



HAL
open science

Représentation du réseau de drainage urbain complet pour une modélisation hydrologique à l'échelle de l'agglomération

Aude Allard, Katia Chancibault, Hervé Andrieu

► To cite this version:

Aude Allard, Katia Chancibault, Hervé Andrieu. Représentation du réseau de drainage urbain complet pour une modélisation hydrologique à l'échelle de l'agglomération. les 6èmes Journées des Doctorants en Hydrologie Urbaine 2014, Jul 2014, Lyon, France. 10 p. <hal-03188050>

HAL Id: hal-03188050

<https://hal.science/hal-03188050v1>

Submitted on 1 Apr 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

Représentation vectorielle d'un réseau de drainage urbain complet pour une modélisation hydrologique à l'échelle de l'agglomération

Aude ALLARD^{1*}, Katia CHANCIBAULT¹, Hervé ANDRIEU^{1, 2}

¹LUNAM, IFSTTAR/GERS/LEE, Route de Bouaye, 44340 Bouguenais, France.

²LUNAM, IRSTV, FR CNRS 2488 ECN - Bâtiment T, 1 rue de la Noë, BP 9210144321, Nantes cedex 3, France.

*Corresponding author's e-mail: aude.allard@ifsttar.fr

RESUME

La modélisation hydrologique à l'échelle de l'agglomération, pour l'évaluation de scénarios d'aménagement, nécessite, entre autres, une vision intégrée de l'ensemble des cheminements de l'eau de pluie en ville. Une telle vision n'existe pas encore à l'échelle de l'agglomération. Il s'agit donc de représenter le réseau hydrographique complet d'une agglomération : les rivières naturelles, les différents types de réseaux d'assainissement (unitaire, séparatifs), leurs connexions entre eux ainsi que celles avec le sol liées aux eaux parasites. Le travail présenté dans ce document vise ainsi à développer une méthodologie permettant de reconstruire un réseau hydrographique simplifié mais complet correspondant à cette vision intégrée. Même si de plus en plus de données sont disponibles (Modèle Numérique de Terrain (MNT), base de données urbaine...), notre objectif est d'utiliser uniquement des données largement disponibles, robustes et cohérentes les unes avec les autres. Cette méthodologie sera ainsi plus facilement transposable à différentes agglomérations. Les données nécessaires sont un MNT, les informations concernant l'occupation des sols et les données sur le réseau d'assainissement de l'agglomération telles que les regards, les stations de relèvement, les déversoirs d'orage, ... Cette méthodologie a été appliquée sur l'agglomération Nantaise (France), sur une zone couvrant la partie Est de Nantes (115,2 km²). L'évaluation de la méthodologie, sur différents bassins de la zone, selon trois approches, montre des résultats satisfaisants. .

MOTS CLES

Agglomération, Réseau d'assainissement, Réseau naturel, SIG (Système d'Information Géographique), Transfert

INTRODUCTION

La population urbaine mondiale augmente depuis plusieurs décennies. Selon les experts des Nations Unies, elle devrait encore s'accroître de 2,6 milliards d'habitants jusqu'en 2050 (Nations-Unies, 2011). Les zones urbaines sont connues pour impacter le cycle de l'eau avec une augmentation des volumes ruisselés annuels et des débits de pointe ainsi qu'une diminution des temps de réponse des bassins versants (Leopold, 1968 ; Jacobson, 2011). Ces effets peuvent conduire à un plus grand risque d'inondation et de pollution en milieu urbain. L'impact hydrologique des zones urbaines se combine avec celui du changement climatique attendu et variable selon les zones géographiques (GIEC, 2013). Par conséquent, pour une meilleure planification urbaine, il est nécessaire de prévoir l'impact de l'urbanisation dans le contexte du changement climatique. Cela exige des modèles capables de fonctionner à de grandes échelles spatio-temporelles telles que l'agglomération et l'échelle annuelle.

A l'échelle d'une agglomération, les cheminements de l'eau sont variés : ruissellement sur les surfaces imperméabilisées, écoulements souterrains, transfert au sein du réseau hydrographique. Le réseau hydrographique d'une zone urbaine est composé du réseau naturel (rivières), généralement d'un réseau unitaire et d'un réseau séparatif. Tous ces réseaux sont de plus potentiellement connectés. En cas de surcharge, le réseau unitaire, normalement connecté à la station d'épuration, déverse dans le réseau naturel via les déversoirs d'orage. Le réseau d'eaux pluviales est généralement directement connecté au réseau naturel. Quant au réseau d'eaux usées, connecté à la station d'épuration, il transporte malgré tout une quantité d'eaux pluviales non négligeable à cause des eaux claires parasites dues aux infiltrations de l'eau du sol et aux erreurs de branchement (Dupasquier, 1999). Compte-tenu des différents opérateurs gérant ces réseaux à des fins variées, il n'existe pas ou rarement, à notre connaissance, une représentation intégrée du réseau hydrographique complet des agglomérations

françaises. De plus, l'échelle spatiale visée nécessite l'utilisation d'un modèle hydrologique « simplifié » que ce soit du point de vue de la segmentation de l'espace et/ou de la représentation des processus du cycle de l'eau pris en compte.

Ainsi, l'objectif du travail présenté dans cet article est de développer une méthodologie permettant d'obtenir une représentation intégrée des cheminements de l'eau à l'échelle de l'agglomération. Les réseaux obtenus doivent être adaptés à l'échelle de l'agglomération et au modèle hydrologique adapté à cette échelle. Cependant, ils doivent rester cohérents avec l'utilisation de l'occupation du sol, le relief naturel et la description du réseau d'assainissement présente dans les bases de données urbaines. Afin que le modèle final puisse être facilement appliqué à différents sites d'étude et à différents scénarios, nous avons souhaité développer une méthodologie basée uniquement sur des données facilement disponibles.

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Afin de représenter le cheminement de l'eau à partir d'informations géographiques, trois techniques sont généralement distinguées : la première consiste à reconstruire un graphe orienté basé sur les données vectorielles présentes dans les bases de données urbaines, la deuxième s'appuie sur un MNT (modèle numérique de terrain) raster et représente les écoulements sur une grille régulière, la troisième utilise un MNT sous forme de triangulation (TIN : « triangular irregular network ») qui découpe la surface selon des triangles irréguliers (Rodriguez et al, 2013). Les deux méthodes basées sur des MNT représentent des écoulements basés sur la pente du terrain naturel, cependant, elles peuvent prendre en compte des éléments vectoriels issus de bases de données urbaines. Ainsi, Gironas et al. (2010) ont réussi à prendre en compte un réseau d'assainissement vectoriel au sein d'une approche sur MNT raster grâce à la méthode de l'incrustation (« stream burning ») qui consiste à creuser artificiellement certaines mailles de la grille du MNT raster. Le MNT TIN peut lui aussi prendre en compte des obstacles selon les informations disponibles (voirie, bâti, fossés) (Bocher, 2005, Rodriguez et al, 2013). Cependant, ces deux méthodes ne permettent pas de prendre en compte les différents réseaux et leurs connexions

La représentation des cheminements de l'eau sous forme de graphe orienté basé sur des données vectorielles est souvent implémentée dans les logiciels de gestion des réseaux d'assainissement. Les logiciels Canoë (<http://www.canoe-hydro.com/>) et Infowork (<http://www.innovyze.com/>) sont des exemples de cette représentation des réseaux artificiels pour des simulations hydrauliques pour la gestion de réseaux d'assainissement. Cette méthode est également utilisée pour les applications hydrologiques, en particulier pour la modélisation de bassins urbains, comme dans le modèle hydrologique urbain URBS (Urban Runoff Branching Structure) (Rodriguez et al., 2008, Rodriguez et al, 2013). URBS est capable de connecter le réseau unitaire, le réseau d'eau pluviale, le réseau d'eaux usées, les rivières et les eaux souterraines (sans simuler les rejets d'eaux usées). Le réseau hydrographique est décrit de manière exhaustive, ce qui nécessite un important travail de prétraitement des données des banques de données urbaines. Cela limite l'utilisation de ce modèle à l'échelle de l'agglomération.

Afin de limiter le travail de prétraitement des données et pour être cohérent avec la discrétisation spatiale des modèles hydrologiques fonctionnant à grande échelle (maillage régulier, sous bassins versants...), une représentation simplifiée des différents réseaux hydrographiques urbains est souhaitable. Les méthodes de simplification de réseaux actuelles sont basées sur la structure du réseau et utilisent l'ordre d'Horton Strahler (Horton, 1945) (Strahler, 1957). Toutefois, ces méthodes ne s'appliquent qu'à des graphes orientés détaillés (Touya, 2007). Or, le réseau d'assainissement artificiel est rarement disponible sous cette forme dans les banques de données urbaines.

Ainsi, il n'existe pas encore, à notre connaissance, de méthodologie permettant de représenter un réseau hydrographique simplifié basé sur des données vectorielles sans passer par la reconstruction complète de ce réseau sous la forme d'un graphe orienté détaillé. De même, la question de la mise en cohérence du relief, de l'occupation des sols et du réseau hydrographique urbain, en tenant compte de ses connexions et de sa complexité, ne nous semble pas résolue. Dans ce cadre, notre objectif est de développer une telle méthodologie afin d'obtenir une représentation simplifiée du réseau d'assainissement permettant, à termes, de représenter les transferts d'eau au sein d'un modèle hydrologique à l'échelle de l'agglomération.

Nous allons dans un premier temps détailler la méthodologie développée. Puis nous présenterons la zone d'étude sur laquelle cette méthodologie a été appliquée. Dans un second temps, nous présenterons les résultats obtenus et leur évaluation. Enfin, nous concluons quant aux perspectives de ce travail.

METHODOLOGIE

Seules des données géographiques robustes et disponibles sont utilisées : le réseau hydrographique naturel de la BD Carthage (base de données du réseau hydrographique naturel français sous forme de graphe orienté : <http://www.sandre.eaufrance.fr/>), le relief, les marqueurs de la présence des réseaux artificiels (eaux usées, eau pluviale, unitaire). Dans cette étude, nous avons considéré qu'une zone était desservie par un réseau artificiel lorsqu'elle contenait des regards associés à ce réseau, nos marqueurs sont donc les regards. La méthodologie vise à reconstruire directement les réseaux artificiels simplifiés, adaptés à l'échelle des mailles d'une grille régulière, et connectés à des cours d'eau naturels.

Réseaux artificiels

La méthodologie mise au point peut être décrite en trois étapes : la première consiste à déterminer les zones drainées par le réseau artificiel ; la seconde sélectionne les nœuds caractéristiques de chaque réseau ; et la dernière joint ces nœuds caractéristiques.

1. Les zones drainées par les réseaux artificiels

Les zones drainées par les réseaux artificiels sont sélectionnées. Selon le niveau de détail de la zone d'étude, ces surfaces doivent être seuillées. Sous la surface minimale (A_{min}), les zones drainées ne sont pas traitées car considérées comme non significatives à notre échelle d'étude. Au-dessus de la surface maximale (A_{max}), elles sont discrétisées, car il devient trop simplificateur de les traiter comme un bloc homogène (Figure 1). Nous avons choisi une discrétisation suivant un maillage régulier dans la mesure où notre objectif final est d'introduire la représentation du réseau artificiel dans un modèle hydrométéorologique maillé.

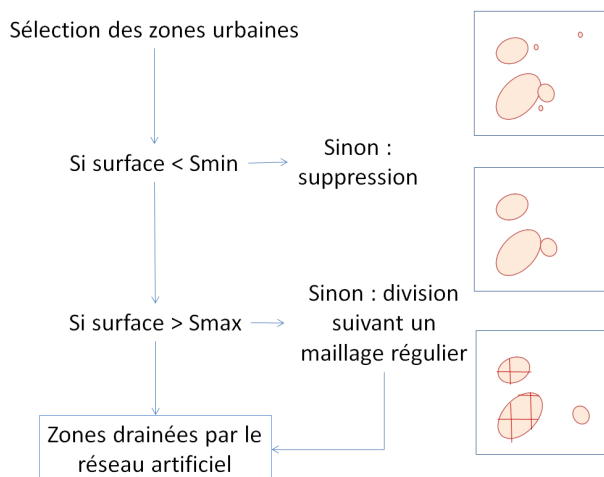


Figure 1 : Présentation des différentes étapes pour obtenir les zones drainées par le réseau artificiel.

2. Les nœuds caractéristiques

Les nœuds caractéristiques des réseaux simplifiés sont définis pour chaque type de réseau. Ce sont, d'abord, pour l'ensemble des zones drainées définies dans la première étape, les exutoires, assimilés aux regards les plus bas de chaque zone. Les ouvrages spéciaux des réseaux artificiels sont également considérés comme des nœuds caractéristiques. Ce sont : les déversoirs d'orage, car ils peuvent connecter le réseau unitaire aux rivières ou au réseau d'eau pluviale, et les stations de relèvement, car elles conduisent l'eau à contre-pente (Figure 2).

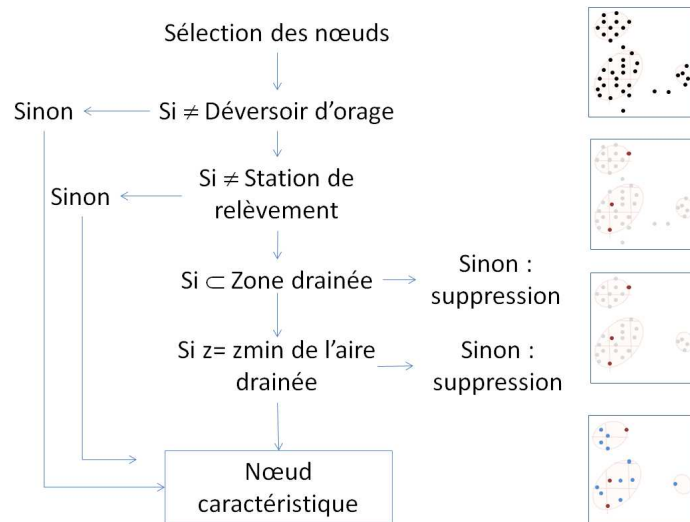


Figure 2 : Présentation des différentes étapes pour obtenir les nœuds caractéristiques du réseau.

3. La jonction des nœuds caractéristiques

Dans la dernière étape, les nœuds caractéristiques sont joints pour former les arcs des graphes orientés simplifiés des différents réseaux. Ces jonctions sont réalisées grâce à une fonction de coût basée sur les règles de conception des réseaux.

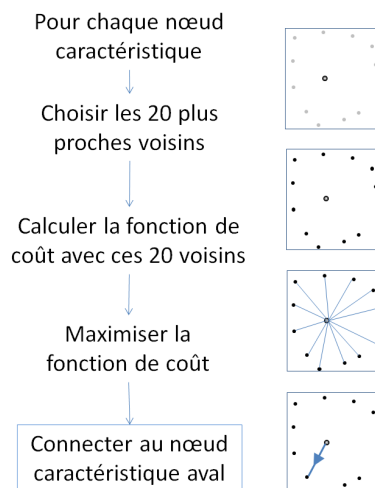


Figure 3 : Présentation des différentes étapes pour connecter les nœuds structurants entre eux et obtenir ainsi les arcs du graphe orienté simplifié.

L'échelle des réseaux simplifiés nous permet de fixer des règles générales sans tenir compte des exceptions locales. Ainsi, les réseaux artificiels suivent habituellement la pente naturelle, sauf dans le cas des stations de relèvement. De plus, ils sont aussi directs que possible pour réduire les longueurs des collecteurs. La jonction de chaque nœud à son nœud aval se fait alors grâce à l'équation 1, cette équation est calculée pour les 20 nœuds les plus proches du nœud traité. Le nœud pour lequel la valeur C calculée est maximale sera choisi comme nœud aval du nœud traité.

$$C = aS + bD_o + cD_N \quad (1)$$

Avec C , le coefficient permettant de déterminer le nœud à connecter ; a , b (m^{-1}) et c (m^{-1}), les paramètres à caler en fonction du réseau et du site d'étude ; S ($m.m^{-1}$), la pente entre les deux nœuds ; D_o (m) la différence entre les distances à l'exutoire en ligne droite depuis chacun des deux nœuds ; et D_N (m), la distance en ligne droite entre les deux nœuds.

Le choix d'un nœud aval est fait en maximisant la valeur de C . Les exutoires sont la STEP (Station d'épuration) pour le réseau unitaire et le réseau d'eaux usées et les rivières naturelles pour le réseau d'eau pluviale. La

distance entre deux nœuds (D_N) est considérée car l'extension d'un réseau artificiel se fait, autant que possible, par connexion au réseau artificiel existant afin de limiter les longueurs de canalisation.

La combinaison (a, b, c) (équation 1) est la même pour chaque réseau (eau pluviale, eaux usées ou unitaire). Cependant trois cas différents ont été distingués pour déterminer ces paramètres : les arcs sortants de regards, les premiers arcs sortants d'une station de relèvement et les autres arcs sortants d'une station de relèvement. En effet, l'arc sortant d'un regard doit avoir une pente positive. Le premier arc sortant d'une station de relèvement doit avoir une pente négative et les arcs suivants peuvent avoir des pentes positives ou négatives car la station de relèvement peut agir sur plusieurs arcs.

Connexion aux rivières naturelles

Les différents réseaux hydrographiques sont connectés les uns aux autres ; généralement, les réseaux artificiels sont connectés au réseau hydrographique naturel, c'est pourquoi les graphes orientés simplifiés obtenus précédemment doivent être connectés.

Les graphes orientés simplifiés du réseau unitaire sont connectés aux rivières au niveau des stations d'épuration, cette connexion se fait grâce à une ligne droite partant de la station d'épuration pour rejoindre la rivière la plus proche. Cependant, les stations d'épuration ne sont pas les seuls liens entre le réseau unitaire et les cours d'eau naturels, les déversoirs d'orage sont aussi à prendre en compte. Ces déversoirs d'orage peuvent être proches des rivières ou connectés à elles par des canalisations enterrées non référencées dans les bases de données urbaines. Comme ils sont généralement peu nombreux, même à l'échelle de l'agglomération, nous avons choisi de faire la jonction entre les déversoirs d'orage et les réseaux naturels manuellement.

Dans les agglomérations françaises, les anciens réseaux artificiels sont généralement en unitaire alors que les nouvelles zones urbaines sont conçues en séparatif avec à la fois un réseau d'eaux pluviales et un réseau d'eaux usées. Le réseau d'eaux usées peut donc être connecté à la station d'épuration par l'intermédiaire du réseau unitaire. Pour prendre en compte ces éventuelles connexions, le graphe orienté simplifié du réseau unitaire a été utilisé comme potentielle arrivée du graphe du réseau d'eaux usées. La connexion à la station d'épuration a été ensuite effectuée au travers du réseau unitaire. Cette station d'épuration est connectée au réseau naturel, comme pour le réseau unitaire, par une simple ligne droite.

Le réseau d'eau pluviale, directement connecté aux cours d'eau naturels, a de nombreux exutoires. Pour représenter le réseau d'eau pluviale sous forme de graphe orienté simplifié, les nœuds exutoires doivent être distingués des autres nœuds. Les exutoires de l'eau pluviale sont définis comme les nœuds les plus bas ou ceux au moins deux fois plus près de la rivière que de leurs voisins les plus proches. Les exutoires des graphes orientés simplifiés du réseau d'eau pluviale sont alors connectés à la rivière par une ligne droite.

La zone d'étude

La zone d'étude se situe dans la communauté urbaine de Nantes. Sa population est de 580 500 habitants (Kerdommarec et al. 2011) pour une superficie de 534 km². Cette zone est constituée par différents types d'occupation des sols : urbain dense dans le centre-ville, zones commerciales, zones périurbaines et zones rurales à la périphérie. Le relief n'est pas très marqué (de 0 à 90 m). Toutefois, le réseau de drainage est assez dense. Nantes est positionnée sur la Loire, le plus long fleuve de France. Dans l'agglomération, il est rejoint par de nombreux affluents plus ou moins importants (figure 1). La zone urbaine de Nantes est également drainée par des réseaux artificiels : le réseau unitaire, dans le vieux centre-ville et une combinaison de réseaux d'eau pluviale et d'eaux usées dans les zones plus récentes.

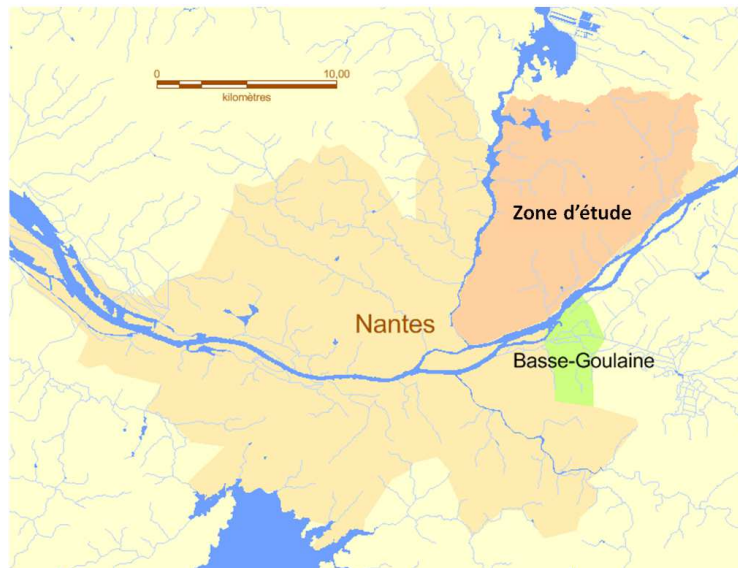


Figure 4 : Carte de communauté urbaine de Nantes Métropole (orange clair) avec la zone d'étude (partie est de l'agglomération, orange foncé). Les paramètres de la méthodologie ont été fixés sur la commune de Basse-Goulaine (en vert).

La méthodologie présentée ci-dessus a été appliquée à la partie est de l'agglomération nantaise (115,2 km²) (Figure 1), représentative de toute l'agglomération. En effet, tous les types d'occupation du sol y sont représentés (urbain dense, zones commerciales, zones périurbaines et zones rurales). En outre, cette zone contient tous les types de réseaux hydrographiques : rivières naturelles, réseau unitaire, réseau d'eau pluviale et réseau d'eaux usées (figure 2).

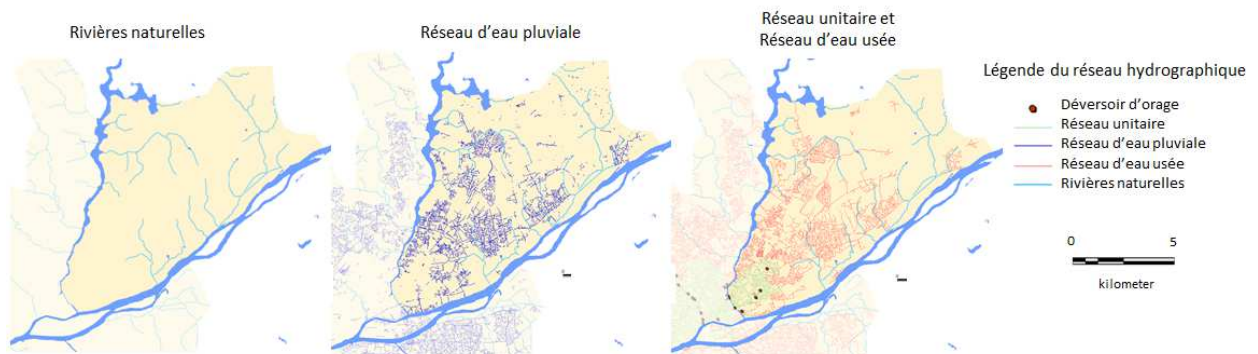


Figure 5 : Réseaux hydrographiques de la partie est de l'agglomération nantaise (la zone d'étude): le réseau naturel à gauche, le réseau d'eau pluviale au milieu, le réseau unitaires (vert) et le réseau d'eaux usées (rouge) sur la droite.

Cependant, les paramètres de la méthodologie ont d'abord été déterminés sur une zone indépendante plus petite : la commune de Basse-Goulaine (Figure 1). Situées dans le sud-est de l'agglomération Nantaise (13,85 km²) elle possède l'avantage d'avoir des réseaux artificiels indépendants. Par conséquent, les graphes orientés exhaustifs des réseaux artificiels ont pu être entièrement reconstruits à partir des informations présentes dans les bases de données urbaines. Ces graphes ont ensuite été utilisés comme «références» pour caler les paramètres des graphes modélisés. La première étape a consisté à fixer les seuils minimum (A_{min}) et maximum (A_{max}) des zones contributives. Plusieurs valeurs ont été testées : les meilleurs résultats en termes de distances aux exutoires ont conduit à $A_{min}= 0,01$ km² et $A_{max}= 0,25$ km². Les paramètres de jonction a, b, c (Equation 1) ont été choisis pour donner la représentation la plus proche des graphes "de références". Toutefois, la robustesse du processus a été privilégiée. Le tableau 1 illustre les paramètres choisis pour chaque situation.

Tableau 1. Synthèse des paramètres définis sur la commune de Basse-Goulaine

Arcs sortant d'un regard	Premiers arcs sortant d'une station de relèvement	Autres arcs sortant d'une station de relèvement
--------------------------	---	---

Pente > 0	Pente < 0	Pente indéterminée
a = 50	a = 50	a = 0
b = 0.5	b = 5	b = 5
c = -0.004	c = -0.004	c = -0.004

RESULTATS ET DISCUSSION

La méthodologie a ensuite été appliquée à la zone d'étude Nantes-Est, avec les paramètres définis sur Basse-Goulaine. Les résultats sont présentés et évalués dans cette partie.

Résultats

Les réseaux d'eaux usées et unitaires sont traités simultanément car le réseau d'eaux usées est connecté au réseau unitaire. La station d'épuration n'est pas à l'intérieur de la zone d'étude. Par conséquent, le regard le plus proche de la station d'épuration, par lequel est évacué l'ensemble des eaux usées et l'unitaire, est considéré comme la station d'épuration de cette zone. Les résultats obtenus sont présentés sur la figure 3a.

Le réseau d'eau pluviale est traité après le réseau unitaire, afin de ne prendre en compte que les zones non drainées par le réseau unitaire. Pour le réseau d'eau pluviale, les exutoires sont des rivières. Par conséquent, les distances aux exutoires (D_o , Equation 1) ont été assimilées pour chaque nœud à la distance la plus courte à la rivière la plus proche. Le résultat est présenté sur la figure 3b.

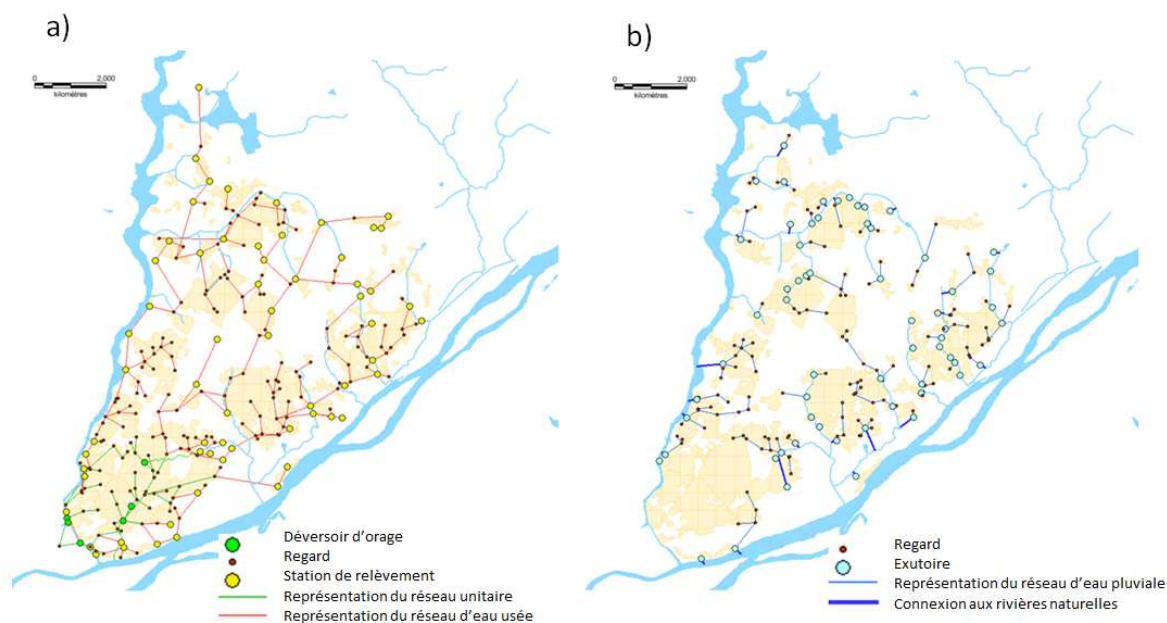


Figure 6 : Réseaux simplifiés obtenus sur Nantes Est à partir de la méthodologie proposée : a) le réseau unitaire (vert) et le réseau d'eaux usées (rouge), b) le réseau d'eau pluviale connecté aux rivières naturelles.

Evaluation

Différents critères peuvent être utilisés pour l'évaluation. Trois d'entre eux ont été retenus : la structure du réseau (dans une petite zone avec un "graphe de référence" entièrement reconstruit), les distances à l'exutoire (par rapport au "graphe de référence" dans une petite zone), et la bonne connexion de l'eau pluviale aux rivières naturelles.

Structure du réseau

La structure du réseau est évaluée dans la zone drainée par le réseau unitaire. Une comparaison est effectuée entre la structure du "graphe de référence", et le réseau obtenu par notre méthodologie. Les résultats sont présentés sur la figure 4.

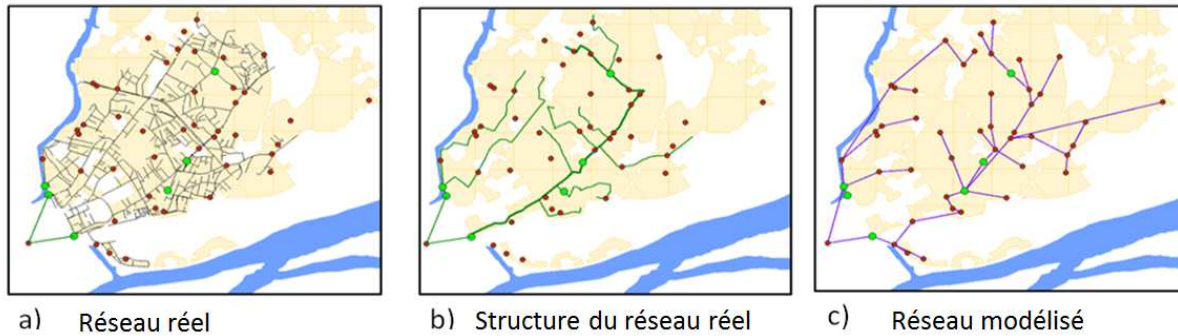


Figure 7 : Evaluation de la structure du réseau sur le territoire drainé par le réseau unitaire. Les points verts sont des déversoirs d'orage. De gauche à droite: "réseau de référence" issu de la base de données urbaine, structure du réseau unitaire obtenue par généralisation cartographique, réseau simplifié obtenu par notre méthode.

La structure du "réseau de référence" est obtenue par des méthodes de généralisation cartographique des réseaux hydrographiques. Elles sont basées sur les ordres d'Horton Strahler (seuls les tronçons d'ordres supérieurs à 4 sont conservés) et nécessite le réseau détaillé sous forme de graphe orienté en entrée (Touya, 2007). La comparaison est évaluée visuellement (figure 4b et 4c). Les principales différences sont dues à des erreurs dans la base de données urbaine : certains regards sont classés comme appartenant au réseau unitaire alors qu'ils appartiennent au réseau d'eau pluviale ou d'eaux usées (les cercles rouges isolés sur la figure 4a). D'autres imperfections sont directement liées à l'échelle de l'étude : un maillage de 500m de résolution a été utilisé pour discrétiser l'espace, donc, certaines branches de la structure du réseau sont dans la même unité spatiale : elles ne peuvent pas être distinguées dans le réseau modélisé. Cependant, la structure générale a été reproduite. En particulier, les zones contributives à chaque déversoir d'orage sont cohérentes.

Distances aux exutoires

Les distances aux exutoires sont évaluées sur un petit bassin versant périurbain : "l'Aubinière" (Gironás *et al.*, 2010). En effet, les distances à l'exutoire sont un critère qui peut permettre, sous certaines conditions, de s'approcher d'une fonction de transfert. Dans ce bassin versant les distances à l'exutoire final de la rivière sont calculées pour chaque nœud caractéristique du réseau d'eau pluviale simplifié. Elles ont ensuite été comparées aux distances à l'exutoire calculées à partir du "réseau de référence".

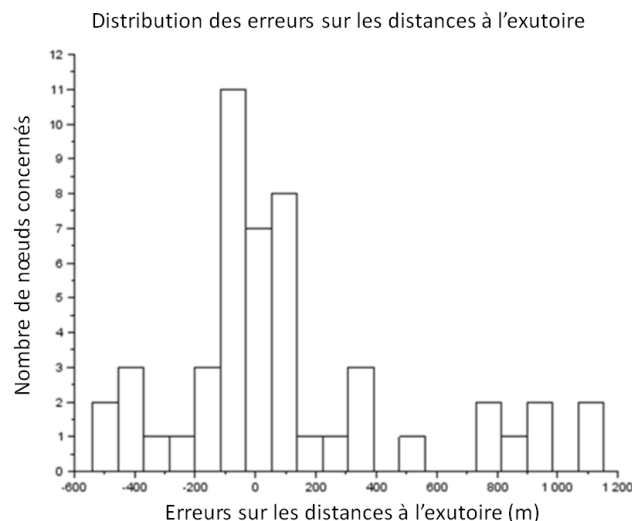


Figure 8 : Distribution des erreurs sur les distances à l'exutoire du bassin versant de l'Aubinière

Les erreurs sont centrées autour de zéro (Figure 5). Cependant, on constate des erreurs positives élevées. Une analyse approfondie a montré que ces erreurs étaient regroupées dans une même zone qui, probablement pour des raisons historiques n'a pas été connectée au réseau le plus logique. Toutefois, la distance moyenne à l'exutoire de la zone d'étude est supérieure à 11 km pour le bassin versant. Ainsi, les erreurs maximales sur la distance à l'exutoire dues à la simplification (1 100 m) sont inférieures à 10 % de cette distance à l'exutoire, ce qui peut être considéré comme acceptable.

Connexion de l'eau pluviale des zones urbaines aux rivières naturelles

La dernière évaluation a été effectuée sur la connexion aux rivières. L'objectif est de contrôler que les zones urbaines drainées par les réseaux d'eau pluviale sont connectées à la bonne rivière. Pour cela, les bassins versants de chaque rivière de la zone d'étude ont été reconstruits en utilisant l'algorithme D8 (O'Callaghan et Mark, 1984) associé à la méthode de l'incrustation de réseau (« stream burning »), (Gironás *et al.*, 2010). Les zones drainées par le réseau d'eau pluviale sont comparées aux bassins versants topographiques (figure 6). La plupart des erreurs (zones de couleur rouge) sont situées sur les limites entre bassins versants. Comme la méthode ne permet pas la connexion d'une maille à plusieurs bassins versants, une partie de ces mailles n'est pas correctement connectée. Cependant, le modèle hydrométéorologique dans lequel nous souhaitons intégrer notre représentation du réseau artificiel ne peut pas connecter une maille à plusieurs bassins versants, il n'est donc pas pertinent de développer une méthodologie de représentation qui le permette.

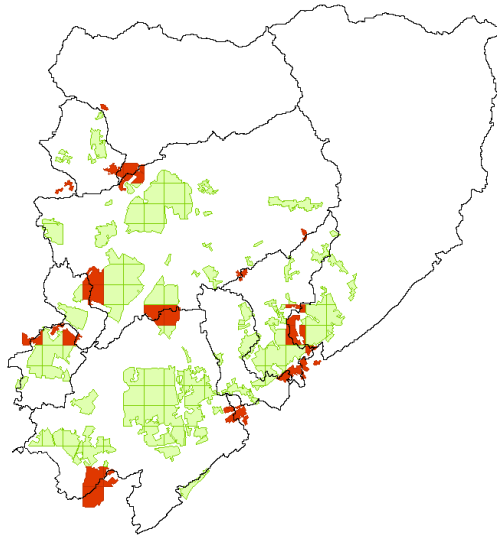


Figure 9 : Surfaces drainées par le réseau d'eau pluviale. Les zones vertes sont correctement connectées aux rivières, les zones rouges ne sont pas entièrement connectées à la bonne rivière.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Cette communication présente une méthode de reconstruction du réseau hydrographique urbain intégré, compatible avec l'échelle visée de l'agglomération. Tous les écoulements transversaux sont pris en compte : le ruissellement de surface, les écoulements de subsurface et les écoulements au sein du réseau hydrographique. Le ruissellement de surface et les écoulements de subsurface sont représentés en utilisant l'algorithme D8 (O'Callaghan et Mark, 1984). Les écoulements au sein des réseaux hydrographiques suivent des graphes orientés. Ces graphes orientés sont la BD Carthage pour le réseau hydrographique naturel et les graphes orientés simplifiés pour les réseaux artificiels.

Les graphes orientés simplifiés des réseaux artificiels sont réalistes parce qu'ils sont construits en s'appuyant sur des règles logiques de conception des réseaux artificiels. En outre, les résultats des évaluations sur les structures de réseaux, les distances à l'exutoire et les connexions aux rivières naturelles sont satisfaisants. De plus, les graphes orientés simplifiés sont topologiquement cohérents. En effet, les graphes orientés relient les nœuds des réseaux et les différents types de réseaux les uns aux autres. Par ailleurs, les liens topologiques entre les zones drainées et les cheminements de l'eau sont respectés.

Le niveau de détail de la représentation est adapté à l'échelle de l'agglomération. Les surfaces drainées par les réseaux sont discrétisées grâce à un maillage régulier de 500m de résolution, conformément à la résolution du modèle hydrométéorologique que nous souhaitons mettre en œuvre. La simplification des réseaux artificiels est importante, mais il n'est pas utile d'avoir une représentation plus détaillée des réseaux artificiels alors que les processus de production d'un modèle adapté à cette échelle, sont résolus à une échelle plus grossière.

Pour finir, la représentation des réseaux artificiels est peu coûteuse. En effet, toutes les données géographiques nécessaires sont disponibles sans prétraitements importants. Les réseaux artificiels ne sont pas nécessaires sous

forme de graphes orientés détaillés, seuls les marqueurs de leur présence sont utiles, ces informations étant plus faciles à trouver dans les bases de données urbaines.

La prochaine étape de ce travail est d'intégrer cette représentation des écoulements dans un modèle hydrologique adapté aux échelles spatiale de l'agglomération et temporelle de l'année. La représentation sera ensuite évaluée au sein du modèle choisi (Chancibault et al., 2014, De Munck et al., 2013). Les limites de validité de la simplification seront alors testées à l'aide de variables hydrologiques simulées (débit, humidité du sol, ...).

REMERCIEMENTS

Projet Trafipollu a été fondé par l'Agence Nationale de Recherche de France (ANR) sous le contrat n° ANR-12-VBDU-0002. Les auteurs remercient la communauté urbaine de Nantes Métropole qui a fourni les données géographiques.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bocher, E. (2005). *Impacts des activités humaines sur le parcours des écoulements de surface dans un bassin versant bocager : essai de modélisation spatiale*. Thèse de doctorat en Géographie, Rennes, Université de Rennes 2, 232p.
- Chancibault K., Lemonsu A., Brun J.M, De Munck C., Allard A., Long N., Bellec A., Masson V., Andrieu H., (2014) Hydrological evaluation of urban greening scenarios: application to the City of Nantes, in France. *Proceedings of the 13th ICUD*, Sarawak, Malaysia, 7-12 September 2014.
- De Munck C. A. Lemonsu, R. Bouzouidja, V. Masson, R. Claverie, (2013) "The GREENROOF module (v7.3) for modelling green roof hydrological and energetic performances within TEB", *Geoscientific Model Development*, 6, 1941-1960, doi:10.5194/gmd-6-1941-2013
- Dupasquier, B. (1999). *Modélisation hydrologique et hydraulique des infiltrations d'eaux parasites dans les réseaux séparatifs d'eau usée*. Thèse de doctorat en hydrologie. Paris : Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et Forêts, 282p
- GIEC. (2013). *Changements climatiques 2013 – les éléments scientifiques. Contribution du groupes de travail I au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*. GIEC, Stockholm, Suède.
- Gironás, J., Niemann, J., Roesner, L., Rodriguez, F., Andrieu. H. (2010). Evaluation of Methods for Representing Urban Terrain in Storm-Water Modeling. *Journal of hydrologic engineering*, 377 (3-4), 317-334.
- Horton, R. (1945). Erosional development of Streams and their Drainage Basins; Hydrophysical approach to Quantitative Morphology. *Bulletin of the geological society of America*, 56, 275-370.
- Jacobson, C. (2011). Identification and quantification of the hydrological impacts of imperviousness in urban catchments : A review. *Journal of Environmental Management* 92(6), 1438 – 1448.
- Kerdommarec et Pailloux (2011) *Nantes Métropole pourrait gagner 100000 habitants d'ici 2030*, INSEE Pays de la Loire, Etudes n°96, 4p.
- Leopold, L.B., (1968) *Hydrology for Urban Land Planning – A Guide Book on the Hydrologic Effects of Urban Landuse*. US Department of the Interior Geological Survey Circular 554. <http://pubs.er.usgs.gov/pubs/cir/cir554>.
- 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., 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.
- Rodriguez, F., Bocher, E., Chancibault, K. (2013). Terrain representation impact on periurban catchment morphological properties. *Journal of Hydrology*, 485, 54-67.
- Strahler, A. (1957). Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology. *American Geophysical Union*, 38, 913-920.
- Touya, G. (2007). Un processus de sélection du réseau hydrographique, basé sur la détection de structures. *Comité Français de Cartographie*, 194, 46-56.
- United-Nations. (2011). *World Urbanization Prospects: The 2011 Revision, Highlights*. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, New York.