



**HAL**  
open science

# Modélisation hydro-climatique de la métropole nantaise : préparation des données d'occupation du sol

Florian Betou, Katia Chancibault, Eric Gaume, Anne Ruas

## ► To cite this version:

Florian Betou, Katia Chancibault, Eric Gaume, Anne Ruas. Modélisation hydro-climatique de la métropole nantaise : préparation des données d'occupation du sol. JDHU - Journées Doctorales en Hydrologie Urbaine 2022, Oct 2022, Lyon, France. hal-04049561

**HAL Id: hal-04049561**

**<https://univ-eiffel.hal.science/hal-04049561>**

Submitted on 28 Mar 2023

**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.

## Modélisation hydro-climatique de la métropole nantaise : préparation des données d'occupation du sol

Betou F<sup>1</sup>, Chancibault K<sup>1</sup>, Gaume E<sup>1</sup>, Ruas A<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>GERS-EE, Univ Gustave Eiffel, F44344 Bouguenais, France, Allée des ponts et chaussées

<sup>2</sup>COSYS-LISIS, Univ Gustave Eiffel, F-77447 Marne-la-Vallée Cedex 2, Cité Descartes, France, 14-20 Boulevard Newton  
florian.betou@univ-eiffel.fr

**Résumé court :** Les Solutions Fondées sur la Nature font parties des stratégies d'adaptation au changement climatique mais leur implantation nécessite une forte restructuration des villes. TEB-Hydro est un modèle développé pour étudier la pertinence des scénarios d'adaptation végétalisés. Ce modèle nécessite des données d'entrée géographiques dont l'occupation du sol fait partie. Elle doit être renseignée par une fraction d'eau, de bâtiment, de voirie, de végétation ou de sol nu. Les données vectorielles disponibles dans les bases de données en libre accès ne sont pas adaptées. A partir de la BD TOPO® et de la BD OCS GE, une méthodologie a été développée afin de définir l'occupation du sol comme donnée d'entrée de TEB-Hydro. La donnée manquante de végétation, de sol nu et de voirie a été analysée grâce à une image hyperspectrale, sur une partie du territoire étudié. Des règles d'attribution issues de l'analyse de l'image ont été déterminées par types d'îlot, permettant ainsi de compléter les données manquantes sur l'ensemble du territoire. Avant comblement des vides, 5,3% de la métropole nantaise ne possède pas de donnée d'occupation du sol. Finalement, la donnée principalement manquante semble être de la voirie, bien que la fraction manquante de végétation n'est pas négligeable.

**Mots-clés :** TEB-Hydro ; données géographiques ; Nantes métropole ; Unité Spatiale de Référence ; Image hyperspectrale.

### Introduction

Depuis les années 50, la population mondiale s'est urbanisée, passant d'une majorité rurale (70% en 1950) à une majorité urbaine (55% en 2018) (Nations Unies, 2019). De plus, une hausse du pourcentage de la population mondiale urbaine est à prévoir pour les années à venir : en 2050, 65 % de la population mondiale vivra en ville (Nations Unies, 2019). L'urbanisation associée à une augmentation des zones imperméabilisées altère le cycle de l'eau et le bilan énergétique, favorisant le phénomène d'îlots de chaleur urbains et augmentant la fréquence et l'intensité des crues tout en limitant la recharge des nappes (Fletcher et al., 2013 ; Grimmond, 2007). Par ailleurs, la concentration des hommes et des biens font des villes des zones à forts enjeux, associés à la pression démographique croissante et à l'augmentation de la fréquence des aléas extrêmes en lien avec le changement climatique, font des villes des espaces qui seront de plus en plus vulnérables par le futur.

Face à cette vulnérabilité croissante, les stratégies d'adaptation basées sur des infrastructures vertes et bleues (toitures et façades végétalisées, noues, parcs urbains...) sont préconisées (Gunawardena, 2017). La désimperméabilisation des sols et la végétalisation permettent de se rapprocher des processus naturels, et donc des bilans hydriques et énergétiques des milieux naturels. Ces solutions d'adaptation dites Solutions Fondées sur la Nature influent directement sur le microclimat en réduisant les températures de surface et de l'air sur des zones localisées, par les processus d'évapotranspiration et d'ombrage. Elles influent également sur la gestion des eaux pluviales en facilitant l'infiltration de l'eau et le stockage en surface. Cependant, de nombreuses questions concernant les effets positifs ou négatifs induits par l'association des SFN subsistent (Gunawardena et al, 2017 ; Haghghatafshar et al, 2018), d'autant plus que le déploiement de telles solutions implique une restructuration importante des villes. Ainsi, un outil de recherche (TEB-Hydro, Stavropoulos-Laffaille et al, 2018 ; Stavropoulos-Laffaille, 2019) a été développé au Laboratoire Eau et Environnement (Université Gustave Eiffel), en collaboration avec le CNRM, dans le but d'évaluer la pertinence de différents scénarios d'aménagement des villes quant au confort thermique et à la gestion des eaux pluviales. Cet outil est capable de modéliser les processus hydriques et énergétiques des

zones urbaines, en les couplant pas le biais du processus d'évapotranspiration (Lemonsu et al, 2012 ; Redon et al, 2017 ; Stavropoulos-Laffaille, 2021 ; Bernard, 2021). De ce fait, ce modèle hydroclimatique est un outil d'aide à la décision pour l'évaluation hydroclimatique de scénarios d'aménagement, voire de stratégies d'adaptation au changement climatique.

Cet outil nécessite des données d'entrée géographiques (occupation du sol, réseau hydrographique et d'assainissement, usage des bâtiments ...) et météorologiques (rayonnements, température et humidité de l'air, direction et intensité du vent ...). Il s'appuie sur une grille à mailles régulières dont la résolution est à définir par l'utilisateur. A l'échelle de chaque maille la fraction de bâti, de voirie, de végétation (basse et haute), de sol nu et d'eau doit être renseignée. Actuellement, aucune base de donnée disponible ne renseigne toutes les classes d'occupation du sol nécessaire à TEB-Hydro. Ce papier vise donc à présenter la méthodologie développée pour caractériser toute l'occupation du sol telle qu'attendue par le modèle TEB-Hydro puis à présenter et discuter les résultats, avant de donner quelques perspectives.

## Méthodologie

Le site d'étude est la métropole nantaise. Composée de 24 communes, elle s'étale sur 523 km<sup>2</sup> et compte environ 650 000 habitants. Elle est majoritairement constituée d'espaces naturels ou agricoles et 30% de sa superficie est urbanisée (<https://metropole.nantes.fr/communes>, consulté en avril 2022). Les températures annuelles moyennes entre 1981 et 2001 se situent entre 8.3 °C et 16.7°C<sup>1</sup>. La hauteur moyenne annuelle des précipitations est de 819.5 mm, les jours pluvieux sont fréquents mais de faible intensité. Le réseau d'assainissement est principalement séparatif à l'exception du centre-ville de Nantes qui est équipé d'un réseau unitaire. Le tissu urbain de la métropole est typique des villes européennes (Hidalgo et al., 2019) avec un centre-ville dense, entouré d'une large zone périurbaine résidentielle. Les zones commerciales et d'activités se trouvent le long des axes routiers. Guézénoc (2020) a mis en évidence la nécessité d'une résolution de la grille, sur laquelle s'appuie TEB-Hydro, inférieure à 200m, pour représenter le réseau d'assainissement, qui constitue une donnée d'entrée du modèle, de façon réaliste avec l'outil TOHR (Chancibault et al, 2019). Dans l'éventualité d'une comparaison des résultats avec le carroyage INSEE, la maille a alors été définie à 100m. Les données géographiques d'occupation du sol nécessaires en entrée de TEB-Hydro sont définies à partir des bases de données en libre accès (BD TOPO®, ECOCIMAP, CORINNE LAND COVER, ...), permettant ainsi de déterminer une méthode applicable à d'autres métropoles françaises.

Cependant ces bases de données ne sont pas totalement adaptées aux échelles fines en milieu urbain : de nombreuses surfaces (par exemple les jardins ou les cours intérieures) ne sont pas identifiées comme telles à cause de leur taille et peuvent être agrégées aux surfaces voisines (bâtiments, route). L'occupation du sol a été définie à partir des sources de données les plus représentatives : la BD TOPO® pour le bâti et les surfaces en eau et la BD OCS GE pour la végétation, le sol nu et les routes. Cependant l'utilisation de deux bases de données « non complémentaires » et avec un degré de précision différent génère, d'une part, des zones de chevauchement et, d'autre part, ne permet pas de couvrir la totalité du territoire. Les chevauchements s'expliquent par la prise en compte de données de bâti récentes issues de la BD TOPO® (maj en 2021) pas encore représentées dans la BD OCS GE du fait d'une mise à jour plus ancienne (2018) ou par la prise en compte des petites surfaces d'eau dans la BD TOPO® non sélectionnées comme telles dans la BD OCS GE (mais intégrée aux surfaces voisines, de végétation par exemple). Dans le but de renseigner 100% de la surface de chaque maille par une couverture de sol, ces recouvrements ont été traités en privilégiant la BD TOPO® car plus précise. Quant aux zones sans donnée, une méthodologie se basant sur les Unités Spatiales de Référence (Bocher et al, 2018) et sur une image hyperspectrale (Launeau et al, 2017) de la zone Nantes-Est a été élaborée pour les compléter. Les USR délimitent des îlots urbains dans lesquels la morphologie de la ville est homogène. Il existe 10 types d'USR allant des bâtiments d'activités aux

<sup>1</sup> <https://meteofrance.com/climat/normales/france/pays-de-la-loire/NANTES-BOUGUENAIS>, consulté en avril 2022

pavillons discontinus (Bocher et al., 2018). L'image spectrale a une résolution d'un mètre et a été traitée par le Laboratoire de Planétologie et Géosciences de Nantes Université, pour identifier les zones de végétation et les zones d'eau. Ainsi, l'objectif était de déterminer les pourcentages moyens

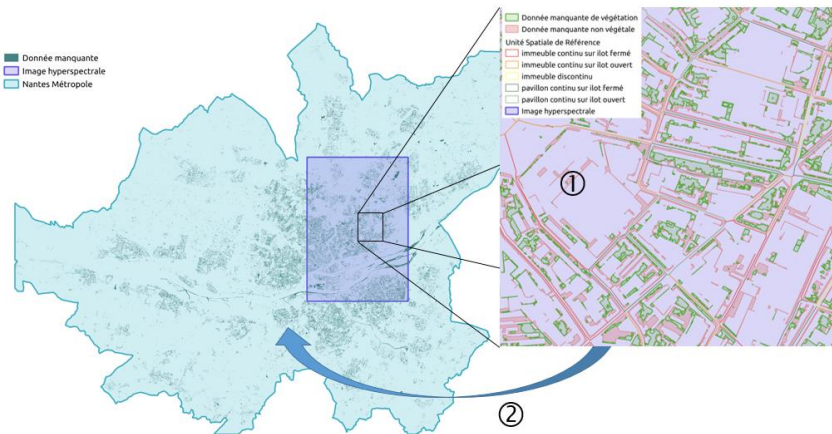


Figure 1: définition des données manquantes par analyse de l'image hyperspectrale ① puis par attribution de règle sur la métropole ②

manquants de végétation, de route et de sol nu par type d'USR sur l'emprise de l'image hyperspectrale (① sur la figure 1), avant de les attribuer par types d'USR aux vides résiduels sur l'ensemble de la métropole (② sur la figure 1). Etant donné que nous considérons comme référence la BD TOPO, il a été décidé de ne pas ajouter d'eau ou de bâtiment (pour lesquelles la précision est métrique). La donnée manquante de

végétation a été récupérée grâce à l'intersection de l'image hyperspectrale ne reflétant que la végétation avec les zones de vides, en considérant que de la végétation basse était présente sous la végétation haute. Ensuite, des observations ont été réalisées sur quelques USR par type d'USR afin de quantifier la donnée manquante de route et de sol nu. Les fractions surfaciques ainsi définies sont ensuite moyennées par type d'USR, avant de les attribuer à l'ensemble des vides contenus dans une USR de même type.

## Résultats et discussion

Après sélection des bases de données et suppression des chevauchement, 5,3% de l'occupation du sol de la métropole nantaise n'est pas définie. Au regard de l'aire des USR et de la répartition des vides en fonction de la typologie d'USR, plus une USR est grande, mieux elle est représentée et moins importantes sont les variations de surfaces manquantes par rapport à la surface totale de l'USR. Etude de sensibilité

Le tableau 1 présente les fractions moyennes par type d'USR de végétation, de sol nu et de voirie dans les zones non couvertes déterminées suite à l'analyse de l'image hyperspectrale. De façon générale, la donnée manquante est principalement de la voirie. Ceci s'explique par une mauvaise représentation des trottoirs dans les bases de données. La donnée de végétation dans les zones pavillonnaires (pcif, pcio, pd, psc) semble être moins bien représentée que dans les zones urbaines denses (bgh, icif, icio, id). Cette donnée

Tableau 1 : fraction moyenne manquante par type d'USR

Typologie	Nombre d'USR sur l'emprise de l'image hyperspectrale (et 94 NA)	Fraction moyenne manquante de végétation	Fraction moyenne manquante de voirie	Fraction moyenne manquante de sol nu
Ba	81	0.2	0.8	0
Bgh	9	0.34	0.64	0
Icif	287	0.14	0.87	0
Icio	270	0.28	0.72	0
Id	93	0.25	0.75	0
Local	8	0.51	0.2	0.29
Pcif	84	0.23	0.77	0
Pcio	186	0.29	0.71	0
Pd	104	0.17	0.83	0
Psc	122	0.27	0.73	0

manquante correspond à la végétation présente dans les jardins des maisons individuelles. L'USR « NA » correspond quant à elle à toutes les USR non bâties. La donnée manquante de végétation pour cette USR correspond aux berges et zones d'expansion des crues en bord de cours d'eau. Ce manque s'explique par le choix des bases de données : c'est la BD OCS GE qui a été choisie pour la définition de la végétation, hors cette base de donnée intègre les surfaces d'eau intermittentes (i.e la végétation en bord de berges) dans les surfaces hydrographiques. Ainsi, il est à noter qu'à partir de la sélection de bases de données effectuée, les surfaces hydrographiques sont sous-estimées en période hivernale hydrologique. L'USR « local » correspond à des garages, abris ou préau (Bocher et al., 2018). Une forte présence de végétation manquante autour de ce type de bâtiment est acceptable, cependant la valeur du pourcentage est à nuancer avec le faible nombre d'USR « local » analysées. De plus, une valeur de sol nu manquante a été quantifiée seulement pour ce type d'USR.

## Conclusion

Suite à la non cohérence des bases de données d'occupation du sol pour les zones urbaines en lien avec les informations nécessaires au modèle hydro-climatique TEB-Hydro, une méthodologie a été développée pour éliminer les zones de recouvrement et remplir les zones sans information. Après la sélection des deux bases de données pour la définition de l'occupation du sol, les zones où la donnée n'était pas adaptée sont en majorité de la voirie (associée aux trottoirs) en zones urbaines, de la végétation dans les zones pavillonnaires (à l'intérieur des îlots et correspondant aux jardins des maisons individuelles) et la végétation en bords de berges en zones naturelles. La mise en place de cette méthodologie a permis de caractériser l'occupation du sol par USR lorsque la donnée issue des bases des données de l'IGN n'était pas adaptée et de définir les données d'occupation du sol en entrée du modèle TEB-Hydro, nécessaires pour la modélisation de la réponse hydro-climatique de Nantes métropole. Après mise en forme des données de forçage en temps présent, la réponse hydro-microclimatique de Nantes métropole pourra être modélisée et des premières suggestions d'aménagement pourront être formulées. Ces scénarios d'aménagement seront ensuite retravaillés en collaboration avec la thèse de Saray Chavez (2020-2023, projet ManIpUR), ce qui permettra, après étude des documents d'urbanisme, de définir de nouveaux scénarios réglementairement compatibles. Ces derniers seront également simulés dans TEB-Hydro afin d'analyser la pertinence des aménagements dans les zones ciblées par les documents d'urbanisme. La modélisation de la réponse hydro-microclimatique de Nantes métropole sera aussi étudiées sous des conditions climatiques futures, où les forçages météorologiques seront issus des projections climatiques des scénarios climatiques RCP 4.5, 6 ou 8.5. Les scénarios d'aménagement définis précédemment seront ensuite modéliser sous ce nouveau contexte climatique afin d'analyser l'impact du changement climatique sur la réponse hydro-climatique de Nantes Métropole avec et sans aménagements d'adaptation.

## Remerciements

Les auteurs souhaitent remercier Patrick Launeau pour sa collaboration en lien avec l'image hyperspectrale utilisée dans cette méthodologie.

## Références

- Bocher E, Petit G, Bernard J, Palominos S. 2018. A geoprocessing framework to compute urban indicators: The MApUCE tools chain. *Urban Climate*, 24 (2018) 153–174
- Chancibault K, Mosset A, Lotfi Z, Beauvais C, Shobair S, Ourrai S, Linca JC, Rabier A, Nathalie Vernin N, Oget M, Belin MM, Azimi S, Bethouart F, Bedrane A, Lehoucq C, Roux C, Rocher V, Joannis C, Chebbo G. 2019. Rapport de synthèse PIREN-Seine, phase VII (2015-2019). Vol. 3 : Hydrologie urbaine : Reproduire le cycle de l'eau (petit et grand) à l'échelle de Paris et sa petite couronne

- de Munck C, Lemonsu A, Bouzouidja R, Masson V, and Claverie R. 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
- Fletcher, T.; Andrieu, H. & Hamel, P., 2013. Understanding, management and modelling of urban hydrology and its consequences for receiving waters: A state of the art *Advances in Water Resources* , 51, 261 – 279.
- Grimmond, S., 2007. Urbanization and global environmental change: local effects of urban warming *Geographical Journal*, Blackwell Publishing Ltd, 173, 83-88.
- Guézenoc A, 2020. Mémoire présenté en vue d'obtenir le diplôme d'ingénieur CNAM
- Gunawardena, K., Wells, M. & Kershaw, T. , 2017. Utilising green and bluespace to mitigate urban heat island intensity *Science of The Total Environment*, 584, 1040 – 1055.
- Haghighatafshar, S., la Cour Jansen, J., Aspegren, H., Jönsson, K., 2018. Conceptualization and Schematization of Mesoscale Sustainable Drainage Systems: A Full-Scale Study. *Water* 10, 1041. doi:10.3390/w10081041
- Hidalgo J, Dumas G, Masson V, Petit G, Bechteld B, Bocher E, Foley M, Schoetter R, Mills G. 2019. Comparison between local climate zones maps derived from administrative datasets and satellite observations. *Urban Climate* 27 (2019) 64–89
- Launeau P, Kassouk Z, Debaine F, Roy R, Mestayer P, Boulet C, Rouaud JM, Giraud M. 2017. Airborne hyperspectral mapping of trees in an urban area. *International journal of remote sensing*, 38, 1277-1311
- Lemonsu A, Masson V, Shashua-Bar L, Erell E and Pearlmutter D. 2012. Inclusion of vegetation in the Town Energy Balance model for modelling urban green areas. *Geoscientific Model Development* 5, 1377–1393. DOI: 10.5194/gmd-5-1377-2012
- Nations Unies- Department of Economic and Social Affairs World Urbanization Prospects: The 2018 Revision (ST/ESA/SER.A/420). United Nations, 2019
- Redon, E. C.; Lemonsu, A.; Masson, V.; Morille, B. & Musy, M., 2017. Implementation of street trees within the solar radiative exchange parameterization of TEB in SURFEX v8.0 *Geoscientific Model Development*,10, 385-411.
- Stavropoulos-Laffaille, X.; Chancibault, K.; Brun, J.-M.; Lemonsu, A.; Masson, V.; Boone, A. & Andrieu, H., 2018. Improvements to the hydrological processes of the Town Energy Balance model (TEB-Veg, SURFEX v7.3) for urban modelling and impact assessment *Geoscientific Model Development*, 11, 4175-4194