



HAL
open science

Evolution spatio-temporelle de températures de surface diurnes dans l'aire métropolitaine de Metz à partir de données Landsat

Nassima Hassani, Sébastien Lebaut, Gilles Drogue, Saïd Sghir

► To cite this version:

Nassima Hassani, Sébastien Lebaut, Gilles Drogue, Saïd Sghir. Evolution spatio-temporelle de températures de surface diurnes dans l'aire métropolitaine de Metz à partir de données Landsat. 33ème Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Jul 2020, Rennes, France. hal-02934907

HAL Id: hal-02934907

<https://hal.univ-lorraine.fr/hal-02934907>

Submitted on 9 Sep 2020

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.

EVOLUTION SPATIO-TEMPORELLE DE TEMPERATURES DE SURFACE DIURNE DANS L'AIRE MÉTROPOLITAINE DE METZ A PARTIR DE DONNEES LANDSAT

HASSANI N.¹, LEBAUT S.¹, DROGUE G.¹, SGHIR S.²

1 Centre de Recherche en Géographie (LOTERR EA 7304), Université de Lorraine, Nancy, France (nassima.hassani@univ-lorraine.fr)

2 Laboratoire de recherche en développement territorial, énergétique et environnemental (RDT2E), Université Sultan Moulay Slimane, Béni Mellal, Maroc

Résumé : *L'étude diachronique des températures de surface (LST) diurne d'été au niveau de l'aire métropolitaine de Metz est réalisée à l'aide de l'imagerie satellitaire Landsat sur la période 1985-2019. La méthode suivie a recours aux températures de surface calculées par l'algorithme Mono-Window développé par Qin et al. (2001). Les thermographies obtenues sont alors analysées pour identifier les zones de chaleur modérée, de chaleur intense ou de fraîcheur. Ensuite, les indices NDVI et NDBI, caractéristiques de l'évolution de l'occupation du sol sont mis en relation avec les LST. L'objectif est alors d'explorer les impacts des différents types d'occupation du sol sur leur dynamique en calculant l'indice écologique UTFVI. La comparaison des thermographies multitudes et l'analyse de corrélation entre les différents indices indiquent que les zones à fort dégagement de chaleur ont connu une nette extension spatiale et une intensification entre 1985 et 2019. Cela pourrait a priori s'expliquer par le développement de plusieurs zones d'activités périphériques durant la période étudiée.*

Mots clés : *température de surface ; indices spectraux ; Landsat ; Metz Métropole*

Summary: *Spatio-temporal evolution of diurnal surface temperatures in the Metz metropolitan area using Landsat data. The diachronic study of diurnal Land Surface temperatures (LST) in the metropolitan area of Metz is achieved using Landsat satellite imagery for a period ranging from 1985 to 2019. The method followed uses the Land Surface temperatures calculated by the Mono-Window (MW) algorithm developed by Qin et al. (2001). The thermographs obtained are then analyzed to identify areas of moderate and intense heating as well as urban cool areas. Subsequently, the NDVI and NDBI indices, which are characteristic of land use change, are connected to the LST. The objective is then to explore the impacts of different types of land use on LST by calculating the UTFVI ecological index. The comparison of the multitude thermographs and the correlation analysis between the various indices indicate that strong heating areas in the urban area of Metz experienced a clear spatial extension and intensification between 1985 and 2019. This could be explained by the development of several outlying industrial/commercial areas during the period under study.*

Key words: *Land Surface Temperature (LST); spectral indices; Landsat; Metz Metropole*

Introduction

Cette étude s'intéresse à l'analyse des températures de surface diurnes dans la métropole de Metz à l'aide de données issues de la télédétection spatiale. Cette technique offre la possibilité de caractériser et de surveiller l'évolution du climat local des villes, en calculant la température de surface ou *Land Surface Temperature* (LST) par conversion du rayonnement infrarouge tellurique. L'objectif est ainsi d'étudier de manière diachronique cette variable climatique au cours de l'été météorologique entre 1985 et 2019 afin de mettre en lumière son évolution spatio-temporelle et d'identifier les facteurs qui l'influencent.

1. Données et méthodes

1.1. Zone d'étude

La métropole de Metz est située en région Grand-Est, dans le quart nord-est de la France (49° 07' N, 6° 40' E). Elle compte environ 220 000 habitants (Insee, 2016) répartis dans 44 communes, et s'étend sur 306 Km². Elle est traversée par deux cours d'eau : la Moselle et la Seille.

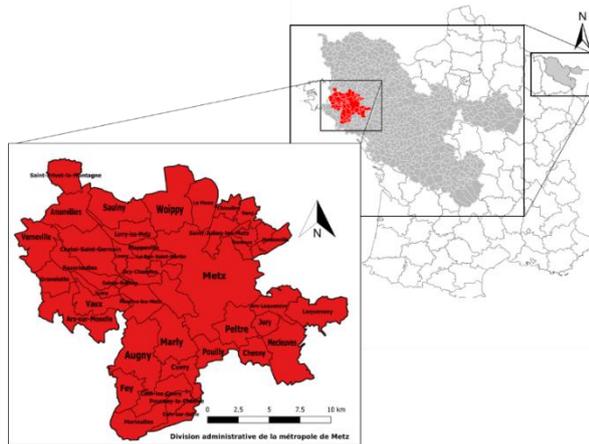


Figure 1. Carte de situation de la zone étudiée (France métropolitaine, Moselle, Metz-Métropole).

Selon la classification de Köppen-Geiger (Peel *et al.*, 2007), l'aire urbaine de Metz connaît un climat dit tempéré chaud, type Dfb, avec des hivers relativement froids et des étés relativement chauds, avec une température annuelle moyenne de 9.9°C et un total pluviométrique annuel moyen de l'ordre de 750 mm. Le mois de juillet est le plus chaud de l'année avec une moyenne de 19.4°C et un record de 39.7°C enregistré par Météo-France le 25 juillet 2019 (Météo-France).

1.2. Evolution de l'occupation du sol sur la période 1985-2019

Les données représentées dans le tableau 1 ont été obtenues par une classification supervisée des images *Landsat TM* et *OLI* dans le but de cartographier l'évolution de l'occupation des sols de la métropole de Metz en 1985, 2003 et 2019. Les cartes d'occupation du sol produites ont alors été validées après comparaison avec les cartes obtenues par la classification *Corine Land Cover* et les images aériennes de *Google satellite*. Ainsi, on relève un doublement des surfaces urbanisées corrélativement à une réduction des surfaces agricoles et de celles des sols nus.

Tableau 1. Part relative des différentes classes d'occupation du sol de Metz-Métropole en 1985, 2003 et 2019

| Année | 1985 | 2003 | 2019 |
|------------------------------|------|------|------|
| Classes d'occupation du sols | % | % | % |
| Eau | 2,2 | 2,2 | 2,2 |
| Végétation dense | 25,1 | 13,4 | 33,8 |
| Champs agricoles | 56,0 | 66,3 | 45,2 |
| Sol nu | 7,6 | 0,3 | 0,1 |
| Urbain | 9,1 | 17,9 | 18,7 |
| Total | 100 | 100 | 100 |

1.3. Données utilisées

1.3.1. Les données Landsat

Une série d'images multi-dates fournies par les satellites *Landsat TM 5* et *OLI/TIRS 8* de la NASA a été utilisée pour estimer l'émissivité, la LST diurne et les indices spectraux (NDVI, NDBI et UTFVI). Ces images ont été téléchargées gratuitement sur le site de l'USGS (*United States Geological Survey*) : <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Le choix d'utiliser ces données satellitaires est motivé par la relative précision des images (résolution spatiale de 30m dans le visible et le PIR, 120m pour le thermique *Landsat TM* et 100m pour le thermique *Landsat OLI*), et par les passages réguliers des satellites *Landsat* au-dessus du terrain d'étude à une fréquence de trois passages par mois à 10h UTC pour *Landsat 5* et 10h30 UTC pour *Landsat 8* et ce, contrairement à d'autres satellites, qui soit ne couvrent que partiellement le terrain d'étude (*ASTER*), soit présentent une résolution d'image moins précise (*NOAA-AVHRR*, *MODIS*, *Météosat*, etc). Toutefois, seules les images avec une couverture nuageuse inférieure à 10 % ont été exploitées dans le cadre de cette étude, soit celles correspondant aux étés 1985, 2003, 2006, 2010, 2015, 2018 et 2019.

1.3.2. Les données météorologiques

L'algorithme permettant d'estimer la LST requiert la connaissance de deux paramètres météorologiques, à savoir la température de l'air et l'humidité relative (Tab.2) au moment où les images ont été prises ce qui permet de les comparer entre elles.

Tableau 2. Moyennes journalières des variables météorologiques observées lors des journées d'étude par les stations d'ATMO Grand-Est, de Météo-France et du réseau REMTHAM

| Jour | Température de l'air (C°) | HR (%) | Vent moyen (km/h) | Direction du vent | Pression (hPa) |
|------------|---------------------------|--------|-------------------|-------------------|----------------|
| 09/08/1985 | 18.0 | 83 | 2 | 135 | 1036.0 |
| 11/08/2003 | 25.5 | 50 | 11 | 0 | 1019.1 |
| 18/07/2006 | 20.4 | 60 | 7 | 45 | 1021.3 |
| 07/08/2010 | 17.2 | 63 | 4 | 180 | 1020.1 |
| 04/07/2015 | 30.5 | 45 | 6 | 225 | 1018.9 |
| 26/06/2018 | 30.5 | 45 | 6 | 90 | 1023.6 |
| 29/06/2019 | 30.1 | 34 | 10 | 0 | 1018.2 |
| 23/08/2019 | 25.3 | 46 | 4 | 45 | 1024.9 |

1.4. Méthodologie

Celle-ci est décrite sur la figure 2. Le calcul de la LST s'est déroulé en deux phases. La première phase a consisté à répartir les images *Landsat* selon leur date d'acquisition en deux échantillons caractéristiques de situations caniculaires et non caniculaires, en s'appuyant sur l'historique établi par Météo-France. La seconde phase a consisté à caractériser d'une part, l'évolution des LST d'été à partir des sept dates disponibles et d'autre part, à identifier les pics d'intensité maximale et leur étendue spatiale en période caniculaire. La LST est calculée par l'algorithme *Mono-Window* (MW) développé par Qin *et al.* (2001) avec une marge d'erreur de 1 à 2°K (Sobrino *et al.*, 2004). Cet algorithme a pour avantage de n'utiliser qu'une seule bande thermique. En effet, bien que les données de Landsat OLI/TIRS 8 soient constituées de deux bandes thermiques (bandes 10 et 11), l'USGS recommande de ne pas utiliser la bande 11 car elle présente des erreurs dues à des anomalies de la lumière parasite (Renard *et al.*, 2019).

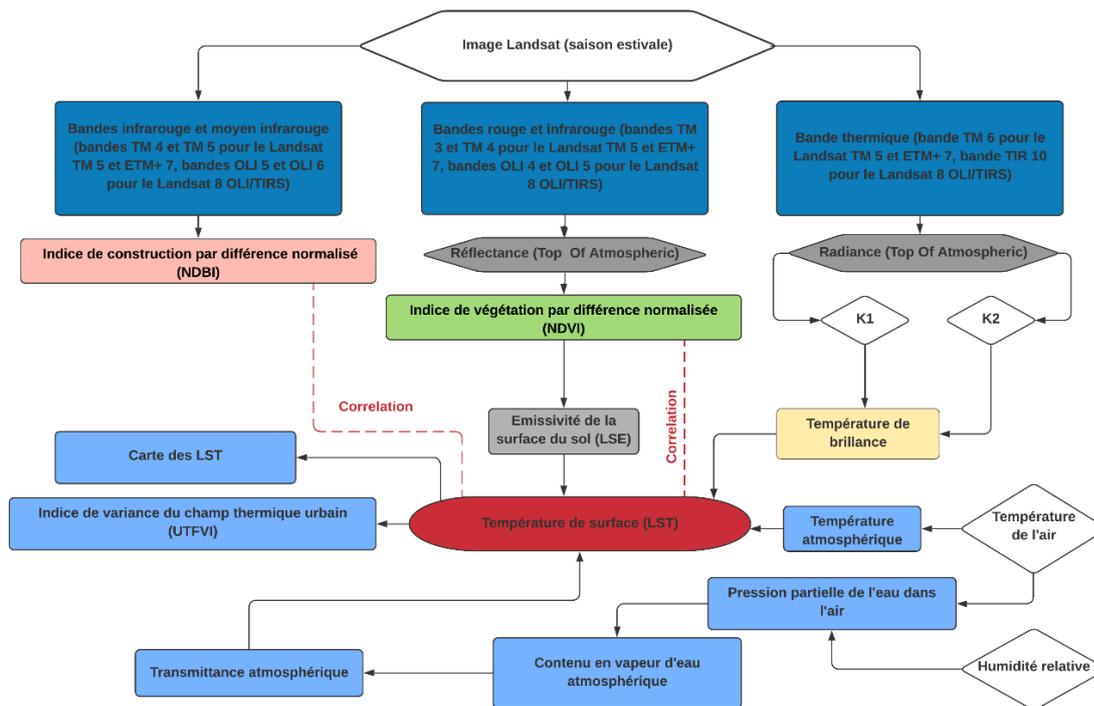


Figure 2. Chaîne de traitement décrivant la méthodologie de travail suivie pour l'extraction de la LST à partir des images Landsat

2. Résultats

2.1. Cartographie des LST en période de beau temps caniculaire

Les thermographies d'été (Fig.3) et le tableau 2 indiquent que pendant les périodes caniculaires de 2003 et 2006, les LST maximales dépassent le cadre strictement urbain et s'étendent jusqu'aux zones agricoles. En effet, des températures extrêmes sont relevées de manière identique aussi bien au centre-ville (milieu bâti dense) que dans les zones rurales dépourvues de végétation (sol nu). Cependant, pour les périodes caniculaires de 2015 et 2019, les LST élevées se concentrent dans toutes les zones urbaines denses et les zones industrielles (zones d'activités économiques ou ZAE) des communes de Metz, Woippy et Marly, ainsi qu'au niveau de l'aire de retournement des trains de Montigny-lès-Metz. Ainsi, l'extension spatiale et l'intensité de la chaleur en période caniculaire pourraient être corrélées à l'intensité et à la durée de ces périodes du fait de l'inertie thermique des surfaces au sol.

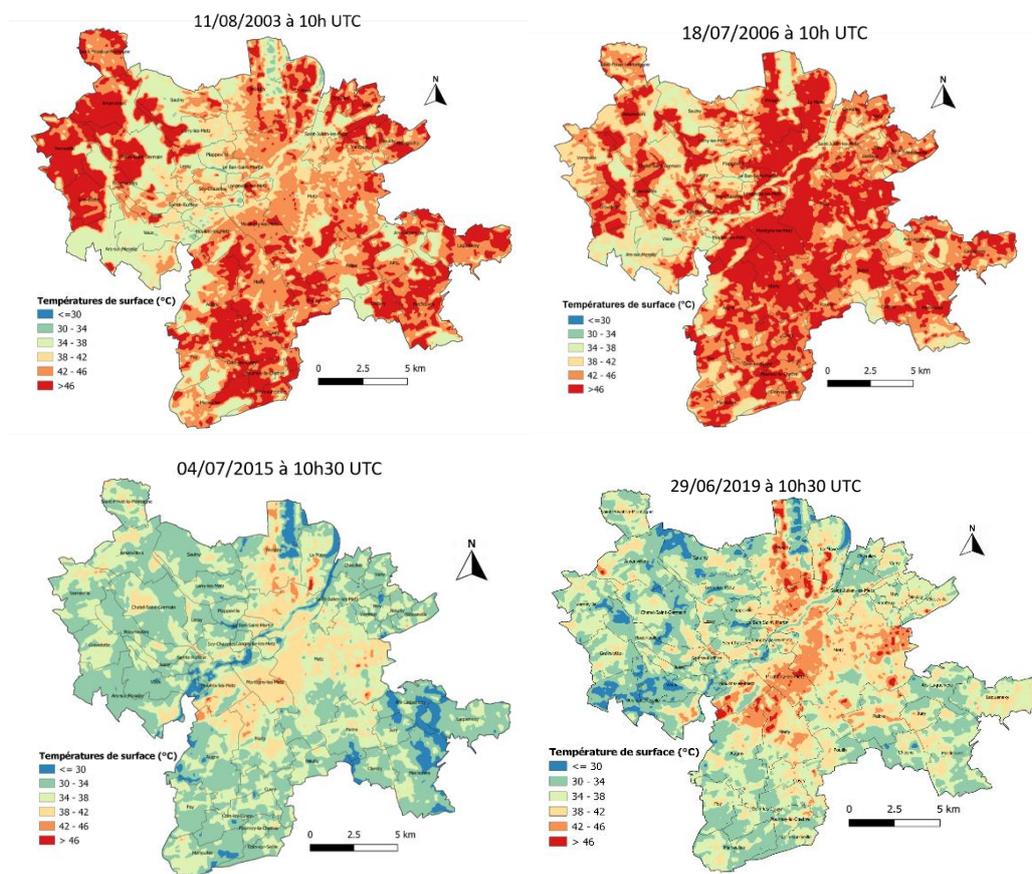


Figure 3. LST de la métropole de Metz par beau temps caniculaire : étés 2003, 2006, 2015 et 2019

Tableau 3. Statistique des LST de la métropole de Metz par beau temps caniculaire au cours des étés 2003, 2006, 2015 et 2019 (en °C)

| Date | LST minimale | LST maximale | LST moyenne | Ecart type |
|------------|--------------|--------------|-------------|------------|
| 11/08/2003 | 30,3 | 56,7 | 43,2 | 4,3 |
| 02/07/2006 | 32,4 | 57,0 | 39,0 | 3,6 |
| 04/07/2015 | 25,5 | 51,0 | 34,3 | 3,0 |
| 29/06/2019 | 26,7 | 57,4 | 35,9 | 4,0 |

En outre, les valeurs de NDVI maximales (non montrées) obtenues pour 2003 et 2006 sont inférieures à celles obtenues pour 2015 et 2019. Les valeurs maximales de NDBI (non montrées) pour 2003 et 2006 sont quant à elles, supérieures à celles de 2015 et 2019. Cela traduit le fait que les sols sont très chauds et très secs : or les canicules de 2003 et 2006 se sont manifestés respectivement aux mois d'août et de juillet, soit après les moissons, ce qui a pour effet de laisser de nombreuses étendues agricoles sans végétation. Les résultats de l'indice UTFVI (non montrés) de la métropole de Metz, qui mesure la qualité de vie écologique urbaine en fonction de l'intensité et de la répartition spatiale des LST, révèlent que l'aire d'étude connaît deux degrés de confort thermique : un confort thermique optimal pour une vie urbaine de qualité ($UTFVI < 0$) et un confort thermique médiocre ($UTFVI > 0.02$). Plus précisément, la plus grande partie de l'agglomération est affectée par des conditions de stress thermique : il s'agit des zones résidentielles et des zones d'activités ainsi que des champs agricoles nus. Le reste de l'agglomération connaît de bonnes conditions thermiques : ce sont toutes les zones rurales couvertes de végétation et les zones forestières.

2.2. Cartographie des LST en période de beau temps non caniculaire

D'après les cartes de températures présentées sur la figure 4, on remarque que les zones avec les LST les plus élevées, c'est-à-dire les zones qui dégagent le plus de chaleur, correspondent aux ZAE, et qu'elles sont plus étendues au mois de juin qu'au mois d'août, du fait qu'en général, le premier est plus chaud que le second (Tab.4).

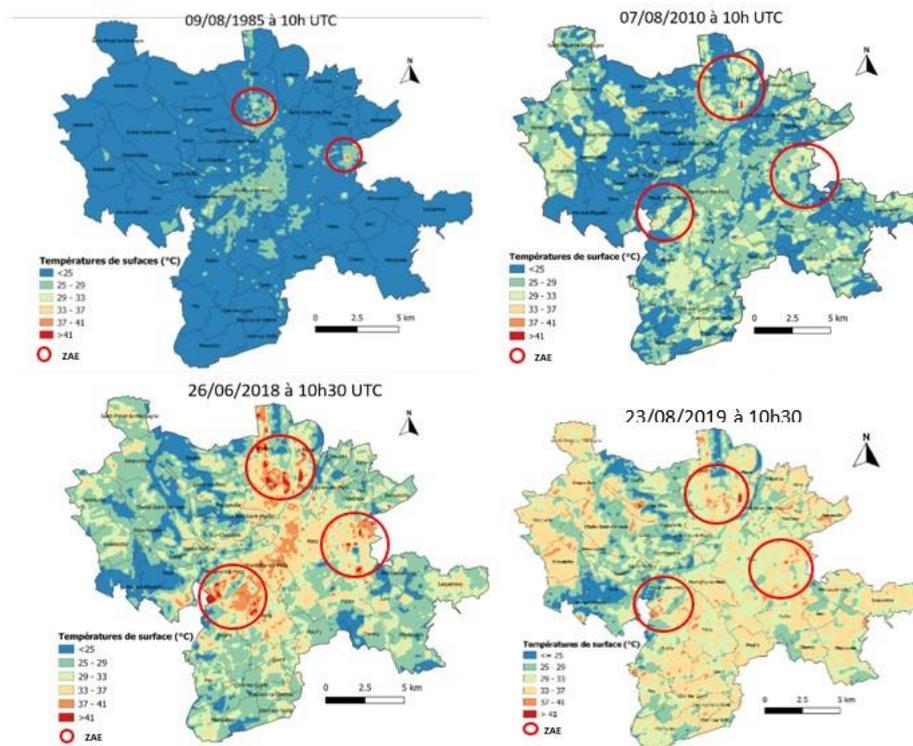


Figure 4. LST de la métropole de Metz en période non caniculaire : étés 1985, 2010, 2018 et 2019.

Tableau 4. Statistique des LST de la métropole de Metz par beau temps non caniculaire au cours des étés 1985, 2010, 2018 et 2019 (°C).

| Date | LST minimale | LST maximale | LST moyenne | Ecart type |
|------------|--------------|--------------|-------------|------------|
| 09/08/1985 | 12.7 | 39.9 | 20.9 | 2.7 |
| 07/08/2010 | 10.0 | 43.7 | 25.3 | 4.2 |
| 26/06/2018 | 15.9 | 52.8 | 29.4 | 4.0 |
| 23/08/2019 | 19.6 | 47.5 | 31.3 | 3.5 |

Cela montre que l'échauffement de surface nécessite un fort ensoleillement et un assèchement des sols pour se développer et atteindre son intensité maximale. Par ailleurs, lorsque l'on s'intéresse uniquement aux cartes du mois d'août, on remarque que les LST sont plus élevées dans les zones urbaines, mais également dans les champs agricoles nus car la végétation y est plus clairsemée (moisson, sols secs, etc.). L'analyse des thermographies multi-dates montre également que les zones les plus chaudes se sont étendues en périphérie entre 1985 et 2019 et ce dans toutes les directions de l'espace : en 1985, les zones les plus chaudes représentaient 26.9% du territoire métropolitain contre 37.2% en 2019. Il en ressort donc les zones de forte chaleur se sont développées au cours de la période étudiée (34 ans), cette extension étant corrélée à la croissance urbaine de l'agglomération. La part des surfaces urbanisées est en effet passée dans le même temps, de 9.1% à 18.7%. Cela démontre la relation étroite liant la distribution spatio-temporelle des LST et l'artificialisation des sols.

Conclusions et discussion

Cette étude, inédite sur le territoire de Metz-Métropole, a permis de caractériser l'évolution spatio-temporelle des températures de surface (LST) diurne sur plusieurs étés (marqués par certains par des paroxysmes chauds remarquables) entre 1985 et 2019. Sous cet angle, l'aire urbaine de Metz-Métropole se présente comme un territoire-archipel constitué d'une mosaïque de microclimats, où se côtoient des zones chaudes et des zones plus fraîches. Le champ des LST est spatialement structuré par les surfaces dont les propriétés physiques et radiatives (faible réflectivité solaire, forte diffusivité thermique, faible capacité thermique massique) favorisent l'échauffement diurne par absorption du rayonnement solaire et par faible émissivité dans l'IR, autrement dit par les zones urbaines denses et les zones industrielles. Fait intéressant, on constate une progression du front des fortes LST en période caniculaire qui s'étend jusqu'aux espaces périphériques à la ville, dépourvus de végétation. Par ailleurs, leur intensité maximale s'est nettement accrue ces dernières années, ce qui coïncide avec l'extension relativement importante des surfaces urbanisées qu'a connu l'aire urbaine de Metz avec la création de plusieurs ZAE périphériques telles que la ZAE du Parc Technopôle, la ZAE d'Augny, la ZAE de la Maxe et la ZAE de Woippy. Cette extension s'est accompagnée d'une réduction des espaces naturels et boisés. Si cet étalement n'est pas maîtrisé et accompagné de mesures d'aménagement destinées à limiter l'échauffement (toiture végétalisée ou cool roof par exemple), on peut s'attendre à une amplification du phénomène. Les thermographies produites dans le cadre de ce travail, par leur caractère démonstrateur, serviront de support pour rendre concrète l'adaptation au changement climatique pour le grand public et l'accompagner au changement en matière de comportement et de pratique des lieux en période de forte chaleur.

Bibliographie

- Peel M.C., Finlayson B.L. & McMahon T.A., 2007. Updated World Map of the Köppen-Geiger Climate Classification. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11, 1633-1644.
- Qin Z., Karnieli A., Berliner P., 2001. A mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM data and its application to the Israel-Egypt border region. *International Journal of Remote Sensing*, 22(18), 3719-3746.
- Renard F., Alonso L., Fitts Y., Hadjiosif A., Comby J., 2019. Evaluation of the Effect of Urban Redevelopment on Surface Urban Heat Islands. *Remote Sensing*, 11(3), 299.
- Sobrino J. A., Jiménez-Muñoz J. C., Paolini L., 2004. Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. *Remote Sensing of Environment*, 90(4), 434-440.