

# UTILISATION D'UN SIG POUR LA MODELISATION HYDROLOGIQUE DES BASSINS VERSANTS URBAINS

## Résumé

Une connaissance géographique et physique détaillée de la ville est un atout pour la modélisation hydrologique en milieu urbain. L'accès à cette connaissance est de plus en plus facilité dans les villes, grâce aux Systèmes d'Information Géographique (SIG) dont disposent les collectivités locales et qui permettent de gérer et d'exploiter les données urbaines. L'utilisation des SIG dans le cadre d'une analyse hydrologique de la ville s'appuie sur la base de données localisées de la Communauté urbaine de Nantes. La parcelle représentant l'élément unitaire de description du milieu, la distribution spatiale de caractéristiques pertinentes en hydrologie est déterminée et le réseau d'écoulement des eaux pluviales est modélisé. Les applications hydrologiques déduites de cette analyse sont enfin précisées, et attestent de l'intérêt de l'outil SIG pour l'hydrologie : délimitation automatique des bassins versants, détermination de la réponse hydrologique d'un bassin versant urbain à partir des banques de données urbaines.

## Contexte et objectifs

L'évolution permanente du milieu urbain est un obstacle pour bien cerner le comportement hydrologique des bassins versants urbains. Ce domaine doit pourtant être étudié avec soin, afin de répondre correctement aux problèmes rencontrés aujourd'hui en hydrologie : les scénarios catastrophe qui ont lieu lors des événements pluvieux exceptionnels, la pollution des eaux de ruissellement, et les dysfonctionnements des réseaux d'eaux usées et des stations d'épuration en temps de pluie. Déterminer le fonctionnement hydrologique d'une zone urbaine donnée nécessite la connaissance de nombreuses caractéristiques physiques et géométriques de la ville. Cette connaissance est aujourd'hui facilitée par l'émergence des banques de données urbaines : la numérisation des données cadastrales dans les villes progresse de façon spectaculaire en France, et s'accompagne du développement des SIG.

La plupart des grandes collectivités locales disposent de moyens informatisés de gestion de leur territoire performants, et l'essor de la géomatique permet d'envisager de plus en plus d'applications métier en ce qui concerne la gestion urbaine. La conception et la gestion des réseaux d'assainissement urbains est un domaine qui fait appel à des outils spécifiques qui sont des logiciels de dimensionnement et de simulation des systèmes d'assainissement, et ces outils font appel à de nombreuses données descriptives, telles que la surface des bassins versants, la nature de l'occupation du sol, la position, la typologie, et le linéaire des réseaux enterrés. Ne serait-il pas intéressant d'optimiser les tâches qui consistent à renseigner ce type de caractéristiques en exploitant les données géographiques des villes ?

L'idée développée dans cette étude consiste à utiliser une banque de données courante, et à l'exploiter afin de caractériser le mieux possible une zone urbaine donnée du point de vue hydrologique. Une analyse hydrologique du milieu urbain a été réalisée à l'aide des banques de données cadastrales. Des applications utiles à la modélisation hydrologique et à la conception des réseaux d'assainissement en sont déduites : la délimitation automatique des bassins versants, le calcul du coefficient d'imperméabilisation et la détermination de la réponse hydrologique impulsionnelle du bassin. Une telle modélisation, couplée à l'utilisation des SIG, permet d'envisager de tester l'influence hydrologique de scénarios d'urbanisation d'une ville. Ce travail s'appuie sur la base de données cadastrales de la Communauté Urbaine de Nantes, et est appliqué à plusieurs bassins de l'agglomération nantaise. Le logiciel Mapinfo a été utilisé ici, et les applications ont été développées avec Mapbasic.

## Les données géographiques et les études de cas

Les données urbaines utilisées sont les données de la banque de données localisées de la ville de Nantes ; elles sont basées sur le découpage cadastral de la commune, et regroupées dans un référentiel commun. Elles sont organisées en couches superposables, composées d'objets de natures différentes (points, lignes, polygones). Les couches pertinentes du point de vue hydrologique ont été sélectionnées (Figure 1).

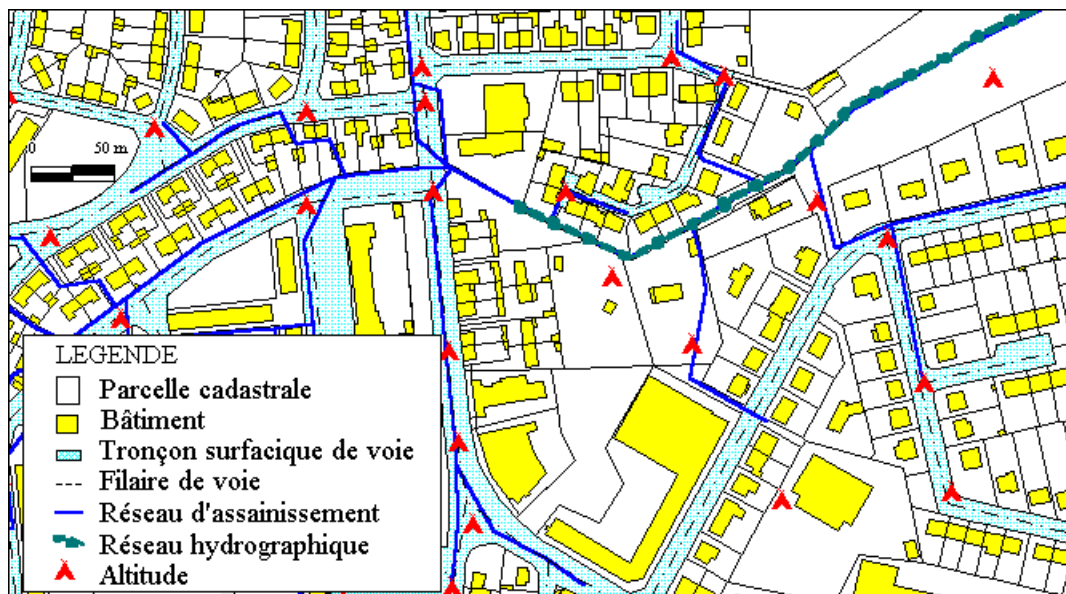


Figure 1 - Les données géographiques utilisées

En outre, cette analyse s'appuie sur deux bassins versants de l'agglomération nantaise : *Renards* (60 ha), *Gohards* (180 ha). Ces bassins ont des types d'occupation du sol variés. Des données hydrologiques y sont relevées afin de valider les résultats de la modélisation : la pluie est connue grâce à des pluviomètres

à augets basculants, et le débit est mesuré à l'exutoire des bassins versants par des capteurs de mesure de vitesse et de hauteur de l'eau dans le collecteur.

## Analyse hydrologique du milieu urbain

L'analyse menée dans cette étude s'appuie sur deux éléments structurants forts de la forme de la ville : la parcelle cadastrale et le réseau viaire. La parcelle cadastrale est la base à partir de laquelle le milieu urbain est découpé : un Élément Hydrologique est constitué d'une parcelle cadastrale et de la portion de voirie qui lui est adjacente. Le réseau hydrographique urbain permet de relier chaque Élément Hydrologique à l'exutoire du bassin en représentant le cheminement de l'eau pluviale.

## Caractérisation des Éléments Hydrologiques

Chaque Élément Hydrologique (Figure 2) est représenté par un certain nombre de caractéristiques, pertinentes du point de vue de l'hydrologue, c'est à dire celles qui ont une influence sur la transformation de la pluie en débit à l'échelle de cet élément. Ces caractéristiques affectent a priori les mécanismes de ruissellement, d'infiltration et d'évaporation à la surface du sol ou dans le proche sous-sol urbain. Elles sont déterminées automatiquement sur l'ensemble du bassin versant.

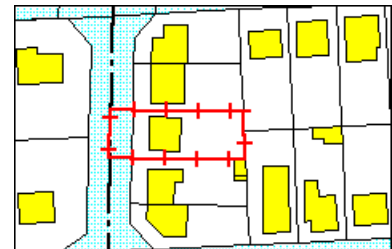


Figure 2 - L'Élément Hydrologique

- **La surface de l'Élément Hydrologique** est égale à la surface de la parcelle cadastrale plus la surface de la voirie adjacente
- **La distance voirie-bâti** caractérise le rôle des parties construites d'une parcelle et des aménagements sous-jacents (tranchées de pose de câbles ou de canalisations) ; elle correspond à la distance entre le bâtiment situé sur la parcelle et la voirie adjacente
- **Le coefficient d'imperméabilisation** est calculé en estimant la part imperméable de l'Élément Hydrologique. Ce calcul est réalisé à partir de la surface de la voirie adjacente, de la surface des bâtiments situés sur la parcelle, et de la surface imperméable entourant les bâtiments, fonction de la surface bâtie
- **La pente transversale** de l'élément est également estimée ; ce calcul est réalisé en construisant un Modèle Numérique de Terrain assez fin de la zone étudiée.

## Construction du réseau hydrographique urbain

Ce réseau représente l'écoulement de l'eau : d'une part en surface (caniveaux), et d'autre part en souterrain (canalisations du réseau d'eaux pluviales). Il est construit en trois étapes :

- **Graphe de l'assainissement** : les segments d'assainissement sont reliés entre eux de l'amont vers l'aval (Figure 3a), et le cheminement de l'eau à partir de chaque segment d'assainissement jusqu'à l'exutoire est reconstitué
- **Interface** entre le réseau d'assainissement et la voirie : à chaque filaire de voie est attribué le segment d'assainissement le plus proche dans un rayon donné (Figure 3b). Tous les filaires de voie ne sont pas forcément interfacés
- **Filaires de voie non interfacés** : un cheminement de surface est reconstitué, de la même façon que pour construire le graphe de l'assainissement (Figure 3c). L'exutoire de ce cheminement de surface est le premier filaire de voie interfacé rencontré.

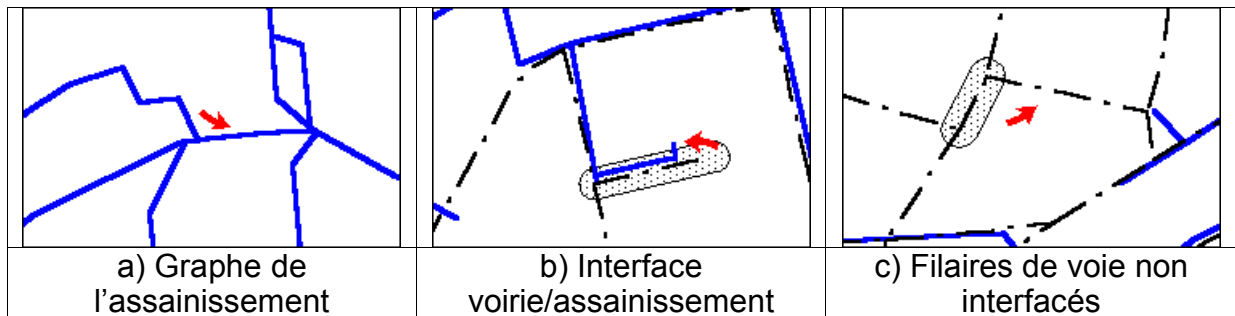


Figure 3 : Construction du réseau hydrographique urbain

Le réseau hydrographique urbain est composé des cheminements de l'eau pluviale reliant tous les Éléments Hydrologiques du bassin versant à son exutoire ; chaque cheminement est composé de : (i) un premier tronçon reliant l'habitation située sur la parcelle au filaire de voie adjacent ; (ii) un cheminement de surface empruntant un ou plusieurs segments de filaire de voie ; (iii) un passage de l'eau dans le réseau d'assainissement, par un avaloir situé a priori à un carrefour de la voirie (iv) un cheminement souterrain empruntant un ou plusieurs segments du réseau d'eaux pluviales, jusqu'à l'exutoire.

## Applications de cette analyse

### Délimitation automatique et calcul du coefficient d'imperméabilisation

La schématisation du bassin versant permet de réaliser la délimitation automatique des bassins versants à partir des données cadastrales et topographiques. Cette délimitation consiste à déterminer les Eléments Hydrologiques contribuant au ruissellement à un exutoire connu. L'application a été testée sur les deux études de cas et donne satisfaction par rapport aux limites du bassin de référence, déterminé manuellement (Figure 4).

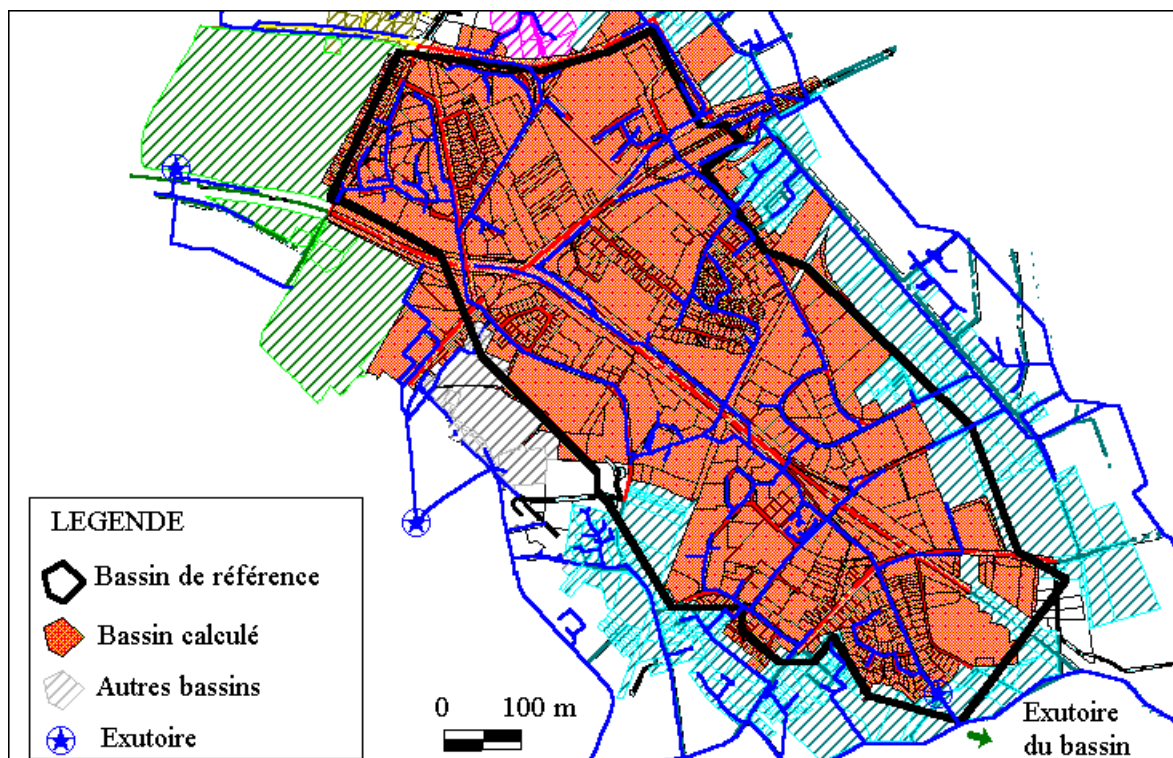


Figure 4 – Délimitation automatique du bassin versant des *Gohards*

Le coefficient d'imperméabilisation a été estimé de façon cadastrale à partir de la surface bâtie et de la surface de voirie. Sa variabilité spatiale sur le bassin versant est connue ; ce résultat est important en hydrologie, et peut être utilisé pour alimenter des modèles numériques de dimensionnement et de simulation des réseaux d'assainissement. Cette estimation cadastrale de l'imperméabilisation pourrait être améliorée en exploitant les images numériques de la ville telles que les photographies aériennes ou les images satellite.

## Détermination de la réponse impulsionnelle du bassin versant

Une fois le cheminement de l'eau pluviale connu depuis chaque Elément Hydrologique, un temps de transfert est calculé, en estimant la vitesse de ruissellement de façon distribuée grâce à la formule de Manning-Strickler (Rodriguez - 1999). Cette formule est paramétrée par le taux de remplissage des collecteurs, qui définit des conditions d'écoulement faibles ou fortes.

Ce calcul conduit à la connaissance des courbes isochrones du bassin versant, c'est à dire les courbes d'iso-temps de transfert jusqu'à l'exutoire (Figure 5). La réponse impulsionnelle du bassin versant, ou fonction de transfert, représente le débit à l'exutoire généré par une impulsion pluvieuse unitaire uniforme sur le bassin. La fonction de transfert est déduite de la distribution spatiale des temps d'arrivée à l'exutoire, et est associée à une sollicitation pluviométrique donnée qui dépend du taux de remplissage des collecteurs ; la méthode est nommée « HUM-SIG ». Cette méthode de calcul de la fonction de transfert a été évaluée en la comparant à une méthode de référence (DPFT), qui permet d'identifier la fonction de transfert du bassin versant à partir de séries de mesure de pluie et de débit (Duband et al, 1993).

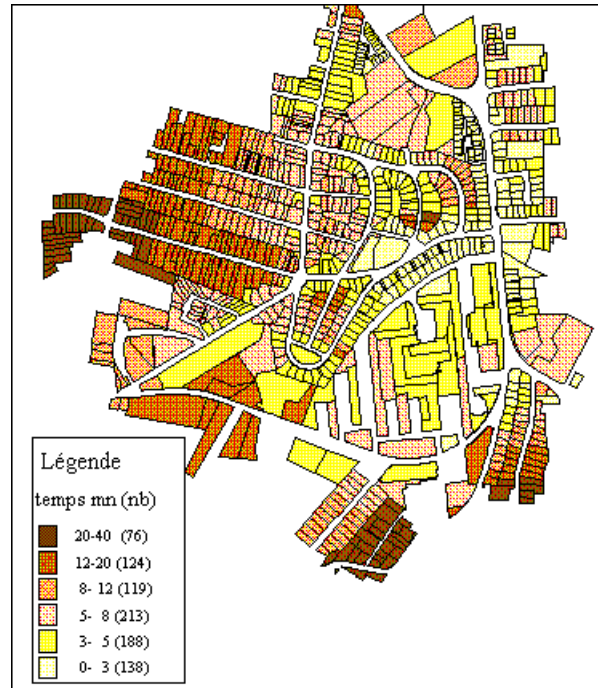


Figure 5 - Isochrones du bassin des *Renards* pour un remplissage à mi-section

Cette comparaison a donné des résultats satisfaisants sur les deux bassins étudiés, et pour deux configurations pluviométriques différentes (événements pluvieux intenses ou faibles) pour le bassin des *Gohards* (Figure 6).

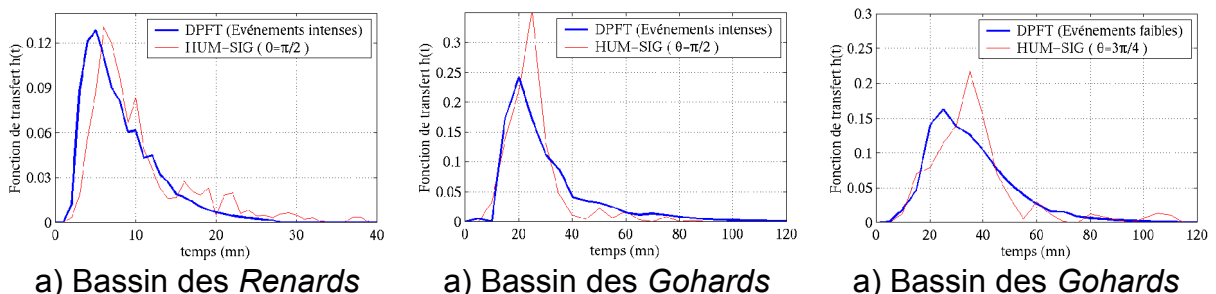


Figure 6 – Comparaison de la fonction de transfert HUM-SIG (pour un remplissage des collecteurs à mi-section et au quart de section) et de la méthode DPFT

## Conclusion

Cette étude a démontré que l'utilisation des banques de données cadastrales en hydrologie était pertinente ; ces données fournissent en effet des informations très détaillées sur le milieu urbain, que cela concerne la topographie, ou l'occupation du sol et du sous-sol (Rodriguez et al. , 2002). L'exploitation de ces informations à l'aide des SIG permet de modéliser la ville du point de vue hydrologique et il est possible d'en déduire des applications concrètes utiles du point de vue opérationnel (délimitation automatique des bassins, estimation du coefficient d'imperméabilisation). Dans le cadre de l'utilisation d'outils dédiés à la gestion et à la conception des réseaux d'assainissement, il est tout à fait pertinent d'optimiser les tâches d'initialisation de ces outils par des données descriptives urbaines. Cette optimisation pourra être facilitée en réalisant une interface entre les données géographiques des villes et ce type d'outils ; la réalisation d'une telle interface pose toutefois la question de la diversité des SIG utilisés et des modes d'organisation des données géographiques dans les villes.

## Bibliographie

- Duband D., Obled C. and Rodriguez J., 1993 "Unit hydrograph revisited : an alternative approach to UH and effective precipitation identification," *Journal of Hydrology*, 150(1), p. 115-150
- Rodriguez, F., 1999 "Intérêt des banques de données urbaines pour l'analyse hydrologique. Détermination des fonctions de transfert de bassins versants urbains," Thèse, *INPG*, Grenoble, 200 p
- Rodriguez F., Andrieu H., Yerchoff J. (2002), Intérêt des banques de données urbaines pour l'hydrologie. Utilisation d'un SIG pour une analyse hydrologique de la ville. *Revue Internationale de Géomatique*, 12 (1), 93-114

## Pour en savoir plus

Contacteur :  
Fabrice Rodriguez