

# Modélisation statistique multicritère de l'îlot de chaleur urbain (ICU) en contexte caniculaire

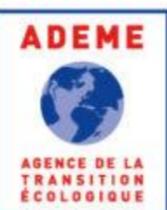
**Nassima Hassani, François Didier, Gilles Drogue**

[nassima.hassani@univ-lorraine.fr](mailto:nassima.hassani@univ-lorraine.fr)

Unité de recherche LOTERR UR 7304, Université de Lorraine, Metz, France



Financé par

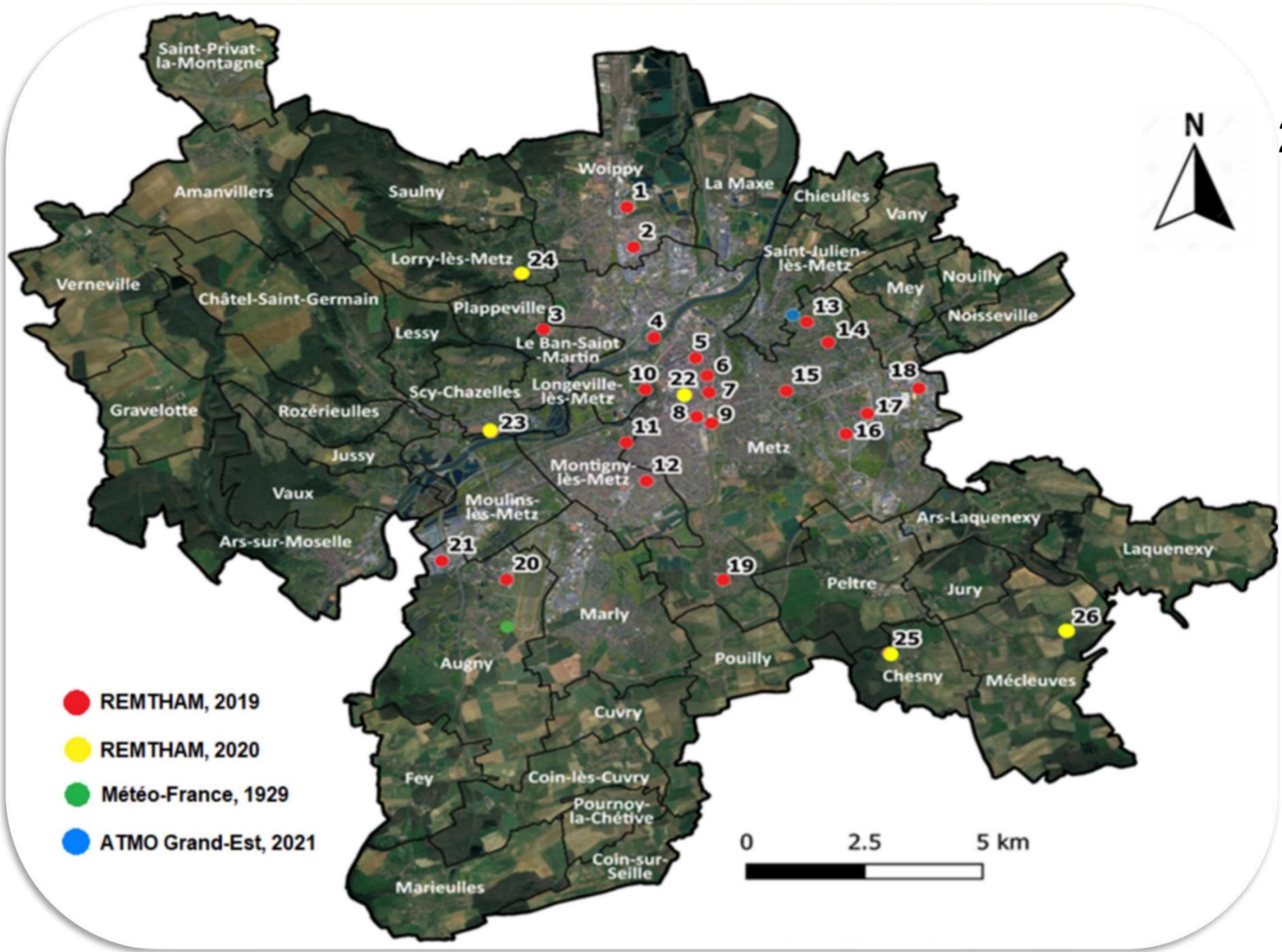


## Objectifs de l'étude

---

- Construction de modèles statistiques pour spatialiser l'ICU (état de l'art = 80% de variance expliquée avec 3-4 co-variables) en période de très fortes chaleurs dans le périmètre de l'Eurométropole de Metz (306 km<sup>2</sup>).
- Tester la stabilité et les performances des modèles statistiques .
- Produire les premières cartes de diagnostic (acteurs du territoire) pour évaluer l'intensité de l'ICU en tout point du territoire au cours de trois épisodes de chaleur historiques (juin et juillet 2019; août 2020).

# Réseau REMTHAM



23 points de mesure\* en 2019 et  
 27 en 2020  $\approx$  1 sonde pour 12 km<sup>2</sup>



\*sondes HOBO sous abri Davis à 3 m

# Méthode de construction des modèles de régression

## 1. Calcul de l'indice ICU (variable à expliquer)

$$\Delta T_{u-rmax,i} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \Delta_{max} (T^{\circ}_{air\ sonde,i} - T^{\circ}_{Base-vie})$$

## 2. Constitution de la base de données des descripteurs (variables explicatives)

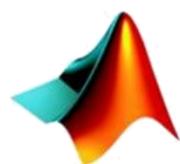
- **Descripteurs relatifs à la couverture du sol** (surfaces bâties, végétation, surfaces imperméables, NDVI...) créés à partir de la BD TOPO v.3 (2019) de l'IGN et des images Landsat.

- **Descripteurs relatifs à la topographie** (altitude, exposition, encaissement...) générés à partir du MNT RGE Alti (5m) de l'IGN.

- **Descripteurs relatifs à la morphologie urbaine** (Sky View Factor)

créés à partir de la BD TOPO v.3 (2019) de l'IGN et des images Landsat.

## 3. Outils utilisés



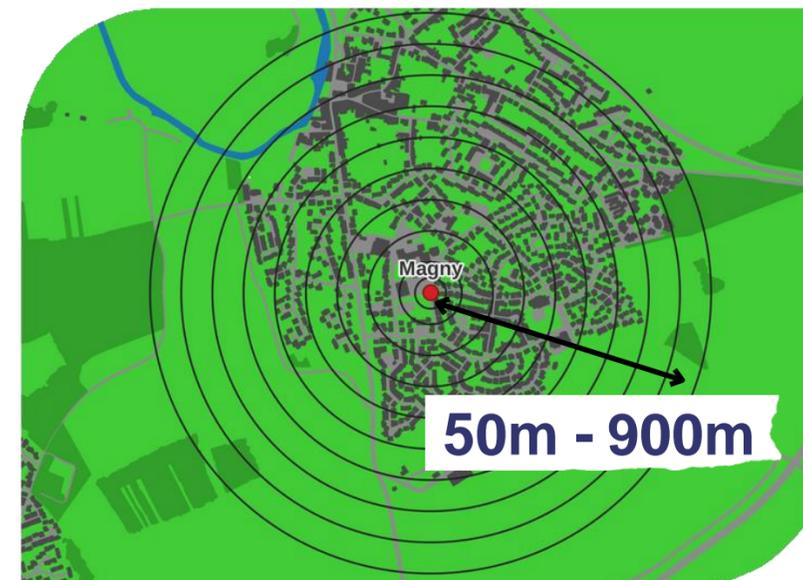
MATLAB



$\Delta T_{u-rmax,i}$  = la moyenne des écarts maximum horaires entre  $T^{\circ}_{air\ sonde,i}$  et  $T^{\circ}_{air\ Base-vie}$  (coucher et lever du soleil) pour n nuits consécutives ;

$T^{\circ}_{air\ sonde,i}$  =  $T^{\circ}$  mesurée par une sonde i du réseau REMTHAM ;

$T^{\circ}_{air\ Base-vie}$  =  $T^{\circ}$  mesurée par la sonde péri-urbaine de Base-vie (aérodrome de Metz Frescaty)



Rayon des zones tampons (m) autour des stations :

50, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900

Aires de représentativité des sondes de température

Amorim et al., 2015 ; Foissard et al., 2019

# Méthode de construction du modèle de régression



Calcul de la variable à expliquer (température, indice ICU)



Exécution du programme d'analyse multivariée



Sélection du meilleur modèle selon le critère BIC

Préparation des variables explicatives (dimensions des zones tampons 50m-900m)

- Indicateurs géographiques (altitude, exposition...)
- Indicateurs d'occupation du sol (fraction de surfaces bâties, fraction de végétation, fraction de surfaces imperméables...)
- Indicateurs mophométrique (SVF)

Sélection des variables explicatives indépendantes

$$\Delta Tu-r = -6.43 + 0.14 * Bat\_900 + 0.08 * Eau\_800 + 0.03 * Altitude$$

Vérification et validation

- Coefficients R<sup>2</sup> et R<sup>2</sup> aj
- Résidus (test de normalité)
- P-value des variables explicatives (p < 5%)





## Test de stabilité et de performance (1/2)

---

**Cette méthodologie d'interpolation spatiale a été testée selon deux modalités :**

**1. en valorisant l'ensemble des points de mesure (1 modèle / épisode)**

2. Par fractionnement de données (protocole de calage/validation ou *split-sample test* en anglais -> plusieurs modèles / épisode)

**...et sur trois épisodes météo marqués par des records de chaleur\***

\*le nouveau record de température enregistré par la station météo de Metz-Frescaty date du 25 juillet...2019 avec 39.7°C ! Cette valeur détrône le précédent record datant d'août 2003. L'ouverture de la station de Metz-Frescaty remonte à 1929 (bientôt le centenaire)...L'été 2019 est bel et bien historique !

# Régressions obtenues en valorisant toutes les données disponibles

Episode	Modèles		
	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> ajusté	RMSE (°C)
25-30 juin 2019 (5 nuits)	0,82	0,80	0,42
	$\Delta T_{u-r} = -1,60 + 0,08 * \text{Bat}_{900} + 0,80 * \log(\text{Sim}_{50})$		
	Equation du modèle		
21-26 juillet 2019 (5 nuits)	0,85	0,82	0,54
	$\Delta T_{u-r} = -13,11 + 0,14 * \text{Bat}_{900} + 0,81 * \text{Altitude} + 1,16 * \log(\text{Sim}_{50})$		
	Equation du modèle		
7-13 août 2020 (è nuits)	0,89	0,88	0,45
	$\Delta T_{u-r} = -6.43 + 0.14 * \text{Bat}_{900} + 0.08 * \text{Eau}_{800} + 0.03 * \text{Altitude}$		
	Equation du modèle		

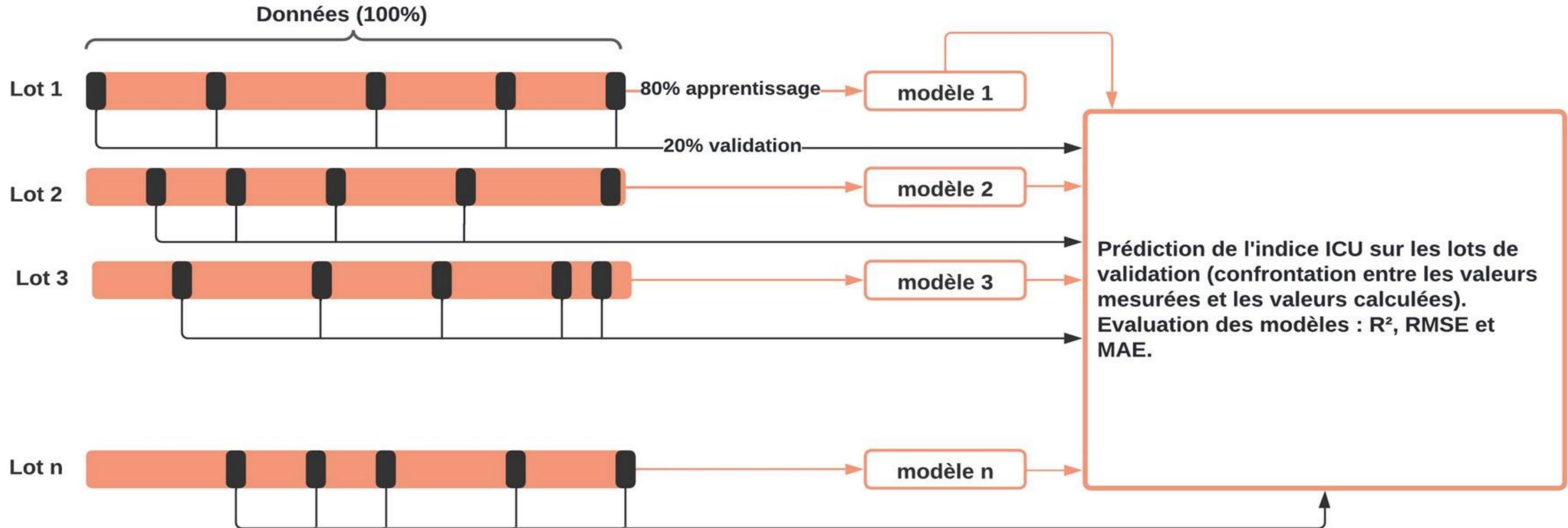
**Cette méthodologie d'interpolation spatiale a été testée selon deux modalités :**

1. en valorisant l'ensemble des points de mesure (1 modèle / épisode)

2. Par fractionnement de données (protocole de calage/validation ou *split-sample test* en anglais -> plusieurs modèles / épisode)

**...et sur trois épisodes météo marqués par des records de chaleur\***

\*le nouveau record de température enregistré par la station météo de Metz-Frescaty date du 25 juillet...2019 avec 39.7°C ! Cette valeur détrône le précédent record datant d'août 2003. L'ouverture de la station de Metz-Frescaty remonte à 1929 (bientôt le centenaire)...L'été 2019 et bel et bien historique !



**Les modèles de régression sont évalués en calculant trois métriques**

:

$R^2$  (variance expliquée)

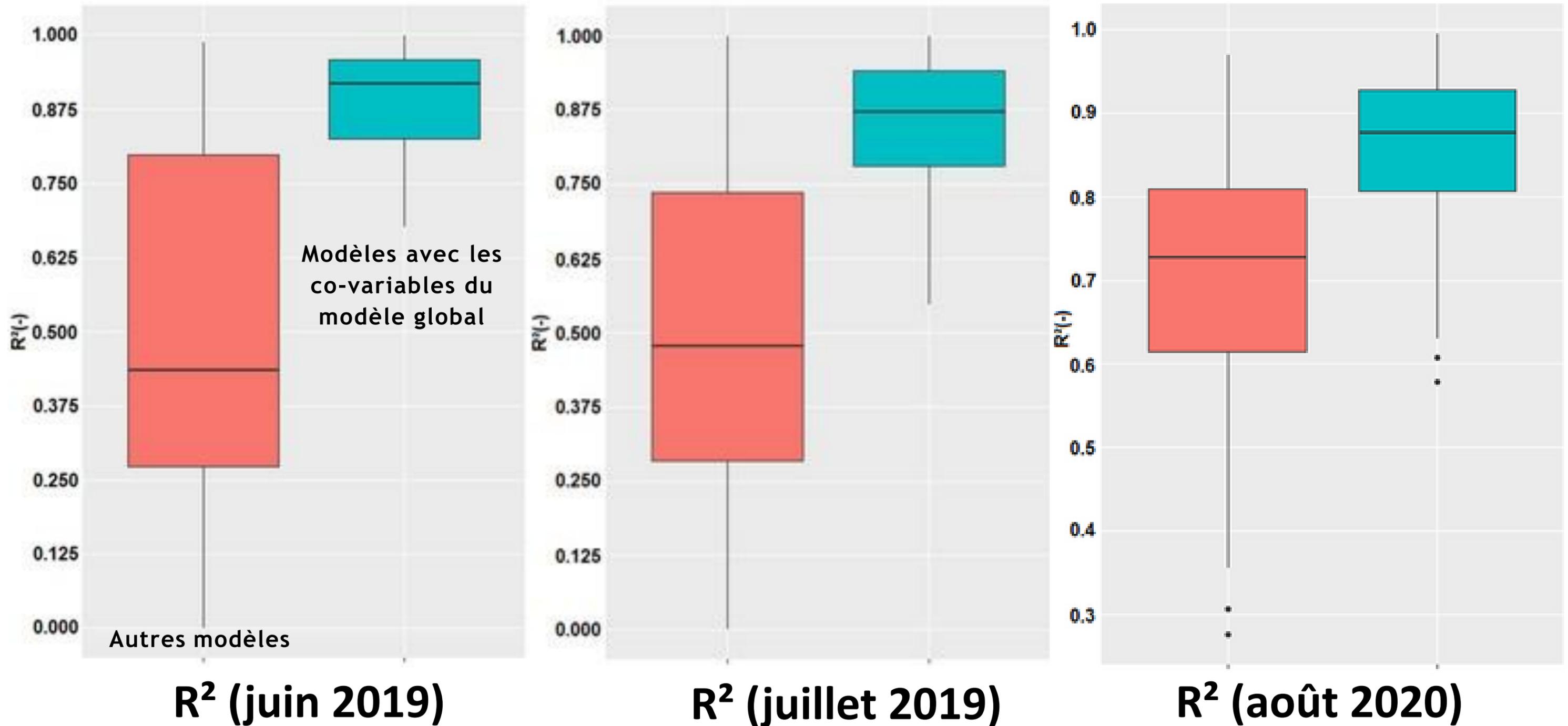
RMSE (erreur quadratique)

MAE (biais de l'erreur)

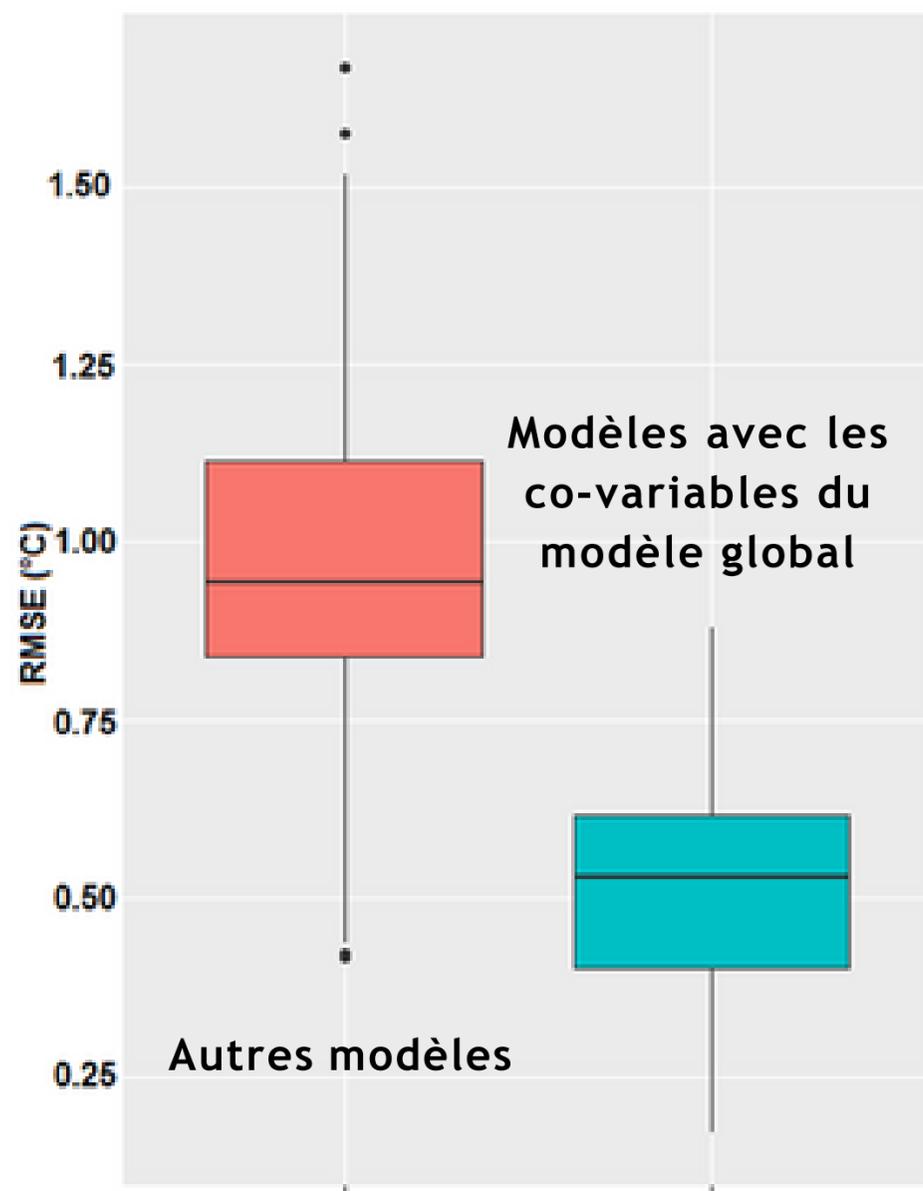
## Fréquence des co-variables dans les modèles de régression ajustés sur les sous-ensembles d'apprentissage

Co-variables	Fréquence (%)		
	juin 2019	juillet 2019	août 2020
Bat_900	58	48	88,5
Sim_50	53	55	13
Altitude	/	56	87
Eau_900	/	/	2,5

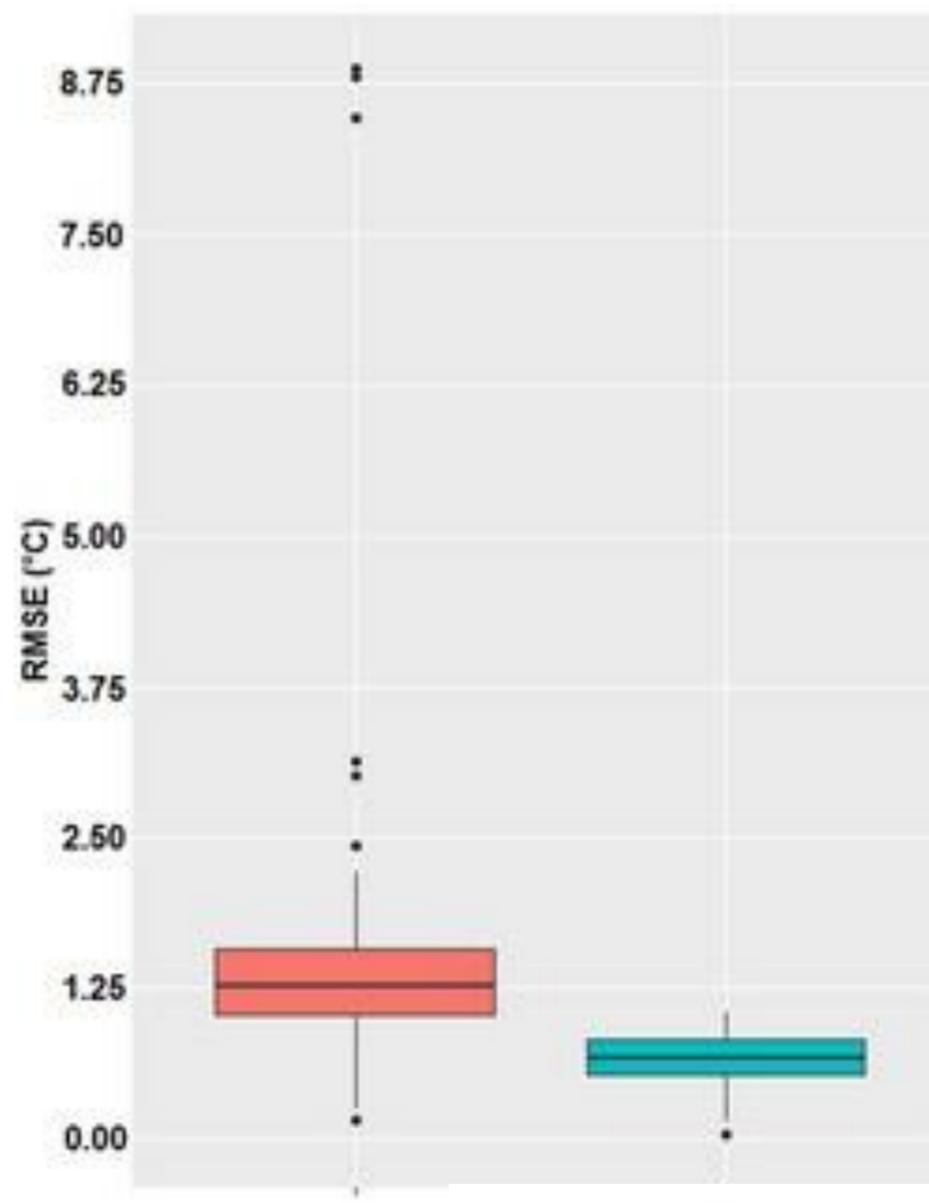
# Résultats du test de stabilité et de performance



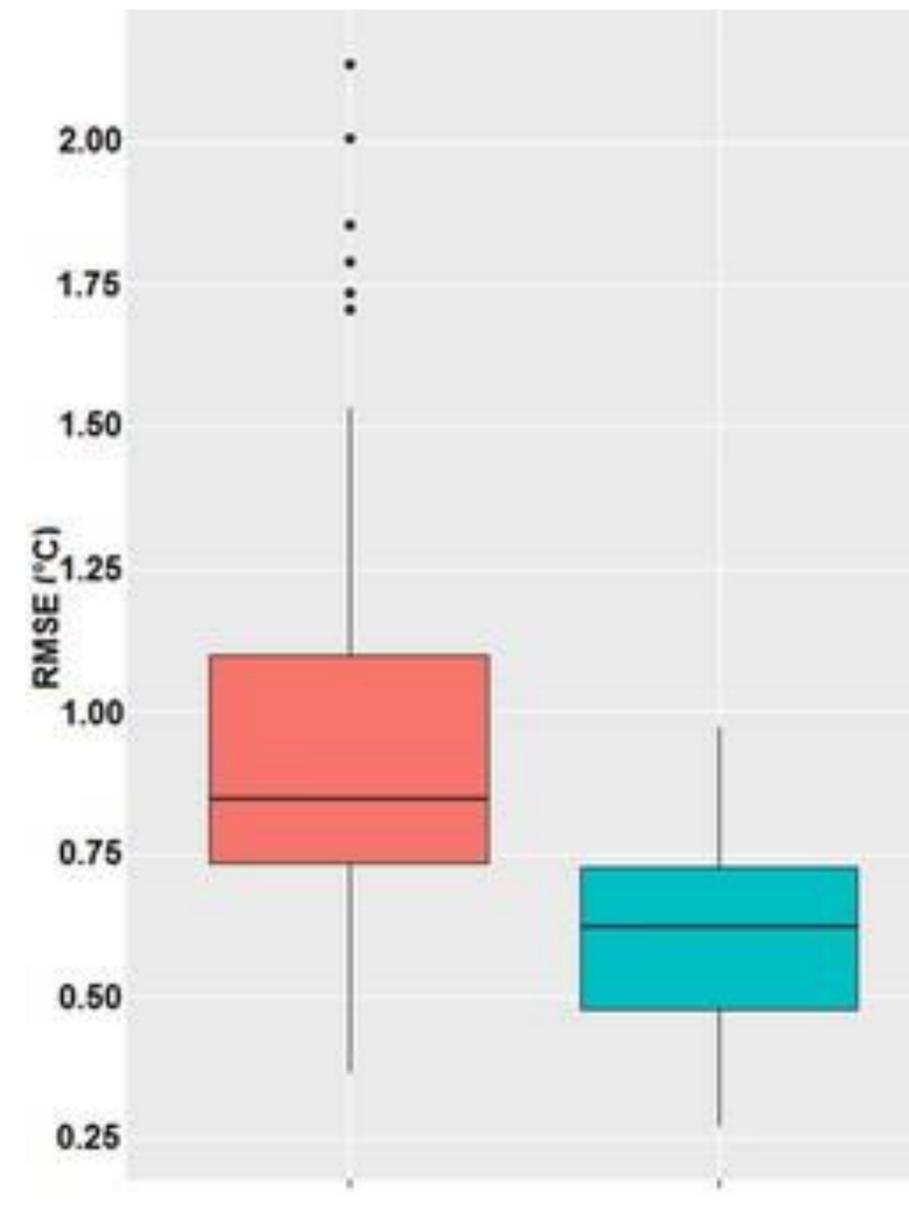
# Résultats du test de stabilité et de performance



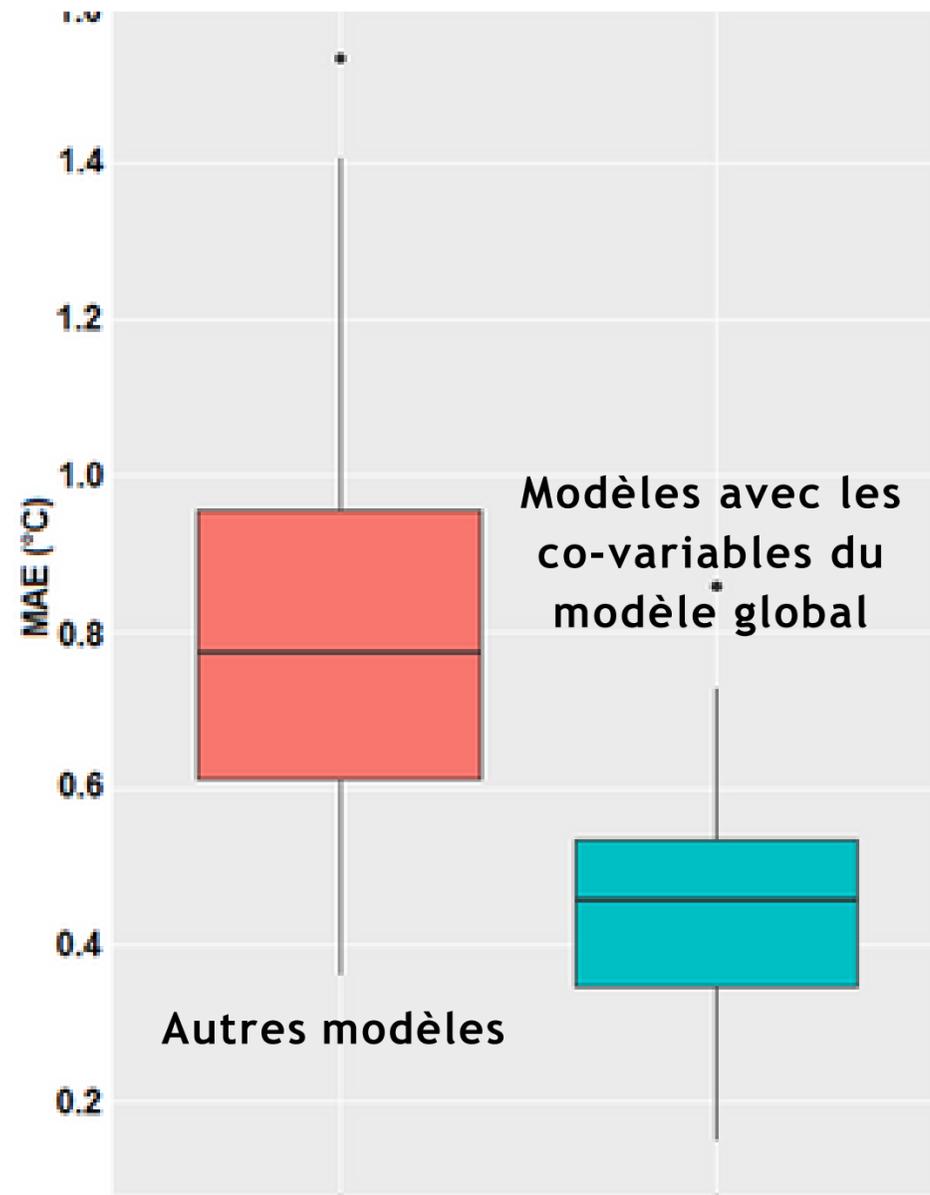
RMSE (juin 2019)



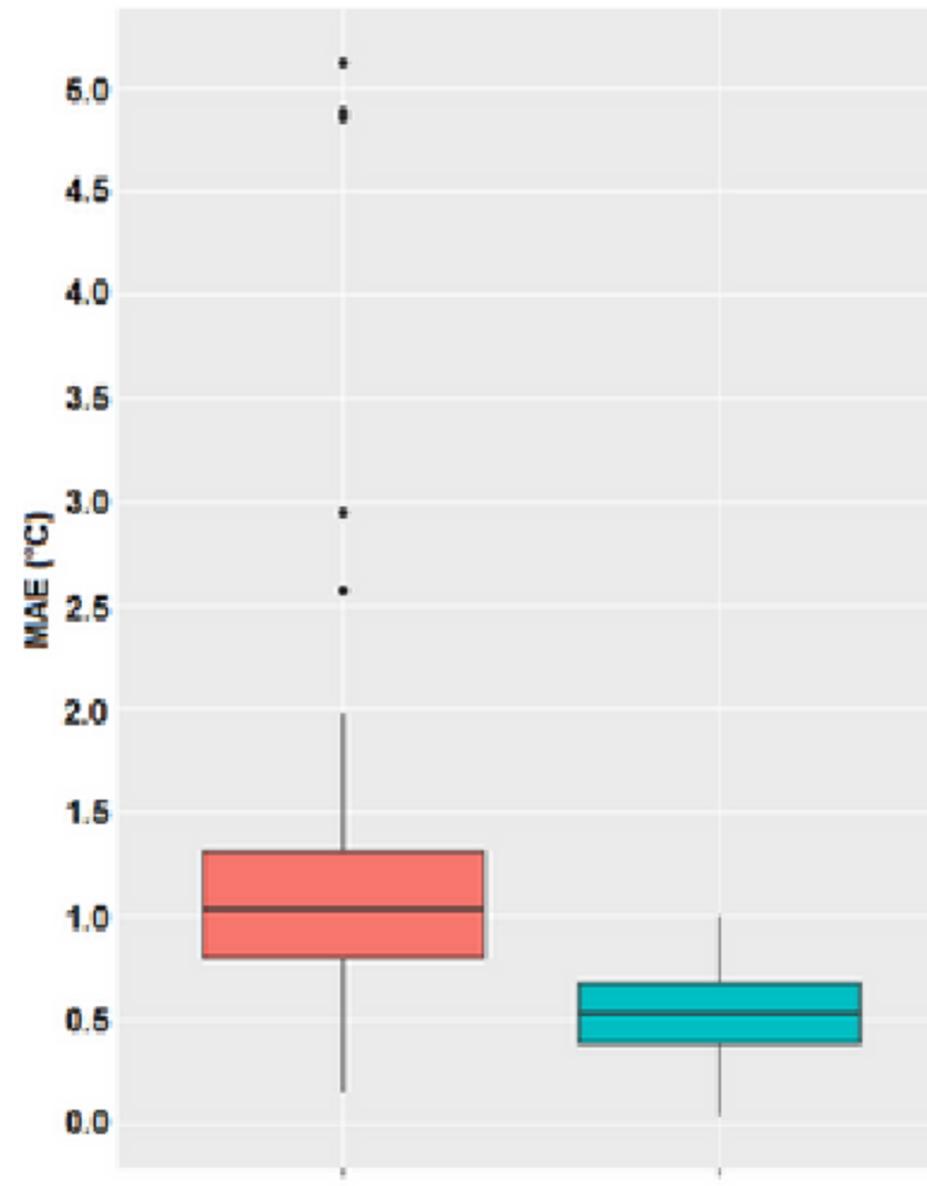
RMSE (juillet 2019)



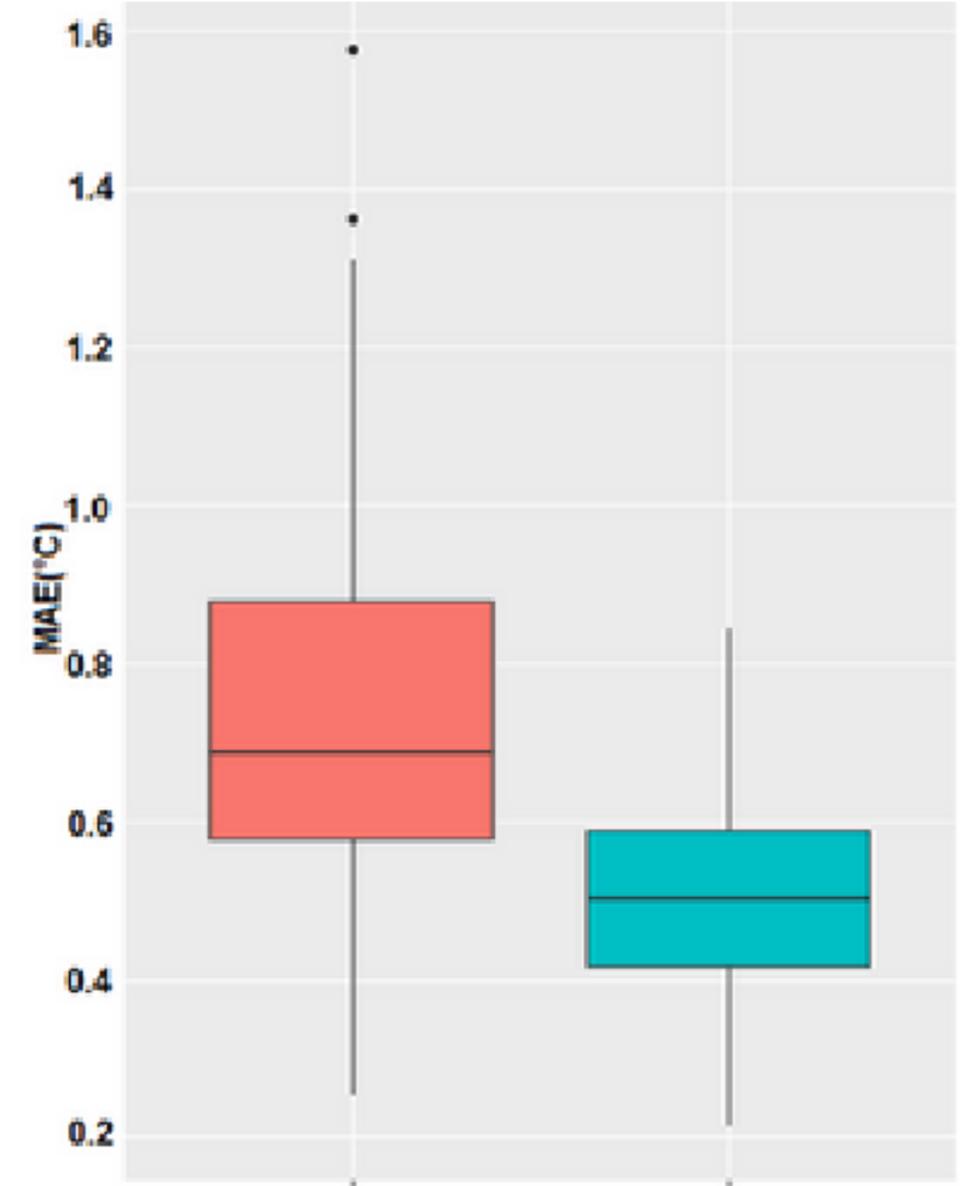
RMSE (août 2020)



**MAE (juin 2019)**



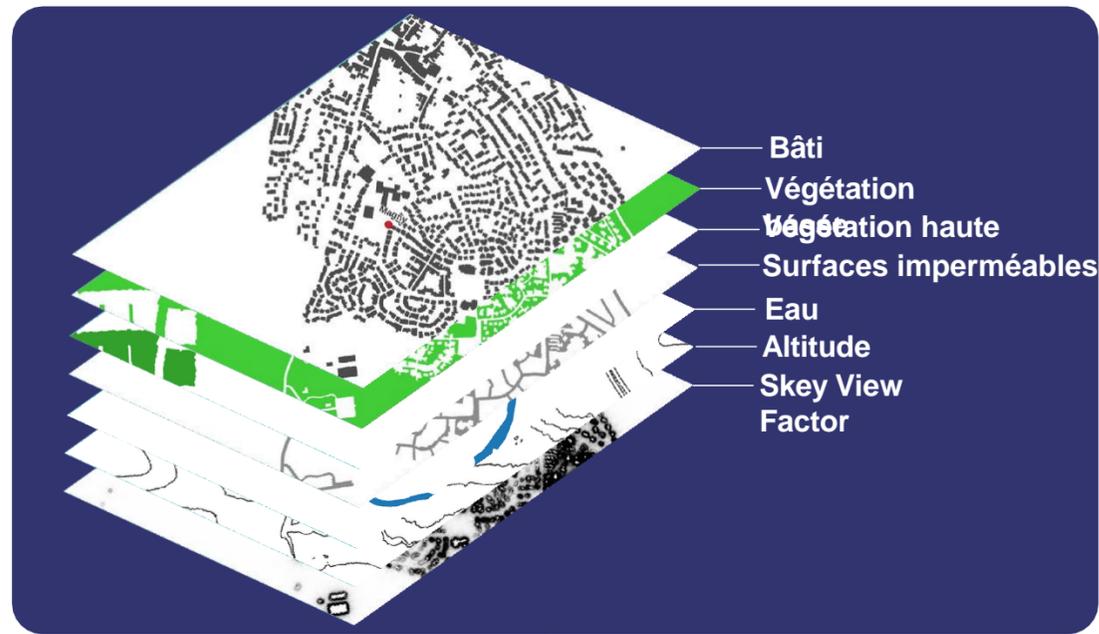
**MAE (juillet 2019)**



**MAE (août 2020)**

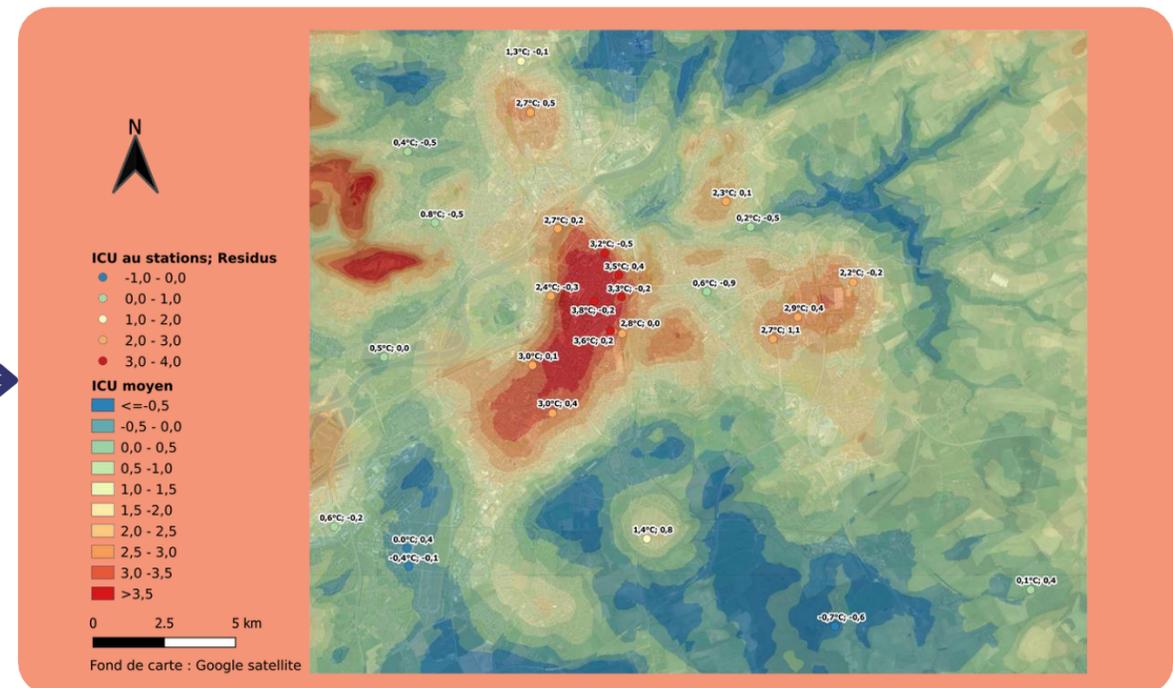
# Cartes de l'ICU

Aires de  
représentativité  
des stations  
météorologiques



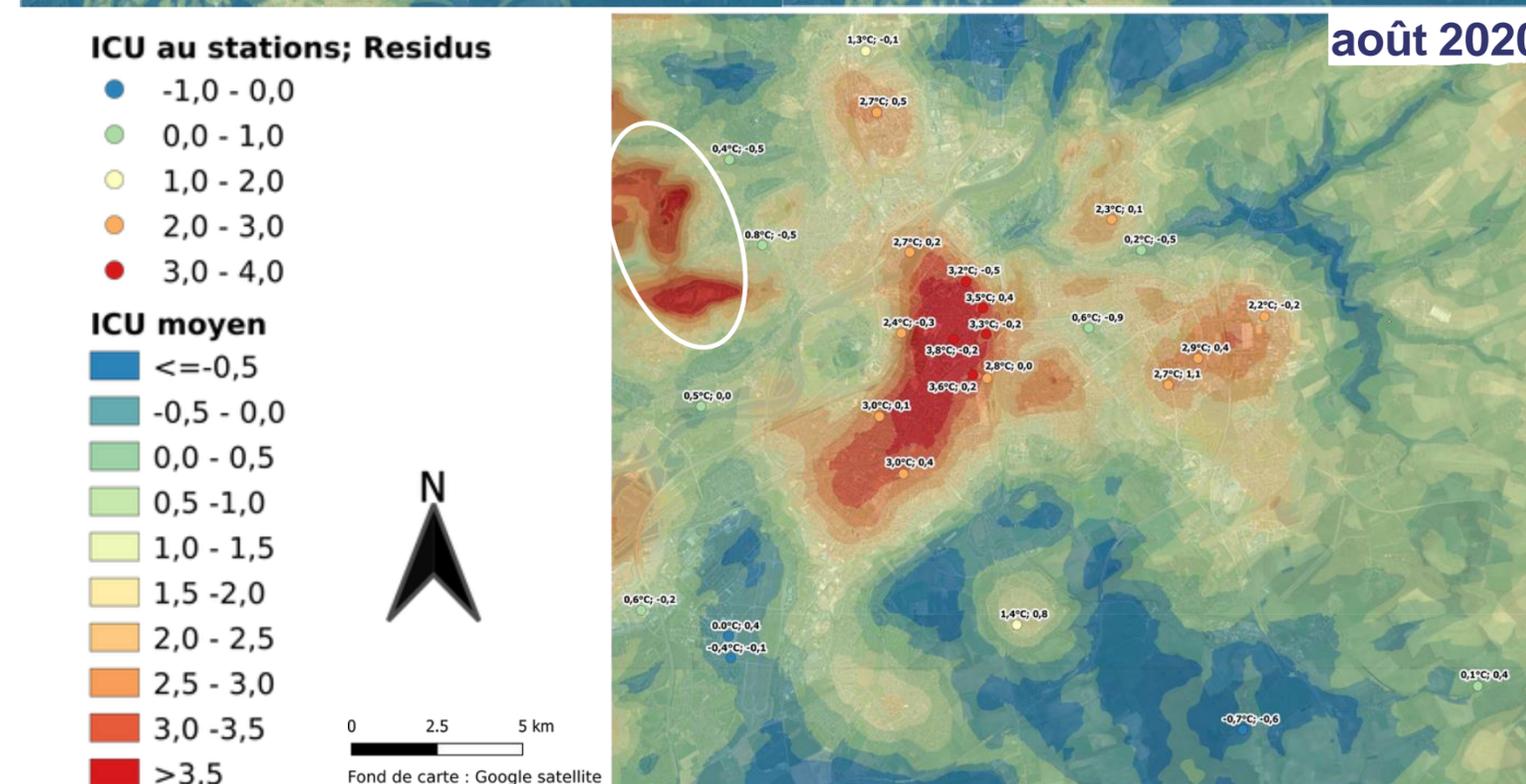
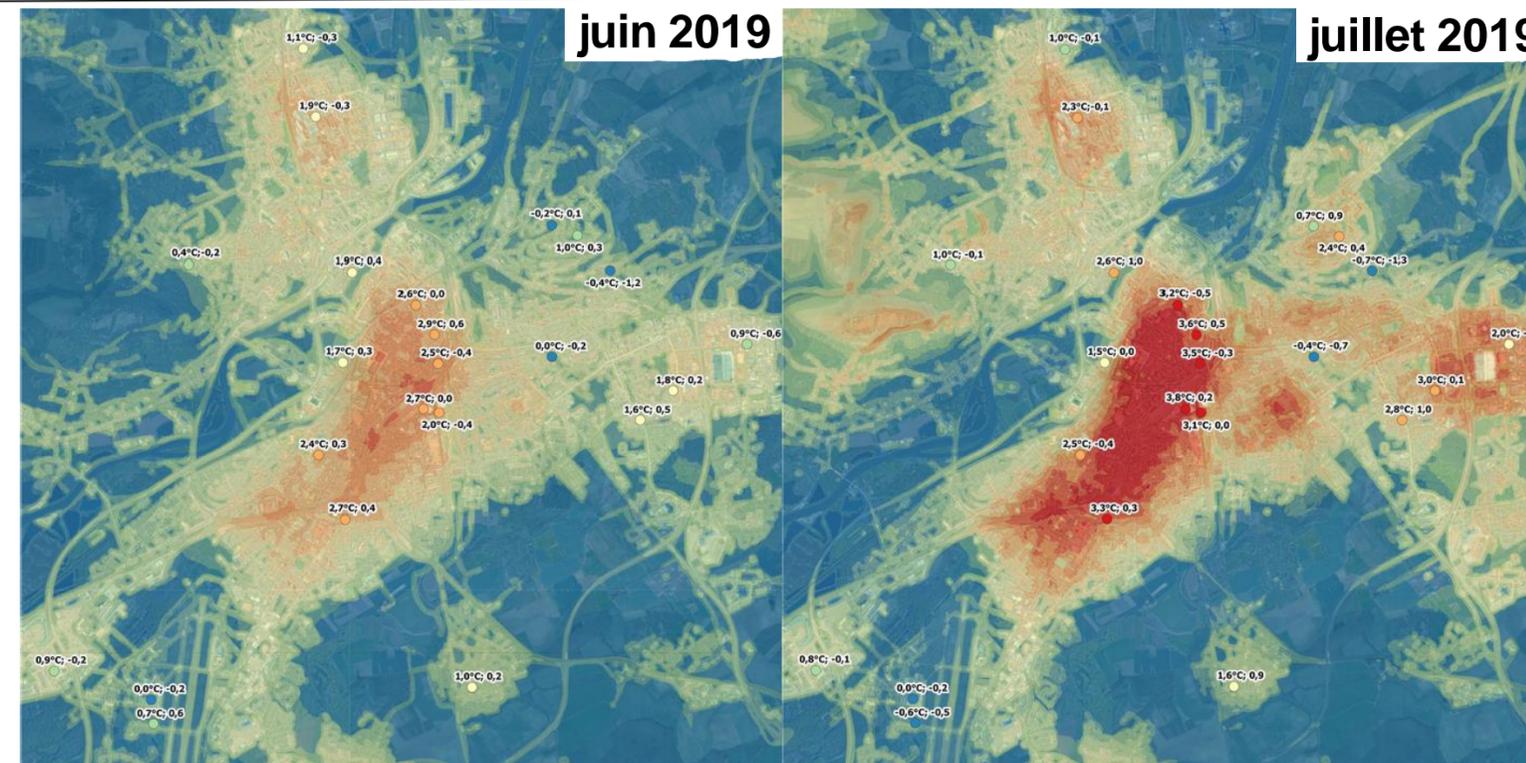
Différents  
descripteurs

$$\Delta T_{u-r} = -6.43 + 0.14 * \text{Bat}_{900} + 0.08 * \text{Eau}_{800} + 0.03 * \text{Altitude}$$



# Cartes de l'ICU

- Ces cartes fournissent les principales tendances de l'indice ICU : **l'indice augmente au cœur de la ville, au niveau des zones d'activités et sur les coteaux de la Moselle**, ce qui se traduit par l'apparition de petits îlots de chaleur.
- Les cartes produites montrent des **structures spatiales récurrentes** et quelques différences d'un épisode caniculaire à l'autre.
- De **petites poches de fraîcheur** se dessinent dans les **parcs et points d'eau**.
- En 2019, le modèle a du mal à détecter les **axes de fraîcheur provoqués par la topographie en creux** (voir 2020) sans doute en raison d'une sous-représentation de ce phénomène dans les mesures.





# Synthèse et perspectives

---

## Synthèse

- **Spatialisation de l'ICU plutôt satisfaisante** (état de l'art = 80% de la variabilité expliquée).
- **Quantification de l'impact des facteurs d'occupation du sol sur l'ICU** (densité du bâti à l'échelle locale et présence de surfaces imperméables à l'échelle ultra-locale).
- **Forte variabilité spatiale de l'ICU à l'échelle urbain/périurbain.**
- **Les cartes produites pourront servir de support pour les futurs projets d'aménagement et être retravaillées pour devenir des cartes grand public/acteurs.**

## Limites et perspectives

- **Le nombre insuffisant de points de mesure ne permet pas d'interpoler l'indice ICU avec précision sur la totalité du territoire de l'Eurométropole, mais simplement d'esquisser les grands traits du phénomène.**
- **D'autres données** (images ASTER, campagnes mobiles) **doivent être mobilisée afin de compléter et d'affiner nos résultats.**