

# UN CHANGEMENT CLIMATIQUE SOUVENT OUBLIE : LES ÎLOTS DE CHALEUR URBAIN EN AMAZONIE

Vincent DUBREUIL<sup>1</sup>, Damien ARVOR<sup>1</sup>, Vincent NEDELEC<sup>1</sup>, Jean NABUCET<sup>1</sup>, Charlotte BRABANT<sup>1</sup>, Carlos Antonio DA SILVA JUNIOR<sup>2</sup>, Laurimar VENDRUSCULO<sup>3</sup>, Bruno CARDOSO<sup>4</sup>, Marco Antonio Camillo de CARVALHO<sup>5</sup>, Thiago RIZZI<sup>6</sup>, Isabelle BONINI<sup>7</sup>, Luis de ARAUJO<sup>8</sup>, Margarete AMORIM<sup>8</sup>

<sup>1</sup> LETG-Rennes, Université Rennes 2, UMR 6554 CNRS, France ([prenom.nom@univ-rennes2.fr](mailto:prenom.nom@univ-rennes2.fr))

<sup>2</sup> UNEMAT, Campus de Sinop, Brésil ([carlosjr@unemat.br](mailto:carlosjr@unemat.br))

<sup>3</sup> EMBRAPA, Sinop, Brésil ([laurimar.vendrusculo@embrapa.br](mailto:laurimar.vendrusculo@embrapa.br))

<sup>4</sup> ICV, Alta Floresta, Brésil ([bruno.cardoso@icv.org.br](mailto:bruno.cardoso@icv.org.br))

<sup>5</sup> UNEMAT, Campus d'Alta Floresta, Brésil ([marcocarvalho@unemat.br](mailto:marcocarvalho@unemat.br))

<sup>6</sup> IFMT, Campus de Sorriso, Brésil ([thiago.rizzi@srs.ifmt.edu.br](mailto:thiago.rizzi@srs.ifmt.edu.br))

<sup>7</sup> UNEMAT, Campus de Nova Xavantina, Brésil ([isabelle\\_biologa@hotmail.com](mailto:isabelle_biologa@hotmail.com))

<sup>8</sup> UNESP, Presidente Prudente, Brésil ([lfaraujo@unesp.br](mailto:lfaraujo@unesp.br), [margarete.amorim@unesp.br](mailto:margarete.amorim@unesp.br))

**Résumé** : Les données de stations urbaines et rurales sont analysées pour l'année 2020 dans quatre villes de l'État du Mato Grosso (Alta Floresta, Sinop, Sorriso et Vera), au sud de l'Amazonie brésilienne. Les villes ont des populations comprises entre 11.000 et 146.000 habitants et des surfaces urbanisées qui s'étendent entre 376 et 7861 hectares. Dans ces quatre villes, la différence de température la plus importante est observée en début de nuit pendant la saison sèche (de Mai à Septembre), montrant la dynamique horaire et saisonnière de l'îlot de chaleur urbain. L'écart ville-campagne semble augmenter également en fonction de la taille de la ville .

**Mots-Clés** : climat urbain ; Brésil; Occupation des sols.

**Abstract** : AN OFTEN FORGOTTEN CLIMATE CHANGE: URBAN HEAT ISLANDS IN THE AMAZON. Data from urban and rural stations are analyzed for the year 2020 in four cities in the state of Mato Grosso (Alta Floresta, Sinop, Sorriso and Vera), in the southern Brazilian Amazon. The cities have populations between 11,000 and 146,000 inhabitants and urbanized areas that extend between 376 and 7861 hectares. In these four cities, the most significant temperature difference is observed at the beginning of the night during the dry season (from May to September), showing the hourly and seasonal dynamics of the urban heat island. The urban-rural difference also seems to increase with the size of the city.

**Keywords** : Urban climate ; Brazil ; Land Cover.

## Introduction

Les enjeux climatiques et environnementaux en Amazonie sont nombreux : déforestation, perte de biodiversité, stockage/émission de CO<sub>2</sub>, incendies, rétroaction forêt-climat, réduction de la saison des pluies, sont autant de sujets de recherches qui occupent souvent le devant de la scène médiatique et font l'objet de très nombreuses publications (Nobre et al, 2021).

On oublie cependant que l'Amazonie est aussi une « forêt urbanisée », une région où l'essentiel de la population vit dans des villes (Becker, 1995). En effet, celles-ci ont connu un essor prodigieux depuis les programmes de colonisation notamment sur les fronts pionniers du sud et de l'est de l'Amazonie brésilienne (région aussi dénommée « Arc de déforestation »). Ainsi, le long de la route fédérale 163 (BR163) dans le Mato Grosso, plusieurs villes ont été fondées au milieu des années 1970 (Clairay et Dubreuil, 2002) et sont toujours aujourd'hui des villes en pleine croissance démographique.

L'extension spatiale de ces villes provoque, comme ailleurs, une modification des états de surface qui se répercute sur le bilan radiatif local (Oke et al, 2017 ; Amorim et Dubreuil, 2017). Augmentation des surfaces construites et imperméabilisées, réduction des surfaces en forêt et de la végétation de manière générale,

produisent un réchauffement local, l'îlot de chaleur urbain (ICU). Cependant, comme ce sont des villes d'expansion récentes, elles ont peu fait l'objet de suivi climatique, l'attention étant en outre davantage tournée vers l'impact de la déforestation sur le climat. Pourtant, dans un contexte climatique déjà très chaud et en considérant les vitesses de croissance de ces villes pionnières aux formes d'habitat souvent précaires, les enjeux en termes d'ICU sont bien présents.

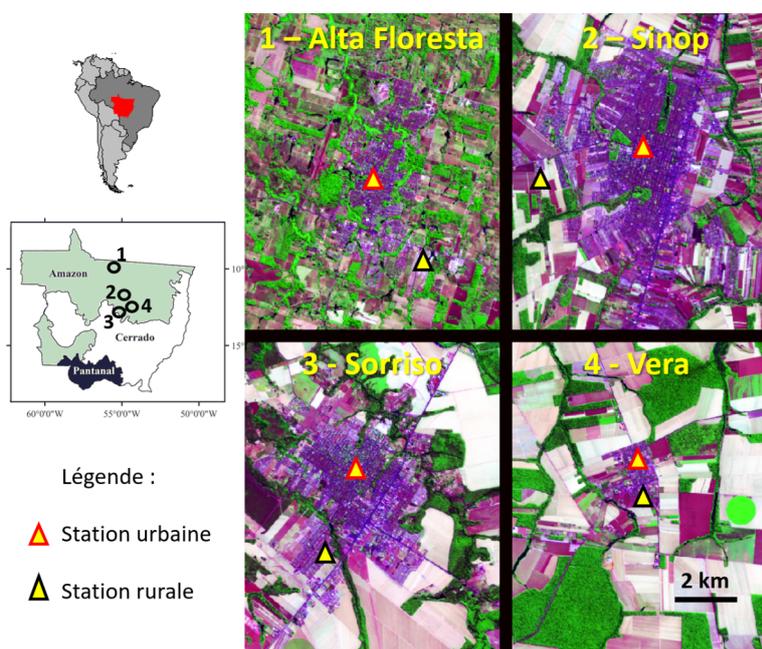
A partir de mesures réalisées en 2020 à partir de paires de stations automatiques (urbain/rural), cette étude propose de quantifier l'intensité et la fréquence des ICU dans quatre villes (Sinop, Alta Floresta, Sorriso et Vera) situées dans l'Etat du Mato Grosso, Brésil. Il s'agit aussi de vérifier si la relation entre la taille de la ville et l'intensité de l'ICU (Oke et al, 2017) se retrouve dans cette région du sud de l'Amazonie.

## 1. Cadre de l'étude, données et méthodes

L'étude du climat urbain des villes amazoniennes est encore peu développée. Les travaux pionniers de Maitelli et Wright (1996) sur Manaus, comme ceux, plus récents de Oliveira et al (2020) sur Bélem ont privilégié les grandes villes historiques. Les villes plus petites et de création plus récente n'ont fait l'objet que d'études partielles s'appuyant essentiellement sur des méthodes de transects mobiles comme à Sinop (Dubreuil et al, 2003 ; Araujo, 2021) ou Sorriso (Dubreuil et al, 2010 ; França et Gomes, 2014). Des données pérennes ont pu être utilisées dans la région d'Alta Floresta (Dubreuil et al, 2010) pour montrer l'impact des changements d'utilisation des sols sur le climat local. Cependant, de manière générale, l'absence de mesures en continu empêche de connaître la dynamique temporelle diurne et saisonnière de l'ICU et de comparer les villes entre elles.

Les villes retenues pour cette étude se situent dans la moitié nord de l'État du Mato Grosso au Brésil (figure 1). Elles ont été fondées entre 1974 (Sinop, Vera) et 1976 (Alta Floresta, Sorriso) par des compagnies privées de colonisation. Situées en bordure méridionale de l'Amazonie, ces communes ont encore une part significative de leur surface en forêt, entre 30 % à Sorriso et 47 % à Alta Floresta (Mapbiomas, 2021) ; leur occupation du sol dominante est cependant l'agriculture avec une distinction entre Alta Floresta où dominent les pâturages (49 % de la commune) et les trois autres où les cultures (de soja, coton et maïs principalement) l'emportent : 30 % à Sinop, 46 % à Vera et 60 % à Sorriso, principale commune productrice de soja du Brésil !

D'après les données de l'IBGE (2021) la population de ces communes continue à croître de manière inégale : Sinop (146.005 habitants) et Sorriso (92.769 habitants) font figure de villes très dynamiques en lien avec l'expansion de l'agrobusiness, Alta Floresta (51.959 habitants) et surtout Vera (11.402 habitants) ayant des croissances urbaines plus modestes. Les données Mapbiomas de 2020 donnent des surfaces urbanisées de 7861 hectares à Sinop, 3750 à Sorriso, 2062 à Alta Floresta et 376 hectares à Vera.



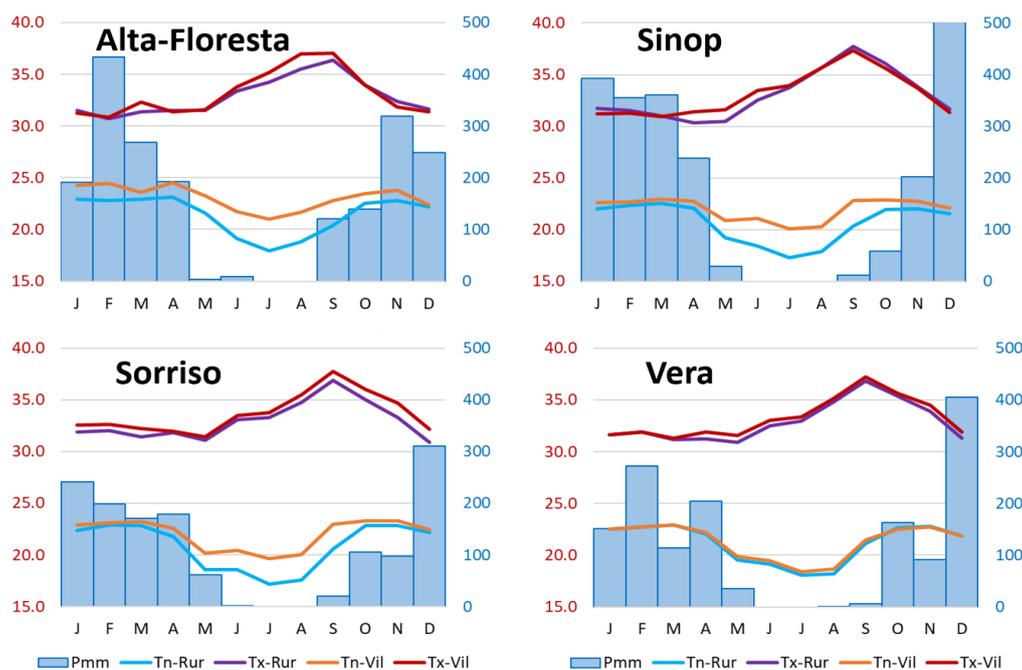
**Figure 1.**  
Localisation des villes étudiées au Mato Grosso. A droite, occupation du sol en 2020 (Images Landsat 8 de juillet 2020, composition colorée 4, 5, 6 : forêts en vert, sols nus en blanc, villes en violet ; mêmes échelles et légendes).

Les données climatiques utilisées dans cette étude correspondent à des enregistrements réalisés tout au long de l'année 2020 par un réseau de stations automatiques de type DAVIS-Instruments, Vantage-Pro-2. Toutes les stations ont été installées de la même manière pour effectuer des mesures à pas de temps horaire à 2 mètres au dessus du sol : les paramètres mesurés sont la température, l'humidité relative, la pression atmosphérique, le vent (vitesse et direction), la pluviométrie et, pour certaines stations, le rayonnement solaire. Les données de trois stations, une urbaine et deux en périphérie rurale, sont disponibles à Vera et Sorriso, tandis qu'à Sinop et Alta Floresta, deux stations urbaines et deux stations rurales ont pu être installées : dans ce dernier cas, les données manquantes (représentant moins de 10% des observations) ont pu être comblées en utilisant les données de la station la plus proche : en effet, quelques séries ont présenté des lacunes du fait de la condition sanitaire au Brésil pendant l'année 2020 (dans cette région l'INMET n'a d'ailleurs pas pu continuer à assurer la maintenance des stations officielles !). Les distances entre les stations du centre ville et celles de la campagne sont comprises entre 4 et 5 kilomètres sauf à Vera où, du fait de la taille de la ville, elle n'est que de 1,4 kilomètre. Enfin, pour les 4 villes, la différence d'altitude entre le site urbain et le site rural ne dépasse pas 20 mètres.

Tous les sites d'études sont localisés en climat tropical à saison alternée (type Aw de Köppen selon Dubreuil et al, 2018) avec une saison sèche de mai à septembre et une saison des pluies d'octobre à avril. L'année 2020 a été une année proche des moyennes pour les précipitations à Alta Floresta et Sinop (environ 2000mm) mais déficitaire à Vera et Sorriso (1400mm). Les températures moyennes sont très proches entre les stations : entre 26 et 27°C pour les moyennes, les températures minimales moyennes annuelles étant comprises entre 20 et 21°C et les maximales entre 31 et 32°C.

## 2. Résultats : une différence ville campagne surtout marquée en saison sèche

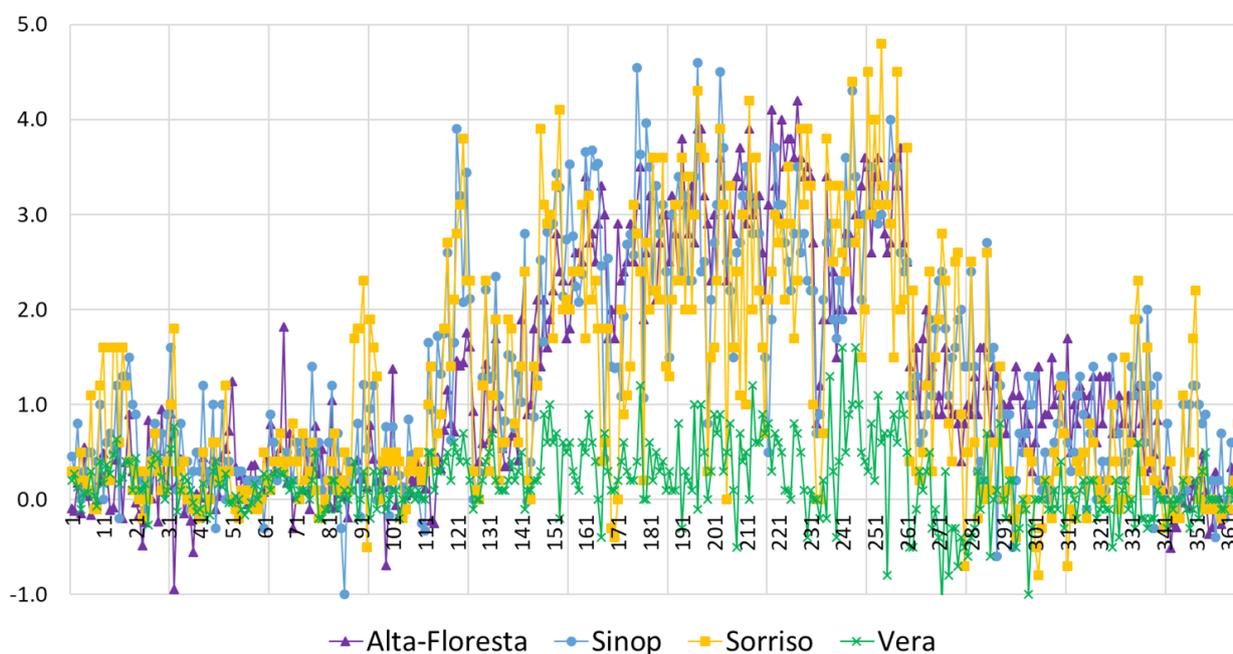
Les mesures de l'année 2020 montrent des différences de températures entre les stations urbaines et rurales qui restent modestes quand on les regarde au niveau annuel, toujours inférieures à un degré, sauf à Sinop (1,09°C). La différence est toujours plus marquée pour les moyennes des minimales (entre 1,2 et 1,6°C) que pour les maximales (0,3 à 0,7°C) sauf à Vera où la différence ville-campagne est très légèrement supérieure pour les maximales. L'effet d'îlot de chaleur urbain est donc bien marqué mais ne s'imprime que modestement sur les valeurs annuelles.



**Figure 2.** Températures minimales (Tn) et maximales (Tx) moyennes et précipitations (Pmm) mensuelles en 2020 à Alta Floresta, Sinop, Sorriso et Vera ; stations urbaines (Vil) et rurales (Rur).

Le détail saisonnier apporte des nuances importantes à ce tableau (figure 2). En effet, les différences de températures ville-campagne s'estompent très nettement en saison pluvieuse pour les maximales comme pour les minimales : pour toutes les stations, l'écart n'est que de quelques dixièmes, parfois insignifiant. L'écart entre les températures minimales ne s'accuse vraiment (plus de 1,5°C) que de mai à septembre et atteint une amplitude maximale en juillet où il est compris entre 2 et 3°C (toujours à l'exception de Vera où l'écart moyen ne dépasse jamais 0,5°C). Les conditions de faibles pluviosités et nébulosité, ainsi que la moindre vitesse du vent de la saison sèche dans cette région, sont clairement des conditions favorables à l'établissement de situations d'îlot de chaleur urbain.

Les intensités quotidiennes de l'ICU permettent de préciser la dynamique saisonnière du phénomène (figure 3). Ainsi, pour les trois villes principales, les situations d'ICU modéré (plus de 2°C de différence entre la ville et la campagne) représentent une centaine d'observations qui sont toutes comprises entre mai et septembre inclus ; les situations à fort ICU (plus de 4°C soit moins de 10 observations quotidiennes pour chacune des villes) s'observent de juin à septembre à Sinop et Sorriso et seulement en août à Alta Floresta : le cœur de la saison sèche est donc bien la période de l'année la plus favorable à la mise en place d'ICU modérés à forts.



**Figure 3.** Intensités quotidiennes de l'îlot de chaleur urbain (en °C) du 1<sup>er</sup> janvier au 31 décembre 2020 à Alta Floresta, Sinop, Sorriso et Vera.

### 3. Résultats : une différence ville campagne qui augmente avec la taille de la ville ?

Les tailles différentes des villes, tant par leur population que par leur surface urbanisée, amènent à se poser la question du lien entre taille de la ville et intensité de l'ICU, bien connu dans la littérature (Oke et al, 2017). Pour les quatre villes étudiées ici, la différence d'urbanisme est également à prendre en compte : dans les trois villes principales, le centre est majoritairement constitué de bâtiments à deux ou trois niveaux, alors qu'il existe très peu de bâtiments à plus de deux niveaux à Vera. Les immeubles de 6 étages et plus sont inexistantes à Vera, rares à Alta-Floresta, un peu plus nombreux à Sinop et Sorriso mais dispersés sur l'ensemble de la zone urbanisée. Dans les quatre villes, les rues sont larges, généralement asphaltées et les principales avenues dotées de petits arbres d'ornement. Enfin, les entrepôts et zones industrielles ont une forte extension en périphérie des trois villes principales, surtout à Sinop et Sorriso où les infrastructures liées à l'agrobusiness sont importantes.

Les données du tableau 1 opposent nettement Sinop et Vera en termes de taille comme de fréquence et d'intensité d'ICU ; en première approche, Alta-Floresta et Sorriso apparaissent en situation intermédiaire. Vera se distingue des autres villes car sa plus petite taille entraîne une quasi absence de situation d'ICU. La ville est légèrement plus chaude que la campagne mais de manière très marginale et aucun ICU n'atteint 2°C : peut-on alors vraiment parler d'ICU ? A l'opposé, Sinop affiche des valeurs d'ICU significatives et comparables à celles de villes de taille similaire (Amorim et Dubreuil, 2017 ; Oke et al, 2017) : près de 200 jours par an avec une différence ville-campagne supérieure à 1°C (contre 12 à Vera) et 110 jours d'ICU modéré (aucun à Vera).

**Tableau 1.** Synthèse des observations d'ICU en 2020 à Alta Floresta, Sinop, Sorriso et Vera.

	Alta-Floresta	Sinop	Sorriso	Vera
Population (habitants)	51.959	146.005	92.769	11.402
Surface urbanisée (hectares)	2.062	7.861	3.750	376
ICU moyen sur Minis quotidiens (°C)	1,26	1,35	1,16	0,18
ICU maximum observé (°C)	4,2	4,6	4,8	1,6
Nombre jours ICU > 4°C (fort)	3	5	8	0
Nombre jours ICU > 2°C (modéré)	105	110	104	0
Nombre jours ICU > 1°C (faible)	173	191	162	12

Ainsi, dans le cas de Sinop, la dynamique horaire et saisonnière de l'ICU apparaît clairement sur la figure 4 : il atteint son intensité maximale vers 00:00 UTC (1,6°C en moyenne) et au cœur de la saison sèche où il atteint une valeur de 3,2°C (juillet). Cet ICU se maintient à des niveaux élevés toute la nuit pour disparaître vers 05:00 UTC (9 heures locales). En revanche, la différence de température nocturne entre la ville et la campagne reste inférieure à 1°C de novembre à mars. Signalons également que, contrairement aux autres villes étudiées ici, la plupart des mois montrent une température légèrement plus fraîche en ville pendant la journée ; dès 22-23:00 UTC, en revanche, l'ICU se reforme très rapidement (Amorim & Dubreuil, 2017).

Heur	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	00:00	01:00	02:00	03:00	Moy
J	0.7	0.6	0.6	0.5	0.6	0.5	0.7	1.4	1.8	1.0	0.4	-0.4	-0.1	-0.3	-0.5	-0.6	-0.6	-0.4	-0.4	0.2	0.6	0.8	0.9	0.8	0.5
F	0.7	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.8	0.9	0.5	0.1	0.0	-0.8	-0.3	-0.3	0.2	-0.1	-0.1	0.0	0.4	0.6	0.7	0.7	0.6	0.5
M	0.7	0.6	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5	0.4	0.5	0.3	-0.4	-0.5	-0.4	-0.3	-0.1	0.4	0.8	0.4	0.3	0.7	0.9	1.0	0.9	0.8	0.4
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.8	1.0	1.1	1.3	1.1	1.1	0.4	0.4	0.1	0.2	0.4	-0.1	0.0	0.8	1.1	1.1	1.1	1.1	0.9
M	1.6	1.7	1.6	1.7	1.6	1.8	1.7	2.4	2.1	1.6	1.2	1.2	1.0	0.9	0.5	0.3	0.3	-0.1	0.7	1.5	1.7	1.6	1.5	1.7	1.4
J	2.0	2.4	2.6	2.6	2.5	2.6	2.4	3.0	2.3	1.6	0.9	0.6	0.7	0.7	0.5	0.2	0.0	-0.5	0.7	1.8	2.4	2.2	2.1	1.9	1.5
J	2.7	2.7	2.6	2.9	2.8	2.5	2.6	3.1	2.4	1.1	0.2	-0.2	0.0	0.0	0.2	0.6	0.8	0.7	1.8	3.0	3.2	3.2	3.0	2.7	1.6
A	2.5	2.6	2.7	2.6	2.5	2.1	2.3	3.1	1.3	0.2	-0.3	-0.5	-0.6	-0.4	0.2	0.3	0.5	0.7	2.1	3.1	3.0	2.8	2.7	2.4	1.4
S	2.3	2.5	2.4	2.5	2.4	2.2	2.2	2.2	0.7	-0.1	-0.4	-0.4	-0.4	-0.5	-0.2	0.1	0.3	0.3	1.5	2.5	2.6	2.2	2.1	2.2	1.1
O	1.1	0.9	1.1	1.1	1.1	1.1	1.2	1.4	1.0	0.3	-0.1	-0.5	-0.5	-0.7	-0.5	-0.3	0.6	0.4	0.2	0.9	1.3	1.3	1.2	1.0	0.6
N	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	1.2	1.7	0.6	-0.1	-0.2	-0.5	-0.3	-0.3	0.0	0.2	0.5	0.4	0.9	0.9	1.0	1.1	0.9	0.6	0.6
D	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.8	1.0	0.8	0.3	-0.2	-0.4	-0.5	-0.4	-0.5	0.0	0.1	0.6	0.6	0.8	0.8	0.8	0.9	0.5	0.5
Moy	1.3	1.3	1.3	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.0	0.6	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.4	0.5	0.4	0.8	1.5	1.6	1.5	1.4	1.3	0.9

**Figure 4.** Intensités moyennes mensuelles (lignes) et horaires (colonnes) de l'îlot de chaleur urbain (en °C) à Sinop en 2020 : heures UTC, soit 4 heures de plus que l'heure locale en 2020.

Les villes de Sorriso et Alta Floresta montrent des ICU également bien marqués la nuit pendant la saison sèche. Leur valeur est en moyenne légèrement inférieure à celle de Sinop mais, alors que leur taille est intermédiaire entre Sinop et Vera, elle est bien supérieure à celle de Vera. Il semble donc qu'un effet de seuil apparaisse entre ces villes moyennes et la plus petite. On pourrait aussi s'attendre à observer un ICU beaucoup moins marqué à Alta Floresta qu'à Sorriso, la première étant presque deux fois moins peuplée que la seconde. Pourtant, les valeurs du tableau 1 sont très proches pour les deux villes, la différence de taille ne se répercutant donc pas sur la fréquence et l'intensité de l'ICU. L'explication pourrait être liée à

l'environnement rural de référence : en effet, la ville d'Alta Floresta reste entourée d'une proportion importante de pâturages et de forêts, tandis qu'en saison sèche, les alentours de Sorriso sont surtout occupés par des sols nus : la moindre présence de végétation et donc d'évapotranspiration et de dissipation de chaleur latente dans la campagne autour de Sorriso limite la baisse de température nocturne et fait donc moins apparaître la ville comme chaude ; à Alta Floresta, la plus forte présence de végétation en campagne accentue au contraire le différentiel ville-campagne ajoutant un surcroît d'effet d'ICU. En d'autres termes, la caractérisation de l'intensité de l'ICU ne dépend pas uniquement de la taille de la ville mais aussi de son contexte et de son environnement rural qui tend à la faire ressortir de manière plus ou moins contrastée par rapport à la campagne.

## Conclusion

Les villes pionnières de l'Amazonie brésilienne participent donc également aux transformations climatiques locales : par l'extension de leurs surfaces urbanisées elles génèrent des situations d'îlot de chaleur urbain bien présentes la nuit pendant la saison sèche. Si cet ICU est presque inexistant dans les toutes petites villes comme à Vera, il devient significatif pour des villes de plus de 50.000 habitants et davantage *a fortiori* pour des villes plus grandes comme Sinop. La comparaison entre Sorriso et Alta Floresta montre que l'intensité de cet ICU ne dépend pas uniquement de la taille de la ville mais aussi de l'environnement rural et de la végétation préservée aux alentours.

**Remerciements** : Cette étude a été réalisée dans le cadre des programmes CAPES/COFECUB Sh 941/19, CiCIAMEn (Cities, Climate And vegetation: Modeling and Environmental public policies), ODYSSEA (UE-RISE, n°691053) et le soutien de Rennes Métropole (Aide à l'Installation Scientifique de Damien Arvor). Les auteurs remercient l'ensemble des institutions et personnes (trop nombreuses pour être citées ici) qui ont participé aux campagnes de mesures.

## Bibliographie

- Amorim M., Dubreuil V., 2017 : Intensity of Urban Heat Islands in Tropical and Temperate Climates. *Climate*, **91**, 1-22.
- Araujo, L. F., 2021 : *Ilhas de calor em Sinop-MT: análise das características térmicas em conjunto com os aspectos socioeconômicos e ambientais*. Dissertação (Mestrado em Geografia) - UNESP, Presidente Prudente, 167 pages.
- Becker B., 1995 : Undoing myths: the Amazon – an urbanized forest. In: CLÜSENERGODT M., SACHS I., (orgs.) *Brazilian perspectives on sustainable development for the Amazon region*. Paris: UNESCO, v. 15, 53-89.
- Clairay M., Dubreuil V., 2002 : Etude de l'évolution diachronique de la Gleba Celeste (Mato Grosso) a partir d'images Landsat. *Espaço e Geografia*, **5(1)**, 119-138.
- De Oliveira J. V., Cohen J. C. P., Pimentel M., Tourinho H. L. Z., Lôbo M. A., Sodré G., Abdala A., 2020 : Urban climate and environmental perception about climate change in Belém, Pará, Brazil. *Urban Climate*, **31**, 100579.
- Dubreuil V., Nedelec V., Bariou R., Maitelli G. T., 2003 : Estudo da urbanização e suas consequências sobre as temperaturas noturnas em Sinop/Mato Geosso. *Revista Mato-grossense de Geografia*, **07/08**, 25-39.
- Dubreuil V., Delahaye C., Le Strat A., 2010 : Changements d'occupation du sol et leurs impacts climatiques au Mato Grosso, Brésil. *Confins*, **10**, 1-20.
- Dubreuil V., Fante K. P., Planchon O., Sant'Anna Neto J. L., 2018 : Os tipos de climas anuais no Brasil: uma aplicação da classificação de Köppen de 1961 a 2015. *Confins*, **37**, 1-20.
- França M. S., Gomes E. S., 2014 : Indícios de ilha de calor urbana em Sorriso/MT. *Revista Monografias Ambientais – REMOA*. **14(3)**, 3366-3376.
- IBGE, 2021 : Estimativos de População 2020. <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/>
- Maitelli G.T., Wright I.R., 1996 : The climate of a riverside city in the Amazon Basin: urban-rural differences in temperature and humidity. *Amazonia, Deforestation and Climate*, Vol. 1. John Wiley & Sons: Londres; 193– 206.
- MapBiomass, 2021 : Project / plataforma MapBiomass—Collection 4.1, Dados 2020. <https://plataforma.mapbiomas.org>
- Nobre, A. et al, 2021 : *Amazon Assessment Report 2021*. Science Panel for the Amazon. United Nations Sustainable Development Solutions Network, New York, USA. 469Pages.
- Oke T. R., Mills G., Christen A., Voogt J. A., 2017 : *Urban Climates*. Cambridge University Press. 526 pages.