

IMPACTS ET JUSTIFICATIONS

CHAPITRE 2

Ce chapitre examine de façon générale les principaux impacts hydrologiques qu'on peut associer à une urbanisation du territoire. Plusieurs des aspects abordés ici sont discutés plus en détails à des chapitres ultérieurs mais on retrouvera aux sections qui suivent une vue d'ensemble des différents impacts et une discussion générale des approches qui permettent de les minimiser. La dernière section du chapitre traite par ailleurs de la question des changements climatiques et suggère une approche pour en tenir compte dans la conception des réseaux de drainage.

2.1 IMPACT GÉNÉRAL DU DÉVELOPPEMENT URBAIN SUR LE RUISSELLEMENT

L'urbanisation dans un bassin versant peut produire des changements importants au cycle naturel de l'eau.

Le remplacement des sols perméables qu'on retrouve à l'état naturel par des surfaces imperméabilisées, comme les toits ou les routes, entraîne une augmentation de la quantité de ruissellement ainsi qu'une dégradation des milieux récepteurs. Historiquement, jusqu'aux années 1960 en Amérique du Nord, l'évacuation rapide et efficace des eaux pluviales s'est avérée le principal (et souvent le seul) objectif visé par la mise en place des réseaux de drainage. Les conséquences de cette approche étaient prévisibles, conduisant à des inondations en aval, une pollution accrue des milieux récepteurs et des modifications aux cours d'eau.

La figure 2.1 montre les principales composantes du cycle hydrologique. La précipitation qui atteint le sol peut soit ruisseler directement jusqu'à un cours d'eau, s'infiltrer dans le sol ou être interceptée par la végétation. La pluie

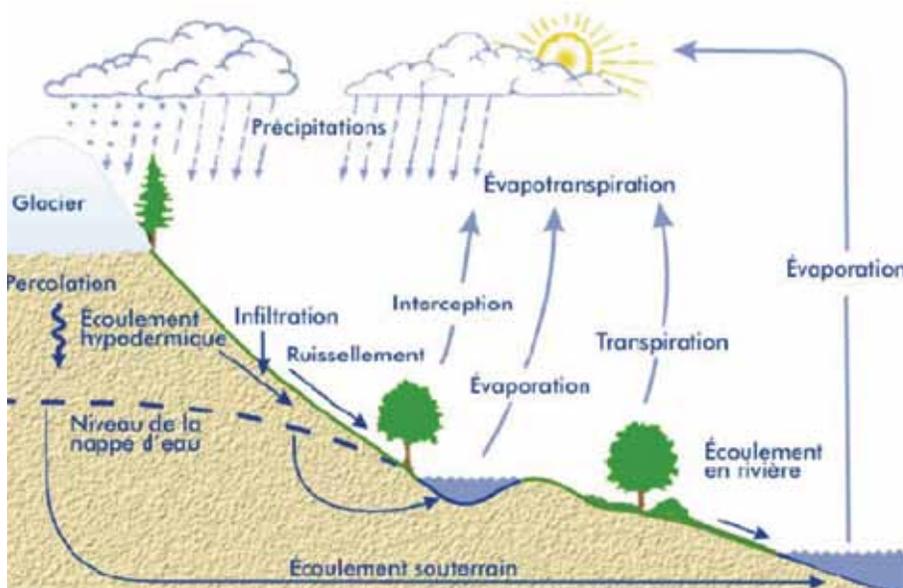


Figure 2.1 Composantes du cycle hydrologique.

retenue par interception et une partie des quantités d'eau de surface peut retourner à l'atmosphère par évaporation. Quant à l'eau infiltrée, elle peut en partie percoler pour recharger la nappe phréatique et en partie s'écouler de façon souterraine pour rejoindre les cours d'eau ou la mer. Une portion de l'eau infiltrée qui est emmagasinée près de la surface du sol est retournée à l'atmosphère par les plantes via un processus de transpiration. Les écoulements d'eaux souterraines maintiennent les débits dans les cours d'eau entre les événements pluvieux et sont conséquemment un facteur déterminant pour le maintien des habitats.

Pratiquement, donc, la précipitation s'abattant sur un territoire pourra prendre une ou l'autre des directions suivantes :

- Après une percolation à faible profondeur, l'eau pourra rejoindre un cours d'eau en s'écoulant lentement à travers le sol (écoulement hypodermique);
- Après une percolation verticale, elle ira rejoindre la nappe phréatique;
- Retour dans l'atmosphère (par évaporation des surfaces ou transpiration de la végétation);
- Écoulement sur le sol – ruissellement de surface.

Traditionnellement, la conception des réseaux de drainage urbain s'est concentrée uniquement sur la composante de ruissellement de surface. Les tendances plus récentes en matière de gestion des eaux pluviales, ayant mis en évidence l'importance de contrôler non seulement l'augmentation des débits de ruissellement mais également les volumes, nécessitent de porter une attention plus poussée

aux autres composantes, en particulier les processus d'infiltration. De façon générale, les techniques et méthodes de drainage à privilégier devraient viser à reproduire le mieux possible les conditions qui prévalaient avant le développement, ce qui implique nécessairement de tenir compte de l'ensemble des composantes dans le cycle hydrologique.

L'analyse du bilan hydrique permet d'évaluer quelle portion de la précipitation ruissellera ou s'infiltrera. Les impacts de l'urbanisation sur le cycle de l'eau, qui sont schématisés à la figure 2.2, sont essentiellement liés à l'imperméabilisation des surfaces qui entraîne une réduction marquée des capacités d'infiltration du sol. Le pourcentage de la pluie qui ruisselle augmentera donc avec le développement urbain, ce qui produira nécessairement une augmentation des débits et des volumes de ruissellement. Cette modification des paramètres de ruissellement, couplée avec l'efficacité accrue des canaux et réseaux de drainage, se traduit finalement par une augmentation de la fréquence et de l'ampleur des débits dans les cours d'eau, et ce, pour la gamme complète des débits en temps de pluie.

Les débits d'étiage, en période de temps sec, pourront quant à eux diminuer dans certains cas à cause de l'urbanisation (figure 2.3). La principale cause de cette réduction est la diminution des quantités d'eau infiltrées qui ne peuvent plus ainsi contribuer à la recharge des nappes souterraines. La mise en place de conduites peut également avoir un effet sur le niveau de la nappe phréatique dans un secteur urbanisé. La baisse des débits d'étiage pourra en retour avoir un impact sur la concentration



Figure 2.2 Impacts de l'urbanisation sur les milieux aquatiques (Chocat, 1997).

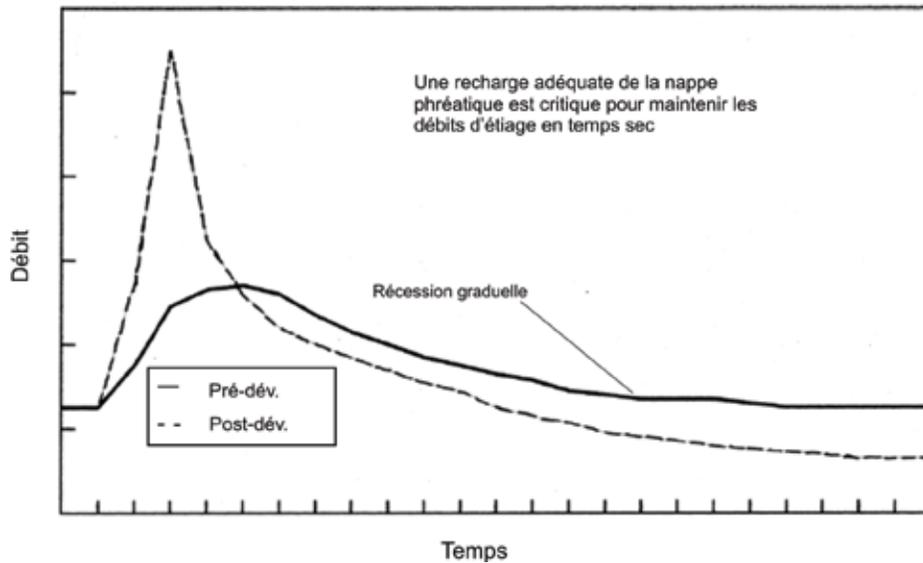


Figure 2.3 Diminution des débits d'été due à une recharge diminuée des eaux souterraines (adapté de MDE, 2000).

des polluants dans les cours d'eau considérant les capacités de dilution qui sont réduites.

Les figures 2.4, 2.5 et 2.6 fournissent d'autres représentations générales des modifications pouvant être apportées aux différentes composantes du cycle hydrologique par l'urbanisation d'un territoire. Globalement, on constate donc qu'il se produit avec l'urbanisation une altération significative de la quantité d'eau infiltrée et aussi de la partie de la précipitation qui peut s'évaporer, ce qui influence de façon marquée non seulement les débits de pointe qui sont générés **mais également les volumes de ruissellement**. Si on désire minimiser les impacts et tenter de reproduire après le développement les conditions qui prévalaient avant l'urbanisa-

tion, on devra donc, comme le recommandent les approches et tendances plus récentes en gestion des eaux pluviales, porter une attention particulière à la gestion des volumes de ruissellement (et non pas seulement aux débits de pointe).

Les approches à privilégier pour la réduction des volumes de ruissellement comprennent des techniques impliquant l'infiltration, l'évapotranspiration et la réutilisation des eaux pour différents usages. Comme ces pratiques sont plus difficilement applicables à grande échelle, on doit donc tenter d'effectuer les contrôles le plus près possible de la source. Les pratiques traditionnelles de gestion des eaux pluviales, comme les bassins de rétention, offrent très peu de possibilités quant à la réduction

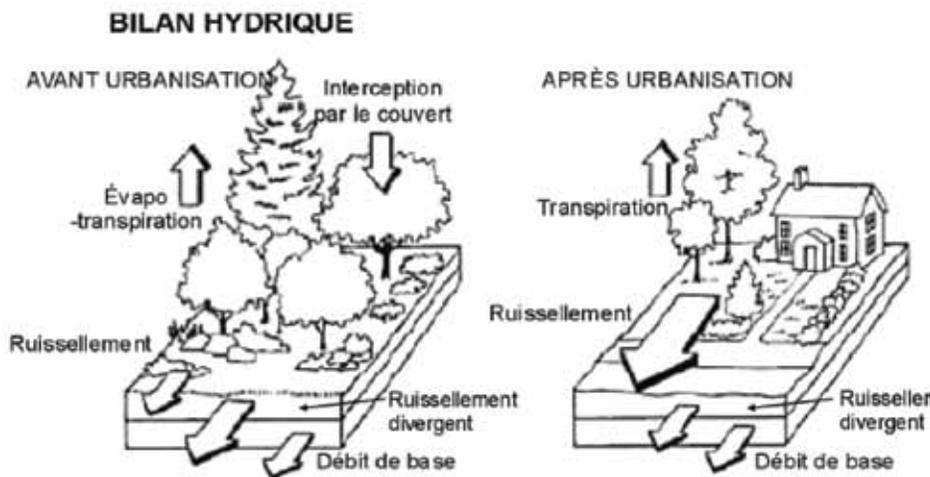


Figure 2.4 Modifications aux paramètres hydrologiques dues à l'urbanisation (adapté de Schueler, 1987).

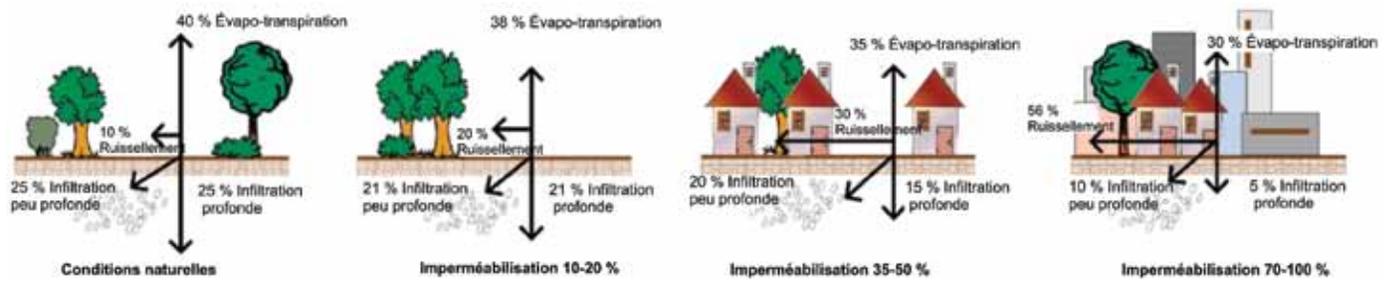


Figure 2.5 Modifications aux paramètres hydrologiques dues à l’urbanisation – Les valeurs des paramètres sont approximatives (adapté de FISRWG, 1998).

des volumes puisqu’ils ne produisent généralement qu’un simple décalage dans le temps des débits (les volumes totaux se déversant au milieu récepteur étant pratiquement inchangés par le bassin).

Cet impact sur le régime hydrologique est par ailleurs non uniforme en ce qui a trait aux périodes de retour des événements considérés. En effet, plusieurs études ont permis d’établir que les effets de l’urbanisation sur les débits sont plus importants proportionnellement pour les événements fréquents que pour les événements plus rares. À titre d’exemple, Hollis (1975) a observé pour un bassin avec un pourcentage imperméable de 30 % que les débits de récurrence 1 dans 100 ans augmentaient par un facteur 1,5 alors que ceux pour une récurrence de 1 dans 2 ans ou annuel augmentaient par des facteurs variant de 3,3 à 10,6 respectivement.

De plus, à mesure que le territoire s’urbanise, on assiste à une augmentation du ruissellement pour des épisodes de pluies fréquentes (par exemple inférieur à une fréquence de 1 dans 2 ans) et, conséquemment, à une augmentation de la fréquence d’apparition de pointes de débit dans les réseaux et cours d’eau. À titre d’exemple, lorsqu’on est en présence d’un champ ou d’une forêt, les petites pluies produiront un ruissellement faible ou même nul alors qu’après l’urbanisation, ces mêmes pluies pourront générer des débits plus appréciables. La figure 2.7 fournit une illustration de ce point, en mettant en évidence les différences importantes de ruissellement généré entre un boisé et une aire de stationnement largement imperméabilisée. La figure fait également ressortir le fait que les écarts relatifs entre les débits de ces deux états du territoire sont plus importants dans le cas de pluies moins abondantes, donc plus fréquentes. La gestion du ruissellement pour **de petits événements pluvieux** est un aspect important à considé-

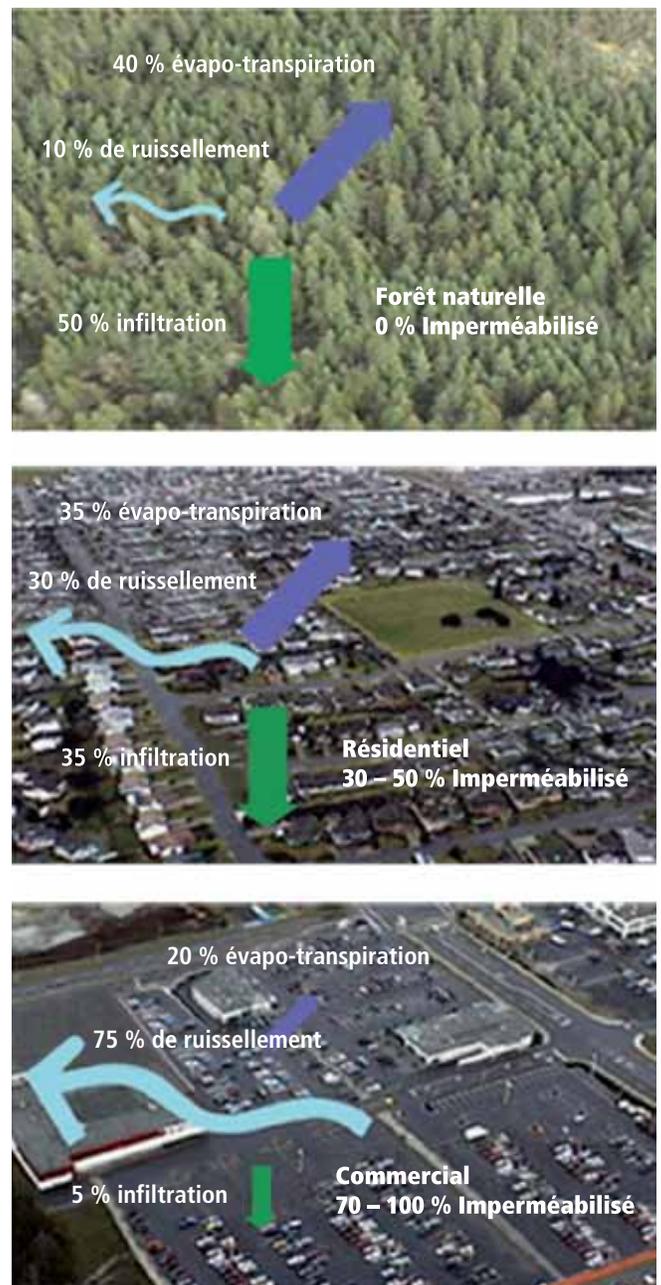


Figure 2.6 Modifications aux paramètres hydrologiques dues à l’urbanisation (adapté de Stephens, 2002).

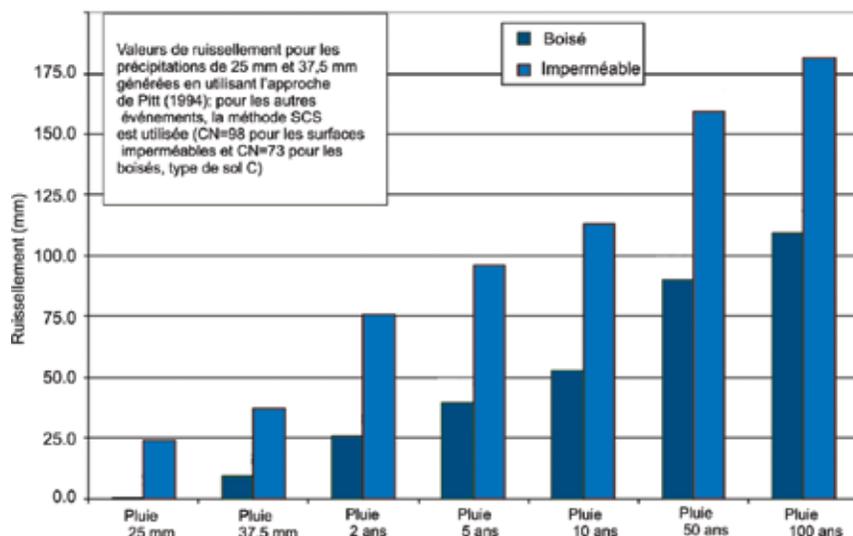


Figure 2.7 Comparaison des quantités ruisselées entre un secteur boisé et un autre complètement imperméabilisé (adapté du manuel de Pennsylvanie, 2006).
Voir chapitre 6 pour une discussion de la méthode SCS et des indices de ruissellement (CN).

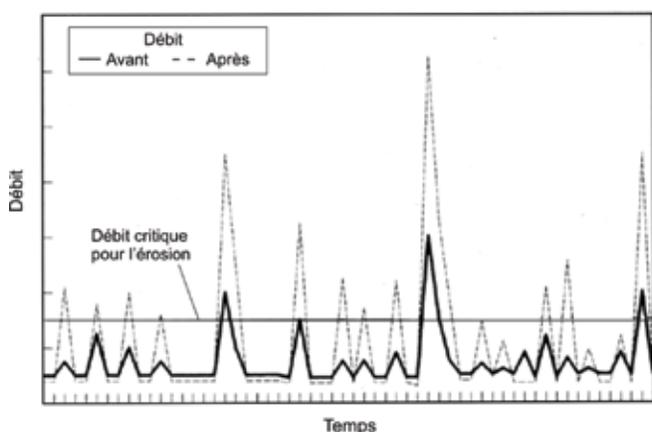


Figure 2.8 Illustration pour l'augmentation de la fréquence des débits plus grands que le seuil critique pour l'érosion en cours d'eau (adapté de MDE, 2000).

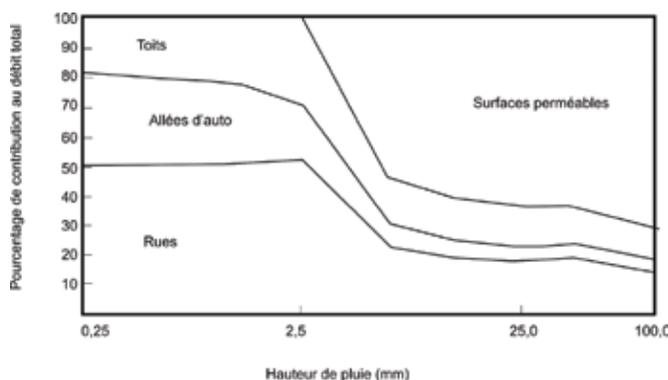


Figure 2.9 Origine des débits générés par un secteur résidentiel de densité moyenne avec des sols argileux (adapté de Pitt et Voorhees, 2000).

rer pour le contrôle de la qualité des eaux rejetées et de l'érosion en cours d'eau. La figure 2.8 illustre quant à elle le fait que l'urbanisation entraînera une augmentation de la fréquence des débits se situant au-dessus du seuil critique pouvant générer de l'érosion dans les cours d'eau.

Un autre aspect lié au point précédent est que la relation entre la précipitation et le ruissellement n'est pas linéaire, ce qui fait que les différents types de surfaces (perméables ou imperméables) auront une réponse hydrologique différente pour des pluies de différents ampleurs. Ainsi, comme le mettent en évidence les courbes de la figure 2.9 pour un secteur résidentiel du centre-nord américain, les précipitations avec une quantité d'eau inférieure à 2,5 mm ne produiront pas de ruissellement pour les surfaces perméables, seuls les surfaces pavées et les toits générant des débits; au fur et à mesure que la précipitation augmente, la contribution des surfaces perméables augmentera également mais de façon non linéaire. Cette non-linéarité est plus prononcée pour des surfaces perméables que pour des surfaces imperméables, qui typiquement ont une réponse constante ou quasi-linéaire une fois que le ruissellement aura commencé. Ces différentes abstractions initiales et réponses hydrologiques font en sorte que le ruissellement produit par chaque type de surface varie considérablement selon l'ampleur de la pluie, ce qu'illustre schématiquement la figure 2.9.

Cette distinction est importante pour l'élaboration des plans de gestion des eaux pluviales parce qu'elle identifie

les sources de ruissellement qui ont le plus grand impact sur différents objectifs de contrôle. Si l'objectif est de contrôler la qualité des rejets et les impacts de la pollution causés de façon prédominante par de petits et fréquents événements pluvieux, on voit alors que le contrôle (et la réduction) des surfaces imperméables et le ruissellement qu'elles génèrent deviendront fondamentaux. D'un autre côté, si le contrôle de l'érosion et des inondations est plus critique, tous les différents types de surfaces sont importants puisqu'ils contribuent tous au ruissellement survenant lors des événements plus rares avec de plus grandes quantités de pluie.

En d'autres mots, les figures 2.7 et 2.9 mettent en évidence les points suivants :

- Les couverts perméables et imperméables répondent différemment d'un point de vue hydrologique à la pluie. Le pourcentage relatif de ruissellement produit pour chaque type de surface par rapport au ruissellement total varie avec la quantité totale de pluie.
- Les surfaces imperméables produisent typiquement la majorité du ruissellement pour de petits événements pluvieux, alors que le pourcentage venant des surfaces perméables augmente de façon non-linéaire avec l'augmentation de la quantité de pluie.

De plus, le ruissellement pour les surfaces imperméables peut aussi varier en fonction de leur rugosité, des conditions de surface et de leur connectivité au réseau de drainage. Des surfaces imperméables directement raccordées peuvent produire un volume de ruissellement plus important vers les milieux récepteurs que

des surfaces qui ne sont pas directement raccordées (une zone perméable pouvant par exemple être insérée entre la zone imperméable et le fossé ou la conduite).

Le pourcentage imperméable est par ailleurs un bon indicateur général pour analyser les impacts sur la biodiversité, l'érosion et la qualité des cours d'eau; plusieurs études ont démontré une corrélation significative entre cette qualité et le pourcentage imperméable des bassins versants. La figure 2.10, adaptée de Schueler (2008), indique que des impacts sont visibles à partir de 10 % d'imperméabilisation et que les habitats peuvent se dégrader de façon importante entre 25 % et 60 % d'imperméabilisation, devenant non viables pour la plupart des espèces de poissons et affectant la biodiversité. On remarquera par ailleurs qu'il existe une gamme à l'intérieur de laquelle on observe une variation significative de la qualité des cours d'eau, pour un pourcentage d'imperméabilité donné.

Si l'objectif est de préserver la qualité des milieux récepteurs, on constate donc qu'il devient important de minimiser le couvert imperméable et de gérer efficacement les eaux de ruissellement au fur et à mesure que se poursuit l'urbanisation dans un bassin versant.

Globalement, les impacts de l'urbanisation touchent les aspects tant quantitatifs que qualitatifs, ce qui a évidemment un effet sur la morphologie des cours d'eau qui agissent comme milieu récepteur et la qualité des habitats dans ces milieux. Ces différents aspects sont examinés plus en profondeur aux sections suivantes. La dernière section du chapitre 2 abordera les impacts appréhendés des changements climatiques.

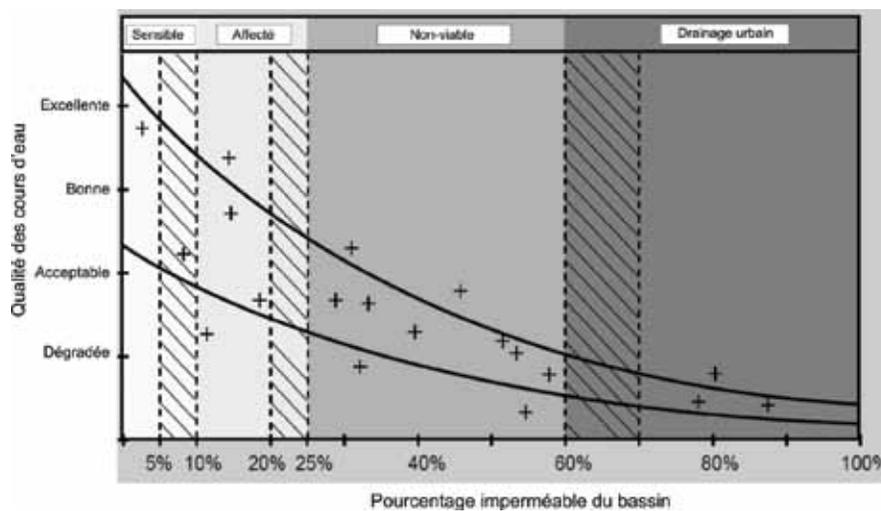


Figure 2.10 Relation entre le pourcentage de couvert imperméable et la qualité des cours d'eau (adapté de Schueler, 2008).

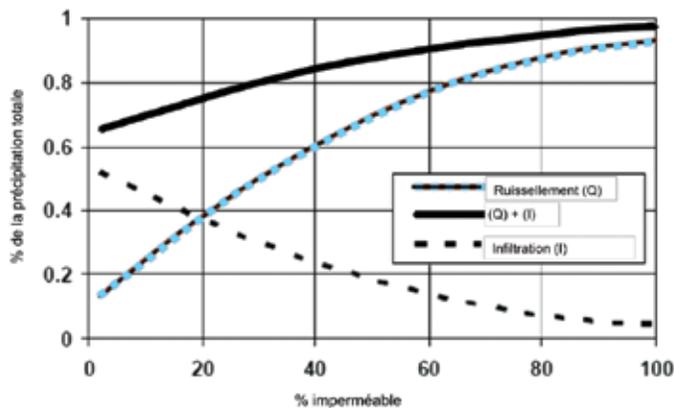


Figure 2.11 Changement dans les paramètres hydrologiques avec l'urbanisation (adapté de Marsalek, 1991 (cité dans Aquafor Beech, 2006).

2.2 IMPACTS QUANTITATIFS

Comme le montre la figure 2.11, adaptée de Marsalek (1991), le pourcentage imperméable fournit un indicateur fondamental des changements hydrologiques associés à l'urbanisation: au fur et à mesure que l'imperméabilisation d'un secteur augmente, les pourcentages de ruissellement de surface et d'infiltration se modifient et pour un terrain 100 % imperméable, le pourcentage d'infiltration est relativement faible.

La figure 2.12, basée sur les mesures obtenues aux États-Unis dans le cadre du programme NURP (*National Urban Runoff Program, EPA, 1983*), illustre cette relation qui a été établie entre le coefficient de ruissellement et le pourcentage imperméable. On constate évidemment que le pourcentage de précipitation qui est transformé

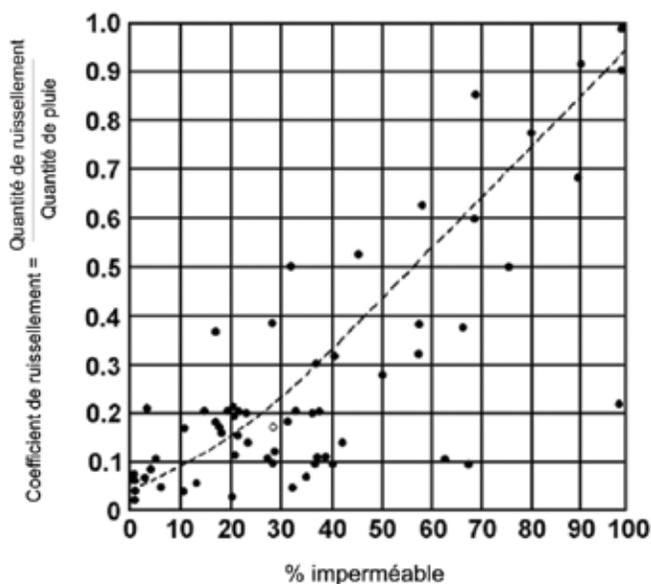


Figure 2.12 Relation entre le coefficient de ruissellement et le pourcentage imperméable (EPA, 1983).

en ruissellement augmente proportionnellement avec le pourcentage imperméable. Soulignons que les événements inclus dans ce graphique sont de façon générale des événements d'ampleur relativement petite et on constate également qu'il y a une dispersion appréciable des quantités qui ruissellent pour un même pourcentage d'imperméabilité, ce qui peut évidemment dépendre d'autres caractéristiques des bassins étudiés (comme la pente) mais également des conditions antécédentes de précipitation.

La figure 2.13 illustre par ailleurs les répercussions générales de l'urbanisation pour l'aspect quantitatif, en examinant les conséquences observables pour un cours d'eau. Dans le cas d'un bassin versant développé avec une densité moyenne, cette urbanisation se traduit directement par une série de modifications aux conditions hydrologiques. Parmi les principales conséquences, on retrouve notamment (Schueler, 1987):

- un débit de pointe deux à cinq fois supérieur aux niveaux antérieurs à l'urbanisation;
- l'augmentation du volume des eaux de ruissellement à chaque événement pluvieux;
- la diminution du temps de concentration;
- des inondations pouvant être plus fréquentes et plus importantes;
- une baisse du débit de base des cours d'eau durant les périodes de sécheresse prolongées, en raison de la baisse de l'infiltration dans le bassin versant;
- l'augmentation de la vitesse de l'écoulement.

Généralement, on observe que les débits de récurrence plus rare sont moins affectés que les débits plus fréquents et que les impacts hydrologiques de l'urbanisation tendent à diminuer, en terme relatif, à mesure que l'intervalle de récurrence augmente. Hollis (1975) et plusieurs autres chercheurs ont indiqué qu'il n'était pas rare qu'un événement associé auparavant à une période de retour de 1 dans 10 ans devienne, avec une urbanisation accrue, un événement beaucoup plus fréquent, avec par exemple une période de retour de 1 dans 2 ans.

Une autre importante caractéristique des bassins versants imperméabilisés suite à l'urbanisation est la production de ruissellement même durant des événements pluvieux relativement petits. Comme on l'a déjà souligné, en conditions naturelles ces précipitations ne génèrent pas ou peu de ruissellement à cause de l'interception, de l'infiltration et de l'évapotranspiration, alors qu'avec

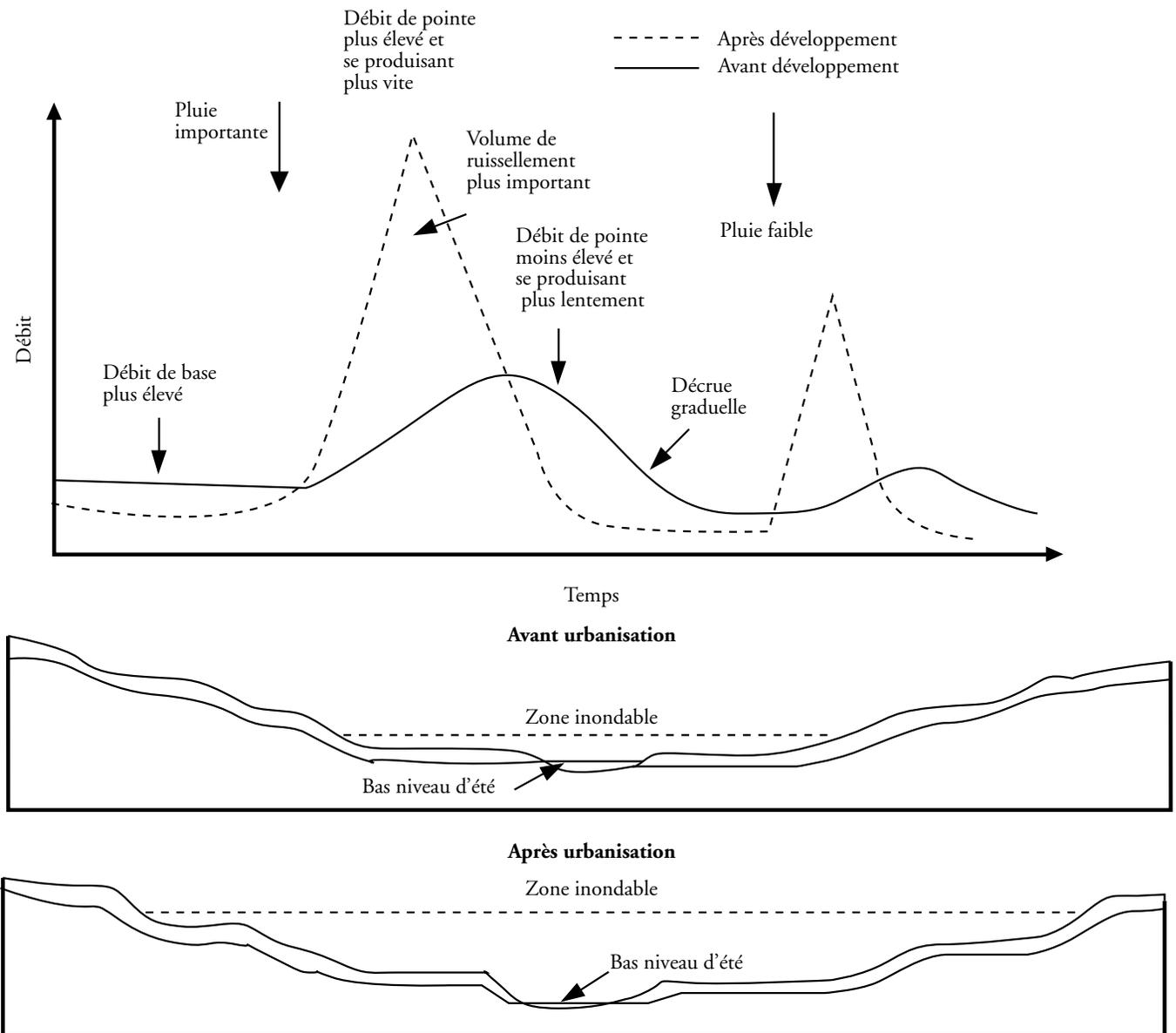


Figure 2.13 Modifications de l'hydrologie du bassin versant causées par l'urbanisation (adapté de Schueler, 1987).

l'urbanisation, on crée de nouveaux événements de ruissellement. Cette modification peut évidemment apporter des impacts non négligeables à la morphologie des cours d'eau.

Un autre élément mis en évidence par la figure 2.13 est l'augmentation non seulement du débit de pointe mais aussi du volume de ruissellement. Il est important de reconnaître qu'un bassin de rétention qui n'a pour objectif que de limiter les débits après ruissellement à ceux qui prévalaient avant le développement ne fait que retenir les volumes de ruissellement accrus et les relâcher en les décalant dans le temps. Ceci pourra donc créer des conditions dans les cours d'eau où on relâchera un débit pouvant potentiellement causer de l'érosion pendant une période relativement longue. C'est pourquoi les techniques

et approches de réduction près de la source des volumes de ruissellement deviennent importantes à considérer dans un plan de gestion des eaux pluviales.

Un des principes fondamentaux de la gestion des eaux pluviales devrait être de préserver ou de reproduire le mieux possible, par différentes techniques et pratiques, le cycle hydrologique naturel, cela non seulement pour les débits relativement rares (pour minimiser les inondations et refoulements) mais également pour les débits associés à des événements pluvieux plus fréquents. Comme on le verra à des sections ultérieures dans le Guide, **ces plus petits événements sont ceux qui doivent être contrôlés si les objectifs visés sont de gérer la qualité de l'eau rejetée ou l'érosion des cours d'eau**; conceptuellement,

ceci représente donc un changement important par rapport à l'approche traditionnelle utilisée jusqu'à récemment dans la conception des réseaux de drainage avec une préoccupation touchant seulement les débits plus rares.

En résumé, les principaux impacts hydrologiques causés par un développement urbain non contrôlé sont les suivants :

- *Augmentation des volumes de ruissellement* – L'imperméabilisation du territoire entraîne une augmentation des volumes ruisselés totaux, non seulement pour des événements pluvieux importants mais aussi pour de petites pluies, qui ne produisent pas ou peu de ruissellement en conditions naturelles.
- *Augmentation des vitesses de ruissellement* – Les surfaces imperméabilisées et les sols compactés, ainsi que l'efficacité des réseaux de conduites et de fossés, font augmenter la vitesse à laquelle se produit le ruissellement.
- *Temps d'écoulement écourté* – Avec l'augmentation des vitesses de ruissellement, le temps de réponse hydrologique est plus rapide.
- *Augmentation des débits de pointe* – Les débits dans un bassin urbain peuvent être de 2 à 5 fois plus élevés que pour un bassin non développé; les différences varient avec la période de retour considérée, l'augmentation pour des débits rares étant généralement plus faible que celle pour des débits plus fréquents.
- *Augmentation de la fréquence des débits de plein bord* – L'augmentation des volumes et débits de ruis-

sellement fait en sorte que les débits de plein bord, ou qui s'en approchent, se produisent à une fréquence plus élevée. Cette catégorie de débit a une influence directe sur l'érosion en cours d'eau.

- *Diminution des débits d'étiage* – L'infiltration réduite causée par l'urbanisation produit des cours d'eau avec des débits d'étiage plus faibles en temps sec et diminue la quantité d'eau qui peut alimenter les nappes souterraines.

2.3 IMPACTS QUALITATIFS

Jusqu'au début des années 1980, on considérait les eaux pluviales comme une source de pollution relativement mineure. Peu de données sont disponibles pour le Québec mais nombre d'études, comme le *Nationwide Urban Runoff Program* (NURP) des États-Unis (EPA, 1983) et d'autres études menées au Canada et en Europe, démontrent clairement que le ruissellement des eaux pluviales peut constituer une importante source de pollution. En fait, comme le montrent les tableaux 2.1 et 2.2, la quantité de polluants charriée annuellement par les eaux de ruissellement urbaines peut se comparer à celle des effluents d'eaux usées et des rejets industriels. Les tableaux 2.3 et 2.4 fournissent d'autres données comparatives et on pourra constater que pour certains paramètres, notamment les matières en suspension, les charges polluantes générées par le ruissellement urbain dépassent celles produites par les eaux usées après traitement.

Tableau 2.1

Comparaison de la qualité des eaux de débordement des réseaux unitaires, des eaux pluviales et des effluents des stations d'épuration (adapté de Brouillette – 2001).

Paramètres	Unités	Surverses de réseaux unitaires ¹⁻²	Eaux pluviales ²	Eaux usées traitées ³
Coliformes fécaux	(UFC/100 mL)	200 000 – 1 000 000	1 000 – 21 000	≥ 500
Matières en suspension	(mg/L)	270 – 550	67 – 101	15 – 30
DBO5	(mg/L O ₂)	60 – 220	8 – 10	15 – 30
Phosphore total	(mg/L P)	1,20 – 2,80	0,67 – 1,66	0,40 – 1,00
Cuivre	(mg/L)	0,102	0,027 – 0,033	0,032
Plomb	(mg/L)	0,140 – 0,600	0,030 – 0,144	0,046
Zinc	(mg/L)	0,348	0,135 – 0,226	0,410

¹ U.S. EPA (1983) ² Metcalf & Eddy (2003) ³ OMOE (1987)

Tableau 2.2

Qualité des eaux de débordement des réseaux unitaires, des eaux pluviales et des effluents des stations d'épuration
(adapté de Novotny et Olem, 1994).

Type de rejet	DBO5 (mg/L)	MES (mg/L)	Azote total (mg/L)	Phosphore total (mg/L)	Plomb (mg/L)	Coliformes totaux (UFC/100 mL)
Eaux pluviales ^a	10 – 250 (30)	3 – 11 000 (650)	3 – 10	0,2 – 1,7 (0,6)	0,03 – 3,1 (0,3)	10 ³ – 10 ⁸
Site de construction ^b	ND	10 000 – 40 000	ND	ND	ND	ND
Débordement de réseaux unitaires ^a	60 – 200	100 – 1 100	3 – 24	1 – 11	(0,4)	10 ⁵ – 10 ⁷
Zone avec industries légères ^c	8 – 12	45 – 375	0,2 – 1,1	ND	0,02 – 1,1	10
Ruissellement de toit ^c	3 – 8	12 – 216	0,5 – 4	ND	0,005 – 0,03	10 ²
Effluent d'égout non traité ^d	(160)	(235)	(35)	(10)	ND	10 ⁷ – 10 ⁹
Effluent de station d'épuration ^e	(13)	(13)	(ND)	(0,56)	ND	10 ¹ – 10 ⁶ (coliformes fécaux)

Note: () = moyenne; ND = non disponible; station d'épuration avec traitement secondaire (biologique)

^a Novotny et Chesters (1981) et Lager et Smith (1974)

^b Recherches non publiées – Wisconsin Water Resources Center

^c Ellis (1986)

^d Novotny *et al.*, (1989)

^e MAMROT (2008). Évaluation de performance des ouvrages municipaux d'assainissement des eaux pour l'année 2007.

Tableau 2.3

Comparaison des charges polluantes (kg/ha-an) pour des réseaux séparatifs et des réseaux unitaires pour des régions urbaines en Ontario (adapté de Novotny et Olem, 1994).

Polluant	Réseaux séparatifs			Réseaux unitaires		
	Effluent de la station d'épuration – Temps sec	Effluent de la station d'épuration – Temps de pluie	Ruissellement urbain	Effluent de la station d'épuration – Temps sec	Effluent de la station d'épuration – Temps de pluie	Surverses de réseaux combinés
Matières en suspension	194	24	553	383	66	490
Azote total	133	16	11	253	44	25
Phosphore total	8	0,9	1,1	15	2,5	4,5

Tableau 2.4

Comparaison des charges polluantes (kg/ha-an) pour une ville hypothétique américaine de 100 000 habitants (tonnes/an)
(adapté de Novotny et Olem, 1994).

Polluant	Eaux pluviales	Eaux usées brutes	Eaux usées traitées
Solides totaux	17 000	5 200	520
DCO	2 400	4 800	480
DBO5	1 200	4 400	440
Phosphore total	50	200	10
Azote total	50	800	80
Plomb	31		
Zinc	6		

Source: Pitt et Field (1977)

Les eaux de ruissellement en milieu urbain contiennent généralement un taux élevé de matières en suspension et peuvent avoir une incidence considérable sur la concentration en métaux, en sels, en éléments nutritifs, en huile et en graisse, en micro-organismes et en d'autres substances qui contaminent les plans et les cours d'eau récepteurs. Cela peut se répercuter sur les réserves d'eau potable, l'habitat aquatique, les activités récréatives, l'agriculture et l'esthétique. Les principales sources de pollution sont les contaminants des zones résidentielles ou commerciales, les activités industrielles, la construction, les rues et les aires de stationnement, les zones gazonnées et les retombées atmosphériques.

La figure 2.14 illustre les effets des polluants sur les ressources hydriques; pour ce qui est de l'importance relative, ce sont généralement les matières en suspension et les nutriments qui représentent la majeure partie de la quantité totale de polluants.

Le tableau 2.5 donne un aperçu des contaminants généralement présents dans les eaux de ruissellement, de leurs sources possibles et des répercussions qui leur sont associées. Globalement, les répercussions les plus importantes au niveau qualitatif incluent notamment (Marsalek, 2001; Amec *et al.*, 2001):

- *la réduction du taux d'oxygène dissous dans les cours d'eau* – le processus de décomposition de la matière organique utilise l'oxygène dissous dans l'eau, qui est essentiel pour les poissons et plusieurs types d'organismes vivant dans l'eau. Comme une certaine quantité de matière organique est lessivée lors du ruissellement, les niveaux d'oxygène dissous peuvent baisser rapidement et atteindre des niveaux où les poissons ne pourront plus subsister.
- *l'augmentation de la concentration des matières en suspension (MES)* – les particules provenant des sols érodés ou des rues et aires de stationnement sont une composante commune du ruissellement urbain. Une quantité excessive de MES peut nuire à la vie aquatique en affectant la photosynthèse, la respiration, la croissance et la reproduction. Les particules transportent également d'autres polluants qui sont attachés à leurs surfaces, incluant les nutriments, les métaux et les hydrocarbures. Une turbidité élevée due aux sédiments augmente les coûts de traitement pour l'eau potable et réduit la valeur des eaux de surface pour des usages industriels ou récréatifs.

Les sédiments peuvent également remplir les fossés et boucher partiellement les conduites de drainage, causant des inondations.

- *l'enrichissement dû aux éléments nutritifs* – L'augmentation des niveaux de nutriments constitue un problème important puisque ce type de polluants contribue de façon directe à la prolifération d'algues dans les lacs et cours d'eau. Les algues peuvent également bloquer les rayons de soleil qui ne peuvent plus atteindre la végétation aquatique et contribuer à diminuer le taux d'oxygène. Les nitrates peuvent également contaminer les eaux souterraines. Les sources de nutriments dans l'environnement urbain incluent le lessivage des fertilisants, les débris végétaux, les rejets provenant des animaux, les débordements ou pertes des réseaux d'égouts domestiques, les rejets provenant des installations septiques, les détergents ainsi que les particules qu'on retrouve dans l'atmosphère.
- *la contamination microbienne* – Le niveau de bactéries, virus et autres micro-organismes observé dans le ruissellement urbain dépasse souvent les standards minimum de santé publique pour les usages récréatifs de contact. Les microbes peuvent également contaminer différentes espèces aquatiques comestibles et augmenter le coût de traitement de l'eau potable. Les principales sources sont les débordements de réseaux d'égouts domestiques, les installations septiques déficientes, les déchets animaux et certaines espèces animales vivant dans le milieu urbain.
- *la pollution causée par les hydrocarbures, les matières toxiques ainsi que le sel et les produits déglaçants de voirie* – Les huiles, graisses et l'essence contiennent une large variété de composés d'hydrocarbures, dont certains peuvent être très néfastes pour certaines espèces de poissons. De plus, en quantités importantes, l'huile peut affecter l'approvisionnement en eau et les usages récréatifs des plans d'eau. Les sels et produits déglaçants sont évidemment très répandus au Québec et peuvent causer des chocs toxiques au printemps, lors de la fonte des neiges.
- *l'augmentation de la température de l'eau due au réchauffement des débits sur les surfaces étanches et aux installations de gestion des eaux pluviales à ciel ouvert* – Lorsque les eaux de ruissellement coulent sur des surfaces imperméables, leur température augmente avant qu'elles atteignent les cours d'eau

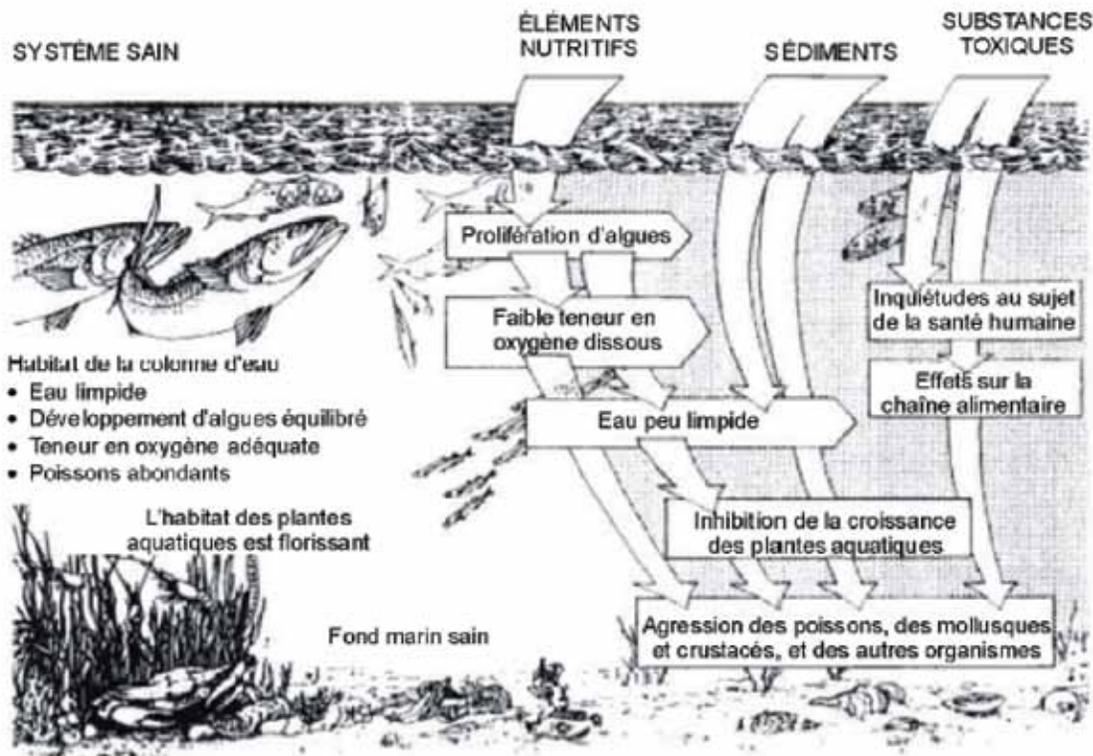


Figure 2.14 Effets généraux des polluants de source diffuse sur les habitats aquatiques (Infra Guide, 2003).

et lacs. De plus, les températures peuvent être augmentées quand elles transitent par des bassins de rétention peu profonds. Comme l'eau chaude peut contenir moins d'oxygène dissous que l'eau froide, cette « pollution thermique » réduit encore plus l'oxygène dans les cours d'eau urbains. Les changements de température peuvent affecter dramatiquement certaines espèces de poissons, qui peuvent seulement survivre dans une gamme étroite de température de l'eau.

- *apparition de déchets et de débris* – Des quantités considérables de déchets et de débris peuvent être transportées par les réseaux de drainage vers les milieux récepteurs. Le principal impact est souvent la dégradation visuelle des cours d'eau et la réduction de la valeur esthétique et récréative. Dans de plus petits cours d'eau, les débris peuvent causer des blocages qui peuvent provoquer des inondations.
- *une baisse de l'utilisation récréative des eaux à proximité des rivages.*

La dégradation de la qualité de l'eau dans les bassins soumis à l'urbanisation commence lorsque le développement est initié. L'érosion causée par les sites de construction produit de grandes quantités de sédiments qui sont

rejetés vers les cours d'eau. Au fur et à mesure que le développement se poursuit, les surfaces imperméables remplacent le couvert naturel et les polluants générés par l'activité humaine commencent à s'accumuler sur ces surfaces. Durant les précipitations, ces polluants sont par la suite lessivés et atteignent finalement les cours d'eau.

Avec le climat québécois, l'accumulation de polluants dans la neige et les sels de déglçage qui sont utilisés à large échelle en période hivernale peuvent être une source importante de pollution au printemps, lorsque la fonte des neiges vient relâcher les polluants qui sont stockés dans la neige (tableau 2.6). Dans une année typique, la quantité de sels utilisée dépasse 60 000 t pour Montréal et 38 000 t pour Québec (Marsalek, 2001). Les impacts potentiels associés à ces contaminants lors de la fonte peuvent évidemment être importants pour les cours d'eau et milieux récepteurs (tableau 2.7).

Comme le montrent les photos de la figure 2.15 et les données du tableau 2.8, le degré de pollution rattaché aux neiges usées peut être variable, selon le quartier et les méthodes utilisées pour la gestion de la neige (épandage de fondants ou non, déblaiement ou non des routes et trottoirs, enlèvement ou soufflage). De façon générale, les sites de stockage de neige peuvent contenir des quantités importantes de polluants (tableaux 2.8 et 2.9).

Tableau 2.5

Aperçu des principaux polluants des eaux pluviales, de leurs sources, de leurs effets et de leurs répercussions connexes.

Polluants des eaux pluviales	Sources	Effets	Répercussions connexes
Nutriments (azote/phosphore)	Eaux de ruissellement urbaines (engrais, détergents, débris d'origine végétale, sédiments, poussières, essence, pneus), eaux de ruissellement agricoles (engrais, déchets d'origine animale), installations septiques défectueuses.	Le phosphore est le premier élément nutritif qui pose problème dans la plupart des systèmes d'eau douce. Dans les systèmes d'eau salée, c'est l'azote qui pose problème, mais sa présence est également préoccupante dans les cours d'eau.	Prolifération d'algues, moins de lumière et d'oxygène dissous, émission d'autres polluants. Les éléments nutritifs peuvent limiter les activités de loisirs et de sports (natation, navigation de plaisance, pêche ou autres), réduire l'habitat animal et contaminer les réserves d'eau.
Matières en suspension (M.E.S.)	Chantiers de construction, autres terres remaniées et non couvertes de végétation, berges érodées, sablage des chaussées, ruissellement urbain.	Augmentation de la turbidité et dépôt de sédiments.	Augmentation de la turbidité, moins de lumière et d'oxygène dissous, dépôt de sédiments, étouffement de l'habitat aquatique.
Agents pathogènes (bactéries/virus)	Déchets d'origine animale, ruissellement urbain, installations septiques défectueuses.	Présence en grand nombre de bactéries et de souches virales, y compris les streptocoques et les coliformes fécaux. Les taux de bactéries sont généralement plus élevés en été; les températures élevées en favorisant la reproduction.	Les réserves d'eau potable, les zones de croissance des mollusques et les plages contaminées présentent des risques pour la santé.
Métaux (plomb, cuivre, cadmium, zinc, mercure, chrome, aluminium, etc.)	Procédés industriels, usure normale des câbles de freins et des pneus des véhicules, gaz d'échappement, fuite de fluides de véhicules, toitures métalliques.	Augmentation de la toxicité des eaux de ruissellement et accumulation (bioamplification) dans la chaîne alimentaire.	Toxicité de la colonne d'eau et des sédiments; bioaccumulation dans les espèces aquatiques et dans toute la chaîne alimentaire.
Hydrocarbures (pétrole et graisse, HAP)	Procédés industriels, usure des véhicules, gaz d'échappement, fuites de fluides de véhicules, huiles usées.	Aspect dégradé de la surface des eaux, interactions entre l'eau et l'air limitées (moins d'oxygène dissous). Les hydrocarbures ont une forte affinité pour les sédiments.	Toxicité de la colonne d'eau et des sédiments; bioaccumulation dans les espèces aquatiques et dans toute la chaîne alimentaire.
Composés organiques [pesticides, biphényles polychlorés (BPC), produits chimiques synthétiques]	Pesticides (herbicides, insecticides fongicides, etc.); procédés industriels.	Augmentation de la toxicité chez les espèces animales et les ressources halieutiques sensibles et accumulation (bioamplification) dans la chaîne alimentaire.	Toxicité de la colonne d'eau et des sédiments; bioaccumulation dans les espèces aquatiques et dans toute la chaîne alimentaire.
Sel (sodium, chlorures)	Épandage de sel sur les routes et stockage de sel à découvert.	Toxicité chez les organismes; diminution des ressources halieutiques; augmentation des taux de sodium et de chlorure dans les eaux souterraines et de surface. Pourrait perturber le processus respiratoire des espèces végétales à cause de ses effets sur la structure des sols. Peut également provoquer la perte d'autres composés nécessaires à la viabilité des végétaux, entraîner leur mort ou réduire leur croissance ou leur diversité en endommageant les racines et les feuilles.	Toxicité de la colonne d'eau et des sédiments. Le sel peut entraîner la disparition d'espèces animales, végétales et de ressources halieutiques sensibles. Il peut contaminer les eaux souterraines ou de surface.

Tableau 2.6

Principales sources des contaminants présents dans la neige (MDDEP, 2003).

Contaminants	Sources
Débris	Abrasifs, ordures, gazon, papiers, plastiques, sols
Matières en suspension (MES)	Abrasifs, cendres, particules provenant de la corrosion et de l'usure de véhicules et de structures
Huiles et graisses	Lubrifiants provenant des véhicules
Ions: chlorures (Cl-), sodium (Na+), calcium (Ca++)	Fondants
Métaux: plomb (Pb), manganèse (Mn), fer (Fe), chrome (Cr)	Corrosion et usure de véhicules et de structures (routes, bâtiments), gaz d'échappement

Tableau 2.7

Impacts potentiels sur l'environnement des déversements de neige dans les cours d'eau (MDDEP, 2003).

Contaminants	Impacts potentiels
Débris	Recouvrement du benthos, dommages aux frayères, nuisance à la suite de l'ingestion par les organismes
Matières en suspension (MES)	Augmentation de la turbidité, diminution de la photosynthèse, accroissement de la température de l'eau et maintien de la stratification de couches d'eau
Huiles et graisses	Effets mutagènes et cancérigènes possibles, diminution de l'échange avec l'air et de la pénétration de la lumière
Chlorures (Cl-)	Effets sur l'osmorégulation, danger pour certains poissons
Plomb (Pb)	Effets sur les reins, la fertilité et le cerveau, présence de concentrations dans la chaîne alimentaire
Manganèse (Mn) Fer (Fe)	Modification de la couleur de l'eau, possibilité d'effet sur l'éclosion des œufs de poissons, modification de la couleur de l'eau
Chrome (Cr)	Toxicité aiguë et chronique identifiée pour la vie aquatique

Tableau 2.8

Concentration de contaminants dans les neiges usées (MDDEP, 2003).

Contaminant	Neiges usées				Égout unitaire Purene ¹ 1994	Égout pluvial Leduc ¹ 1987	Norme pluviale ³
	Zinger ¹ 1985	Leduc ¹ 1987	Lapointe ¹ 1991	Paradis ² 1993			
Débris (mg/L)	5 888 (93) ⁴	nd	110 000 ⁵ (2)	nd	86 ⁶	nd	nd ⁷
MES (mg/L)	1 209 (108)	213 (479)	2 057 (609)	497 (299)	107 (680)	125 (190)	30
Huiles & Graisses (mg/L)	105 (30)	16 (86)	29 (523)	13 (33)	12 (165)	9 (188)	15
Cl- (mg/L)	3851 (98)	1442 (479)	2021 (574)	2073 (299)	nd	30 (190)	1500
Fe (mg/L)	913 (93)	5 (158)	29 (608)	nd	1 (177)	5 (190)	17
Pb (mg/L)	85 (93)	0,3 (158)	0,7 (608)	0,1 (299)	nd	0,2 (190)	0,1
Cr (mg/L)	6,7 (93)	0,04 (158)	0,1 (608)	nd	nd	0,03 (190)	5

¹Secteur mixte. ²Secteur résidentiel. ³Règlement relatif aux rejets dans les réseaux d'égout de municipalité.

⁴Les valeurs entre parenthèses indiquent le nombre d'analyses effectuées. ⁵Moyenne de deux mesures pour du gravier.

⁶Résultat d'un calcul effectué sur des résidus de grille et de sable retenus. ⁷Il n'y a pas de norme en concentration, mais une interdiction de déverser.

Tableau 2.9

Variation de la contamination pour trois secteurs résidentiels différents et pour trois précipitations différentes (MDDEP, 2003).

	Verdun			Lasalle			Lachine		
Date	Cl-	MES	Pb	Cl-	MES	Pb	Cl-	MES	Pb
1993-01-15	3288	811	0,22	2010	644	0,15	1940	465	0,11
1993-02-02	2128	494	0,08	2765	474	0,10	1016	172	0,03
1993-02-16	917	317	0,09	2855	799	0,15	3882	796	0,12
Écart	3,6	2,6	2,8	1,4	1,7	1,5	3,8	4,6	4,0

Source: Paradis et al, *Caractérisation des neiges usées en fonction de la densité résidentielle pour les villes de LaSalle, Verdun et Lachine, Juin 1993.*

Le tableau 2.9 ne présente pas de données sur la concentration des débris dans le ruissellement des eaux de pluie. Toutefois, on peut comprendre que la concentration des débris est plus élevée dans la neige que dans les eaux de pluie pour les raisons suivantes (MDDEP, 2003):

■ **La mécanisation de la collecte de la neige**

Il faut utiliser beaucoup d'énergie pour déplacer les débris, compte tenu de leur grosseur. Lors de la collecte de la neige, cette énergie est déployée par les chargeurs, les souffleuses et les camions. Il devient donc très facile de transporter de grandes quantités de sable, de gravier et d'ordures avec de la neige, ce que l'eau de pluie ne peut faire qu'en faible quantité.

■ **L'absence de dégrillage**

L'entraînement des débris par l'eau de ruissellement dans l'égout pluvial est limité par la présence des grilles. Or, ce prétraitement n'existe pas pour les neiges usées déversées directement dans l'environnement.

■ **L'épandage d'abrasifs**

Les abrasifs sont épandus uniquement l'hiver et s'incorporent à la neige.

Le tableau 2.9 donne par ailleurs la variation de contamination observée pour différents secteurs résidentiels de la région de Montréal.

En résumé, la comparaison des différents facteurs fait ressortir les constats suivants pour les neiges usées et leur impact sur le ruissellement urbain (MDDEP, 2003):

1. Les neiges usées des secteurs résidentiels ont des concentrations de contaminants plus élevées que celles de l'eau usée d'égout unitaire et de l'eau pluviale. Elles sont trop contaminées pour être rejetées directement dans les cours d'eau.
2. Les neiges usées des secteurs mixtes ont des concen-

trations de contaminants plus élevées que celles de secteurs résidentiels.

3. Les contaminants sont, par ordre d'importance: les débris, les MES, les huiles et graisses, les chlorures, le fer et le plomb. Les débris sont le contaminant pour lequel on possède le moins d'analyses malgré le fait que ce soit le contaminant dont les concentrations mesurées sont les plus élevées.
4. La concentration des contaminants peut varier davantage d'une précipitation à l'autre pour une même municipalité que d'une municipalité à l'autre pour une même tempête. Ce constat rend impossible une quantification exacte et unique de la concentration des neiges usées pour une municipalité.



Figure 2.15 Caractéristiques des neiges usées selon les secteurs et les techniques de gestion.

Pour le contrôle de la qualité des eaux ruisselées, il est par ailleurs important de distinguer les **zones qui sont plus à risque** et qui peuvent générer une plus grande quantité de polluants. Des exemples de zones à risque comprennent les aires de maintenance pour les véhicules, les stations-services ou les zones d'entreposage extérieur.

Finalement, **le ruissellement urbain dirigé vers des lacs ou des réservoirs** peut avoir des impacts négatifs spécifiques. Un impact notable est le remplissage des lacs et bassins avec des sédiments. Un autre impact significatif est l'augmentation des nutriments, ce qui peut entraîner la croissance non désirable d'algues et de plantes aquatiques. Les lacs ne peuvent éliminer aussi rapidement les polluants qu'un cours d'eau et agissent comme bassins pour l'accumulation de nutriments, de métaux et de sédiments. Puisque cela signifie que les lacs peuvent prendre plus de temps à récupérer s'ils deviennent contaminés, on doit donc porter une attention particulière dans ce cas à minimiser la quantité de polluants pouvant s'y déverser.

2.4 IMPACTS SUR LA MORPHOLOGIE ET L'ÉCOLOGIE DES COURS D'EAU

Les cours d'eau en milieu urbain répondent et s'ajustent au régime hydrologique modifié qui accompagne l'urbanisation (ASCE/WEF, 1998). La sévérité et l'ampleur de ces ajustements (voir figure 2.16) est fonction du degré d'imperméabilisation du bassin et dépend des caractéristiques spécifiques du cours d'eau.

La figure 2.17, adaptée d'un guide de la Colombie-Britannique (2002), fournit une illustration des impacts progressifs de l'urbanisation sur les cours d'eau urbains. Le principal paramètre dans ce cas est la crue moyenne annuelle, qui est généralement définie comme l'événement qui contrôle les dimensions des sections en travers du cours d'eau. Comme on peut le constater, l'augmentation de la valeur des crues moyennes annuelles ainsi que l'augmentation du nombre de fois que se produisent ces crues (voir également la figure 2.8) ont un impact direct sur la stabilité des cours d'eau. Un autre indicateur est le ratio de la crue moyenne annuelle par rapport au débit de base hivernal. Un ratio de 20:1 est un seuil à partir duquel certaines espèces de poisson pourront être affectées.

Par ailleurs, les travaux de recherche sur la côte ouest américaine ont permis d'établir certains seuils en se servant du pourcentage d'imperméabilité comme indicateur. Par exemple, à partir de 10 % d'imperméabilité, la stabilité des



Figure 2.16 Changements géomorphologiques dus à l'urbanisation mal contrôlée.

cours d'eau, de même que la biodiversité et l'abondance des poissons, commenceront à être affectées. La figure 2.10 déjà présentée montrait l'évolution des impacts sur la dégradation des cours d'eau, au fur et à mesure que se poursuit l'urbanisation.

La figure 2.18 donne une illustration schématique des processus de dégradation des cours d'eau dans un milieu qui s'urbanise. Les différents impacts et ajustements peuvent comprendre notamment (MOE, 2003; Amec *et al.*, 2001) :

- *Augmentation de la section hydraulique* pour accueillir les débits qui sont plus importants;
- *Érosion des berges* – les débits au-dessus du seuil critique pouvant entraîner de l'érosion se produisant plus souvent annuellement, le processus d'érosion des berges est initié par le bas lors des petits événements, ce qui mine le bas des berges et pourra éventuellement causer des glissements lors des événements plus importants;
- *Perte des arbres et de la végétation en berge* à cause de l'érosion;
- *Augmentation des charges de sédiments* à cause de l'érosion et apports additionnels dans un bassin versant en développement;
- *Modification des caractéristiques du lit du cours d'eau* (typiquement, la granulométrie des sédiments pourra changer de particules plus grossières à un mélange de particules plus fines et plus grossières);
- *Changements dans les caractéristiques physiques du cours d'eau*, comme la localisation et le type de méandre ainsi que les pentes.

L'écologie des cours d'eau urbains et les habitats aquatiques sont également affectés par les changements dans le régime hydrologique, la géomorphologie et la qualité de l'eau qui est associée au développement. Ainsi, on pourra observer les impacts suivants sur les habitats aquatiques :

- *Dégradation des habitats à cause de l'érosion des berges et de la perte de végétation* – les débits plus importants avec des vitesses d'écoulement plus élevées à cause du développement peuvent causer de l'affouillement et détruire des communautés biologiques. L'érosion des berges et la perte de végétation en rive réduisent les habitats pour plusieurs espèces de poissons et d'espèces aquatiques.
- *Perte ou dégradation des systèmes de rapides – bassins* – Les cours d'eau drainant des bassins non

développés comprennent souvent des systèmes de rapides et de bassins plus profonds, qui fournissent d'excellents habitats pour de multitudes espèces de poissons et d'insectes aquatiques. Avec l'urbanisation, les bassins disparaissent et sont remplacés par un écoulement plus uniforme, et souvent moins profond.

- *Réduction des débits de base*, avec une augmentation potentielle de la température et une diminution des corridors de circulation des poissons.
- *Augmentation de la température de l'eau* – comme on le mentionnait à la section précédente, plusieurs espèces de poissons sont particulièrement sensibles à la température de l'eau.
- *Diminution de la biodiversité*. Lorsqu'il y a une réduction et une dégradation dans les différents habitats, le nombre et la variété, ou diversité, de

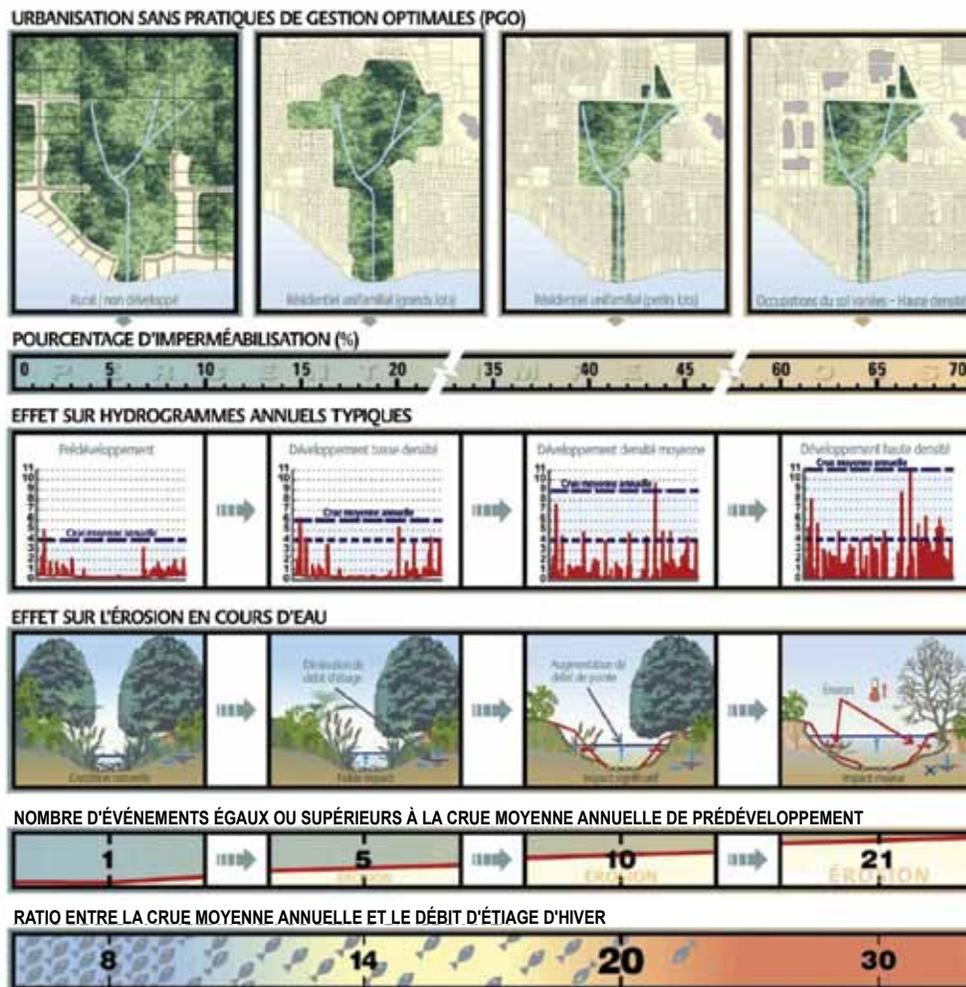


Figure 2.17 Impacts des changements hydrologiques causés par l'urbanisation (adapté de Stephens et al., 2002).

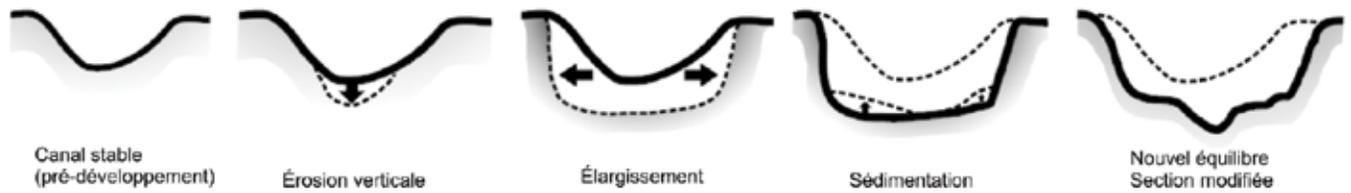


Figure 2.18 Processus de modifications géomorphologiques des cours d'eau en milieu urbain. (adapté de Amec *et al.*, 2001).

plusieurs organismes (plantes aquatiques, poissons, insectes) sont aussi réduits. Les espèces de poissons plus sensibles seront remplacées par des organismes qui sont mieux adaptés à des conditions dégradées. La diversité et la composition des organismes qu'on retrouve sur les lits des cours d'eau ont fréquemment été utilisés pour caractériser la qualité des cours d'eau urbains.

2.5 IMPACTS APPRÉHENDÉS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LE DRAINAGE URBAIN.

Il y a maintenant une certaine évidence à l'effet que le climat change à l'échelle de la planète (IPCC, 2007). En ce qui touche le drainage urbain, le rapport le plus récent de l'IPCC souligne entre autres conséquences qu'il est maintenant très probable que l'intensité et la sévérité des orages soient accentuées dans le futur, ce qui pourra évidemment avoir un impact non négligeable sur la conception des réseaux de drainage et le maintien des niveaux de service.

Pour le Québec, une étude (Mailhot *et al.*, 2007) a permis d'établir, au moins de façon préliminaire, la gamme d'augmentation des précipitations qui pourrait survenir dans un proche avenir. À partir des augmentations de précipitations qui ont été modélisées en climat futur à l'aide d'un modèle climatique régional et en se basant sur certaines hypothèses, l'augmentation des débits et des volumes de ruissellement qui résulteraient de ces changements a ainsi pu être établie. Le tableau 2.10 résume les principaux résultats de cette étude.

Ces analyses, qui sont cependant préliminaires et soumises à plusieurs hypothèses, indiquent que les quantités de précipitation pourraient augmenter d'ici 2040 de 4 à environ 21 %, dépendant de la période de retour considérée et de la durée de la précipitation. Comme le montrent les valeurs du tableau 2.10, les augmentations sont moins importantes pour des pluies longues et des périodes de retour plus rares. Si on considère toutefois une durée de 2 heures,

qui serait une durée représentative pour des orages qui sont les plus critiques en milieu urbain, les résultats regroupés au tableau 2.10 donnent une gamme d'augmentation variant de 13 à 21 %. On notera par ailleurs, comme le démontrent les résultats détaillés présentés à l'étude de Mailhot *et al.*, (2007), que l'impact de cette augmentation de précipitation sur les débits et volumes de ruissellement n'est pas linéaire. Ainsi, pour les bassins avec une occupation du sol de type résidentiel, les augmentations de débits et de volumes de ruissellement obtenues par modélisation sont plus importantes que celles pour la précipitation.

Faute de mieux, et en attendant d'obtenir les résultats d'autres études qui permettront de préciser les augmentations de précipitation à prendre en compte, on pourra, pour la conception des réseaux de drainage, majorer les courbes IDF (Intensité-Durée-Fréquence) obtenues avec les données actuellement disponibles. En se basant sur des valeurs moyennes tirées du tableau 2.10, cette majoration pourrait s'établir à 20 % pour la conception des réseaux mineurs (périodes de retour de 2 ans à 10 ans) et à 10 % pour la conception des ouvrages associés au réseau majeur et les ouvrages de rétention (périodes de retour de 25 à 100 ans). Ces majorations s'appliquent aux données pluviométriques présentées dans les courbes IDF actuellement disponibles au Québec. Ces recommandations pourront toutefois être modifiées lorsque des analyses plus poussées seront rendus disponibles.

Soulignons par ailleurs que les majorations tirées des modélisations semblent être moins importantes pour des pluies de longues durées. On devrait donc prendre ceci en considération lorsqu'il s'agit d'évaluer par exemple des conditions de pré-développement, lorsque des pluies de plus longues durées peuvent être utilisées dans les simulations pour obtenir ces débits.

Finalement, dans certains cas spécifiques, une attention particulière pourrait également être portée aux périodes de redoux hivernal et de pluies en période hivernale, qui pourraient, dans un contexte de changement climatique, se produire plus fréquemment et avec

une importance accrue. On devrait donc dans la conception des ouvrages de drainage prendre en compte le fait que ces événements météorologiques puissent se produire avec une fréquence accrue et ajuster en conséquence les différents éléments de contrôle pour qu'ils puissent quand même demeurer fonctionnels.

Tableau 2.10

Précipitation régionale moyenne (mm) en climat actuel (période 1961-1990) et futur (période 2041-2070) à l'échelle des stations (adapté de Mailhot *et al.*, 2007).

Durée (heures)	Période de retour (années)	Accroissement Présent-futur (%)
2	2	20,6
	5	18,1
	10	15,8
	25	13,0
6	2	13,9
	5	14,5
	10	13,1
	25	10,1
12	2	11,0
	5	10,0
	10	8,2
	25	5,1
24	2	10,6
	5	8,8
	10	6,9
	25	3,9

RÉFÉRENCES

- AMEC *et al.* (2001). *Georgia stormwater management manual*. Volumes 1 et 2. Atlanta, Géorgie.
- Aquafor Beech Ltd (2006). *Stormwater management and watercourse impacts: the need for a water balance approach*. Rapport pour TRCA (Toronto Region Conservation Authority), Toronto, On.
- ASCE/WEF (1998). *Urban Runoff Quality Management: Wef Manual of Practice No. 23* ASCE et WEF, New-York.
- Brouillette, D. (2001). *Le contrôle des débordements de réseaux d'égouts en temps de pluie au Québec*. Vecteur Environnement, vol. 34, no. 1, pp. 64-67.
- Chocat, B. (éditeur) (1997). *Encyclopédie d'hydrologie urbaine*. Lavoisier, Paris.
- DEP (Department of Environmental Protection) Pennsylvanie (2006). *Stormwater Best Management Practices Manual*. Document 363-0300-002, Pennsylvanie.
- Ellis, B. (1986). *Pollution aspects of urban runoff*, dans *Urban runoff pollution*, H.C. Torno, J. Marsalek et M. Desbordes, ed., Springer Verlag, Berlin, New York.
- EPA (1983). *Environmental Protection Agency des États-Unis. Results of Nationwide Urban Runoff Program*. EPA-PB/84-185552.
- Federal Interagency Stream Restoration Working Group (FISRWG) (15 agences fédérales des États-Unis) (1998). *Stream Corridor Restoration: Principles, Processes, and Practices*. GPO Item No. 0120-A; SuDocs No. A 57.6/2:EN 3/PT.653. ISBN-0-934213-9-3.
- Hollis, G.E. (1975). *Effect of urbanization on floods of different recurrence interval*. *Water Resources Research*. 11(3), 431-435.
- Infra Guide (2003). *Contrôles à la source et sur le terrain des réseaux de drainage municipaux. Guide national pour des infrastructures municipales durables*, CNRC et Fédération canadienne des municipalités, Ottawa.
- IPCC (2007). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976pp.
- Mailhot, A., Rivard, G., Duchesne, S. et Villeneuve, J.-P. (2007). *Impactsetadaptationsliésauxchangementsclimatiques(CC)en matière de drainage urbain au Québec*. Rapport no. R-874. Financé par le Fonds d'action sur les changements climatiques (FACC), Ressources naturelles Canada et le Consortium OURANOS.
- MAMROT (2008). *Évaluation de performance des ouvrages municipaux d'assainissement des eaux pour l'année 2007*. Ministère des Affaires municipales des Régions et de l'Occupation du territoire, Québec.
- Marsalek, J. et coll. (eds), 2001. *Advances in Urban Stormwater and Agricultural Runoff Source Controls*, 1-15, compte rendu du Advanced Research Workshop on Source Control Measures for Stormwater Runoff de l'OTAN, St-Marienthal-Ostritz, Allemagne, publications universitaires Kluwer. Consulter le site <<http://www.nato.int/science>>.
- Maryland Department of the Environment (MDE) (2000). *Maryland Stormwater Design Manual: Volume 1 and 2*. Maryland Department of the Environment, Annapolis, Maryland.
- MDDEP (2003). *Guide d'aménagement des lieux d'élimination de neige et mise en œuvre du Règlement sur les lieux d'élimination de neige*. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Québec. Document disponible sur internet (http://www.mddep.gouv.qc.ca/matieres/neiges_uses/index.htm).
- MOE (2003). *Stormwater Management Planning and Design Manual*. Ministère de l'environnement de l'Ontario, Toronto, On.
- Novotny, V. et G. Chesters (1981). *Handbook of nonpoint pollution: sources and management*, Van Nostrand Reinhold, New York.
- Novotny, V., Imhoff, K.R., Othof, M. et Krenkel, P. (1989). *Karl Imhoff's Handbook of urban drainage and wastewater disposal*, Wiley Interscience, New York.
- Novotny, V. et G. Olem. (1994). *Water Quality. Prevention, Identification, and Management of Diffuse Pollution*. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Pitt, R. et Field, R. (1977). *Water quality effects from urban runoff*, J. Amer. Waterworks ass. 69:432-436.
- Pitt, R. et Voorhees, J. (2000). *The Source Loading and Management Model (SLAMM): A Water Quality Management Planning Model for Urban Stormwater Runoff*." Available online at: http://unix.eng.ua.edu/~rpitt/SLAMMDETPOND/WinSlamm/MainWINSLAMM_book.html.
- Schueler, T. (1987). *Controlling urban runoff: a practical manual for planning and designing urban BMPs*. Department of Environmental Programs. Metropolitan Washington Council of Governments, Washington, DC.
- Schueler, T. (2008). *Technical support for the Bay-wide runoff reduction method. Chesapeake Stormwater Network*. Baltimore, MD www.chesapeakestormwater.net
- Stephens, J. et al. (2002). *Stormwater planning. A Guidebook for British Columbia*. British Columbia Ministry of Water, Land and Air Protection, Vancouver, C.-B.