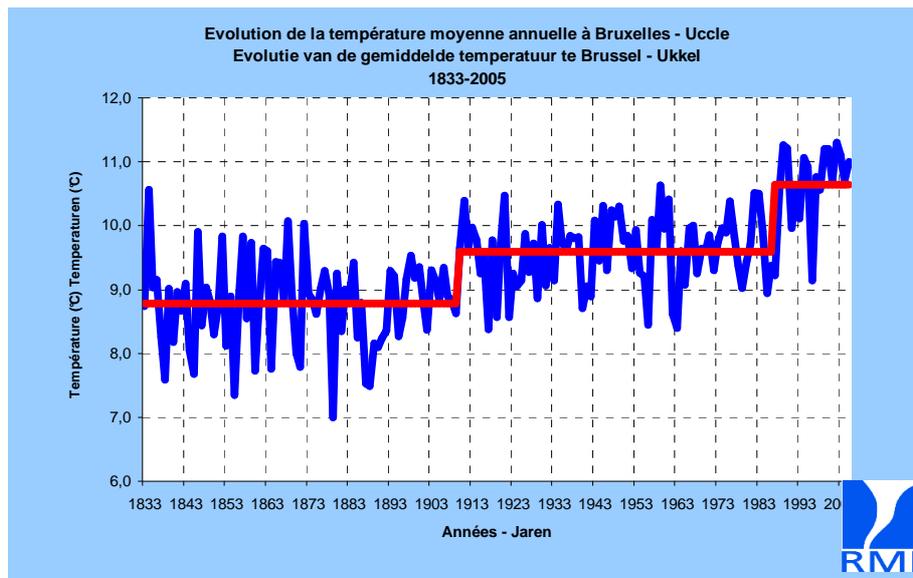


Fig 1 : Evolution de la température annuelle à Bruxelles-Uccle entre 1833 et 2005 (données IRM)².

Pour les quantités de précipitations, l'examen des données conduit à des résultats moins marqués (ce qui s'explique en partie par la grande variabilité des précipitations dans nos régions) :

- Depuis le 19^e siècle, un pluviomètre mesure chaque jour le cumul de précipitations sur 24h. Les données indiquent que le total annuel a augmenté de quelques pourcents. Cette augmentation est liée dans ce cas aussi à un « saut » détecté statistiquement entre 1910 et 1920.

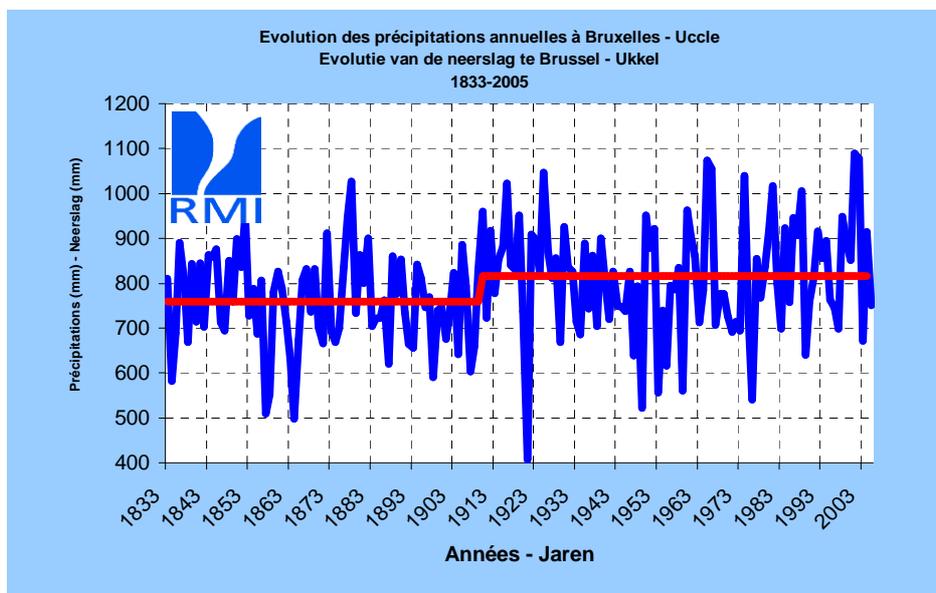


Fig 2 : Evolution de la quantité de précipitations annuelle à Bruxelles-Uccle entre 1833 et 2005 (données IRM)³.

² La figure est une version actualisée de la figure parue dans : Brouyaux *et al.*, *Weer of geen weer, Een eeuw natuurgeweld in België*, KMI en Van Halewyck (eds), 232 p., 2004.

³ *Idem.*

- L'examen des données continues du pluviographe centenaire de Uccle (début des mesures en 1898) montre que les précipitations extrêmes annuelles ont augmenté lorsqu'on analyse les valeurs cumulées au moins sur quelques jours. Par contre, pour les durées plus courtes (entre 1 heure et 2-3 jours), on n'observe pas de tendance significative dans les extrêmes annuels. Ce genre de résultat va à l'encontre du sentiment parfois exprimé selon lequel les pluies orageuses seraient plus abondantes que dans le passé.

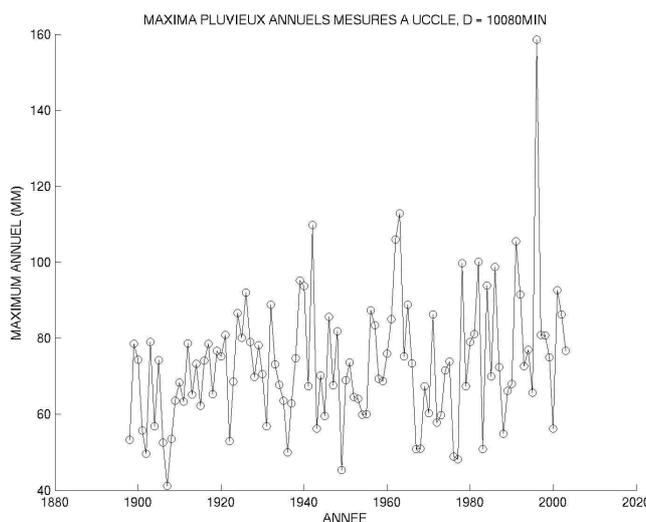


Fig 3 : Valeur annuelle la plus élevée de la quantité de précipitations cumulées sur 7 jours observée à Uccle entre 1898 et 2003 (données IRM)⁴.

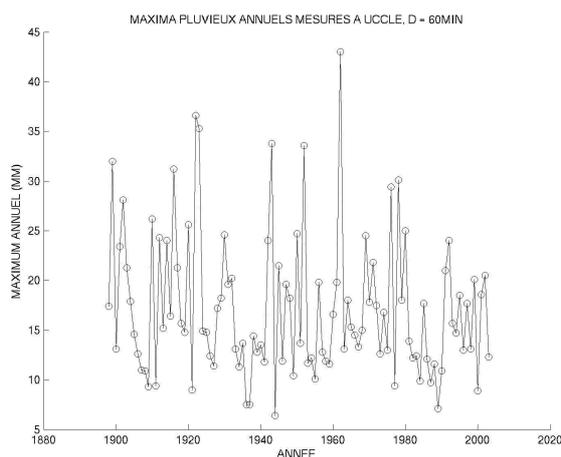


Fig 4 : Valeur annuelle la plus élevée de la quantité horaire de précipitations observée à Uccle entre 1898 et 2003 (données IRM)⁵.

⁴ Brouyaux, Fr., L'analyse des épisodes orageux et l'aide que peut apporter l'Institut météorologique aux autorités régionales bruxelloises, In : La problématique des inondations en Région Bruxelloise, rapport parlementaire de la Région de Bruxelles-Capitale, Commission de l'Environnement, de la Conservation de la Nature et de la Politique de l'Eau et de l'Energie, pp. 3-10, février 2006.

⁵ *Idem*.

- Une analyse du nombre de jours en été (période juin-juillet-août) où la quantité journalière de précipitations relevée au pluviomètre atteint au moins 20 mm a également été faite pour les données de Uccle entre 1880 et 2005. Aucune tendance significative (à la hausse ou à la baisse) ne ressort actuellement des données. Trois des quatre valeurs les plus élevées sont récentes, mais il est encore trop tôt (à cause de la variabilité) pour pouvoir conclure que le paramètre étudié a commencé à augmenter.

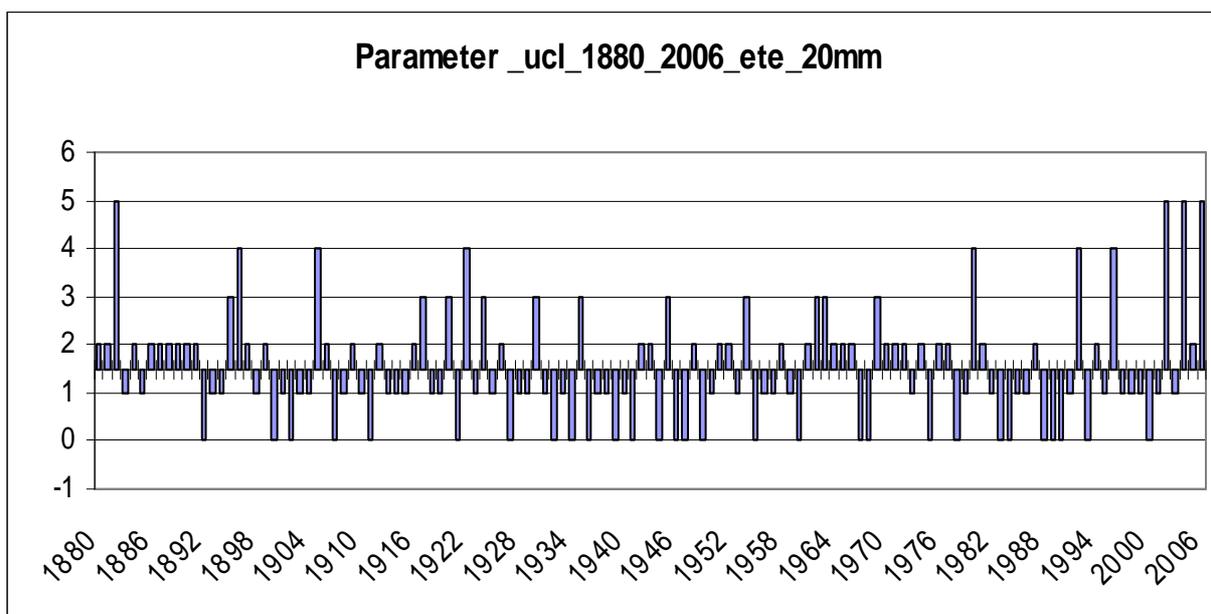


Fig 5 : Nombre de jours en été (juin à août) où la quantité de précipitations a dépassé 20 mm à Uccle entre 1880 et 2006.

6.2. Approche météorologique

6.2.1. Contribution possible de l'IRM au « Plan Pluies de la RBC ».

Un service météorologique intégré spécifique destiné à la RBC nous semblerait une utile contribution pour tenter de répondre à la volonté exprimée des autorités de la Région de prendre des mesures significatives dans un plan pluies véritablement opérationnel. On pourrait envisager sa mise en œuvre de manière progressive rapidement sans trop de difficultés puisque certains éléments que nous décrivons dans le rapport final existent déjà. En mettant sur pied un partenariat entre les différents services utilisateurs de la Région et les services opérationnels de l'IRM, le suivi de ce dossier permettrait sans aucun doute de réaliser des progrès dont la collectivité pourrait bénéficier et en mesurer les résultats.

6.2.1.1. A court terme

L'abonnement au bulletin météorologique général existant.

L'abonnement au bulletin d'avertissement spécifique à la zone RBC (cfr *alertes grands vents* déjà existantes vers l'IBGE)

6.2.1.2. A moyen terme et selon les budgets disponibles

a) L'accès privilégié aux images radar / images radar + sms-safir pour la zone périphérique de RBC à définir de commun accord.

Une formation sommaire mais très ciblée sur les besoins du personnel de la Région chargé de l'interprétation et de l'utilisation de ces produits et services.

b) Le développement d'un site intranet pour les services opérationnels existants de la RBC.

c) Intégration de tous les services RBC (ou d'une partie seulement) reliés à la météorologie fédérale. (alertes vents, orages, dispersion de la pollution, routes ...)

d) Un contrôle de qualité des données issues des différents réseaux pluviométriques (comparaison instrumentale, croisement avec les données radar ...)

6.2.1.3. A plus long terme

Actuellement, les situations conduisant à des événements extrêmes tels que les orages sont fort heureusement relativement bien prévues par la météorologie à court terme et entre autre grâce au modèle **Aladin, au système safir, aux radar ...** Ces situations ne sont évidemment pas neuves.

Notre histoire météorologique regorge de phénomènes orageux plus ou moins dommageables aux personnes et aux biens.

Bien qu'il ne soit pas possible d'affirmer aujourd'hui qu'ils soient plus fréquents ou plus violents en moyenne sur le territoire belge, ils sont en tout cas de mieux en mieux étudiés.

Des progrès opérationnels viendront sans doute de l'étude plus approfondie des cas les plus récents dans lesquels la récolte des données d'observations a bénéficié des toutes dernières avancées technologiques. Ce n'est pas sans raison que le logo de l'IRM est une évocation stylisée d'une tornade.

Le financement d'une étude sur la météorologie urbaine spécifique à la région Bruxelloise et à sa périphérie mériterait d'être envisagé. Sans oublier la distinction entre le phénomène orageux lui-même et ses impacts dans un environnement qui a évolué, l'étude des phénomènes orageux à échelle microclimatique urbaine reste à faire ; elle pourrait révéler des surprises et amener, elle aussi, certains enseignements opérationnels.

7. Position du problème hydrologique et hydraulique en milieu urbain

L'étude en support du « Plan Pluies » de la Région de Bruxelles-Capitale (RBC) n'est pas destinée à caractériser les processus en tant que tels, cependant une brève description de ceux-ci est un préalable indispensable afin de situer clairement la problématique.

7.1. Principes de bases et généralités

7.1.1. Les pluies de forte intensité et de brève durée

Nous reprenons la classification des 4 niveaux de fonctionnement du système d'assainissement pluvial collectif tel que proposé par le CERTU (2003)⁶ en France et adopté en général, et que nous citons comme tels :

- Niveau 1 – pluies faibles : tous les effluents sont traités avant rejet.
- Niveau 2 – pluies moyennes : surverses acceptées/ impact limité et contrôlé dans les collecteurs, mises en charge localisées sans débordement.
- Niveau 3 – pluies fortes : acceptation d'une détérioration de la qualité/ priorité à la gestion du risque inondation.
- Niveau 4 – pluies exceptionnelles : la seule priorité est d'éviter les dommages aux personnes.

En pratique, la période de retour de l'averse de projet relative au niveau 2 apparaît être le plus souvent de l'ordre de 10 ans et celle relative au niveau 3 de l'ordre de 100 ans.

Le CERTU rappelle aussi que « la définition des seuils séparant ces niveaux, que l'on exprime en période de retour, est une décision politique puisqu'elle détermine à la fois le dimensionnement des réseaux, le financement des ouvrages, le niveau accepté de détérioration de la qualité écologique du milieu, mais aussi le niveau de risques et de dégradation des conditions de vie en ville ».

Il est à remarquer que la référence est le réseau d'assainissement en tant que tel, l'objectif étant son bon fonctionnement et service ; c'est par rapport à cette référence que les mesures prises ou à prendre sont à examiner, sous l'angle hydrologique et hydraulique, notamment dans des situations urbaines suffisamment comparables. L'analyse est à porter sur les niveaux 2 et supérieurs précités, partant de l'à priori qu'en RBC également, la majorité des réseaux et ouvrages associés sont dimensionnés classiquement sur base d'averses de projet d'ordre décennal à vicennal.

⁶ CERTU, MEDD (2003) « La ville et son assainissement. Principes, méthodes et outils pour une meilleure intégration dans le cycle de l'eau ».

7.1.2. La saturation des égouts et collecteurs

On peut différencier deux modes principaux de saturation, ponctuelle ou étendue, d'égouts et collecteurs :

- soit en conséquence d'une surcharge d'apport d'eaux de ruissellement pluvial dépassant le seuil normal d'acceptabilité de la collecte et du transfert, aussi de l'évacuation;
- soit en conséquence d'un dysfonctionnement hydraulique localisé, pour raison de malfaçon, obstruction ou autre.

7.1.3. Les inondations pluviales urbaines

L'inondation est une submersion temporaire significative hors du circuit habituel d'écoulement lié au cycle de l'eau ; on peut distinguer principalement:

- l'inondation par débordement de cours d'eau (liée à une crue du cours d'eau),
- l'inondation liée à la remontée de nappe (habituellement en fond de vallée, mais pas seulement),
- l'inondation par les eaux de ruissellement.

Le terme d'inondation pluviale relève de cette dernière catégorie (eaux de ruissellement) en ce sens qu'elle n'est pas liée au cours d'eau et est plus directement liée aux précipitations.

Le ruissellement en cause est le ruissellement de surface proprement dit (*overland flow*), non pas le ruissellement direct (*direct runoff*) constitutif des crues de cours d'eau dans nos climats (et non pas aussi l'écoulement total d'un cours d'eau (*runoff*)).

On parle généralement d'inondations pluviales urbaines non seulement parce qu'elles se situent en milieu urbain (et péri-urbain) mais aussi du fait que l'on met fortement en cause l'imperméabilisation des surfaces.

7.1.4. ... Suite à des pluies de forte intensité et de brève durée

Les inondations consécutives à des averses intenses et de courte durée surviennent soudainement la plupart du temps. Il convient d'attirer l'attention d'emblée sur le constat clair⁷ que le retour d'expérience en matière d'inondation soudaine (*flash flood*) est pratiquement inexistant.

Le projet⁸ de Directive-Cadre Inondation reste assez vague sur le sujet des inondations d'origine urbaine, la définition générale de l'inondation étant la suivante (pour le moment) : « *Floods means temporary covering by water of land not normally*

⁷ Inspection générale de l'Administration, du Conseil Général des Ponts et Chaussées, du Conseil Général du Génie Rural, des Eaux et Forêts, de l'Inspection générale de l'Environnement (2002) « Retours d'expérience des inondations catastrophiques et les Inspections des Services déconcentrés en charge des risques naturels réalisés depuis 1999 » (France).

⁸ « Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the assessment and management of flood risks » Political agreement from General Secretariat to Delegations; Institutional File: 2006/0005 (COD), ENV 391-CODEC 690, 28 Juin 2006.

covered by water. This shall include floods from rivers, mountain torrents, Mediterranean ephemeral water courses, and floods from the sea in coastal areas, and may exclude floods from sewerage systems.”

7.1.5. La qualité des eaux pluviales

L'imperméabilisation des surfaces, la collecte et le transfert rapide des eaux modifient également la qualité des eaux de ruissellement du fait des dépositions atmosphériques et autres produits du lessivage des surfaces, l'urbanisation⁹ générant aussi elle-même ses propres pollutions (hydrocarbures, métaux lourds, DCO, sédiments,...).

Outre la problématique des inondations pluviales, il est nécessaire de s'interroger donc également sur la problématique des mesures susceptibles de répondre aux exigences de qualité des milieux récepteurs¹⁰ (cours d'eau émissaire) eu égard aux polluants présents dans les eaux de ruissellement urbaines en particulier lors des averses intenses.

7.2. L'aléa et le risque d'inondation pluviale urbaine

Les inondations relèvent de la problématique des aléas et risques naturels, en raison du fait qu'elles sont liées au premier chef à l'aléa de précipitation, les activités humaines en accentuant ou en mitigant les effets.

7.2.1. L'aléa d'inondation

L'aléa d'inondation est la résultante complexe des effets des pressions climatique et anthropique conjuguées, exacerbés par l'urbanisation comme il sera précisé ultérieurement, tant en zone sensible au ruissellement pluvial qu'en zone exposée aux inondations par ruissellement.

L'aléa d'inondation est caractérisable par sa localisation, sa fréquence d'occurrence, son importance en volume, hauteur d'eau, vitesse des écoulements, durée.

En zone urbanisée, cet aléa d'inondation est accru notamment en raison d'un accroissement de l'aléa de ruissellement pluvial du bassin versant¹¹ d'apport en termes de volume, de vitesse, de débit.

En ce qui concerne les zones exposées aux inondations, il convient de distinguer :

- la notion de zone d'inondation potentielle (qui a une probabilité d'être inondée) qui correspond à la zone exposée par nature aux inondations,
- de la notion de « zones inondables » classiquement déterminées sur base d'événements répertoriés (par des enquêtes ou autres) et qui sont liées à un historique de pluviosité (carte des inondations de la BRC dressée par l'IBRA;

⁹ Au sens du développement urbain.

¹⁰ Logique de l'immission (écrit aussi immixtion ou immiscion) plutôt que de l'émission - Confer Directive-Cadre Eau (2001).

¹¹ Le bassin versant est le domaine de collecte des eaux de ruissellement généralement délimitable naturellement par les lignes de crête topographique du bassin versant par rapport à son point exutoire ; des modifications sont cependant possibles par le fait de l'intervention humaine.

ou exemple pour le grand Tournai en figure 6 reprenant en outre aussi en l'occurrence les inondations par débordement de cours d'eau, remontées de nappes, etc.).

Si la détermination des zones et de l'aléa d'inondation par débordement de cours d'eau est devenue chose courante, la détermination des zones exposées aux inondations par ruissellement l'est moins, bien que réalisables et en développement aussi bien en zones urbaines qu'en zones rurales¹². Elles permettent à tout le moins de contribuer à distinguer les zones exposées naturelles de ce qui relève d'un dysfonctionnement.

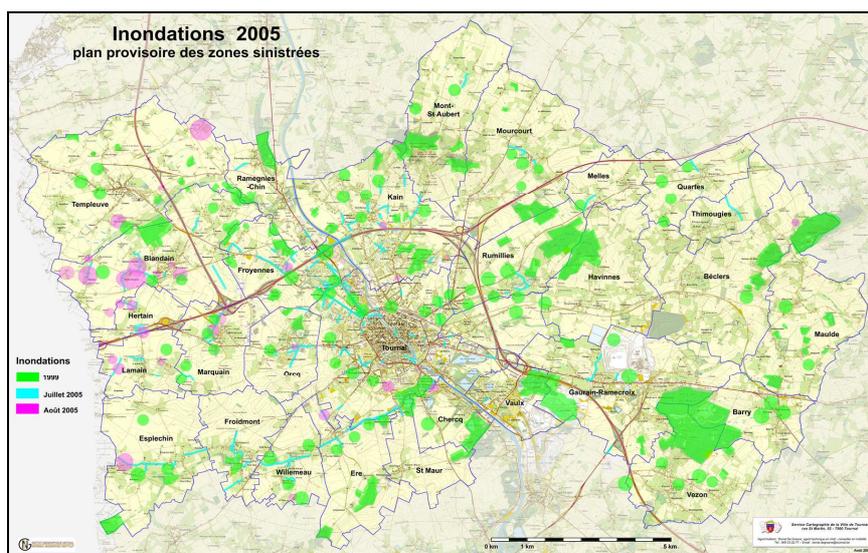


Fig 6 : Carte des inondations dans le Grand Tournai (par ruissellement ou par débordement de cours d'eau), sur base d'enquêtes (Document aimablement communiqué par la ville de Tournai à S. Dautrebande, FUSAGx).

7.2.2. Le risque Inondation

L'accroissement ou le risque d'accroissement des dommages induits par les inondations est fonction de l'accroissement et de l'aléa d'inondation précité et de l'accroissement de la vulnérabilité liée à l'occupation du sol dans les zones d'inondation (habitat, réseaux de voiries, ...) que sont les vallées en particulier (cours d'eau voûtés ou non).

En outre, des extensions des zones naturellement exposées aux inondations sont induites par une modification de la topographie des fonds de vallée (effets indirects de rehaussements, remblaiements, dérivations, etc.) et des talwegs¹³.

7.3. Les zones sensibles au ruissellement

A contrario de l'urbanisation, la référence « naturelle » est l'espace verdurisé.

¹² Exemple en zones rurales : le projet ERRUISSOL pour la Région Wallonne (Unité d'Hydrologie, FUSAGx-Gembloux, pour la Direction Générale Agriculture (DGA)-RW).

¹³ Au sens d'axes de concentration des eaux de ruissellement.

Les inondations par ruissellement lors d'averses intenses ne leur sont cependant pas étrangères: la collecte des eaux est de type diffus, le transfert s'effectue via les talwegs, et l'évacuation s'effectue via des points bas qui atténuent souvent les apports rapides des averses intenses par étalement dans les zones marécageuses ou le lit majeur des petits cours d'eau. Talwegs de ruissellement concentré et lit majeur des cours d'eau constituent le « système majeur », par opposition au « système mineur » correspondant au lit mineur des cours d'eau parcouru par les eaux hors phases inondantes.

Les facteurs « naturels » favorisant la production de ruissellement sont la capacité d'infiltration limitée des sols liée à leur état de surface et à la nature des couches sous-jacentes et dans une certaine mesure à la pente des terrains; les facteurs accélérant les flux sont essentiellement la pente des terres, l'état de surface (rugosité), la concentration des flux.

Le sol et la pente sont donc les paramètres sensibles du milieu limitant les possibilités d'infiltration ou de ralentissement des flux ; en outre la capacité d'infiltration des sols est fortement variable en fonction de l'humidité du sol au début de l'averse.

7.3.1. Le petit bassin versant

Le concept de petit bassin versant (Fig 7) est à la base de la connaissance et de la maîtrise des processus de ruissellement lors d'averses orageuses intenses ; c'est en effet l'unité fonctionnelle de collecte, de concentration et de transfert des eaux de surface vers un point bas récepteur pour évacuation par un émissaire. Il fait partie dans tous les cas du diagnostic préalable aux plans d'aménagement¹⁴.

La sensibilité du petit bassin versant naturel est donc liée à son état de surface plus ou moins « infiltrant », à ses pentes, à la densité et à l'organisation de son réseau de talwegs. Pour rappel, plus un sol est sec et couvert de végétation, plus sa capacité d'infiltration est élevée.

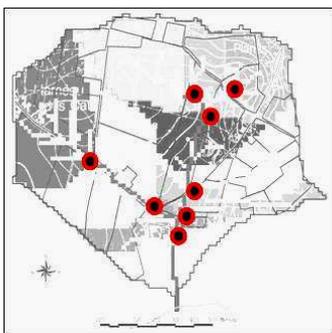


Fig 7 : Schéma de petit bassin versant, ses axes principaux et secondaires de concentration des eaux de ruissellement et les points critiques (jonction d'axes, axes-voiries, ...) (Schéma S. Dautrebande, FUSAGx).

7.4. Les Zones naturellement exposées aux inondations

Les fonds de vallée et les talwegs des petits bassins versants sont par nature des zones exposées aux inondations.

¹⁴ Par exemple: North Carolina, Department of environment and Natural Resources, Division of Water Quality, July 2005 "Updated Draft Manual of Stormwater Best Management Practices" ~ 500 pages.

Les inondations pluviales urbaines dues aux effets de ruissellement peuvent se situer en trois types de zones exposées (exemple schématisé en Fig 8):

- les inondations aux points bas, dans les fonds de vallée (lit majeur du cours d'eau);
- les inondations sur les axes de passage des flux concentrés (voiries ou autres, situées dans un axe de talweg);
- les inondations apparaissant au niveau des axes de cours d'eau voutés.

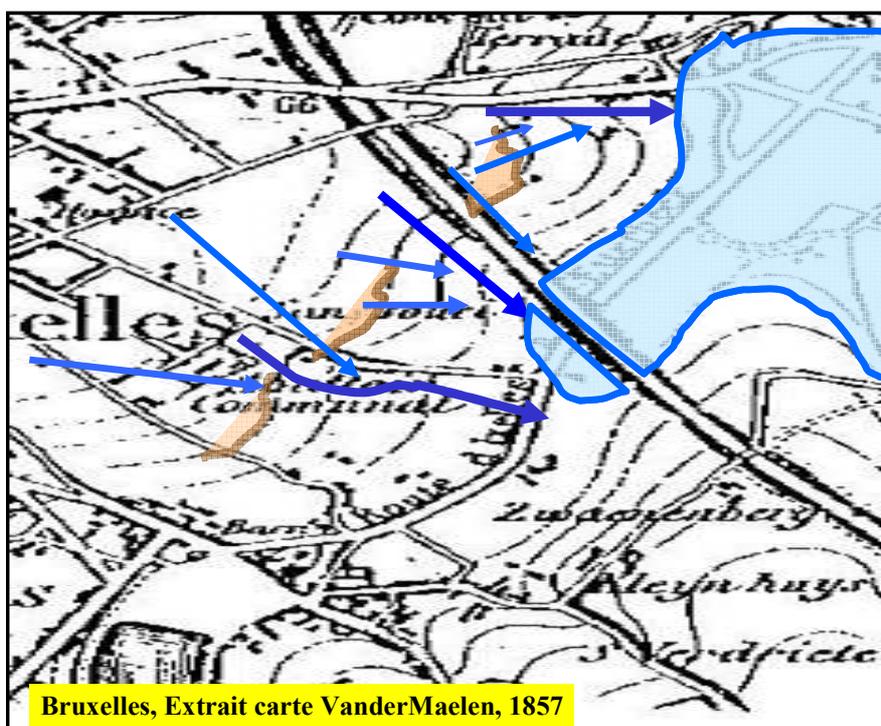


Fig 8 : En bleu : Surimpression des fonds de vallée et axes naturels de concentration des eaux de ruissellement à un extrait de carte topographique (Schéma S. Dautrebande, FUSAGx).

7.5. Les pressions sur l'aléa d'inondation

Deux types de forces motrices induisent des pressions agissant sur l'aléa d'inondation par ruissellement : le climat d'une part, les politiques et activités humaines d'autre part.

En ce qui concerne le climat, la pression à considérer ici est celle exercée par les averses de forte intensité (niveau 3 et plus, suivant le classement proposé).

En ce qui concerne les activités anthropiques, le développement urbain est la conséquence des besoins socio-économiques et a, sur le plan de la problématique considérée, une action défavorable sur les états de surface des sols par le fait de :

- l'occupation du bassin versant afférent à un point (« tout point a son bassin versant »);
- l'occupation des axes de concentration naturels en surface (voies d'eau temporaires), leur dérivation ou recouplement via le réseau enterré ou de surface (voiries) ;
- l'occupation du lit majeur des cours d'eau ;

- et même l'occupation du lit mineur des cours d'eau.

Le paysage urbanisé de la RBC, comme bien d'autres villes, se ressent fortement de l'évolution historique qui a remplacé progressivement le réseau pluvial naturel d'évacuation des eaux de ruissellement par un réseau artificiel et artificialisé (cours d'eau voûtés), susceptible même d'avoir modifié la dimension des bassins versants naturels ; ce réseau est destiné en définitive à maîtriser seulement les effets des averses « moyennes » (jusque décennales à vicennales) et n'est pas prévu en général pour absorber le ruissellement issu des averses intenses ou exceptionnelles, pour les besoins duquel le réseau de surface est appelé à subvenir.

7.6. En résumé

Sur le plan hydrologique et hydraulique (Fig 9, 10, 11) :

- les volumes de ruissellement augmentent du fait de l'imperméabilisation aux dépens des processus respectifs d'évapotranspiration réelle¹⁵ et de percolation des eaux;
- les débits de pointe (maxima) également, non seulement du fait de l'augmentation des volumes mais aussi de l'accélération des flux (diminution du temps de concentration des eaux), rendant en retour les bassins versants plus sensibles aux pluies intenses et de courte durée (modification de la pluie de projet).

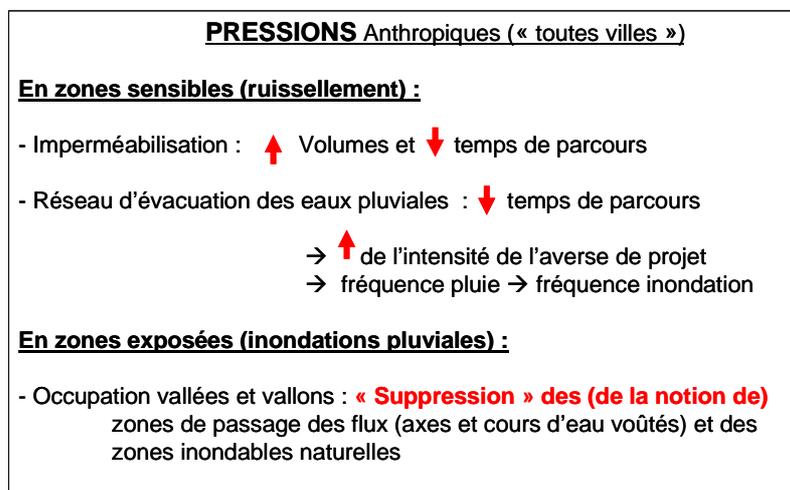


Fig 9 : Résumé des effets des pressions anthropiques (Schéma S. Dautrebande, FUSAGx).

¹⁵ Le processus d'évapotranspiration réelle (départ de vapeur d'eau des surfaces) est à distinguer de la notion d'évapotranspiration potentielle (apport énergétique exprimé en équivalent eau) qui est une expression de la potentialité évaporatoire climatique.

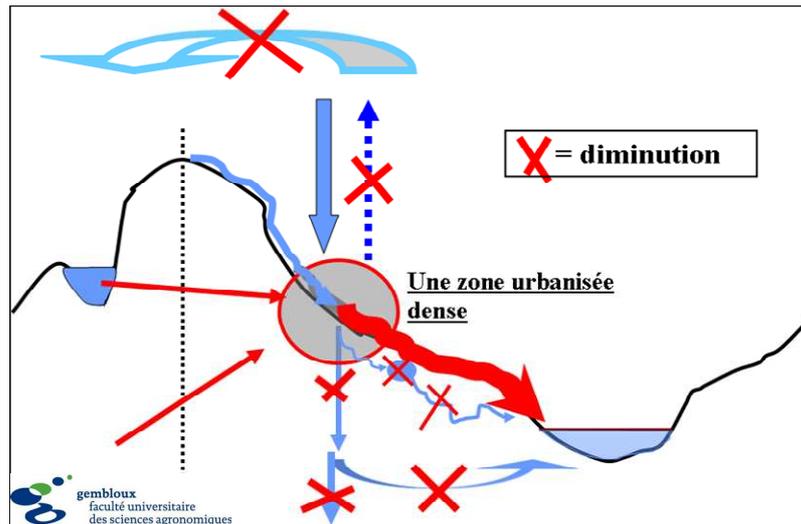


Fig 10 : Schéma de la modification du cycle naturel de l'eau en raison de l'urbanisation : diminution de l'évapotranspiration réelle, de l'infiltration, de la recharge des nappes profondes et superficielles, de la contribution aux zones sourcières, au profit du ruissellement de surface ; apports extérieurs éventuels supplémentaires d'eaux de captage. (Aussi possibilité de modifications de la pluviométrie et de sa répartition locales en raison de microclimats) (Schéma S. Dautrebande FUSAGx).

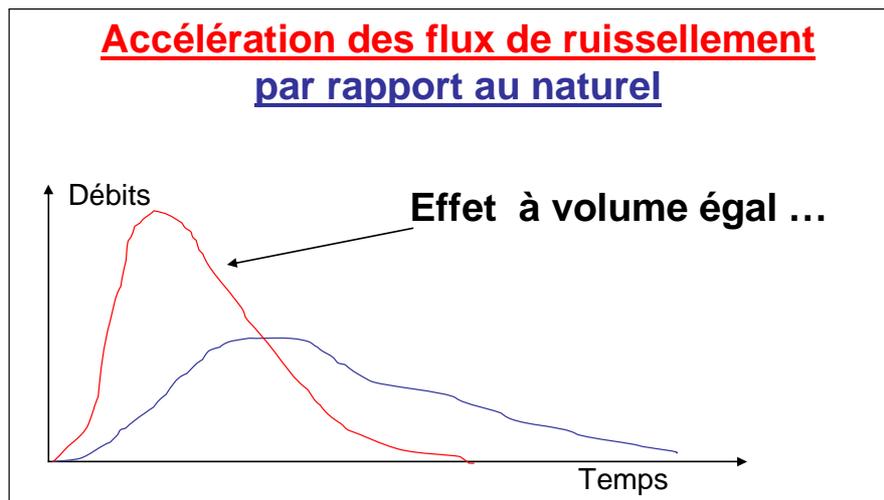


Fig 11 : Schéma des effets d'accélération des flux (Schéma S. Dautrebande FUSAGx).

7.7. La Région de Bruxelles Capitale

7.7.1. L'imperméabilisation

Le pourcentage d'espaces verts en RBC n'est pas négligeable quoique réparti de façon inégale ; classiquement le taux d'espace vert est spatialement croissant de façon excentrique, ... mais tend tout aussi classiquement à se résorber avec les années sauf politique spécifique de conservation.

Une étude relative à l'évolution relative de l'imperméabilisation vient d'être finalisée pour la RBC à la demande de l'AED¹⁶.

L'étude précitée est utile à l'évaluation des taux de ruissellement, qu'il serait nécessaire de déterminer par petit bassin versant pluvial (naturel ou artificialisé s'il y a lieu). Le zonage spatial des « espaces verts » (Fig 12) publics d'une part et privés d'autre part (Fig 13) est également une information qu'il serait utile de cartographier, aussi bien dans son état actuel qu'eu égard à son potentiel d'évolution.

A titre orientatif, l'exemple présenté dans l'encart (Fig 15) indique l'ordre de grandeur de l'effet multiplicateur de l'imperméabilisation en termes de volumes unitaires de ruissellement.

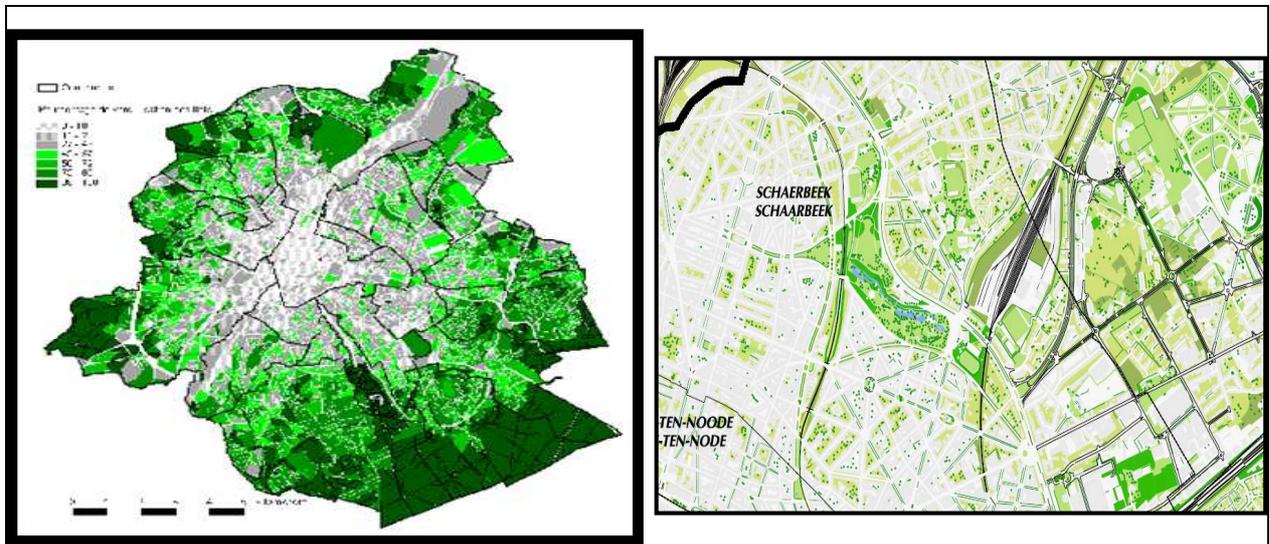


Fig 12 : PCD Région Bruxelles-Capitale (RBC) : (à gauche) en vert : espaces verts de la RBC, dont (à droite) agrandissement d'une zone ; source BE AGORA, ville de Bruxelles (1998).



Fig 13 : Types d'espaces verts privés en RBC (Crédit photo : S. Dautrebande, FUSAGx).

¹⁶ Vanhuysse S., Depireux J., Wolff E. (Octobre 2006) « Etude de l'évolution de l'imperméabilisation du sol en Région de Bruxelles-Capitale » ULB/IGEAT pour le Ministère de la Région de Bruxelles-Capitale, Administration de l'Équipement et des Déplacements/Direction de l'Eau, 60 pages.



Fig 14 : Représentation symbolique de l'évolution temporelle de l'urbanisation dans un site de la RBC (carte de gauche extraite des Archives du Royaume, les deux photos aériennes de droite (source IGN) sont séparées de plusieurs années et sont volontairement dégradées pour faire apparaître qualitativement l'intensification progressive du bâti et des voiries (en blanc).

Augmentation des volumes de ruissellement de l'imperméabilisé par rapport au « naturel »

- Pour une région comme la RBC, lors d'averses intenses estivales intenses, on obtiendrait en général en zone rurale, un taux de ruissellement par rapport à la précipitation tournant autour de 5-15 %, d'où :
 - Soit, pour une averse de type décennal Uccle de 25 mm en 1h (ou 70 l/sec.ha pendant 1h) : **une lame d'eau de ruissellement, en moyenne, de 2,5 mm - ou 25 m³ / Ha - et un débit spécifique diffus moyen de 7 l/sec.Ha pendant 1h.**
 - Ou, pour une averse intense de type centennal de 37 mm (ou 103 l/sec.ha pendant 1h), et le même ordre de taux de ruissellement : **une lame d'eau de ruissellement , en moyenne, de 3,7 mm - soit 37 m³/Ha - et un débit spécifique diffus moyen de ~ 10 l/sec. Ha, pendant 1h.**
- Une superficie imperméabilisée = ~ 90 % des précipitations en ruissellement ,
- soit pour l'averse décennale, un ruissellement de ~ **22,5mm** (225 m³/ha) (55 l/sec. Ha), pendant 1h.
- pour l'averse de type centennal, un ruissellement de ~ **33 mm** (330 m³/Ha) (83 l/sec. Ha), pendant 1h.

Soit par unité de surface imperméabilisée, un supplément de l'ordre de 8 fois le volume produit par la « zone naturelle »...

Fig 15 : Evaluation sommaire de l'augmentation des volumes unitaires de ruissellement du fait de l'imperméabilisation (extrait Rapport annexe S. Dautrebande).

7.7.2. Le réseau artificialisé de collecte, de transport et d'évacuation

Outre le réseau de collecteurs (Fig 16) et d'égouttage (Fig 17) et ses structures associées (bassins d'orage sur réseau,...), il est nécessaire de considérer le réseau de collecte et de transport que représentent les voiries.

Rappelons que la RBC compte environ 2000 km de voiries (soit plus de 10 km de voiries par km² de superficie), les parkings et infrastructures de transport en commun augmentant cette proportion de 21% (information issue du PRD).

Cette artificialisation de la circulation des eaux peut avoir induit en outre une différenciation entre le bassin versant d'apport pluvial en surface (éventuellement modifié aussi) et celui afférent au réseau d'assainissement pluvial.

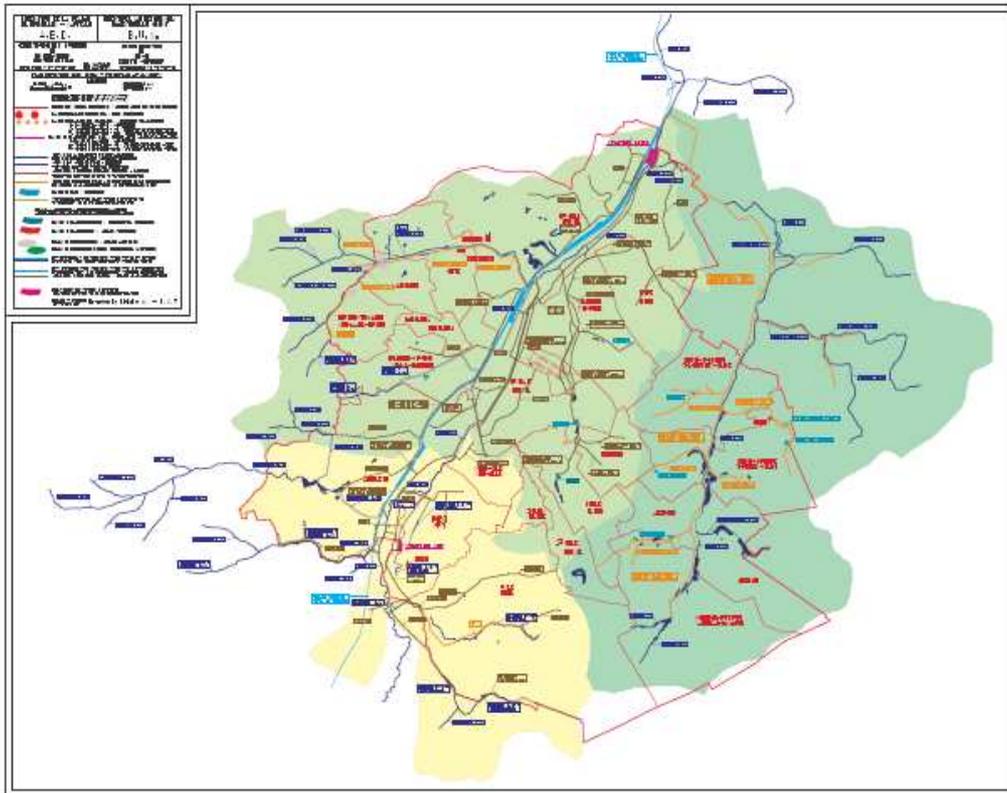


Fig 16 : Réseau principal de réseau de collecteurs en RBC (Fiche IBGE/BIM).



Fig 17 : Plan d'une partie d'un réseau d'égouttage en RBC.

8. Mesures non structurelles : stratégies, plans, réglementations

Le terme de "mesures non structurelles" est utilisé par opposition à celui de "mesures structurelles" pour désigner tous les types d'actions qui ne relèvent pas de travaux de génie civil. Ces mesures visent à modifier les pratiques (en terme d'utilisation et d'usage du sol), les enjeux, et à répartir les coûts dans le temps et dans l'espace de la gestion des eaux pluviales. (Pottier, 2001).

8.1. En France

En France le contexte **juridique et législatif** est très avancé en matière de gestion des eaux :

- La loi du 16 décembre **1964** relative au régime et à la répartition des eaux et à la lutte contre leur pollution est le fondement du système français de l'eau et vise à assurer une meilleure répartition des eaux et à lutter contre les pollutions. Six circonscriptions administratives spécifiques ont été créées correspondant aux bassins hydrographiques, les Agences De l'Eau.
- La loi du 3 janvier **1992** dite "loi sur l'eau" relance la politique de l'eau. Cette ressource est reconnue comme "patrimoine commun de la Nation". La loi introduit la notion d'unité de la ressource en matière de gestion. La gestion est planifiée et organisée à partir de Schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE) et par des Schémas d'aménagement et de gestion des eaux (SAGE). Le dispositif de la gestion par bassin hydrographique est conforté.
- La Loi du 11 septembre **2006**, fraîchement adoptée par le Sénat en deuxième lecture, est dite « loi sur l'eau et les milieux aquatiques ». En ce qui concerne la collecte, le transport, le stockage et le traitement des eaux pluviales et de ruissellement, elle aborde la nécessité de la mise en place d'un financement spécifique. Le texte proposé a un double objectif :
 - Permettre aux collectivités de mettre en place une taxe facultative destinée à alléger la charge supportée par les contribuables communaux et les consommateurs d'eau qui financent aujourd'hui exclusivement la collecte, le transport, le stockage et le traitement des eaux de ruissellement.
 - Inciter les responsables des déversements à développer des dispositifs de rétention à la source des eaux de ruissellement, leur permettant de réduire la taxe à laquelle ils seront soumis.

Les bénéficiaires de la taxe sont l'ensemble des collectivités qui exploitent ou réalisent des installations destinées à la collecte, au transport, au stockage et au traitement des eaux pluviales et de ruissellement ou mettant en œuvre des techniques alternatives et de rétention des eaux.

- Au travers des articles 640, 641, et 681, le Code civil rend le propriétaire responsable de ses eaux pluviales à partir du moment où il en modifie l'écoulement

Une panoplie de **plans et règlements** concernant la gestion des eaux pluviales existent en France. Le schéma ci-dessous (Fig 20) synthétise la hiérarchie entre les différents documents décrits dans l'annexe réalisée par le CEESE (voir point 5.2 de l'annexe). En règle générale ils vont tous dans le même sens en préconisant une gestion intégrée des eaux pluviales.

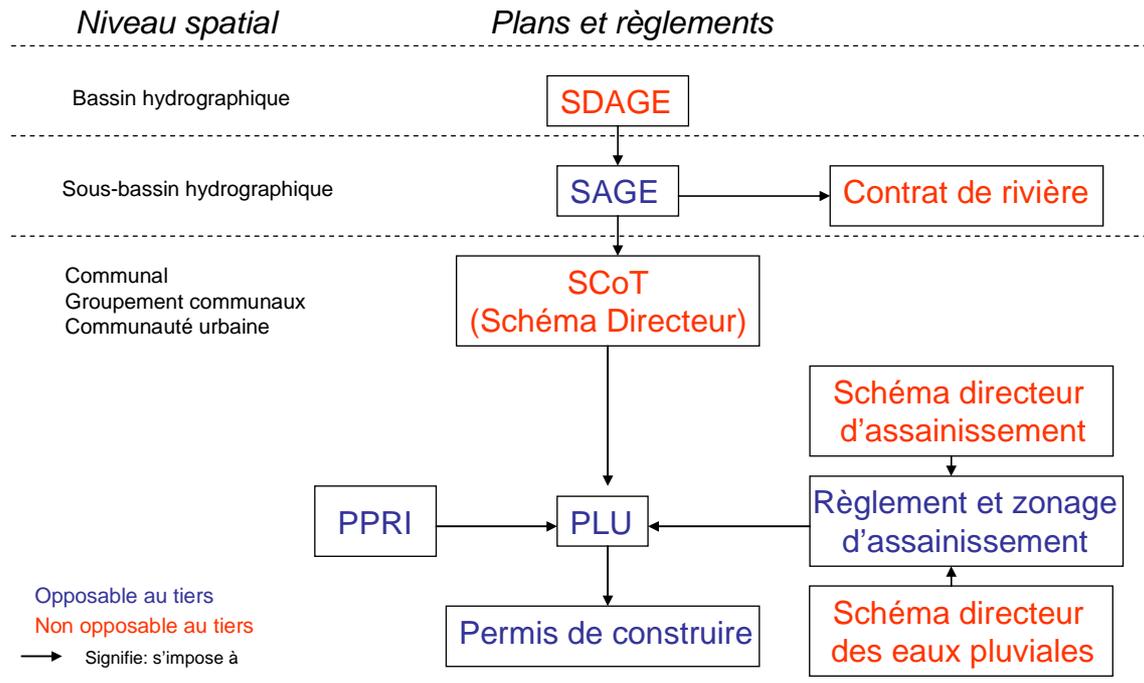


Fig 20 : Schéma de synthèse de la hiérarchie des plans et règlements traitant de la gestion des eaux pluviales en France

Cependant, il faut remarquer que malgré un contexte juridique touffu les localités s'appuient sur des documents administratifs explicites et peu nombreux (Maigne, 2006). Ainsi, le règlement d'assainissement constitue la référence en matière de ruissellement urbain, et l'attribution du permis de construire représente l'étape clé pour la concertation et l'échange entre opérateurs publics et privés. Cette observation s'explique en partie par le caractère flou de l'ensemble de ces plans et règlements.

Les principaux plans et règlements utilisés sont :

- Les Plans Locaux d'Urbanisme (PLU)
- Les Règlements d'Assainissement
- Les Plan de Prévention des Risques Inondations (PPRI)

Le Plan Local d'Urbanisme (PLU) précise le droit des sols : délimitation des zones urbaines, à urbaniser, agricoles et naturelles, définition de ce que chaque propriétaire peut ou ne peut pas construire. Il comprend en outre un projet d'aménagement et de développement durable (PADD) qui précise le projet d'évolution et de développement d'ensemble de la commune, l'aménagement des espaces publics, la protection des paysages naturels et urbains, etc.

L'objet du **règlement d'assainissement** est de définir les conditions et modalités auxquelles est soumis le déversement des eaux dans les réseaux d'assainissement ou leur traitement par un dispositif non collectif, dans le but d'assurer la sécurité, l'hygiène publique et la protection de l'environnement.

Le PPRI est un outil de l'État destiné à préserver des vies humaines et à réduire les coûts des dommages causés par une inondation. Ils sont, à la base, prévus pour les inondations par débordement de cours d'eau, mais peuvent être élargi aux inondations par ruissellement et ainsi préconiser des mesures de maîtrise du ruissellement sur les secteurs amont des bassins versants. Les PPRI utilisent une approche par bassin de risques. Le plan est donc communal, intercommunal ou infra-communal.

Le PPRI a pour finalité :

- d'établir une cartographie aussi précise que possible des zones de risque,
- d'interdire les implantations humaines dans les zones les plus dangereuses,
- de réduire la vulnérabilité des installations existantes,
- de préserver les capacités d'écoulement et d'expansion des crues.

En règle générale les règlements ne préconisent pas de méthodes précises, mais laissent le choix aux entrepreneurs excepté dans les zones inondables où des mesures strictes sont imposées (en général par un PPRI).

Mesures préconisées en **zones de production** de l'aléa de ruissellement :

- *L'infiltration sur la parcelle doit être la première solution recherchée pour l'évacuation des eaux pluviales recueillies sur la parcelle.*
- *Si l'infiltration est insuffisante, le rejet de l'excédent non infiltrable sera dirigé de préférence vers le milieu naturel.*
- *L'excédent d'eau pluviale n'ayant pu être infiltré ou rejeté au milieu naturel est soumis à des limitations de débit avant rejet au réseau d'assainissement communautaire.*

Mesures préconisées en **zones inondables** :

- *la sécurité des occupants et des biens doit être assurée ;*
- *le premier niveau de plancher des constructions doit être situé plus de 0,50 m au-dessus du niveau des plus hautes eaux de référence ;*

- les postes vitaux tels que l'électricité, le gaz, l'eau, la chaufferie, le téléphone, les cages d'ascenseurs doivent être établis au minimum à 1 mètre au-dessus du niveau des plus hautes eaux de référence ;
- la surface imperméable maximum doit être inférieure à 20% de la surface de l'unité foncière ;
- les caves et les sous-sols sont strictement interdits.

8.2. En Région Wallonne

En Région Wallonne, les documents traitant des eaux pluviales urbaines sont moins nombreux qu'en France. Et même si leur contenu est généralement moins poussé et moins pensé que les documents français, les documents wallons préconisent des solutions plus concrètes. Pour exemple, en France, le règlement d'assainissement et le Plan Local d'Urbanisme parlent de techniques alternatives sans préciser lesquelles utiliser. Il s'agit pourtant de documents communaux. On y a préféré laisser le choix des techniques aux entrepreneurs. En Région Wallonne, le SDER préconise des revêtements perméables pour les routes et parking, des citernes individuelles et des réseaux séparatifs, ce qui est relativement précis pour un document rédigé à l'échelle régionale. Les Règlements Communaux d'Urbanisme (RCU) intègrent et réglementent ces mesures au niveau local. On en retire que les mesures françaises sont plus flexibles au niveau local. Les entrepreneurs ont à leur disposition une panoplie de mesures parmi lesquelles ils peuvent choisir la plus adaptée aux conditions locales. Ils ne sont pas contraints d'appliquer une méthode particulière décrite par le règlement communal.

La figure 21 synthétise la hiérarchie des documents traitant des eaux pluviales en Région Wallonne. Ils sont détaillés dans l'annexe réalisée par le CEESE.

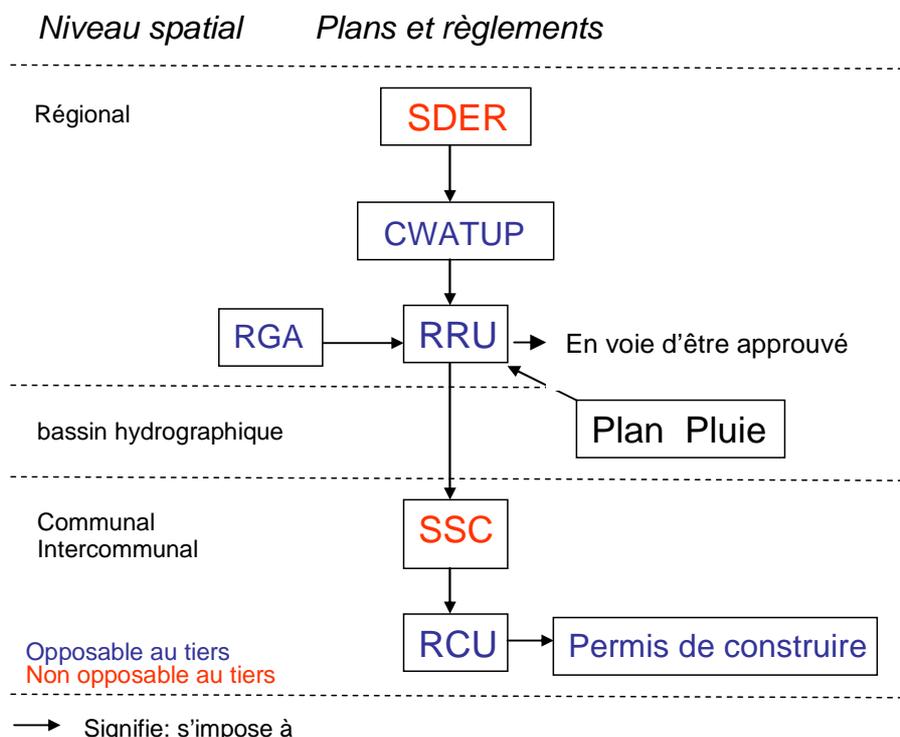


Fig 21 : Schéma de synthèse de la hiérarchie des plans et règlements traitant de la gestion des eaux pluviales en Région Wallonne.

Les communes s'appuient généralement sur :

- les permis d'urbanisme,
- le Règlement Général d'Assainissement (RGA),
- le Règlement Communal d'Urbanisme (RCU).

L'objet du **RGA** est de fixer, dans les zones destinées à l'urbanisation (ou en dehors de ces zones lorsqu'il existe des habitations), le régime d'assainissement des eaux urbaines résiduaires et les obligations qui en découlent en matière de traitement et évacuation.

Les mesures concernant la gestion des eaux pluviales décrites dans le RGA sont relatives aux modalités de raccordement à l'égout.

Lié au Schéma de structure communal, les **RCU** traduisent la ligne de conduite que s'est fixée la commune en matière d'aménagement du territoire. Ils définissent les prescriptions relatives aux éléments bâtis et non bâtis. Peu de communes ont actuellement établi un RCU dans lequel est incluse la problématique des eaux pluviales. Cependant, lorsque c'est le cas, les RCU envisagent en général deux mesures pour favoriser la rétention et la percolation: les citernes et les revêtements perméables (ex :Esneux, Wanze,...)

Mesures préconisées dans le SDER et réglementées par les RCU et le RGA en RW :

- *installation de réseaux séparatifs traitant les eaux usées distinctement des eaux pluviales;*
- *adoption de revêtements plus perméables pour les voiries, les aires de parcage, les espaces publics;*
- *utilisation de techniques compensatoires (tranchées drainantes, fossés d'infiltration) en vue de pallier les effets négatifs d'une trop grande imperméabilisation des sols;*
- *installation de citernes de récupération de l'eau de pluie).*

Il n'y a donc pas d'obligation de résultat imposée au constructeur, sauf dans le cas de lotissements et zonings. Alors, le dossier est traité au cas par cas sur base d'une note hydrologique demandée à l'entrepreneur. En général l'entrepreneur devra faire en sorte que le ruissellement pluvial ne soit pas aggravé par la construction sur base d'une pluie décennale.

8.3. En Région Flamande

Nous envisageons ici l'exemple en Région Flamande au travers de l'exemple de Gand. En Flandres le contexte juridique est plus avancé qu'en Wallonie. La figure 22 synthétise les différents plans et règlements mis en place à différents niveaux de décision, ils sont explicités dans l'annexe réalisée par ECOLAS (point 1.2 de l'annexe).

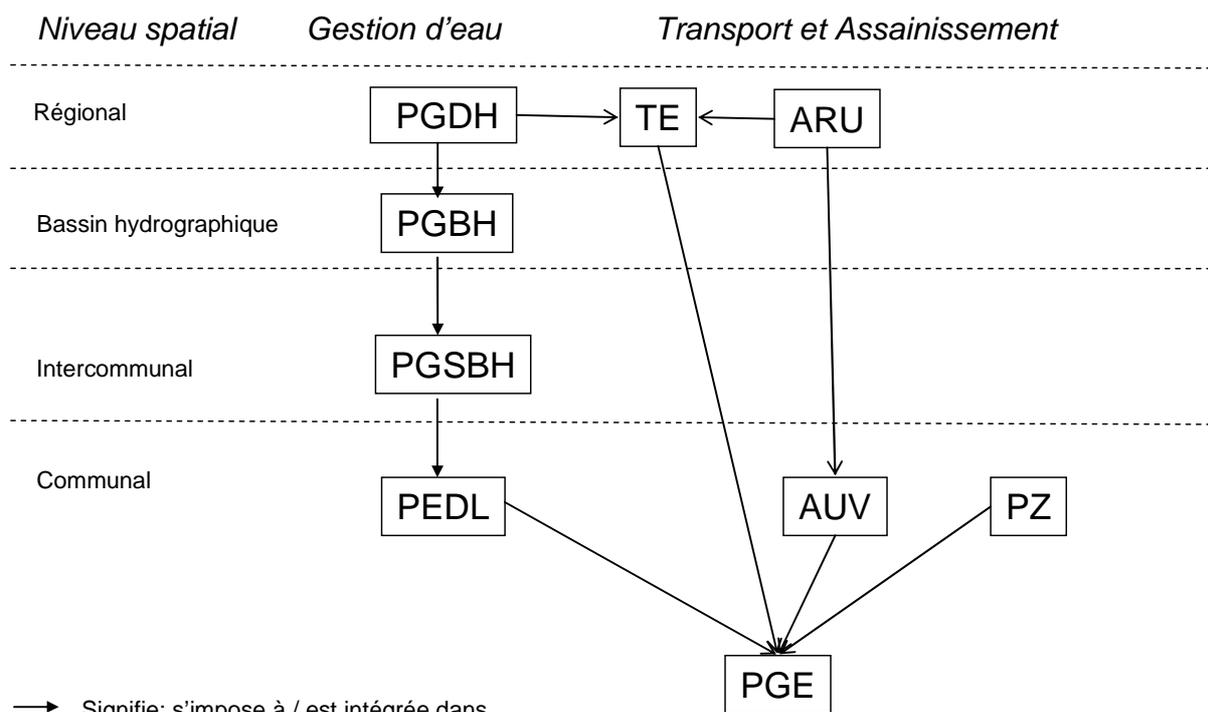


Fig 22 : Schéma de synthèse de la hiérarchie des plans et règlements en Région Flamande

Instruments de planification

Il existe plusieurs **plans de gestion** applicables pour Gand. Ainsi l'établissement d'un plan de gestion de **sous-bassin hydrographique** pour les « Gentse Binnenwateren » est coordonné par la ville de Gand elle-même, vu que la plus grande partie du centre ville se trouve dans ce sous-bassin.

En ce qui concerne l'écoulement et l'épuration de l'eau usée et l'eau de pluie, plusieurs mesures sont disponibles. Les mesures suivantes sont pertinentes pour la Région Bruxelloise:

- **Plan de zonage:** plan rédigé par commune/ville par Aquafin/VMM/commune ou ville (p.e. Gand). Il y est indiqué, pour les différentes parties, si l'épuration doit être faite sur base collective ou sur base individuelle. La rédaction du plan de zonage pour Gand est en formation. Le plan de zonage fera partie du plan de gestion de sous-bassin hydrographique.
- **le "RIS"** (système d'information concernant le réseau d'égouts):

- ~ Système d'information digital de la ville de Gand comprenant un **inventaire** de: la localisation de différents réseaux d'égouts existants, type (mixte, séparé), les dimensions, la situation, le matériel utilisé, etc.
- ~ Il existe une collaboration entre la Région Flamande, Aquafin et la ville afin d'inventorier dans certains projets toutes infrastructures (= supra-communale et communale) en même temps. Les coûts pour l'exécution d'un inventaire sont divisés.

Instruments réglementaires

Différentes règles sont applicables à Gand obligeant dans certains cas la **réutilisation et/ou infiltration et/ou tamponner avec l'écoulement retardé de l'eau de pluie**.

Le "**test d'eau**"¹⁷ (TE) effectué par un pouvoir de décision, juge si une initiative peut provoquer des effets nuisibles à la suite d'un changement dans la situation de l'eau de surface, l'eau souterraine ou de la nature dépendante de l'eau. Les initiatives peuvent être les suivantes: lotissement d'un terrain, redressement de bâtiments (maisons, bâtiment d'entreprise), construction de surfaces pavées (routes, parkings), constructions souterraines (caves, tunnels):

- Il n'est pas clair si le test d'eau se développera comme **instrument maniable juridiquement entre l'aménagement du territoire et la gestion de l'eau**.
- Le test d'eau utilise en outre la carte indiquant les régions sensibles aux inondations. Cette carte ne distingue pas, cependant, la cause des inondations.

En Région Flamande les plans de gestions intègrent les éléments quantitatifs (comparable au Plan Pluie wallon) et qualitatifs (assainissement) des eaux pluviales. Les communes, en accordant un permis de construire – licence d'environnement, ont des moyens juridiques:

- **les arrêtés urbanistiques** de chaque commune (basé sur l'arrêté flamand¹⁸) **obligent** la réutilisation, l'infiltration, le stockage temporaire, ... pour des bâtiments et pour des surfaces revêtues
- **le test d'eau doit** être appliqué pour chaque plan ou chaque projet (le test d'eau incorpore les éléments quantitatifs et qualitatifs de l'eau pluviale) mais les règles ne sont pas toujours quantitatives.

¹⁷ Pour plus d'information sur le test d'eau, voir le décret "Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap. N. 2003 — 4346 [2003/201696] de 18 juillet 2003: Decreet betreffende het integraal waterbeleid.

¹⁸ Arrêté du Gouvernement flamand établissant un règlement urbanistique régional concernant les citernes d'eaux pluviales, les systèmes d'infiltration, les systèmes tampons et l'évacuation séparée des eaux usées et pluviales. Publié dans le Moniteur belge le 08/11/2004.

8.4. Retours d'expérience en matière de mesures et critères

8.4.1. En général

Outre les villes de Lille, de Tournai, les modalités et critères pour Bordeaux, les Hauts-de-Seine, le Grand Toulouse et la ville de Rennes sont également examinés, plus quelques résultats documentaires. D'une manière générale, les constats sont les suivants :

- Distinction est toujours faite entre la gestion de l'existant (réseau, grands bassins d'orage « télégérés ») et les mesures compensatoires dans le cadre du développement urbain.
- Les mesures compensatoires viennent « en parallèle » au développement des bassins de stockage généralement importants (bassins d'orage) établis pour la lutte contre les inondations dans le cadre du réseau existant; ces derniers tendent en outre de plus en plus à être gérés et entretenus de façon sophistiquée (télégestion automatisée et centralisée, modélisation,...). Les mesures de renouvellement ou de réfection des réseaux sont également de mise.
- Le principe de base pour les mesures compensatoires, comme déjà évoqué, est « de ne pas aggraver la situation par le fait de l'aménagement », outre l'intérêt porté au caractère épurateur des techniques (sans que l'on se préoccupe toujours du devenir des sédiments et autres polluants non biodégradés retenus).
 - ➔ En la matière, dans le cadre du développement ou de la rénovation urbains, la préoccupation est de réglementer le rejet des eaux pluviales dans les réseaux d'assainissement via des critères de rejet plutôt que d'imposer à l'aménageur des types de techniques elles-mêmes. Ces règles de rejet valent tant pour les aménagements publics que privés ; sauf exception, c'est l'averse décennale de projet qui est prise en compte.
- Outre les mesures portant sur une technicité hydraulique appropriée au cas par cas, le maintien d'un pourcentage d'espace vert est de règle, tant pour les espaces publics que privés.
- Des espaces publics sont souvent sollicités comme zones de submersion temporaire (en zones exposées) ou comme freins à l'écoulement (en zones sensibles).

8.4.2. En particulier

8.4.2.1. Lille

La réfection et le curage des égouts, la construction de grands bassins d'orage (exemple : « Gutenberg » : bassin de rétention de 152 m de long et 20 m de profondeur, 20 000 m³), sont les mesures prises pour poursuivre la lutte contre les

inondations. La télégestion des grands bassins d'orage est assurée par voie centralisée (système CAURALLI) ; le Service d'assainissement développe ses propres modèles de gestion hydraulique des réseaux.

En parallèle, de nouvelles prescriptions sont proposées « afin d'assurer des évolutions urbaines précautionneuses en matière de maîtrise des eaux de ruissellement et donc de prévention des inondations » dans le cadre du développement urbain. La politique communautaire en matière d'assainissement^{19,20} promeut le réseau séparatif, l'infiltration quand possible, la récupération des eaux pluviales pour des usages non sanitaires, les structures de rétention temporaire; il est prévu d'éditer un Guide de techniques alternatives pour les aménageurs.

Le règlement d'assainissement d'application à partir de février 2005 « institue une pratique conduisant à limiter l'imperméabilisation et à assurer une meilleure maîtrise des eaux pluviales ».

Zonage d'assainissement pluvial

Plus précisément, le zonage d'assainissement pluvial (ZAP) fixe les conditions d'application des prescriptions de rejets des eaux de ruissellement au réseau public d'assainissement ; en l'occurrence, il couvre une zone unique pour la CUDL (Communauté Urbaine de Lille).

La première solution préconisée est l'infiltration sur la parcelle pour autant que la capacité d'infiltration du sol soit au moins égale à 5.10^{-6} m/s ; si celle-ci est insuffisante, le rejet est dirigé de préférence vers le milieu naturel et est soumis aux prescriptions du gestionnaire du milieu récepteur.

L'excédent n'ayant pu ni être infiltré ni rejeté au milieu naturel est soumis à des limitations de débit avant rejet au réseau d'assainissement communautaire. Le débit de fuite maximal admis est de 2 l/sec.ha et le volume à stocker est le volume correspondant à l'averse décennale assortie de coefficients de ruissellement appropriés à chaque type de surface concernée ; si la superficie concernée est inférieure à 2 ha, le débit de fuite est fixé forfaitairement à 4 l/sec.

Le risque pluvial plus que décennal doit être évalué en termes d'évacuation convenable (déversement, écoulement, évacuation) sans préjudice pour les biens et personnes.

Sont concernés :

- toutes les opérations dont les superficies sont supérieures à 400 m² : le rejet doit correspondre à l'état naturel du sol et le volume à tamponner correspond alors à la différence entre le volume ruisselé urbanisé et le volume de ruissellement « état naturel » ;
- en cas d'extension, tous les cas où la superficie imperméabilisée augmente de plus de 20% ;
- tous les cas de reconversion-réhabilitation dont la surface imperméabilisée est de plus de 400 m² ;
- tous les parkings de plus de 10 places de stationnement.

¹⁹ « Règlement d'assainissement mis en application le 17 février 2005 » Lille Métropole Communauté Urbaine, 81 pages.

²⁰ Lille-Métropole (2005) « Assainissement : Rapport annuel sur le prix et la qualité du service public » 165 pages.

Qualité des eaux pluviales

Le service de l'assainissement de la CUDL peut imposer à l'usager des dispositifs particuliers de prétraitement des eaux, la qualité de celle-ci devant être au moins égale à celle exigée par l'arrêté préfectoral avant rejet au milieu naturel qui en constitue le réceptacle final.

Zones inondables et zones de saturation du réseau

Dans les zones cartographiées comme inondables (via le PLU – plan local d'urbanisme- ou un PPRI –plan de prévention du risque inondation - pour le pluvial), des conditions constructives sont à respecter.

Remarque

Le problème reste, comme ailleurs, l'absence de contrôle au niveau de l'exécution, de la bonne gestion et du bon entretien des ouvrages de type compensatoire.

8.4.2.2. Tournai

Tournai-ville ne contient pas de bassins d'orage, les inondations sur réseau étant relativement ponctuelles et l'Escaut assurant très largement l'évacuation des eaux de ruissellement (surtout depuis la suppression d'écluses); ce n'est pas nécessairement le cas des zones semi-rurales périurbaines (« le Grand Tournai ») soumises à un développement de type urbanisé.

Les mesures se portent actuellement :

- sur des études relatives à la nécessité de bassins d'orage dans certains cas ruraux ou périurbains afin de réguler l'apport pluvial supplémentaire,
- sur des études et modélisation du fonctionnement du réseau d'égouttage (par l'Intercommunale IPALLE),
- sur la réfection des égouts et collecteurs quand nécessaire (avec des nouveaux problèmes d'inondation ponctuels en raison de l'installation de conduites actuellement étanches et donc n'étant plus drainantes...),
- sur l'obligation d'installer une citerne d'eaux pluviales, en ce qui concerne les nouvelles habitations.

8.4.2.3. Bordeaux

La Communauté Urbaine de Bordeaux (900 km² de superficie) répertoriée^{21, 22, 23} :

²¹ C.E.T.E. du Sud-Ouest, Laboratoire de Bordeaux, Missions et délégations Inter-Services de l'Eau des départements 11-30-34-48-66, version 2002 « Les solutions compensatoires en assainissement pluvial – le choix et quelques principes de conception et de réalisation des techniques» 30 pages + annexes.

²² Piel C., Maytraud T. (2004) « La maîtrise des eaux pluviales en milieu urbain, support d'un développement

- 3 600 km de collecteurs d'assainissement dont 1 200 pour les eaux pluviales et 800 mixtes (le reste pour les eaux usées),
- 52 bassins de stockage dont plusieurs enterrés (2 342 000 m³ au total) et télé-contrôle centralisé RAMSES (nombreuses stations de pompage, la région étant sous l'influence notamment de la Garonne).

« En parallèle », des solutions compensatoires sont largement promues au niveau du développement urbain depuis plus de vingt ans. Les règles d'application pour les eaux pluviales sont :

- lorsque le réseau d'assainissement est établi, le débit pouvant être rejeté dans celui-ci ne pourra être supérieur à celui correspondant à une imperméabilisation de 30% de la surface du terrain,
- lorsque le réseau n'est pas établi ou insuffisant, l'aménageur devra réaliser sur son terrain, à sa charge, les dispositifs appropriés et proportionnés permettant l'évacuation soit directement, soit après stockage préalable, vers l'exutoire désigné par la CUB,
- un débit de fuite de 3 l/sec.ha (« correspondant à l'apport moyen naturel vierge ») et une averse de projet décennale.

8.4.2.4. Le « Grand Toulouse »

Pour le Grand Toulouse, il est défini des normes par zone (zonage d'assainissement pluvial²⁴ ou ZAP), moyennant les directives suivantes (Loi sur l'Eau, documents de planification SDAGE et SAGE) :

- une première zone correspondant au périmètre de la commune de Toulouse autorisant un débit de fuite maximal correspondant au débit généré par un coefficient d'imperméabilisation de 33% au maximum²⁵;
- une seconde zone correspondant aux autres communes de l'agglomération du Grand Toulouse, où le débit de fuite autorisé est celui généré par un coefficient d'imperméabilisation de 20 % (plus contraignant donc) ;
- Seul l'excès de ruissellement est canalisé.

durable plus global » NOVATECH Techniques et Stratégies Durables pour la Gestion des Eaux Urbaines par temps de Pluie, Actes de la Conférence Novatech, Volume 2, Session 2.6, pages 1179-1184.

²³ CUB, Direction Opérationnelle de l'Eau et de l'Assainissement : divers documents.

²⁴ Aussi zonage d'infiltrabilité, uniquement indicatif dans la mesure où il est précisé que l'étude relative à un aménagement devra effectuer une investigation précise in situ des possibilités et contraintes.

²⁵ Notre commentaire : dans tous les cas basés sur le seul concept d'imperméabilisation, se pose alors la question (et la latitude) d'attribuer des coefficients de ruissellements appropriés aux surfaces imperméables mais aussi aux autres surfaces.

8.4.2.5. Ville de Rennes

Pour la Ville de Rennes²⁶, deux types de zones sont retenus dans le cas de permis de construire, la commune prenant dès lors en charge vers le réseau^{27, 28} l'évacuation des eaux issues des zones à imperméabilisation inférieure à 90% (Zone 1) ou inférieure à 40% (Zone 2) suivant le cas:

- Dans la « Zone 1 » (le centre ville), de critère seuil de 90% d'imperméabilisation :
 - ➔ si 10% de la surface de la parcelle constructible reste en espace non imperméabilisé, aucune mesure compensatoire n'est demandée ;
 - ➔ si un espace est en zone non bâtie ou est libéré, la compensation est à réaliser au-delà du seuil 90% ;
 - ➔ pour une extension de construction existante en zone bâtie, la compensation est calculée sur base de l'imperméabilisation existant avant travaux.

- Pour le reste de la ville de Rennes, « Zone 2 », à 40 % de critère seuil d'imperméabilisation :
 - ➔ 60 % reste en espace non imperméabilisé : aucune mesure compensatoire ;
 - ➔ parcelle non bâtie ou libérée : compensation calculée au-delà de 40% ;
 - ➔ extension en zone bâtie : compensation calculée sur base de l'imperméabilisation existant avant travaux.

- Pour des superficies inférieures à 100 m² où si les volumes de stockage calculés sont inférieurs à 1m³ pour une création et 2 m³ pour une extension, aucune compensation n'est exigée.

- En outre, sauf étude précise, sont établis :
 - ➔ des normes de calcul de la pluie de projet : intensité-durée-fréquence d'averse (extrait de la courbe IDF) 10 ans, pendant 6 mn pour les ouvrages à créer, 1h pour les extensions ;
 - ➔ un coefficient de ruissellement de l'averse Cr, celui-ci étant égal au taux d'imperméabilisation pour les surfaces inférieures à 1ha, et

²⁶ Ministère de l'Ecologie et du Développement durable « Plans de prévention des risques naturels (PPR) – Risques d'inondation (ruissellement périurbain) » Note complémentaire, Dossiers Risques naturels majeurs, Version 4.31, Juin 2003, 67 pages.

²⁷ Seules les surfaces raccordées au réseau, unitaire ou pluvial, sont soumises à l'application de ces règles de compensation. Celles raccordées aux fonds inférieurs sont soumises à la Loi sur l'eau.

²⁸ Pas de précision normative à ce sujet dans le document précité, ni d'information relative à la mitigation des inondations par l'effet de ces mesures.

incluant un calcul de pente pour les superficies plus grandes que 1ha;

- ➔ un débit de fuite décennal valant $Cr. I_{\text{décennal},6\text{min}}$ pour les créations ou $Cr. I_{\text{décennal},1\text{h}}$ pour les extensions; on recommande de placer le trop plein à la cote maximale pour les récurrences supérieures à 10 ans (ou pour le cas de dysfonctionnement) ;
- ➔ l'obligation de mesures compensatoires (débits de fuite non précisés dans le document) en cas de dépassement des coefficients de ruissellement Cr précités.

8.4.3. L'approche spatiale raisonnée

La démarche décrite par le Département des Hauts-de-Seine²⁹³⁰ pour le réseau d'assainissement départemental eu égard aux nouveaux raccordements se base sur la détermination objective du débit pluvial de fuite par rapport à la pluie critique en tenant compte de la capacité de l'existant « conformément à l'approche globale préconisée par la législation européenne et synthétisée dans un Guide technique de l'assainissement ; ...le but est d'une part ne pas aggraver la situation actuelle face à l'urbanisation dans le cas de projets urbains nouveaux, d'autre part de garantir la pérennité des ouvrages de renforcement et de stockage réalisés par le Département sur le réseau... ».

En résumé :

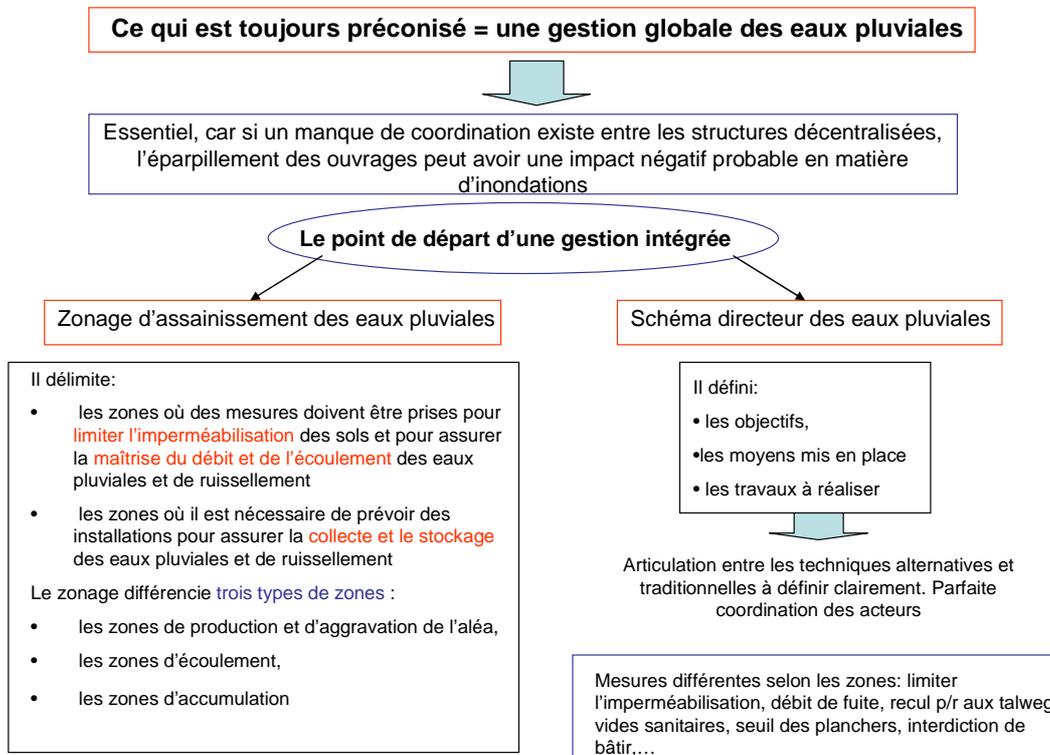
- La démarche tient compte du bassin versant d'apport d'une part, de la capacité des réseaux d'autre part.
- La méthode utilise un Système d'information géographique (SIG) pour le découpage en bassins versants élémentaires (1280 bassins versants élémentaires d'une superficie moyenne de 10 ha), l'occupation du sol, les caractéristiques des réseaux, une modélisation hydraulique et hydrologique pour une large palette d'évènements pluvieux avec constat de mise en charge de 27 % des bassins versants élémentaires pour la pluie de récurrence 1 an, de 64 % pour la récurrence décennale.
- La pluie critique (*de projet donc*) est définie au cas par cas : c'est celle pour laquelle le réseau est en moyenne saturé : 16 des 17 ensembles (bassins élémentaires regroupés) montrent une saturation pour des récurrences inférieures à 10 ans.
- L'excédent qu'il faut essayer de réduire est la différence entre le débit critique de saturation (de récurrence inférieure à 10 ans donc) et le débit de période de retour 10 ans.

²⁹ Les Hauts-de-Seine couvrent une périphérie urbaine et semi-urbaine étendue, au voisinage ouest de la région parisienne.

³⁰ Vauthier J., Friess L., Gatignol B., Soulier M. (2004) « Limitation des rejets d'eau pluviale à la parcelle en milieu urbain » NOVATECH Techniques et Stratégies Durables pour la Gestion des Eaux Urbaines par temps de Pluie, Actes de la Conférence Novatech, Volume 2, Session 2.5, pages 903-910.

Sur base d'une notion de valeurs-guides non critiques, les valeurs de limitations de rejet (débits de fuite) finalement retenues sont, suivant les bassins versants de 1 ou 2 ou 3 l/sec.ha et 10 ou 15 l/sec.ha; localement, les limites peuvent être plus contraignantes.

8.5. En conclusion



Les différentes démarches d'une gestion intégrée

1. Fixer une obligation de résultat

L'avantage de fixer une obligation de résultat de type « limitation du débit de fuite » est de connaître l'apport vers le réseau (de pouvoir le modéliser) et le prendre en compte dans la gestion.

Le désavantage est que cette mesure peut s'avérer inutile pour limiter l'imperméabilisation

2. Fixer les modalités de contrôle et de conformité

Pour que les contraintes imposées soient crédibles: nécessité de contrôle de chaque projet ce qui demande des moyens supplémentaires et une coordination des différentes administrations concernées.

3. L'entretien

Un suivi doit être mis en place pour vérifier que les infrastructures et mesures restent opérationnelles.

domaine public → c'est la collectivité qui est en charge de l'entretien

techniques alternatives = double fonction → l'entretien se fait par les services concernés par la fonction première de l'ouvrage (espaces vert, plan d'eau, voirie,...) → formation des employés.

Attention aux coûts d'entretien qui varient fort d'une technique à l'autre.

4. Le suivi

Principal danger = mauvaise gestion du suivi.

Multitude d'ouvrages → décentralisation, éparpillement → augmentation des besoins (matériel, financier) pour le suivi

Bordeaux = grandes infrastructures → pas de problème de suivi

Douai = multitudes d'ouvrages → gestion avec SIG indispensable

9. Mesures structurelles : techniques préventives

9.1. Assainissement compensatoire

Toutes les villes étudiées ont pris de longue date des mesures structurelles pour gérer les effluents urbains (eaux pluviales et eaux usées). Elles sont ainsi équipées de réseaux d'assainissement traditionnels constitués de systèmes de gestion d'égouts, de collecteurs, de bassins d'orage, de stations d'épuration et autres ouvrages. Ces réseaux sont tantôt séparatifs (Fribourg), tantôt unitaires (Tournai, Lille, ...).

Suite à l'extension de l'urbanisation et à l'imperméabilisation des sols qui l'a accompagnée, on observe depuis les 10 à 30 dernières années un intérêt pour des systèmes d'assainissement pluvial alternatifs dits compensatoires. Ces systèmes visent à atténuer l'impact des nouvelles urbanisations en vue de ne pas surcharger les réseaux existants.

Les mesures d'assainissement pluvial compensatoire ne visent donc pas à se substituer au réseau traditionnel, mais bien à travailler en complémentarité avec celui-ci. Sauf dans certaines conditions à l'échelle de la parcelle, voire du quartier, le réseau d'assainissement reste l'exutoire des eaux pluviales.

Outre sa contribution à l'aspect hydraulique de l'assainissement pluvial, l'intérêt de l'assainissement compensatoire réside dans le fait qu'il sollicite les espaces publics, collectifs et privés. En rendant ainsi l'assainissement pluvial visible, il constitue potentiellement un élément à exploiter dans la composition urbaine (organisation spatiale des nouveaux quartiers et lotissements, aménagement des espaces publics et des abords des bâtiments...).

9.1.1. Principes généraux... ou les chemins de l'eau

Les aspects idéalement recherchés en matière de techniques compensatoires sont les suivants :

Proximité

Limiter le ruissellement et éviter que l'eau de pluie ne s'engouffre dans les égouts et ne les sature demande d'agir le plus en amont possible et donc localement. En d'autres termes, le principe souhaité est d'intervenir là où l'eau intercepte le sol ou les surfaces construites, ou directement à proximité. C'est ainsi que l'assainissement compensatoire se décline en infrastructures collectives, publiques ou privées, individuelles ou collectives réparties sur le territoire tant dans le domaine public que le domaine privé.

Déconnection

On espère qu'il est plus aisé de gérer séparément les eaux pluviales à la parcelle, où le réseau privatif est séparatif, et d'une manière plus générale en amont du réseau public où elles sont mélangées aux eaux usées.

Systèmes de gestion

La gestion dite compensatoire des eaux pluviales à la parcelle s'attache à organiser un système comprenant l'un ou/et l'autre dispositif avant restitution au réseau d'assainissement ou au milieu naturel, qui assumera suivant le cas des fonctions de rétention des eaux de ruissellement, de ralentissement, de soustraction par évaporation, évapotranspiration, infiltration, évacuation différée (superficielle ou vers l'égout)...

Les aspects architecturaux

Pour peu qu'il soit possible de la réaliser à ciel ouvert, la gestion des eaux pluviales à la parcelle constitue une opportunité à saisir pour exprimer les chemins de l'eau comme élément de composition et de valorisation des abords. Dans ce sens, en plus de répondre à des nécessités techniques et environnementales, elle assume des fonctions éducatives, sociales, esthétiques, etc.

Simplicité

Les dispositifs d'assainissement alternatif n'auront de sens que s'ils conservent un caractère simple, faisant appel à des moyens techniques de base, relativement rustiques, et pour autant que leur entretien soit aisé.

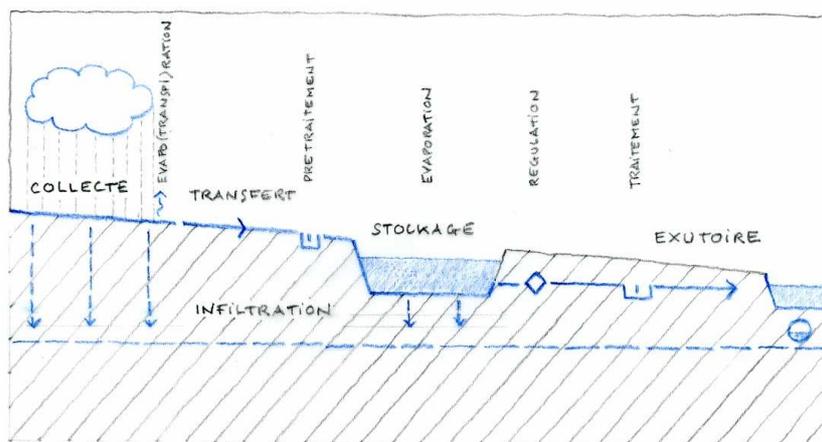


Fig 23 : Les fonctions de l'assainissement compensatoire ou les chemins de l'eau (source : B. Thielemans, CERAA)

9.1.2. Exemples de dispositifs d'assainissement compensatoire

Quelques principaux dispositifs applicables en RBC sont brièvement présentés ci-dessous au travers d'un exemple par type (description, représentations graphiques et photographiques, énoncé sommaire de leurs fonctions hydrologiques ou hydrauliques, retour d'expérience orienté vers leur usage dans la ville en matière d'aménagement spatial). Les fonctions ne sont citées ici qu'à titre indicatif. Elles seront évaluées sous l'angle de leur efficacité au point 9.5.

9.1.2.1. Surfaces de collecte : sol et imperméabilisation

Description

La surface de collecte est constituée de l'ensemble des surfaces recevant les pluies, dont les sols ; ces derniers contribuent quantitativement au ruissellement urbain en fonction de divers paramètres. Il existe par ailleurs des revêtements de sol relativement perméables tels que les graviers, la dolomie, les pavements à larges joints, les pavements perméables, les dalles gazon en béton ou synthétiques.

Fonctions hydrologiques ou hydrauliques:

En fonction des caractéristiques du sol et de son revêtement : collecte de la pluie incidente, rétention (un sol même saturé a une capacité (dite limite) d'infiltration et donc de rétention), infiltration, évapotranspiration (en présence de végétation), transfert du ruissellement.

Retour d'expérience

Dans le quartier Rieselfeld à Fribourg en Brigsau, le taux d'imperméabilisation prévu initialement était de 77% (planification – phase de projet 1995). Contrôlé et évalué en 2000 selon la « règle des compensations écologiques » (§1a BauGB loi sur l'urbanisme et du §8a NBatSchG loi sur la conservation de la nature), il s'est avéré que le taux d'imperméabilisation réalisé (calculé sur base des plans des demandes de permis de bâtir) atteignait à peine 47%. Ce résultat est vraisemblablement imputable à la taxation proportionnelle aux surface imperméabilisées et à la conscientisation par la ville des promoteurs et maîtres de l'ouvrage à l'occasion des demandes de permis de construire.

NB : Si selon l'étude IGEAT sur l'imperméabilisation en Région de Bruxelles-Capitale on observe des taux d'imperméabilisation comparables (entre 45 et 52% pour les communes d'Anderlecht, Berchem Ste Agathe, Evere, Ganshoren, Jette et Woluwé St-Lambert) voire inférieur (37% pour l'ensemble de la Région), il faut remarquer qu'à Rieselfeld la répartition des surface perméables est réalisée sur l'ensemble du quartier.



Fig 24 : Vue axonométrique du Quartier Rieselfeld à Fribourg en Brigsau et graphique répartition des surfaces (en vert, les surfaces perméables) (source : ville de Fribourg; B. Thielemans – ceraa sur base des chiffres de la Ville de Fribourg).

9.1.2.2. Surfaces de collecte pluviale : toitures

Description

Cette technique est utilisée pour ralentir le plus tôt possible le ruissellement grâce à un stockage temporaire de quelques centimètres d'eau de pluie sur les toits, relâché à faible débit.

Fonctions hydrologiques ou hydrauliques:

Collecte de la pluie incidente, stockage, évaporation (toitures-bacs ou graviers), évapotranspiration estivale (uniquement pour les toitures vertes), évacuation différée à faible débit moyennant régulation aménagée.

Retour d'expérience

A Fribourg en Brisgau, la taxe sur l'eau est calculée en fonction des surfaces imperméabilisées. Les toitures vertes sont comptabilisées.

Der Systemaufbau „Steinrosenflur“ für unterschiedliche Dachsituationen: ↗ Ausschreibungstexte unter www.zinco.de

für 0°-Dächer mit Florattec FS 50 / FS 75



Auf 0° Dächern, auf denen mangels Gefälle Pflözen zurückkloppen, muss der Standard-Systemaufbau abgewandelt werden. Durch den Einbau der 5 bzw. 7,5 cm hohen Florattec-Dränagelemente wird der notwendige Abstand zum stehenden Wasser sichergestellt. Der Begrünungsaufbau wird dadurch zwar etwas höher, jedoch nicht schwerer, da die Elemente aus Recycling-Hartschaum statisch kaum ins Gewicht fallen. Bei diesem Aufbau reicht die Trenn- und Schutzmatte TSM 32 aus, da das stehende Wasser zusätzlich zur Verfügung steht.

Aufbauhöhe:	ca. 12 bzw. 15 cm
Gewicht, wassergesättigt:	ca. 106 kg/m ²
Wasserspeichervolumen:	ca. 33 l/m ²
Abflusskennzahl C:	ca. 0,34

als wärmedämmende Dachbegrünung / DUO-Dach mit Floratherm® WD



Wählt man als Dränagelemente bauaufsichtlich zugelassene Floratherm®-Elemente als Unterbau, kann dieser Dachbegrünungsaufbau die Funktion einer zusätzlichen Wärmedämmung übernehmen. Dies spart Kosten für Heizung und Kühlung und hilft, z.B. im Zuge einer Dachsanierung, die Vorgaben der Energieeinsparverordnung zu erfüllen. Floratherm®-Elemente sind in 6,5 bzw. 12 cm Höhe mit unterschiedlichen Dämmwerten lieferbar, so dass nahezu jede Anforderung erfüllt werden kann. Ausführliche Informationen zum Thema „Wärmedämmende Dachbegrünung“ entnehmen Sie der ZinCo-Planungshilfe „Flachdachsanierung“.

Aufbauhöhe:	ca. 13 bzw. 18 cm
Gewicht, wassergesättigt:	ca. 108 kg/m ²
Wasserspeichervolumen:	ca. 36 l/m ²
Abflusskennzahl C:	ca. 0,34

für Umkehrdächer mit Floradrain® FD 25



Auf Umkehrdächern dürfen keine Schichten aufgebracht werden, die das Ausdiffundieren von Feuchtigkeit aus den dort als Wärmedämmung aufgetragenen XPS-Platten behindern. Deshalb ist die Speicherschutzmatte durch das diffusionsoffene Trenn- und Gleitvlies TGV 21 zu ersetzen und Wurzelschutzfolien sind - falls notwendig - direkt auf der Abdichtung, also unter den Wärmedämmplatten zu verlegen. Die fehlende Wasserspeicherung der Speicherschutzmatte wird durch eine höhere Substratschicht kompensiert.

Aufbauhöhe:	ca. 11 cm
Gewicht, wassergesättigt:	ca. 115 kg/m ²
Wasserspeichervolumen:	ca. 35 l/m ²
Abflusskennzahl C:	ca. 0,34

Systemaufbau „Steinrosenflur“ mit Abflusskennzahl C ≤ 0,3



Der Systemaufbau Steinrosenflur erreicht mit etwas mehr Substrat einen Abflussbeiwert ≤ 0,3. Die Pflanzen der Vegetationsformen Steinrosenflur, Kräutergarten, Gräserdach und Blütenwiese können das Mehrangebot an Wasser verwerten. Die Wahl des richtigen, an die Dachsituation angepassten Systemaufbaus ist entscheidend für die dauerhafte Funktion des Gründachs. Finschichtbauweisen bringen zwar mangels der Drainageleistung bereits bei geringeren Aufbausdicken niedrigere Abflussbeiwerte - sind jedoch vegetationsstechnisch kritisch zu sehen!

Aufbauhöhe:	ca. 11 cm
Gewicht, wassergesättigt:	ca. 130 kg/m ²
Wasserspeichervolumen:	ca. 42 l/m ²
Abflusskennzahl C:	ca. 0,29

Fig 25 : détails de diverses toitures vertes de capacité de rétention d'eau entre 33 et 42 l/m² (source : documentation technico-commerciale Floradrain).

9.1.2.4. Bassins secs

Description

Les bassins secs sont des ouvrages conçus de manière à stocker les eaux pluviales au-dessus d'un niveau donné et à la restituer en totalité. Ils peuvent être constitués soit d'espaces verts, soit de surfaces revêtues inondables. L'eau n'y est présente que de manière passagère.

Fonctions hydrologiques et hydrauliques:

Stockage pour restitution lente soit par infiltration, soit par évacuation régulée vers un exutoire.

Retour d'expérience

Pour assurer sa pérennité et rentabiliser le coût des acquisitions foncières, il importe que l'espace occupé par un bassin sec fasse l'objet de plusieurs usages qui intègrent son entretien. Le bassin sec dont la photo figure ci-dessous, réalisé au centre d'un ensemble de logements à Kupperbusch dans l'Emscher Park en Allemagne, sert d'espace de jeu pour les enfants, crée de la distance entre les logements et les articule.

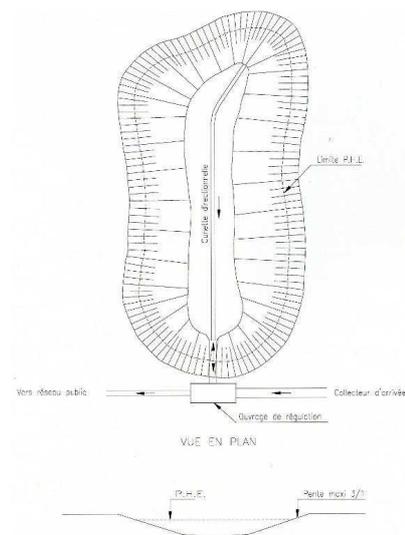


Fig 27 : Bassin sec : espace vert collectif d'un ensemble de logements à Kupperbusch – Emscher Park - Allemagne ; vue en plan et coupe de principe d'un bassin sec (sources : photo B. Thielemans; Fascicule III - Les solutions compensatoires en assainissement pluvial. Version 2 du 20 février 2002 Laboratoire de Bordeaux - Section R.T.U.)

9.1.2.5. Noues, fossés absorbants engazonnés ou plantés

Description

Une noue est généralement présentée comme un fossé large et peu profond, avec un profil présentant des rives en pente douce.

Le stockage et l'écoulement de l'eau se font à l'air libre, à l'intérieur de la noue. L'eau est collectée, soit par l'intermédiaire de canalisations dans le cas, par exemple, de récupération des eaux de toiture et de chaussée, soit directement après ruissellement sur les surfaces adjacentes. L'eau est évacuée vers un exutoire - réseau, puits ou bassin de rétention - ou par infiltration dans le sol et évaporation. Les noues peuvent être soit engazonnées, soit plantées.

Fonctions hydrologiques ou hydrauliques:

La fonction essentielle d'une noue consiste à stocker un épisode de pluie décennal (ou plus rare, centennal par exemple, si dimensionné pour autant moyennant espace supplémentaire disponible). Différents modes d'évacuation se combinent selon leur propre capacité. En général, lorsque le rejet à l'exutoire est limité, l'infiltration est nécessaire, à condition qu'elle soit possible.

Retour d'expérience

La noue est une solution compensatoire réputée économique et efficace, qui demande une gestion simple de type espace vert (tonte régulière, nettoyage des déchets,...) lorsque les conditions locales permettent de la réaliser de manière simple. Cette solution devient cependant moins économique lorsqu'elle est complétée d'ouvrages en béton ou de systèmes d'infiltration artificiels.

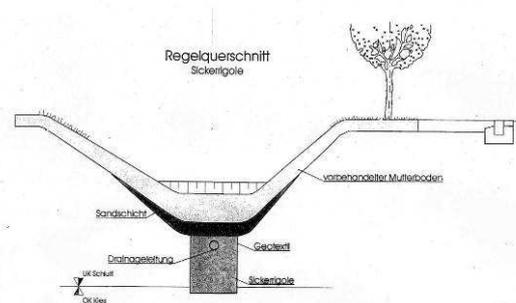


Fig 28 : Vue et coupe d'un fossé dans le quartier Vauban à Fribourg (sources : photo de D. Vancutsem pour le ceraa ; coupe extraite du dépliant de la société mixte de gestion de l'assainissement Badenova)

9.1.2.6. Bassins de rétention en eau

Description

Les bassins en eau sont des ouvrages conçus avec un plan d'eau permanent afin de permettre une meilleure intégration paysagère. Le tirant d'eau doit être au minimum de 1,5 m pour éviter le développement et la prolifération des plantes aquatiques. Le volume de stockage doit correspondre à la hauteur de marnage admissible au-dessus du plan d'eau permanent.

Fonctions hydrologiques ou hydrauliques

Stockage et restitution lente soit par infiltration, soit par évacuation régulée vers un exutoire.

Retour d'expérience

Le bassin doit avoir un usage secondaire pour que son entretien soit rendu obligatoire et donc que sa pérennité soit assurée, et pour rentabiliser le coût des acquisitions foncières.

Il nécessite une gestion compétente et clairement identifiée.

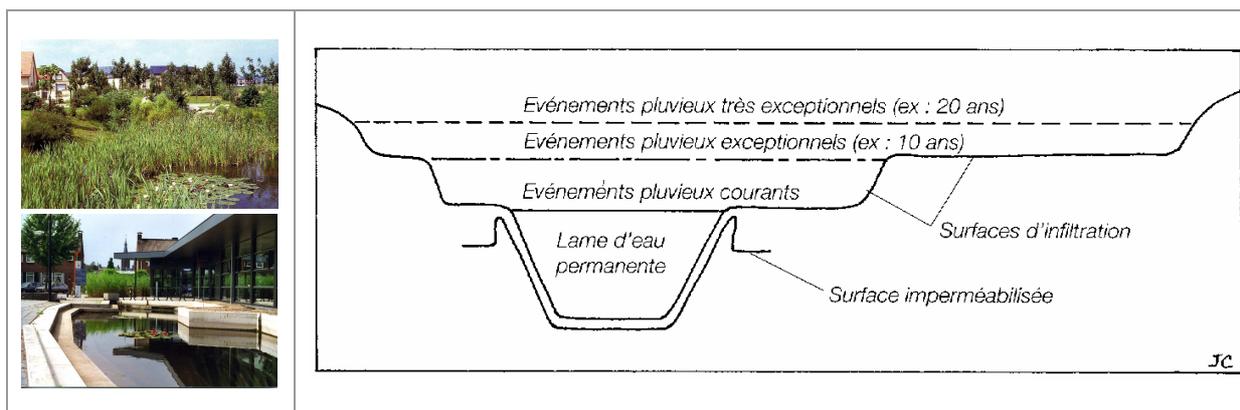


Fig 29 : Bassin en eau vue et coupe de principe ; exemple urbain à Pey Posterholz (NL) (Sources : Les eaux pluviales. Gestion intégrée. Jérôme Chaïb ; en bas à gauche photo B. Thielemans.)

9.1.2.7. Citerne d'eau de pluie

Description

Il faut distinguer la citerne de récupération des eaux de pluies à usage domestique de la citerne permettant d'absorber un évènement pluvial. La seconde pouvant fonctionner comme trop-plein de la première.

Fonctions hydrauliques:

Stockage et restitution lente par évacuation régulée vers un exutoire.
Amortissement partiel et aléatoire par usage domestique de l'eau de pluie (car le puisage de l'eau de pluie n'est pas coordonné avec les épisodes pluvieux).

Retour d'expérience

A Bordeaux l'usage de l'eau de pluie n'est pas mentionné dans les techniques compensatoires.

A Fribourg la citerne d'eau de pluie est recommandée et réglementée.

Remarque importante sur la viabilité économique des citernes à usage de l'eau de pluie

Les exemples d'utilisation domestique de l'eau de pluie cités dans la littérature et présentant un bilan économique positif sont la plupart du temps basés sur une surface de toiture de l'ordre de 100 à 120 m² pour un ménage de 4 personnes – soit une surface de collecte de 25 à 30 m² par personne. Cette approche correspond à l'habitat pavillonnaire très largement répandu dans les banlieues européennes, mais relativement peu présent en Région de Bruxelles-Capitale. Le calcul ne peut donc pas y être transposé sans adaptations du rapport entre la surface de collecte et les besoins des occupants en raison de la densité de l'habitat.

Exemple :

Une maison Bruxelloise type de 6.00m de façade (largeur) et 15.00m de profondeur (trois pièces en enfilade) présente une surface de collecte de 90 m². Si ce bâtiment est occupé par deux ménages (soit 8 personnes) la surface de collecte par personne est de 11,25 m². Dans le cas d'immeubles collectifs, cette surface est encore plus réduite.

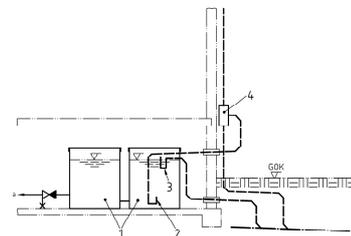
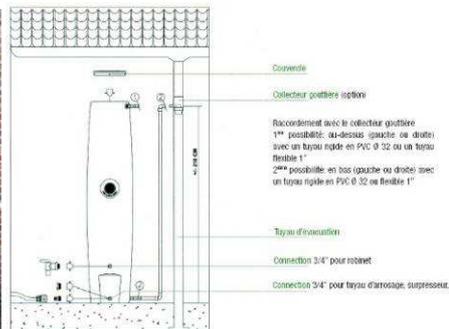
Or pour couvrir les besoins annuels de chaque habitant une surface de collecte de 15 à 25 m² est nécessaire pour le rinçage des toilettes, d'environ 10m² pour la lessive et d'environ 6 m² pour l'entretien (800 mm/m² de pluie par an dont 75% sont récupérés).

Sur base de quantités d'eau plus faibles que dans les exemples répandus dans la littérature, le calcul économique est très différent.

Signalons que ce calcul ne donne aucune indication quant au problème qui nous occupe, à savoir l'efficacité de la mesure et la gestion des eaux pluviales relatives à des averses de forte intensité.



Illustration : colonne „Plubo“



Legende
 1 Regenwasserspeicher 2 beruhigter Zulauf 3 Überlauf mit Geruchverschluss
 4 Filter a zur Betriebswasserpumpe

Bild 2 – Beispiel für einen Kellerspeicher oberhalb der Rückstauebene

Fig 30 : Exemples de citernes : colonne « Plubo » et exemple d'une citerne d'eau de pluie au dessus du niveau d'évacuation (sources : documentation technico-commerciale Plubo ; dépliant de la société mixte de gestion de l'assainissement Badenova)

9.1.2.8. Canalisations surdimensionnées et réservoirs de stockage

Description

Les canalisations surdimensionnées et les réservoirs de stockage sont des ouvrages techniques enterrés de rétention des eaux pluviales incorporés au réseau d'assainissement.

Fonctions hydrauliques:

Stockage et restitution régulée.

Retour d'expérience

Ces solutions, offrant peu de potentiel pour la composition (??) urbaine, sont retenues par la Communauté Urbaine de Bordeaux pour leur commodité d'entretien.

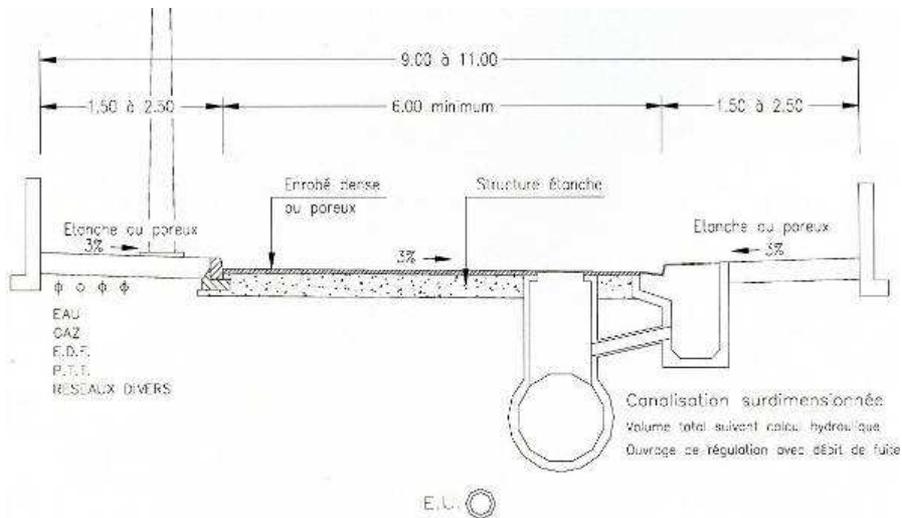


Fig 31 : Coupe dans une voirie avec canalisation surdimensionnée (sources : Fascicule III - Les solutions compensatoires en assainissement pluvial. Version 2 du 20 février 2002 Laboratoire de Bordeaux - Section R.T.U.)

9.1.2.9. Structures réservoirs

Description

Les structures réservoir sont des ouvrages conçus de manière à stocker les eaux pluviales directement sous une surface de collecte.

Elles sont constituées d'un revêtement de sol perméable reposant sur une structure poreuse. Ces structures sont utilisables en principe pour les parkings, voies circulées, trottoirs, places, allées de garages...

Pour les événements exceptionnels, on admet une inondation temporaire en surface.

Fonctions hydrologiques ou hydrauliques:

Collecte, infiltration au travers du revêtement perméable, stockage et restitution lente soit par infiltration, soit par évacuation régulée vers un exutoire.

Retour d'expérience

A Bordeaux les structures réservoir figurent parmi les solutions compensatoires les plus proposées et mises en œuvre pour les parkings uniquement, mais sont rejetées dans les lotissements et peu ou pas probantes pour les voiries (Voir plus loin).

Leur avantage principal réside dans la superposition des usages hydraulique et non hydraulique sans perte de place.

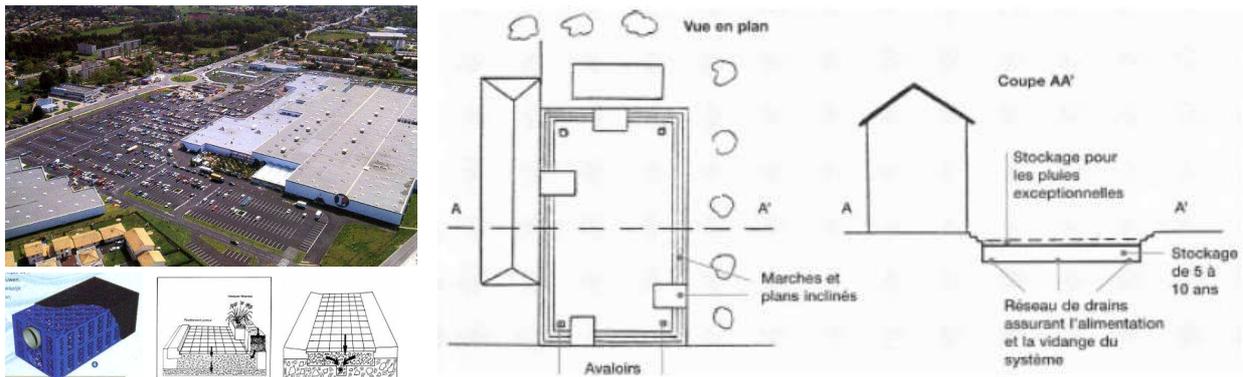


Fig 32 : Structures réservoir sous diverses formes (sources : plaquette « Les solutions compensatoires » CUB (photo); documentation technico-commerciale Wavin (structure alvéolaire); Les eaux pluviales. Gestion intégrée. Jérôme Chaïb.(schémas) ; Fascicule III - Les solutions compensatoires en assainissement pluvial. Version 2 du 20 février 2002 Laboratoire de Bordeaux - Section R.T.U.)

9.1.2.10. Puits d'infiltration

Description

Les puits d'infiltration sont conçus pour absorber rapidement l'eau de ruissellement générée par un évènement pluvieux et l'infiltrer dans le sol quand les surfaces disponibles sont restreintes et/ou quand la perméabilité du sol n'est pas suffisante. Ils peuvent être constitués d'éléments en béton ou plus sommairement de massifs poreux.

Fonctions hydrologiques ou hydrauliques:

Stockage, restitution par infiltration et selon les nécessités par évacuation régulée vers un exutoire.

Retour d'expérience

A Bordeaux les puits d'infiltration sont utilisés ponctuellement (sous forme de massifs poreux) pour améliorer les capacités des noues.

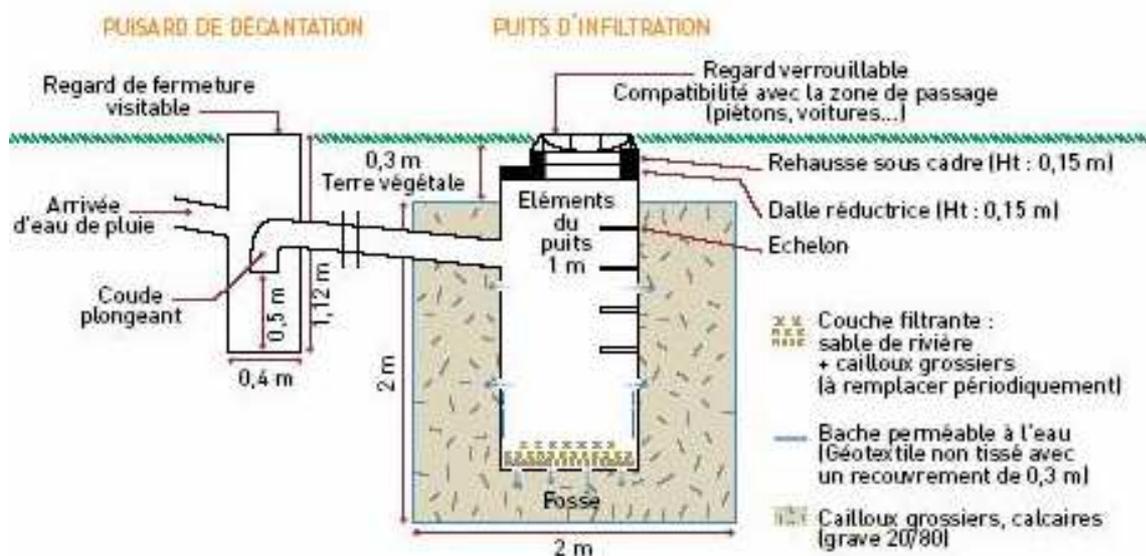


Fig 33 : Puits d'infiltration avec décanteur préalable. (Source : Communauté d'Agglomération du Pays de Montbéliard. Guide de la gestion des eaux pluviales).

9.1.2.11. Régulation

Description

Les systèmes de régulation sont conçus pour assurer les conditions de rejet imposées (débit de fuite maximum). La régulation est réalisée au moyen d'un drain calibré, ou par un ajustage de l'orifice d'évacuation selon le type de réservoir prévu en amont.

Fonctions hydrauliques

Régulation de l'évacuation d'un dispositif de stockage vers un exutoire.

Retour d'expérience

Le respect des débits de fuite constitue un élément clé de l'assainissement compensatoire, pour lequel il serait utile de mettre en place une procédure de contrôle.

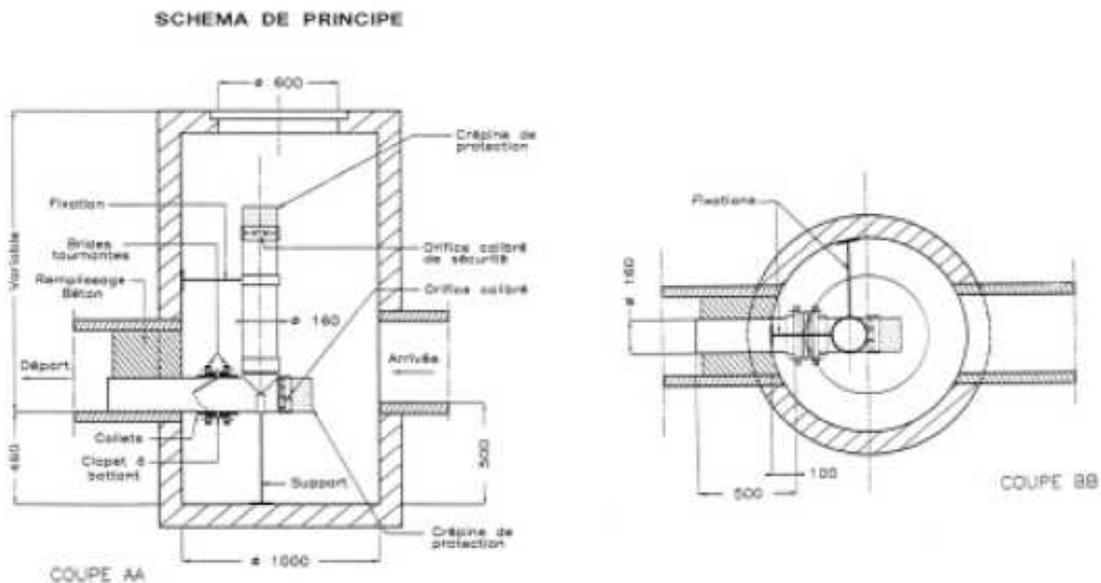


Fig 34 : Schéma de principe d'un système de régulation du débit de fuite. (Source : Fascicule III - Les solutions compensatoires en assainissement pluvial. Version 2 du 20 février 2002 Laboratoire de Bordeaux - Section R.T.U.)

9.1.2.12. Dispositifs de dépollution

Description

Les dispositifs de dépollution des eaux pluviales sont mis en œuvre lorsque l'exutoire d'un système d'assainissement compensatoire se fait dans les eaux de surface. Ils sont constitués de bassins successifs et agissent par décantation, filtration et phytoremédiation.

Fonctions hydrauliques

Le bassin de rétention joue le rôle de tampon en cas d'afflux important d'eau.

Retour d'expérience

A Bordeaux, le traitement des eaux pluviales représente un enjeu majeur des prochaines années pour la protection des milieux récepteurs.

A Fribourg après leur passage dans un dispositif de dépollution, les eaux pluviales du quartier Rieselfeld sont rejetées dans la zone naturelle protégée jouxtant le site (qui a donné son nom au quartier) et a de ce fait pu être conservée sans perte de qualité.

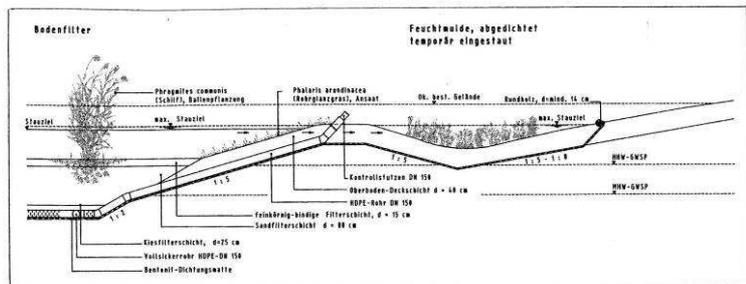


Abb. 5: Regelquerschnitt Retentions-Bodenfilter

Fig 35 : Dispositifs de dépollution des eaux pluviales après ruissellement et avant leur restitution au milieu naturel à Malmö en Suède et dans le quartier Riselfeld à Fribourg. (Sources : photo de B. Thielemans – ceraa ; ...)

9.2. Adaptation des bâtiments

Comme le montre André Guillaume dans son ouvrage historique « Les temps de l'eau »³¹, nombreuses sont les villes qui se sont établies et développées dans des lieux où elles entretenaient un rapport intime à l'eau, pour des raisons défensives, utilitaires, symboliques, voire foncières, non sans en subir plus ou moins régulièrement les désagréments.

De ce fait historique subsistent aujourd'hui des quartiers construits en zone inondable, dans lesquels l'imperméabilisation des sols est une donnée parmi d'autres, où les infrastructures d'assainissement et de protection ne sont à ce jour pas parvenues à limiter suffisamment les inondations.

Le CERTU³² a étudié la question de savoir ce qu'il serait opportun de faire dans de tels quartiers et propose, plutôt que de tenter vainement de maîtriser les phénomènes naturels, une approche qui les prend en compte pour revaloriser lesdits quartiers en adaptant le bâti.

Interventions sur bâtiments existants

- Surélévation du plancher du rez-de-chaussée au dessus du niveau des plus hautes eaux en cas d'inondation.
- Création de zones refuge où les occupants peuvent se tenir au sec en cas d'inondation.
- Traitements ponctuels du bâti
 - Traitement des soubassements,
 - Remplacement de portails (portes qui ne se dégradent pas en présence d'eau et qui ne s'opposent pas aux mouvements de l'eau,
 - Traitement des murs au rez-de-chaussée (matériaux résistants à l'eau, ...)
 - Système d'aération pour le séchage des parties inondées
 - Système d'évacuation d'eau
 - Mise en place de batardeaux au niveau des ouvertures, utilisation de matériaux résistants à l'eau (carrelages, etc.),
 - Mise hors d'eau du matériel sensible des réseaux (compteurs, etc.) et des équipements (chaudières, appareils électriques,)
- Changement d'usage du rez-de-chaussée
- Transformation de logements en garages

Interventions urbaines

- Démolition et reconstruction avec contraintes de niveau

Intervention sur domaine public

- Reprofilage de l'espace public (pentes et contre-pentes des rues, trottoirs, ruelles, ...)

³¹ Guillaume A. (1983) « Les temps de l'eau. La cité, l'eau et les techniques » Champ Vallon, Seyssel, France

³² Certu (2003 ou postérieur) « Centre-ville en zone inondable. Prise en compte du risque. Dix exemples d'adaptation du bâti », Paris.

9.3. Applicabilité des mesures compensatoires en Région de Bruxelles-Capitale

Hors contraintes hydrologiques et problématique d'efficacité et de durabilité qui sont vus ultérieurement, l'applicabilité de principe est examinée ici pour la RBC.

Applicabilité à Bruxelles	
Localisation dans le tissu urbain	<p>En raison de leur emprise au sol relativement importante (en rapport avec la surface de collecte), les dispositifs de stockage à ciel ouvert, sont des ouvrages principalement adaptés à la ville verte (urbanisme en ordre ouvert, milieux péri-urbain ou ruraux, zones de recul, jardins, zone de recul, parcs).</p> <p>Dans la ville dense, la fréquentation et l'occupation du sol sont des contraintes fortes. Les aménagements portant sur la surface de collecte et les dispositifs de stockage enterrés (bassins d'orage classiques) seront privilégiés.</p>
Composition urbaine, paysage, principes de composition de l'espace public	<p>Les chemins de l'eau, dont les déplacements se font naturellement par gravité, depuis la surface de collecte à l'exutoire, selon des déplacements lents ou plus rapides, empruntant des formes géométriques ou non, offrent un potentiel exceptionnel de composition paysagère et urbaine.</p>
Multifonctionnalité	<p>En dehors des périodes d'inondation, les bassins secs peuvent recevoir d'autres usages qui ne compromettent pas leur fonction hydraulique: Les bassins secs engazonnés s'offrent comme aires de détente, terrains de jeu, etc... Les bassins secs revêtus constituent des lieux propices aux espaces de jeu, parkings de surface, places publiques, ...</p>
Dimension sociale	<p>Concertation : induisant un rapport nouveau à l'égard de l'assainissement pluvial, la mise en place d'un bassin sec doit être envisagé en concertation avec toutes les parties prenantes : riverains, gestionnaires chargés de l'entretien, usagers réguliers ou occasionnels des lieux, police locale, etc.</p> <p>Information: un effort de pédagogie visant à rappeler au public le principe et les limites d'utilisation sera le bienvenu.</p> <p>Appropriation :</p>
Statut : propriété et gestion compétente	<p>La responsabilité de la permanence et de la qualité de la gestion dans le temps (entretien, information au public, ...) doit être clairement établie dès le départ et assumée avec compétence.</p>
Aspects environnementaux	<p>Pollution : si la surface de collecte présente un risque de pollution particulier, un dispositif de prétraitement doit être placé en amont du bassin.</p> <p>Nappe phréatique : l'infiltration n'est envisageable que si le plus haut niveau de la nappe est situé 1 mètre sous le fond du dispositif d'infiltration (voir aussi les autres conditions, rapport du Professeur Dautrebande).</p> <p>Nature du sol : le sol doit être suffisamment perméable (voir rapport du Professeur Dautrebande).</p> <p>Exutoire dans les eaux de surface : prévoir un dispositif de dépollution travaillant par décantation, filtration, phytoremédiation.</p>

9.4. Retours d'expérience en matière d'efficacité des mesures

Les limitations hydrologiques ou hydrauliques d'ordre général sont résumées dans le schéma de la figure 36 (pour détail, voir le rapport annexe hydrologique)

Signalons que les analyses quantitatives en termes d'efficacité sont rares, particulièrement pour ce qui concerne les effets des averses intenses. Les évaluations identifiées sont reportées dans la suite au cas par cas.

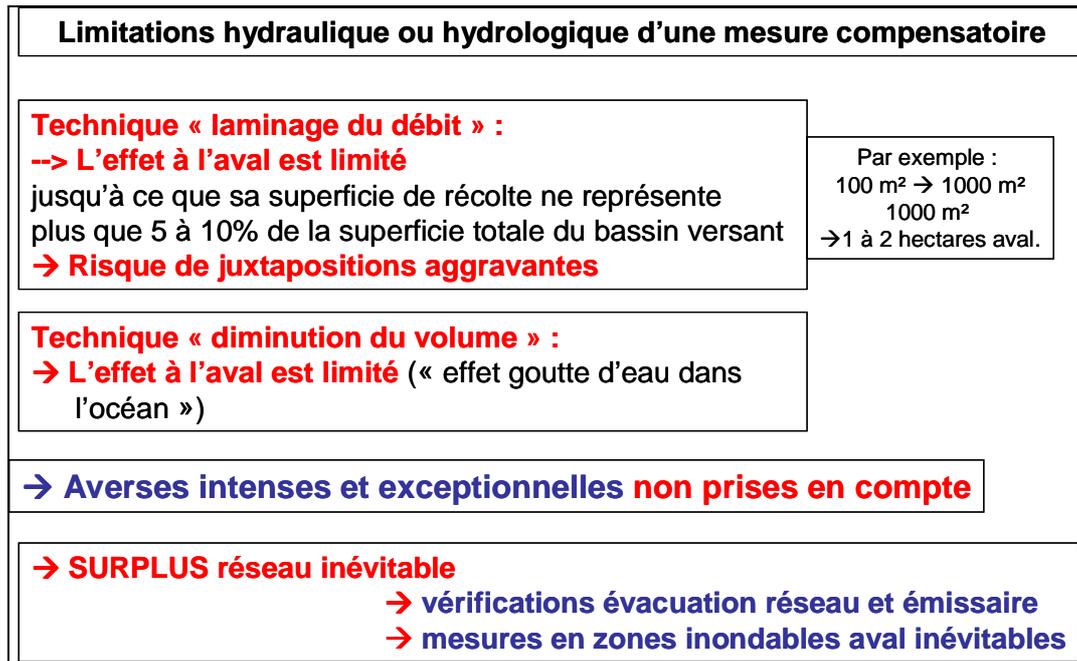


Fig 36 : Résumé des limitations générales de l'efficacité hydrologique ou hydraulique.

9.4.1.1. Les chaussées poreuses

Il s'agit des chaussées-poreuses qu'elles soient infiltrantes ou stockantes (chaussées-réservoir). Rappelons que leur effet de principe peut être de deux types :

- diminution des volumes de ruissellement de surface du fait de l'infiltration (vers une structure réservoir drainante ou vers le sous-sol);
- ralentissement des flux de ruissellement résiduel du fait de la rugosité de surface, agissant sur le temps de concentration des eaux (allongé) et sur l'atténuation des débits.

En termes de retours d'expérience, il apparaît cependant que les chaussées poreuses s'obstruent assez rapidement par défaut de la mise en œuvre de systèmes spéciaux d'entretien.

On retiendra les retours d'expérience de Tournai et Bordeaux à ce sujet, plus quelques exemples issus de la documentation consultée.

9.4.1.1.1. Tournai

L'exemple est rapporté par les représentants de la ville de Tournai: la Ville a installé une chaussée-poreuse il y a une quinzaine d'années ; celle-ci est complètement obstruée outre le fait que des percements divers de voirie ont du être effectués pour d'autres réseaux ou travaux. Il s'ensuit que le problème d'inondation s'est en définitive aggravé par défaut d'infrastructure de sauvegarde en cas de défaillance... Ce genre de problématique est également rapporté à Lille.

9.4.1.1.2. Bordeaux

Le second cas est encore plus exemplatif par sa dimension : sur la centaine de chaussées poreuses répertoriées à la CUB (Communauté Urbaine de Bordeaux), seulement 18% sont encore opérationnelles, et les coûts de nettoyage sont actuellement jugés trop élevés (Fig. 37 et 38). La littérature sur le sujet fait d'ailleurs souvent écho à ces problèmes d'obstruction, sans compter la question de toxicité des éléments retenus.

M. TAVART rappelle au niveau des opérations d'urbanisme qu'on a souvent recours à des voiries internes poreuses qui, après dix à quinze ans d'existence sont colmatées, les rejets se déversant à nouveau dans les réseaux d'Eaux Pluviales. Il rappelle également que pour des constructions à caractère social, il est très difficile de parvenir à un équilibre financier quand on intègre ces aménagements dans le coût de la construction.

M. BOURGOGNE souligne l'intérêt de rechercher des solutions de stockage des eaux pluviales sur les parcelles pour les réutiliser pour l'arrosage par exemple.

M. DANE s'inquiète quant à la coordination entre les différents services lors de la réalisation de grands projets et souhaite que les commissions Voirie et Assainissement réfléchissent de concert sur ce sujet.

Les commissaires échangent leurs impressions à la lecture du tableau relatif au Schéma Directeur des Eaux Pluviales par commune et confirment qu'il sera délicat de procéder au choix des opérations retenues.

En réponse à **M. QUERON**, **M. BOURGOGNE** confirme que le Schéma Directeur des Eaux Pluviales est susceptible d'évoluer, bien entendu, tant au niveau des réalisations projetées que des financements retenus.

Fig 37 : Extrait de Compte-rendu de Commission de la CUB (Bordeaux) – Commission Assainissement et Eau : séance du 12 mai 2004.

11 - Etat des lieux des solutions compensatoires de type chaussées poreuses présentes sur le territoire communautaire - Communication

M. BOURGOGNE indique qu'un inventaire des solutions compensatoires de type chaussées réservoirs mises en place sur la CUB ces dernières années a été effectué et a permis de recenser une centaine de sites existants dont 22% environ sont publics.

Il rappelle que le principe de fonctionnement de ces ouvrages est basé sur le recueil des eaux de pluies au travers d'un revêtement poreux, le stockage temporaire, et la restitution régulée vers l'aval. On rencontre des solutions compensatoires aussi bien sur sites publics que sur sites privés.

Sur sites publics, 18% d'entre eux sont en bon état de conservation et présentent une perméabilité satisfaisante, 50% sont en bon état de conservation mais présentent une perméabilité insuffisante, enfin, 32% sont en mauvais état de conservation et colmatés.

Concernant les sites privés, c'est-à-dire les voies de lotissement, **M. BOURGOGNE** précise que des difficultés se rencontrent dans le cadre de leur incorporation au domaine public communautaire. Aussi, la Direction Opérationnelle Eau et Assainissement et la Direction Opérationnelle Voirie Circulation et Proximité (DOVCP) ont mené une réflexion visant à mettre en œuvre une procédure conjointe d'incorporation de ces structures spécifiques.

Par ailleurs, s'agissant des sites dont le fonctionnement n'est pas satisfaisant, il est convenu de refuser leur prise en charge en l'état.

COMMUNICATION

Fig 38 : Extrait de Compte-rendu de la CUB (Bordeaux) – Commission Assainissement et Eau : séance du 1^{er} décembre 2005.

9.4.1.1.3. Autres

D'autres exemples de la littérature conduisent à des constats aléatoires^{33, 34, 35} :

- Sur base d'essais avec simulateurs de pluie (et hors problématique d'obstructions), on a observé une réduction du débit de pointe (débit maximum) de plus de deux fois pour les intensités pluviométriques de l'ordre de 30 à 50 mm/h ; cette réduction significative paraît due cependant pour une bonne part, au fait d'une interception et stockage initiaux assez importants (chaussée sèche au départ), auquel cas les conditions initiales d'humidité de la chaussée au début de l'averse seraient déterminantes pour leur efficacité.
- A partir d'observations sur chaussées asphaltées poreuses extrêmement perméables (conductivité hydraulique de 0,50 à 1 m/h !) installées depuis 3-4 ans, on a observé un taux d'infiltration de 6 à 7 cm/h, pour une précipitation de 90 cm/h, soit moins de 10% d'infiltration.
- Une étude en Ontario³⁶ (Canada) sur des sections fréquentées et non fréquentées de chaussées poreuses montrent que les sections fréquentées se colmatent plus que les sections non fréquentées et confirment que la capacité d'infiltration diminue pour toutes avec le temps; il ya des différences suivant le type de pavés ou revêtements.
- La même étude met en évidence en tant qu'élément favorable (comme fréquemment dans ces études de mesures compensatoires) le pouvoir de rétention eu égard aux sédiments et à des polluants divers.... ; c'est évidemment la contrepartie du colmatage...et l'on peut se poser la question du devenir de ces polluants ainsi concentrés...

En conclusion : l'efficacité durable des chaussées-poreuses est peu probante en termes de retours d'expérience ; les problèmes de colmatage et les coûts élevés de nettoyage, devant faire appel à des techniques coûteuses et sophistiquées apparaissent comme des éléments plutôt rédhibitoires.

9.4.1.2. Les toitures avec stockage

On reprend et résume ici les « retours d'expérience » qu'il a été possible de rassembler et qui sont susceptibles de fournir quelque information quantitative quant à l'efficacité individuelle de la technique de stockage d'eau pluviale sur toiture lors d'averses intenses. Seules des informations relatives aux toitures verdurisées ont pu être récoltées. Signalons cependant que l'efficacité des toitures-bacs est au moins équivalente pour une épaisseur de stockage utile deux fois moindre.

³³ Seneca College, King City, Ontario « Performance evaluation of permeable pavement and a bioretention swale » Interim Report, 2006.

³⁴ Tels qu'exposé par Ferguson B. F. (2005) «Porous pavements » Integrative Studies in Water Management and Land development, Robert F. France Ed., 577 pages.

³⁵ Rezé : exemple plus ambigu, du fait du constat de la présence de tranchée sous-jacente.

³⁶ Référence <http://www.gis/~dmiller/porpave.htm>, cité par « Le revêtement poreux » Société canadienne d'hypothèques et de logement SCHL-CMHC» (2003) (4 pages).

On rappellera que sont examinés ici uniquement les aspects (avantages, inconvénients) hydrologiques ou hydrauliques. Les autres critères (paysagers, installation, coûts,..) sont analysés par ailleurs.

9.4.1.2.1. Aspects quantitatifs

On citera les « retours d'expérience » suivants, qui confirment d'ailleurs que le substrat doit être sec au début de l'averse pour être efficace et que la régulation est le plus souvent évaluée pour les averses faibles et moyennes, avec de rares exemples en ce qui concerne les effets des averses intenses :

- Une « toiture-jardin » de 72 m² (végétation extensive sur substrat de 15 cm³⁷, pas d'indication quant au système de régulation du débit de fuite) : la partie de l'étude³⁸ portant sur l'évaluation de la rétention des eaux pluviales met en exergue un unique exemple d'une averse de 19 mm pendant 6,5 heures (soit une intensité moyenne, très faible, d'environ 3 mm/h) ; l'atténuation est de 16 mm à la fin de l'averse, soit une diminution de la lame de ruissellement de 85% par rapport à l'averse. Ceci signifie que le substrat était sec au début de l'averse à une teneur en eau inférieure à sa « capacité de rétention », capacité dès lors restaurée lors de l'averse.
- Toitures verdurisées³⁹ (système drainant, régulation du débit de fuite et surverse non décrits), différentes observations:
 - Pour une couche de substrat de 12 cm ou de 5 cm, une averse de 34 mm en moins d'1h : interception initiale et restitution au sol (sec au début de l'averse à une teneur à nouveau en deçà de sa capacité de rétention) de 25 mm, d'où écoulement réduit à un total de 9 mm ; dès que la capacité de rétention du substrat est satisfaite, l'effet « retard de l'écoulement » ne se manifeste plus.
 - Pour une averse de 10 mm, l'écoulement a été d'environ 5 mm, ce qui signifie stockage (effet d'interception - ou de déficit en eau du sol -) de 5 mm : l'effet réducteur « de 50% » est dû ici essentiellement à la faible hauteur d'averse.
 - Une comparaison graphique entre toiture bitumineuse classique et toiture verte pour une averse dont la première partie est de forte intensité (pic de 60 mm/h en 2h environ, puis environ 15 mm/h pendant les deux heures suivantes) montre que pour la toiture verte l'averse est absorbée dans cet exemple pour les deux premières heures, indiquant un substrat sec largement en-deçà de sa capacité de rétention. Comme celle-ci est atteinte ensuite, lors des deux heures suivantes, les flux issus des deux structures, toiture verte et toiture bitumineuse, sont similaires (effet « toiture verte » annulé).

³⁷ Remarque : plus souvent de 10 cm au maximum.

³⁸ Liu K.Y. et Baskaran A. (2005) « Des toitures-jardins pour une meilleure durabilité des bâtiments » Conseil National de recherches du Canada (CNRC), Solution constructive N°65, 8 pages, site http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/pubs/ctus/65_f.html.

³⁹ Köhler M., Schmidt M., Grimme F.W., Laar M. & Gusmao F. (2001) "Urban Water retention by greened Roofs in temperate and tropical climate" First published on the 38th IFLA World Congress (International Federation of Landscape Architects), Singapore, 12 pages.

- Réponse de toitures verdurisées (« toitures-vertes ») à des averses intenses sur base de simulations⁴⁰ : le substrat est porté à une épaisseur de 30 cm (!) et la capacité de rétention à 250 mm, l'humidité initiale du substrat est portée à 80 mm (!), c'est-à-dire sol très asséché...; de ce fait, les résultats de simulation s'en ressentent et il est clair que l'on exploite l'assèchement maximal du sol comme effet déterminant.
- Des comparaisons^{41,42} entre toitures-vertes supportant différentes végétations confirment que l'efficacité de la toiture verte est liée à l'assèchement préalable suffisant du substrat (l'exemple n'est donc pas représentatif sur le plan de l'évaluation des effets de la variabilité climatique).
- Une étude⁴³ de simulation sur vingt années climatiques par un modèle de bilan simplifié « eau-sol-plantes-climat » journalier aboutit à montrer que la réduction du débit de pointe est significative pour les averses faibles et moyennes et l'est peu ou pas pour des averses intenses (mais épaisseur du substrat de croissance des plantes est ici réduit : 25 et 40 mm).

9.4.1.2.2. Aspects qualité de l'eau pluviale

Paradoxalement, les toitures-vertes ne semblent pas efficaces quant à l'amélioration de la qualité des eaux pluviales, que du contraire même, du moins en Belgique : des mesures de qualité de l'eau issues de 11 toitures-vertes montrent plutôt une dégradation ; les auteurs de l'étude^{42,44} conseillent de mettre un filtre à charbon actif si utilisation des eaux pluviales drainées résiduelles.

L'ensemble de ces résultats indique que l'effet bénéfique des « toitures vertes », tant pour l'amortissement des flux que pour une diminution significative des volumes pluviaux est attribuable, pour une épaisseur de substrat donnée, à l'épaisseur du « substrat sol » + « substrat massif drainant », à leur stock d'eau utile (pour les végétaux) et à la probabilité que ce stock d'eau aie eu le temps d'être suffisamment « consommé » (par évapotranspiration réelle pour le sol sous végétation, par remontée capillaire pour le massif drainant) avant le début de l'averse.

La statistique de la succession des jours secs précédant les averses intenses est donc un élément déterminant pour évaluer l'efficacité des structures « toitures vertes ». Il en est de même pour les toitures-bacs, de façon plus favorable compte tenu du fait que l'épaisseur d'eau équivalente s'évaporera plus rapidement.

Il s'ensuit que l'efficacité réelle de la toiture avec stockage serait utile à évaluer et les différents types à comparer pour des averses intenses, par exemple sur base de simulation par modélisation utilisant des séquences climatiques réelles journalières pluriannuelles, à défaut d'observations « in situ » de longue durée.

⁴⁰ NRC-CNRC (2003) « Evaluating Rooftop and Vertical Gardens as an Adaptation Strategy for Urban Areas » CCAF Report B1046, 106 pages.

⁴¹ Monterusso M.A., Rowe D.B., Russell D.K. et Rugh C.L. (2004) «Runoff water quantity and Quality from Green Roof Systems» Proc. XXVI IHC – Horticulture, Human Well-Being and Life Quality, Acta Hort. 639, ISHS, pp 369-383.

⁴² De Cuyper K., Dinne K., Van De Vel L. (2005) « Rainwater discharge from green roofs» International Digest, from Belgium; Plumbing Systems & Design, pp 10-14.

⁴³ Kriks D., Opheim B., Russell R., Washburn M. (2006) «Green Roof Design for the University of Iowa IIHR Building- Project Report» The Univ. of Iowa.

⁴⁴ De Cuyper K., Dinne K. (2006) « Toitures-vertes : Evacuation des eaux pluviales » CSTC-Contacts 1(3-2006).

Enfin la qualité semble t'il médiocre, de l'eau pluviale résiduelle des toitures verdurisées est un aspect dont il est nécessaire de tenir compte (pas d'information disponible pour les toitures-bacs).

9.4.1.3. Les noues

Cent septante expérimentations rassemblées sur une série de BMP aux USA (Structures « Best Management Practices », équivalent des termes Mesures compensatoires ou Techniques alternatives) en fonctionnement montrent⁴⁵ en particulier, pour les noues, une réduction moyenne de 7,5 mm pour un afflux pluvial de 25 à 35 mm ; cependant aucune information n'est donnée sur les effets spécifiques lors d'averses intenses.

Par ailleurs, la remarque est souvent faite dans les Guides techniques que les noues doivent impérativement être entretenues (tondre, arroser éventuellement, nettoyer sédiments, feuilles, détritiques divers,...), sous peine de se transformer en mares ou en égouts à ciel ouvert.

9.4.1.4. Les Vues d'ensemble

9.4.1.4.1. Bordeaux

Bordeaux a effectué un bilan critique récent des solutions compensatoires (établies depuis 1982) : il est globalement mitigé du fait de la mauvaise intégration, de l'absence de gestion ou d'entretien ; des tentatives d'amélioration de ces aspects sont en cours.

Signalons à ce propos encore le constat de J. Maigne qui remarque que la ville de Bordeaux n'a, par exemple, qu'un intérêt limité pour un suivi du fait que la politique d'assainissement s'appuie surtout sur ses bassins de rétention.

9.4.1.4.2. Seine-St-Denis

En termes de retours d'expérience, on mettra en exergue le bilan effectué par le Département Seine-St-Denis⁴⁶, soient les termes suivants in extenso : «...L'action départementale fait l'objet depuis 1993 d'une évaluation méthodique (recensement des ouvrages de stockage depuis 1992) qui a permis de constater en 1995-96 que des dispositifs de stockage étaient en grande majorité réalisés par les aménageurs, mais qu'ils n'étaient pas toujours adaptés au type d'aménagement réalisé, rarement entretenus, et, parfois même, inconnus de leurs propriétaires Ce constat a conduit le Département à développer non plus « des techniques alternatives » mais « une approche alternative » induisant une démarche de concertation entre (en l'occurrence) le Département propriétaire du réseau et les acteurs de l'aménagement, réceptionnaires des directives ».

⁴⁵ Strecker E.W., Quigley M. M., P.E. and Urbonas B., P.E. (2003 ?) "A reassessment of the Expanded EPA/ASCE National BMP Database" pp 555-574.

⁴⁶ Extraits de « L'eau dans le projet urbain en Seine-St-Denis » Direction de l'Eau et l'Assainissement, Bureau de l'assainissement et liaison avec l'aménagement et l'urbanisme, in « Les Points de repère du 93 », Juin 2003, n° 36, ISSN 1251-8816.

9.4.1.4.3. Douai

Compte tenu de la nécessité de gestion, d'autant plus complexe que sont multiples et décentralisées les actions locales. J. Maigne, dans sa synthèse en 2006, met en exergue la mise en œuvre d'un SIG par l'Agglomération de Douai reprenant pour les techniques alternatives utilisées (1000 installations) notamment la localisation de chacune, des plans de gestion par quartier, la date et lieu de visites de contrôle.

9.4.1.4.4. En synthèse...

Le constat général implicite ou explicite est « une considérable incertitude sur la durabilité (durée de vie réelle) de ces systèmes multipliés »^{47,48}.

S'inspirant de l'analyse et des suggestions de J. Maigne, l'encart qui suit résume la situation.

Sous peine d'échec à court ou moyen terme, l'approche globale est une base de départ recommandée pour la durabilité des mesures compensatoires, incluant la mise en normes de critères de débits de fuite (débits de rejet), de taux d'imperméabilisation et autres éventuels. Cette approche comporte grosso modo :

- Un plan d'ensemble pour les nouveaux aménagements d'urbanisation (ou les rénovations) « par unité fonctionnelle (le petit bassin versant sensible) avec :
 - un objectif de résultat (généralement du type décennal « non inondant », sauf sécurisations particulières) sur le plan quantité aussi bien que qualité (...du type constance du « pré-post développement » avec, dans tous les cas, un taux d'espaces verts à maintenir),
 - un objectif de durabilité (à défaut, la situation sera pire à court ou moyen terme que le tout à l'égout),
 - une gestion coordonnée des politiques et des moyens de suivi.
- Localement (niveau communal ?)
 - la promotion des techniques les plus adaptées.
- En complément, des mesures pour les averses intenses et exceptionnelles (réseau de surface, zones inondables, minimisation de la vulnérabilité et de l'exposition).

⁴⁷ « Learning to live with rivers » Final Report of the Institution of civil engineers' presidential commission to review the technical aspects of flood risk management in England and Wales; november 2001, 84 pages.

⁴⁸ Demailly A. (2003) « Prise en compte de la Loi sur l'Eau dans la conception des lotissements » Mémoire, Ecole supérieure des géomètres et topographes, Le Mans, 81 pages.

10. Modalités de financement et structure des coûts

La première partie de ce chapitre s'attache à évaluer le coût des différentes mesures de gestion contre le ruissellement urbain. Ensuite, nous abordons les modalités de financements en matière de gestion des eaux pluviales dans différentes régions (France, Wallonie, Flandres, Bruxelles).

10.1. Coût des mesures contre le ruissellement urbain⁴⁹

10.1.1. Mesures « traditionnelles »

Le développement de l'urbanisation a forcé les réseaux d'assainissement classiques à prendre en charge des quantités d'eau de plus en plus importantes avec des débits de pointe accrus. Les mesures traditionnellement appliquées jusque ici en milieu urbain pour lutter contre ce phénomène sont les bassins d'orage et l'élargissement de la capacité des réseaux et collecteurs. En milieu urbain, la construction de structures de rétention du type bassin d'orage coûte entre 800 et 1000 €/m³ (commu. pers. IBDE). La rénovation d'un réseau coûte jusqu'à 3000€ du mètre linéaire. Ce coût peut paraître exorbitant à première vue, mais il inclut les raccordements des particuliers qui sont, à Bruxelles, à la charge de l'IBDE assainissement.

10.1.2. Mesures alternatives⁵⁰

Nous envisagerons les techniques suivantes :

- Citernes d'eau de pluie
- Rétention de l'eau au niveau des toitures-réservoir
- Tranché drainantes
- Noue
- Puits d'infiltration
- Chaussée à structures réservoirs et revêtements perméables
- Bassin de retenue

Les techniques dites « alternatives » (ou compensatoires) abordées ci-après constituent des alternatives possibles pour une gestion plus durable des eaux pluviales (avec toutes les précautions déjà citées : c-à-d à mettre en place en parallèle de la politique actuelle). Elles ont pour objet de réduire l'impact de l'urbanisation et de l'imperméabilisation des surfaces, notamment en termes d'inondations et de saturation des réseaux d'assainissement. Cette situation entraîne un surcoût très important du fait du surdimensionnement des réseaux (tuyaux, collecteurs...). L'assainissement pluvial alternatif peut réduire les budgets publics notamment par une meilleure répartition des charges entre privé et public et des économies sur les infrastructures. Dans cette optique, les techniques alternatives agissent en amont par infiltration et rétention pour réduire les flux que le réseau doit prendre en charge, ce

⁴⁹ les coûts sont donnés en € 2006 sauf quand spécifié

⁵⁰ Voir également point 9.1.2 pour les descriptions techniques

qui peut diminuer les risques de saturation en aval et donc d'inondation. (MISE, 2002)

Il est toutefois nécessaire de nuancer ce constat, car la charge d'entretien, souvent assez importante, est parfois négligée. Or, c'est souvent ce dernier point qui assure l'efficacité de ces actions. Le gain économique dégagé par l'emploi des mesures compensatoires dépend donc principalement des caractéristiques propres à chaque situation.

En outre, ces techniques peuvent avoir un rôle positif sur la dépollution par le stockage et la restitution différée des eaux pluviales, ainsi que par certaines dispositions (décanteurs, grilles...).

10.1.2.1. Citerne d'eau de pluie

En général, les citernes installées actuellement présentent des capacités de 3.000 à 5.000 litres pour des maisons unifamiliales. Cependant, une capacité supérieure à 120 litres de citerne par m² de toit serait nécessaire pour récupérer la quasi-totalité de l'eau de pluie potentiellement disponible (soit 12.000 litres pour une toiture de 100 m²) (CREAT-LEPUR 2002). Ajoutons que l'installation d'un petit bassin de décantation doit être prévue au débouché des gouttières afin de retenir les particules les plus grosses. Si l'on vise à utiliser l'eau de pluie pour les sanitaires, la machine à laver et pour l'arrosage des plantes et du jardin et si le bâtiment a 100m² de surface au sol, une citerne de 12 à 14 m³ (soit 12 à 14.000 litres) de volume utile (3mx 2 x 2) est plus appropriée.

Le prix d'une citerne varie en fonction de sa taille (+/- 300 € pour 3.000 litres), mais aussi des matériaux employés (les modèles standards sont en béton). Enfin, l'usage d'une pompe (groupe hydrophore) est nécessaire pour amener l'eau dans le réseau. La fourchette de prix se situe entre 250 et 500 € pour cette dernière. Ce prix ne comprend pas l'installation dont le prix peut varier du simple au double si la citerne doit être enterrée. Pour le placement d'une citerne de 3000 à 5000 litres et des divers équipements ainsi que des terrassements, cela reviendra à un montant de travaux situé entre 1500€ et 2000€.

Pour un investissement de 1500€ et une consommation de 25% d'eau de pluie, une famille de 5 personnes fera une économie de 115€/an soit un retour sur investissement après 13 ans. Pour une consommation de 55% d'eau de pluie, une famille de 5 personnes fera une économie de 250€/an soit un retour sur investissement après 6 ans. (IEB, 2006)

La conversion vers le nombre de m³ d'eau de pluie "épargnée" dépend de la réutilisation, et le nombre de % inoccupé souhaité d'une citerne. Présumons qu'une famille utilise le maximum d'eau de pluie disponible par an, cette famille utilisera environ 100 m³ provenant de 101 – 120 m² superficie de toit horizontale (règle pratique dans VIBE, 2000).

Si l'on considère le coût de la citerne à 2000 €, cela signifie donc un coût d'environ 0,7 EUR/m³ d'eau (calculé sur une durée de vie d'une citerne de 30 ans). Néanmoins, il s'agit d'une estimation approximative qui peut être plus élevée, dépendant du volume de la citerne, de l'utilisation réelle de l'eau de pluie par les habitants, etc.

Il s'avère que l'avantage financier de la réutilisation de l'eau de pluie contre l'utilisation de l'eau potable est respectivement de (pour Gand) :

- Pour un coût de 0,7 EUR/m³ (évaluation sur une durée de vie de 30 ans);
- Un coût de 3,3 EUR/m³ est évité (coût total pour l'achat et l'assainissement de l'eau potable, à Gand. Voir point 1.2.3 de l'annexe réalisée par ECOLAS) ;
- Ce qui résulte dans un avantage financier d'environ 2,6 EUR/m³.

Si l'on considère que le placement de citernes est encouragé par des primes l'avantage financier est d'autant plus important pour le particulier. La ville de Gand peut donner une prime pour la construction d'une citerne d'eau de pluie. Dans certains cas la Région Flamande accorde une subvention additionnelle. La subvention s'élève en total (=Gand + la Région Flamande) à maximum 500 EUR ou entre 20% et 33% pour le coût estimé.

Il n'existe aucun subside de la Région Wallonne en ce qui concerne l'installation de citerne. Certaines communes obligent l'installation d'une citerne par l'intermédiaire d'un Règlement Communal d'Urbanisme (RCU, voir point 5.2.2.6.1 annexe CESE). D'autres, l'imposent pour l'obtention du permis de construire. En règle générale lorsque la citerne est imposée une partie du prix est pris en charge par la commune. Le tableau ci-dessous présente l'ensemble des communes wallonnes subsidiant les citernes.

Tab 1 : Communes subsidiant l'installation d'une citerne d'eau de pluie en Région Wallonne. (2004) (com. pers.)

Commune	Montant de la prime
Amel (Amblève)	250 €
Büllingen (Bullange)	247 €
Burg-Reuland	250 €
Bütgenbach (Butgenbach)	375 €
Eupen	744 €
Namur	125 €
Plombières	500 €
Sankt-Vith (Saint-Vith)	375 € max
Somme-Leuze	350 €
Thimister-Clermont	125 €
Tintigny	150 € max
Virton	375 €

10.1.2.2. Rétention de l'eau au niveau des toitures-réservoir

Différents types de système peuvent être considérés toit-citerne à fond plat, revêtement à alvéoles, toit engazonné, toit terrasse.... Le toit réservoir offre une capacité de rétention notable (hauteur d'eau de 10 cm), mais le toit devra être construit de manière à supporter ce poids supplémentaire. L'intégration urbanistique

de celui-ci nécessite certaines précautions, car il est généralement plat. Des toits réservoirs en pente peuvent aussi être envisagés avec des alvéoles de stockage, mais leur efficacité est moindre (IEB, 2006).

Le budget consacré à la végétalisation des toits dépend de plusieurs facteurs comme de l'accessibilité du toit, de sa surface, des demandes spécifiques d'aménagement, des matériaux utilisés, des espèces végétales, de l'épaisseur de substrat,...

Ci-dessous est présenté un ordre de grandeur du budget au m² (hors TVA) qu'il faut en général consacrer à ce genre d'aménagement. Les coûts liés aux travaux éventuels pour la modification de la structure portante et l'étanchéité du toit ne sont pas pris en compte.

Les prix (couche de drainage, substrat et plantations mis en œuvre par un entrepreneur) sont donc très variables (IEB, 2006) :

- pour la végétalisation de surfaces de + de 100m² : entre 40 et 60 €/ m²
- pour la végétalisation de surfaces de 50 à 100m² : entre 60 et 80 €/ m²
- pour la végétalisation de surfaces de – de 50 m² : entre 80 et 100 €/ m²

Dans le cas d'une nouvelle construction, par rapport à une toiture traditionnelle, la toiture verte extensive impliquera un surcoût de 9 à 27%.

10.1.2.3. Tranché drainante

Cette technique nécessite la présence d'un puisard de décantation pour assurer un bon contrôle de la qualité des eaux infiltrées. L'influence des pentes devra être, si nécessaire, limitée par un compartimentage dans le profil en long de la tranchée.

Le coût de fourniture et de pose est compris entre 60 et 90 € par mètre linéaire. Il faut en outre compter les coûts d'engazonnement (1 à 2 € le mètre linéaire). (ADOPTA, 2006)

10.1.2.4. Noue

Utilisation forfaitaire d'engin : 300 à 400 €

Terrassement et évacuation : 10 € / m³

Massif drainant : fourniture et pose : de 60 à 100 € le mètre

Engazonnement : 1 à 2 € le mètre linéaire

L'entretien de base se résume à celui que requiert tout espace vert. Il faut, cependant, veiller à ce qu'elle ne s'encombre pas en automne et éviter le colmatage. (ADOPTA, 2006)

10.1.2.5. Puits d'infiltration

Le dimensionnement du puits doit être prévu de la même manière que celui des tranchées drainantes. Il est conseillé d'éviter de planter des arbres à proximité en raison du colmatage par les racines. Notons que cette remarque vaut pour toutes les

techniques d'infiltration. Le coût des fournitures sera, pour les puits d'infiltration, compris entre 350 et 600 €. Pour la pose, il faut compter entre 550 et 700 €. (ADOPTA, 2006)

Le tableau 2 donne une estimation *grosso modo* des coûts d'investissement et d'entretien pour des systèmes d'infiltration (De la Roy et al. 2004). Il s'agit des coûts pour l'aménagement et la construction de nouveaux bâtiments, pour lesquels tout est compris. Dans les équipements de surface, le coût du foncier n'est pas pris en compte. Les valeurs dans le tableau 2 sont déterminées pour un pic de précipitation avec une période de retour de 10 ans.

Tab 2 : Estimation *grosso modo* des coûts d'investissement et d'entretien auprès des systèmes d'infiltration

Coût d'investissement	€/m ² de superficie revêtue	€/m ³ d'eau de pluie (durée de vie de 20 ans)
Système d'infiltration souterraine	18,4	1,2
Système d'infiltration à la surface	6,1	0,4
Surface perméable	29,0	1,9
Coût de gestion	€/m ² superficie/an	€/m ³ eau de pluie/an
Système d'infiltration souterraine	0,09	0,11
Système d'infiltration à la surface	0,06	0,07
Surface perméable	-	-

A Gand on peut obtenir une subvention pour la construction d'un système d'infiltration. La Région Flamande, également, accorde une subvention supplémentaire. La subvention s'élève au total (= Gand + La Région Flamande) à maximum 759 EUR pour des logements, et maximum 2000 EUR pour des bâtiments d'établissement public (bâtiments du CPAS, écoles, ...).

Pour un logement ceci signifie, en pratique:

- Un système d'infiltration à la surface est remboursé intégralement en cas ou la surface de toit horizontale s'élève à environs 123m²;
- Un système d'infiltration souterraine est remboursé intégralement en cas ou la surface de toit horizontale s'élève à environs 41m²;
- La construction d'une surface perméable est remboursée intégralement en cas ou la surface de toit horizontale s'élève à environs 26m²

10.1.2.6. Chaussée à structures réservoirs et revêtements perméables

Cette technique doit être assimilée à des bassins de retenue enterrés. Sa construction nécessite une certaine expérience. En effet, le choix de granulométrie et de taille des drains doit être posé en connaissance de cause. Le coût d'un mètre linéaire de chaussée avec un revêtement classique est compris entre 240 et 290 € (selon l'ADOPTA). L'utilisation de matériaux poreux entraîne un surcoût de 5 à 10 %. Le retour d'expérience (voir point 10.1.3) montre d'autres chiffres.

La construction de chaussées réservoirs avec revêtement classique nécessite d'injecter l'eau recueillie par les caniveaux dans la structure. La bouche d'injection et son filtre permettent le prétraitement des eaux et évitent le colmatage. La fourniture et la pose de la bouche d'injection s'élèvent à un montant compris entre 750 et 925 € (150 € pour la pose du filtre). Notons qu'une bouche d'injection reprend les eaux pluviales de 200 à 250 m² de voirie. L'entretien de celle-ci consiste à nettoyer régulièrement le filtre par un jet d'eau pour maintenir la capacité d'infiltration et à le remplacer tous les ans. Enfin, le curage de la partie décantation sera assuré deux fois par an.

Le choix d'un revêtement poreux permet la répartition immédiate de l'eau dans la structure, ce qui évite la formation de flaques et de projections dues à la circulation. Cependant, il nécessitera un entretien particulier afin d'éviter son colmatage, surtout lorsque des sources de pollution possible sont à proximité (apport de terre,...). En effet, un entretien préventif est conseillé pour éviter le piégeage d'éléments de plus en plus fins (technique de mouillage/aspiration). Ce dernier sera préféré pour les parkings ou les voies à faible circulation, là où l'auto-nettoyage dû au trafic n'intervient pas. L'entretien curatif exige, pour sa part, un procédé de haute pression/aspiration. Le coût des chaussées à revêtement poreux s'élève de 270 à 450 € par mètre linéaire. (ADOPTA 2006, CREAT 2003)

10.1.2.7. Bassin de retenue

Le coût du m³ utile peut varier entre 60 et 220 €, en fonction du génie civil essentiellement. Ainsi, les bassins enterrés en centre-ville (bassins revêtus) peuvent atteindre des valeurs supérieures. De plus, les surfaces concernées rendent ces ouvrages particulièrement sensibles au régime foncier. Cet élément justifie parfois la construction de bassins enterrés en centre urbain. (ADOPTA, 2006)

Remarque importante

Les prix mentionnés ne prennent pas en compte les coûts d'entretien (sauf lorsque c'est mentionné). Le suivi, l'entretien et le nettoyage de l'ensemble des ouvrages sont très importants pour assurer leur pérennité : pour cela, il est recommandé de tenir des cahiers de suivi et d'entretien des ouvrages. Une approximation des coûts d'entretien est donnée dans le tableau 7.

Les prix ne prennent également pas en compte les frais relatifs au traitement des déchets, tel que les boues, qui peuvent présenter des concentrations importantes en polluant.

10.1.3. Retours d'expérience

Quelques éléments de coûts sont indiqués dans le tableau ci-dessous (Tab 3). Ils proviennent du CERTU (2002). Ces chiffres ne sont donnés qu'à titre indicatif. En effet, ils varient selon de nombreux facteurs et chacun doit être estimé au cas par cas en fonction du projet. Retenir le plus à l'amont du bassin, au plus près des zones urbanisées, voire lorsque c'est possible, les réinfiltrer dans le sol, permet de limiter la section des ouvrages et même localement de supprimer la desserte pluviale. Il est généralement accepté que l'utilisation des techniques alternatives entraîne une diminution de 20% des coûts en égouttage. Des diminutions autour de 20-50% ont été confirmées suite à la mise en place d'étangs de rétention, par des bureaux privés (Day Water, 2003). Cependant, de telles économies ne sont pas toujours observées. Les méthodes alternatives concernant les infrastructures routières peuvent nécessiter l'utilisation de matériaux chers (ex : de l'asphalte à texture poreuse) et la construction de structures poreuses. Il a été calculé que la construction d'une chaussée avec des matériaux traditionnels (égouttage et pavement inclus) coûte 183 € du mètre linéaire, en comparaison, le coût pour une chaussée réservoir est de 305 et 366 € du mètre linéaire. Cette dernière valeur n'inclut pas le coût de l'asphalte pour lequel il faut ajouter 30%, ce qui fait au total entre 395 et 475€ du mètre linéaire. (Chiffre à mettre en contraste avec ceux de l'ADOPTA, voir point 10.1.2.6)

Une étude réalisée sur 167 ouvrages de contrôle des pluies (Baptista et al), principalement des bassins de rétention, montre des coûts de construction légèrement différents de ceux avancés par le CERTU (Tab 8). En effet, les bassins de rétention coûteraient ici plus chers à la construction et à l'entretien. Cette étude confirme également que les bassins naturels coûtent moins chers à construire que ceux en béton.

Tab 3 : Synthèse des coûts pour différentes techniques de gestion des eaux pluviales. (CERTU, 2002)

Technique	Coût (€ ₁₉₉₉)	Entretien, nettoyage	Observations
Terrasses	Pas de surcoût		
Tranchées ou fossés drainants	39 à 49 € / m ³	0,4 à 0,6 € / m ³ / an	Suivant la structure de la surface
Puits d'infiltration	4 € / m ³	2,02 € / m ³ de surface assainie	
Noues	4 à 20 € / m ³ stocké	Curage tous les 10 ans Entretien espaces verts	
Dalles béton gazon	20 € / m ³		
Chaussées-réservoirs	42 à 87 € / m ³	0,6 à 1 € / m ³ / an	Durée de vie enrobé 10 à 15 ans
Bassin en eau	11,7 à 78 € / m ³	0,2 à 0,6 € / m ³ /an	6 à 7 % des investissements en GC
Bassins en béton couvert	200 à 700 € / m ³		
Bassin en béton non couvert	100 à 200 € / m ³ 70 % GC	1,5 % de l'investissements/an	30 ans
Bassin sec	12 à 110 € / m ³ rural ↔ urbain	0,4 à 2 € / m ³ / an	
Structure alvéolaire	200 à 300 € / m ³	0,4 à 2 € / m ³ / an	

Tab 4 : Le coût des différentes techniques compensatoires (hors foncier 2002)
(Baptista et al., 2003 in Day Water, 2003)

Techniques	Investment Cost in Euro 1999/m ³		Maintenance Euro 1999/m ³	Satisfaction and degree of acceptance by the stakeholders
	mean	standard deviation		
Underground storage tanks	224	1123	361	Underground basins seem to function less well than open ones
Water retention basin	140	152	3	Well perceived by the stakeholders
Dry retention basin:	136	174	1.61	The environmental impact is only seen under a visual aspect. The stakeholders don't seem concerned with the pollution
* Concrete open basins	225	201	5.6	
* Dry basin with plants	108	157	0.83	
* single purpose	146	203	-	
* multifunctional	113	87	-	

10.2. Modalités de financement de la gestion des eaux pluviales

10.2.1. Taxes et redevances à l'assainissement

En Wallonie la lutte contre les inondations par ruissellements urbains est en majorité financée par les communes. En effet, les budgets récoltés par l'application du Coût Vérité Assainissement (CVA) ne peuvent pas être alloués de manière directe aux eaux pluviales, mais uniquement aux eaux usées et à l'épuration. Un projet d'arrêté du Gouvernement wallon est en voie d'être approuvé, en vue de subsidier les communes pour cofinancer des études et travaux à ce sujet. Par ailleurs, la SPGE continue de financer la pause des réseaux pluviaux quand il s'agit de réseaux séparatifs. (voir point 6.2.1 de l'annexe réalisée par le CEESE)

En France le problème est similaire, ce sont les communautés urbaines qui financent avec leurs fonds propres les travaux de lutte contre les inondations. La redevance assainissement, au même titre que le CVA en Région Wallonne, ne peut être utilisée que pour les travaux d'épuration des eaux usées. (voir point 6.2.2 de l'annexe réalisée par le CEESE). Cependant, la nouvelle loi du 11 septembre 2006 permettra la mise en place d'une taxe dont les revenus seront uniquement destinés aux eaux pluviales.

En Flandre, tous utilisateurs d'eau potable (habitants, entreprises, instances publiques, etc.) doivent payer une contribution à la société d'eau potable pour la production et la distribution de l'eau, et pour l'évacuation et l'épuration des eaux usées. En effet, les budgets récoltés par ces contributions ne peuvent pas être alloués de manière directe aux eaux pluviales, mais uniquement aux eaux usées et à l'épuration. La région investit dans le réseau (séparatif), les communes peuvent demander des subventions auprès de la région. Le pourcentage de subvention augmente s'il agit des réseaux séparatifs. Il n'existe pas de taxe spécifiquement destinée aux eaux pluviales.

A Bruxelles la redevance d'assainissement perçue par l'intercommunale « IBDE assainissement » (ex IBrA) ne se réduit pas à l'unique financement des eaux usées, mais peut être utilisée pour l'ensemble des services fournis par l'intercommunale, en ce compris la gestion des eaux pluviales. Cependant, les fonds engendrés par cette redevance se révèlent être bien trop insuffisants pour investir dans la lutte contre les inondations, ou uniquement de manière sporadique. Le budget de l'intercommunale ne suffit même pas à l'entretien du réseau qui de ce fait est en voie de dégradation. Cependant, ceci ne concerne que la gestion au niveau communal. Au niveau régional, l'AED investit dans la construction de grands bassins d'orage grâce à la taxe sur l'épuration des eaux. La nouvelle ordonnance institue la mise en place d'un Coût Vérité Assainissement (CVA) au même titre qu'en Région Wallonne au détail près que les montants dégagés pourront être utilisés pour la gestion des eaux pluviales.

Le tableau 5 compare le prix de l'eau, des redevances dédiées à l'assainissement et la part de ces dernières dans le prix total. Bien que les montants récoltés par ces redevances ne soient pas directement utilisables pour les eaux pluviales, ces chiffres donnent une idée relative des volumes financiers destinés au traitement et au transport des eaux usées. De plus, la majorité des réseaux d'assainissement dans ces régions étant de type unitaire, la gestion des eaux pluviales est, de fait, financée par ces budgets. Nous pouvons observer que le prix de l'eau en France et en Belgique n'est pas radicalement différent, il est peut-être un peu moins élevé en Région wallonne. Par contre, la part destinée à l'assainissement est beaucoup plus faible en Wallonie et à Bruxelles, pratiquement la moitié. En Flandre, les montants sont équivalents à la France. Il est certain qu'une telle différence dans la redevance réduit fortement les moyens disponibles pour la mise en place de politiques de grands travaux en matière d'assainissement. Par ailleurs, une augmentation des redevances entraînerait une forte augmentation du prix de l'eau. Cependant, avec la mise en place du CVA, les montants alloués à l'assainissement dans le futur seront équivalant aux besoins rencontrés. Le prix de l'eau risque donc d'augmenter sensiblement.

Tab 5 : Part de la redevance assainissement dans le prix de l'eau

€ ⁽²⁾ (2005)	prix/m ³ ⁽¹⁾	Redevance Assainissement (RA)/m ³	Part de la RA dans le prix total (%)
Lille (LMCU)	3,02	1,18	38,7
Bordeaux (CUB)	3,02	1,3	43
RW (Tournai)	2,8	0,657 ⁽³⁾	23,5
RBC	3,06	0,636 ⁽⁴⁾	20,8
Rég.Flam.	3.261	1.321	40.5

(1) Prix au m³ pour une consommation de 120m³/an (TTC)

(2) Prix TVA comprise

(3) Coût Vérité Assainissement (CVA)

(4) =0,35 (taxe RBC) + 0,25 (redevance IBRA) +TVA (6%)

10.2.2. La redevance à l'imperméabilisation

Une redevance sur l'imperméabilisation des sols est un outil dissuasif qui se base sur le principe du « pollueur – payeur ». Ce type de redevance existe à Fribourg en

Brisgau, aux États-Unis et en France. Elle est utilisée pour rééquilibrer le financement de la politique d'amélioration de la qualité des eaux, supporté largement par les consommateurs. De plus, elle participe à la prévention des inondations en reconnaissant le rôle joué par les « données » urbanistiques dans les événements survenus dans plusieurs régions de France ces dernières années. (voir point 5.4.1 de l'annexe réalisée par le CEESE)

Le mode de calcul de la redevance relative à l'imperméabilisation du sol a été élaboré de manière à encourager les « bonnes pratiques ». En effet, elle est calculée à partir du produit de la surface imperméabilisée par un coefficient de compensation de l'aggravation du ruissellement qui varie de 0 à 1 en fonction des mesures prises par le maître d'ouvrage ou la collectivité concernée pour atténuer l'aggravation du ruissellement. Notons que la surface imperméabilisée a été définie comme « *toute surface aménagée exposée aux pluies et recouverte d'un matériau artificiel modifiant la capacité naturelle d'infiltration et de rétention des sols, à l'exclusion de l'emprise au sol des immeubles destinés à l'habitat* ».

Le même principe a été appliqué dans le calcul de la redevance relative à la réduction de la surface des champs d'expansion de crues. Cette dernière est définie par la superficie soustraite au champ d'expansion des crues multipliée par un coefficient de rétention. Celui-ci varie aussi entre 0 et 1 en fonction des mesures prises par les concepteurs pour faciliter l'écoulement des crues au travers ou au-dessus de l'aménagement considéré.

Une redevance à l'imperméabilisation apporte aux communautés locales un revenu juste et stable pour remédier aux problèmes de pluies d'orage. Elle permet de créer pour les institutions en charge de l'assainissement un mécanisme qui leur permet d'agir efficacement en établissant un budget distinct pour gérer les eaux d'orage. Une part importante dans le succès de l'application d'une telle mesure est de communiquer au public qu'il ne s'agit pas d'une taxe, mais bien d'une redevance pour les eaux de pluie que les parcelles rejettent dans le réseau. Il faut également que les besoins de la communauté soient clairement définis afin que les taux appliqués rencontrent ces besoins. Une conception correcte de ce système de redevance est susceptible d'entraîner, au niveau individuel, une motivation vers l'utilisation de mesures innovantes de contrôle du rejet d'eau de pluie (type mesures alternatives). Cela responsabiliserait les personnes et les inciterait à trouver des moyens de gérer efficacement leurs eaux de pluie. Cette redevance apporte également un système de facturation équitable où chaque individu est responsable de sa contribution en eau de pluie au réseau. Il s'agit également d'appliquer un principe de solidarité à un phénomène qui reste généralement limité dans l'espace, mais qui est susceptible d'affecter tout le monde quand on le prend dans sa globalité.

10.2.3. Les primes et subventions

Enfin, il est tout à fait possible de prévoir des subsides pour encourager les particuliers ou les communes à utiliser les techniques alternatives de gestion des eaux pluviales à l'image de ce qui se fait en Région Flamande. En effet, l'arrêté du Gouvernement flamand du premier février 2002 prévoit que la Région intervienne

pour 50 % dans les frais de revalorisation des fossés aux conditions fixées par ce même arrêté : « à condition que la commune mène une politique axée sur la séparation des eaux pluviales sur l'ensemble de son territoire : 1° en fixant un règlement communal de prime en vue de l'installation d'un puits pour eaux pluviales et/ou d'un équipement d'infiltration conforme au code de bonnes pratiques, et 2° en fixant un règlement communal en matière de raccordements séparés d'immeubles neufs et restaurés en vue de l'évacuation séparée des eaux usées et des eaux pluviales n'autorisant l'évacuation des eaux pluviales vers un réseau mixte qu'en cas de défaut d'un équipement d'infiltration, d'un fossé ou d'une canalisation d'évacuation d'eaux de surfaces ou d'eaux pluviales ». (CREAT, 2003)

Ce subside s'assure donc que les communes posent les bases d'une politique de gestion des eaux pluviales via des techniques alternatives. Cet arrêté permet également une majoration de l'intervention de la région allant jusqu'à 100 % pour un réseau séparatif qui évacue les eaux de pluie par un système de fossés revalorisés écologiquement ou à l'aide d'équipements de rétention de ces eaux.

(pour plus de détail se reporter au point 5.4.3 de l'annexe réalisée par le CEESE).

11. Conclusions et recommandations générales

Les présentes conclusions et recommandations portent sur les aspects quantité et qualité des eaux pluviales urbaines en relation avec la problématique des inondations dues aux averses de forte intensité et de courte durée et des mesures de lutte contre ces inondations. Elles sont déduites d'une analyse de retours d'expérience portant sur les mesures visant à la mitigation du risque d'inondation pluviale, identifiés dans des situations urbaines suffisamment comparables à la Région de Bruxelles-Capitale ainsi que sur une documentation complémentaire.

Pour rappel, le risque de dommages par inondation est la conjonction de l'aléa d'inondation et de la vulnérabilité dans les zones exposées. L'aléa d'inondation est lui-même dépendant de l'aléa de ruissellement pluvial, soumis quant à lui aux pressions climatiques et anthropiques qui influencent son importance (volume, débit et vitesse d'écoulement). L'enjeu en cause dans l'évaluation de la vulnérabilité porte sur les intérêts menacés, qui peuvent être de nature économique, environnementale, sanitaire, patrimoniale...

11.1. Retour d'expérience

11.1.1. Le concept général

D'une manière générale, il est mis en exergue que l'imperméabilisation galopante des superficies liée à l'urbanisation a accru le risque d'inondations pluviales urbaines:

- par le fait de l'augmentation de la quantité et de la rapidité des flux de ruissellement (aléa accru) dans les bassins versants sensibles,
- aussi en raison de la suppression des zones inondables naturelles (points bas et axes d'écoulement naturels) et du développement de l'occupation urbaine dans les zones exposées (vulnérabilité accrue),
- et perturbant le milieu récepteur du fait de la qualité des eaux de ruissellement (qualité de l'eau de pluie, lessivage des surfaces y inclus les dépositions atmosphériques, rejets dilués des déversoirs d'orage,...) chargées de sédiments, d'hydrocarbures, de métaux lourds et d'autres substances biodégradables ou non.

En particulier, il est constaté que l'extension de cette urbanisation a tendance à saturer le réseau d'assainissement pluvial existant, en ce y compris l'émissaire ; à cela s'ajoute des constats de vétusté du réseau.

→ En raison de ces problèmes, se développe le concept de « responsabilité amont-aval » en ce qui concerne la circulation des eaux pluviales urbaines :

- non seulement par la mise en œuvre de mesures gérant le réseau d'assainissement existant,
- mais aussi par la considération de mesures visant:

- en amont à limiter l'apport même des eaux pluviales au réseau d'assainissement lors de nouveaux aménagements (concept dit innovant),
- et en aval à limiter la vulnérabilité et l'exposition aux inondations.
-

En vertu de quoi :

→ Sur les petits bassins versants sensibles, pour les réseaux d'assainissement existants, sont développées des mesures de régulation des flux en vue d'alléger la saturation du réseau : outre les réfections, il s'agit essentiellement de l'installation de bassins d'orage, associés de plus en plus souvent à une gestion automatisée, parfois aussi de techniques de surdimensionnement de collecteurs.

→ En parallèle, lors d'extensions urbaines (nouveaux aménagements, rénovations), sont promues des mesures dites compensatoires dont l'objectif déclaré est de ne pas aggraver la saturation du réseau d'évacuation existant du fait de l'aménagement, en maintenant le rejet au réseau (ou à l'émissaire cours d'eau, ou étang,...) « telle qu'il existait avant aménagement » ; ces mesures compensatoires se fondent sur l'utilisation des propriétés hydrologiques ou hydrauliques suivantes, au nombre de cinq, et seules ou en combinaison :

- L'infiltrabilité des sols,
- Le laminage des débits,
- Le rejet différé des eaux de ruissellement,
- L'évapotranspiration des végétaux ou l'évaporation de plans d'eau,
- La diminution des vitesses de ruissellement (rugosité des surfaces,...).
-

Ces mesures compensatoires portent :

- sur la limitation de l'imperméabilisation des surfaces,
- sur la mise en œuvre de techniques dites alternatives destinées à limiter les débits et/ou volumes de rejet sur base, très généralement, de la période de retour de projet de l'ordre du « décennal pluvial » (limite non inondante) calquée sur la capacité d'absorption normale du système d'évacuation (le réseau d'assainissement pluvial et/ou l'émissaire).
-

Pour rappel, la période de retour de projet, et les normes associées, sont des données d'ordre politique à fixer sur base de critères socio-économiques et environnementaux. Les libellés relatifs aux normes établissent en général que « dans certains cas de bassins versants sensibles, des normes plus exigeantes que le décennal peuvent être imposées » ; ceci vaut essentiellement alors pour les espaces publics ou collectifs.

→ Quand la structure alternative est prévue en priorité ou en complément dans un but d'épuration des eaux pluviales urbaines, la qualité de celles-ci appelle le plus souvent des normes et structures spéciales en vue de respecter les normes de qualité de l'émissaire cours d'eau ou autre récepteur (normes pour temps de séjour prolongé des eaux, structures ou bassins de prétraitement pour la sédimentation, séparateur d'hydrocarbures, filtre à charbon pour la toiture verte, etc.).

→ En ce qui concerne la norme généralement d'ordre décennal pour le pluvial quantitatif, outre la mesure de limitation de l'imperméabilisation au profit d'espaces verts et de plans d'eau, sont promues ou réglementées des normes de projet pour :

- le débit de rejet spécifique (débit de fuite) vers le réseau d'assainissement (ou le milieu naturel si les conditions s'y prêtent),
 - soit sur base du pluvial « naturel »,
 - soit sur base de l'existant amont avant aménagement,
 - soit en fonction du risque aval de saturation du réseau ;
- le volume de stockage pour les techniques nécessitant un stockage.

En complément, les effets des surverses liées aux averses intenses et exceptionnelles vers le réseau de surface (voiries, zones inondables, émissaire) doivent être évalués pour le moins.

Notre commentaire : Les deux dernières approches relatives au débit de fuite demandent une planification « au cas par cas » ; la première approche paraît plus aisée à généraliser avec un risque minimisé de juxtapositions aval inappropriées. A ce titre, la norme requise par Lille notamment (réglementations Artois-Picardie), de l'ordre de 2 à 4 l/sec.ha pourrait, sous toute réserve d'analyse plus approfondie, être adéquate pour la région bruxelloise.

11.1.2. Les mesures compensatoires prioritaires

→ Outre l'impératif systématique de limitation du taux d'imperméabilisation, les mesures favorisant l'infiltration sont en général les premières à être recommandées. Cependant, pour ce qui concerne en particulier les mesures non diffuses ou bien diffuses mais à risque polluant significatif, l'option est réglementée eu égard aux conditions du milieu (infiltrabilité et stabilité du sol, protection des eaux souterraines, ...).

Notre commentaire : la RBC pourrait, sous réserve d'analyse plus approfondie, se trouver dans des conditions de milieu appropriées pour favoriser assez souvent les mesures portant sur l'infiltration des eaux ; il est souhaitable cependant qu'elles soient du type le plus diffus possible, particulièrement en vue de limiter les inconvénients de l'accumulation des polluants (sédiments compris) et peut-être aussi d'instabilité de sols.
Rappelons que la capacité d'infiltration des sols est maximale pour des sols secs et minimale (mais non nulle) pour des sols très humides.

→ Plus généralement, les mesures favorisant la diminution des volumes de ruissellement sont à promouvoir, plutôt que la diminution des seuls débits:

- évitant ainsi l'éventualité du risque de juxtapositions défavorables en aval,

- et, pour certaines, se rapprochant le plus du cycle naturel de l'eau (infiltration et évapotranspiration - ou évaporation- associées).

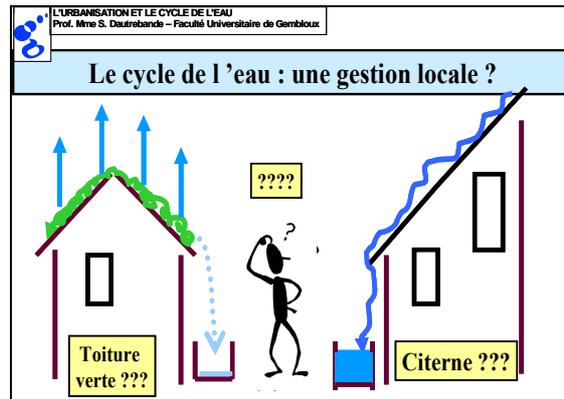


Fig 39 : Les Mesures compensatoires et les Techniques alternatives : un choix à composantes multiples, et une gestion coordonnée (Extrait rapport annexe S. Dautrebande).

Notre suggestion est de promouvoir, pour autant que les conditions ad hoc soient observées, les mesures compensatoires et les techniques alternatives favorisant une diminution des volumes de ruissellement (au moins en partie), dans l'ordre prioritaire suivant du moins sur le plan hydrologique :

- Les mesures de type diffus (aire de récolte pluviale égale à la superficie active de la structure) :
 - L'impératif (réglementé) de limitation du taux de superficies imperméables au profit d'espaces verts et de plans d'eau (effet d'infiltration **et** d'évapotranspiration ou d'évaporation);
 - les parkings semi-herbeux (effet d'infiltration **et** d'évapotranspiration ou d'évaporation), pour autant que non intensément fréquentés (pour limitation du risque de pollution des eaux souterraines).
- Les mesures de type semi-diffus (aire de récolte pluviale plus grande que la superficie active de la structure mais de façon limitée en fonction de la qualité présumée des eaux de ruissellement):
 - les citernes de récupération des eaux pluviales (dérivation des eaux) et/ou d'infiltration (avec surverses);
 - les noues-chenal stockant infiltrant et les bassins d'infiltration secs ou en eau (avec surverses), pour autant que récoltant les eaux de ruissellement issues d'une aire limitée.
- Les mesures de type diffus :
 - les toitures vertes, les toitures-bacs ou les toitures-graviers (évapotranspiration ou évaporation après période estivale sèche ; effet seulement de limitation du débit moyennant structure appropriée hors période estivale ou en période estivale pluvieuse, plus par exemple filtre à charbon recommandé pour les toitures vertes si récupération des eaux résiduelles (pas d'information pour les autres types).

Sous respect de conditions, toutes ces mesures ont le double avantage:

- de diminuer les volumes de ruissellement pluvial (par infiltration et/ou évapotranspiration, ou par dérivation),
- et de concentrer peu les polluants.

Il importe cependant de rappeler encore une fois que la problématique des averses intenses ou exceptionnelles n'est pas prise en compte dans la mise en œuvre des mesures compensatoires, l'objectif étant de ne pas aggraver le risque (généralement décennal) de ruissellement lors d'un nouvel aménagement ou rénovation, par rapport à ce qu'il était avant aménagement.

11.2. L'efficacité des mesures

→ Il a été montré qu'une structure déterminée a un effet limité vers l'aval, portant tout au plus sur une superficie correspondant à 10 à 20 fois sa superficie de collecte en ce qui concerne une structure de régulation du débit. Ceci entraîne la conséquence qu'une multiplicité de structures compensatoires est nécessaire pour avoir un effet globalement significatif à l'échelle de l'unité fonctionnelle indispensable qu'est le petit bassin versant.

Notre commentaire : il reste cependant intéressant de noter qu'il a été montré au moins par simulation avec modèle mathématique que l'on pourrait espérer, moyennant des conditions quantitativement et spatialement respectées sur le bassin sensible (répartition judicieuse des structures), une certaine diminution de la fréquence des effets des averses intenses (type centennales) même si des critères limités au décennal sont appliqués.

→ Les analyses en termes de retours d'expérience aboutissent au constat de doute quasi généralisé quant à la durabilité des techniques alternatives; quelques exemples mettent même en évidence un effet d'aggravation des problèmes par défaut de structures de relai lors d'une défaillance... (A ce titre, les chaussées poreuses sont particulièrement mises en cause).

Le problème n'est pas technique. Il apparaît comme dû essentiellement au manque généralisé de suivi (contrôle du respect des normes, entretien, négligences, oublis même de l'existence des structures) et aux problèmes de dépôts contaminés, ...revers des propriétés épuratoires des structures, outre la problématique de la gestion et de l'évacuation des boues, odeurs et autres.

Dans les faits, force est de constater qu'il n'y a pratiquement pas de contrôle de la bonne exécution des normes d'une part et d'autre part que l'entretien des structures alternatives est lacunaire; ceci met largement en cause leur efficacité durable. Ceci vaut tant pour les aménagements privés que publics.

Le problème provient pour une bonne part de la qualité médiocre des eaux pluviales et de ruissellement.

11.3. La nécessité de planification et de gestion globale

Il a été observé qu'un grand nombre de documents traitant des eaux pluviales existent. Ceci est vrai notamment en France où le contexte juridique apparaît favorable au développement des techniques alternatives (5.1.1.4). La tendance générale est de laisser aux aménageurs le choix des techniques à appliquer tout en ayant un contrôle de la part des autorités (permis de construire). Cette approche permet une meilleure flexibilité d'adaptation des mesures à la spécificité des territoires. Cependant, elle n'est possible que si des obligations de résultats sont imposées, telle la limitation de débit de rejet, la détermination d'un seuil d'imperméabilisation de la parcelle... . En Wallonie, le contexte est quelque peu différent. En effet, les techniques alternatives sont également encouragées, mais les documents tendent à imposer certaines méthodes plus que d'autres (citernes, réseaux séparatifs, revêtements perméables), et aucun document regroupant les bonnes pratiques n'existe.

Comme Maigne (2006) le préconise, une approche globale de la gestion des eaux pluviales est essentielle. Car si un manque de coordination entre les techniques décentralisées existe, le ruissellement peut devenir plus important qu'en l'absence de toute technique. A l'échelle d'un bassin versant, l'éparpillement d'ouvrages non coordonnés peut avoir une action négative en matière d'inondations (Azzout et al., 1994, Maigne, 2006). De manière générale, la recherche systématique de solutions alternatives de type stockage est à proscrire. À l'aval d'un bassin versant, il peut en effet être plus pertinent de chercher à évacuer le plus vite possible les eaux pluviales de façon à accueillir, dans les meilleures conditions, l'eau qui arrivera de l'amont. Les mesures à appliquer dans ces zones doivent dès lors être adaptées à la situation d'écoulement des eaux, mais pour cela il faut préalablement définir les dites « zones ». Un zonage d'assainissement pluvial est donc un préalable indispensable (voir 5.2.1.5 de l'annexe réalisée par le CEESE).

Un schéma directeur d'assainissement s'avère être la base nécessaire pour mettre en place une politique globale en matière d'eau pluviale. Il définira les objectifs et les moyens mis en place ainsi que les travaux à réaliser. Dans ce cadre, l'articulation entre techniques alternatives et traditionnelles doit être clairement établie. Ceci implique une parfaite transmission des informations entre les différents acteurs et en particulier entre la sphère publique et privée (Maigne, 2006). Plusieurs documents, réalisés par les institutions compétentes ou par la commune peuvent ainsi servir les étapes de concertation, tel le règlement d'assainissement, le Plan Local d'Urbanisme (PLU), le Règlement Communal d'Urbanisme (RCU), le permis de construire.

Les différentes démarches de gestion intégrée devraient être :

1. Fixer une obligation de résultat
2. Fixer les modalités du contrôle de conformité
3. Organiser l'entretien et le suivi
4. Organiser un financement approprié s'il y a lieu.

11.3.1. Fixer une obligation de résultat

Les communautés urbaines de Bordeaux, Lille et autres citées ont choisi d'imposer une obligation de résultat aux aménageurs privés ou publics au moyen d'indicateurs comme les taux d'imperméabilisation ou les débits de fuite admissibles.

La détermination de critères techniques apparaît donc comme une phase décisive et non controversée de la politique d'assainissement pluvial d'une territorialité (Région, commune).

En Région Wallonne, aucun document général n'impose à ce jour une obligation de résultats, en attendant le RRU. Cependant cette obligation peut être fixée au cas par cas (pour la construction d'un lotissement, ou d'un zoning par exemple), sur base d'une note hydrologique demandée à l'aménageur. C'est donc le permis d'urbanisme qui définit la méthode utilisée pour gérer le ruissellement (en général un bassin de rétention) (IPALLE, com. pers.). Cependant, le Gouvernement wallon a adopté les principes de la réalisation d'un plan global et intégré de prévention et de lutte contre les inondations et contre leurs effets sur les sinistrés, dénommé «Plan PLUIES». Ce plan d'ensemble intègre toutes les dimensions de la politique régionale en la matière et veille à la cohérence des mesures globalement prises à l'échelle des sous-bassins versants. A cette fin, 27 actions ont été énoncées, dans les cinq domaines de compétences les plus concernés. Ces actions doivent contribuer à la réalisation concrète d'un plan qui a été articulé autour de cinq objectifs. (http://www.wallonie.be/fr/themes/home/amenagement_du_territoire_et_urbanisme/plan_pluies.shtml):

1. améliorer la connaissance du risque « inondation » ;
2. diminuer et ralentir le ruissellement sur les bassins versants ;
3. aménager les lits des rivières et les plaines alluviales ;
4. diminuer la vulnérabilité dans les zones inondables ;
5. améliorer la gestion de crise.

Ce Plan orienté au départ surtout vers la problématique des inondations par débordement des cours d'eau développe divers axes relatifs à la problématique du ruissellement; à savoir : le projet de cartographie des zones à risque de ruissellement en cours pour l'ensemble de la région wallonne (projet ERRUISSOL, mené par l'UHAGx-FUSAGx pour la Direction de l'Espace Rural-Direction de l'Agriculture de la Région wallonne), le projet de subventionnement des études et travaux (projet d'Arrêté du Gouvernement wallon en voie d'approbation), ainsi que plusieurs études-pilotes en cours (Projet « Bassins Trouille-Anneau » Interreg – DGRNE mené par l'UHAGx-Fusagx ; projet « Bassin du Rieu des Barges » pour la Province de Hainaut, mené par l'UHAGx-FUSAGx et l'HACH-ULg).

11.3.2. Fixer les modalités de contrôle et de conformité

Pour que toutes ces contraintes puissent être crédibles, il est indispensable que les villes et communes entreprennent un contrôle de chaque projet lancé sur leur territoire. La délivrance du permis de construire constitue l'étape clef où la commune a un rôle à jouer. Il est clair que la mise en place d'une politique de promotion des techniques alternatives nécessitera de nouveaux moyens. Le rôle des différentes institutions doit être coordonné et planifié, et les critères techniques suffisamment précis pour ne pas laisser de place à l'approximation.

Le contrôle de conformité permet de s'assurer que le maître d'ouvrage a bien respecté le cahier des charges qui lui était imposé. Comme écrit plus haut, en France, les collectivités n'imposent pas les moyens à mettre en place pour atteindre leurs objectifs en matière d'imperméabilisation ou de rejet dans les collecteurs publics. Le choix de la technique de stockage ou d'infiltration la plus appropriée revient alors au maître d'ouvrage (Dollet, com. Pers.).

11.3.3. L'entretien

Une fois que la conformité de la construction est accordée, un suivi doit être mis en place pour vérifier que l'ouvrage d'assainissement reste opérationnel et que l'imperméabilisation du site ne varie pas.

En France, sur les parcelles publiques, la collectivité a la charge de l'entretien des ouvrages d'assainissement. Par exemple, à Bordeaux, comme les techniques alternatives offrent une double fonction, l'entretien s'effectue en principe par les services concernés par la fonction première de l'ouvrage. Les noues et les fossés sont à entretenir par le service espace vert, les chaussées réservoirs auraient sans doute dû l'être par le service voirie, par exemple, si on avait pu en dégager les moyens, considérés comme trop coûteux (voir point 9.4.1.1). Dans ce cadre, il est important qu'une formation des employés attachés à l'entretien soit organisée et que la coordination des différents services soit bien définie (ADOPTA, com. pers.). Les coûts d'entretien varient très fort selon le type d'installation ; il convient donc d'en tenir compte. Rappelons cependant que c'est un des points faibles principaux mal résolu actuellement.

Sur les parcelles privées, l'entretien relève des propriétaires privés. Dans le cas de grands lotissements, les propriétaires peuvent accorder la gestion des ouvrages d'assainissement pluvial à une entreprise ou le faire eux-mêmes. La collectivité peut toutefois proposer une contractualisation de l'entretien. Pour les petits ouvrages (puits d'infiltration, toiture réservoir), l'entretien reste bien souvent privé.

Dans le cas de la Communauté Urbaine de Bordeaux, la collectivité ne souhaite pas intervenir dans le contrôle et l'entretien d'ouvrages qui relèvent du privé. La démarche adoptée repose sur une régulation par le privé en cas d'abus. Si un ouvrage est mal entretenu, la collectivité pousse en principe les propriétaires en aval à se retourner contre les propriétaires en amont sur la base du Code civil (5.1.2.1). De même, si la collectivité constate une surcharge hydraulique sur un point de son réseau, elle cherchera à entamer une procédure judiciaire contre les responsables (Baladès, com. pers. In Maigne, 2006). L'agglomération du Grand Toulouse rejoint une telle approche en appliquant un système d'amendes dissuasives (Artero, com. pers. In Maigne, 2006)

11.3.4. Le suivi

Le principal danger auquel la collectivité est confrontée pourrait bien résider dans la manière dont elle assurera le suivi des techniques au vu de la multiplication des actions locales. En effet, il est indispensable pour elle de connaître les solutions alternatives implantées sur son territoire pour gérer de la meilleure façon possible l'assainissement des eaux pluviales (Maigne, 2006). Plus les installations seront

décentralisées, plus le besoin de suivi sera indispensable. Il convient donc d'en tenir compte dans le budget.

Une ville comme Bordeaux dont la politique pluviale est plutôt basée sur de grandes structures (de type bassin d'orage) ne se préoccupe pas vraiment de problèmes de suivi. Par contre, à Douai, la multitude d'installations techniques alternatives a nécessité une adaptation de l'organisation. Actuellement, la ville utilise un SIG comme outil d'aide à la décision en vue de la gestion (modalités non précisées) du suivi des installations (ADOPTA, com. pers.)

La clé pour une gestion des eaux pluviales optimale est donc le partenariat entre les différents acteurs concernés dans le cadre d'un schéma directeur et d'un plan de gestion bien défini pour ne laisser aucune place à l'approximation. Une plate-forme permanente et « inter-services » pour l'appui à la mise en œuvre d'une gestion intégrée de la problématique des inondations pluviales urbaines serait utilement créée en RBC.

11.3.5. Un financement approprié

Un financement spécifique de la gestion des eaux pluviales doit être envisagé. Car, à l'heure actuelle, aucun revenu n'est spécifiquement alloué à la gestion de l'eau de pluie (point 10.2). En effet, à Bruxelles la taxe régionale sur le déversement des eaux usées (0,35 €/m³) et la redevance d'assainissement (entre 0,05 €/m³ et 0,25 €/m³) apparaissant sur les factures d'eau ne concernent que la gestion des eaux usées et leur traitement et ne permettent pas une bonne prise en compte des eaux de pluie. Deux solutions sont donc envisageables : soit une partie du budget général de la Région est dégagé, soit il faut créer un nouveau budget spécifique par le biais de taxes ou de redevances. En France la loi du 11 septembre 2006 (*voir point 8.1*) prévoit la création d'une taxe facultative sur les eaux pluviales destinée à soulager le budget des communautés. Les modalités d'application ne sont pas encore déterminées. Cependant, comme nous l'avons vu différents moyens existent (point 10.2). Le moyen le plus facile serait d'augmenter la redevance assainissement, mais cette méthode implique une participation du particulier proportionnel à sa consommation d'eau de distribution, ce qui n'est pas forcément équitable. La redevance à l'imperméabilisation est un système de facturation plus équitable où chaque individu est responsable de sa contribution en eau de pluie au réseau. Il s'agit également d'un principe de solidarité, vu que les inondations restent généralement limitées dans l'espace. Parallèlement à la mise en place d'une taxe ou redevance, des incitants peuvent être créés pour promouvoir les bonnes pratiques de gestion pluviale auprès des particuliers. Nous avons vu qu'à Bruxelles certaines communes accordaient déjà des primes (toitures vertes, citernes). Une autre possibilité serait une réduction de la taxe eaux pluviales si de telles pratiques étaient mises en place.

Enfin, au vu de ce qui se fait en France et plus particulièrement à Lille et Bordeaux en matière de gestion pluviales (budget important, voir point 6.2.2 de l'annexe réalisée par le CESE), et vu l'ampleur de la tâche à Bruxelles, il est certain qu'une politique globale en la matière nécessite des moyens financiers importants.

11.4. Résumé et recommandations

→ Le paramètre de réussite proposé eu égard à certains constats d'échec assez généralisés apparaît être la mise en œuvre d'outils de gestion coordonnés; ceci vaut non seulement pour les structures privées mais aussi, et peut-être plus encore, pour les infrastructures publiques (sollicitation des espaces publics).

Il y a en effet une prise de conscience qu'une planification coordonnée des politiques et une gestion globalisée et hiérarchisée sont indispensables, suivant une approche raisonnée dans la mesure où l'inondation reste un risque naturel lié aux aléas climatiques. Il s'agit manifestement d'un impératif, sous peine de non efficacité et de « gaspillage » des efforts et des investissements.

Notre suggestion : Au niveau de la région de Bruxelles-Capitale, la coordination entre politiques pourrait s'appuyer sur la création d'un « Groupe Transversal Inondations (GTI) », à l'instar du GTI de la Région Wallonne créé par le Gouvernement Wallon, groupe technico-administratif qui se réunit mensuellement et qui rassemble des représentants de toutes les administrations ayant compétence sur la problématique des inondations, ainsi que quelques spécialistes scientifiques.

→ Il importe de considérer que l'unité fonctionnelle est le petit bassin versant de talweg ou de petit à très petit cours d'eau (notion à différencier des bassins versants de cours d'eau plus importants comme la Senne, la Woluwe ou le Maelbeek dans le cas de la Région bruxelloise par exemple) ; cette unité fonctionnelle physiographique est à délimiter distinctement de limites administratives (communales ou autres). La comptabilisation et la gestion globale des mesures hors et sur réseau d'assainissement pluvial sont à effectuer à cette échelle pour bonne efficacité.

→ Il apparaît que l'approche de promotion et de réglementation de mesures compensatoires doit être engagée comme une approche compensatoire globale, plutôt que de dissocier le problème via la mise en œuvre de techniques alternatives sans plus, favorisant l'éparpillement inefficace.

Cette approche globale nécessite que soient pris en compte les Points suivants notamment :

- Le diagnostic d'ensemble aidé par la caractérisation des niveaux de risque eu égard à l'inondation urbaine pluviale (aléas, enjeux, vulnérabilité), du risque lié à la qualité des eaux pluviales urbaines, du milieu (petits bassins versants sensibles et zones exposées), des pressions anthropiques (taux d'imperméabilisation, réseaux d'assainissement pluvial, émissaire, localisation des espaces urbanisables).
- Une réglementation relative aux normes d'immission, plutôt qu'une réglementation relative aux types de mesures (choix laissé aux aménageurs sauf en ce qui concerne l'impératif d'un taux limité de surfaces imperméables), ces normes portant :
 - sur les débits de fuite de projet pour le quantitatif (« ne pas aggraver »),
 - pour le qualitatif : aussi bien en ce qui concerne la protection des eaux souterraines s'il y a lieu, que celle des cours d'eau émissaires ou autres récepteurs (étangs,...).

- La promotion des mesures les plus appropriées, avec leurs avantages, limites et inconvénients (production de Guides pour les communes, aménageurs, particuliers,...).
- Une organisation et une gestion de l'espace en relation avec les événements pluviaux, y compris les averses intenses et l'exceptionnel, soit :
 - pour les événements pluvieux courants et moyens (« Niveaux 1 et 2 », jusqu'au décennal environ, confère Point, gestion du « système mineur », c'est-à-dire prise en compte du réseau d'assainissement pluvial existant moyennant réfections, bassins d'orage,..., et **en** parallèle, hors réseau et pour rejet dans le réseau ou l'émissaire (cours d'eau, étang), les mesures compensatoires, destinées à empêcher l'aggravation de la situation de ruissellement « décennale » lors de nouveaux aménagements.
 - pour les événements pluvieux intenses (inondant) (« Niveaux 3 ») et exceptionnels (« Niveau 4 »), gestion du « système majeur » avec sollicitation des espaces publics, dont pour le Niveau pluvial 3 : risque inondation à prendre en charge par le réseau majeur (voiries aménagées, risques de refoulement pris en compte, protection des habitats et espaces publics, création et gestion de zones inondables, limitation de l'exposition et de la vulnérabilité) et pour le Niveau pluvial 4 : niveau de catastrophe naturelle, mesures de sauvegarde des personnes, connaissance du risque.
- Outre une politique de mise en œuvre coordonnée, une politique de contrôle du respect des normes d'immission, une politique de suivi y compris ce qui concerne l'entretien des structures et l'évacuation des dépôts et déchets (boues généralement évacuées vers une décharge ad hoc ou remises en suspension dans le réseau pour ce qui concerne les ouvrages sur réseau - comment et vers où pour les mesures compensatoires complémentaires ?);
- Au sujet des émissaires: une bonne connaissance de l'émissaire (axes hydrauliques en hautes eaux, effets d'affluents aval, dérivations de moulins et étangs,...).

En soutien à la mise en place de la politique :

→ Les outils suivants d'aide à la décision et à la gestion se développent ou sont à développer :

- les méthodes et cartographies du risque d'inondation (aléa, vulnérabilité), des zones sensibles, des pressions, des zones exposées naturelles et étendues,..., physiquement fondées;
- les modèles de simulation hydraulique pour les réseaux d'égouttage et les émissaires;
- les modèles de simulation permettant d'évaluer les effets spatio-temporels hydrologiques des mesures compensatoires moyennant séquences climatiques réelles, en particulier en ce qui concerne la statistique des effets des averses intenses (notre remarque : et aussi les effets de scénarios de changements climatiques);

- l'évaluation de l'efficacité hydrologique des diverses techniques alternatives en conditions réelles, bien mal connue en définitive;
- la télésurveillance et la télégestion automatisée pour les grands ouvrages;
- les réseaux de mesures hydro-climatiques et les méthodes de prévisions climatiques en temps réel, à horizon court de prévision (confer rapport de l'IRM, sous-traitant du Consortium d'étude).

12. Listes des abréviations⁵¹

ADOPTA (*FR*): Agence DOuaisienne pour la Promotion des Techniques Alternatives

AED (*RBC-B*): Administration de l'Équipement et des Déplacements

ARU (*RF-B*) : Arrêté du gouvernement Flamand Règlement Urbanistique

AUV (*RF-,B*) : Arrête urbanistique de la ville de Gand

CERTU (*FR*): Centre d'Etudes sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme

CUB (*FR*) : Communauté Urbaine de Bordeaux

DIREN (*FR*): Direction Régionale de l'Environnement (DIREN)

LMCU (*FR*): Lille Métropole Communauté Urbaine

MEDD (*FR*) : Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable

MET (*RW-B*): Ministère Wallon de l'Equipement et des Transports

METT (*FR*): Ministère de l'équipement des transports et du tourisme (fr)

MRW (*RW-B*): Ministère de la Région Wallonne

PEDL (*RF-B*) : Plan d'Eau Durable Local

PGBH (*RF-B*): Plan de Gestion de bassin hydrographique

PGDH (*RF-B*) : plan de gestion de district hydrographique (Escaut, Meuse)

PGE (*RF-B*): Plan de Gestion Environnementale

PGSBH (*RF-B*) : Plan de Gestion de sous-bassin hydrographique pour les "Gentse Binnenwateren"

PPR(l) (*FR*): Plan de Prévention des Risques (Inondation)

PLU (*FR*): Plan Local d'Urbanisme

PZ (*RF-B*): Plan de Zonage

RAMSES (*FR*): Système automatisé de « Régulation de l'Assainissement par Mesures et Supervision des Equipements et des Stations »

⁵¹ la nationalité des institutions, programmes et documents est écrite entre parenthèses (RW : Région Wallonne, RF : Région Flamande, B : Belgique, FR : France)

RGA (*B*): Règlement Général d'Assainissement des eaux urbaines

RRU (*RW-B*): Règlement Régional d'Urbanisme

RCU (*RW- B*): Règlement communal d'Urbanisme

SDAGE (*FR*): Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux

SAGE (*FR*) : Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux

SCOT (*FR*) : Schéma de Cohérence Territorial

SPGE (*RW-B*): Société Publique de la Gestion de l'Eau

SSC (*RW-B*): Schéma structure Communal

TE (*RF-B*): Test d'eau (watertoets)

VIBE (*RF-B*) : Vlaams Instituut voor Bio-Ecologisch Bouwen en Wonen

VMM (*RF-B*): Vlaamse Milieu Maatschappij

13. Bibliographie⁵²

- ADOPTA (2002), *La gestion durable des eaux pluviales*, Association Douaisienne pour la Promotion des Techniques Alternatives.
- AGENCE DE L'EAU ARTOIS-PICARDIE (ADE) et DIRECTION REGIONALE DE L'ENVIRONNEMENT (DIREN) (2004), *Bilan du SDAGE du Bassin Artois-Picardie*. www.eau-artois-picardie.fr. 116 p.
- AGENCE DE L'EAU ARTOIS-PICARDIE (2002), *Vers une nouvelle politique de l'aménagement urbain par temps de pluie*. www.eau-artois-picardie.fr. 58 p.
- ANDJELKOVIC I. (2001), *Guidelines on non-structural measures in urban flood management*, International Hydrological Programme, IHP-V / Technical Documents in Hydrology / n°50, Unesco, Paris 2001. 89 p.
- Avant-projet d'arrêté portant certaines mesures d'exécution de l'ordonnance du 20 octobre 2006 établissant un cadre pour la politique de l'eau*. Arrêté du Gouvernement de la Région de Bruxelles-Capitale. 4 p.
- BOURGOGNE P. (2006), *Les solutions compensatoires compensent-elles encore ? 20 ans après... sur la Communauté urbaine de Bordeaux*, Communauté urbaine de Bordeaux, 27 p.
- BRIGANDO M. et al. (2002). *Plans de Prévention des Risques naturels (PPR). Risques d'inondation, mesures de prévention*. Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement et Ministère de l'Équipement et des Transports. La Documentation française. 160 p.
- CAMERON J. et al. (1999), *User pay financing of stormwater management : a case-study in Ottawa-Carleton, Ontario*, in « Journal of Environmental Management », n°57. 13 p.
- CARTER T. (2003), *Stormwater utilities. A primer on potential benefits in Georgia*, Institute of Ecology, University of Georgia. 5 p.
- CERTU, CETE NORMANDIE CENTRE et CETE MEDITERRANEE (2004), *Centre-ville en zone inondable. Prise en compte du risque. Dix exemples d'adaptation du bâti*, Service des Pollutions et des Risques du Ministère de l'Écologie et du Développement durable. 68 p.
- CERTU (2006), *Collectivités locales et ruissellement pluvial*. Version finale du 7 juillet 2006. Ministère de l'Écologie et du Développement Durable. 98 p.
- CERTU (1998). *Ruissellement urbain et POS : approche et prise en compte des risques*. Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, 100 p.
- CETE SUD-OUEST (2004), *Gestion alternative des eaux pluviales. Développement durable et constructions publiques*. DGUHC (Paris, 24-25 mars 2004). 10 p.
- CIRIA (2000). *SUDS Best Practice Manual*. CIRIA C523.
- CIRIA (2004). *Sustainable drainage systems: hydraulic, structural and water quality advice*. CIRIA C609.
- COMMUNAUTE D'AGGLOMERATION DU GRAND TOULOUSE (SERVICE ASSAINISSEMENT) (2006), *Guide de gestion des eaux de pluie et de ruissellement*. 102 p.

⁵² Complémentaire à la bibliographie notée en bas de page.

- COMMUNAUTE URBAINE DE BORDEAUX (2005), *Rapport annuel 2005 des services publics de l'Eau et de l'Assainissement*. 96 p.
- COMMUNAUTE URBAINE DE BORDEAUX (2006), *La lutte contre les inondations sur la Communauté urbaine de Bordeaux*. Direction opérationnelle de l'Eau et de l'Assainissement. 79 p.
- CONSEIL GENERAL DU DEPARTEMENT DE LA SEINE-SAINT-DENIS (2003), *Assainissement urbain départemental et actions concertées pour l'eau, Schéma 2003-2012*. 174 p.
- CONSEIL GENERAL DES HAUTS-DE-SEINE (2005), *La gestion durable des eaux au service des habitants des Hauts-de-Seine. Les Concours financiers du Département pour la maîtrise des eaux pluviales (décembre 2005)*. 27 p.
- CREAT (2003), *Contribution du développement territorial à la réduction de l'effet de serre. Première partie : Mutations spatiales et structures territoriales, politique générale de gestion des fonds de vallées*. CPDT, Programme 2002-2003.
- CREAT-LEPUR (2003), *Contribution du développement territorial à la réduction de l'effet de serre. Deuxième partie : Mesures à prendre en aménagement du territoire pour limiter les effets de la modification des régimes hydriques : le cas des inondations*. CPDT, Programme 2002-2003. 33 p.
- CYRE H.J. (1982), *Stormwater Management Financing*, Water Resources Associates, Inc., Bellevue, Washington, paper presented to the International Public Work Congress, Sept. 1982. 50 p.
- DE LA ROY (2004). *Beter inzicht in de infiltratiemogelijkheden van regenwater*. H2O 5- 2004, p. 26.
- DEVILLEZ F., GOVAERTS P. et al. (1994), *Impact de l'urbanisation sur le cycle de l'eau : Quantification par modélisation, Mise en évidence de modes d'intervention dans le cadre de l'aménagement du territoire et de l'urbanisme, Application au cas de Louvain-la-Neuve*, Fonds de Développement Scientifique – Université Catholique de Louvain.
- DIRECTION DEPARTEMENTALE DE L'EQUIPEMENT DE LA GIRONDE (2005), *Dispositif d'accompagnement de la mise en œuvre du PPRi. Outils d'aide à l'instruction*. 23 p.
- DIRECTION DEPARTEMENTALE DE L'EQUIPEMENT DE LA GIRONDE (2005), *Dispositif d'accompagnement de la mise en œuvre du PPRi. Connaître et comprendre le risque d'inondation*. 18p.
- DIRECTION DEPARTEMENTALE DE L'EQUIPEMENT DE LA REUNION (2004), *Schéma de cohérence territoriale de l'Ouest. Les textes réglementaires*. 18 p.
- ETABLISSEMENT PUBLIC LOIRE (2005), *Le Maire face au risque d'inondation. Le PCS, se préparer pour mieux protéger. Le DICRIM, informer pour mieux prévenir*. 10 p.
- GARRY G., GRASZK, E. et al (1999). *Plans de prévention des risques naturels (PPR), Risques d'inondation, guide méthodologique*. Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement et Ministère de l'Equipement et des Transports. La Documentation française. 124 p.
- IBGE (2006), *Avis sur le projet du Règlement régional d'Urbanisme dans le cadre de l'enquête publique du 8 septembre au 7 octobre 2005*. 6 p.
- INSPECTION GENERALE DE L'ADMINISTRATION, CONSEIL GENERAL DES PONTS ET CHAUSSEES, CONSEIL GENERAL DU GENIE RURAL, DES EAUX ET DES FORETS, INSPECTION GENERALE DE L'ENVIRONNEMENT (2002), *Avis délibéré sur les retours d'expérience des inondations catastrophiques et les inspections de services déconcentrés en charge des risques naturels*. Réalisés depuis l'année 1999. 21 p.
- INTER-ENVIRONNEMENT BRUXELLES (2006), *Aménager votre habitation pour mieux préserver le « Patrimoine Eau » de la Région*. 50 p.

HUBERT G. et VANSSAY B. (2005), *Le risque d'inondation et la cartographie réglementaire. Analyse de l'efficacité, des impacts et de l'appropriation locale de la politique de prévention*, Programme de recherche « Evaluation et prise en compte des risques naturels et technologiques » du Ministère de l'Ecologie et du Développement durable. 188 p.

LILLE METROPOLE COMMUNAUTE URBAINE (2005), *Rapport annuel sur le prix et la qualité du service public : assainissement*. 165p.

MAIGNE J. (2006), *La gestion durable des techniques alternatives en assainissement pluvial. Synthèse technique*. Communauté urbaine de Lyon. Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et des Forêts (ENGREF). 14 p.

MARCOTTE A. (2003), *Cahier de recommandations n°1 : Gestion des eaux pluviales pour les aménagements urbains futurs*, Haskoning – France SARL Environnement Lille. 13 p.

MAYTRAUD T. (DEA) (2003), *L'eau dans le projet urbain en Seine-Saint-Denis. Une approche alternative pour la gestion des eaux pluviales*, in « Les Points de Repère du 93 », n°36. 12 p.

MIDDLESEX UNIVERSITY, DAYS WATER (2003), *Review of the use of stormwater BMPs in Europe (report 5.1.)*, Adaptive Decision Support System (DSS) for the integration of stormwater source control into sustainable urban water management strategies. 98 p.

MINISTERE DE L'ECOLOGIE ET DU DEVELOPPEMENT DURABLE (2006), *Projet de loi sur l'eau et les milieux aquatiques. Débat à l'Assemblée Nationale (mai 2006)*. Dossier de presse. 37 p.

MINISTERE DE L'ECOLOGIE ET DU DEVELOPPEMENT DURABLE (2006), *16 décembre 1964 – 16 décembre 2004 : 40 ans de politique de l'eau*. Dossier de presse. 21 p.

MISSIONS ET DELEGATION INTER-SERVICES DE L'EAU (LOIRE-ATLANTIQUE, MAINE-ET-LOIRE, MAYENNE, SARTHE, VENDEE) (2004), *Guide méthodologique pour la prise en compte des eaux pluviales dans les projets d'aménagement*. Fascicule I. 69 p.

MISSIONS ET DELEGATION INTER-SERVICES DE L'EAU (LOIRE-ATLANTIQUE, MAINE-ET-LOIRE, MAYENNE, SARTHE, VENDEE) (2004), *Dossier d'autorisation et de déclaration au titre de la loi sur l'eau. A : Constitution et instruction des dossiers. B : Préconisations techniques*. Fascicule II. 34p.

MISSIONS ET DELEGATION INTER-SERVICES DE L'EAU (LOIRE-ATLANTIQUE, MAINE-ET-LOIRE, MAYENNE, SARTHE, VENDEE), CETE DU SUD-OUEST (2002), *Les solutions compensatoires en assainissement pluvial. Le choix et quelques principes de conception et de réalisation des techniques*. Fascicule III. 66 p.

Ordonnance du 20 octobre 2006 établissant un cadre pour la politique de l'eau, Moniteur belge, n° 354, vendredi 3 novembre 2006 (2^e édition), p. 58772, 84 p.

PELUSO V. et MARSHALL A. (2002), *Best management practice for South Florida urban stormwater management systems*, South Florida Water Management District. 72 p.

PLU (2006), *Plan Local d'Urbanisme de la Communauté urbaine de Bordeaux. Règlement*. Version du 21 juillet 2006. 244 p.

POTTIER N. (2001), *L'utilisation des mesures non structurelles pour la gestion du risque d'inondation*, Université de Versailles St Quentin en Yvelines. www.H2O.net

POTTIER N., HUBERT G. et RELIANT C. (2003), *Quelle efficacité de la prévention réglementaire dans les zones inondables ? Eléments d'évaluation*, in « Annales des ponts et chaussées » n° 105 (9 ref.), pp. 14-23. 10 p.

PPRI (2001), *Plan de Prévention du Risque Inondation de l'agglomération bordelaise. Secteurs Bordeaux Nord et Sud. Règlement*. Préfecture de Gironde. Service interministériel régional de Défense et de Protection civile. Direction départementale de l'Équipement de la Gironde. 41 p.

REGION DU NORD PAS-DE-CALAIS (1999), *Schéma des services collectifs des espaces naturels et ruraux*. Direction régionale de l'Environnement Nord Pas-de-Calais. Ministère de l'Agriculture, de la Pêche et de l'Alimentation. 156 p.

Règlement d'assainissement mis en application le 17 février 2005, Lille Métropole Communauté urbaine. 82 p.

SDAGE Adour-Garonne. Schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux adopté le 24 juin 1996 par le Comité de Bassin, approuvé par le préfet coordonnateur de bassin le 6 août 1996. 113 p.

TEYSSANDIER A. (2003), *Aide au choix d'une stratégie d'assainissement pluvial*, Centre d'Etudes techniques de l'Équipement du Sud-Ouest, présentation dans le cadre des Journées LCPC-Eau (Paris, 2003). 24 p.

VAILLANCOURT J. et GUERTIN R. (1999), *Milieu urbain et gestion de l'eau au Québec*, mémoire présenté au Bureau des Audiences Publiques sur l'Environnement (BAPE) dans le cadre de la consultation publique sur la gestion de l'eau au Québec. Atelier d'Aménagement, d'Urbanisme et d'Environnement du Québec. 44 p.

VIBE (2000). *Hemelwater gebruiken! Een handleiding voor gebruik van regenwater in huis*.

VMM (2000). *Waterwegwijzer voor architecten. Een handleiding voor duurzaam watergebruik in en om de particuliere woning*. 80 p.

<http://www.waterloketvlaanderen.be/uploads/VMMarchitect.pdf>

14. Liste de contacts

Région Bruxelles-Capitale

- IBDE assainissement
Ir. O. Broers, Responsable des études, Direction de l'Assainissement et des Développements.
02/ 518 85 89
olivier.broers@cibe.be
- Ir Rosière, Administration de l'Équipement et des Déplacements (AED)
- IRM

Bernard Mohymont (spécialiste des courbes Idf) (FR) :
bernard.mohymont@oma.be
Marc Vandiepenbeeck (analyse des tendances climatologiques) (FR) :
mvdpb@oma.be
Luc Debondriddes (idem) (NL) luc.debondridders@oma.be
Fabian Debal (prévisioniste) (FR) fabian.debal@oma.be
David Dehenauw (idem) (NL) : david.dehenauw@kmi.be
Laurent Delobbe (spécialiste radar) (FR) : laurent.delobbe@oma.be
Michel Crabbé (spécialiste orages et détection safir) michel.crabbe@oma.be

Région Wallonne

- IPALLE
J. Delcambe, Directeur des travaux
069/ 84 59 88
j.delcambe@ipalle.be
- SPGE
J.L. Lejeune, cellule égouttage
081/ 25 76 71
jean-luc.lejeune@spge.be
- Aquawal
Tel :081 / 25.76.75
Fax :081 / 65.78.10
www.aquawal.be
- Voies hydrauliques, Sethy : Ir Philippe Dierickx :
pdierickx@met.wallonie.be

- Ir Paul Dewil, du SETHY-MET, RW, Président du « Groupe Transversal Inondation (GTI) », créé par le Gouvernement Wallon et rassemblant des représentants de toutes les administrations et quelques spécialistes scientifiques, concernés par la problématique du Plan PLUIES et des inondations en Région wallonne ;
081 / 77 29 82 ou 0479 / 48 91 59.
pdewil@met.wallonie.be

Ville de Tournai

Le Service d'Urbanisme, le Service Environnement et le Service Voiries, le Secrétaire Communal, ... ; personne de contact: Madame D. Di Maria, Ir architecte à la Ville de Tournai, coordonnées
delphine.dimaria@tournai.be

Région Flamande

Ville de Gand

- Service de Ponts et Chaussées:
Dirk De Baets, directeur-manager, tél. 09/266.79.00, fax 09/266.79.39, e-mail:
dirk.debaets@gent.be or tdwegen@gent.be
Jo De Coninck, adviseur, tél. 09/266.79.25, e-mail: Jo.DeConinck@Gent.be
Adresse: Administratief Centrum Stad Gent, Woodrow Wilsonplein 1, 9000 Gent
- Service de l'environnement:
Peter Van Turenhout, adjoint de la direction, Tél. 09/268.23.44, Fax 09/268.23.68, e-mail: peter.vanturenhout@gent.be
Adresse de correspondance: stadhuis, Botermarkt 1, 9000 Gent
Adresse: Braemkasteelstraat 41, 9050 Gentbrugge
URL: <http://www.gent.be/eCache/THE/2/181.cmVjPTQwNTIw.html>
- VMM
Général : tél.: 053/72.64.45 (durant les heures de bureau), fax: 053/71.10.78, e-mail:
info@vmm.be
Adresse: A. Van de Maelestraat 96, 9320 Erembodegem
URL: www.vmm.be
Voire également
<http://adressen.vlaanderen.be/NASApp/adressen/Adressen.jsp?code=6.&pk=1-1HT50>
- Aquafin
Général, Tél. 03/450.45.11, Fax 03/458.30.20, e-mail: info@aquafin.be
Adresse: Dijkstraat 8, 2630 Aartselaar (België)
URL: www.aquafin.be

France

- Météo-France : Martine Baillon : martine.baillon <martine.baillon@meteo.fr>
- CERTU, Centre d'Etudes sur les Réseaux, les Transports et l'Urbanisme
M. Cenut, Chef du Département Environnement
0033 (0)4 72 74 58 50
Michel.cenut@equipement.gouv.fr

Montpellier a effectué une synthèse de « retours d'expériences » en matière de mesures relatives aux inondations pluviales urbaines ; il s'agit de Monsieur Maigne (je ne connais que ses écrits), coordonnées email : maigne@engref.fr

*Non visités et pas de personnes de contact, mais suivant documentation, voici les villes en Pourrait être intéressante à contacter, une personne en France (Centre Engref de France qui paraissent intéressantes (voir rapport de Mme Dautrebande) : **Rennes** (pragmatisme de réglementation), **Hauts-de-Seine** (vues prospectives, mais peut-être plus « périurbain », et de ce fait plus aisé à appliquer), **Seine-St-Denis** (idem).*

Bordeaux

- CUB, Communauté Urbaine de Bordeaux
P. Bourgogne, Directeur services assainissement
0033 (0)5 56 99 85 94
pbourgogne@cu-bordeaux.fr
- CETE Sud-Ouest, centre d'études techniques de l'équipement
J.D. Baladès
05 56 70 63 03
<http://www.cete-sud-ouest.equipement.gouv.fr/>

Lille

- Lille Métropole Communauté Urbaine (LMCU)
Messieurs Dollet et Tonnerre, Services Eau et Assainissement, Unité Centrale,
0033 (0)3 20 21 23 90
adollet@cudl-lille.fr
- Agence Développement Lille Métropole
J.P. Mottier, responsable environnement
0033 (0)3 20 63 33 50
jpmottier@lille-metropole-2015.org
- CETE Nord-Picardie, centre d'études techniques de l'équipement
Tel : 03 20 49 60 00
Fax : 03 20 53 15 25
CETE-Nord-Picardie@equipement.gouv.fr

Douai

- DIRAH, DIRection de l'Assainissement et de l'Hydraulique
J.J.Hérin, Directeur
Tel: 03 27 94 40 30
Fax : 03 27 94 40 39
www.douaisis-agglo.com
- ADOPTA, Agence DOuaisienne pour la Promotion des Techniques Alternatives
L.Greziak
0033 (0)3 27 94 40 39
adopta@free.fr

Londres

- Greater London Authority
Kevin Reid, Senior Strategist
e-mail kevin.reid@london.gov.uk
tel +44 20 7983 4991
Stuart Homann
Tel +44 20 79836545
- Association of British Insurers
Dr Sebastian Catovsky
Policy Adviser, Natural Perils
51 Gresham Street
London EC2V 7HQ
Tel + 44 20 7216 7513
e-mail sebastian.catovsky@abi.org.uk
- Environment Agency
Peter Borrows
Kings Meadow House
Kings Meadow Road
Reading RG1 8DQ
e-mail peter.f.borrows@environment-agency.gov.uk
Tel: +44 (0)118 953 5303
Mob: +44 (0)7768 864 123
- City of London
Simon Mills
City of London Corporation
e-mail Simon.Mills@cityoflondon.gov.uk