

IMPACTS D'UNE MEILLEURE DESCRIPTION DE LA VÉGÉTATION URBAINE SUR DES SIMULATIONS DU CLIMAT URBAIN AVEC SURFEX-TEB

**Mélissa POUPELIN^{1,2}, Julien PERGAUD², Damien ROY¹, Julita DUDEK², Ludovic GRANJON³,
Nadège MARTINY², Julien CRÉTAT², Mario REGA², Yves RICHARD², Thomas THEVENIN^{1,3}**

¹ *Laboratoire ThéMA - UMR CNRS 6049, Université de Bourgogne-Franche-Comté, Dijon et Besançon
(poupelinmelissa.pro@gmail.com)*

² *Centre de Recherches de Climatologie - Laboratoire Biogéosciences - UMR CNRS 6282, Université de Bourgogne-Franche-Comté, Dijon.*

³ *Maison des Sciences de l'Homme de Dijon - MSH de Dijon, UAR 3516 CNRS, Université de Bourgogne-Franche-Comté, Dijon.*

Résumé : Le modèle de climat urbain Méso-NH couplé à la plateforme de modélisation de la surface SURFEX est mobilisé pour simuler la variabilité spatio-temporelle des températures horaires de Dijon Métropole lors d'un épisode de canicule et estimer l'impact de la description de la végétation sur la température. Cet impact est variable au cours de la journée en fonction des caractéristiques topographiques et morphologiques du territoire.

Mots-Clés : Modélisation ; Végétation urbaine ; Îlot de chaleur urbain ; Dijon Métropole.

Introduction

La modélisation dynamique est une des solutions pour étudier les dynamiques du climat à l'échelle de la ville, notamment les phénomènes d'îlots de Chaleur Urbains (ICU) qui correspondent au différentiel de température observé entre la ville et les espaces ruraux adjacents (Oke, 1982). Il est désormais possible de modéliser à fine échelle les différents éléments qui peuvent influencer le climat urbain (végétation, eau, sols) grâce aux développements des modèles de climat tels que Méso-NH (Schoetter et al., 2020 ; de Munck et al., 2018). Afin de proposer des scénarii ancrés dans la réalité du territoire étudié et d'étudier l'impact de ces solutions de rafraîchissement, il faut réaliser une simulation initiale qui servira de « témoin ». Cette simulation initiale doit être basée sur des paramètres d'occupation du sol proches de la réalité. Pour cela, il est nécessaire de disposer de bases de données qui renseignent correctement l'occupation du sol : or, la végétation urbaine est un élément très mal renseigné dans les bases de données d'occupation du sol. C'est pourquoi (1) un travail de recensement de la végétation urbaine grâce à des images satellites PLÉIADES et des données LiDAR (Light Detection And Ranging) s'est révélé nécessaire. Puis, (2) un travail d'étude de la sensibilité du modèle à cette nouvelle base de données permet de vérifier son impact sur les résultats de simulation. (3) Les données d'observation du réseau MUSTARDijon (Measuring Urban Systems Temperature of Air Round Dijon (Richard et al., 2018)) sont utilisées comme référentiel dans cette étude de sensibilité.

1. Données et Méthodes

1.1. Les données nécessaires pour simuler le climat urbain de Dijon Métropole

La période choisie pour effectuer les simulations correspond à des jours de canicule de l'été 2020, soit du 6 août 2020 au 9 août 2020 : ces jours sont propices au développement du phénomène d'ICU (Richard et al., 2021). Les réanalyses ERA-5 produites par l'European Center for Medium-range Weather Forecasts (ECMWF) sont utilisées pour forcer le modèle en entrée et toutes les six heures (Hersbach et al., 2020). Les données d'observations utilisées pour évaluer les simulations obtenues sont issues du réseau MUSTARDijon. Ce réseau capture les conditions thermiques toutes les heures à 3 mètres au-dessus du sol depuis le 6 juin 2014 (De Lapparent et al., 2015). Il est doté de 67 stations en 2022 (Figure 1) ce qui permet d'avoir une information riche et dans des espaces diversifiés (parcs urbains, espaces résidentiels peu denses, centre-ville dense, périurbain, zones d'activités, etc).

Pour simuler les conditions du climat urbain de Dijon Métropole, la plateforme de modélisation de la surface SURFEX v8.1 (Masson et al., 2013) couplée au modèle de climat Méso-NH (v5.4.4) a besoin d'informations réduites sous forme de fractions au sein de chaque maille constituant sa grille de simulation. Pour ce cas d'étude, la grille choisie couvre une superficie d'environ 576 km² (24km de côté) ce qui permet d'intégrer les 23 communes qui composent Dijon Métropole. Cette grille est composée de mailles de 150 mètres de côté, soit environ 22 500m² chacune. Les fractions de surface de bâti, d'eau et de végétation sont nécessaires pour simuler les états de surface. Hormis pour les surfaces de végétation urbaine, toutes les informations nécessaires sont disponibles au sein de la BD TOPO (IGN). Dans cette base de données la végétation urbaine représentée est très différente de la réalité puisque seuls certains arbres hauts et placés dans les espaces publics (rues, squares, parcs publics) sont représentés. Manquent les espaces privés (végétation basse et végétation haute), ainsi que la végétation haute présente dans l'espace public et les haies. Par défaut, le modèle attribue les espaces "vides", i.e. le reste de la maille sans fraction de bâti, d'eau ou de végétation, à de la route.

1.2. Intégrer une couche de données de végétation urbaine aux simulations

Un travail sur des données de télédétection a permis de développer une méthode originale d'inversion de la végétation urbaine permettant d'obtenir une couche de végétation plus détaillée que celle disponible dans la BD TOPO et ce à l'échelle de la ville de Dijon et des alentours. Cette couche est issue du traitement d'une image provenant du satellite PLÉIADES (29 mai 2021) équipé d'un capteur THR (très haute résolution spatiale) et de données LiDAR (5, 6 et 14 février 2019, issues de la campagne « Côte viticole 2020 - L'association des Climats, DRAC BFC, DREAL BFC, Maison des Sciences de l'Homme de Dijon CNRS-uB 3516, 2020 »). Cette couche de végétation plus détaillée (appelée « BD Végétation ») permet de renseigner les fractions de

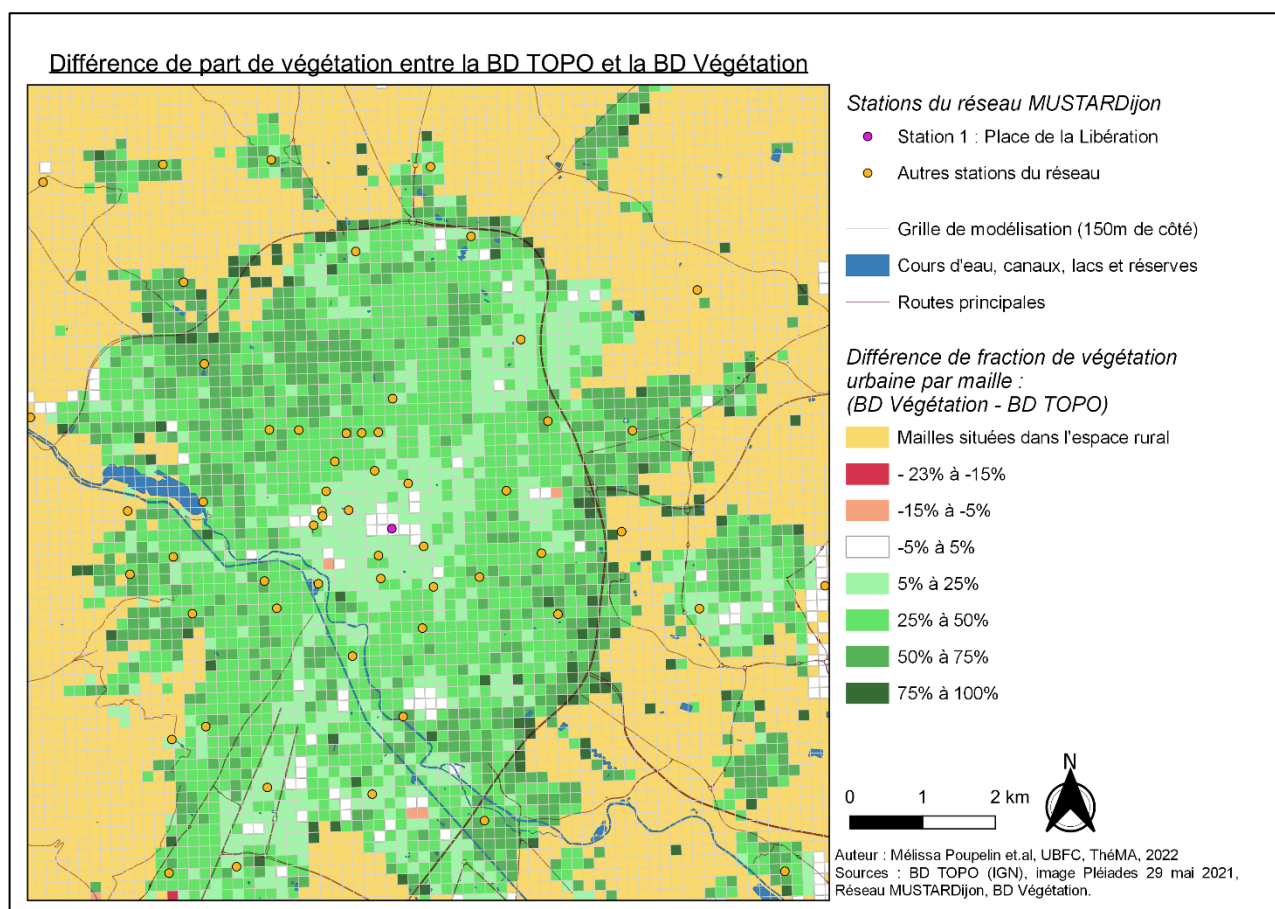


figure 1. Différence de part de végétation entre la BD TOPO et la BD Végétation à Dijon et alentours. La station n°1 (Place de la Libération) est différenciée pour situer le centre. En dégradé rouge : les mailles pour lesquelles la BD Végétation renseigne une part de végétation plus faible que dans la BD TOPO, en blanc : les mailles où la BD végétation est égale à la BD TOPO, en dégradé vert : les mailles où la BD Végétation renseigne une part de végétation plus importante que la BD TOPO.

surfaces végétalisées en milieu urbain et ainsi de compléter la base de données de l'IGN sur la surface couverte par l'image PLÉIADES .

L'objectif est de réaliser une étude de sensibilité quant aux modifications apportées à la caractérisation de la végétation. Deux simulations sont réalisées : une première (Simulation « BD TOPO ») avec uniquement les données de la BD TOPO pour renseigner l'occupation du sol et une seconde (Simulation « BD TOPO & PLÉIADES ») qui intègre à la BD TOPO la couche de végétation construite à partir de l'image PLÉIADES. La construction et le calcul des fractions dans les grilles ont été effectués avec QGis ; la même grille a été utilisée pour les deux simulations. Ce qui les différencie c'est la quantité de végétation par maille car la seconde simulation s'appuie sur les données de la couche de végétation urbaine qui présente un écart remarquable avec la végétation présente dans la BD TOPO. Sur le territoire étudié, la végétation urbaine référencée par la BD TOPO représente une surface de 754 hectares alors que la couche de végétation obtenue recense 3296 hectares. Ainsi, les mailles urbaines de la simulation « BD TOPO » contiennent en moyenne 9% de végétation, tandis que celles de la simulation « BD TOPO & PLÉIADES » sont en moyenne végétalisées à 50%. Dans l'espace, le gain de végétation n'est pas uniforme (Figure 1) : on retrouve un effet de centre-périphérie, où le centre-ville de Dijon a gagné moins de surfaces de végétation par mailles que les quartiers plus résidentiels situés autour. Le centre-ville de Dijon est en effet moins végétalisé et plus imperméabilisé que les quartiers résidentiels qui, eux, comportent des jardins privés qui n'étaient pas présents dans la BD TOPO. Les parcs, bien représentés dans la BD TOPO expliquent l'absence de différence entre les deux bases de données dans d'autres espaces de la ville.

2. Résultats

2.1. Quels résultats de simulation avec uniquement la BD TOPO pour caractériser l'occupation du sol ?

Afin d'étudier l'apport de la couche issue de la télédétection de végétation urbaine il faut d'abord s'intéresser à la simulation réalisée avec uniquement la BD TOPO. Ce travail d'analyse consiste dans un premier temps à comparer les résultats de simulation aux observations. Pour pouvoir traiter l'ensemble des 67 stations, il est nécessaire de pré-classer les stations en fonction des paramètres d'occupation du sol des mailles dans lesquelles sont placées les stations. Ce pré-classement s'est basé sur la catégorisation en Local Climate Zone (LCZ) des stations du réseau MUSTARDijon et sur la représentativité réelle des mailles de leur station associée. Trois classes ont été obtenues : les stations « végétalisées » (situées dans des parcs, des squares, des champs), les stations « minérales » (situées dans des rues, sur des places, dans des quartiers peu végétalisés) et les stations « mixtes » (situées dans des quartiers mêlant bâti et végétation, souvent des

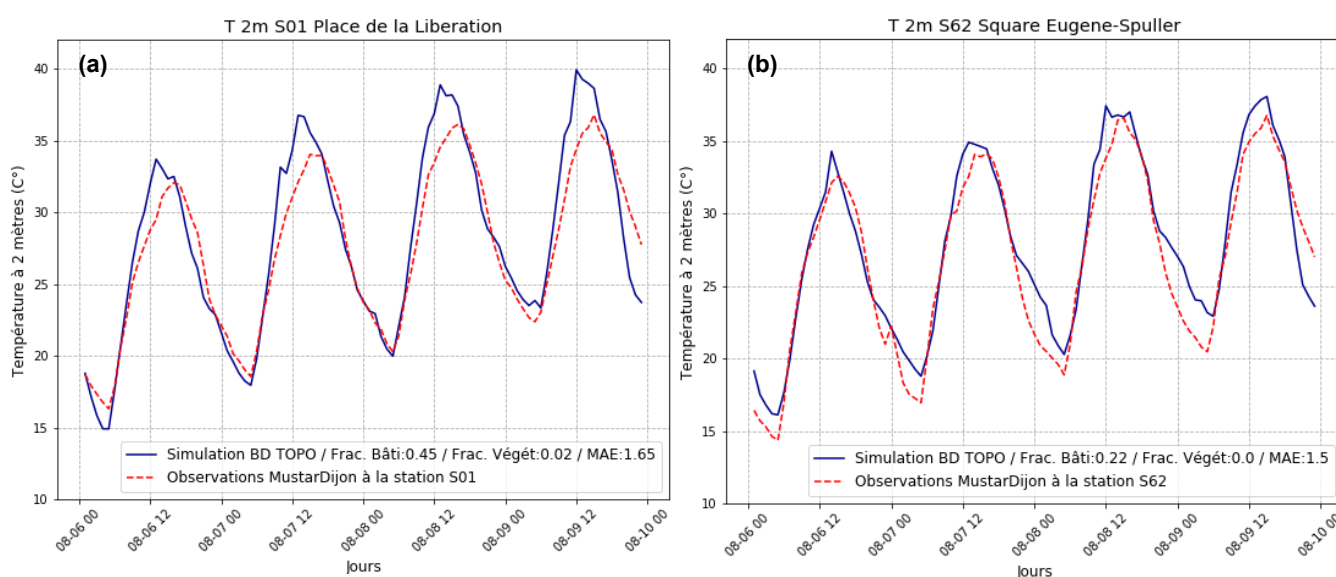


figure 2. Evolutions des températures : comparaison des observations aux stations n°01 (a) et 62 (b) du réseau MUSTARDijon et de la simulation « BD TOPO » sur la période du 06 août 2020 à 0h au 10 août 2020 à 0h. Focus sur une station « minéralisée » (a) et une station « végétalisée » (b).

espaces résidentiels avec pavillons individuels). Ce classement est croisé avec une analyse à plus fine échelle qui prend en compte la représentativité de la maille pour la station. Dans le cas de la simulation « BD TOPO », il faut également prendre en compte l'absence de végétation.

La simulation « BD TOPO » reproduit plutôt bien les températures observées par le réseau MUSTARDijon qui servent de référence. La comparaison des températures simulées et observées présente toutefois une erreur moyenne absolue généralement comprise entre 1.4 et 2°C sur l'ensemble des heures de la journée. Sur les évolutions temporelles tracées (Figure 2), le cycle diurne est bien retranscrit. Ce sont essentiellement les températures maximales et minimales journalières simulées qui sont éloignées des valeurs de référence : en milieu urbain, les températures maximales ont tendance à être plus élevées que les observations (en moyenne 2.5°C). Les températures minimales sont également plus élevées que les observations, en particulier sur la nuit du 9 août. Ces différences peuvent être liées à plusieurs éléments parmi lesquels le manque de surfaces végétalisées qui pourrait expliquer pourquoi les températures des simulations ont tendance à être plus élevées que celles observées.

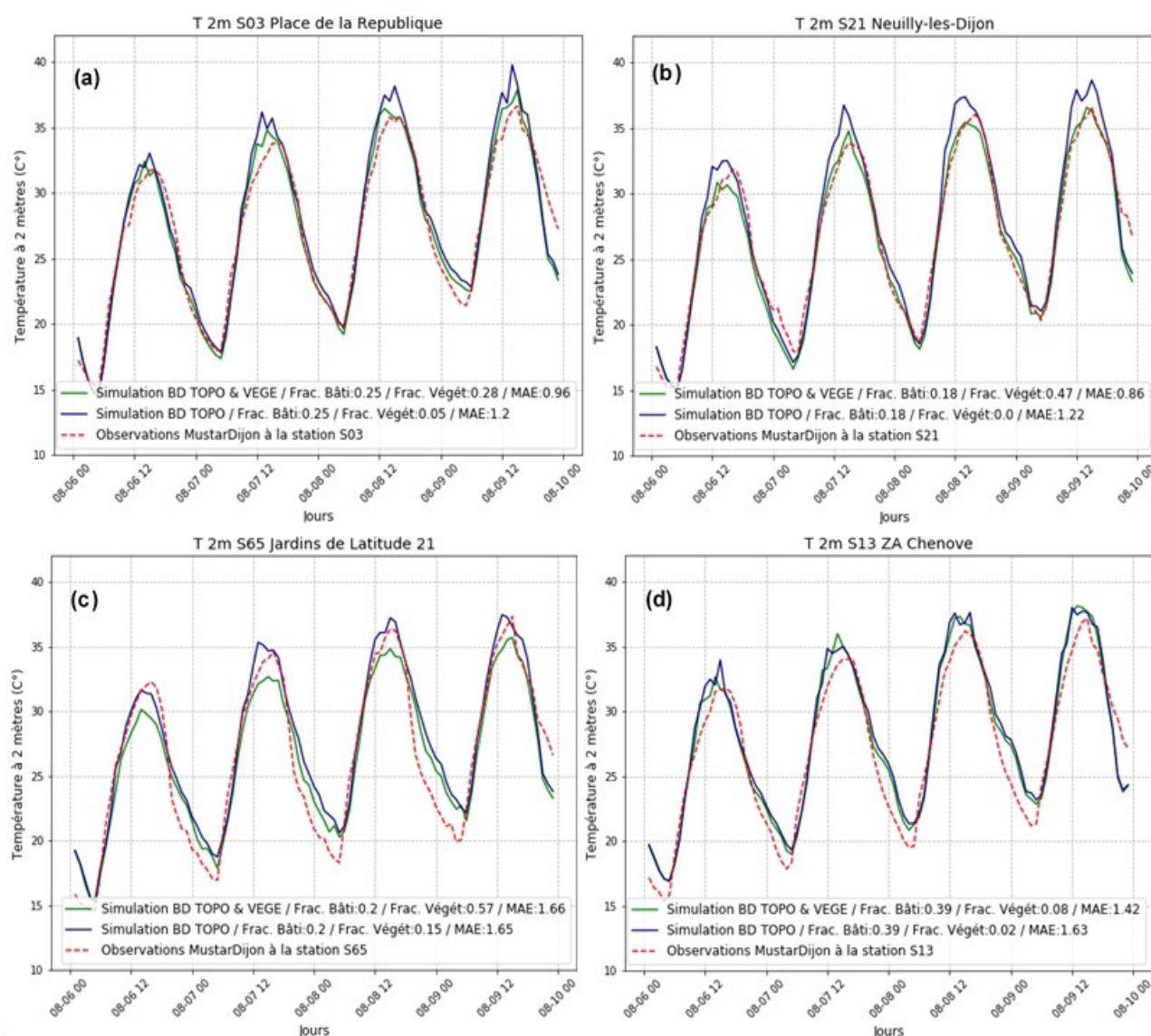


figure 3. Evolutions des températures : comparaison des observations aux stations n° 03 (a), 21 (b), 65 (c) et 13 (d) du réseau MUSTARDijon, de la simulation « BD TOPO » et de la simulation « BD TOPO & PLÉIADES » sur la période du 06 août 2020 à 0h au 10 août 2020 à 0h.

2.2. Quel impact de la couche de végétation urbaine sur les simulations ?

La simulation « BD TOPO & PLÉIADES » contient en moyenne 5,5 fois plus de part de végétation dans les mailles situées en milieu urbanisé (i.e. avec plus de 5% de part de bâti). Cette augmentation de la part de surfaces végétalisées a essentiellement un impact sur les températures maximales (Figure 3). Sur l'ensemble du domaine de simulation les maximales journalières baissent en moyenne de 2°C, avec localement jusqu'à 4.5°C de moins que dans la simulation « BD TOPO ». En revanche, les températures minimales ne semblent pas fortement varier d'une simulation à l'autre, environ 0.5°C pour la plupart des stations. La simulation « BD TOPO & PLÉIADES » est plus proche de la référence que la simulation « BD TOPO », avec des valeurs d'erreurs moyennes absolues plus proches de 0 (Figure 3.a,b,d). Cette amélioration des résultats s'observe en particulier pour les stations situées dans des mailles où la couche de végétation urbaine augmente remarquablement la fraction de végétation : on passe de 5% à 28% de végétation pour la maille de la place de la République (figure 3.a) et de 0% à 47% pour la maille de Neuilly-les-Dijon (figure 3.b). Cet impact sur les températures maximales semble être valable pour l'ensemble du territoire et pas uniquement dans les mailles qui gagnent une fraction de végétation importante (Figure 3.d). On observe un rafraîchissement moins important lorsque la différence de fraction de végétation entre les deux simulations est plus faible. Néanmoins, on remarque que la simulation « BD TOPO & PLÉIADES » n'est pas toujours plus proche des observations ; c'est le cas pour la station des jardins de Latitude 21 (figure 3.c) où cette simulation présente des températures plus basses que les observations sur les températures maximales. La comparaison des deux simulations aux observations station par station offre une première approche des résultats et permet de poser plusieurs hypothèses quant aux possibles biais des simulations.

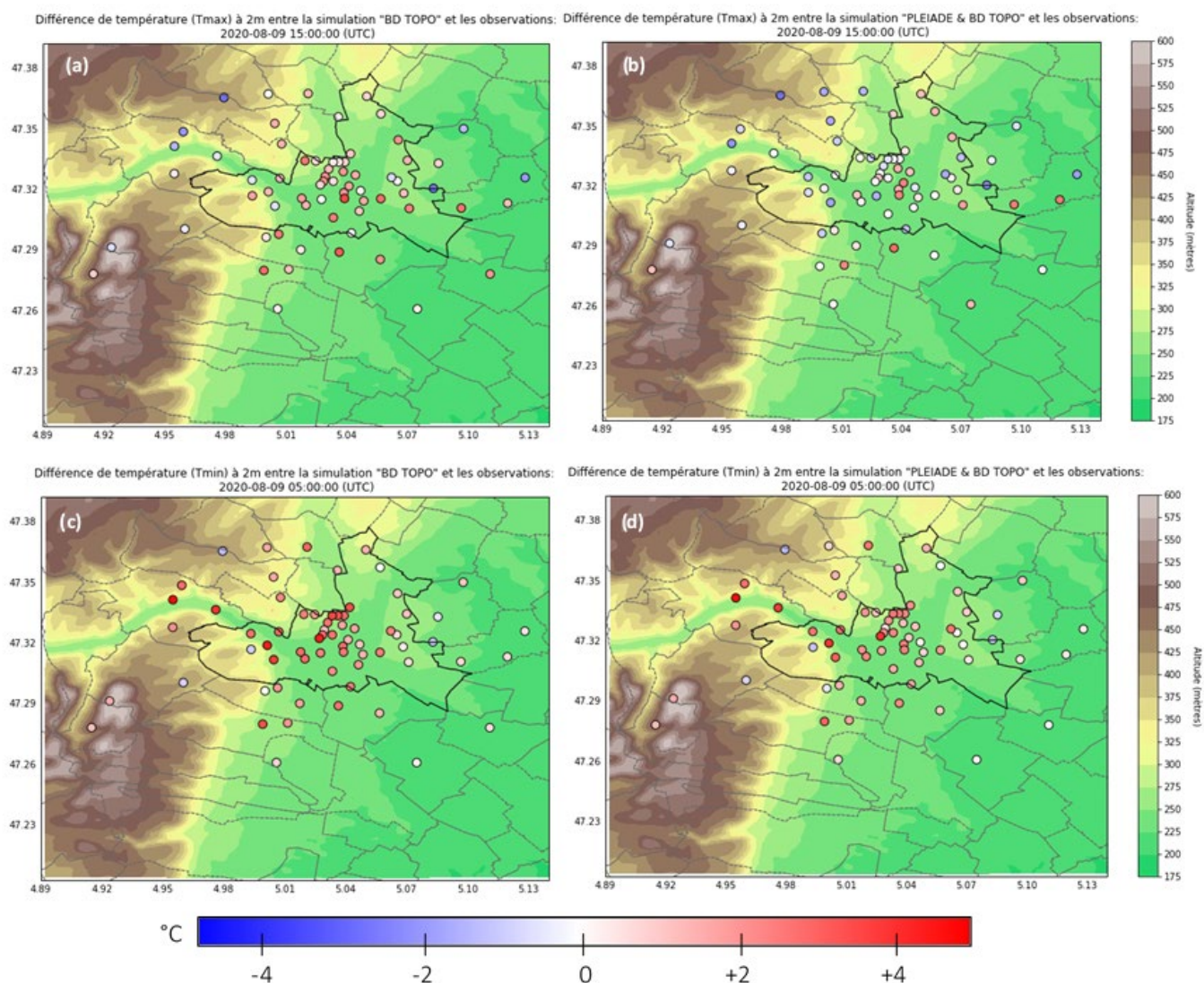


figure 4 : Différence de température à 2m entre les simulations « BD TOPO » (a,c) ou « BD TOPO & PLÉIADES » (b,d) et les observations aux stations du réseau MUSTARDijon le 09 août 2020 sur les températures maximales à 15h UTC (a,b) et sur les températures minimales à 05h UTC (c,d). Le gradient de température qui colore les stations (du bleu ou rouge) correspond à la différence entre la simulation et les observations.

L'étude de la distribution spatiale de la différence de température entre les simulations et les observations permet d'identifier les stations pour lesquelles les différences sont les plus fortes. En ce qui concerne les températures maximales, la simulation « BD TOPO » (Figure 4.a) présente généralement des valeurs supérieures aux observations, en particulier en centre de Dijon. En revanche, pour les stations situées à l'extérieur de la ville et qui ne sont pas en milieu bâti, cette simulation a tendance à être plus froide que l'observation. Les données de végétation urbaine permettent de réduire l'écart entre les observations et la simulation (Figure 4.b), surtout dans les quartiers résidentiels de Dijon (figure 4.b). Certaines stations de Dijon conservent toutefois une différence d'environ 2°C sur les températures maximales du 9 août: ce sont des stations situées dans des environnements peu végétalisés ou le long de l'Ouche. Au nord-est de Dijon Métropole, la simulation « BD TOPO & PLÉIADES » est plus froide que la référence (environ -1.8°C) alors qu'elles sont plus chaudes (environ 1.5°C) avec la simulation « BD TOPO » : ces différences entre les simulations et les observations concernent essentiellement les stations situées sur les versants de la Vallée de l'Ouche. Pour ce qui est des températures minimales, l'apport de végétation a pour effet de réduire l'écart entre les observations et la simulation mais il reste toujours un biais chaud, en particulier pour les stations situées dans la Vallée de l'Ouche, au nord-ouest (Figure 4.b,c). Les températures des stations situées sur la plaine à l'est et au sud sont bien restituées par les deux simulations. Ces résultats posent question quant à l'impact de l'altitude et de la topographie sur les résultats de simulation.

Conclusion

La production d'une base de données de végétation urbaine a permis de modifier structurellement les bases de données d'occupation du sol utilisées pour simuler le climat urbain de Dijon Métropole ; l'étude de l'impact de l'augmentation majeure de la part de végétation dans les simulations revêt deux intérêts; elle permet de valider l'utilisation d'une base de données de végétation urbaine qui caractérise beaucoup mieux l'occupation du sol et aussi d'étudier les différents biais du modèle quant à la simulation des paramètres du climat à l'échelle d'une métropole française. L'étude de ces biais offre la possibilité de trouver des solutions pour les réduire ou bien pour les intégrer à l'analyse des résultats des scénarii futurs. Les premiers résultats étudiés montrent que l'apport de végétation ne génère pas forcément un refroidissement des températures de façon uniforme; l'altitude, la topographie, la distance au centre sont des paramètres qui pourraient influencer les résultats de simulation. L'étude plus approfondie de ces hypothèses va permettre de mieux comprendre le fonctionnement du modèle et d'adapter une grille d'interprétation des résultats de simulation. Ce travail pourra aboutir à la formulation d'une typologie adaptée aux mailles du domaine de simulation qui sera utilisée pour élaborer les scénarii de végétalisation.

Remerciements : Les auteurs remercient Météo-France pour la mise à disposition des données de la station de Dijon Longvic (convention avec l'université de Bourgogne), la Région Bourgogne-Franche-Comté pour leur soutien ainsi que les équipes GMME et GAME du Centre National de Recherches Météorologiques.

Bibliographie

- De Lapparent B., Roux J., Richard Y., Pohl B., Bientz S., et al., 2015 : Mesures de la température et spatialisation de l'Ilot de Chaleur Urbain à Dijon. *Actes de l'Association Internationale de Climatologie*, **28**, 257–262.
- Masson V., Le Moigne P., Martin E., Faroux S., Alias A., et al., 2013 : The SURFEXv7.2 land and ocean surface platform for coupled or offline simulation of earth surface variables and fluxes. *Geoscientific Model Development*, **6(4)**, 929–960.
- Munck C. de, Lemonsu A., et al., 2018 : Evaluating the impacts of greening scenarios on thermal comfort and energy and water consumptions for adapting Paris city to climate change. *Urban Climate*, **23**, 260–286.
- Oke T.R., 1982 : The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **108(455)**, 1–24.
- Richard Y., Emery J., Dudek J., Pergaud J., Chateau-Smith C., et al., 2018 : How relevant are local climate zones and urban climate zones for urban climate research? Dijon (France) as a case study. *Urban Climate*, **26**, 258–274.
- Richard Y., Pohl B., Rega M., Pergaud J., Thevenin T., et al., 2021 : Is Urban Heat Island intensity higher during hot spells and heat waves (Dijon, France, 2014–2019)? *Urban Climate*, **35**, 100747.
- Schoetter R., Kwok Y.T., et al., 2020 : Multi-layer coupling between SURFEX-TEB-v9.0 and Meso-NH-v5.3 for modelling the urban climate of high-rise cities. *Geoscientific Model Development*, **13**, 5609–5643.
- Hersbach, H., Bell B., Berrisford P., et al., 2020 : The ERA5 global reanalysis, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **146(730)**, 1999–2049.