

Construction du réseau de drainage de l'ensemble d'une agglomération urbaine – Cas de Nantes Est

Construction of drainage network of an entire urban area
- Case of Nantes East

ALLARD Aude, CHANCIBAULT Katia, ANDRIEU Hervé

LUNAM Université, IFSTTAR, GER, F-44341 Bouguenais, France
aude.allard@ifsttar.fr, katia.chancibault@ifsttar.fr, herve.andrieu@ifsttar.fr

RÉSUMÉ

La gestion des eaux pluviales occupe une place grandissante dans le domaine de l'aménagement urbain. Cependant, il existe encore des questions scientifiques non résolues concernant une description et une représentation homogènes et unifiée des différents cheminements de l'eau pluviale à l'échelle des agglomérations urbaines. Une telle description est nécessaire aux approches intégrées de la gestion des eaux pluviales qui ont pour ambition d'évaluer l'impact de décisions d'aménagements et du changement global (climatique et d'évolution urbaine) sur l'hydrologie.

Cette étude explore les possibilités de représentation du réseau hydrographique à l'échelle d'une agglomération. Pour cela, le réseau hydrographique de la partie Est de l'agglomération nantaise est tout d'abord reconstruit suivant une approche de référence très détaillée mais nécessitant un traitement trop important pour être appliqué à l'échelle d'une agglomération entière. Cette approche de référence sert ensuite à évaluer des représentations maillées simplifiées du réseau hydrographique.

ABSTRACT

Rainwater management is more and more crucial in the area of urban planning. However, there are still unresolved scientific questions concerning the description and the homogeneous and unified representation of the different pathways of rainwater across urban areas. Such a description is necessary for integrated approaches of rainwater management which aim to evaluate the impact of urban planning and global change (climatic and urban evolution) on hydrology.

The object of this study is to explore various possibilities of representation of the hydrographic network at the scale of a city. For this, the hydrographic network of the eastern part of the city of Nantes is first reconstructed using a reference approach, but this approach needs too much processing to be applied to an entire agglomeration. It is then used to evaluate simplified meshed representations of the hydrographic network.

MOTS CLES

Agglomération, Assainissement, Bassin versant, Réseau, Transfert

1 CONTEXTE

1.1 Des questions scientifiques

D'après le recensement de l'INSEE de 2010, 85% des français vivent en milieu urbain. Si les tendances démographiques récentes se maintenaient, le pôle métropolitain de Nantes Saint-Nazaire pourrait accueillir 150 000 habitants supplémentaires à l'horizon 2030 (Kerdommarec et al., 2012). Cela suppose la mise en place de nouveaux aménagements pour accueillir cette population et ce, tout en préservant l'environnement.

Or, pour évaluer l'impact du développement urbain sur le cycle urbain de l'eau, il est nécessaire de développer des modèles hydrologiques capables de fonctionner à l'échelle d'une agglomération urbaine. Cependant, les modèles hydrologiques actuels traitent soit des bassins versants ruraux, sans tenir compte des phénomènes spécifiquement urbains, soit des bassins versants urbains très détaillés. Très peu de modèles permettent aujourd'hui d'évaluer l'impact de scénarios d'évolution à l'échelle d'une agglomération entière tout en prenant en compte l'impact de l'urbanisation sur le cycle hydrologique.

En particulier la question de la description homogène et unifiée de l'ensemble des cheminements de l'eau pluviale à l'échelle d'une aire urbaine n'a pas, à notre connaissance, fait l'objet de travaux spécifiques. La prise en compte de la diversité et de l'hétérogénéité de ces cheminements reste cependant primordiale.

Dans ce contexte général, nous cherchons à reconstruire le réseau hydrographique, en tenant compte du réseau d'assainissement, de façon à ce qu'il soit exploitable à l'échelle de l'agglomération entière. Il s'agit d'une première étape vers la construction d'un modèle hydrologique global.

Dans un premier temps nous rappellerons différents types de transferts de l'eau pluviale en ville. Puis, nous présenterons les méthodes de représentation des réseaux hydrographiques mises en place dans des études actuelles.

1.2 Transferts de l'eau pluviale en ville

Les milieux urbains et périurbains présentent une grande diversité des types de transferts de l'eau pluviale.

- Le réseau hydrographique naturel est constitué des cours d'eau naturels parcourant la ville. Ils sont alimentés par les nappes d'eau souterraines et l'eau ruisselée sur les sols saturés ou imperméabilisés.
- Le réseau d'assainissement pluvial permet d'évacuer les eaux pluviales de ruissellement urbain le plus rapidement possible hors des zones urbanisées afin de limiter les risques d'inondation et d'insalubrité. Il se rejette généralement dans le réseau hydrographique naturel évoqué ci-dessus.
- Le réseau unitaire collecte à la fois les eaux pluviales et les eaux usées. Il les conduit à la station d'épuration où elles sont traitées avant d'être rejetées dans le milieu naturel. Cependant, lorsque le débit dépasse un seuil prédéfini, les déversoirs d'orages orientent une partie des eaux unitaires dans le réseau hydrographique naturel.
- Les infiltrations parasites correspondent aux eaux du sol drainées par le réseau d'assainissement. En effet, celui-ci perd de son étanchéité avec le temps. Des études (Dupasquier, 1999), ont montré que cette infiltration pouvait représenter jusqu'à 67% des débits transités par les canalisations d'eau usée en hivers. L'eau du sol drainée par les réseaux en un point d'un bassin versant peut donc avoir deux exutoires selon le réseau qui la capte
- L'assainissement alternatif présente une méthode d'évacuation alternative au tout tuyau permettant de limiter l'impact de l'assainissement sur le milieu récepteur. Elle favorise les ouvrages d'évapotranspiration, d'infiltration et de stockage (Rodriguez *et al.*, 2008).

Ces différents cheminements de l'eau se juxtaposent et se connectent les uns aux autres. Il est nécessaire de connaître leurs fonctionnements et leurs connexions pour représenter de manière cohérente le réseau hydrographique à l'échelle de la ville.

1.3 Représentations des réseaux hydrographiques

Le SIG (Système d'Information Géographique) est un outil d'analyse spatiale et de cartographie

souvent utilisé en amont de la modélisation hydrologique. En effet, les modèles hydrologiques distribués, qui se développent actuellement, supposent une bonne connaissance du terrain. Au sein d'un SIG, deux approches distinctes peuvent permettre de représenter le réseau hydrographique.

1.3.1 Sous forme maillée

La zone d'étude peut être considérée comme un espace continu constitué de mailles régulières (modèle raster). Le cheminement de l'eau s'effectue alors selon la plus grande pente sur ce réseau de mailles. On applique pour cela l'algorithme D8 (Deterministic eight neighbour) créé par O'Callaghan et Mark (1984) au Modèle Numérique de Terrain (MNT) de la zone d'étude.

Cet algorithme offre la possibilité de reconstruire les bassins versants (ensemble des mailles convergeant vers une maille exutoire) et le réseau hydrographique (mailles ayant une aire drainée amont supérieure à l'aire drainée amont seuil).

Cependant, ces méthodes, basées uniquement sur la topographie, ne permettent pas de prendre en compte l'artificialisation du cheminement de l'eau en milieu urbain. Afin de répondre à cette problématique, (Gironas, 2009), a proposé une approche consistant à creuser artificiellement le MNT initial au niveau des voiries et des réseaux d'assainissement afin de modifier le chemin gravitaire suivi par l'eau ruisselée. Cette modification du MNT s'est révélée avoir un impact significatif sur les superficies et les formes des bassins versants considérés.

Cependant, la méthode de représentation du cheminement de l'eau à partir d'un MNT raster suppose une zone d'étude avec des variations de relief significatives au sein de chaque bassin versant. Ce n'est pas toujours le cas en milieu urbain car certains bassins versants sont peu étendus et très peu pentus.

1.3.2 Sous forme vectorielle

Il est aussi possible de considérer la zone d'étude comme un espace vectoriel constitué d'objets distincts. Le réseau hydrographique est alors représenté sous forme de segments ayant certaines propriétés (profondeur, diamètres, pente...).

C'est cette représentation du réseau hydrographique qui est par exemple implémentée dans le modèle URBS, développé par Rodriguez et al. (2008). Dans ce modèle hydrologique urbain, l'élément hydrologique unitaire de référence est la parcelle cadastrale jointe à la portion de voirie qui lui est attenante. Les transferts sont ensuite représentés au sein des canalisations connues grâce aux banques de données urbaines (Rodriguez, 1999).

Dans le cadre d'un travail suivant une approche vectorielle, la base de données Carthage de l'IGN permet d'avoir une représentation des principaux cours d'eau de France. Il s'agit d'une base de travail intéressante pour étudier les cours d'eau naturels. Cependant, pour travailler à une échelle plus fine, il est nécessaire de reconstruire préalablement le réseau complet, ce qui peut se révéler contraignant.

1.4 Objectif et démarche

Notre objectif consiste à décrire de manière homogène et cohérente l'ensemble des cheminements de l'eau et leurs connexions en milieu urbanisé. Tout d'abord, la méthodologie sera décrite dans la partie 2, avec, dans un premier temps la présentation de la zone étudiée, puis l'approche utilisée. Les résultats obtenus et leur analyse sont dans la partie 3, suivie de la conclusion et perspectives de ce travail.

2 METHODOLOGIE

2.1 La zone d'étude

La zone d'étude est une partie de l'agglomération de Nantes, à l'ouest de la France. Bien que la ville soit située au sud du massif armoricain, son relief est peu marqué. En revanche, le réseau hydrographique est plutôt dense. Proche de l'estuaire de la Loire, Nantes est positionnée sur un grand fleuve. Au niveau de la ville, il est alimenté par de nombreux affluents plus ou moins importants, l'Erdre au nord et la Sèvre nantaise au sud sont les principales rivières, mais il existe de nombreux ruisseaux, qui parcourent l'ensemble de l'agglomération.

Nous avons choisi d'étudier la zone Est de l'agglomération située entre l'Erdre et la Loire. En effet, elle contient l'ensemble des situations d'écoulement que l'on peut rencontrer et couvre un espace allant de la ville dense à la campagne (figure 1). Cela nous permet de limiter le travail de prétraitement des données et les temps de calculs nécessaires.

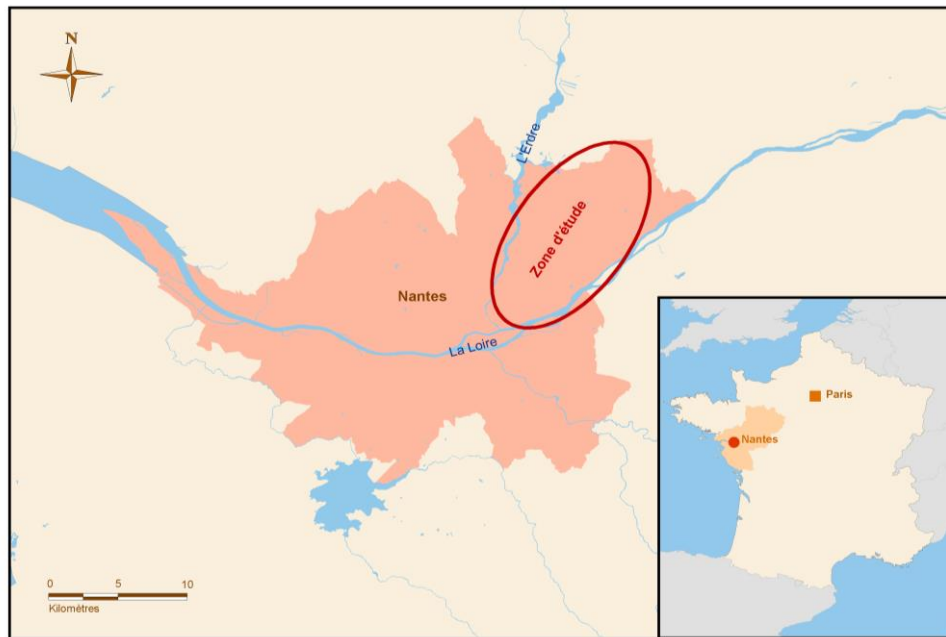


Figure 1 : Plan de situation de Nantes et de la zone d'étude

On rencontre, dans la zone d'étude, les deux types de réseaux d'assainissement artificiel : unitaire et séparatif, ainsi que des cours d'eau naturels. Le réseau unitaire, situé dans le centre urbain, évacue l'ensemble des eaux vers la station d'épuration de Tougas, sauf en cas de fortes pluies, où une partie de l'eau est rejetée au travers des déversoirs d'orages. Ce réseau unitaire collecte les eaux usées de tout l'est de l'agglomération, et donc les infiltrations parasites qui ont lieu au niveau de ces réseaux d'eau usée. Cependant, dans cette étude préliminaire, la question des eaux parasites drainées par le réseau d'eau usée est laissée de côté. Les eaux pluviales sont rejetées directement dans le milieu naturel, a priori au niveau des cours d'eau naturels (figure 2).

Ces deux systèmes étant distincts de par leur fonctionnement hydrologique, ils ne peuvent pas être traités de la même manière. On distinguera, dans la suite de ce document, la zone urbaine, drainée uniquement par le réseau unitaire et la zone périurbaine, drainée par le réseau pluvial et les ruisseaux naturels (figure 2).

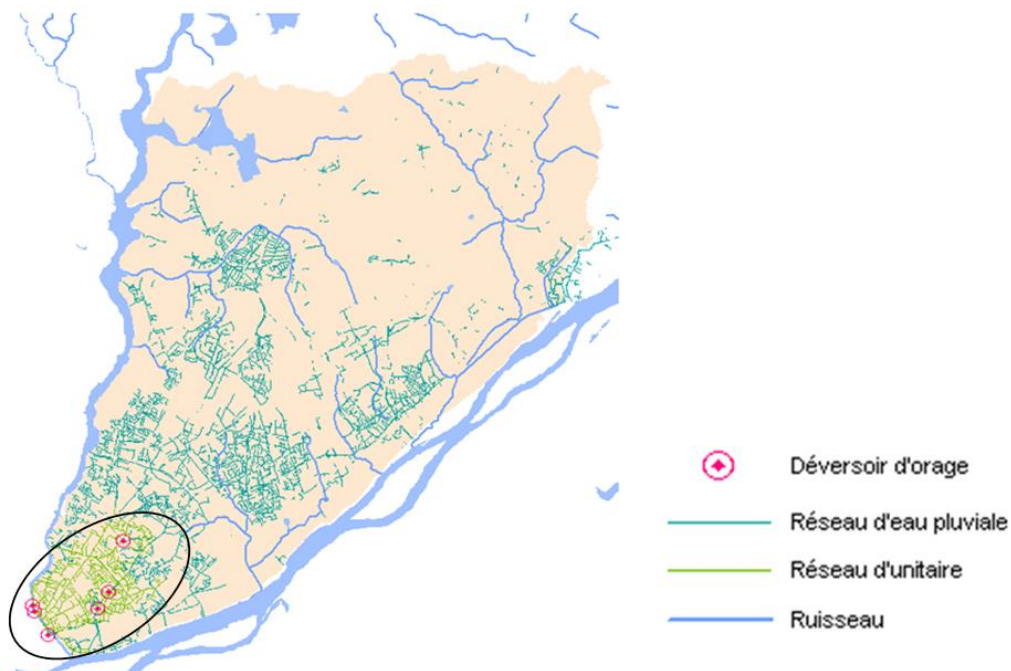


Figure 2 : Représentation du réseau hydrographique de la zone d'étude. La zone urbaine est entourée en noir.

2.2 Méthode de travail

Dans un premier temps, nous cherchons à représenter le cheminement de l'eau le plus précisément possible, cela constitue notre approche de référence. Pour cela, nous analysons, le fonctionnement hydrologique de notre zone d'étude. Puis, nous déterminons les bassins versants qui la composent. Enfin, nous cherchons à caractériser les cheminements hydrologiques au sein de ces bassins versants.

Dans un second temps, nous cherchons la meilleure méthode permettant de représenter le graphe hydrologique sous forme maillée dégradée. En effet, l'objectif est d'obtenir une méthode de reconstruction du réseau hydrographique applicable à une agglomération entière. Il n'est donc pas possible de conserver les résultats de l'approche de référence. Par ailleurs, le modèle hydrologique final, en amont duquel nous travaillons, traitera les fonctions de production et de transfert sous forme maillée, nous travaillons donc sur une discrétisation maillée de l'espace. L'impact de la simplification du réseau hydrographique sous forme de mailles est ensuite évalué par comparaison avec le modèle de référence, considéré comme beaucoup plus proche de la réalité.

2.2.1 Approche de référence détaillée

Une première étape est de déterminer les exutoires considérés.

En zone périurbaine, afin de tenir compte à la fois du réseau hydrographique naturel et anthropique, les exutoires sont positionnés à l'aval des ruisseaux parcourant la zone d'étude. L'Erdre et la Loire étant des entités trop importantes dont les bassins versants dépassent largement la zone d'étude, elles en ont été exclues. Les exutoires considérés sont donc les points de jonction entre les ruisseaux naturels et ces deux grands éléments hydrographiques.

En zone urbaine, seul le réseau unitaire est considéré. Lors d'un évènement pluvieux fréquemment observé, l'ensemble de l'eau pluviale est évacuée vers la station d'épuration de Tougas, située en dehors de la zone d'étude. Cependant, lors d'évènements pluvieux plus rares, une partie de l'eau drainée sur la zone urbaine est évacuée vers le milieu naturel au niveau des déversoirs d'orage. Ceux-ci deviennent alors des points clés du réseau hydrographique que nous considérons comme exutoires.

Une seconde étape consiste à délimiter les bassins versants liés à chaque exutoire en tenant compte de l'artificialisation de la zone.

En zone périurbaine, pour tenir compte de la modification du cheminement de l'eau par les réseaux d'eau pluviale et les voiries, nous appliquons la méthode proposée par Gironas (2009) qui consiste à creuser le MNT avant d'en extraire le réseau hydrographique et de délimiter les bassins versants.

En zone urbaine, le réseau hydrographique est constitué exclusivement du réseau d'assainissement unitaire. Cependant, tel qu'il est fourni, il ne permet pas de déterminer le cheminement de l'eau. Nous utilisons Bvast, un programme de reconstruction des réseaux développé par Dauphin (2010) qui permet de connecter et d'orienter automatiquement les tronçons du réseau en fonction de l'exutoire. Les bassins versants urbains sont alors délimités sur le principe présenté dans le modèle URBS (Rodriguez et al, 2008) : les parcelles cadastrales attenantes à une portion de réseau hydrographique sont intégrées au bassin versant du déversoir d'orage auquel il conduit.

La dernière étape consiste à reconstruire le cheminement de l'eau au sein des bassins versants. Pour cela, nous utilisons comme unité de base des mailles de 20m de côté à la fois en milieu urbain et périurbain. En effet, il s'agit de la résolution du MNT fourni par Nantes Métropole la plus fine que nous ayons à notre disposition. Cela signifie que nous calculons le cheminement de l'eau depuis chaque maille jusqu'à l'exutoire.

En zone périurbaine, ce cheminement est assimilé au trajet suivant la plus grande pente sur le MNT creusé artificiellement. En zone urbaine, ce trajet se fait en deux temps. Tout d'abord, l'eau va du centre de la maille considérée au regard le plus proche. Puis, elle circule en canalisation jusqu'au déversoir d'orage.

2.2.2 Représentation en mode maillé dégradé

Le modèle maillé dégradé est obtenu en plusieurs étapes. Tout d'abord, l'impact du maillage sur la délimitation des bassins versants est analysé. Cette analyse doit nous permettre de sélectionner une fourchette de résolution du maillage adaptée à la zone d'étude. Seules les résolutions situées dans cette fourchette sont étudiées par la suite.

Différentes approches permettant de représenter le cheminement hydrographique sont ensuite mises en œuvre sur les bassins versants concernés, aux résolutions retenues.

En zone périurbaine, l'approche géomorphologique basée sur l'algorithme D8 utilisée dans l'approche de référence est testée avec un MNT de résolution moins fine. La méthode dite « à vol d'oiseau » consistant à assimiler le cheminement de l'eau à une ligne droite entre le centre de la maille considérée et l'exutoire est aussi mise en place en zone urbaine et périurbaine.

Ces approches sont ensuite évaluées par comparaison avec les résultats de l'approche de référence. Pour cela, l'évolution de la répartition des distances à l'exutoire selon l'approche étudiée est analysée. En effet, il s'agit d'un critère important pour le transfert en réseau.

Le coefficient d'efficacité de Nash (NSE) permet une évaluation plus quantitative. Ce coefficient mesure l'importance du bruit (variance résiduelle) par rapport à la variance des données observées.

$$NSE = 1 - \frac{\sum (D_{sim}(t) - D_{ref}(t))^2}{\sum (D_{ref}(t) - \overline{D_{ref}})^2}$$

Avec : $D_{sim}(t)$ la donnée simulée au pas t

$D_{ref}(t)$ la donnée de référence au pas t

$\overline{D_{ref}}$ la moyenne des données de référence

Ce coefficient varie de 1 à $-\infty$, plus il est proche de 1 plus le modèle est, a priori, précis.

L'objectif final est de déterminer, pour chaque milieu, la résolution et l'approche la mieux adaptée pour représenter les transferts à l'échelle d'une agglomération.

3 RESULTATS

3.1 Délimitation des bassins versants

La première étape du travail consiste à reconstruire les bassins versants suivant l'approche de référence adaptée à son milieu (urbain ou périurbain). Nous obtenons alors les six bassins versants urbains et les neuf bassins versants périurbains présentés dans la figure 3. Les noms de ceux analysés plus précisément dans la suite du document sont indiqués sur la figure.

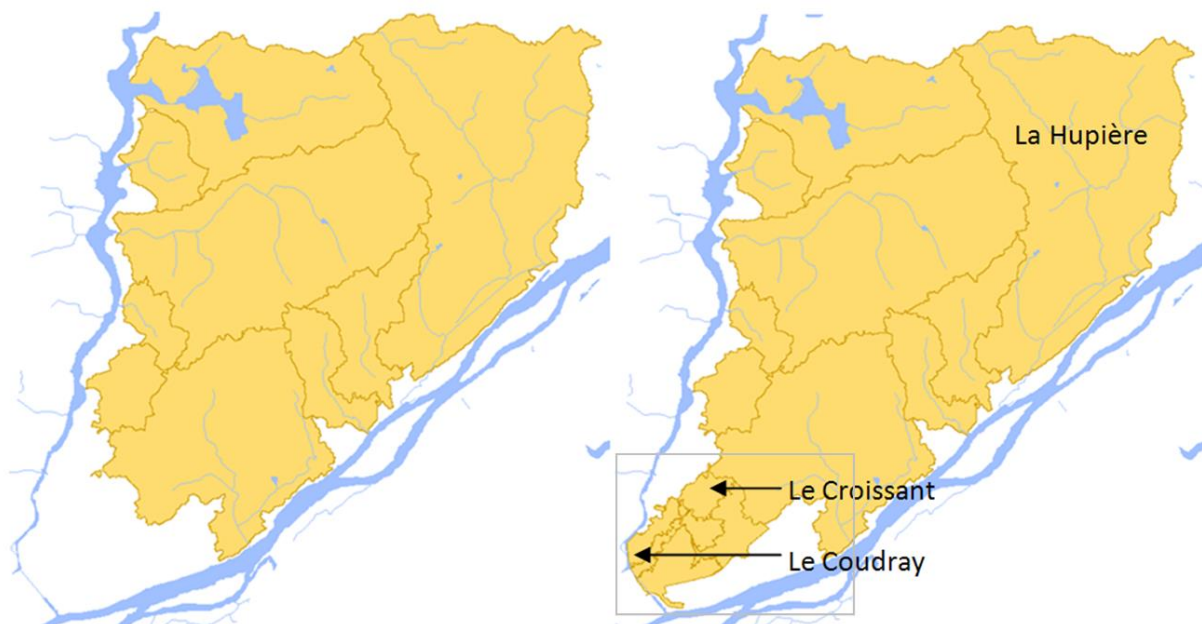


Figure 3 : Bassins versants de la zone d'étude : périurbains seuls à considérer dans le cadre d'une pluie "normale" (à gauche) et urbains et périurbains à considérer conjointement dans le cadre d'une pluie exceptionnelle (à droite).

Cependant, deux cas de figure sont à considérer dans le cadre de la mise en fonctionnement de cet ensemble. Pour des débits inférieurs au seuil de déversement, l'ensemble de l'eau drainée par le réseau unitaire est évacuée vers la station d'épuration hors de notre zone d'étude. Mais pour les débits au-delà de ce seuil, les déversoirs d'orage se mettent en fonctionnement et une partie des eaux drainées rejoint un autre exutoire ce qui modifie les surfaces contributives de chaque exutoire. La figure 4 associe les bassins versants urbains aux exutoires auxquels contribuent leurs excès de débits, dans le cadre d'une mise en fonction des déversoirs d'orage.

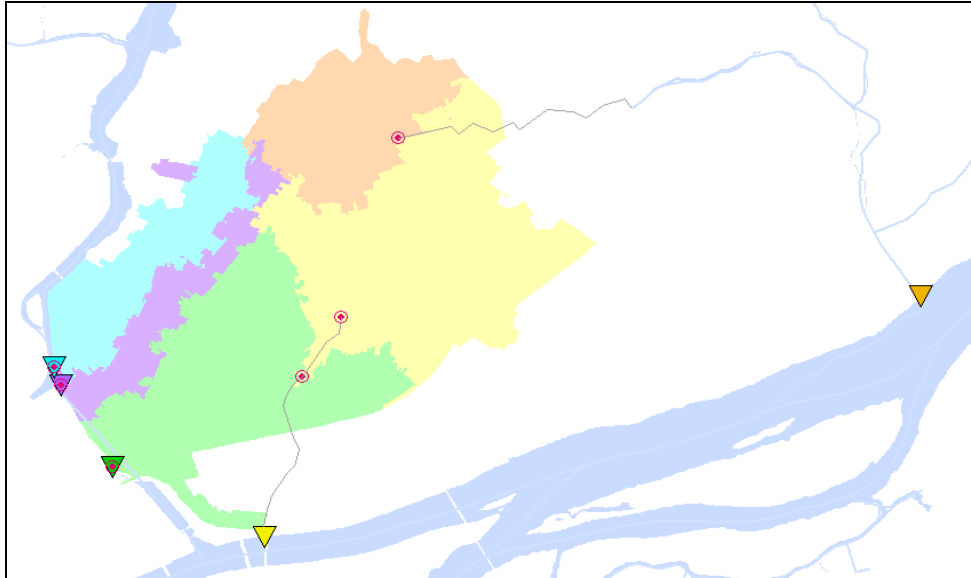


Figure 4 : Représentation des exutoires associés aux rejets des bassins versants urbains dans le cadre d'une mise en fonction des déversoirs d'orage (les exutoires sont les triangles de la couleur de leur bassin versant et les déversoirs d'orage sont les cercles rouges). Le domaine correspond à la zone délimitée par le rectangle sur la figure 3

Une fois nos bassins versants délimités, nous passons à la deuxième étape du travail qui consiste à représenter les bassins versants en mode maillé dégradé. La figure 5 illustre l'évolution de la forme et de la superficie des bassins versants avec la résolution du maillage.

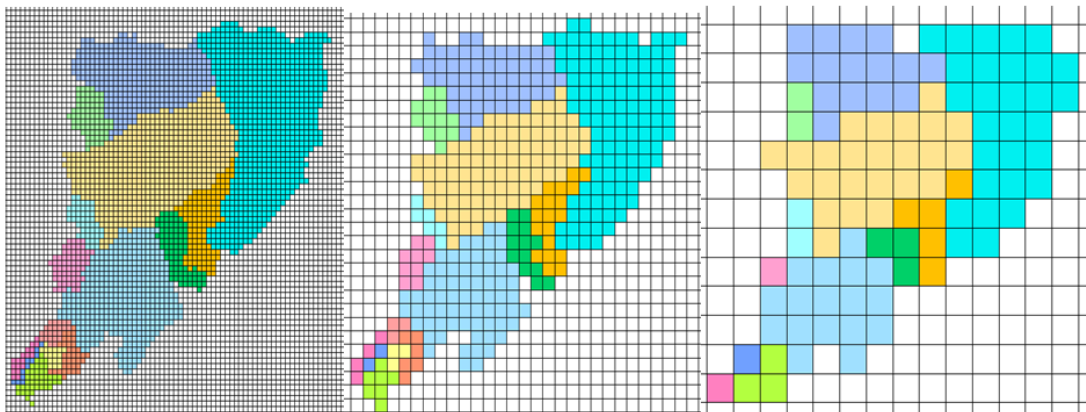


Figure 5 : Représentation des bassins versants de la zone d'étude suivant un maillage de 200m (à gauche), 500m (au centre) et 1 km (à droite).

A la vue des résultats obtenus dans cette partie de l'étude, il apparaît qu'une résolution inférieure à 200m n'est pas envisageable en raison du coût de traitement qu'elle suppose. Cependant, au-delà de 500m de résolution, les bassins versants les moins étendus, en particulier les bassins versants urbains qui sont très fins, sont très approximativement représentés en forme et en superficie.

Dans la suite de ce travail, nous avons donc décidé de limiter notre étude au maillage de 200m de résolution.

3.2 Représentation du cheminement hydrographique

3.2.1 En zone périurbaine

En zone périurbaine, le cheminement de l'eau considéré comme référence est obtenu grâce à l'application de l'algorithme D8 sur le MNT maillé de 20m. Deux approches en mode maillé dégradé sont ensuite testées. La première consiste à reproduire la méthode de référence en utilisant un MNT d'une résolution de 200m. La seconde, très simplificatrice, assimile le cheminement de l'eau à une ligne droite (approche « à vol d'oiseau »).

A l'issue du calcul, il apparaît que les distances de référence et les distances obtenues par les approches simplifiées sont corrélées linéairement. Les approches simplifiées présentent donc un biais qu'il est possible de corriger à l'aide du coefficient de la droite de régression linéaire. Deux coefficients correctifs sont ainsi calculés pour l'ensemble de la zone d'étude : un pour chaque approche simplifiée.

Afin d'évaluer les approches simplifiées, nous représentons la répartition des distances à l'exutoire "corrigées" pour chaque bassin versant. La figure 6 compare chaque approche simplifiée à l'approche de référence pour le bassin versant de la Hupière, qui est l'un des plus grands bassins versants de la zone d'étude.

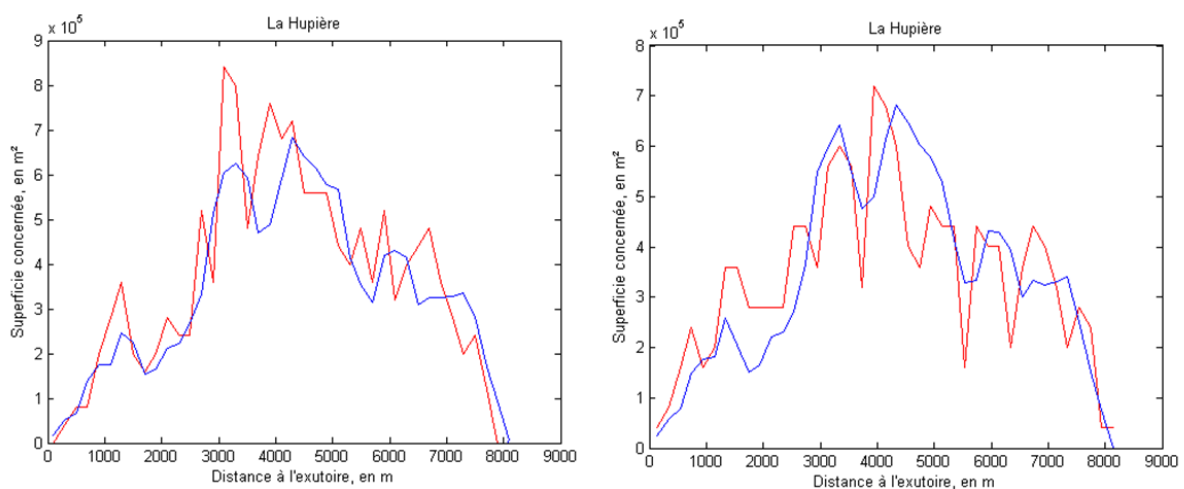


Figure 6 : Comparaison de la répartition des distances à l'exutoire entre les approches simplifiées sur un maillage à 200m (courbes rouges) et l'approche de référence sur un maillage à 20m (courbe bleue) sur le bassin versant de la Hupière : l'approche géomorphologique corrigée (gauche) et l'approche à vol d'oiseau corrigée (droite).

Afin d'évaluer objectivement les approches, le critère de Nash a été calculé (tableau 1). On constate que certains bassins versants sont très mal représentés. Il s'agit des bassins versants les plus petits pour lesquels la simplification engendrée par le maillage est plus significative.

Tableau 1 : Coefficient de Nash (NSE) calculé pour chaque bassin versant après comparaison de l'approche géomorphologique et de l'approche « à vol d'oiseau » avec l'approche de référence. Les cases grisées correspondent aux valeurs hors tolérance.

Bassins versants	NSE	
	Approche géomorphologique	Approche "à vol d'oiseau"
Le Gobert	0,6	0,7
Le Pré Poulain	0,5	0,2
Le Guette Loup	0,6	0,1
L'Aubinière	0,6	0,6
La Bretonnière	0,3	0,5
La Conardière	0,8	0,7
Le Charbonneau	0,8	0,6
La Dagonnière	0,3	0,1
La Hupière	0,7	0,6

L'approche "à vol d'oiseau" a le mérite de ne pas exiger un travail de prétraitement important ni de données géographiques particulières. Seule la reconstruction préalable des bassins versants est

nécessaire. Les résultats obtenus sont corrects même s'ils sont légèrement moins bons que ceux obtenus par l'approche géomorphologique.

Cependant, l'approche "à vol d'oiseau" ne permet pas de représenter le cheminement géographique de l'eau, bien qu'elle soit suffisante pour obtenir une répartition des distances cohérente. C'est pourquoi, l'approche géomorphologique apparaît plus intéressante dans notre représentation du réseau hydrographique.

3.2.2 En zone urbaine

En zone urbaine, le cheminement de l'eau suivant l'approche de référence est représenté en deux temps : d'abord le ruissellement sur un sol imperméabilisé, puis l'écoulement en réseau d'assainissement unitaire.

Il est cependant souhaitable, dans l'approche maillée dégradée, d'éliminer la nécessité de reconstruire un réseau cohérent, ce qui représente à la fois un travail de prétraitement important et un coût non négligeable en matière de temps de calcul. Par ailleurs, une approche géomorphologique n'est pas envisageable car les variations d'altitude au sein des bassins versants urbains ne sont pas significatives. Nous appliquons la méthode « à vol d'oiseau ».

Comme dans le cas des bassins versants périurbains, l'analyse des répartitions des distances à l'exutoire des différents bassins traités indique qu'il est possible d'utiliser un coefficient de correction moyen pour palier à l'approximation induite par l'approche.

La figure 7 présente la répartition des distances obtenue par 'approche « à vol d'oiseau » comparée à l'approche de référence, pour deux bassins versants urbains dont un très allongé (bassin versant du Coudray). Comme illustré par cette figure, les bassins versants allongés sont les moins bien représentés par cette approche.

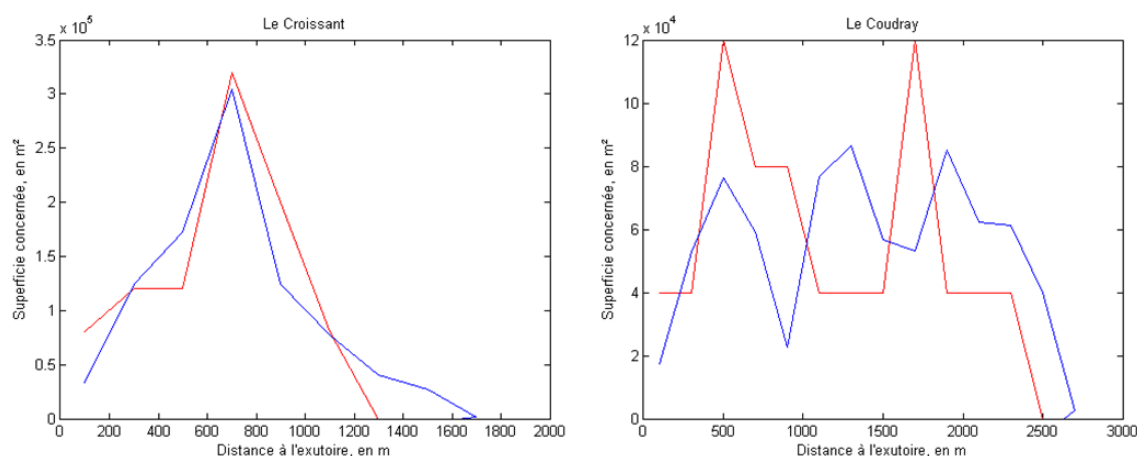


Figure 7 : Répartition des distances à l'exutoire obtenues par l'approche "à vol d'oiseau" à 200m ajustées (en rouge), et suivant l'approche de référence (en bleu), pour les bassins versants urbains du Croissant et du Coudray.

Les coefficients d'efficacité de Nash (NSE) sont calculés pour évaluer la qualité de la représentation suivant l'approche maillée à 200m pour l'ensemble des bassins versants (tableau 2).

Tableau 2 : Coefficient de Nash (NSE) calculé pour chaque bassin versant urbain après comparaison de l'approche « à vol d'oiseau » ajustée avec l'approche de référence. Les cases grisées correspondent aux valeurs hors tolérance.

	NSE
Le Croissant	0,8
Les Poilus	0,3
Sainte-Luce	0,8
Allonville	0,8
Le Coudray	-0,7
Général Buat	-0,2

Les résultats obtenus par l'approche à vol d'oiseau ne sont pas satisfaisants : la moitié des bassins versants urbains sont mal représentés. Cependant, il apparaît que ces incohérences sont dues

principalement au pas de représentation des courbes de réparation des distances à l'exutoire qui est fixé à 200m et au nombre de mailles décrivant ces bassins versants. Ces caractéristiques sont directement imposées par la résolution du maillage de 200m.

D'autres méthodes de représentation du réseau hydrographiques sont envisageables. Cependant, comme l'imprécision des résultats obtenus avec l'approche "à vol d'oiseau" est directement liée à la résolution du maillage employé, la mise en place d'une autre méthode de représentation du réseau hydrographique, basée sur ce maillage, ne permettrait donc pas d'améliorer sensiblement les résultats. Cependant, ces bassins versants urbains ne couvrent qu'une faible proportion de la zone étudiée.

4 CONCLUSION

Cette étude avait pour objectif de construire les cheminements de l'eau en zone urbaine, pour une application à l'échelle d'une ville. Plusieurs approches visant à représenter le réseau hydrographique de façon simplifiée à l'échelle d'une ville ont été évaluées par comparaison avec une approche détaillée. L'analyse du fonctionnement hydrologique de la zone étudiée a conduit à étudier séparément la zone urbaine traversée par un réseau unitaire du reste de la zone (drainée par un réseau séparatif et un réseau naturel).

Sur la partie urbaine, l'approche étudiée donne des résultats plus ou moins satisfaisants selon le bassin. Cependant, compte-tenu de la surface couverte par ces bassins, l'imprécision de cette approche n'est peut-être pas significative à l'échelle de la zone étudiée, voire d'une ville. Une analyse plus approfondie sur la contribution des ces bassins est nécessaire pour conclure.

Sur le reste de la zone, deux approches ont été étudiées pour reconstruire le réseau de façon simplifiée. Elles donnent des résultats satisfaisants sur la majorité des bassins versants étudiés, en particulier l'approche géomorphologique.

L'étude doit être poursuivie en essayant de reconstruire le réseau hydrographique de la zone d'étude à partir des données vectorielles, avant d'utiliser une discrétisation maillée de l'espace.

BIBLIOGRAPHIE

- Dauphin S. (2010) *Définition des zones des zones d'influence des débordements et déversements à partir d'une modélisation hydraulique simplifiée n'utilisant que des données topographiques*, Programme ANR génie civil urbain Projet Indigau (indicateurs de performance pour la gestion patrimoniale des réseaux d'assainissement urbains) Volet 3 Spatialisation des données d'autosurveillance Livrable L6.
- Dupasquier B. (1999) *Modélisation hydrologique et hydraulique des infiltrations d'eaux parasites dans les réseaux séparatifs d'eaux usées*, Ph. D. thesis, Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et Forêts. Centre de Paris.
- Gironas J. (2009), *Morphologic characterization of urban watersheds and its use in quantifying hydrologic response*, Ph. D. thesis, Colorado State University.
- Kerdommarec L., Bois S., Pailloux P. (2012) *Le pôle métropolitain Nantes Saint-Nazaire pourrait gagner 150 000 habitants à l'horizon 2030*, Etude INSEE Pays de la Loire n°106
- O'Callaghan J., Mark D. (1984), *The extraction of drainage networks from digital elevation data*, Computer Vision, Graphics, and Image Processing 28(3), 323-344.
- Rodriguez F. (1999) *Intérêt des banques de données urbaines pour l'analyse hydrologique. Détermination des fonctions de transfert de bassins versants urbains*, Ph. D. thesis, INPG, Grenoble
- Rodriguez F., Andrieu H., Morena F. (2008) *A distributed hydrological model for urbanized areas – model development and application to case studies*, Journal of Hydrology 351(3-4), 268-287