



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

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

Octobre 2006 – Décembre 2006

**ANNEXE AU RAPPORT DE SYNTHÈSE :  
VOLET HYDROLOGIQUE**

Professeur Sylvia Dautrebande, Ir Dr  
Unité d'Hydrologie  
Génie Rural & Environnemental  
Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux  
Email : [dautrebande.s@fsagx.ac.be](mailto:dautrebande.s@fsagx.ac.be)



# Table des matières

PREAMBULE.....	1
REMERCIEMENTS .....	1
<b>1 INTRODUCTION .....</b>	<b>2</b>
1.1 Position du problème hydrologique et hydraulique .....	2
1.1.1 ...Les pluies de forte intensité et de brève durée.....	2
1.1.2 ...La saturation des égouts et collecteurs .....	3
1.1.3 ...Les inondations pluviales urbaines.....	3
1.1.4 ... Suite à des pluies de forte intensité et de brève durée.....	4
1.1.5 ...La qualité des eaux pluviales.....	4
1.2 Méthode d'analyse.....	4
1.3 Définitions générales .....	5
<b>2 L'ALÉA ET LE RISQUE D'INONDATION PLUVIALE URBAIN.....</b>	<b>7</b>
2.1 L'aléa d'inondation .....	7
2.2 Le risque Inondation .....	8
<b>3 LES ZONES SENSIBLES AU RUISSELLEMENT.....</b>	<b>9</b>
3.1 Le petit bassin versant.....	9
3.2 Comparaison sommaire entre villes.....	10
3.2.1 L'hydrographie .....	10
3.2.2 L'orographie.....	12
3.2.3 Les sols de surface et la zone vadose.....	14
<b>4 LES ZONES NATURELLEMENT EXPOSÉES AUX INONDATIONS.....</b>	<b>17</b>
<b>5 LES PRESSIONS SUR L'ALÉA D'INONDATION .....</b>	<b>18</b>
5.1 La pression anthropique .....	19
5.1.1 L'imperméabilisation des surfaces .....	19
5.1.2 La collecte, le transport et l'évacuation des flux .....	19
5.1.3 En résumé .....	20
5.1.4 RBC .....	22
5.2 La pression climatique .....	25
5.2.1 Les précipitations en cause .....	25
5.2.2 RBC .....	25
5.2.3 Comparaisons « RBC-Tournai-Lille » .....	29
5.2.4 En résumé .....	29
<b>6 LES MESURES .....</b>	<b>33</b>

6.1	Les concepts innovants .....	33
6.1.1	Les mesures compensatoires .....	33
6.1.2	Le classement hydrologique .....	34
6.2	Les normes techniques .....	42
6.2.1	La période de retour de projet : un choix de politique .....	43
6.2.2	Les outils d'aide à la décision .....	52
<b>7</b>	<b>RETOURS D'EXPÉRIENCE EN MATIÈRE DE MESURES ET CRITÈRES .....</b>	<b>53</b>
7.1	En particulier... ..	53
7.1.1	Lille .....	53
7.1.2	Tournai.....	55
7.1.3	Bordeaux .....	55
7.1.4	Le « Grand Toulouse ».....	56
7.1.5	Ville de Rennes .....	56
7.2	l'approche spatiale raisonnée .....	57
<b>8</b>	<b>RETOURS D'EXPÉRIENCE EN MATIÈRE D'EFFICACITÉ.....</b>	<b>59</b>
8.1	Au sujet de quelques techniques.....	59
8.1.1	Les chaussées poreuses.....	59
8.1.2	Les toitures avec stockage.....	62
8.1.3	Les noues .....	64
8.2	Les Vues d'ensemble .....	64
8.2.1	Bordeaux .....	64
8.2.2	Seine-St-Denis .....	65
8.2.3	Douai.....	65
8.2.4	En synthèse... ..	65
<b>9</b>	<b>CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS .....</b>	<b>67</b>
9.1	Ce qui est promu.....	67
9.1.1	Le concept général.....	67
9.1.2	Les mesures compensatoires prioritaires (...Figure 46) .....	69
9.2	L'efficacité des mesures compensatoires.....	71
9.2.1	La nécessité de planification et de gestion globale.....	71
9.2.2	En appui .....	73
<b>10</b>	<b>DOCUMENTATION COMPLÉMENTAIRE CONSULTÉE .....</b>	<b>74</b>

## **PREAMBULE**

Ce Rapport est établi à titre de Contribution au Rapport final de synthèse établi par le CEESE-ULB (Centre d'Etudes Economiques et Sociales de l'Environnement), le coordonnateur, et les autres partenaires du Consortium d'études (ECOLAS (Environmental Consultancy & Assistance, Antwerpen-Gent), CERAA (Centre d'Etude, de recherche et d'Action en Architecture de l'Institut Supérieur en Architecture de St Luc de Bruxelles), FUSAGx (Faculté Universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux, Région Wallonne), IRM-KNMI (Institut Royal Météorologique de Belgique- Koninklijk Meteorologisch Instituut van België)).

En apportant sa contribution sous l'angle hydrologique, le présent Rapport fait partie intégrante de l'étude menée à la demande de l'IBGE-BIM en support au « Plan Pluies pour la Région de Bruxelles-Capitale » et devant porter sur les stratégies globales mises en œuvre hors Région de Bruxelles-Capitale en matière de lutte contre les inondations urbaines (aspects généraux, techniques et instruments utilisés dans leur mise en œuvre/ analyse, évaluation, communication).

## **REMERCIEMENTS**

Nous adressons tous nos remerciements pour nous avoir reçu avec la meilleure amabilité et compétence:

- A Monsieur Rosière, Direction de l'Eau - Administration de l'Équipement et des Déplacements (AED), Région de Bruxelles-Capitale, le 22 septembre 2006 à Bruxelles.
- Aux représentants de la Ville de TOURNAI (Service d'Urbanisme, Service Environnement, Service Voiries), de l'IPALLE et du CREAT, et en particulier à Madame D. Di Maria, Ir architecte à la Ville de Tournai, qui a aussi assuré l'organisation des réunions, les 3 et 24 octobre 2006.
- A Messieurs Arnaud Dollet et Jacques Tonnerre, Direction de l'Eau et de l'Assainissement, Unité Centrale de la Communauté Urbaine de LILLE Métropole (LMCU), le 16 octobre 2006 à Lille.

# 1 INTRODUCTION

Suivant les termes de références, la mission porte en résumé sur la rédaction d'un dossier consacré à l'analyse de « Stratégies globales mises en œuvre hors Région de Bruxelles-Capitale : aspects généraux, techniques et instruments utilisés dans la mise en œuvre/analyse, évaluation, communication » en vue de documenter la réflexion liée à l'élaboration d'un Plan Pluies pour Bruxelles-Capitale ».

L'étude devra porter spécifiquement sur un retour d'expérience de prévention et de gestion des inondations principalement dues à la saturation des égouts et de collecteurs (voire d'étangs en tête de bassin) en zone urbaine, suite à des pluies de forte intensité et de brève durée. La question de la qualité des eaux pluviales est concomitante.

L'étude ne concerne donc pas les inondations directement liées aux débordements de cours d'eau, d'ailleurs étudiées par ailleurs et déjà même de longue date<sup>1</sup>.

La problématique de saturation des collecteurs n'est pas neuve non plus : en 1977, J.M. Hiver<sup>2</sup> met en cause pour Bruxelles « ...le dépassement des capacités d'écoulement, lié notamment aux nouvelles constructions autoroutières, qui a conduit à la construction de bassins d'orage, dont la gestion devra être associée dans le futur à celle de l'ensemble du réseau. » ; citons encore « L'urbanisation progressive des bassins versants pose des problèmes d'aménagement dus à l'aggravation des ruissellements » ou « ... une pollution superficielle concentrée temporairement dans le ruissellement pluvial ». Les aménagements envisagés en conséquence portaient sur l'implantation de réservoirs d'orage et de déversoirs, politique qui est en large développement encore actuellement.

## 1.1 POSITION DU PROBLÈME HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

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.

### 1.1.1 ...Les pluies de forte intensité et de brève durée

Nous adoptons la classification des 4 niveaux de fonctionnement du système d'assainissement pluvial collectif tel que proposé par le CERTU (2003)<sup>3</sup> 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.

<sup>1</sup> Pour exemple « Etude de la Senne – Calcul d'axes hydrauliques Modèle 279-4 » Min. des travaux Publics, Ponts et Chaussées, administration des voies hydrauliques, Laboratoire de Recherches Hydrauliques-Borgerhout, Anvers, 1972, 150 pages.

<sup>2</sup> « Un système de prévision des crues en real-time pour le bassin de la Senne » par Ir. J.M. Hiver, Lab. de Rech. Hydrauliques, Borgerhout, Anvers, in Symposium on Flood Studies, Brussels, Nov. 1977, 23 pages.

<sup>3</sup> CERTU, MEDD (2003) « La ville et son assainissement. Principes, méthodes et outils pour une meilleure intégration dans le cycle de l'eau ».

- 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, en tant que contribution au Rapport de synthèse du Consortium d'étude.

L'analyse est à porter sur les niveaux 2 et supérieurs précités, partant de l'a 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.

### **1.1.2 ...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.

### **1.1.3 ...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.

#### **1.1.4 ... 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 clair<sup>4</sup> que le retour d'expérience en matière d'inondation soudaine (*flash flood*) est pratiquement inexistant.

Le projet<sup>5</sup> 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 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.* »

#### **1.1.5 ...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'urbanisation<sup>6</sup> 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 récepteurs<sup>7</sup> (cours d'eau émissaire) eu égard aux polluants présents dans les eaux de ruissellement urbaines en particulier lors des averses intenses.

## **1.2 MÉTHODE D'ANALYSE**

La perspective principale de notre analyse portera sur les retours d'expérience dans des conditions similaires ou bien exemplatives, relativement à des cités sises dans le bassin de l'Escaut (Lille, Tournai) ou autres (en France, aux USA, Canada, UK,...).

L'approche d'analyse DPSIR<sup>8</sup> est choisie (Figure 1), dont définitions précisées au Point 1.3. Elle permet une organisation de l'information existante, mettant en évidence les liens de causes à effets en relation avec les modalités de solutions, notamment dans une perspective de durabilité environnementale. Le but est *in fine* l'élaboration de mesures ciblées, la mise en œuvre de programmes de surveillance appropriés, l'élaboration ou la révision de normes et critères appropriés.

<sup>4</sup> 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).

<sup>5</sup> « 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.

<sup>6</sup> Au sens du développement urbain.

<sup>7</sup> Logique de l'immixtion plutôt que de l'émission - Confer Directive-Cadre Eau (2001).

<sup>8</sup> DPSIR = «Driving-Pressure-State-Impact-Response» = «Forces motrices-Pressions-Etat-Réponses».

L'approche « Analyse de Risque » est incluse (Figure 1) étant donné que la notion de dommages (socio-économiques et environnementaux) accompagne et sous-tend la problématique dans son ensemble.

### 1.3 DÉFINITIONS GÉNÉRALES

En soi, le terme « risque », bien que polysémantique, inclut toujours une notion de danger, outre la notion de probabilité d'occurrence (spatiale, temporelle) et la notion d'intensité (Bernier et al, 2000).

Le risque<sup>9</sup> se détermine par le croisement de l'aléa<sup>10</sup> et de la vulnérabilité, moyennant les définitions complémentaires suivantes :

- la Vulnérabilité caractérise le niveau de dommages prévisibles sur les enjeux<sup>11</sup>,
- la Sensibilité caractérise le niveau de réactivité du milieu naturel eu égard aux aléas considérés.

En outre, on définit, dans ce contexte :

- la Zone sensible comme étant la zone naturellement soumise à l'aléa ;
- la Zone exposée comme étant la zone exposée au risque de dommage.

Les composantes de l'approche DPSIR sont les suivantes :

- D = Driving forces = Forces motrices ou directrices
  - > Les forces directrices se situent à l'amont du phénomène étudié, caractérisant le cadre social et économique; leurs paramètres varient en général lentement.
- P = Pressure = Pressions
  - > Les pressions sont celles à l'origine des changements d'état des composantes environnementales dans l'espace ou dans le temps.
- S = State = État
  - > Il s'agit de l'état d'un compartiment de l'environnement (air, eau, sols, faune, flore, habitats,...).
- I = Impacts
  - > Les impacts (dommages ou risques de dommages) sont les conséquences des pressions et des réponses sur les milieux.
- R= Response = Réponses
  - > Les réponses sont donc les différentes actions (mesures) liées aux activités humaines ; elles peuvent être de nature préventive, protectrice ou palliative.

<sup>9</sup> En Hydrologie, notamment : Oberlin et al, 1993.

<sup>10</sup> « L'aléa est un phénomène naturel et lié ou non aux activités humaines, récurrent, d'intensité variable, assorti d'une incertitude tant sur le lieu que sur le moment, la fréquence et l'importance de son occurrence ».

<sup>11</sup> Les enjeux sont les intérêts menacés par le phénomène en question, intérêts qui peuvent être de nature économique, environnementale, sanitaire, patrimoniale,...

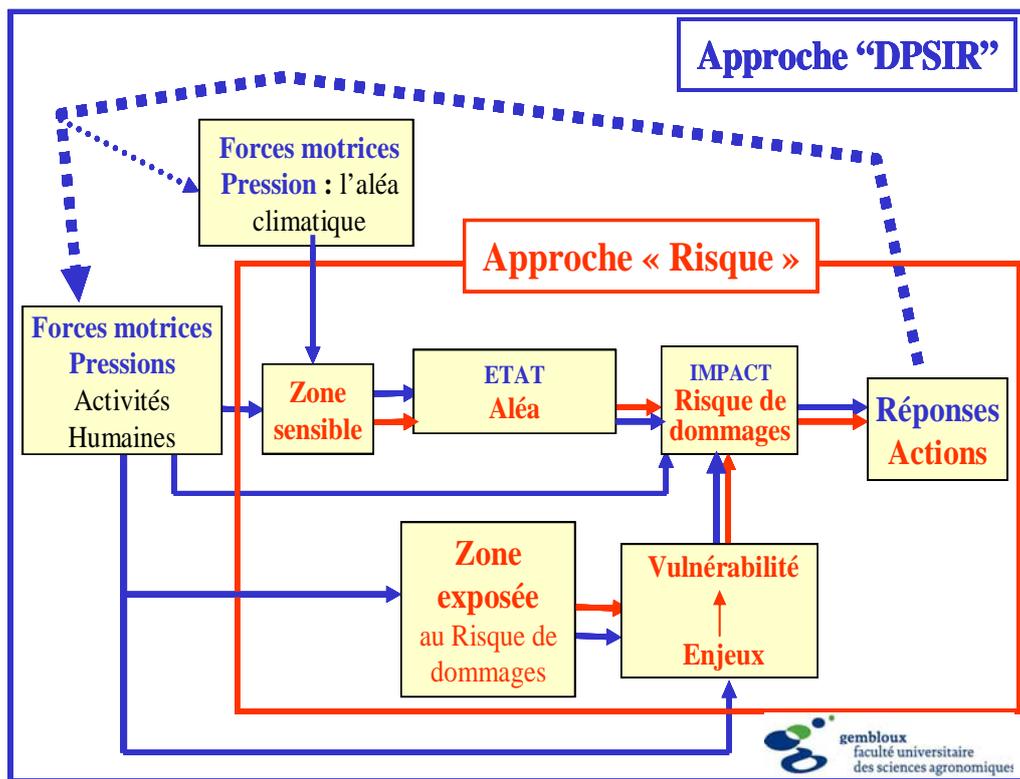


Figure 1 – Schéma de l'approche conjointe DPSIR et Risque.

## 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.

La Figure 2 met en évidence les postes de l'approche DPSIR/Risque concernés par le présent Rapport (aspects hydrologiques) et qui sont détaillés ci-dessous, les autres aspects étant traités par ailleurs dans les Rapports ad hoc des partenaires du Consortium d'étude.

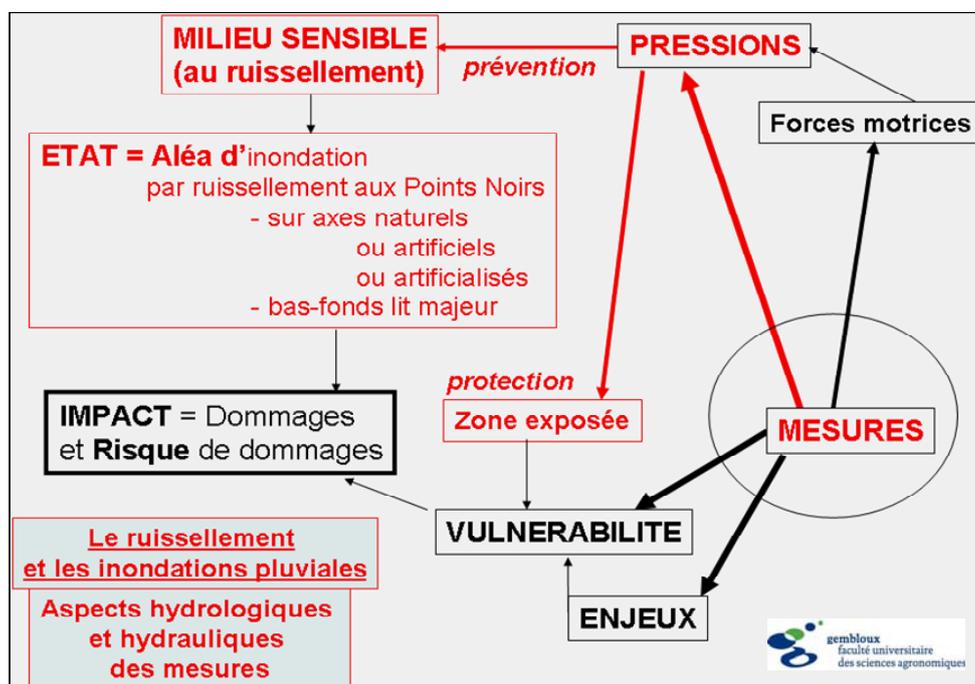


Figure 2 – En rouge, postes de l'analyse concernés par les aspects hydrologiques et/ou hydrauliques.

### 2.1 L'ALÉA D'INONDATION

L'aléa d'inondation est la résultante complexe des pressions climatique et anthropique conjuguées, exacerbées par l'urbanisation<sup>6</sup> 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 versant<sup>12</sup> d'apport en termes de volume, de vitesse, de débit.

<sup>12</sup> 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.

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; ou exemple pour le grand Tournai en Figure 3 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 devenu 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 rurales<sup>13</sup>. Elles permettent à tout le moins de contribuer à distinguer les zones exposées naturelles de ce qui relève d'un dysfonctionnement.

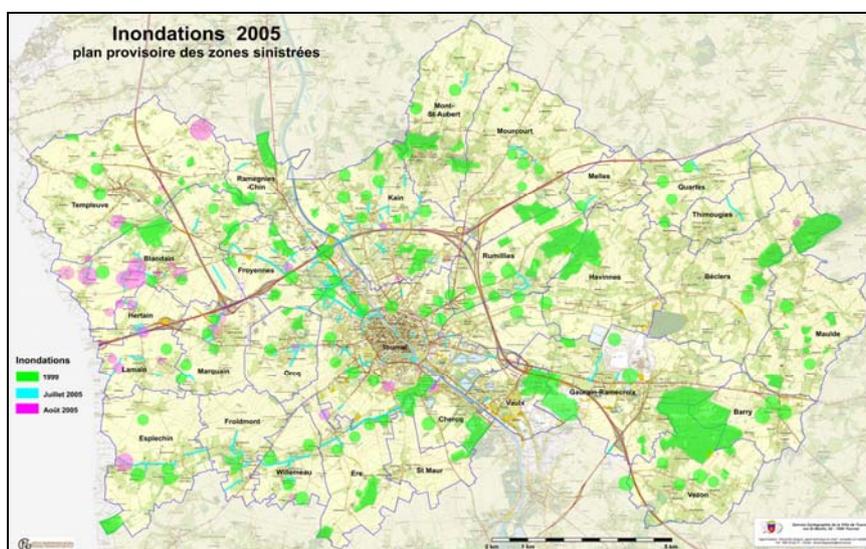


Figure 3 – Carte des inondations dans le Grand Tournai (par ruissellement ou par débordement de cours d'eau), sur base d'enquêtes (Document aimablement communiqué par la ville de Tournai).

## 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 talwegs<sup>14</sup>.

<sup>13</sup> Exemple en zones rurales : le projet ERRUISSOL pour la Région Wallonne (Unité d'Hydrologie, FUSAGx-Gembloux, pour la Direction Générale Agriculture (DGA)-RW).

<sup>14</sup> Au sens d'axes de concentration des eaux de ruissellement ;

### 3 Les zones sensibles au ruissellement

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

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.

#### 3.1 LE PETIT BASSIN VERSANT

Le concept de petit bassin versant<sup>12</sup> 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'aménagement<sup>15</sup>.

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.

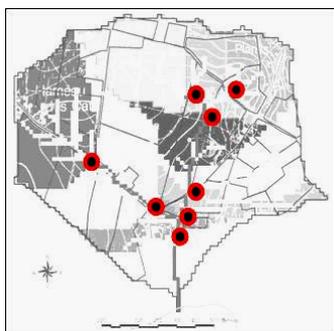


Figure 4 – Schéma de petit bassin versant, ses axes principaux et secondaires de concentration des eaux de ruissellement et les points critiques (jonction d'axes, axes-voiries,...).

<sup>15</sup> 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.

## 3.2 COMPARAISON SOMMAIRE ENTRE VILLES

### 3.2.1 L'hydrographie

#### 3.2.1.1 Les petits bassins versants en RBC

La RBC compte 43 km de fossés et de ruisseaux intermittents ou de petite dimension ainsi que de rivières « à ciel ouvert » (Figure 5)<sup>16</sup> ; si on y ajoute le chiffre cité que serait la petite centaine de kilomètres de cours d'eau voûtés au long de son histoire, la densité *moyenne* avoisinerait le km de cours d'eau par km<sup>2</sup> de superficie de RBC, ceci sans compter les marais (asséchés pour la grande majorité), les étangs (Figure 6) et reliquats des anciens étangs ainsi que le canal de Charleroi-Bruxelles. Bien que non délimités, cette densité hydrographique laisse entrevoir la multiplicité de petits bassins versants.

#### 3.2.1.2 Hydrographie générale de Lille, Tournai et RBC

La Région de Bruxelles-Capitale, Lille, Tournai et leurs périphéries font partie du Bassin hydrographique de l'Escaut et toutes les trois sont sises sur un cours d'eau (confer Figure 7) :

- La RBC fait partie du bassin hydrographique de l'Escaut et est étalée entre et au-delà du cours de la Senne (affluent de l'Escaut), de la Woluwe (affluent de la Senne), le bassin de la Dyle en occupant une faible superficie (côté Forêt de Soignes); la RBC est parcourue par la Senne sur 15 km et par la Woluwe sur 16 km.
- Lille, chef-lieu de la région Nord-Pas-de-Calais en France, et sa périphérie (la Communauté Urbaine de Lille ou CUDL) sont étalées entre et au-delà de La Scarpe, de la Lys et de la Deûle (affluent de la Lys).
- Tournai, en Province de Hainaut, Région wallonne, est traversée par l'Escaut, et le grand Tournai (Tournai ville + 29 villages) est parcouru par plusieurs cours d'eau affluents de l'Escaut.

Comme nombre d'autres cités, ces trois régions ou villes ont en commun d'être « nées de l'eau », au voisinage ou au sein même de régions marécageuses à l'origine; elles sont donc parcourues de fonds de vallées plus ou moins larges et de versants plus ou moins pentus.

<sup>16</sup> Les données de l'IBGE : « L'eau à Bruxelles" Août 2005 « Cours d'eau et étangs bruxellois ».

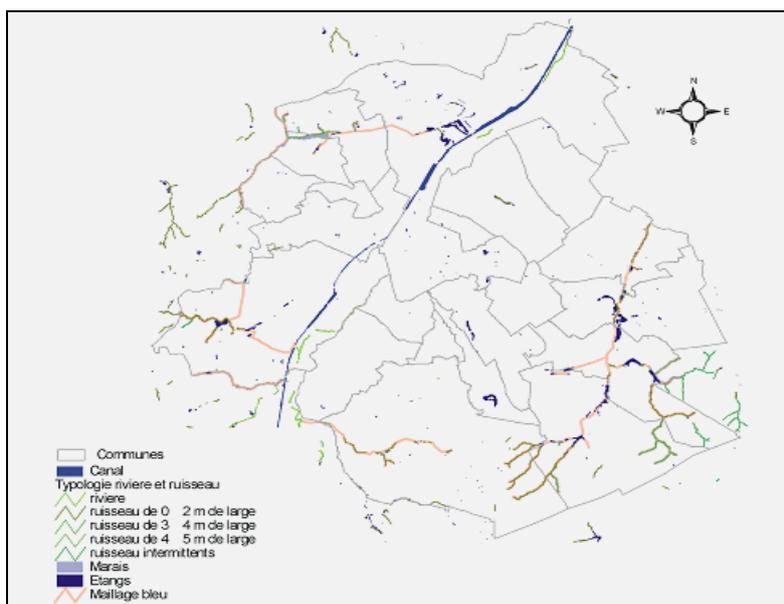


Figure 5 – RBC : Carte des cours d'eau à ciel ouvert (en vert) et des marais ou étangs, plus le « Maillage Bleu<sup>17</sup> » (source du document : site IBGEBIM).

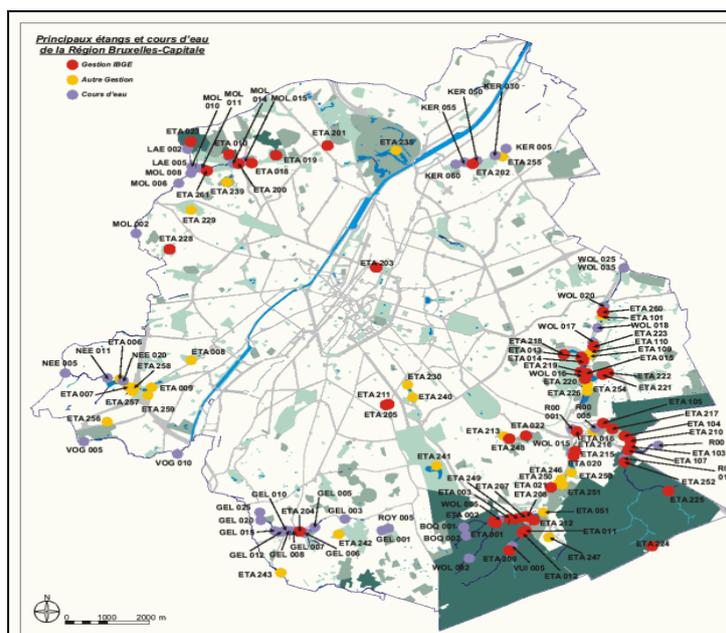


Figure 6 – Principaux cours d'eau et étangs bruxellois (fiches IBGEBIM – Observatoire des données de l'environnement).

<sup>17</sup> Texte PRD du Moniteur : Le « Maillage bleu » est un programme intégré qui répond à plusieurs objectifs :

- assurer la qualité des eaux de surface, notamment en localisant les sources de pollution des rivières ;
- rétablir la continuité du réseau de surface et faire s'y écouler un maximum d'eau claire, entre autres pour réduire le volume d'eau à traiter dans les stations d'épuration et limiter les inondations ; publié le 2001-10-16 Ministère de la Région de Bruxelles-Capitale, 20 septembre 2001. - Arrêté du Gouvernement de la Région de Bruxelles-Capitale arrêtant le projet de Plan Régional de Développement.

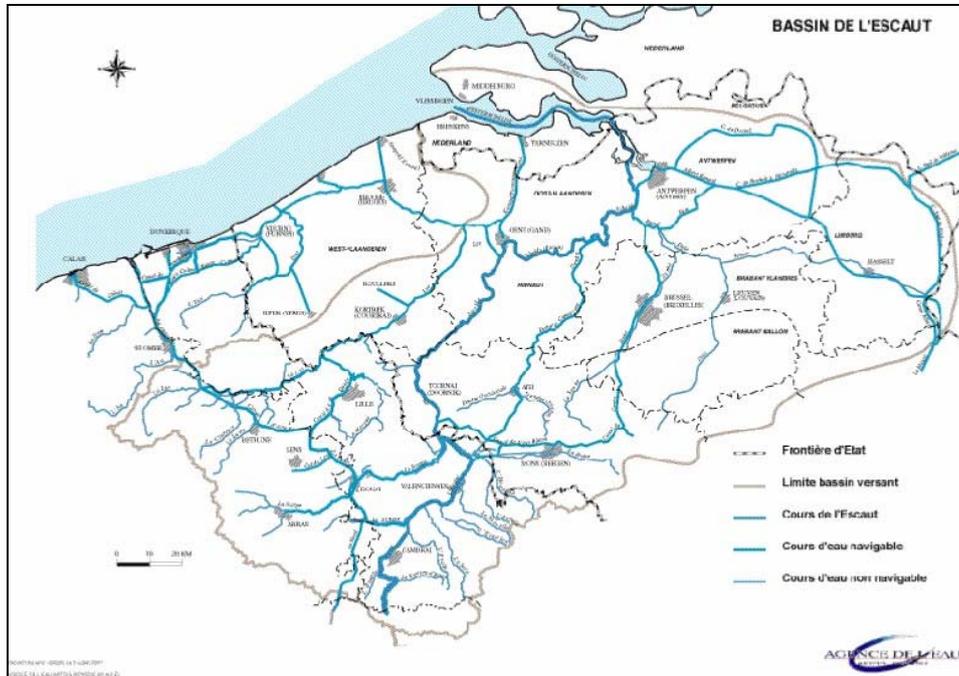


Figure 7 – Bassin hydrographique de l'Escaut (Source : Agence de l'Eau Artois-Picardie ©).

### 3.2.2 L'orographie

#### 3.2.2.1 La Région Bruxelles-capitale (RBC)

La RBC est caractérisée par un relief assez accidenté (exemple Figure 8) toutes proportions gardées. La Figure 9 indique que la large vallée de la Senne se situe à une altitude de 10-20 m et la vallée étroite de la Woluwe à 20-30 m ; la crête séparant les deux bassins versants atteint des altitudes de 80-90 m (peut-être plus), vers le Sud également. Sur la rive ouest de la Senne, la vallée assez large du Molenbeek marque son empreinte, séparée de la Senne par un paysage également vallonné.

Ce relief accidenté et complexe (« la Ville aux 7 collines ») n'est certes pas sans conséquence sur la problématique naturelle du ruissellement. L'accroissement pluviométrique entre Senne et Woluwe déjà constatée par J.M. Hiver (confer Point 5.2.1) y trouve peut-être aussi son explication, sans compter de possibles effets de gradients thermiques.

#### 3.2.2.2 Comparaison Lille-Tournai-RBC

En comparaison de la RBC, l'orographie tant de Lille que de Tournai est nettement moins marquée, avec des valeurs autour d'une vingtaine de mètre pour les minima, autour d'une cinquantaine de mètres pour les maxima (vue générale en Figure 10). Ceci n'épargne pas ces cités et leur périphérie d'inondations pluviales urbaines.

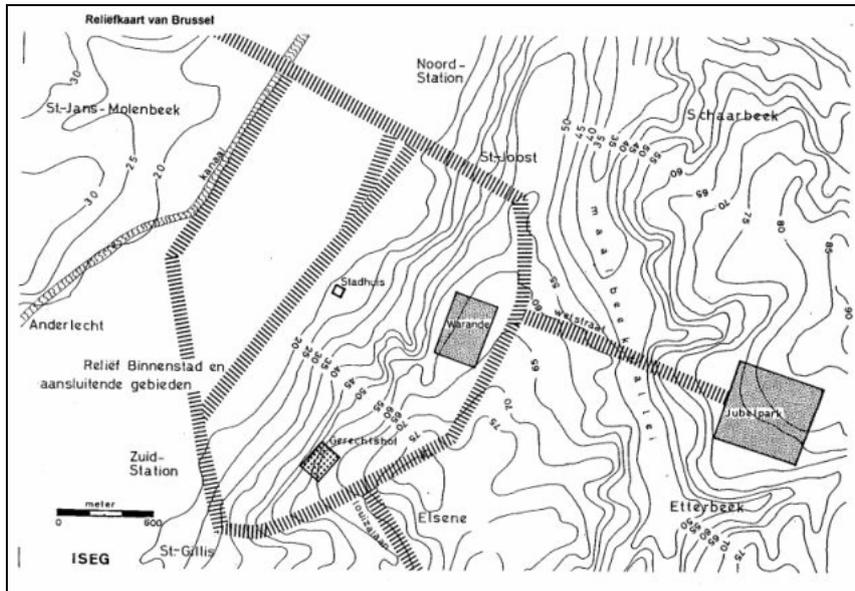


Figure 8 – Relief topographique d'une zone de la RBC.

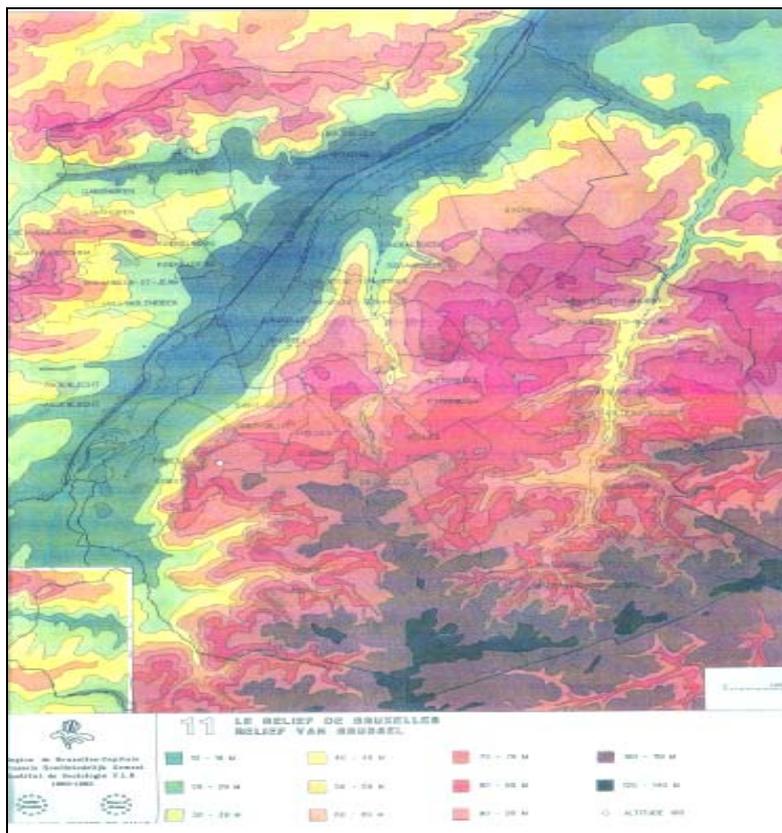


Figure 9 – Relief topographique de la RBC (Document de la Région de Bruxelles-Capitale, communiqué aimablement par l'AED).

### 3.2.3 Les sols de surface et la zone vadose

#### 3.2.3.1 En RBC

La carte des sols de Belgique (IRSIA, 1970) élaborée à l'époque sur base de mesures sur le terrain permet de retrouver encore des traces des sols d'origine (non remaniés) sur le pourtour de la RBC (exemple en Figure 11); il s'agit en général de sols limoneux, limono-sableux ou sableux. Ces sols ont habituellement de bonnes caractéristiques d'infiltration et sont aussi généralement perméables à très perméables dans leur épaisseur, y compris les fonds de vallée mal drainés<sup>18</sup>; ces derniers subsistent encore par endroit en surface et peuvent être parfois de tendance tourbeuse. Sauf drainage artificiel, les fonds de vallée sont naturellement saturés à faible profondeur (nappe superficielle).

La nappe aquifère est principalement celle des sables bruxelliens; elle est exploitée majoritairement en amont de la RBC (Figure 12) et donc à priori non ou peu influencée par les flux de percolation issus de la RBC. Il convient de toute façon d'appréhender au mieux cette question en cas de considérations sur l'infiltration d'eaux pluviales, sans compter que la faible structuration du matériau sableux ou sablo-limoneux le rend peut-être en outre sensible au fluage lors d'écoulements hypodermiques durables (cas notamment d'égouts et collecteurs non étanches) dans certaines situations.

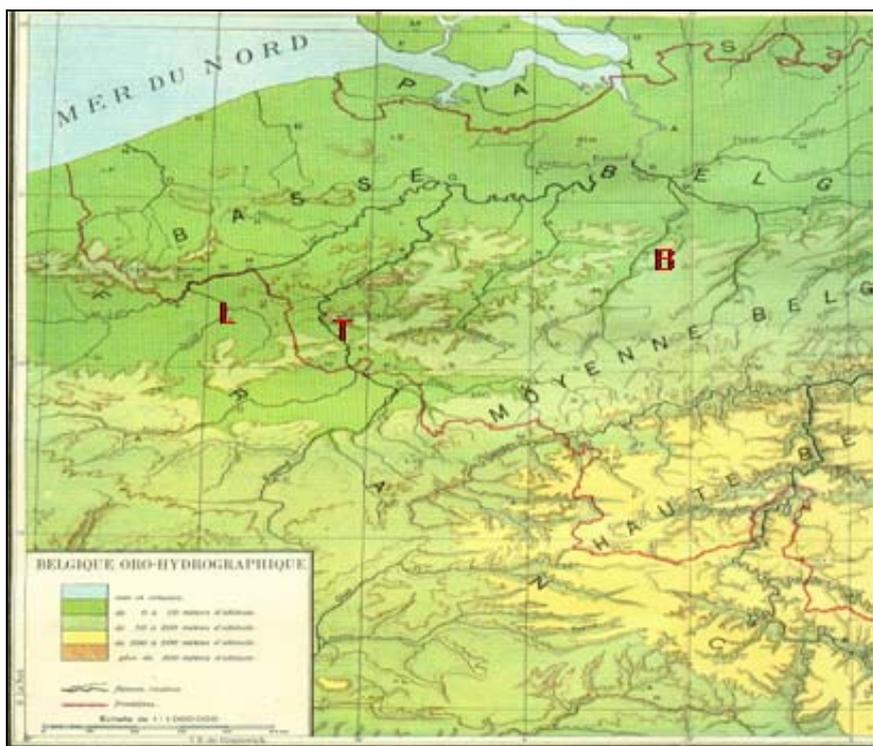


Figure 10 –Oro-Hydrographie de la région du bassin de l'Escaut (France-Belgique) (Extrait Atlas de la Belgique, 1975) (B = RBC, T = Tournai, L = Lille).

<sup>18</sup> Dautrebande S. et Deglin D. (1998) « Etude préliminaire relative à la problématique des relations nappe et cours d'eau – pour la remise à ciel ouvert d'un tronçon de la Woluwe » Etude FUSAGX pour la RB-C, Ministère de l'Environnement; Administration de l'Equipement et des Déplacements, Service B4; 58 pages + plans.

L'existence de sols à bonne capacité d'infiltration compense l'effet défavorable des fortes pentes et des nombreux vallons de concentration des flux. Cependant, en période d'averse intense, ce type de sol n'annule pas le ruissellement en soi; en période estivale de sols secs à moyennement secs, les taux de ruissellement « naturel » par rapport aux précipitations intenses peuvent avoisiner les 5 à 15 %.

En ce qui concerne la zone vadose sous-jacente et les eaux souterraines, les informations et données issues des forages et observations géotechniques et géologiques devraient pouvoir fournir une information d'ensemble qu'il serait utile de rassembler et cartographier pour la RBC, en vue de contribuer à la détermination des caractéristiques de percolation d'une part, de profondeur et de vulnérabilité de l'aquifère d'autre part (en cas d'adoption de mesures favorisant l'infiltration des eaux pluviales).

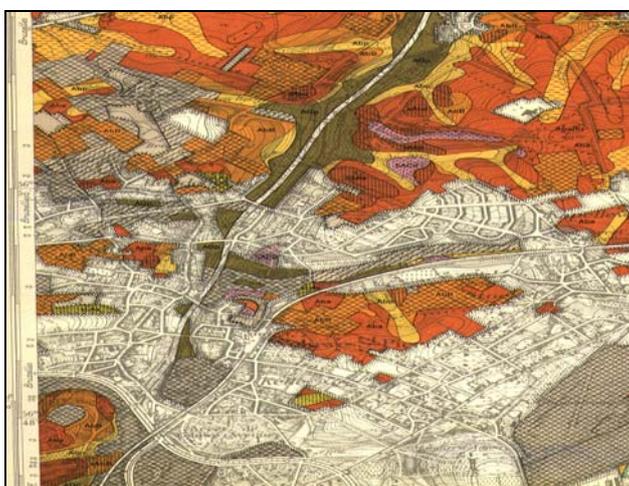


Figure 11 – Extrait de la carte des sols de Belgique (IRSIA, 1970), vallée de la Woluwe - brun-rouge et jaunes : limoneux et limono-sableux, brun-vert : sols engorgés naturellement.

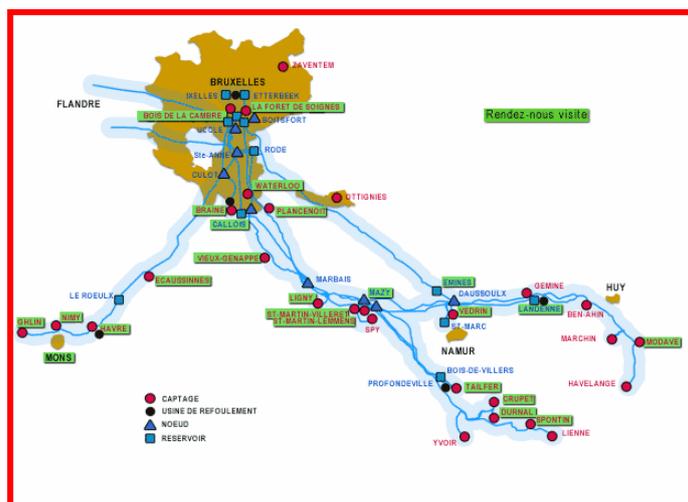


Figure 12 – Captages VIVAQUA.

### 3.2.3.2 Comparaison Lille-Tournai-RBC

Les sols de la région lilloise sont relativement argileux pour une bonne part; ceci explique les problèmes d'inondation par ruissellement dans la large plaine lilloise (manque d'infiltrabilité, outre la difficulté d'évacuation des eaux en plaine). Le sous-sol est partagé entre craies et calcaires ; les champs captant de l'aquifère calcaire se situent vers l'aval de la CUDL et sont des zones protégées (contre les risques de pollution).

Les sols de la région de Tournai sont quant à eux de type limoneux, relativement perméables; le sous-sol est aquifère et un captage existe dans la ville elle-même. Les calcaires carbonifères du Tournaisis comportent une nappe qui s'étend depuis la région de Lille jusqu'à Namur, puis se prolonge vers Visé en suivant la Meuse ; largement exploité, c'est l'aquifère le plus important en Région wallonne, il se prolonge vers la France et la Flandre.

En première approche, en termes de zonage des milieux sensibles, la RBC présente un statut propre caractéristique, par la conjugaison des caractéristiques hydriques et physiographiques suivantes :

- un paysage vallonné assorti de pentes localement assez fortes,
- de nombreux petits bassins versants pluviaux (qui débordent éventuellement de la RBC et qu'il serait utile de cartographier),
- un réseau hydrographique dense,
- des sols assez infiltrant et perméables (+/-  $10^{-5}$  à  $10^{-6}$  m/sec soit 100 à 10 l/sec.ha, ordre de grandeur à préciser et éventuellement zoner) mais peut-être d'une certaine instabilité,
- une nappe aquifère sous-jacente en aval des zones de captage.

## 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.

Les inondations pluviales urbaines dues aux effets de ruissellement peuvent se situer en trois types de zones exposées (exemple schématique en Figure 13):

- 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.

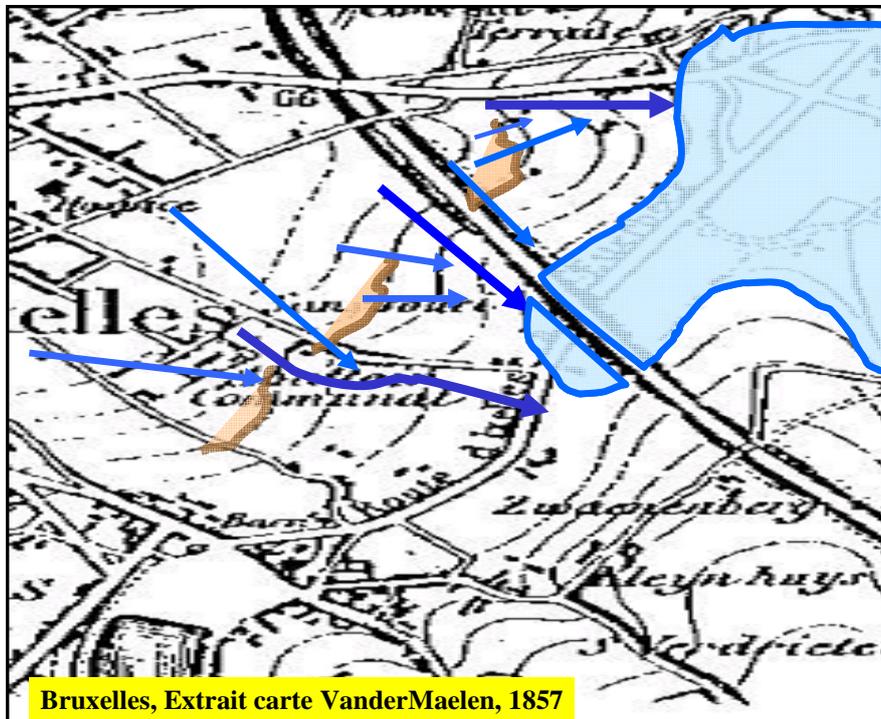


Figure 13 – *En bleu* : Surimpression des fonds de vallée et axes naturels de concentration des eaux de ruissellement à un extrait de carte topographique.

## 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 au Point 1.1.1).

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 :

- a) l'occupation du bassin versant afférent à un point (« tout point a son bassin versant »);
- b) 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) ;
- c) l'occupation du lit majeur des cours d'eau ;
- d) et même l'occupation du lit mineur des cours d'eau.

### Comparaison sommaire RBC-Lille-Tournai

Comme on l'a déjà évoqué, les sites urbains se sont souvent développés initialement au voisinage de cours d'eau, en des zones fréquemment marécageuses :

- Bruxelles est née (autour des années 1000) et s'est développée à partir des bords de Senne ; nombre de ses affluents ont été progressivement voûtés (une centaine de km...).
- La Dêule (Lille) est une rivière, canalisée pour ce qui concerne la région lilloise, sise dans une vallée très fortement anthropisée (industrialisations diverses) dès le Moyen Age. Les multiples états de ses canalisations et aménagements voûtés successifs rendent difficile la perception même de son tracé originel.
- Tournai plus ancienne (bimillénaire) s'est développée autour de l'Escaut également canalisé; nombre d'égouts et collecteurs constituent son réseau d'évacuation en ce qui concerne Tournai-ville en particulier.

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 (le système majeur – confer Point 3 – de voiries, etc...) est appelé à subvenir.

## 5.1 LA PRESSION ANTHROPIQUE

### 5.1.1 *L'imperméabilisation des surfaces*

Dans les zones sensibles bassins versants d'apport), l'imperméabilisation des surfaces induit par rapport au « milieu naturel » une production accrue de ruissellement diffus de surface d'une part, une accélération du ruissellement diffus de surface d'autre part (surfaces plus lisses en général).

### 5.1.2 *La collecte, le transport et l'évacuation des flux*

Des conduites enterrées organisées suivant des réseaux complexes et des cours d'eau voûtés ont remplacé les axes naturels de concentration des eaux de surface ; ces réseaux sont conçus pour favoriser l'évacuation rapide des flux.

Des dysfonctionnements (dus à la vétusté ou autre) peuvent survenir de façon plus localisée, lors même d'averses peu intenses.

Dans les zones exposées, le développement urbain induit la suppression de la fonction de zone d'inondation des sites de rétention naturelle, vus comme inutiles sinon inexistantes...

#### 5.1.2.1 *Au sujet des zones sensibles*

Les contraintes sont les suivantes :

- Les réseaux d'assainissement, au même titre d'ailleurs que le lit mineur des cours d'eau, ne sont pas conçus en général pour absorber les flux de ruissellement issus d'averses intenses ou exceptionnelles ; il s'ensuit des reflux dus à la mise en charge plus ou moins localisée du réseau.
- Par leur vieillissement, les réseaux ont généralement évolué :
  - > vers une diminution de leur capacité d'origine en raison d'incrustations et dégradations,
  - > vers une diminution croissante de leur étanchéité (tout en rappelant que la plupart des égouts et collecteurs ont été anciennement construits avec une étanchéité faible) dont l'effet est favorable sur le plan de la « mise en charge » du réseau mais défavorable quant au risque de contamination des eaux souterraines et, à la longue, quant au risque d'effondrements localisés (entraînement de particules de sol).
- La fonction d'évacuation du réseau, en ce y compris le cours d'eau émissaire, peut être progressivement amoindrie en raison de la complexité croissante des jonctions.

#### 5.1.2.2 *Au sujet des zones exposées*

De nouvelles zones exposées aux inondations se créent :

- du fait du recouplement et de la reprise des flux des axes naturels,
  - > soit en termes de ruissellement de surface (voiries non situées dans un talweg, ...),
  - > soit par le fait de reflux de collecteurs (Figure 14),
- ou constituées par le linéaire de voiries et habitats surplombant les cours d'eau voûtés.

Les cours d'eau eux-mêmes voient :

- soit la diminution de leurs possibilités d'expansion en phase de montée exceptionnelle des eaux en raison de leur voûtement (artificialisation) ou de l'occupation de leur lit majeur (effets de rehaussement),
- soit au contraire une possibilité d'expansion inconsiderée en raison d'obstructions aval (ponts, rehaussements aval ou sur site, dérivations anciennes pour moulins ou étangs,...) ou en raison de comblements de zones naturelles de rétention temporaire – talwegs et fonds de vallée-, ou encore du seul fait des apports accrus et accélérés.

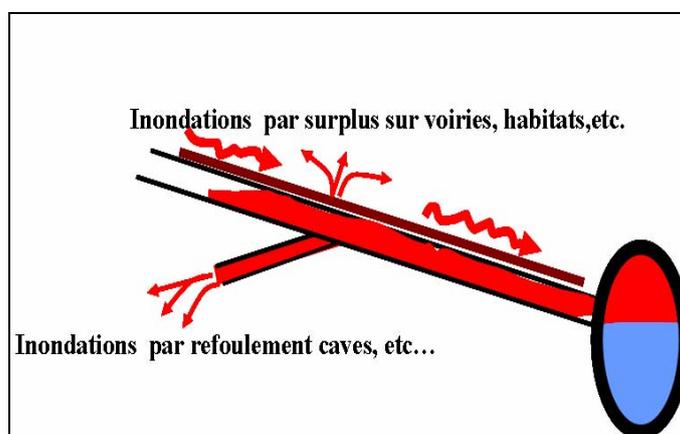


Figure 14 – Schéma des effets de la saturation des collecteurs.

### 5.1.3 En résumé

Sur le plan hydrologique et hydraulique (Figure 15) :

- les volumes de ruissellement augmentent du fait de l'imperméabilisation aux dépens des processus respectifs d'évapotranspiration réelle<sup>19</sup> et de percolation des eaux (Figure 16);
- 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) (Figure 17), rendant en retour les bassins versants plus sensibles aux pluies intenses et de courte durée (modification de la pluie de projet).

<sup>19</sup> 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.

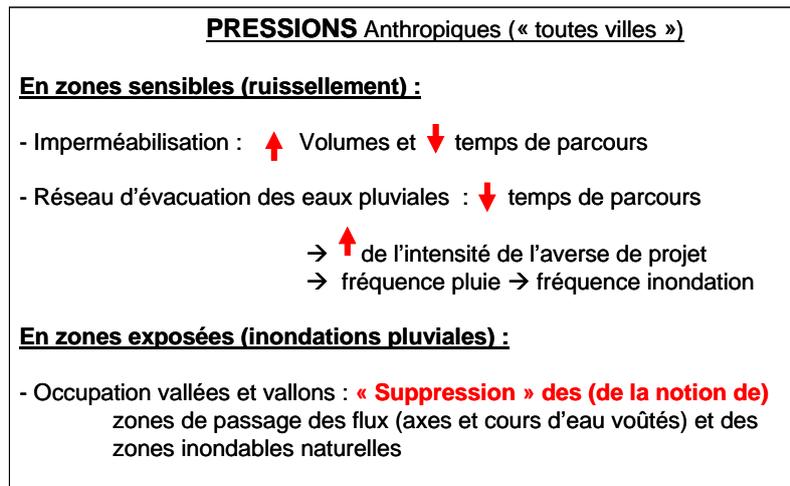


Figure 15 – Résumé des effets des pressions anthropiques.

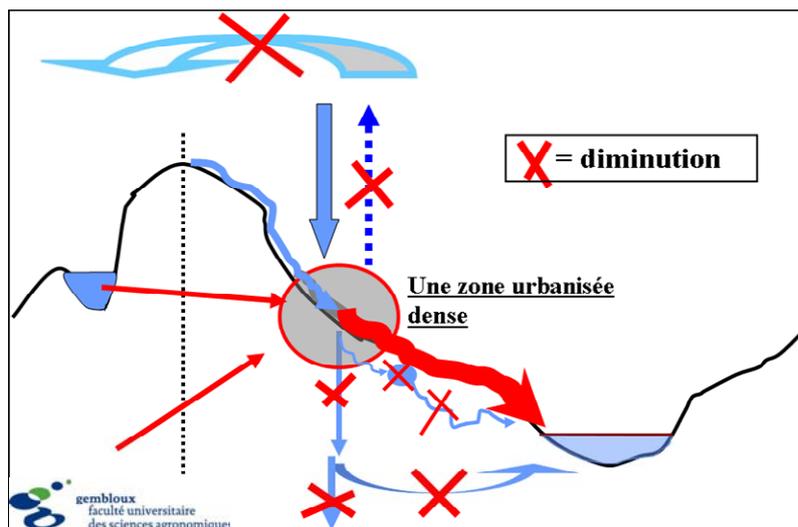


Figure 16 – Schéma de la modification du cycle naturel de l'eau en raison de l'urbanisation : diminution de l'évapotranspiration réelle, de l'infiltration, de la recharge des nappes profondes et superficielles, de la contribution aux zones sourcières, au profit du ruissellement de surface ; apports extérieurs éventuels supplémentaires d'eaux de captage. (Aussi possibilité de modifications de la pluviométrie et de sa répartition locales en raison de microclimats).

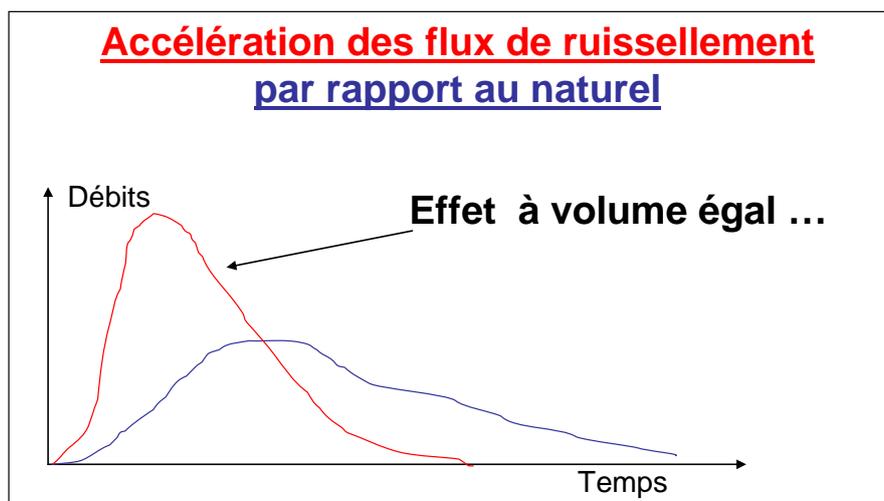


Figure 17- Schéma des effets d'accélération des flux.

#### 5.1.4 RBC

##### 5.1.4.1 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 (exemple en Figure 20) 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'AED<sup>20</sup>.

L'étude<sup>20</sup> 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 » (Figure 18) publics d'une part et privés d'autre part (Figure 19) est également une information qu'il serait utile de cartographier, aussi bien dans son état actuel qu'en regard à son potentiel d'évolution.

A titre orientatif, l'exemple présenté dans l'encart Figure 21 indique l'ordre de grandeur de l'effet multiplicateur de l'imperméabilisation en termes de volumes unitaires de ruissellement.

<sup>20</sup> Vanhuyse 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.

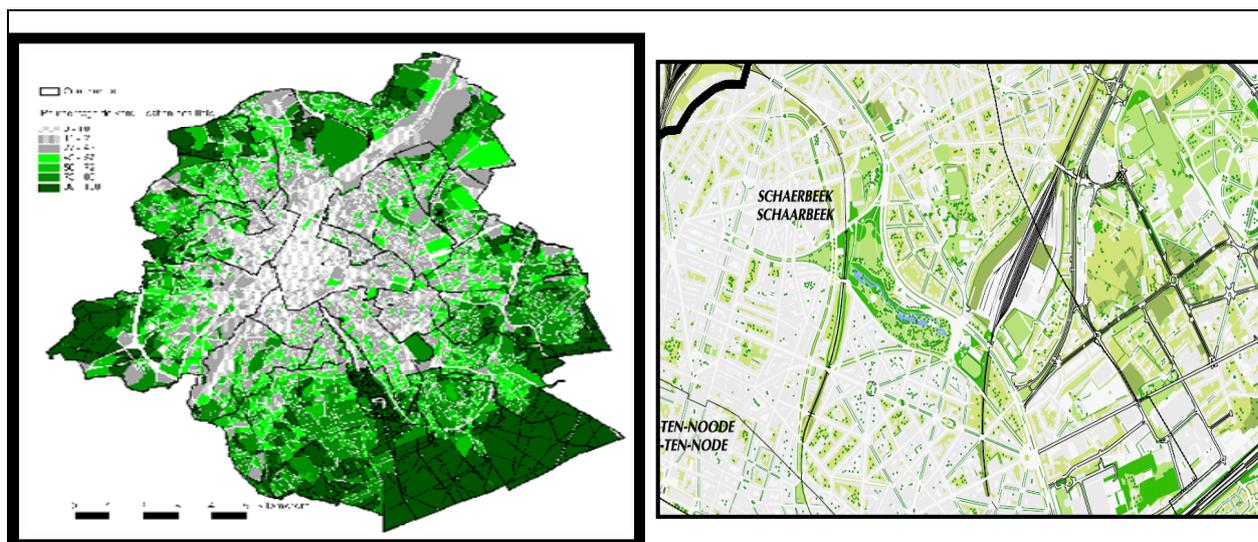


Figure 18 – PCD Région Bruxelles-Capitale (RBC) : (à gauche) en vert : espaces verts de la RBC, dont (à droite) agrandissement d'une zone ; source BE AGORA, ville de Bruxelles (1998).

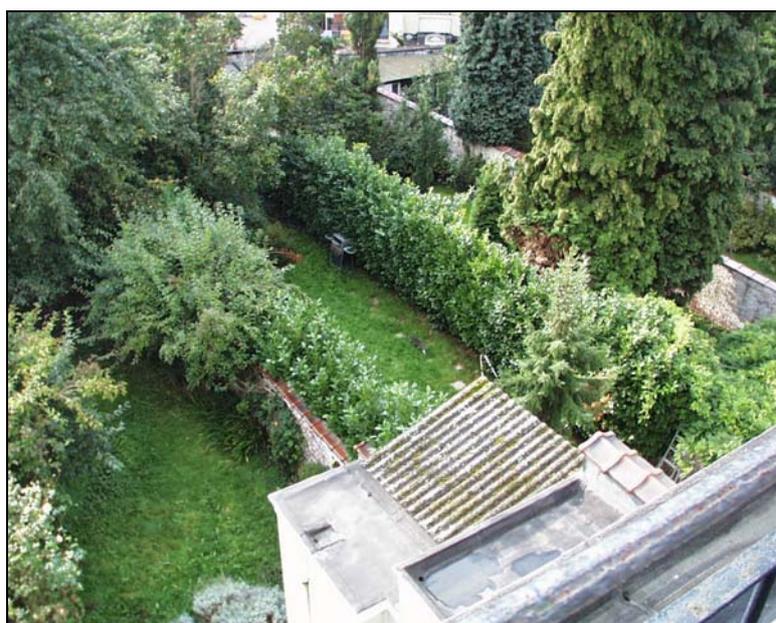


Figure 19 – Types d'espaces verts privés en RBC.

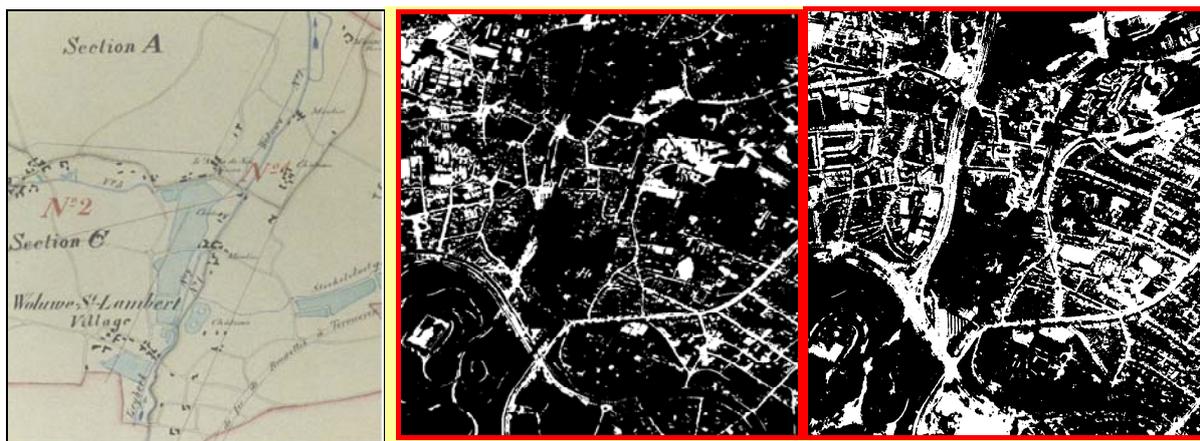


Figure 20 – Représentation symbolique de l'évolution temporelle de l'urbanisation dans un site de la RBC (carte de gauche extraite des Archives du Royaume, les deux photos aériennes de droite sont séparées de plusieurs années et sont volontairement dégradées pour faire apparaître qualitativement l'intensification 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 m<sup>3</sup> / 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 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup>/ha) (55 l/sec. Ha), pendant 1h.
- pour l'averse de type centennal, un ruissellement de ~ **33 mm** (330 m<sup>3</sup>/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 »...**

Figure 21 – Evaluation sommaire de l'augmentation des volumes unitaires de ruissellement du fait de l'imperméabilisation.

#### 5.1.4.2 Le réseau artificialisé de collecte, de transport et d'évacuation

Outre le réseau de collecteurs (Figure 22) et d'égouttage (exemple en Figure 23) 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 d'1 km de voiries par km<sup>2</sup> de superficie), les parkings et infrastructures de transport en commun augmentant cette proportion de 21% (information issue du PRD).

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

## 5.2 LA PRESSION CLIMATIQUE

### 5.2.1 *Les précipitations en cause*

On peut distinguer trois modes de prise en considération des précipitations, en fonction de l'objectif poursuivi :

- celui relatif aux précipitations annuelles, mensuelles ou journalières, de fréquence élevée,
- celui relatif aux averses de faible et moyenne intensité (généralement considérées jusqu'au type « décennal » comme indiqué au Point 1.1.1),
- celui relatif aux averses de forte intensité (plus intenses que le type décennal).

C'est ce dernier mode qui est concerné ici, reconnu comme cause des inondations pluviales urbaines ; ces averses de forte intensité sont de courte durée et souvent associées à des processus atmosphériques orageux.

### 5.2.2 *RBC*

#### 5.2.2.1 *Les précipitations ponctuelles*

La relation statistique entre les intensités moyennes maximales annuelles des précipitations ponctuelles, leurs durées et leurs fréquences d'occurrence est appelée « courbe Intensité-Durée-Fréquence (IDF) » ; cette relation établie pour Uccle (altitude 100 m) par Demarée<sup>21</sup> en 1985 (confer aussi rapport IRM du présent Consortium d'étude) est reportée en Figure 24 en termes « Hauteur-Durée-Fréquence (HDF) ». Nous y avons ajouté la courbe de Ruthy de 1965 (relevés occasionnels de 1850 à 1960 pour la Belgique), dite « courbe des pluies exceptionnelles » ; des observations empiriques plus récentes continuent d'appuyer cette « courbe limite » en termes d'intensités, cependant la fréquence d'occurrence est indéterminée (et par conséquent aussi les évolutions de fréquence...).

Un exemple d'isohyètes relatifs aux précipitations de Juillet (Atlas de Belgique, 1975) est reporté en Figure 25 ; il est incidemment curieux d'y observer que la région bruxelloise présente un maximum pluviométrique plus élevé qu'aux alentours<sup>22</sup> (effet de l'altitude du point de mesure ?).

Par ailleurs, l'ordonnée de la Figure 26 pouvant être considérée comme un indicateur représentatif de l'intensité des averses mois par mois à Uccle, on constate que les mois de juillet, août et juin seraient les plus critiques à cet égard<sup>22</sup> du moins pour la période analysée.

<sup>21</sup> Demarée, G. (1985) « Intensity-Duration-Frequency Relationship of Point Precipitation at Uccle. Reference Period 1934-1983 » IRM Publications, Série A, N° 116, 52 pages.

<sup>22</sup> Des études de cette nature seraient intéressantes à actualiser et développer.

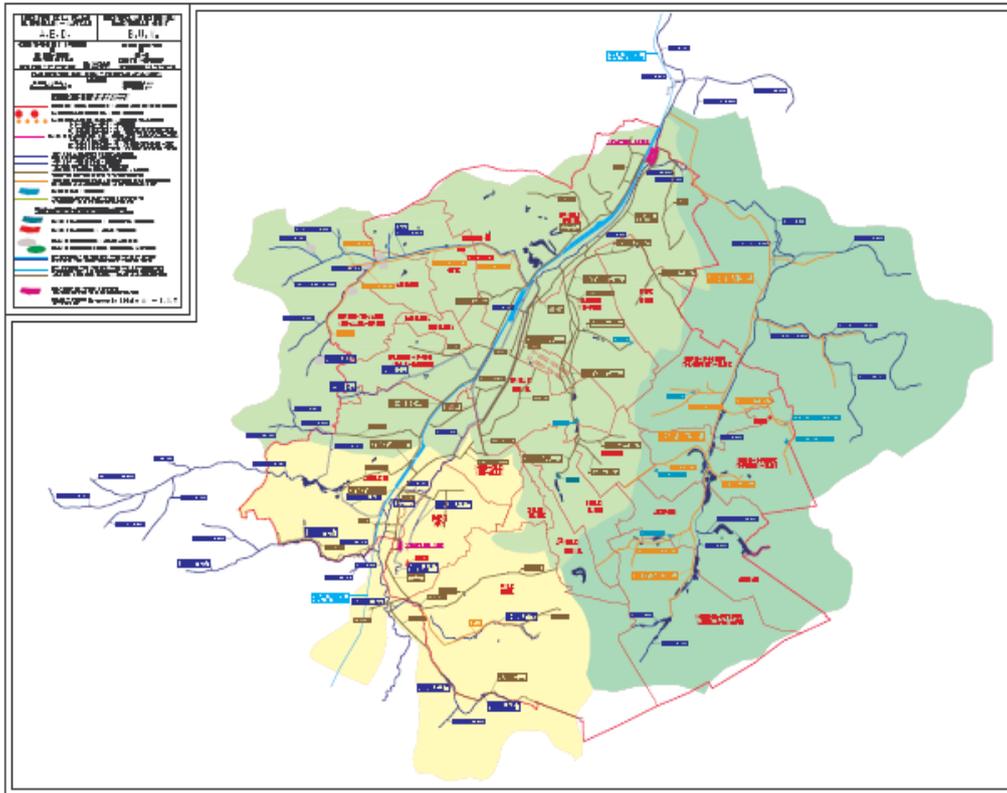


Figure 22 – Réseau principal de réseau de collecteurs en RBC.



Figure 23 – Plan d'une partie d'un réseau d'égouttage en RBC.

### 5.2.2.2 Répartition spatiale des précipitations

Outre la station d'Uccle, l'AED<sup>23</sup> a installé et suit un réseau de mesures pluviographiques<sup>24</sup> dont liste au Tableau 1.

Par ailleurs, nous montrons en Figure 27 un exemple (J.M. Hiver, 1972)<sup>2</sup> d'isohyètes relatifs à une averse intense sur Bruxelles ; on remarquera l'épicentre entre Senne et Woluwe. L'étude de J.M. Hiver signale en outre que l'épicentre des averses intenses observées se situe le plus souvent entre le Maelbeek et la Woluwe...(25).

(Pour rappel, la variabilité spatiale des averses intenses amène souvent à utiliser dans les projets un « coefficient d'abattement » de nature statistique, fonction de l'aire du bassin versant et de la durée de l'averse considérée).

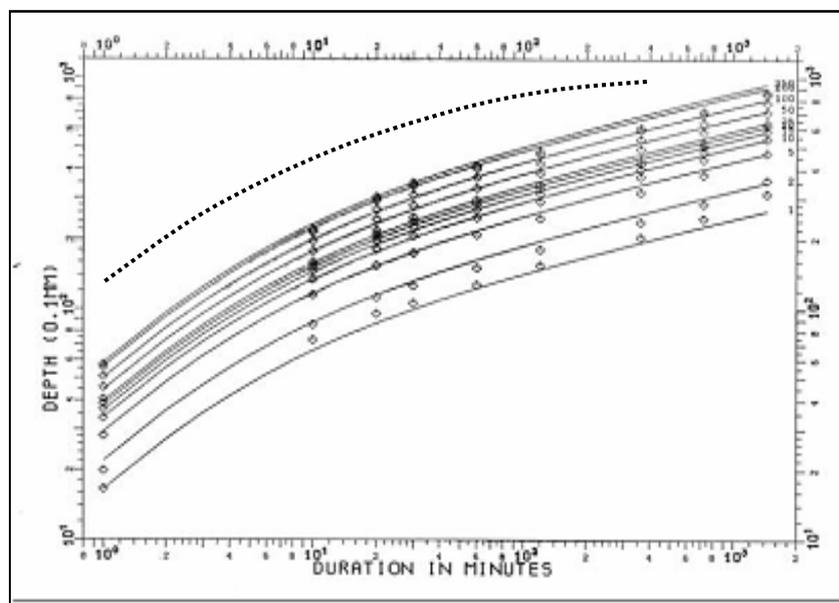


Figure 24 – Courbes Hauteurs-Durées-Fréquences des précipitations à Uccle (Demarée, 1985<sup>26</sup> -IRM), plus en pointillé : la « courbe des pluies exceptionnelles pour la Belgique » de Ruthy<sup>27</sup> (1960) ajustée sur des observations ponctuelles empiriques occasionnelles d'averses exceptionnelles.

<sup>23</sup> Ministère de la Région de Bruxelles-Capitale, Administration de l'Équipement et des Déplacements/Direction de l'Eau (AED).

<sup>24</sup> Communiqué par la Direction de l'EAU-AED.

<sup>25</sup> Un effet orographique peut être en cause – conférer ce point -, outre des conditions microclimatiques (direction des vents, gradients thermiques, ...) qui restent à analyser.

<sup>26</sup> Demarée, G. (1985) « Intensity-Duration-Frequency Relationship of Point Precipitation at Uccle. Reference Period 1934-1983» IRM Publications, Série A, N° 116, 52 pages.

<sup>27</sup> Ruthy, A. (1961) « Prédétermination des débits de crue- Application au Ruisseau de Dison » Rapport interne, Service Technique Provincial, 26 pages.

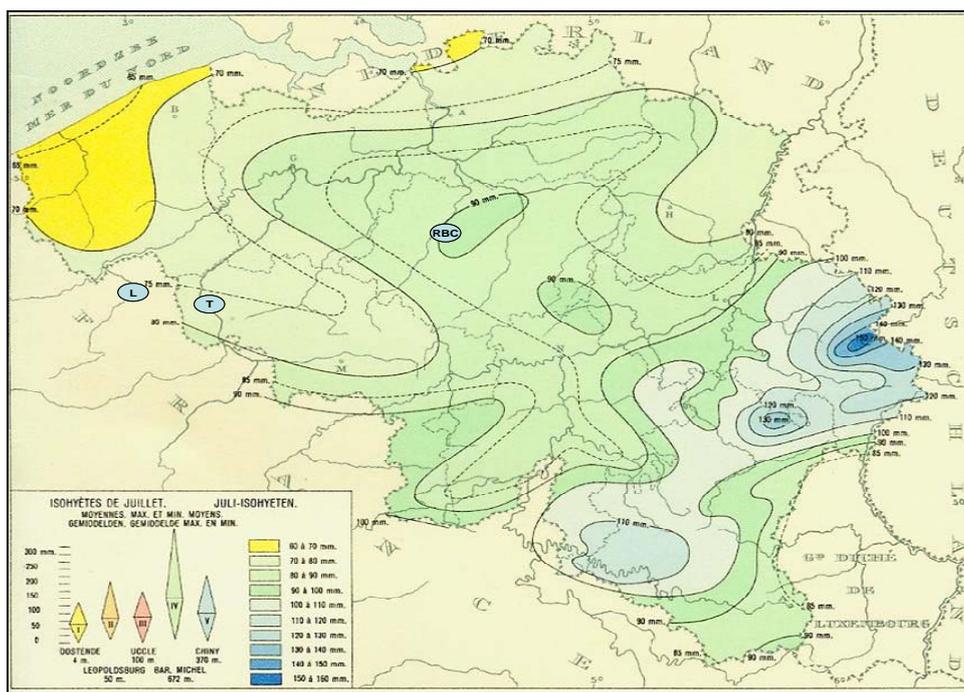


Figure 25 - Isohyètes de Juillet sur la Belgique (Atlas de Belgique, 1975).

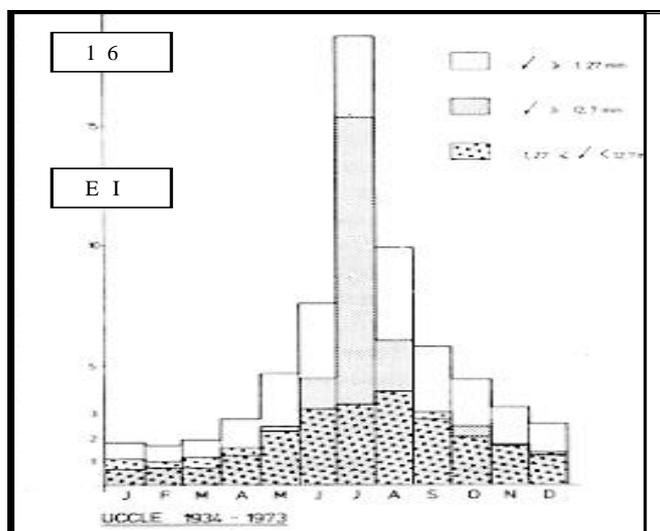


Figure 26 - Comparaison de l'évolution mensuelle moyenne d'un indicateur de l'intensité pluviométrique (« érosivité » moyenne mensuelle des précipitations, période climatique entre 1930 et 1970) pour Uccle (Laurant, A. et Bollinne, A., 1978<sup>28</sup>).

<sup>28</sup> Laurant, A., et Bollinne, A. (1978) « Caractérisation des pluies en Belgique du point de vue de leur intensité et de leur érosivité » Pédologie, XXVIII, 2, p. 214-232, Gand 1978, pp 214-232.

Tableau 1 - Réseau des pluviomètres de l'A.E.D. (septembre 2006)<sup>29</sup> – Ministère de la Région de Bruxelles Capitale.

Commune	Dénomination pluvio	X Lambert	Y Lambert
Anderlecht	Broekbeek	143900	169700
Anderlecht	Ecluse	145295	167645
Anderlecht	Viangros	145350	167147
Uccle	Kinsendael	147930	164145
Uccle	Paelinckx	151090	162170
Watermael-Boitsfort	Dépôt Communal	152075	166890
Auderghem	Voets	155785	166185
Woluwe-St-Pierre	Dépôt Trams	154480	169160
Woluwe-St-Lambert	Roodebeek	154165	170895
Woluwe-St-Lambert	Shopping Center	154975	170750
Woluwe-St-Lambert	Woluwe	155433	171650
Bruxelles	Avant-Port	151090	174730
Bruxelles	Nord	153152	177803
Ganshoren	Ganshoren	145500	174290
Molenbeek-St-Jean	Semence	146365	171040
Uccle	IRM	149310	165270

### 5.2.3 Comparaisons « RBC-Tournai-Lille »

Les régions Lille et Tournai sont climatiquement comparables : les valeurs de précipitations et en particulier les pluies intenses sont du même ordre que la RBC (Tableau 2), tout en étant légèrement plus élevées à Bruxelles par rapport à Lille (5 à 15%), et peut-être aussi par rapport à Tournai du moins en période estivale, si l'on se reporte à la carte des isohyètes de la Figure 25.

### 5.2.4 En résumé

La Figure 28 résume les différentes pressions relatives aux inondations pluviales urbaines ; la Figure 29 en résume les effets quantitatifs en ce qui concerne les bassins d'apport (zones sensibles) et la Figure 30 en ce qui concerne les zones exposées (aux inondations).

A ces aspects, il sera nécessaire d'ajouter ce qui concerne les effets des pressions sur la qualité des eaux de ruissellement parvenant au milieu récepteur, souvent chargées en contaminants qu'ils soient issus des eaux de pluie elles-mêmes, des dépôts

<sup>29</sup> Communiqué aimablement par la Direction de l'EAU-AED.

atmosphériques, mais aussi par le fait d'autres substances issues du lessivage des surfaces (sédiments, hydrocarbures, métaux lourds et autres, biodégradables ou non).

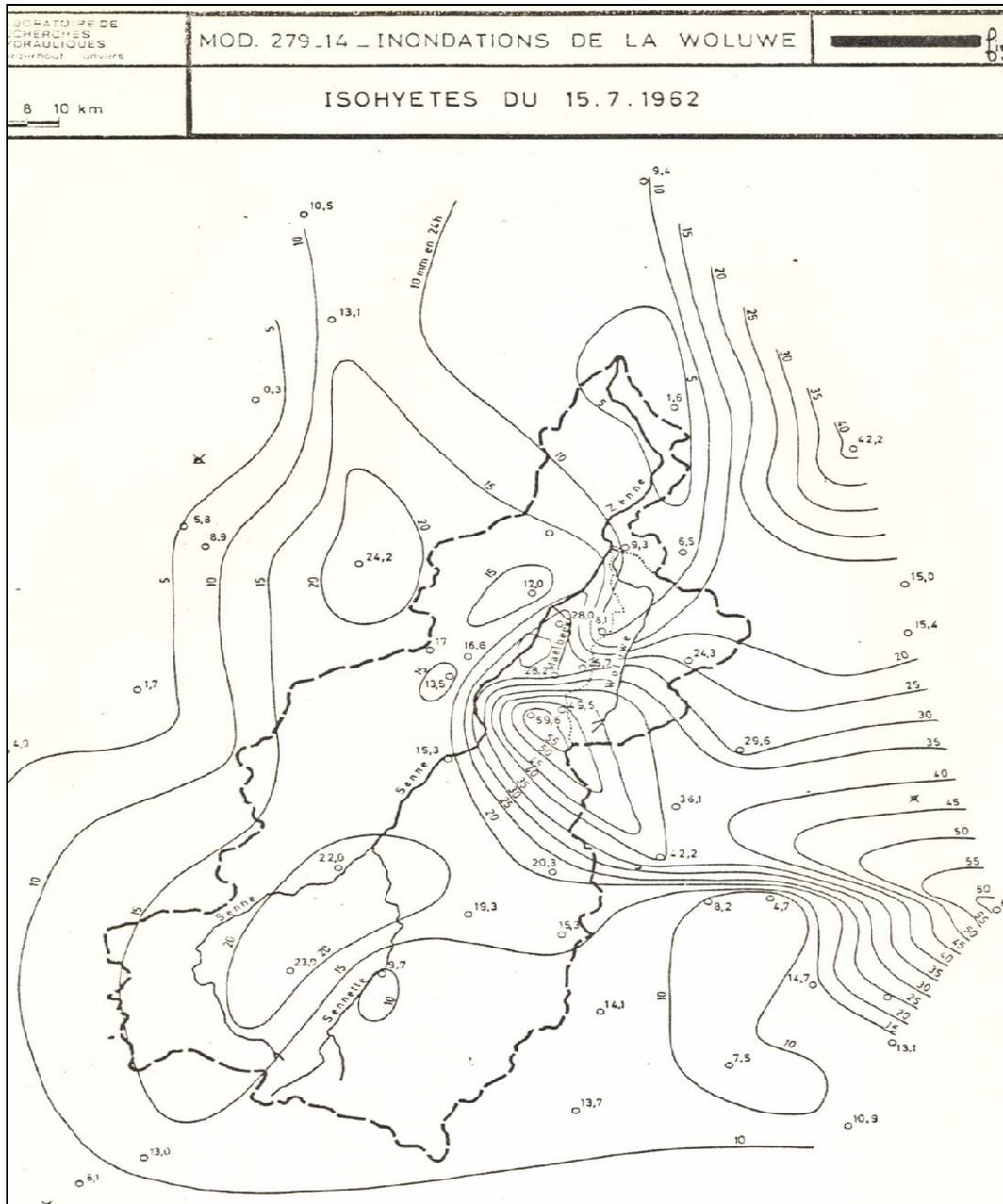


Figure 27 – Isohyètes d'une averse intense sur Bruxelles (15.07.62) (Source : J.M. Hiver, IRH, Borgerhout, Anvers, Min. Travaux Publics).

Tableau 2 – Comparaisons pluviométriques entre Bruxelles, Lille et Tournai.

Fréquence annuelle de dépassement et durée considérée	Bruxelles <sup>30</sup>	Tournai	Lille (Lillers ou Lesquin) <sup>31</sup>
	Hauteurs de Précipitations en mm		
½ (année moyenne)	830 mm (1985-2002)		806 mm (1985-2002)
2 ans 1 h/24h	16,3 mm pendant 1h / 35,2 mm pendant 24h	18,5	15,0
		35,3	31,8
10 ans	25,0 mm <sup>32</sup> pendant 1h	26,7	23,6
1 h	54,1 mm pendant 24h	48	47,6
50 ans 1 h/24h	33,1mm/71,6 mm	35,5/68,2	31,2/61,3
100 ans 1 h/24h	37,2mm/80,4mm	39,6/68,2	-/-
Averses «exceptionnelles» et de courte durée (durée ~ 1 h) ou averses orageuses violentes	Pour durée ~ 1h :  60-70 mm pour la Belgique	Commune de Tournai : 30 à 60 mm ou plus en moins en ¼ d'h -1 h (2005-2006)	Violents orages subits et inondant dans la LMCU <sup>33, 34</sup> : intensités et durées non fournies

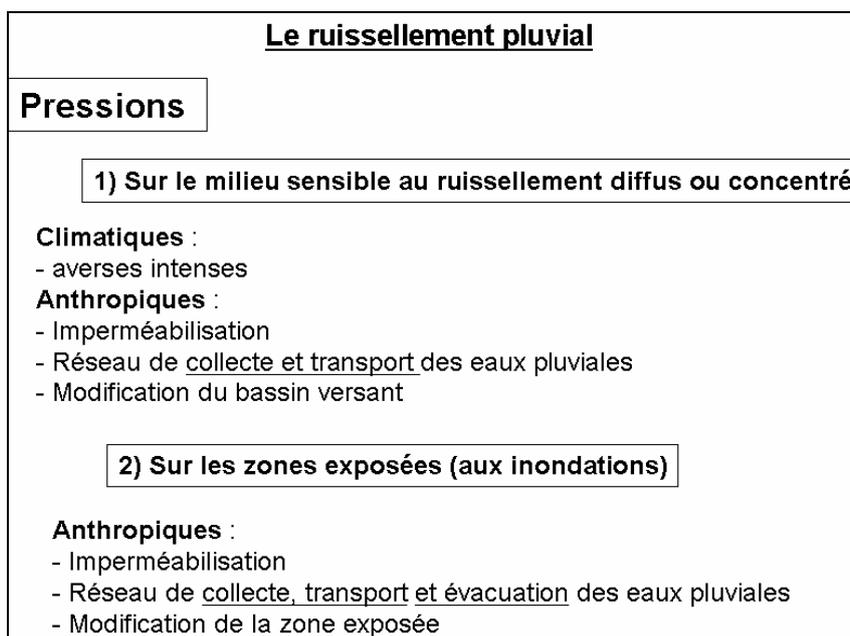


Figure 28 – Résumé des pressions relatives aux inondations pluviales urbaines.

<sup>30</sup> Source IRM (Demarée, 1989) ; courbe Ruthy, 1967 pour les pluies exceptionnelles.

<sup>31</sup> Etude et Fichier SYMSAGEL « Pré-étude des flux et des réseaux hydrauliques du Bas-Pays, de la Plaine de la Lys et de la Flandre intérieure » octobre 2005, 88 pages.

<sup>32</sup> Ou 69 l/sec.ha pendant 1h.

<sup>33</sup> LMCU = Lille Métropole Communauté Urbaine de Lille.

<sup>34</sup> Notamment en 1998, 2000, 2004 ; citation par le « Club de la Presse Nord-Pas-de-Calais », Lille.

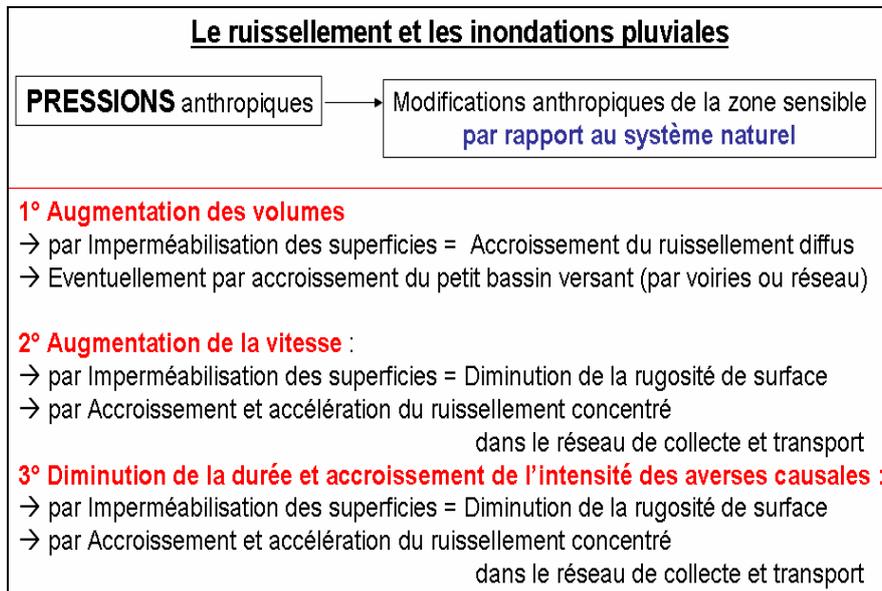


Figure 29 – Résumé des modifications hydrologiques ou hydrauliques d'origine anthropique dans les petits bassins versants sensibles.

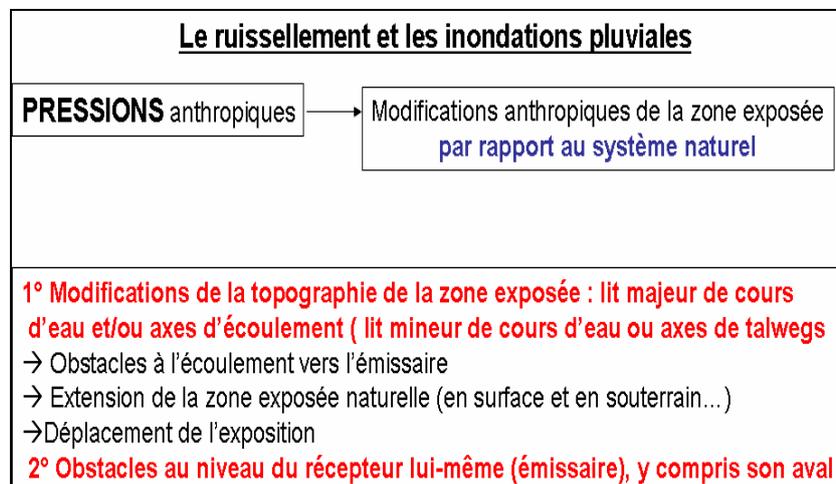


Figure 30 – Résumé des modifications hydrologiques ou hydrauliques d'origine anthropique dans les zones exposées aux inondations.

## 6 Les mesures

Les mesures sont les réponses en vue de mitiger l'impact des pressions sur l'aléa d'inondation pluviale urbaine.

### 6.1 LES CONCEPTS INNOVANTS <sup>35</sup>

Face au développement urbain entraînant la saturation des réseaux mais aussi en raison de leur vétusté, la nécessité de les renouveler au moins partiellement s'est progressivement imposée dans nombre de cités urbaines ainsi que, dans les bassins versants sensibles, la construction de bassins d'orage en général assez importants. Ces ouvrages sont principalement destinés à diminuer le risque d'inondation pluviale de l'urbain existant et s'adjoignent de plus en plus de systèmes automatisés sophistiqués de gestion (télégestion, en temps réel,...).

#### 6.1.1 Les mesures compensatoires

##### 6.1.1.1 En bassin versant sensible

Parallèlement, on a cherché à limiter le rejet d'eaux pluviales de tout nouvel aménagement (ou réaménagement) avant même le branchement au réseau public ; le but déclaré est d'éviter d'aggraver la situation par rapport à ce qu'elle était avant aménagement (et non de juguler les effets des averses intenses et encore moins exceptionnelles). Les techniques ou mesures mises en œuvre dans ce but sont appelées mesures compensatoires<sup>36, 37</sup> et les techniques mises en œuvre « techniques alternatives ».

Ces mesures se veulent d'apporter une alternative à l'évacuation la plus rapide possible des eaux vers le milieu récepteur (l'émissaire) via la diversification de solutions ayant pour but de diminuer ou réguler les apports d'eaux pluviales, via des techniques de limitation des débits (Figure 31), ou en utilisant des propriétés du milieu naturel (infiltration, évapotranspiration), ou même en dérivant les eaux pluviales vers des usages différant le rejet.

<sup>35</sup> Denver Regional Council of Governments, 1969 " Urban storm drainage criteria manual" Volume 2, Wright-McLaughlin Engineers, Denver, Colorado, chapter "Storage". Document lui-même inspiré notamment d'un article de Daily E.J. (1961) « Storm water detention in urban areas » 8th annual national highway Conf. , Atlanta, Georgia, Public Works).

<sup>36</sup> Termes équivalents (avec des variantes dans les concepts parfois): « BMP » (Best Management Practices) , « LID » (Low Impact Development), « SudS » (Sustainable Urban Drainage Systems).

<sup>37</sup> Communauté d'Agglomération du Grand Toulouse, Service d'Assainissement « Guide de gestion des Eaux de pluie et de ruissellement » version Janvier 2006, 101 pages.

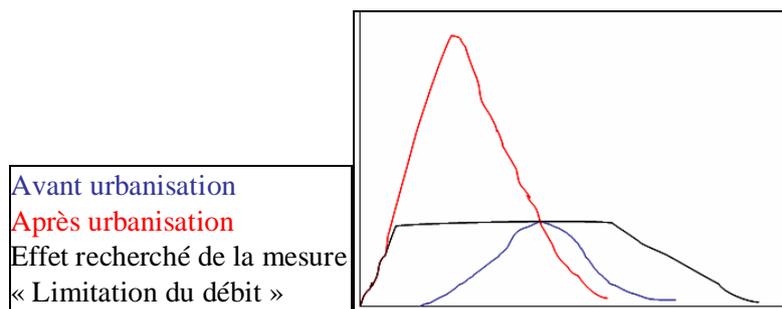


Figure 31 – (Schématiquement) Evolution des débits (en ordonnée) en fonction du temps (en abscisse) : limitation du débit sans modification du volume.

L'intérêt porté aux mesures compensatoires concerne aussi, parfois prioritairement, les propriétés qu'on leur donne d'améliorer la qualité des eaux pluviales et de ruissellement. En effet le ralentissement ou la diminution des flux peuvent jouer un rôle d'épuration des eaux contaminées, moyennant des effets de décantation et/ou de biodégradation ; le revers en sera la question du nettoyage des structures, de l'évacuation des boues et l'apparition de problèmes annexes éventuels au cas par cas (odeurs, moustiques, produits d'entretien ou de désinfection ajoutés,...).

Remarquons que le concept de minimisation des effets des apports pluviaux est loin d'être neuf (les bassins d'orage), cependant est relativement plus récente la considération :

- du principe de diversification de solutions, portant sur une tendance à des solutions plus réparties spatialement (diffuses, semi-diffuses,...),
- du principe de diversification des exutoires (le sol - par infiltration - quand cela s'y prête, l'atmosphère – par évapotranspiration, la voirie même,..., outre le réseau d'assainissement et le cours d'eau émissaire),
- du principe de complémentarité par rapport à la politique de gestion des réseaux d'assainissement pluviaux.

Il faut ajouter encore que si les mesures compensatoires proprement dites sont promues pour être situées avant l'entrée des eaux de ruissellement dans le réseau d'assainissement, on range cependant souvent dans le même groupe toute mesure sur le bassin versant d'apport, en vue de contribuer à délester en partie le réseau (bassins d'orage sur réseau, surdimensionnement de collecteurs).

#### 6.1.1.2 En zones exposées

L'approche inclut le principe de recréer ou de maintenir des sites inondables dans les zones naturellement exposées aux inondations, de limiter l'extension de l'exposition, outre les mesures portant sur les enjeux, la vulnérabilité, la gestion de crise.

### 6.1.2 Le classement hydrologique

Une très nombreuse et judicieuse documentation<sup>38,39,40,41,42,43,....</sup> existe sous forme notamment de Guides, Synthèses, Fiches techniques, comparaisons, présentant les structures

<sup>38</sup> C.E.T.E. du Sud-Ouest-Missions et délégation Inter-Services de l'eau des départements, Laboratoire de Bordeaux, version de février 2002 « Les solutions compensatoires en assainissement pluvial : le choix et quelques principes de conception et de réalisation des techniques » Fascicule III, environ 30 pages.

alternatives, leurs modes d'aménagement, les détails d'installation et d'utilisation, etc., ainsi que les objectifs, les avantages et les inconvénients, qui leur sont traditionnellement dévolus (Voir également les descriptions ciblées reprises par les autres partenaires du présent Consortium d'étude).

Nous nous limitons ci-dessous à l'une ou l'autre brève description rapide à titre illustratif et certes non exhaustif avant de présenter un mode de classement basé sur leur fonctionnement hydrologique. Ce type de classement constitue un des éléments de base vers un choix raisonné, qui recevra un éclairage complémentaire dans le cadre de l'analyse subséquente en termes de retours d'expérience quant à la problématique des averses intenses (inondations pluviales urbaines, contaminations des eaux pluviales et de ruissellement).

#### *6.1.2.1 Quelques techniques alternatives*

Nous énumérons ci-dessous quelques exemples de techniques alternatives :

- Les toitures avec stockage : toitures verdurisées (Figure 32, Figure 33), toitures-jardins, toitures-graviers, toitures-bacs,... : la toiture verdurisée est une structure de stockage qui se « vidange » par évapotranspiration; l'effet significatif de réduction de volume pluvial ne se manifesterait donc qu'en période estivale et en outre si le milieu poreux (substrat plus réserve en eau de la couche drainante poreuse sous-jacente) est suffisamment asséché en-deçà de sa « capacité de rétention », au début de l'averse. Sinon, et en tout cas hors période estivale, la structure fonctionnera sur le principe de la limitation du débit et exige donc une structure de régulation du débit de fuite, et de toute façon la structure de surverse.
- Les parkings poreux infiltrant ou stockant (semi-herbeux - Figure 33 - ou non), qui permettent une certaine infiltration et évapotranspiration.
- Les puits d'infiltration : ils assurent le transit des eaux pluviales vers les couches perméables du sol; l'infiltration se fait généralement par le fond du puits, mais également latéralement, par des orifices situés dans la paroi. Le puits est précédé d'un regard de décantation et d'un filtre, pour piéger les éléments indésirables - une surverse doit être assurée.

<sup>39</sup> Dossier Envirhonalpes « Mieux gérer les eaux pluviales : les techniques alternatives d'assainissement – Région Rhone-Alpes » 25 pages.

<sup>40</sup> City of Salem, Department of public Services and Planning and Community Development (2005) "Urban Stormwater management Guidebook" Andover, MA, 90 pages + annexes.

<sup>41</sup> ADOPTA « La gestion durable des eaux pluviales – Fiches techniques » Douai.

<sup>42</sup> Bellefontaine L., Obsomer P., Godart M.F. (Novembre 2006) « Etude sur l'imperméabilisation en Région bruxelloise et les mesures envisageables en matière d'urbanisme pour améliorer la situation » ULB-IGEAT ; pour l'Administration de l'Aménagement du Territoire et du Logement, Ministère de la Région de Bruxelles-Capitale ; 67 pages.

<sup>43</sup> DAYWATER 18 août 2003 « Report 5.1. Review of the use of stormwater BMPs in Europe » prepared by Middlesex University in collaboration; project under EU RTD 5<sup>th</sup> Fr. Programme, Contract N° EVK1-CT-2002-00111., 98 pages.

- Les noues (Figure 33, Figure 34, à droite) : il s'agit de chenaux larges, évasés et peu profonds, permettant le stockage et/ou l'infiltration et/ou l'écoulement ralenti (rugosité de la végétation) selon le cas; étant verdurisées, elles permettent aussi une certaine évapotranspiration.
- Les filets d'eau « rugueux » (Figure 34, à gauche).
- Les bassins de stockage : l'eau est collectée par un ouvrage d'arrivée approprié (ralentisseur des flux ou autre), puis stockée dans un bassin et enfin évacuée vers un exutoire (bassin de retenue) ou infiltrée dans le sol (bassin d'infiltration). Les bassins de plein air peuvent être secs et avoir une autre utilisation (comme par exemple terrain de sport) ; s'ils sont en eau, ils doivent disposer d'un marnage. Des structures spécifiques de rétention des hydrocarbures et des bassins de prétraitement (sédimentation) peuvent devoir être prévus pour les bassins à l'air libre en particulier, de même que des ralentisseurs et grilles d'entrée.
- Le surdimensionnement de collecteurs.
- Le « bulbe cailloux<sup>44</sup> » : c'est une structure de cailloux enveloppé de géotextile ou autre (genre gabion par exemple), qui permet de stocker les eaux pluviales dans l'espace présent entre les cailloux. Il est généralement utilisé pour réaliser une tranchée ou une voirie drainante, ou un massif filtrant.
- ...
- Les bassins d'étalement en zone d'inondation (définition inspirée de la référence<sup>44</sup>) : espaces non bâtis, éventuellement multifonctionnels, conçus pour recevoir et stocker temporairement des eaux pluviales issues d'un bassin versant de façon maîtrisée. Ce principe de stockage est d'utiliser beaucoup de surface sur une faible hauteur, de quelques centimètres, pour assurer une bonne sécurité des usagers. Ce peut être des squares inondables, des parkings inondables, des terrains de sport inondables,..., situés dans des points bas.
- Les structures multi-objectifs : Une même structure, de stockage par exemple, moyennant dimensionnement adéquat, peut servir plusieurs objectifs (épuration et sédimentation avec temps de séjour longs, plus limitation des débits) mais la technologie est plus complexe à installer et à gérer ; on peut aussi être amené à recommander l'installation de pré-bassins (de sédimentation par exemple) avant la structure pluviale proprement dite.
- La combinaison de techniques alternatives : cette formule est assez fréquemment promue en tant que réalisation intégrée ; il existe une documentation de propositions techniques pour des structures individuelles (citerne d'eau pluviale + citerne d'infiltration + citerne d'orage ; toiture-verte + citerne d'eau pluviale, etc.) ou des réalisations publiques (incluant souvent des bassins de stockage).

<sup>44</sup> Direction de l'Eau et l'Assainissement, Bureau de l'assainissement et liaison avec l'aménagement et l'urbanisme ; Seine-St-Denis (Juin 2003) « L'Eau dans le projet urbain en Seine Saint-Denis) - n°36 ISSN 1251 – 8816– in Les Points de repère du 93.

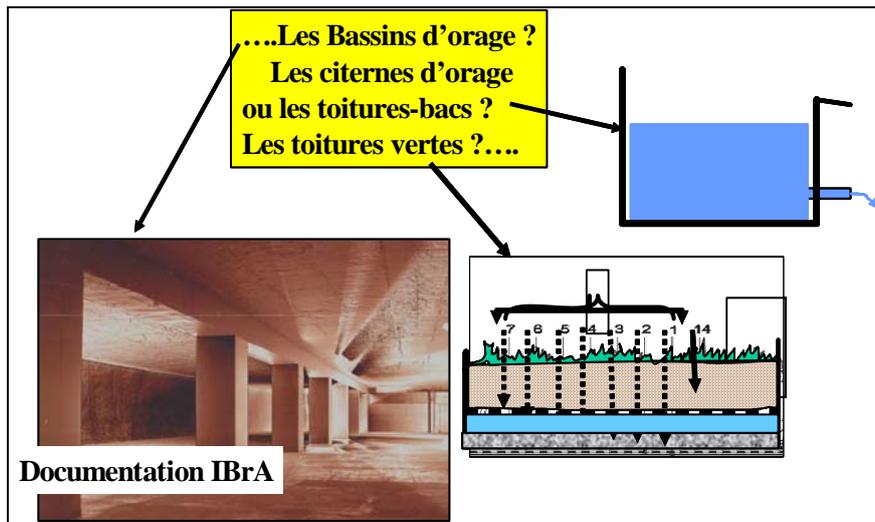


Figure 32 – Différentes structures de stockage.



Figure 33- Noue (à gauche) ; au centre : toiture-verte à Bruxelles (toiture du Delhaize, que nous remercions pour l'accès à la toiture, chaussée de Boendaal); à droite : parking semi-herbeux (vieux de 20 ans) à Gembloux.



Figure 34 – Voie d'eau « rugueuse » de surface aménagée (à gauche) ; noue péri-urbaine (à droite).

### 6.1.2.2 Le classement

En termes de processus hydrologique et/ou hydraulique, nous pouvons classer les mesures compensatoires suivant deux critères:

- 1° Le mode d'action principal sur le plan hydrologique et/ou hydraulique; ces modes d'action (pouvant se présenter en combinaison) sont au nombre de cinq, les trois premiers portant sur une diminution de volume, les deux derniers sur la diminution et l'étalement des débits :
  - > L'infiltration,
  - > L'évapotranspiration des surfaces en végétation (ou l'évaporation des plans d'eau),
  - > La dérivation des eaux,
  - > Le laminage des débits,
  - > La diminution des vitesses d'écoulement.
- 2° Le rapport entre la superficie active de la mesure (superficie de collecte) et la superficie pluviale (de l'apport pluvial donc), partant du principe que plus la superficie de collecte est proche de la superficie pluviale, plus on se rapproche du système « naturel » pris comme le plus favorable. On verra ultérieurement que ce critère a son importance également et pour la problématique de l'épuration des eaux pluviales urbaines et pour la durabilité des techniques alternatives.

Pour ce qui porte sur le rapport des superficies pluviale/collecte, on distinguera donc :

- > le « diffus » (rapport de superficie 1/1) : la superficie pluviale est égale à la superficie active,
- > le « semi-diffus » jusqu'au « semi-concentré » (rapport de superficie  $> 1/1$  à  $>> 1/1$ ) (~ l'échelle de l'habitation jusqu'au lotissement),
- > le « concentré » (rapport de superficie  $>>> 1/1$ ) (par exemple l'échelle du très petit à petit bassin versant).

On peut dès à présent indiquer que les mesures limitant les volumes sont à priori les plus bénéfiques et que l'effort premier se portera dès lors vers des mesures favorisant l'infiltration et ou l'évapo(transpi)ration : en particulier, de façon quasi systématique, la prise en compte ou l'imposition d'un pourcentage de surfaces non imperméabilisées (terme à prendre comme pourcentage d'espaces verdurisés<sup>45</sup> et de plans d'eau<sup>46</sup>) est la règle dans les aménagements compensatoires. Cependant, pour les mesures de type non diffus plus spécifiquement, des conditions de capacité intrinsèque faible d'infiltration du sol et de protection des eaux souterraines peuvent devenir des facteurs limitant parmi d'autres (stabilité des sols saturés,...), auxquels peuvent s'ajouter des problèmes liés à la qualité des eaux pluviales (confer Points ultérieurs).

<sup>45</sup> Un espace verdurisé accentue l'infiltrabilité d'un sol mais aussi favorise son assèchement par évapotranspiration réelle (ce qui accroît encore l'infiltrabilité), et ceci d'autant plus que le couvert végétal est dense.

<sup>46</sup> A superficie égale, un plan d'eau évapore significativement plus que n'évapotranspire un couvert végétal et peut se trouver dans des conditions d'aménagement favorables à l'infiltration ; il faut cependant souvent tenir compte de ce que le plan d'eau a souvent un rapport de superficie de collecte/superficie active plus grand que 1 appelant à d'autres considérations, sans compter par exemple les questions d'eutrophisation et autres liées à la qualité de l'eau.

L'attention portée aux mesures compensatoires hors et en amont du réseau d'assainissement (sur le bassin versant sensible), ne doit pas faire oublier la nécessité de mesures en zones exposées aux inondations et de fonctionnement approprié des récepteurs que sont le réseau d'assainissement pluvial et l'émissaire. La Figure 35 résume les modes d'action hydrologiques/hydrauliques des mesures compensatoires suivant le premier critère, replacée dans ce contexte ; il est important de remarquer à ce stade qu'aucun jugement n'est porté sur l'efficacité même des mesures.

Le classement des mesures suivant les deux critères précités est résumé comme suit :

- Limitation de volume
  - > Figure 36 : Systèmes diffus,
  - > Figure 37 : Systèmes semi-diffus à semi-concentrés ou concentrés.
- Limitation du débit
  - > Figure 38 : Systèmes diffus,
  - > Figure 39 : Systèmes semi-concentrés à concentrés.

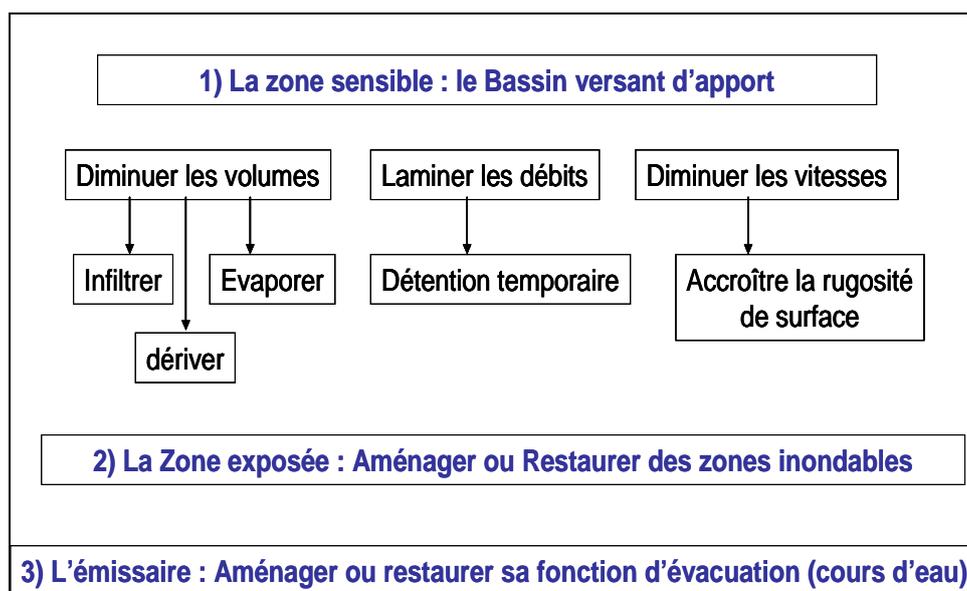


Figure 35 – Modes d'action hydrologique ou hydraulique de mesures compensatoires.

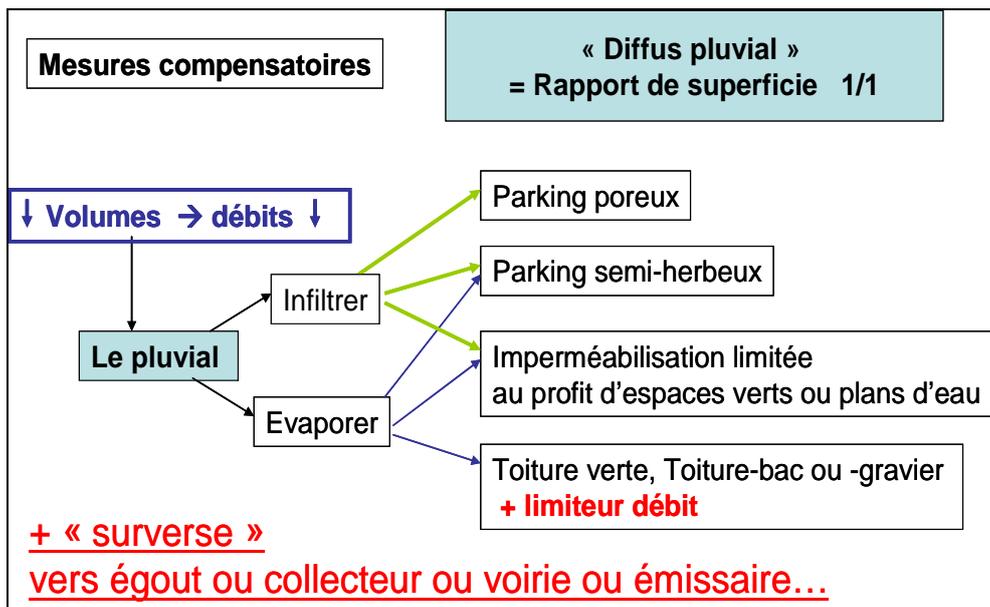


Figure 36 – Limitation du volume d'eau pluviale : résumé des types diffus de mesures compensatoires et processus hydrologiques correspondants.

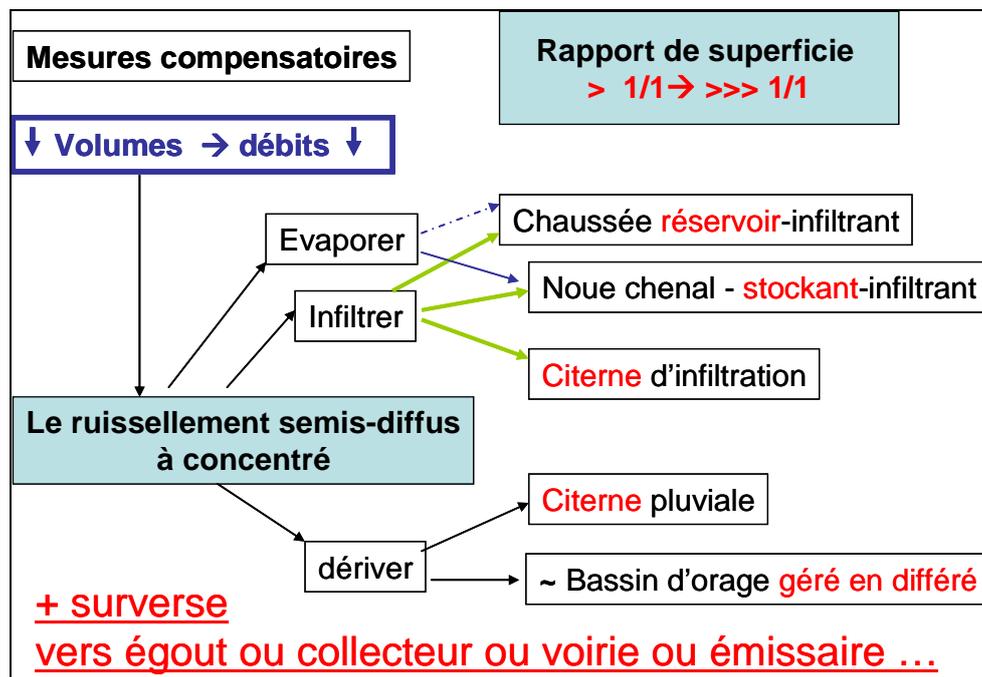


Figure 37– Limitation du volume d'eau pluviale : résumé des types non diffus de mesures compensatoires et processus hydrologiques correspondants.

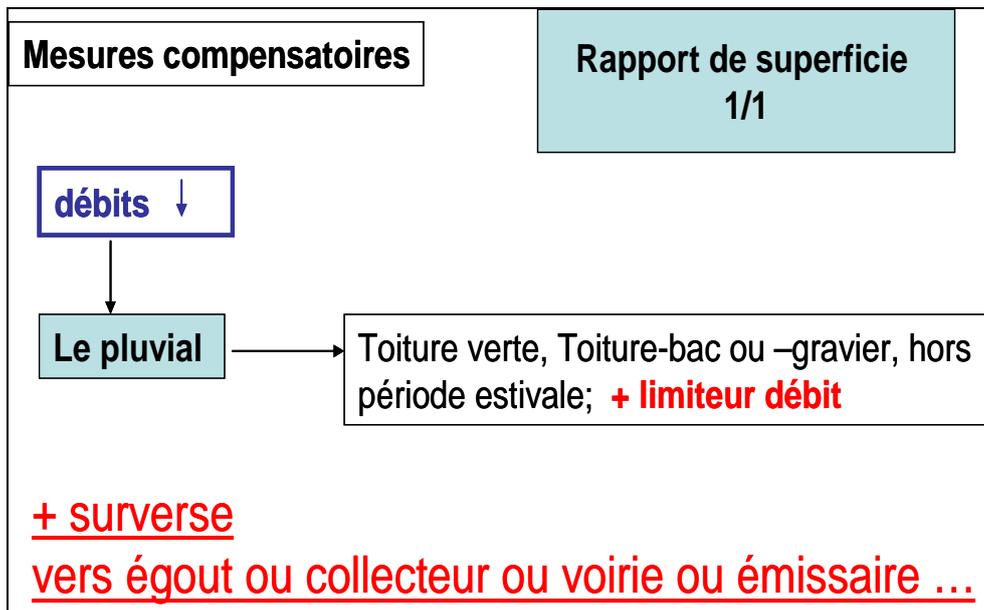


Figure 38- Limitation du débit d'eau pluviale : résumé des types diffus de mesures compensatoires et processus hydrologiques correspondants.

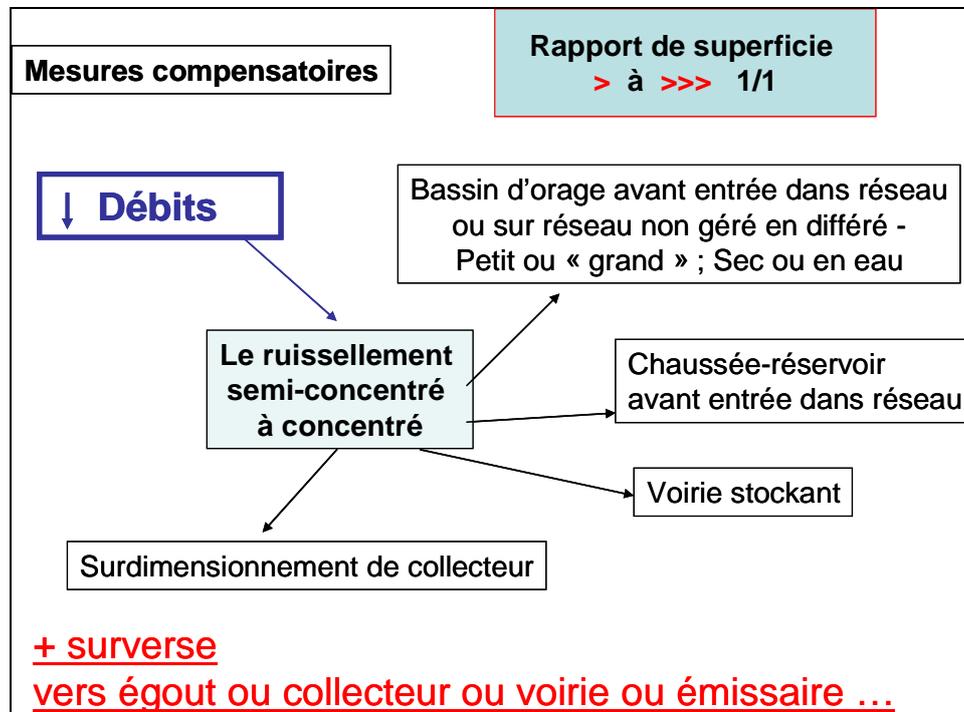


Figure 39 - Limitation du débit d'eau pluviale : résumé des types non diffus de mesures compensatoires et processus hydrologiques correspondants.

## 6.2 LES NORMES TECHNIQUES

L'objectif généralement poursuivi dans la mise en œuvre de mesures compensatoires pourrait se résumer ainsi « par la limitation des volumes ou des débits de ruissellement, faire en sorte que chaque aménagement n'aggrave pas la situation du réseau aval de collecte, de transfert et d'évacuation des eaux pluviales par rapport à ce qu'elle était avant aménagement et même, dans certains cas, l'améliore »<sup>47,48</sup> ; le principe peut être appliqué et pour les flux de ruissellement et pour la qualité du milieu récepteur. Certaines options se veulent cependant d'aller jusqu'à retrouver « l'état naturel ».

Ces bases étant, la question qui se pose impérativement est la suivante : que doit pouvoir normalement accepter le réseau aval ? Ceci correspond à préjuger d'un état de fonctionnement « normal » de l'aval, qu'il s'agisse du réseau d'assainissement pluvial ou du milieu récepteur final qu'est le cours d'eau émissaire.

L'acceptation d'un niveau de fonctionnement « normal » dans tous les cas où les aléas naturels<sup>49</sup> interviennent et pour lesquels on ne peut prédire, par définition, ni quand ils se manifesteront ni avec quelle importance, implique l'acceptation d'un seuil de risque, jamais nul, fondé sur un choix de politique en ce qui concerne la protection des personnes, des biens et du patrimoine environnemental (c'est-à-dire les enjeux, à classer en termes de vulnérabilité eu égard au risques de dommages d'inondation).

En pratique, les imprécisions inhérentes à la limite des connaissances actuelles, la nature aléatoire et évolutive des phénomènes climatiques, la complexité du milieu naturel, des dysfonctionnements divers « anormaux » (présence inopinée d'obstacles,...) viennent s'ajouter à la problématique complexe du risque.

Au niveau du petit bassin versant sensible, l'aléa d'inondation est fonction lui-même de l'aléa pluvial et de ruissellement, ce qui nécessite une décision quant au choix de fonctionnement « normal » au niveau des critères de dimensionnement des ouvrages et aménagements correspondants. Il s'ensuit que l'ouvrage ou aménagement aura par définition à supporter des défaillances « normales » dont il faudra d'ailleurs pouvoir aussi évaluer les conséquences<sup>50</sup>. Rappelons que dans les zones exposées aux inondations, des mesures de prévention sont à promouvoir inévitablement en termes de gestion du risque (diminution de la vulnérabilité, de l'exposition, création de zones inondables, plan de crise,...).

En fonction du type de mesure compensatoire, des seuils d'acceptation sont à définir notamment pour :

- l'imperméabilisation (taux acceptable dans l'aménagement, ou mieux : taux d'espaces verdurisés et de plans d'eau),
- le volume de stockage,

<sup>47</sup> Citation par Maigne J. « La gestion durable des techniques alternatives en assainissement pluvial – synthèse technique » Janvier 2006, Communauté Urbaine de Lyon, 1 » 13 pages.

<sup>48</sup> Schwintner Fr., DDAF de l'Ain « Approche réglementaire : Outils et opportunités pour bien gérer les eaux pluviales-Dispositions générales et application de la loi sur l'eau », *in* « Gestion de l'eau à l'échelle des bassins versants : que fait-on des eaux pluviales ? » Journée d'information Départementale, Décembre 2005, Péronnas ; GRAIE et Préfecture de l'Ain, pp 45-53.

<sup>49</sup> Le ruissellement et les inondations font partie du cycle naturel de l'eau, hors même toute urbanisation.

<sup>50</sup> Inspiré de {Ministère de l'Ecologie et du Développement durable « Plans de prévention des risques naturels (PPR) –Risques d'inondation (ruissellement péri-urbain) » Note complémentaire, Dossiers Risques naturels majeurs, Version 4.31, Juin 2003, 67 pages}.

- la limitation des débits de rejet (« débit de fuite »),
- l'infiltrabilité.

### **6.2.1 La période de retour de projet : un choix de politique**

En pratique, la plupart des réseaux ont été conçus pour fonctionner comme les cours d'eau tels que gérés dans nos régions : on admet que ceux-ci ne peuvent normalement déborder du lit mineur vers le lit majeur en moyenne que 10 à 5 fois sur cent ans, c'est-à-dire avec une occurrence moyenne ou fréquence de débordement de 1 fois tous les 10 à 20 ans, soit une période de retour (inverse de la fréquence) de 10 à 20 ans. La notion de saturation du réseau est à rapprocher de la notion de limite de débordement d'un cours d'eau.

Il est important de rappeler que cette donnée statistique ne donne aucune information :

- sur le moment où l'évènement peut se produire,
- sur l'intervalle de temps entre deux évènements,
- sur l'importance du dépassement par rapport au seuil de débordement.

#### *6.2.1.1 Rappels*

Une averse dite par exemple décennale, de durée déterminée, a une « chance » sur dix de voir sa valeur d'intensité moyenne atteinte ou dépassée chaque année, en un point déterminé.

En moyenne, une averse qui présente une très forte intensité en un point voit sa valeur décroître en fonction de la distance à son épiceutre.

La statistique d'occurrence des précipitations ponctuelles n'est pas celle des inondations; schématiquement :

- Par exemple une averse « centennale » d'une durée déterminée, en un point d'un petit bassin urbain, pourra tomber aussi « une autre fois en un autre point » du bassin et provoquer en principe une inondation à priori équivalente, la récurrence de l'aléa inondation étant alors moins que centennale; on peut cependant estimer que l'effet est compensé partiellement par l'inégale répartition spatiale et temporelle de l'averse.
- Une averse centennale d'une heure en un point peut être aussi la centennale de deux heures ou de 12h, etc., mais pas nécessairement : on peut donc avoir plusieurs pluies « centennales » probables en moyenne sur la période de 100 ans.
- La donnée de fréquence n'est donc, et n'a jamais été autre, qu'une donnée de projet d'une part, un repère statistique d'autre part. L'averse de projet issue de la courbe IDF est une donnée indispensable, mais est de plus en plus souvent remplacée ou au moins complétée par l'utilisation de séquences réelles pluviométriques pour autant que l'on dispose de données pluviométriques à pas de temps court (horaires et moins), ce qui est indispensable dans le cas de petits bassins versants urbains.

#### *6.2.1.2 Les averses de projet*

En pratique, pour les mesures compensatoires, identiquement d'ailleurs au mode de conception des réseaux et de gestion des cours d'eau, il apparaît que l'intérêt est souvent porté principalement sur la problématique des pluies faibles ou moyennes (jusqu'au « décennal-vicennal » - voir ci-dessous -, système dit « mineur », non inondant – confer

Point 3) et que les ouvrages ne sont pas prévus pour prémunir des effets des averses intenses sauf exception (et alors jusqu'au risque pluvial « centennal »<sup>51</sup> tout au plus).

Les effets des averses intenses ou exceptionnelles sont en général considérés comme étant à reporter sur le système dit majeur (confer Point 3) : aménagement ou gestion du ruissellement sur voiries et autres et atterrissement dans des points bas inondables et/ou peu vulnérables (conditions d'occupation du sol et de construction) de façon à mitiger les dommages. On citera à ce sujet le commentaire suivant<sup>52</sup> : « ... les ouvrages sont dimensionnés pour une pluie de référence, fréquemment infra décennale, sans que l'on se soit interrogé sur les conséquences à attendre de la survenue d'un évènement plus important (effet de seuil pour le cheminement des eaux, etc.) ».

Le risque pluvial centennal est parfois envisagé pour les bassins d'orage<sup>53</sup>. Pour les aménagements du type « maintien de la situation avant aménagement » des mesures compensatoires, les normes habituelles restent les 1 à 10 ans (aux USA<sup>54</sup> par exemple : choix multiples ou unique si on examine les Guides ad hoc ou suivant les auteurs ou projets, reconnus comme sans justification autre que la perception du problème, et jamais vraiment validés sur le terrain<sup>55</sup>).

On citera encore l'exemple de la réglementation de la Mise du Nord<sup>56</sup> en France : ouvrages de rétention (« bassins d'orage ») de 20 ans en général, de 100 ans dans les bassins versants sensibles, limitation de débits de fuite par hectare imperméabilisé nouveau, préconisation de l'infiltration si la réglementation et les sols le permettent, possibilité de techniques alternatives outre les bassins de rétention.

### 6.2.1.3 Stratégies<sup>15, 57</sup> « quantité, qualité » pour les projets

#### Période de retour des inondations pluviales urbaines

Pour la France par exemple, la Norme NF-EN-752-2, article 6, définit les performances à atteindre pour la fréquence (*théorique*) d'inondation (rappel : différent de la fréquence des

<sup>51</sup> Par exemple : la fiche d'action N°4-1 de la référence<sup>51</sup>) indique qu'une noue stockante, généralement dimensionnée sur base décennale - comme tous les autres ouvrages -, peut être également complétée par une zone d'écoulement centennal (à titre de déverse de sécurité) (nécessité d'espace supplémentaire); ceci inclut de toute façon qu'à l'aval de la noue une structure adéquate de reprise des eaux d'écoulement (de stockage plus l'excédentaire) doit être présente.

<sup>52</sup> « *in* {Ministère de l'Ecologie et du Développement durable « Plans de prévention des risques naturels (PPR) –Risques d'inondation (ruissellement péri-urbain) » Note complémentaire, Dossiers Risques naturels majeurs, Version 4.31, Juin 2003, 67 pages}. Cette question peut présenter une importance particulière dans un contexte de l'étude des effets des évolutions et changements climatiques.

<sup>53</sup> MMSD - Stormtech, Inc., Beth & Associates, Center for Watershed Protection, Norris & Associates, Inc. (2005): "Surface water and storm water rules Guidance Manual" Low Impact Development Documentation, +/- 60 pages.

<sup>54</sup> Cité par EPA, USA (2005) « National Management Measures to Control Nonpoint Source Pollution from Urban Areas » 80 pages.

<sup>55</sup> Clar M.L., Barfield B. J., O'Connor Th., (2004) " Stormwater best management practice design guide" Volume1 U.S. EPA, Cincinnati.

<sup>56</sup> Citation comme tel dans le Document SYMSAGEL- SAGE du LYS (2004) « Diagnostic détaillé des problèmes hydrologiques et hydrauliques du bassin versant du grand Nocq », 133 pages + annexes.

<sup>57</sup> USA-Department of Defense "Unified Facilities Criteria (UFC) - Low Impact Development » UFC 3-210-10 , October 2004, 148 pages.

précipitations, donnée de projet utilisée pour les normes de rejet pluvial), soit 20 ans en zones résidentielles, 30 ans pour les centres villes et 50 ans pour les passages souterrains<sup>58</sup>.

#### Périodes de retour pour les mesures compensatoires

Il apparaît que les normes proposées pour les aménagements de techniques alternatives (à l'évacuation directe en réseau) sont quelque peu antinomiques<sup>59,60,61</sup> suivant que l'on poursuive en priorité des objectifs d'amélioration de la qualité des eaux pluviales ou bien la non augmentation du ruissellement :

- Le contrôle de la qualité des eaux de ruissellement est basé sur des normes d'averses de projet d'intensité faible et de récurrence élevée en raison du fait que le but est de capter les eaux de ruissellement (en termes de volume par hectare) issues d'un maximum d'averses à l'échelle annuelle et de permettre un temps de rétention élevé aux eaux avant leur rejet dans le milieu récepteur (parfois aussi pour des objectifs de bilans hydrologiques annuels ou saisonniers<sup>62</sup>, problématique indépendante de la problématique des averses intenses et des inondations), ou encore pour des aspects de bilans d'énergie<sup>63</sup>.
- La limitation des inondations pluviales urbaines demande de prendre en compte des normes de projet minimisant les effets d'averses d'occurrence rare, survenant sur une période très courte; ceci entraîne aussi des considérations sur la qualité spécifique des eaux de ruissellement lors des averses intenses.

Pour l'atténuation du débit par effet de laminage ou de ralentissement, il est généralement considéré :

- > dans la problématique de la qualité, généralement un ordre d'averse de projet<sup>64</sup> et de débit de rejet (débit de fuite) de récurrence 5 ans, 2 ans ou 1 an, ce qui entraîne l'acceptation d'une fréquence annuelle de surverses plus ou moins élevée ;
- > pour la problématique de contrôle des débits de rejet, des averses de projet (pour les volumes de stockage) et de débit de fuite de récurrence 10 ans (le plus fréquent) à, rarement, 100 ans, l'excédent ressortissant alors de

<sup>58</sup> La période de retour est donc choisie en fonction de la vulnérabilité.

<sup>59</sup> Urbonas B.R. et Roesner L.A. (1995) « Handbook of Hydrology » Maidment D.R. Ed. In Chief, Mc Graw Hill, Chapter 28, pages 28-1 à 28-52.

<sup>60</sup> Dillon Consulting limited « Stormwater Guidelines » Halifax regional Municipality, 05-4680-0400, March 2006, +/- 120 pages;

<sup>61</sup> ... et qui demande de ce fait par exemple des dispositions particulières notamment en matière « d'étagement » de débits de fuite.

<sup>62</sup> Par exemple: Mentens J., Raes D. et Hermy M. (2005) «Green roof as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century ?" Landscape and Planning xxx (2005) xxx-xxx (in press) , où les auteurs examinent l'effet de toitures vertes sur la production de l'écoulement (runoff) annuel ou saisonnier des eaux de ruissellement (réduction du total annuel de 2,7% pour 10% de toitures vertes, sans indications relatives aux averses fortes ou intenses).

<sup>63</sup> Par exemple : Lazzarin R.M., Castelloti F., Busato F. (2005) « Experimental measurements and numerical modelling of a green roof » Energy and Buildings 37 (2005) 1260-1267.

<sup>64</sup> Tel quel ou sur base de simulations de scénarios de précipitations continues sur plusieurs années et utilisation de modèles mathématiques appropriés.

« l'exceptionnel » (avec règles et mesures complémentaires éventuelles de sécurité<sup>65</sup>) et le nombre moyen annuel de surverses étant faible;

- > une évaluation des risques liés à la surverse vers le milieu récepteur de surface (réseau ou cours d'eau) dans tous les cas.

Pour l'atténuation des volumes (par effet d'infiltration ou d'évapotranspiration):

- > dans la problématique de la qualité, l'infiltration (sous réserve de contraintes liées au sol et sous-sol en particulier) et l'évapotranspiration sont comptabilisées par rapport au bilan de l'écoulement annuel du fait que le système est vu comme aide à la dépollution préventive des eaux de ruissellement<sup>66</sup>,
- > pour la problématique des inondations, c'est la sécheresse du sol ou du substrat au début de l'averse qui sera déterminante : cet élément introduit un aléa supplémentaire dont il faut tenir compte.

#### 6.2.1.4 Les problématiques spatiales

Quelles que soient les structures « d'amont » et leurs dimensions, elles répondent identiquement aux mêmes principes hydrologiques et hydrauliques que toute autre (*in* référence <sup>67</sup>) notamment); la performance des structures eu égard au risque inondation ne tient donc pas aux structures elles-mêmes mais à l'importance relative de leur contribution en termes de volumes et/ou de débit.

Cinq questions sont en définitive essentielles à ce sujet :

- Quelle est la quantité nécessaire de structures à mettre en œuvre pour que l'effet en soit significatif et de quels espaces de ce fait dispose-t-on (existant, rénovation, « pré-post » développement) ?
- Quelle est la répartition spatiale<sup>68</sup> des structures, petites ou grandes, au sein du petit bassin versant pour que l'effet en soit significatif et favorable ?
- Jusqu'où en aval la mesure compensatoire a-t-elle un effet significatif<sup>69</sup> ?
- Comment juger au mieux de la répartition des mesures en termes préventif ou correctif ?
- Quelle est l'influence du choix d'une période de retour de projet ?

#### Superficies actives

En zone d'urbanisation plus qu'ailleurs, un paramètre important dans le choix des mesures compensatoires est la surface active, c'est-à-dire la superficie de collecte par rapport au volume pluvial à collecter. Ce paramètre permet une certaine planification en fournissant, à efficacité hydrologique égale, une estimation du nombre de structures compensatoires à

<sup>65</sup>U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration; Hydraulic Engineering Circular N° 22, "Urban Drainage Design Manual" Publication N° FHWA-NHI-01-021, August 2001.

<sup>66</sup> ...Que fait-on des boues de nettoyage ou d'excavation cependant ?

<sup>67</sup> Confer notamment: Larry W. M. (2001) « Stormwater Collection Systems Design Handbook » Mc Graw-Hill (+/- 500 pages).

<sup>68</sup> Notamment: Wright L.T. and Heaney J. P. Chapitre 11: " Design of distributed stormwater control and re-use systems" pp 11.1 à 11.49.

<sup>69</sup> Notamment: Bergue J.M. et Ruperd Y. Coordinators (2000) « Stormwater Retention Basins » Ed A.A. Balkema/rotterdam/Brookfield/2000, 229 pages.

mettre en œuvre ainsi que des espaces disponibles ou à réserver pour un type de mesure donné.

Une réflexion et une évaluation sont à faire en ce sens, notamment dans le contexte de la RBC ; dans le seul but de fixer l'attention sur la question, nous proposons comme piste de réflexion le Tableau 3, qui compare à volume utile égal (et à titre provisoire) le nombre de structures compensatoires ou la superficie requis, en toute première approche.

### Quelle répartition spatiale

Par exemple, en ce qui concerne les mesures de régulation du débit, deux structures de détention (qui modifient les débits, non les volumes) à des endroits différents sur un bassin versant, construits par différents aménageurs à peu près en même temps, peuvent chacune induire une onde vers l'aval, en soi conforme aux exigences du pré-développement, mais qui par le jeu des axes de concentration se rejoignent malencontreusement, accentuant in fine les débits de pointe en particulier (exemple en Figure 40).

Ce risque identifié dès les années 1950 a maintes fois été démontré aux USA en tout cas<sup>70</sup> et confirment que la mise en œuvre non raisonnée de sites de bassins de détention peut être porteuse de nouveaux problèmes. On peut même avoir le cas où il aurait été préférable d'accélérer l'onde plutôt que de la retarder.

Tableau 3 – Pour une approche de comparaison du nombre de structures ou des superficies requises

Excédent de l'averse décennale 1h en RBC : 10.000 m³ à gérer	Espace ou nombre de structures requises (schématique)*	Volume ruisselé (« inchangé » = seulement laminage des débits)	Effet épuration	Rapport de superficie active/superficie de récolte
Bassins d'orage	Une structure de 10 000 m³ ou 10 structures de 1000 m³	Inchangé ou réduction si géré en différé	Boues à évacuer	>>>> 1/1 Concentré) ou >> semi-concentré
Bassin d'orage en eau	Une ou plusieurs pour un total égal ou supérieur à 3 Ha	Inchangé	Concentré	>> 1/1, Semi-concentré
Citernes d'infiltration ou de récupération pluviale,	2000 structures de 5 m³	Réduction	Boues	> 1/1 Semi-diffus
Chaussées et parkings poreux	12 Ha minimum	Réduction (si infiltrant) ou inchangé (si réservoir)	Obstruant	>> 1/1, Semi-concentré
Toitures vertes	{3000} toitures de 100 m²	Réduction	Pluvial	1/1, Diffus pluvial
Toitures-bac	{2000} toitures de 100 m²	Inchangé	Pluvial	1/1, Diffus pluvial
Parkings semi-herbeux	8 Ha	Réduction	~ Pluvial	1/1, Diffus pluvial
Surfaces engazonnées perméables reprises sur l'imperméable	4 Ha	Réduction	Pluvial	1/1, Diffus pluvial
* Évaluation schématique et approximative (à affiner donc), ayant pour seul but de montrer l'utilité d'une nécessaire réflexion sur l'efficacité des structures eu égard à leur consommation d'espace (et de volume), à la quelle il faut ajouter <u>notamment</u> la problématique de la répartition spatiale (confer texte).				

<sup>70</sup> « Section 4 BMP Design Concepts and Guidance » pages 4-1 à 4-25.

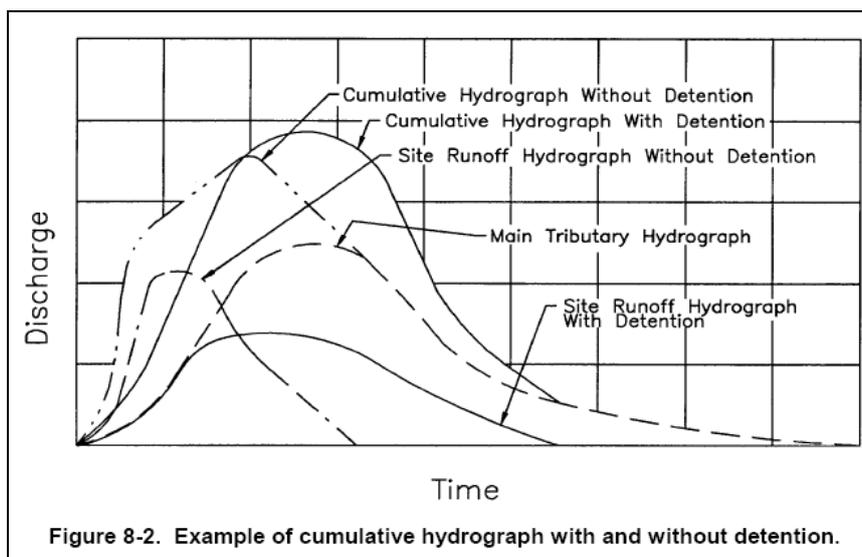


Figure 40 – Juxtaposition défavorable d’ondes de flux ralentis.

En ce qui concerne les mesures portant sur la réduction des volumes (citernes pluviales, bassins et noues d’infiltration, toitures vertes ou bacs, chaussées poreuses,...), un exemple de simulation par modèle<sup>71</sup> en petit bassin versant sensible indique qu’il aurait été nécessaire de prévoir des structures d’infiltration telles que devrait être infiltré, toutes structures confondues, plus de 70 % du ruissellement qui aurait été produit dans les nouvelles zones développées pour ramener le débit de pointe après aménagement à ce qu’il était avant aménagement. Mais ceci est à évaluer au cas par cas.

#### Jusqu’où en aval

Toute mesure en un point voit son effet amorti progressivement vers l’aval, soit que l’onde de débit s’étale de proche en proche à volume constant (Figure 41), soit que le volume ne soit plus significatif (devenu « goutte d’eau » par rapport au volume total de débordement).

Quelques simulations par modèle ont montré que les effets d’une mesure sur l’aval ne sont plus significatifs au-delà d’une superficie correspondant suivant les cas à 10 à 20 fois la superficie de récolte de la mesure<sup>72</sup>.

Ces constats sont actuellement souvent introduits en termes de réglementation ou recommandations dans les Guides aux USA<sup>73</sup>.

<sup>71</sup> Résultats de Ferguson (1995) cités par Seneca College, King City, Ontario « Performance evaluation of permeable pavement and a bioretention swale » Interim Report, 2006.

<sup>72</sup> Simulations multiples de Debo and Reese (1992).

<sup>73</sup> Par exemple dans : Knox County Tennessee Stormwater Manuel Management, Volume “Technical Guidance”.

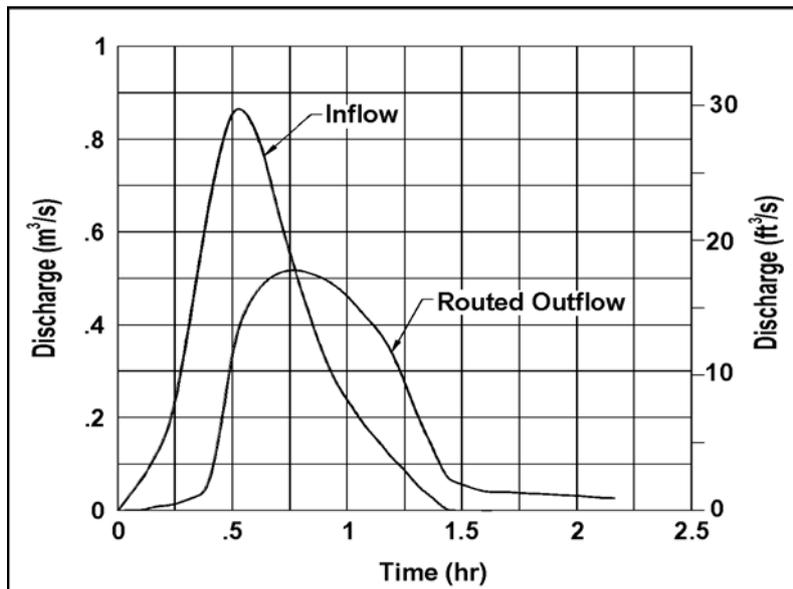


Figure 41 – Amortissement de l’onde au fur et à mesure de son parcours vers l’aval.

Sauf objectif relativement ponctuel, les mesures n’ont donc un effet significatif à l’échelle d’un petit bassin versant sensible que s’il y a un grand nombre d’interventions de structures distribuées et connectées de façon appropriée. Une perspective globale est donc indispensable du fait in fine que l’effet d’une mesure décroît de l’amont vers l’aval et qu’elle peut devenir défavorable par accumulation avec un apport d’amont (exemple de recommandation extraite du Guide précité<sup>73</sup> en Figure 42).

4. Developments and redevelopments that do not cause an increase in peak discharges are not exempt from conformance with the minimum standards for water quality treatment (WQv) and channel protection (CPv), presented earlier in this chapter.
5. The downstream analysis should be performed after any WQv credits for better site design practices have been taken into consideration in the calculation of peak discharges leaving the site. While there are no credits for flood protection criteria, the use of better site design practices will inherently reduce runoff volumes and potentially reduce post-development peak discharges, both on-site and downstream of the site.
6. The data and results of the downstream analysis must be presented to Knox County Engineering as part of the stormwater management plan.

Figure 42 – Exemple de recommandation de Guide technique au sujet des effets aval.

### L’effet période de retour

Au-delà des limitations précitées, reste la question de l’efficacité hydrologique de l’approche compensatoire à l’échelle globale du bassin versant ; en outre, compte tenu des normes de détention des flux « par l’amont » habituellement adoptées, y a-t-il aussi réduction des débits plus importants que celle correspondant à la norme de projet ?

Dans l’ensemble de la littérature consultée, deux cas d’analyse quantitative (par simulation) ont été identifiés<sup>74</sup>, dont les résultats sont les suivants en résumé :

<sup>74</sup> Urbonas B. (1999) «Two decades of stormwater management evolution » Symposium on Urban Drainage, Brazil, 1999, présentant les résultats d’une thèse de Glidden (1981).

- Un bassin versant de 20 km<sup>2</sup>, de pente de 1,5 %, passe d'une imperméabilisation de 2% (pré-développement) à une imperméabilisation de 38% (post-développement). Le bassin versant a été subdivisé en 56 sous-bassins et 28 bassins de rétention ont été répartis au hasard (donc un à deux en moyenne par km<sup>2</sup>); chaque bassin a été dimensionné individuellement sur base du principe pré-post-développement et moyennant des averses de projet de récurrence 2-, 10-, 100 ans (durée non fournie).
  - > Les résultats montrent que même le projet de période de retour « 2 ans » induit une diminution du débit centennal, jusqu'à la superficie de 20 km<sup>2</sup> (mais paradoxalement non pas une « protection » 2 ans); le 10 ans a une certaine efficacité pour limiter les débits de pointe dans tous les cas (chiffres non fournis); le « 100 ans » est efficace pour le 100 ans, toutes superficies considérées, et peu pour le « 2 ans » et le « 10 ans ». La suggestion est alors de considérer éventuellement des multi-niveaux de débits de fuite (de l'orifice d'évacuation) ; la stratégie doit obligatoirement être généralisée sur tout le bassin versant sous peine d'inefficacité.

Il est à remarquer que ces considérations sont adoptées comme telles aux USA dans nombre de Guides sur la question<sup>75</sup>.

- Une simulation par modèle<sup>76,77</sup> basée également sur une séquence continue d'averses réelles, relative à un bassin versant d'apport de 12 ha et de temps de concentration des eaux de 25 min, portant sur un stockage de 15 mm (pratiquement l'averse 2 ans/1h à Uccle) et respectivement sur deux débits de fuite : 10 l/sec.ha et 20 l/sec.ha, semblerait aller dans le même sens -pour les averses trentennales en l'occurrence (même si l'étude s'intéresse uniquement aux averses de faible intensité) : on observe comme pour le cas précédent une réduction du débit de pointe également portée sur les effets des averses plus intenses, à partir de structures dimensionnées pour des averses de projet d'intensités plus faibles.

#### La nécessité d'une stratégie hiérarchisée

Compte tenu de ce qui précède notamment, on ne peut que se ranger à l'avis de J. Maigne<sup>78</sup> et autres qui considèrent que l'approche doit être vue comme une approche alternative parce que globale, plutôt que de redissocier le problème via la mise en œuvre de techniques alternatives sans plus, favorisant l'éparpillement inefficace.

En effet :

- Les normes de projet dépassent assez rarement la pluie de projet de 10-20 ans, quelle que soit l'importance du bassin versant d'apport.

<sup>75</sup> Notamment: Minnesota Stormwater Manual (septembre 2006) « Unified Sizing Criteria for General and Sensitive Waters of the State » Chapitre 10.

<sup>76</sup> Vaes G. et Berlamont J. (2002) « Design rules and impact assessment for source control measures based on continuous long-term simulations » Water Science and Technology Vol 45 N° 7 pp 21-29.

<sup>77</sup> Vaes G. et Berlamont J. (2004) « New Flemish design guidelines for source control measures » NOVATECH Conference Proceedings, 325-331.

<sup>78</sup> Maigne J., ENGREF Centre de Montpellier, [maigne@engref.fr](mailto:maigne@engref.fr) « La gestion durable des techniques alternatives en assainissement pluvial – synthèse technique » Janvier 2006, Communauté Urbaine de Lyon, 1 » 13 pages.

- Il est reconnu que la répartition spatiale ou limitée des structures, surtout en ce qui concerne celles limitant le débit sans limitation du volume, n'est pas nécessairement utile ou bénéfique (parfois que du contraire) et impose une évaluation des effets aval.
- La proportion de superficies « gagnées » risque de rester souvent faible et d'autant plus que les structures sont de type individuel, eu égard au bassin versant sensible.

Cependant, à défaut de pouvoir contrer les inondations liées aux averses intenses ou exceptionnelles globalement<sup>59</sup>, l'aspect relativement local de mitigation des problèmes aval du réseau lui-même n'est pas à négliger, outre le fait que dans le contexte de l'extension de l'urbanisation, la responsabilité et les coûts en vue de limiter le ruissellement sont reportés vers l'aménageur.

C'est en définitive une démarche planifiée et hiérarchisée qui apparaît comme être à préconiser pour la mise en œuvre des solutions par (petits) bassins versants, moyennant priorités définies sur base d'un zonage pluvial urbain, comme préconisé par exemple par le Département de la Seine-Saint-Denis<sup>79</sup> (Fr), (quasi texto) :

- > A l'échelle globale ou semi-dispersée :
  - Réaliser une étude préalable de diagnostic.
  - Etablir un programme de réhabilitation des ouvrages, à caractère patrimonial en particulier.
  - Etablir un programme général de création de bassins de rétention (« bassins d'orage ») sur l'ensemble du bassin pluvial, avec un objectif de protection décennal (pluie de projet décennale de 30,5 mm pendant 1h ou de 10 mm/h pendant 4h), afin de décharger les collecteurs saturés.
  - Imposer la limitation des débits à 10 l/sec.ha (décennal moyen adapté au climat et milieu du Département de la Seine-Saint-Denis) pour tout aménagement<sup>80,81,82</sup> hormis constructions isolées, cette contrainte pouvant être plus sévère dans les bassins versants sensibles aux aléas d'inondation.
  - S'assurer de la mise en place de solutions de rétention (déconnexion ou rétention) pérennes et efficaces de petites dimensions, jugées plus aisées à intégrer au milieu urbain, et proposer aux Communes de mutualiser les moyens pour recenser et suivre les installations privées de stockage d'eaux de pluie.
  - développer la télésurveillance (pluviomètre, bassins de stockage).
- > A l'échelle ponctuelle :

<sup>79</sup> Département de la Seine-Saint-Denis, Conseil Général - 1) « Assainissement urbain départemental et actions concertées pour l'Eau – Schéma 2003-2012 » +/- 100 pages. 2) Partie 2 « Schéma départemental d'assainissement », pages 52-63.

<sup>80</sup> Choix de la ou des solutions laissé donc à l'aménageur.

<sup>81</sup> Qui se traduit surtout par de petits bassins de stockage depuis 1992.

<sup>82</sup> Dont les inconvénients reconnus sont :

- qu'elles sont à ce jour dispersées et non contrôlées (constat également à la CUDL (Lille), suivant notre visite auprès de Mrs Dollet et Tonnerre, du Service d'assainissement de la CUDL;
- qu'il serait nécessaire d'en connaître l'impact sur le réseau.

- Pour l'existant, en ce qui concerne les usagers soumis à des inondations ponctuelles de leur fait, les inciter à des mesures ponctuelles (clapets anti-retour, pompes de relevage, ados à l'entrée de garages,...).
- Rechercher des corrections et dispositifs appropriés en cas de mauvais branchement de réseau ou de réseau incomplet, de mauvais engouffrement des eaux dans les avaloirs ou autres,...

### **6.2.2 Les outils d'aide à la décision**

Compte tenu de l'importance de la gestion spatiale et de la complexité des interactions, les outils d'aide à la décision que sont les Systèmes d'information géographique (SIG) et de modélisation sont devenus indispensables en appui. En particulier :

- Les zonages spatiaux pour le risque pluvial urbain, tels :
  - > le milieu sensible (les petits bassins versants, le réseau hydrographique voûté ou non, le sol, la topographie, les talwegs);
  - > les pressions anthropiques (la répartition des taux d'imperméabilisation et les taux d'espaces verts, le réseau d'égouttage, par petit bassin versant);
  - > les zones exposées (topographie des fonds de vallées voûtés ou non) ;
  - > l'aléa d'inondation (enquêtes zones inondées historiques et caractéristiques de fréquence observée, étendue, hauteur d'eau, vitesses d'arrivée et de vidange) ;
  - > le classement des zones vulnérables et des dommages (en fonction des enjeux) ;
  - > le zonage des mesures, les superficies disponibles par type de mesure,...;
  - > ...
- L'appui de la modélisation hydrologique et hydraulique, tels :
  - > Le fonctionnement du réseau d'égouttage et des bassins d'orage existants;
  - > Le fonctionnement de l'évacuation par les émissaires y compris en leur aval (par exemple : effet de rehaussements ou dérivations, effet de la suppression du lit majeur,..., effet des flux amenés par un affluent aval,...);
  - > Le ruissellement dans des situations dépassant la capacité normale du réseau (et donc pour des averses intenses et précipitations exceptionnelles) : exemple du modèle REM<sup>2</sup>U<sup>83</sup> (différent donc de la simulation dans le seul réseau lui-même), cette approche d'évaluation demandant, outre la topologie du réseau d'égouttage, celle du réseau de voiries;
  - > Les simulations basées sur la séquence réelle des précipitations en vue d'apprécier l'effet (mal connu) sur le fonctionnement réel des techniques alternatives et aménagements mis en œuvre.

<sup>83</sup> Tanguy J.M., Al Mikdad O., Zhang B. (2001) "Risque hydrologique pluvial urbain : un outil de simulation des écoulements superficiels" Bulletin des laboratoires des ponts et Chaussées-232-2001-réf. 4364 – pp 85-97.

## 7 Retours d'expérience en matière de mesures et critères

Les enquêtes ou analyses en termes de retours d'expérience sur le plan hydrologique ou hydraulique peuvent porter soit sur la nature des mesures mises en œuvre, soit sur le constat de leurs performances. D'une manière générale, il faut cependant remarquer que les bilans et observations sont assez lacunaires.

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).

### 7.1 EN PARTICULIER...

#### 7.1.1 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 m<sup>3</sup>), 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<sup>84,85</sup> 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 m<sup>2</sup> : 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 m<sup>2</sup>;
- tous les parkings de plus de 10 places de stationnement.

### 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.

<sup>84</sup> « Règlement d'assainissement mis en application le 17 février 2005 » Lille Métropole Communauté Urbaine, 81 pages.

<sup>85</sup> Lille-Métropole (2005) « Assainissement : Rapport annuel sur le prix et la qualité du service public » 165 pages.

### 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.

#### **7.1.2 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.

#### **7.1.3 Bordeaux**

La Communauté Urbaine de Bordeaux (900 km<sup>2</sup> de superficie) répertorie<sup>86,87,88</sup> :

- 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 m<sup>3</sup> 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 :

<sup>86</sup> 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.

<sup>87</sup> Piel C., Maytraud T. (2004) « La maîtrise des eaux pluviales en milieu urbain, support d’un développement 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.

<sup>88</sup> CUB, Direction Opérationnelle de l’Eau et de l’Assainissement : divers documents.

- 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.

#### **7.1.4 Le « Grand Toulouse »**

Pour le Grand Toulouse<sup>37</sup>, il est défini des normes par zone (zonage d'assainissement pluvial<sup>89</sup> 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 maximum<sup>90</sup>;
- 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)<sup>90</sup>.

Seul l'excès de ruissellement est canalisé.

#### **7.1.5 Ville de Rennes**

Pour la Ville de Rennes<sup>91</sup>, deux types de zones sont retenus dans le cas de permis de construire, la commune prenant dès lors en charge vers le réseau<sup>92,93</sup> 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% ;

<sup>89</sup> 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.

<sup>90</sup> 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.

<sup>91</sup> 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.

<sup>92</sup> Seules les surfaces raccordées au réseau, unitaire ou pluvial, sont soumis à l'application de ces règles de compensation. Celles raccordées aux fonds inférieurs sont soumises à la Loi sur l'eau.

<sup>93</sup> 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.

- 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 m<sup>2</sup> où si les volumes de stockage calculés sont inférieurs à 1m<sup>3</sup> pour une création et 2 m<sup>3</sup> 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 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.

## 7.2 L'APPROCHE SPATIALE RAISONNÉE

La démarche décrite par le Département des Hauts-de-Seine<sup>94</sup> 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... ».

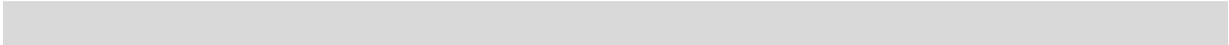
En résumé :

<sup>94</sup> Les Hauts-de-Seine couvrent une périphérie urbaine et semi-urbaine étendue, au voisinage ouest de la région parisienne.

<sup>95</sup> 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.

- 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.

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 Retours d'expérience en matière d'efficacité

En suite aux Points précédents, on peut déjà résumer les limitations hydrologiques ou hydrauliques générales perçues en tant que telles ; elles sont énumérées dans le schéma de la Figure 43.

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.

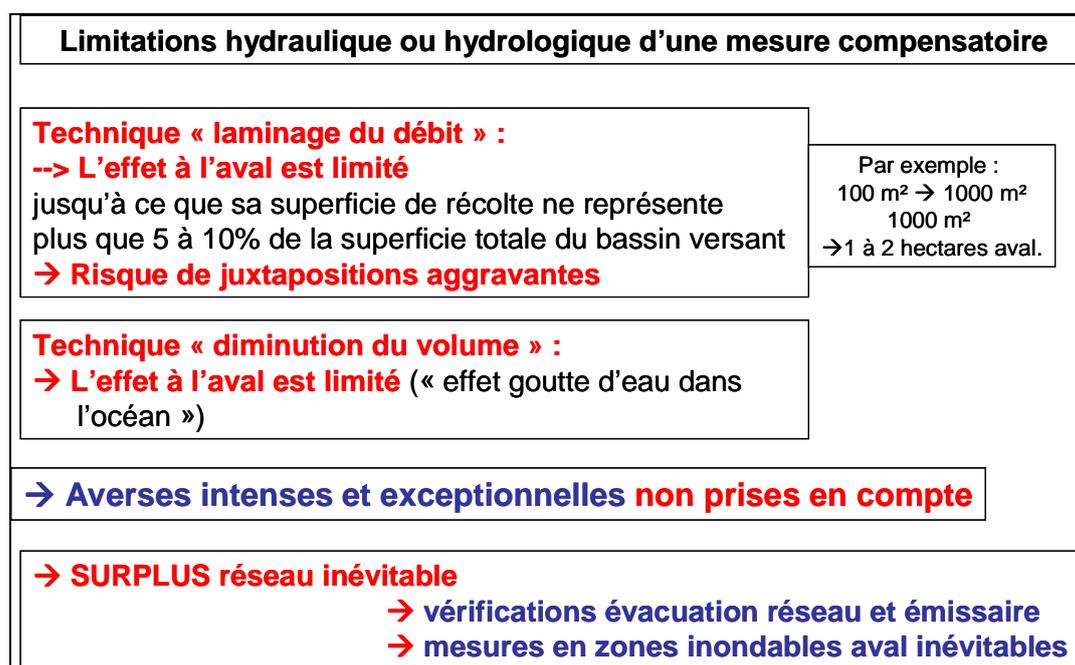


Figure 43 – Résumé des limitations générales de l'efficacité hydrologique ou hydraulique.

### 8.1 AU SUJET DE QUELQUES TECHNIQUES

#### 8.1.1 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.

#### *8.1.1.1 Tournai*

L'exemple est rapporté par les représentants de la ville de Tournai lors de notre visite : 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 nous a été également rapporté lors de notre visite à Lille.

#### *8.1.1.2 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 (confer Figure 44 et Figure 45).

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.

Figure 44 - 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 certaine 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

Figure 45 – Extrait de Compte-rendu de la CUB (Bordeaux) – Commission Assainissement et Eau : séance du 1<sup>er</sup> décembre 2005.

### 8.1.1.3 Autres

D'autres exemples de la littérature conduisent à des constats aléatoires<sup>96,97, 98</sup> :

- Sur base d'essais avec simulateurs de pluie (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 Ontario<sup>99</sup> (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.

<sup>96</sup> Seneca College, King City, Ontario « Performance evaluation of permeable pavement and a bioretention swale » Interim Report, 2006.

<sup>97</sup> Tels qu'exposé par Ferguson B. F. (2005) « Porous pavements » Integrative Studies in Water Management and Land development, Robert F. France Ed., 577 pages.

<sup>98</sup> Rezé : exemple plus ambigu, du fait du constat de la présence de tranchée sous-jacente.

<sup>99</sup> Référence <http://www.gis/~dmiller/porpave.htm>, cité par « Le revêtement poreux » Société canadienne d'hypothèques et de logement SCHL-CMHC» (2003) (4 pages).

- 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 rédhitoires.

### **8.1.2 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. Rappelons cependant que l'efficacité des toitures-bacs est au moins équivalente pour une épaisseur de stockage utile deux fois moindre.

On rappellera que sont examinés ici uniquement les aspects (avantages, inconvénients) hydrologiques ou hydrauliques. Les autres critères (paysagers, installation, coûts,..) sont analysés par les autres partenaires du Consortium d'étude.

#### **8.1.2.1 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 efficacité 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 m<sup>2</sup> (végétation extensive sur substrat de 15 cm<sup>100</sup>, pas d'indication quant au système de régulation du débit de fuite) : la partie de l'étude<sup>101</sup> 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 verdurisées<sup>102</sup> (système drainant, régulation du débit de fuite et surverse non décrits), différentes observations:

<sup>100</sup> Remarque : plus souvent de 10 cm au maximum.

<sup>101</sup> 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](http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/pubs/ctus/65_f.html).

<sup>102</sup> 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 38<sup>th</sup> IFLA World Congress (International Federation of Landscape Architects), Singapore, 12 pages.

- > 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).
- Réponse de toitures verdurisées (« toitures-vertes ») à des averses intenses sur base de simulations<sup>103</sup> : 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<sup>104,105</sup> 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 étude<sup>106</sup> 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).

### 8.1.2.2 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

<sup>103</sup> NRC-CNRC (2003) « Evaluating Rooftop and Vertical Gardens as an Adaptation Strategy for Urban Areas » CCAF Report B1046, 106 pages.

<sup>104</sup> 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.

<sup>105</sup> 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.

<sup>106</sup> Kriks D., Opheim B., Russell R., Washburn M. (2006) "Green Roof Design for the University of Iowa IHR Building- Project Report" The Univ. of Iowa.

l'étude<sup>105,107</sup> 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, non à la porosité efficace mais 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, 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.

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).

### **8.1.3 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 montrent<sup>108</sup> 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, détritux divers,...), sous peine de se transformer en mares ou en égouts à ciel ouvert.

## **8.2 LES VUES D'ENSEMBLE**

### **8.2.1 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.

<sup>107</sup> De Cuyper K., Dinne K. (2006) « Toitures-vertes : Evacuation des eaux pluviales » CSTC-Contacts 1(3-2006).

<sup>108</sup> 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.

Signalons à ce propos encore le constat de J. Maigne<sup>78</sup> qui remarque que la ville de Bordeaux n'a qu'un intérêt limité pour un suivi du fait que la politique d'assainissement s'appuie surtout sur ses bassins de rétention.

### **8.2.2 Seine-St-Denis**

En termes de retours d'expérience, on mettra en exergue le bilan effectué par le Département Seine-St-Denis<sup>109</sup>, 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 ».

### **8.2.3 Douai**

Compte tenu de la nécessité de gestion, d'autant plus complexe que sont multiples et décentralisées les actions locales. J. Maigne<sup>78</sup>, 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.

### **8.2.4 En synthèse...**

Le constat général implicite ou explicite est « une considérable incertitude sur la durabilité (durée de vie réelle) de ces systèmes multipliés »<sup>110,111</sup>.

S'inspirant de l'analyse et des suggestions de J. Maigne<sup>78</sup>, l'encart qui suit résume la situation.

---

<sup>109</sup> 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.

<sup>110</sup> « 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.

<sup>111</sup> 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.

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).

## 9 Conclusions et Recommandations

Les présentes conclusions et recommandations sont vues sur le plan hydrologique et hydraulique et portent sur les aspects **quantités et qualité des eaux pluviales urbaines en relation avec la problématique des averses intenses**. Elles sont déduites d'une analyse de retours d'expérience relatifs aux 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 des 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...

### 9.1 CE QUI EST PROMU

#### 9.1.1 *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 urbaines pluviales**:

- 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,
- L'évaporation de plans d'eau.

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 (règlementations 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.

### 9.1.2 Les mesures compensatoires prioritaires (...Figure 46)

→ 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).

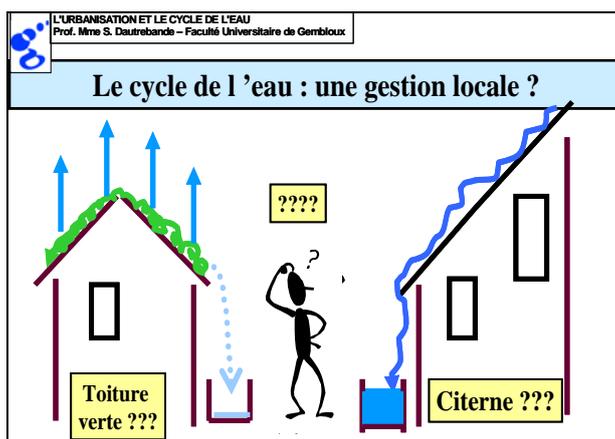


Figure 46 – Les Mesures compensatoires et les Techniques alternatives : un choix à composantes multiples, et une gestion coordonnée.

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 en période hors estival ou 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.**

## 9.2 L'EFFICACITÉ DES MESURES COMPENSATOIRES

→ 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 du 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.

### 9.2.1 La nécessité de planification et de gestion globale

→ Le paramètre de réussite proposé eu égard aux 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 (solicitation 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 question des eaux pluviales urbaines ainsi que quelques spécialistes scientifiques.

→ Il importe de considérer que **l'unité fonctionnelle est le petit bassin versant de talweg<sup>14</sup> 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'immixtion**, 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 (...Figure 46) 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, conférer Point 1.1.1), gestion du « **système mineur** », c'est-à-dire :
    - **le 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) (« Niveau 3 ») et exceptionnels (« Niveau 4 »), gestion du « **système majeur** » avec :
  - o sollicitation des espaces publics, avec :
    - 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<sup>3</sup>, création et gestion de zones inondables, limitation de l'exposition et de la vulnérabilité);
    - 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'immixtion, 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,...).

#### **9.2.2 En appui**

→ 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).

## 10 Documentation complémentaire consultée

La documentation spécifique utilisée est référencée en Note bas de page, une documentation complémentaire a été consultée. Notamment :

- Agence de l'Eau Artois-Picardie (2004) « Bilan du SDAGE du bassin Artois-Picardie », 116 pages.
- Agence de l'Eau Artois-Picardie « Vers une nouvelle politique de l'aménagement urbain par temps de pluie » 56 pages.
- Agence d'Urbanisme, Extrait du PLU (Plan local d'urbanisme) de la Communauté Urbaine de Bordeaux (2003) « Evolution de l'emprise urbaine » Document.
- Andjelkovic I. (2001) « Guidelines on non-structural measures in urban flood management » IHP-V Technical Documents in Hydrology N050, Unesco, Paris, 85 pages.
- André A. B.E. Geoplus (2005) « Divonne-les-Bains Du schéma directeur des eaux pluviales au Plan Local d'Urbanisme : vers une intégration de la problématique eaux pluviales en amont des projets d'aménagement » GRAIE –Etat-Conseil général de l'Ain- Journée d'information départementale ; page 74 à 80.
- Bordeaux Métropole CUB, Février 1998, mise à jour Janvier 1999 « Les solutions compensatoires d'assainissement pluvial sur la Communauté urbaine de Bordeaux - Guide de réalisation », 91 pages + annexes.
- CERTU (2003) « La ville et son assainissement : Principes, méthodes et outils pour une meilleure intégration dans le cycle de l'eau – L'essentiel » Dossier, 15 pages.
- Ayral P.A. (2005) « Contribution à la spatialisation du modèle opérationnel de prévision des crues éclair ALTHAÏR » – Thèse de doctorat, université de Provence) aussi citant Dauge, 1999.
- Boone County, Indiana « Stormwater Technical Standards Manual» Edition 2004, developed by: Christopher B. Burke Engineering Ltd (CBBEL).
- C.E.T.E. du Sud-ouest « - Guide méthodologique pour la prise en compte des eaux pluviales dans les projets d'aménagement » Fascicule I-II et III, Missions et délégations Interservices de l'Eau des départements 11-30-34-48-68 ; version de février 2002, 26 pages.
- CH2M HILL B., Derry C., Butchart, Graham P. (2004) « Analysis and recommendations for the use of LID Techniques in Punget Sound » 33 pages.
- Communauté d'agglomération du grand Toulouse, Service d'assainissement « Guide de gestion des eaux de pluie et de ruissellement » Version Janvier 2006, 50 pages.
- Dautrebande S. (2003) "Les inondations par ruissellement : pour une approche *petits bassins versants* " Tribune de l'Eau, Numéro spécial « Gestion des eaux pluviales », N°4, Vol 56 – N°624, Cebedoc Ed., pages 4 à 12.
- Deutsch J.C. Coord. (1989) « Mémento sur l'évacuation des eaux pluviales » La documentation française, Paris, 342 pages.
- Echols S. P. (2002) « Split-flow Stormwater Management Strategy: Development Design Feasibility and Cost Comparison" Dissertation, Blacksburg, Virginia, 190 pages.

- Freni G. « Catchment-scale efficiency evaluation of distributed stormwater management practices » Thesis, 220 pages.
- Krejci V. et Kreikenbaum S. (2004) "Concepts de protection des eaux en temps de pluie" Projet STORM, 8 pages.
- L'Atelier d'aménagement, d'urbanisme et d'environnement (1999) « Milieu urbain et gestion de l'eau au Québec » Mémoire présenté au BAPE dans le cadre de la gestion publique sur la gestion de l'eau au Québec.
- Lemieux F. (2005) « Drainage urbain » Univ. De Sherbrooke, 59 pages.
- Martin Ch. Et Legret M. (2005) « La méthode multicritère ELECTRE III – définitions, principe et exemple d'application à la gestion des eaux pluviales en milieu urbain » Bulletin des Lab. Des Ponts et Chaussées -258-259 réf. 4568 ; pp 29-46.
- McQuillan & M. Menzies (2004) « Auckland City's innovative storm management programme » 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 871-878.
- Mehler R. and Ostrowski M. W. (1999) « Comparison of the efficiency of best stormwater management practices in urban drainage systems » Wat. Sci. Tech. Vol. 39, N° 9, pp 269-276.
- North Carolina Department of Environment and Natural Resources (2005) « Updated Draft Manual of stormwater best management practices", Division of water Quality; environ 500 pages.
- Northeastern Illinois planning commission, Environment and Natural Resources group; the ecological planning and design directory (2005) "Changing Cost perceptions: An analysis of conservation Development".
- Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (2000) « Où évacuer l'eau de pluie – Exemples pratiques » Berne, 59 pages.
- Pennsylvania (2006) « Pennsylvania Stormwater Best Management Practices Manual » Final Draft; environ 600 pages.
- Tessandier A. (2003) « Aide au choix d'une stratégie d'assainissement pluvial » Journées LCPC-EAU (présenté par M. Romera/LRPC Bordeaux.
- Vaes G. (1999) « The influence of rainfall and model simplification on combined sewer system design » KUL, Doctoraat Proefschrift.
- Vaes G., Berlamont J. (2001) « The effect of rainwater storage tanks on design storms » Urban water 3(2001) 303-307.
- Vaes G., Willems P., Berlamont J. (2001) "Rainfall input requirements for hydrological calculations" Urban Water 3(2001) 107-112.
- Vignerot Sylvie (2003) « La réutilisation de l'eau de pluie : une réponse locale à des enjeux d'agglomération » GRAIE – CERTU ; L'écho de l'eau – N° 13.
- Ville de Lille (2003) « Campagne d'année sur l'Eau 2001-2002 » Actes du Colloque, 220 pages.
- Ville de Lille (2001) « Agenda Lillois » 36 pages.