

## **METHODE DE SPATIALISATION DE L'ALEA RUISSLEMENT PLUVIAL URBAIN : UNE APPLICATION SUR LE TERRITOIRE DE L'AGGLOMERATION DIJONNAISE**

**Aleksandra Barczak**

Laboratoire THÉMA Dijon, UMR 6049  
aleksandra.barczak@u-bourgogne.fr

### **I. Introduction**

La ville contemporaine est celle où s'accumulent les risques majeurs naturels et technologiques [4]. Parmi eux, notre attention se dirige vers un risque à forte composante anthropique, celui du ruissellement pluvial en milieu urbain. Les grandes surfaces imperméables rencontrées dans les villes ont une importance incontestable pour la formation de ce phénomène [9]. En effet, l'étalement et la densification des tissus urbains amplifient l'aléa en contribuant à l'artificialisation des surfaces et du proche sous-sol qui rend les événements pluvieux redoutables. Les catastrophes survenues en France pendant les dernières décennies (Nîmes en 1988, Vaison-la-Romaine en 1992...), constituent autant de preuves des problèmes posés par l'imperméabilisation des espaces urbains et l'inadaptation des systèmes d'assainissement pour affronter les fortes pluies. En même temps, la pression exercée par l'urbanisation contribue à accroître les vulnérabilités des territoires et des populations qui les occupent.

Pour répondre aux défis de la prévention des inondations urbaines et de la gestion de crise, toute démarche repose sur une évaluation des composantes du risque. D'une part, elle consiste à une analyse de la vulnérabilité et des conséquences potentielles qu'une inondation pourrait provoquer [2] [3]. D'autre part l'évaluation du risque repose sur le diagnostic et la spatialisation de l'aléa. Le projet de thèse dans le cadre duquel s'inscrit cette intervention vise à apporter un outil d'aide à la décision pour la prévention des risques hydrologiques en milieu urbain et pour la planification des secours. La méthodologie proposée cherche à confronter les informations concernant les vulnérabilités avec un modèle du fonctionnement hydrologique de la ville. La démarche en quatre étapes comporte d'abord une phase de collecte de données, ensuite une phase de spatialisation de l'aléa, suivie d'une phase d'intégration de la vulnérabilité à travers la construction d'indices de vulnérabilité spatialisés. Enfin la dernière phase consiste à déterminer l'exposition des personnes au risque, à cartographier le risque sur le territoire de l'agglomération étudiée, ainsi qu'à comparer plusieurs scénarii d'événements pluvieux et de déroulement de la crise. Cette intervention présentera une des étapes de la démarche, accompagnée de premiers résultats concernant l'évaluation et la spatialisation de l'aléa.

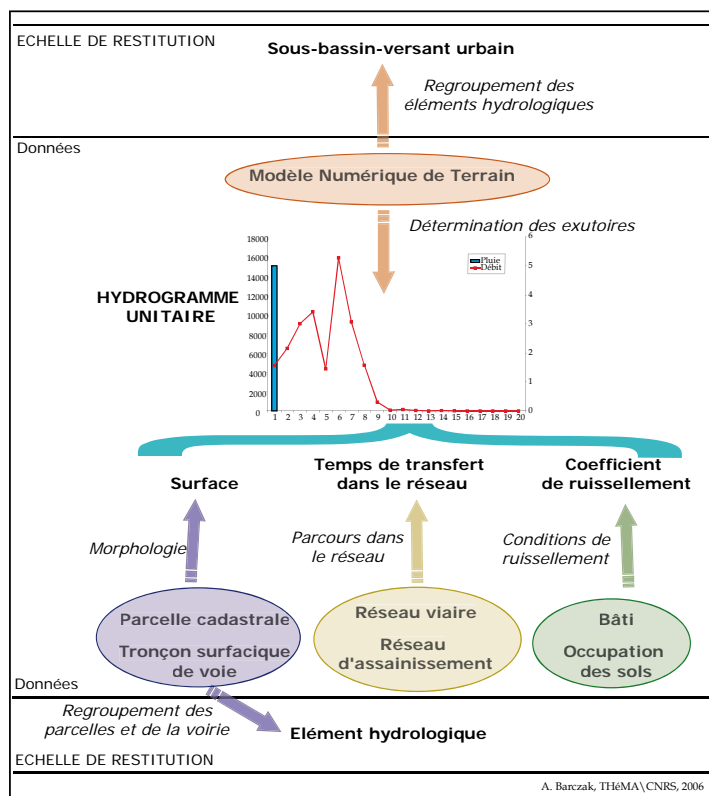
### **II. Modélisation de ruissellement pluvial urbain : données et méthode**

Le ruissellement urbain peut être défini comme la réponse hydrologique de la ville (des bassins versant urbains) à une averse. Cette réponse correspond à une interaction entre les différents facteurs jouant autant au niveau du versant qu'au niveau du réseau. Pour spatialiser l'aléa ruissellement nous avons eu recours à un modèle hydrologique distribué. Ce type de modèle permet de prendre en compte les conditions locales qui sont à l'origine des phénomènes et de connaître ces phénomènes à une échelle spatiale fine. Nous nous sommes appuyé sur la méthode de « l'Hydrogramme Unitaire Géomorphologique et Instantané » introduit en hydrologie dans les années 70 [8]. Ce concept incorpore l'idée que les gouttes d'eau tombées à différents endroits du bassin au même moment ne parviendront pas à l'exutoire en même temps à cause des différences de longueur du parcours vers cet exutoire. En amont de cette modélisation se trouve donc l'information sur le temps de parcours, le coefficient de ruissellement et la surface qui permettent de déduire le débit à l'exutoire des sous-bassins urbains. Le but principal de cette étape est d'obtenir une description du milieu, dans son aspect physique et géométrique qui permettra de reconstituer un modèle hydrologique adapté aux contraintes de la ville.

Les données utilisées proviennent surtout des banques de données urbaines dont la pertinence pour les buts de l'hydrologie urbaine est reconnue [6]. Les informations synthétiques sur la nature du territoire et les conditions d'écoulement sont principalement déduites du découpage cadastral, de la couche bâti et des couches décrivant le réseau viaire. Ces données permettent de décrire la morphologie de la ville afin de rendre compte de son rôle dans la structuration des écoulements. Elles permettent aussi de prendre en compte des surfaces

imperméables – principales génératrices de ruissellement. Nous avons également utilisé des données supplémentaires concernant l'occupation des sols et le relief qui conditionnent fortement la formation des écoulements de surface. Nous nous sommes appuyés sur l'orthophotoplan pour vérifier et compléter certaines informations (occupation des sols, revêtement des routes, etc.). L'ensemble de ces données hétérogènes a été rassemblé dans un système d'information géographique et a servi à l'identification des hydrogrammes unitaires (notés HU par la suite) (Fig.1).

**Figure 1. Utilisation des données spatiales pour l'identification des Hydrogrammes Unitaires des bassins versants urbains.**



A partir de ces données et suivant la méthode proposée par Rodriguez et al. (2002), afin d'aboutir à une modélisation hydrologique aisée, nous avons découpé la ville en éléments unitaires. On considère que toute la pluie qui tombe sur le territoire est interceptée par ces éléments, qui possèdent chacun des caractéristiques géométriques et physiques déterminant les conditions de la transformation de la pluie en ruissellement. Ces unités étant nommées Eléments Hydrologiques (notés EH par la suite). Les EH sont regroupés dans 22 sous-bassins de drainage, déterminés à partir du Modèle Numérique de Terrain et dans lesquels toute l'eau tombée en surface s'écoule vers un exutoire. Ensuite nous avons cherché à identifier les caractéristiques des EH, essentielles du point de vue du fonctionnement hydrologique, à savoir : leur surface, le coefficient de ruissellement et le temps de parcours dans le réseau depuis un EH vers l'exutoire du bassin versant. La

surface d'un EH correspond au regroupement de la parcelle cadastrale et du tronçon de route adjacent. Nous avons déterminé les coefficients de ruissellement en calculant le coefficient d'imperméabilisation qui est un rapport entre la surface imperméable (le bâti, la voirie) et la surface totale des EH. Pour les parcelles non bâties nous les avons déduits de l'occupation des sols [10]. Ensuite, nous avons cherché à construire un graphe de cheminement de l'eau dans le réseau urbain, sur lequel nous nous sommes appuyés pour calculer le temps de parcours dans le réseau. Pour décrire le cheminement de l'eau dans le réseau urbain nous avons été amenés à faire plusieurs simplifications. Le manque de données concernant le réseau d'assainissement nous a conduit à déterminer le cheminement d'eau uniquement à partir du réseau viaire représenté par l'ensemble des segments des rues de l'agglomération. Nous avons supposé que toute l'eau qui tombe sur les EH, rejoint le réseau pluvial (représenté par les tronçons de routes) à la sortie de la parcelle pour s'écouler vers l'exutoire du sous-bassin de drainage où elle se jette finalement dans le milieu récepteur. Nous avons utilisé le calcul d'accessibilité pour déterminer le chemin le plus court entre le point où le ruissellement commence au sein d'un EH jusqu'à son exutoire déterminé antérieurement à partir du MNT. Après avoir déterminé le cheminement de l'eau, il nous était possible de calculer le temps de parcours dans le réseau en fonction de la longueur du cheminement et de la vitesse de l'eau. Toute cette information a été réunie pour construire les hydrogrammes unitaires pour les bassins de drainage. Un HU exprime une réponse hydrologique impulsionnelle à une averse et il correspond au débit à l'exutoire issu d'une pluie uniforme et unitaire [1] [5] [7]. La démarche hydrologique exige une validation du modèle appliqué. Jusqu'à aujourd'hui cette étape n'a pas pu être entreprise, puisque les travaux se sont concentrés sur la construction de la base de données appropriée pour une étude hydrologique plutôt que sur la modélisation hydrologique en soi. Le calcul de l'hydrogramme unitaire sert donc à la mise en évidence de

l'utilité d'un système d'information géographique pour l'hydrologie urbaine et ne devrait pas être traité comme une estimation pertinente du débit avant d'être validé.

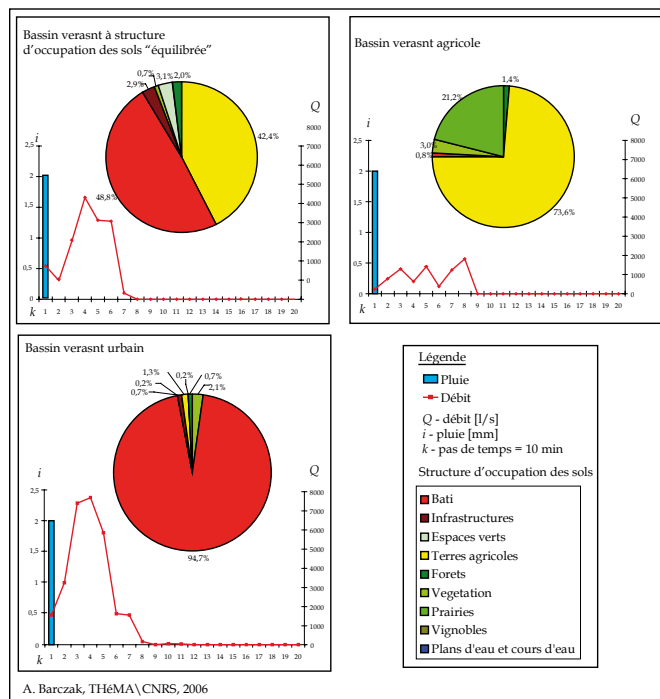
### III. Premiers résultats : application sur le territoire de l'agglomération dijonnaise

Le territoire d'application de notre méthode : l'agglomération dijonnaise, est relativement vulnérable face aux risques liés à l'eau à cause de la conjonction de conditions naturelles (les plateaux calcaires avoisinant une plaine peu perméable qui favorise les écoulements surfaciques) et de l'artificialisation des sols. En effet, 12 parmi les 21 communes de l'agglomération sont classées « inondables par ruissellement ou par l'insuffisance du réseau » dans le Dossier départemental des risques majeurs (DDRM), une commune dispose d'un Plan de Prévention des Risques inondation.

Pour étudier la réponse hydrologique et identifier les hydrogrammes unitaires, nous avons choisi les sous-bassins de drainage situés dans l'agglomération dijonnaise différents du point de vue de l'occupation des sols et des caractéristiques géométriques qui conditionnent le ruissellement. Les résultats obtenus expriment l'impact de l'urbanisation sur la réponse hydrologique du territoire. Nous observons que les bassins à caractère urbain se distinguent par des débits élevés, par un court temps de montée, et par une pointe de crue très prononcée. D'autres facteurs tels que la taille du bassin, la morphologie et la structure du réseau influencent aussi fortement la réponse hydrologique. Par exemple, une réponse hydrologique modérée peut se traduire par la structure d'occupation des sols, par la forme allongée du bassin ou par sa petite taille induisant un apport faible d'eau à l'exutoire (Fig. 2). Tout en ayant à l'esprit les problèmes de validation de notre modèle, la comparaison des HU identifiés permet de conclure que l'urbanisation affecte largement la réponse hydrologique.

Grâce à l'intégration de la modélisation hydrologique au sein d'un SIG, l'identification des hydrogrammes unitaires à l'échelle des bassins versants pouvait être accompagnée de la cartographie du potentiel du ruissellement (Fig 3). Nous sommes parvenus à une représentation synthétique par le croisement des deux caractéristiques hydrologiques essentielles pour décrire le ruissellement : le coefficient de ruissellement et le temps de parcours dans le réseau hydrologique urbain. La carte obtenue indique les zones caractérisées par une réponse rapide à une averse et par un grand apport d'eau ruisselant. Ces zones comprennent le secteur fortement urbanisé du centre ville – un grand générateur de ruissellement, mais également les secteurs périphériques correspondant le plus souvent aux terres agricoles et aux parties avales des sous-bassins de drainage caractérisées par des courts temps du parcours dans le réseau.

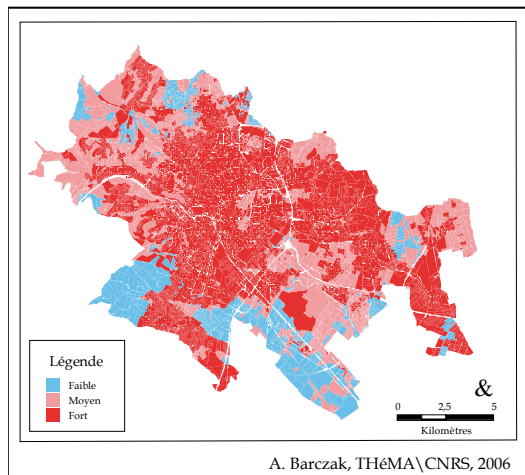
**Figure 2. Exemples de réponse hydrologique des bassins versant dijonnais**



Notre but était tout d'abord de caractériser finement le territoire de manière pertinente pour les besoins de l'hydrologie urbaine. L'alliance de la modélisation basée sur l'identification des Hydrogrammes Unitaires avec un Système d'Information Géographique a montré l'intérêt de l'approche spatiale pour l'hydrologie. En même temps l'analyse des premiers résultats et des difficultés rencontrées au cours de la mise en place de la méthode nous amènent à élargir le spectre de données utilisées et à améliorer leur qualité. Lors de la première application du modèle sur le territoire dijonnais nous nous sommes rendus compte de l'importance de la qualité des données à l'entrée du modèle et nous étions confrontés à de nombreuses sources d'incertitude. Cette incertitude est tout d'abord liée à la qualité du MNT dont la résolution, à savoir 50 m est insuffisante pour notre modélisation. Cette

insuffisance s'est exprimée au niveau de la pertinence de la délimitation des bassins versant urbain et la localisation des exutoires. Ces deux paramètres ont fortement influencé le calcul de temps de parcours dans le réseau.

**Figure 3. Cartographie du potentiel de ruissellement.**



Le réseau urbain hydrologique lui-même était l'objet d'une grande simplification. Il était représenté uniquement par le réseau viaire. Une incertitude est aussi associée à notre coefficient de ruissellement qui pour les zones non bâti a été estimé uniquement à partir de l'occupation de sols sans prendre en compte la nature et l'état des sols. Cette insuffisance de l'information sur la formation du ruissellement rend le résultat de la modélisation incertain autant au niveau du débit estimé qu'au niveau de la forme de l'hydrogramme.

Pour ces raisons nous avons décidé de chercher à alimenter notre base de données dédiée à la description de l'aléa. Dans un premier temps nous envisageons d'améliorer la qualité du MNT en ajoutant des informations à partir de la BD TOPO. L'amélioration de l'information sur le relief sera

suivie par l'intégration de l'information sur les pentes qui nous permettra d'estimer la vitesse de l'eau dans le réseau et par cela d'affiner l'information sur le temps de parcours dans le réseau. Dans un deuxième temps, nous comptons inclure l'information sur la nature des sols à partir des cartes pédologiques de l'INRA. Cette information nous permettra d'estimer plus précisément les coefficients de ruissellement dans les espaces non bâtis ce qui contribuera à l'amélioration de l'information sur la quantité d'eau qui va ensuite ruisseler dans le réseau. L'information sur le réseau hydrologique urbain exige elle aussi d'être affinée et complétée. L'intégration des données concernant le réseau d'assainissement (son tracé, le type de réseau (unitaire, séparatif), les points d'entrée dans le réseau), permettra de représenter les écoulements en trois dimensions (ruissellement surfacique sur les EH, ruissellement concentré sur les routes, écoulement dans le réseau pluvial). Enfin, il est envisagé de se procurer des données hydro-météorologiques concernant la pluviométrie et les débits à la sortie du réseau d'assainissement afin de pouvoir simuler des événements réels et de valider le modèle par comparaison des débits simulés avec les débits réels. Pendant les premiers tests de la méthode sur le territoire dijonnais nous avons rencontré des problèmes spécifiques liés à incompatibilité des limites administratives et des limites des unités physiques. Nous sommes donc amenés à prendre en compte l'intégralité des sous-bassins versant. Pour écarter les sources d'erreurs et pour contourner les problèmes d'insuffisance de données en dehors de la limite de l'agglomération nous proposons de prendre en compte l'intégralité des sous-bassins versants et de modifier les traitements concernant les espaces hors de l'agglomération. Il sera nécessaire de construire une grille pour reconstituer la continuité avec le parcellaire dont on dispose pour l'agglomération, et de modifier le calcul de parcours dans le réseau hydrologique en procédant au même calcul en fonction de la pente. Pour le calcul du coefficient de ruissellement, il faudra intégrer l'information sur l'occupation des sols à partir d'une image satellite.

L'alimentation de la base de données concernant l'aléa nous permettra de décrire finement le territoire, de modéliser le réseau hydrologique urbain en 3D et de simuler les événements pluvieux réels. Ces trois apports nous permettront d'améliorer la qualité de la modélisation hydrologique, ce qui se traduira par une délimitation de bassins versant plus pertinente, une estimation des débits plus fiable et une validation du modèle hydrologique.

#### IV. Conclusion

Cette étape destinée à la spatialisation et à la quantification de ruissellement pluvial urbain s'inscrit dans une optique d'utilisation des outils de la géomatique pour les besoins de l'hydrologie urbaine. Cette alliance permet d'incorporer, dès la phase de conception des modèles, la dimension spatiale des phénomènes hydrologiques

et leur variabilité dans l'espace. La connaissance fine du contexte local est nécessaire pour la compréhension du fonctionnement hydrologique de la ville et elle permet d'améliorer la modélisation. Dans cet esprit, nous avons essayé de tester l'impact de l'artificialisation des sols sur le processus de ruissellement pluvial.

La phase de collecte des données a permis la construction d'un système d'information géographique adapté aux besoins de l'hydrologie urbaine. Ensuite, cette information a servi à établir un modèle de transformation de la pluie en débit. Au-delà des traitements des données et de la modélisation hydrologique nous sommes parvenu à la cartographie du potentiel de ruissellement. La première application de la méthode a permis de détecter plusieurs sources d'incertitudes qui devront être traitées dans les prochains travaux pour améliorer les résultats. A la fin de cette étape de spatialisation du ruissellement nous devrions aboutir à une connaissance des débits à la sortie des bassins versant et à tout point du réseau. Cette connaissance pourrait être restituée à l'échelle de la parcelle et à l'échelle d'une unité de gestion (agglomération). La démarche empruntée nous permettra aussi de prendre en compte l'aspect dynamique du phénomène c'est-à-dire de connaître le déroulement de l'événement dans le temps.

## Bibliographie

- [1] ARONICA G., CANNAROZZO M., « Studying the hydrological response of urban catchments using a semi-distributed linear non-linear model », *Journal of Hydrology* n° 238, 2000, pp. 35-43.
- [2] CHARDON A.-C., THOURET J.-C., « Cartographie de la vulnérabilité d'une population citadine aux risques naturels : le cas de Manizales », *Mappemonde*, vol. 4/1994, p. 37-40
- [3] D'ERCOLE R., « Les vulnérabilités des sociétés et des espaces urbanisés : concepts, typologie, modes d'analyse », *Revue de Géographie Alpine*, vol.4, 1994, p. 87-96.
- [4] DUBOIS-MAURY J., CHALINE C., *Les risques urbains*, Paris, Armand Colin, 2002.
- [5] KARVONEN T., KOIVUSALO H., JAUHINAINEN M., PALKO J., WEPPLING K. «A hydrological model for predicting runoff from different land use areas », *Journal of Hydrology* n° 217, 1999, pp. 253-265.
- [6] RODRIGUEZ F., ANDRIEU H., YERCHOFF J., CREUTIN J.D., « Intérêt des banques de données urbaines pour l'hydrologie », *Revue internationale de géomatique*, vol. 12, n° 1, 2002, pp. 93-114.
- [7] RODRIGUEZ F., ANDRIEU H., CREUTIN J. D., « Surface runoff in urban catchment: morphological identification of unit hydrographs from urban databanks », *Journal of Hydrology* n° 283, 2003, pp. 146-168.
- [8] Rodríguez-Intube I., Valdés J. B., The geomorphologic structure of hydrologic response, *Water Resources Research*, vol. 15, n° 6, 1979, pp. 1409-1420.
- [9] SCARWELL H.-J., LAGANIER R., *Risque d'inondation et aménagement durable des territoires*, Villeneuve d'Ascq, Presses Universitaires du Septentrion, 2004.
- [10] United States Department of Agriculture (USDS), *Urban Hydrology of Small Watersheds*, Technical Release 55, 1986.