



HAL
open science

Etude du fonctionnement d'un bassin versant périurbain : la Chézine

Carina Furusho-Percot, Katia Chancibault, Hervé Andrieu

► **To cite this version:**

Carina Furusho-Percot, Katia Chancibault, Hervé Andrieu. Etude du fonctionnement d'un bassin versant périurbain : la Chézine. Journées Franco-Brésiliennes en Hydrologie Urbaine, Paris, France. 2010. hal-01115298

HAL Id: hal-01115298

<https://hal.science/hal-01115298>

Submitted on 23 Feb 2015

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.

Etude du fonctionnement d'un bassin versant périurbain : la Chézine

Carina Yumi FURUSHO*
Katia CHANCIBAULT
Hervé ANDRIEU

Laboratoire Central de Ponts et Chaussées
Route de Bouaye, 44431
Bouguenais, France
*carina.yumi@gmail.com
+33 6 21 72 05 98

Résumé

Les bassins versants périurbains, présentant des comportements de bassins de type naturel et urbain, ont été jusqu'ici peu étudiés par les hydrologues. Or, ces bassins sont soumis à une forte pression, liée au développement urbain. Afin de mieux comprendre ces bassins, pour anticiper leur réponse lors d'événements pluvieux ou prévoir les conséquences de futurs aménagements, de nouveaux modèles doivent être développés.

Cette étude porte sur la fonction de transfert du bassin versant de la Chézine en s'appuyant sur l'analyse de sa réponse hydrologique. Ainsi, nous montrons que le bassin a un fonctionnement variant avec son état hydrique. Les différentes fonctions de transfert obtenues expliquent les particularités des hydrogrammes de crues observés. Les informations sur les principaux éléments qui influencent la fonction de transfert sont la contribution de ce travail préliminaire à la modélisation hydrologique complète adaptée aux bassins périurbains.

Mots-clés

Bassin versant périurbain ; fonction de transfert ; routage géomorphologique ; modélisation pluie-débit ; réseau de drainage.

Resumo

Graças à expansão das cidades, as zonas ditas peri-urbanas enfrentam uma evolução rápida da ocupação do solo. O controle desse fenômeno tornou-se um aspecto essencial para a gestão dos recursos hídricos em termos de poluição e prevenção de inundações. Entretanto, atualmente os modelos existentes não são adaptados para essas bacias hidrográficas particulares. Nosso objetivo é desenvolver um tal modelo com base na análise do funcionamento da bacia hidrográfica de La Chézine. Os primeiros resultados mostram que o estado hídrico do solo e a localização das zonas urbanas são dois fatores importantes para definir a função de transferência dessa bacia. Em períodos secos, somente as zonas urbanas contribuem para o escoamento superficial enquanto em períodos úmidos, as zonas rurais passam a contribuir de maneira significativa na resposta rápida dessa bacia periurbana.

Palavras-chave

Bacias peri-urbanas, função de transferência, transferência geomorfológica, modelagem precipitação/escoamento superficial, rede de drenagem

Key-Words

Periurban catchment, transfer function, geomorphological routing, rainfall-runoff modelling, drainage network

Introduction

Les espaces périurbains, ni totalement urbains, ni totalement ruraux, représentent de fait l'essentiel de la surface des grandes agglomérations urbaines. Avec l'urbanisation croissante, ces espaces sont et seront soumis à une pression de plus en plus forte et la maîtrise de leur développement et de leur aménagement est un enjeu important pour la gestion des eaux pluviales et des rejets polluants. Cependant, ces bassins versants périurbains ont été ignorés tant par les hydrologues du milieu naturel que du milieu urbain, probablement parce que ces bassins cumulent des comportements typiques des bassins naturels et des bassins urbains. À notre connaissance, il n'existe pas actuellement de modèles hydrologiques adaptés à de tels bassins versants. Afin de comprendre et de reproduire leur comportement hydrologique, modifié par leur aménagement progressif (imperméabilisation, artificialisation des chemins d'écoulement), de nouveaux modèles hydrologiques doivent être développés.

Cette étude est un travail préliminaire au développement d'un modèle hydrologique adapté à ce type de bassin versant. Elle s'intéresse uniquement à la fonction de transfert, partie du modèle hydrologique qui consiste à transférer jusqu'à l'exutoire l'eau qui ruisselle à la surface des versants ainsi que l'eau en rivière. De nombreuses méthodes, des plus simples aux plus complexes, existent pour déterminer cette fonction de transfert qui dépend à la fois de la distance à parcourir jusqu'à l'exutoire ainsi que de la vitesse. Pour cette étude, nous avons souhaité partir de méthodes simples que nous avons raffinées au fur-et-à mesure de l'étude, en fonction des résultats obtenus.

1. Méthodologie

Le bassin versant périurbain étudié est celui de la Chézine, qui a une surface de 29km², un relief peu marqué et se situe dans l'agglomération nantaise. Il est instrumenté depuis 7 ans par Nantes-Métropole avec un débitmètre et un pluviomètre (figure 1). La partie aval du bassin est fortement urbanisée. L'urbanisation est aussi présente dans la partie centrale alors que l'amont reste essentiellement rural. L'approche maillée a été utilisée dans cette étude. La grille de 20m x 20m est extraite du modèle numérique de terrain fourni par Nantes Métropole. Le traitement hydrologique est réalisé par l'intermédiaire d'un cheminement naturel des eaux gouverné par la gravité et guidé par la topographie. L'algorithme unidirectionnel baptisé D8 (« Deterministic eight neighbour », O'Callaghan et Mark, 1984), implémenté sur le logiciel OrbisGIS (Bocher et al, 2007), permet d'obtenir les distances de chaque maille du MNT jusqu'à l'exutoire. Les banques de données urbaines (voiries, bâtiments, etc.) sont utilisées pour estimer les surfaces imperméabilisées.

Dans un premier temps, un travail d'analyse des données hydrométéorologiques a été effectué pour les années allant de 2001 à 2007. Tout d'abord, les données de pluie et débit ont été passés au pas de temps de 15 minutes. Ensuite, à l'aide d'un programme informatique (Berthier, 1999), 330 événements pluvieux ont été détectés, dont 295 ont pu être utilisés pour l'analyse. Deux particularités ont été remarquées lors de l'observation des hydrogrammes de crue: la première est qu'un pic de pluie est souvent suivi par deux pics sur l'hydrogramme (figure 2), et la deuxième est sur le temps de réponse (considéré ici comme le temps entre le pic de pluie et le pic de débit à l'exutoire), qui est évalué à environ une heure pour la plupart des événements, mais dépasse 6 heures pour certains épisodes pluvieux (figure 3). Notre but est de reproduire les comportements observés pour comprendre quand le bassin réagit d'une façon ou de l'autre et pourquoi.

La méthodologie peut être résumée en 3 étapes principales : (1) choisir les pixels qui réagissent lors d'un épisode pluvieux ; (2) déterminer les distances entre ces pixels et

l'exutoire ; et (3) affecter des vitesses d'écoulement pour calculer le temps de parcours de l'eau jusqu'à l'exutoire.

2. Résultats et Discussion

L'analyse des paramètres qui caractérisent les événements nous a permis de mettre en évidence une dynamique très sensible à l'état hydrique initial du bassin versant. Cet état hydrique initial a une incidence sur les surfaces qui participent ou non au ruissellement. C'est donc la fonction de transfert qui en est directement modifiée. Un bon indicateur de cet état hydrique initial est le débit de base (qui correspond dans cette étude au débit le plus faible entre les débits initial et final). Le paramètre qui caractérise la réponse hydrologique du bassin est le coefficient d'écoulement événementiel, défini par le rapport entre le volume d'eau écoulée à l'exutoire et le volume d'eau précipitée dans le bassin. Ainsi, en fonction de l'état hydrique initial et du coefficient d'écoulement, les événements pluvieux ont été séparés en deux groupes distincts (figure 4), pour lesquels des méthodologies différentes ont été appliquées pour définir des fonctions de transfert pour le bassin versant de la Chézine.

D'une part pour le premier groupe, qui présente des débits de base inférieurs à 0,2m³/s, nous avons fait l'hypothèse que seules les surfaces imperméabilisées contribuent au ruissellement. En effet, pour ces faibles débits les sols naturels ont un état hydrique sec, ce qui favorise l'infiltration et le stockage de la pluie. La distribution des distances entre chaque pixel et l'exutoire ne prenant en compte que les pixels imperméabilisés est montrée dans la figure 5. Cette courbe est connue comme « Imperviousness function » (Gironas, 2007). Comme les valeurs de coefficient d'écoulement sont assez centrées sur la moyenne (égale à 0,06, figure 4), nous avons considéré que la réponse est constante pour l'ensemble de ces événements. De plus, comme le coefficient d'imperméabilisation du bassin a été évalué à 0,18, nous supposons que ces mailles imperméabilisées ruissellent 33% de la pluie brute.

D'autre part, les événements d'état hydrique humide ont les réponses plus dispersées (figure 4). Dans ces cas, il faut considérer aussi la contribution de la partie rurale saturée. Nous avons quantifié l'écoulement rural en soustrayant la contribution urbaine (supposant toujours qu'elle est constante et égale à 0,06) des coefficients d'écoulement événementiels. Ensuite, nous avons localisé les pixels géographiquement à l'aide du concept d'indice topographique (Beven & Kirkby, 1979), qui les classifie par rapport à leur propension à se saturer. Chaque coefficient d'écoulement rural a un indice topographique seuil correspondant. Toutes les mailles qui ont un indice topographique supérieur à ce seuil sont supposées saturées et sont donc prises en compte pour la génération du ruissellement.

Une fois que les pixels qui contribuent au ruissellement ont été déterminés et leur distances à l'exutoire sont connues, il faut affecter des vitesses d'écoulement pour reproduire les hydrogrammes (débit x temps). Un calage a été effectué à l'aide des événements dont la pluie ne présente qu'un pic bien marqué et de courte durée, pour déterminer une vitesse en rivière et une vitesse sur versant. Les figures 6 et 7 montrent les résultats des simulations obtenues pour les épisodes du 17 octobre 2007, de type sec, et celui du 01 janvier 2007, un événement du type humide. Les critères de Nash obtenus pour ces simulations ont été de 0,59 et 0,63, ce qui est satisfaisant compte tenu des hypothèses simples adoptées.

Une fois les hypothèses validées pour les réponses du bassin versant de la Chézine, les fonctions de transfert ont été calculées pour des différents groupes (figures 8 et 9). A la mesure que le coefficient d'écoulement augmente, le deuxième pic de la fonction de transfert devient plus important au détriment du premier et les deux pics se rapprochent. Cela signifie que le temps de réponse est plus long pour des événements qui ont un coefficient d'écoulement plus élevé. Le résultat est cohérent avec l'hydrogramme de la figure 3, qui

correspond à un évènement du type « humide » pour lequel le temps de réponse du bassin versant est d'environ 7 heures.

Conclusion

Le travail s'est déroulé suivant une méthodologie différente des modélisations pluie-débit classiques qui se résument en formulation, calage des paramètres et validation du modèle. Notre but n'était pas de développer un outil de prévision de crues, mais de comprendre les processus et les particularités du fonctionnement d'un bassin périurbain. Cette étude préliminaire nous permet de comprendre l'influence des éléments qui participent à la génération du ruissellement dans le bassin versant de la Chézine, où on trouve à la fois une grande surface rurale ou naturelle mais aussi une urbanisation hétérogène croissante. La démarche adoptée part d'hypothèses simples qui sont raffinés selon les résultats obtenus.

Tout d'abord nous avons regardé dans les détails les évènements pluvieux sur sept années (2001-2007). L'analyse de ces données a mis en évidence l'existence de différentes réactions du bassin selon son état hydrique initial, représenté par le débit de base. Nous avons ainsi pu construire une fonction de transfert pour les évènements de faible débit de base, ou d'état hydrique initial sec, et puis nous l'avons adaptée pour les évènements d'état hydrique humide. Rappelant qu'il s'agit d'une approche maillée à partir du MNT, les étapes de cette démarche sont les suivantes :

La première est la définition des pixels qui contribuent au ruissellement. Pour les évènements de type « sec », nous avons fait l'hypothèse que la zone rurale ne participe pas au ruissellement car elle infiltre ou stocke toute l'eau qui y tombe. Comme les évènements secs présentent une réponse assez homogène avec un coefficient d'écoulement moyen de 0,06 et compte-tenu du taux d'imperméabilisation du bassin de 0,18, nous avons considéré que seul un tiers des pixels imperméables réagit. Pour les évènements de type humide nous avons considéré la même contribution de la partie urbaine et ajouté à la surface contributive les surfaces rurales saturées.

Les fonctions de transfert obtenues pour les évènements d'état hydrique sec expliquent les deux pics souvent observés sur les hydrogrammes. L'analyse morphologique montre que le premier pic de débit correspond au ruissellement provenant de Nantes et le deuxième de Sautron. Nous pouvons observer que le deuxième pic et la décrue sont souvent bien amplifiés par les contributions des surfaces saturées rurales. Ainsi, l'évolution de la fonction de transfert en fonction du coefficient d'écoulement explique l'existence des épisodes pluvieux avec un temps de réponse supérieure à 6h : plus le coefficient d'écoulement est fort, plus le deuxième pic de l'hydrogramme est amplifié au détriment du premier.

Perspectives

Par rapport à la méthodologie ici appliquée, des améliorations peuvent être envisagées afin de raffiner les résultats que nous avons obtenus.

Bien que nous ayons affecté différentes valeurs de vitesse d'écoulement suivant le type de surface (végétalisé, imperméabilisé, rivière) ce paramètre pourrait encore varier selon la position dans le bassin et prendre plus en compte les caractéristiques du milieu où l'eau coule. De nombreux travaux sont consacrés à la variation de la vitesse le long de la rivière. Nous pouvons envisager l'utilisation des modèles plus complexes de vitesses comme le système de Barré Saint-Venant avec la théorie des ondes cinématiques et des ondes diffusives. D'un point de vue expérimental, des jaugeages pourraient être effectués pour avoir une notion de la variation réelle de vitesse d'écoulement.

Toujours dans la logique de ce travail d'essayer de mieux comprendre les événements plutôt que de les modéliser directement, une analyse des images radar sur le bassin durant les événements pluvieux permettrait de préciser l'impact de la distribution spatiale de la pluie sur la réponse hydrologique du bassin versant et potentiellement expliquer certains comportements, puisque devant cette étude, nous avons fait l'hypothèse classique d'une pluie spatialement uniforme.

Une fois que les processus et le fonctionnement du bassin seront bien compris à partir des études et analyses a posteriori de son comportement, il faudra aussi en dériver des outils prévisionnels, indépendants des paramètres calculés après la fin de l'évènement.

Considérant que ce travail s'est focalisé sur la fonction de transfert seule, la principale perspective d'application et poursuite de ce travail sera de réaliser une modélisation hydrologique complète, avec une fonction de production plus complexe ce qui est prévu dans le cadre du projet AVuPUR (ANR-VMC).

Remerciements: Le projet AVuPUR est financé par l'Agence Nationale pour la Recherche (ANR) sous le contrat ANR-07-VULN-01.

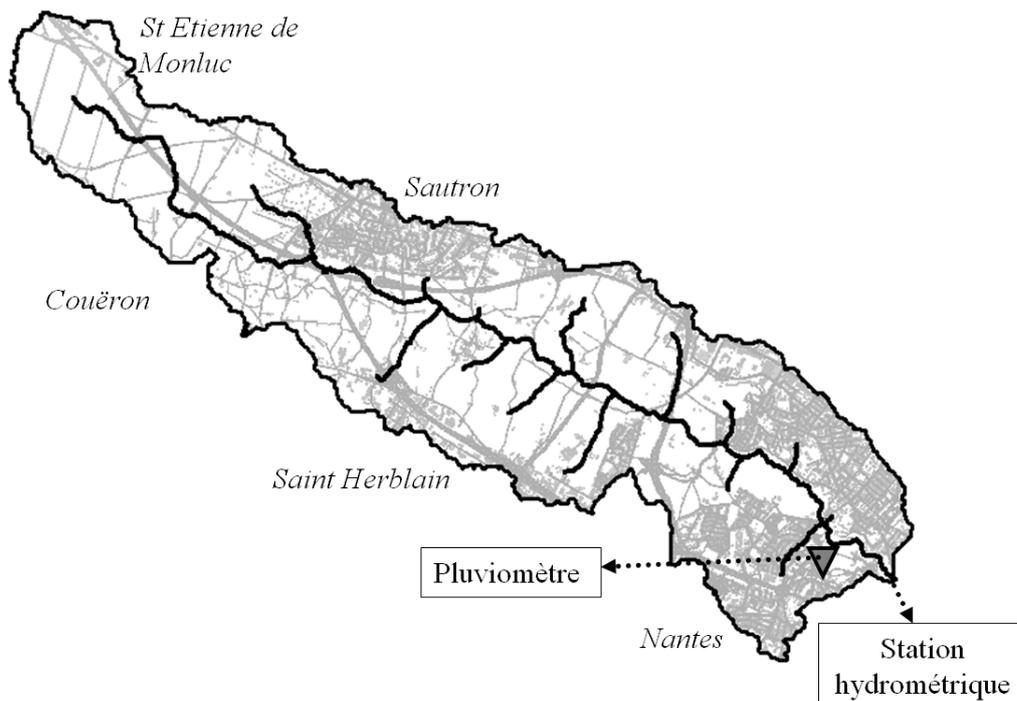


Fig. n°1. Le bassin versant de la Chézine instrumenté par un pluviomètre et une station hydrométrique

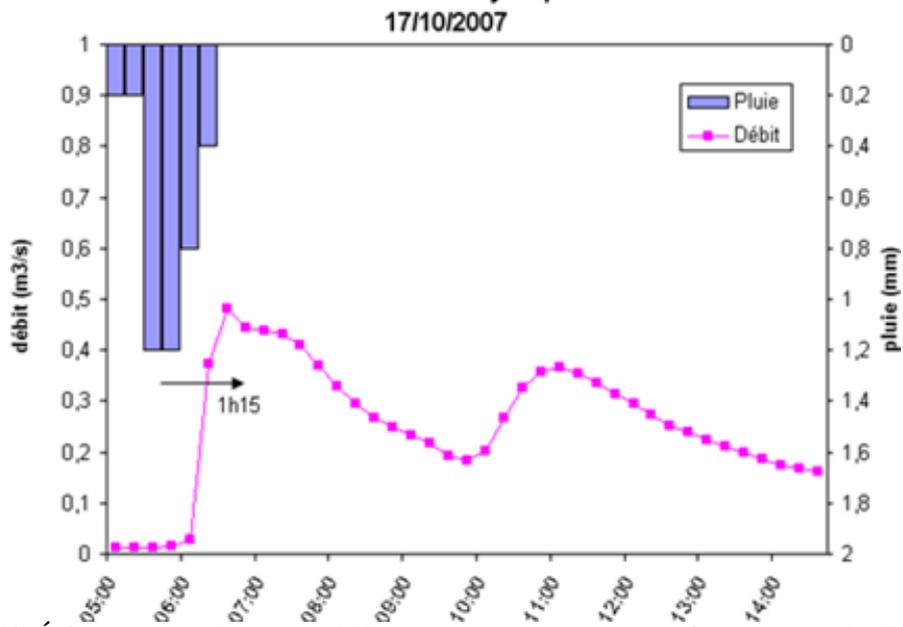


Fig. n°2. Évènement du 17 octobre 2007, pour lequel le temps de réponse est de 1h15. Le pic de pluie est suivi par deux pics sur l'hydrogramme.

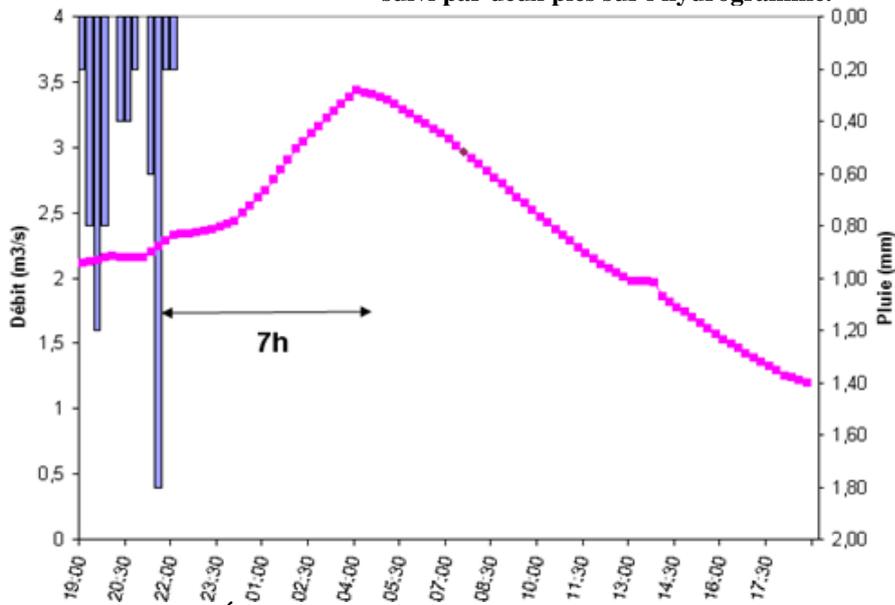


Fig. n°3. Épisode pluvieux du 21 mars 2001, pour lequel le temps de réponse est de 7h.

Classification des événements selon l'état hydrique

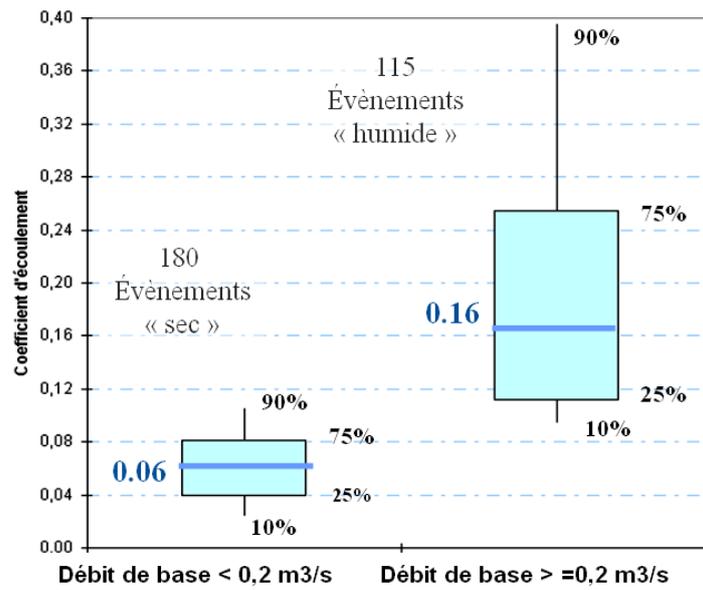


Fig. n°4. Classification des épisodes pluvieux selon leur état hydrique.

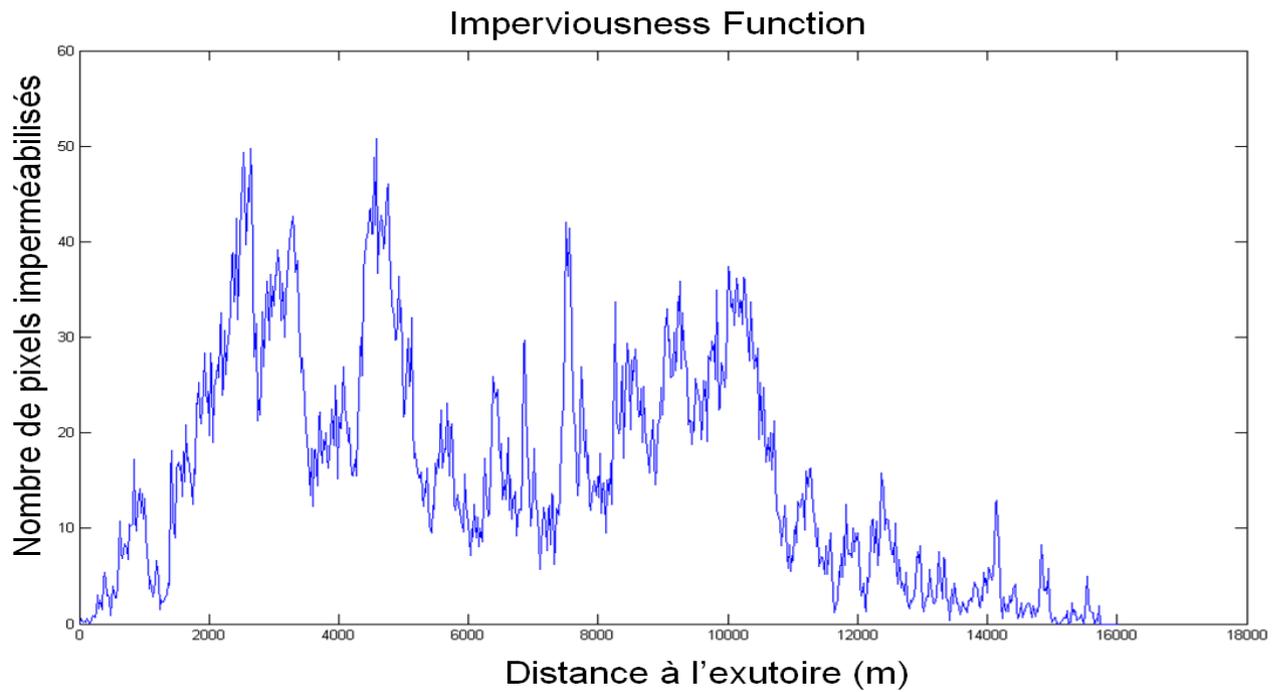


Fig. n° 5. Distribution des distances entre chaque pixel imperméabilisé et l'exutoire

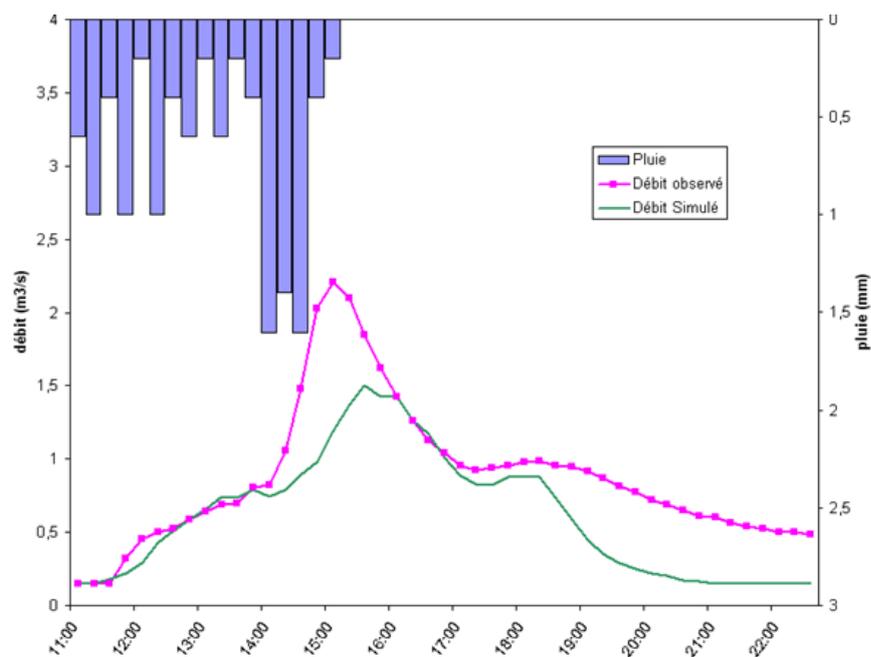


Fig. n°6. Evènement du 17/06/2007. Débit observé représenté par les symboles carrés et débit simulé tracé en ligne continue.

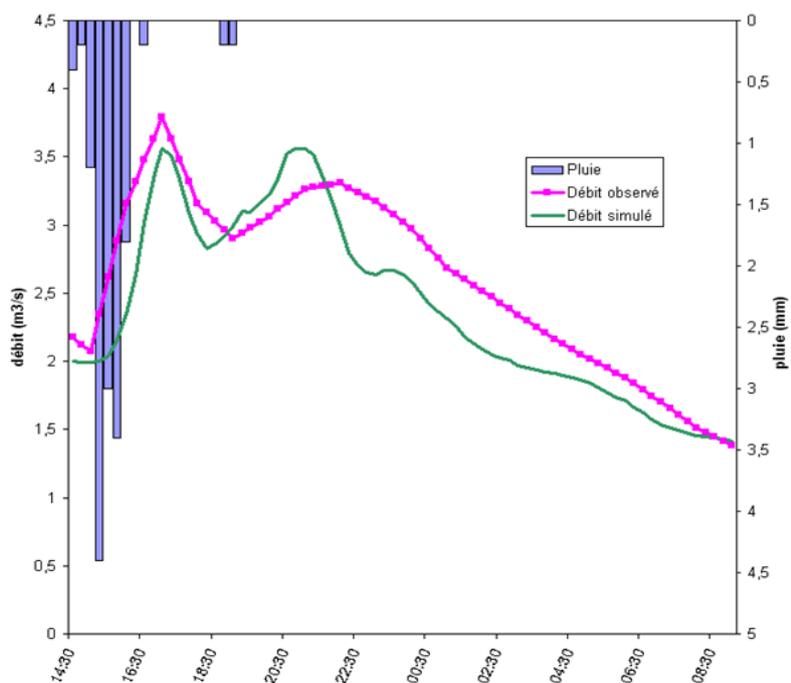


Fig. n°7. Evènement du 01/01/2007. Débit observé représenté par les symboles carrés et débit simulé en ligne continue.

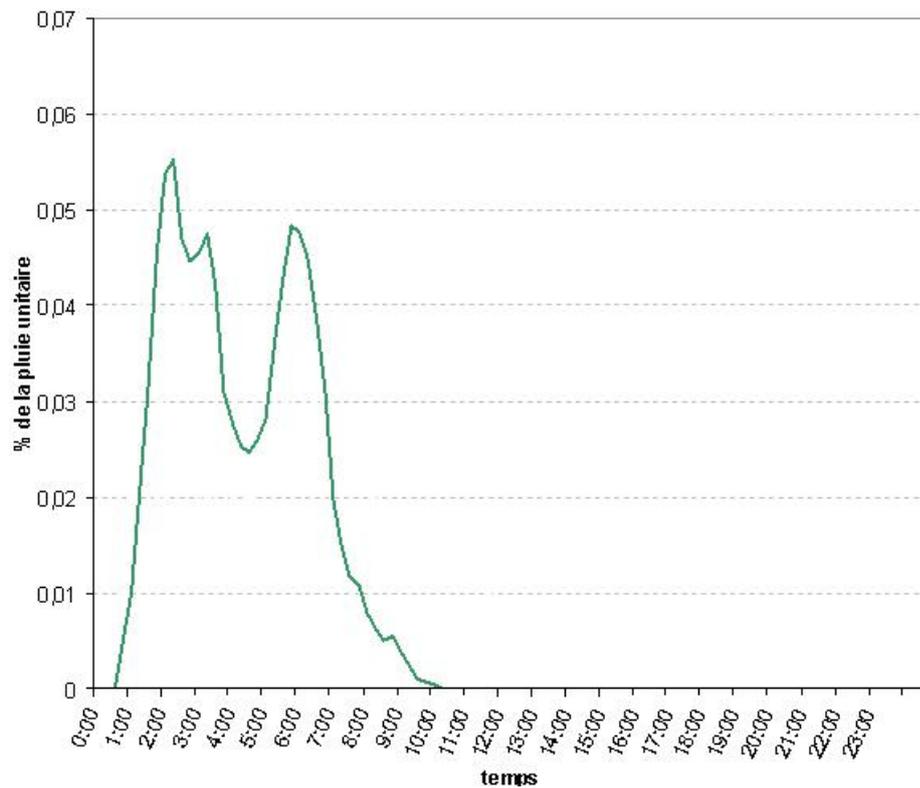


Fig. n° 8. Fonction de transfert du bassin versant de la Chézine pour les évènements d'état hydrique initial sec

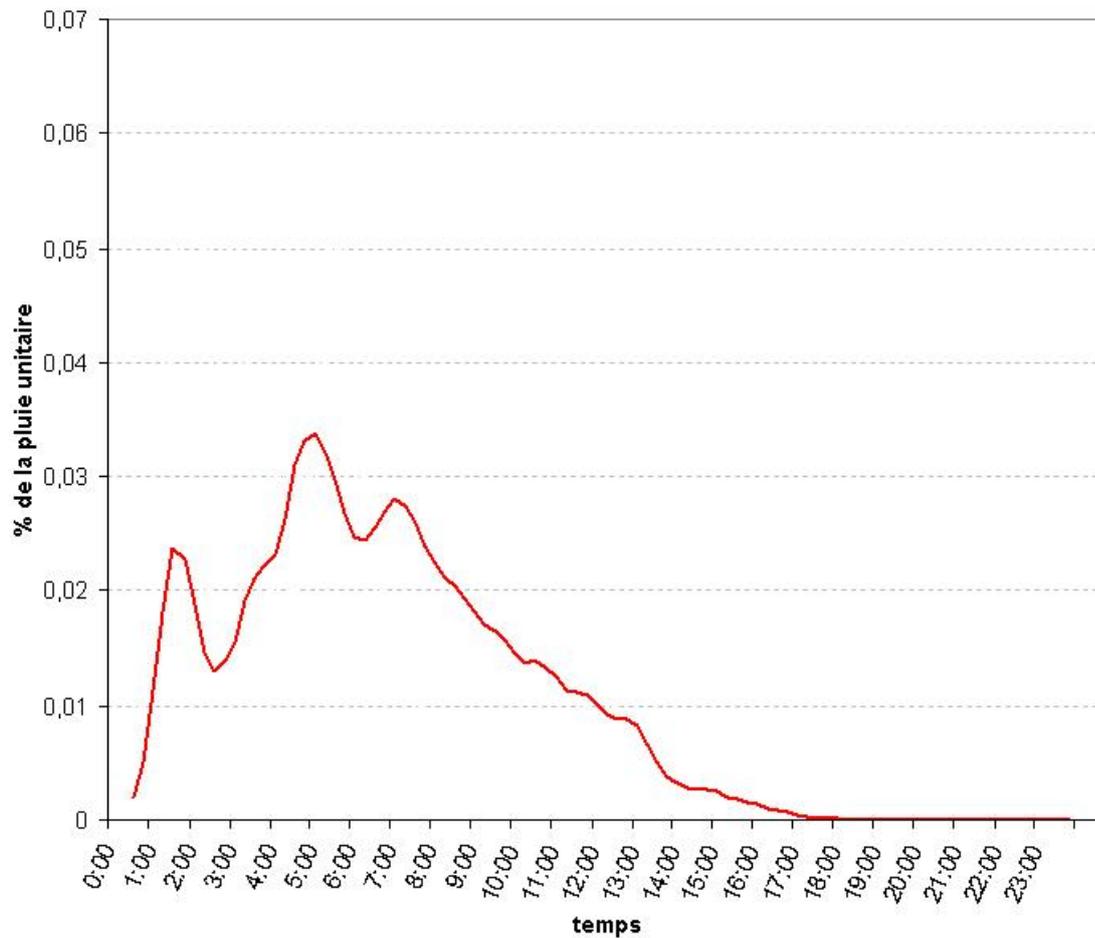


Fig. n°9. Fonction de transfert du bassin versant de la Chézine pour les évènements d'état hydrique initial humide

Références

Berthier E., 1999. Contribution à une modélisation hydrologique à base physique en milieu urbain. Elaboration du modèle et première évaluation. Thèse de doctorat. Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Nantes.

Beven K. et Kirkby M., 1979. A physically-based variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrol. Sci. Bull.*, 24: 43-69.

Bocher, E., Leduc, T., & González-Cortés, F., 2007. OrbisGIS : A GIS for scientific simulation. Rencontres Mondiales du Logiciel Libre (RMLL), Amiens, France.

Gironas J., Roesner L.A., 2007. Morphologic Approach in Studying Developing Urban Watersheds. In: *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 9, 01818.

O'Callaghan J. and Mark D., 1984 The extraction of drainage networks from digital elevation data. *Graphics Image Processes*, 279: 275-289.