

## VARIABILITÉ SPATIO-TEMPORELLE DE LA TEMPÉRATURE À GABÈS

Mounir BERRICHE<sup>1et2</sup>, Sami CHARFI<sup>1</sup> et Salem DAHECH<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Université de Sfax, Faculté des Lettres et Sciences Humaines, SYFACTE, (berriche.mounir2013@gmail.com) (charfisami\_geo@yahoo.fr)

<sup>2</sup> Université de Paris Diderot, PRODIG, salem.dahech@gmail.com

**Résumé :** Gabès, ville de la rive sud de la Méditerranée en Tunisie, subit un réchauffement avéré entre 1973 et 2020 et une disparité spatiale des températures de l'air ; ces constats découlent de l'analyse 1/ d'un réseau de 3 stations Davis déployé du 18 août au 30 septembre 2020, 2/ de mesures itinérantes effectuées le 10 août 2021 et 3/ de l'image satellite ASTER-TIR du 09 juillet 2019. Les résultats montrent un écart thermique moyen entre l'oasis et les espaces bâtis de l'ordre de 6°C et un maximum de 10.5°C et révèlent un îlot de chaleur urbain en surface comparable à celui dans l'air d'environ 10°C.

**Mots-Clés :** champs thermique, campagnes de mesure, îlot de chaleur, Gabès

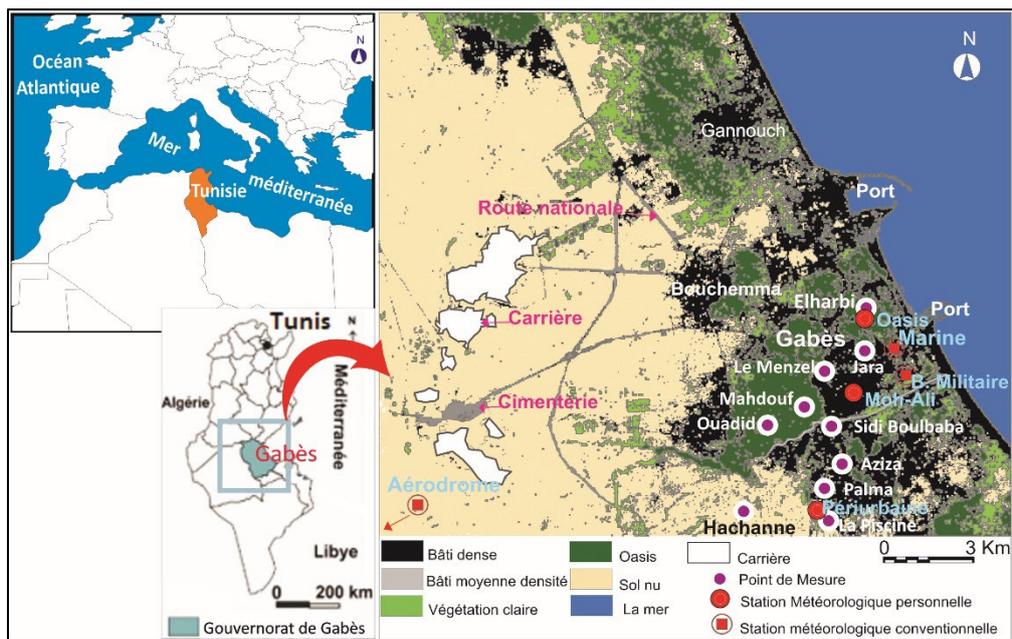
**Abstract:** Gabès, a city on the south bank of the Mediterranean, has experienced a tendency of temperature rise between 1973 and 2020. Moreover, we note a spatial disparity in air temperatures through the establishment of a network of 3 Davis stations from August 18 to September 30, 2020. The measurements survey of August 10, 2021 shows an average thermal difference between the oasis and urban areas of about 6 ° C and a maximum of 10.5 ° C. The ASTER-TIR satellite image from July 09, 2019 reveals a surface urban heat island comparable to that in the air of about 10°C.

**Keywords:** thermal fields, measurement survey, urban heat island, Gabès.

### Introduction

La modification de la chimie de l'atmosphère, surtout après l'ère industrielle, a entraîné une hausse de la température globale, qui varie dans l'espace. En effet, elle est largement remarquable dans la zone méditerranéenne (Toreti et Desiato, 2008). Selon le 5<sup>ème</sup> rapport du GIEC publié en 2014, celle-ci est considérée comme « hotspot » du changement climatique. Par ailleurs, l'artificialisation du milieu, notamment l'étalement urbain au détriment de territoires ruraux, a engendré une élévation des températures des villes et a provoqué le phénomène de l'îlot de chaleur urbain (IUC) (Oke, 1973 ; Cantat, 2004 ; Dahech, 2007, Charfi, 2012). La ville de Gabès qui compte 173 838 habitants (INS, 2014), est une ville de Tunisie méridionale sur la rive sud du bassin méditerranéen. Elle est connue pour la juxtaposition de palmeraies verdoyantes et des activités industrielles polluantes (Bechraoui, 1980). L'expansion de cette ville dans les années soixante-dix, particulièrement après la mise en place d'usines à procédés industriels, a non seulement intensifié le recul de la biodiversité et le tarissement des nappes (Hamdi, 1985 ; Hayder, 1986) mais a aussi provoqué une modification du climat urbain, via la dégradation de la qualité de l'air et une tendance à la hausse de la température (Berrich, 2018). En outre, les oasis de Gabès représentent des palmeraies maritimes uniques dans la zone méditerranéenne. Elles sont caractérisées par des plantations stratifiées denses et peuvent jouer un rôle bioclimatique non négligeable offrant un confort thermique pour les riverains (Bensalah, 2011) bien qu'elles soient sous l'incidence de la contrainte de la pression démographique et l'extension du tissu urbain.

Dans ce travail, nous essayons de mettre en lumière, d'une part, le réchauffement à Gabès entre 1973 et 2020, et d'autre part, de spatialiser la température de l'air et de la surface à l'échelle de l'agglomération et ses environs.



Source: CRDA et la Municipalité de Gabès

figure 1. Localisation de la zone d'étude.

## 1. Zone d'étude

L'agglomération de Gabès se situe au sud-est de La Tunisie. Elle est caractérisée par une topographie isotrope et drainée par un oued qui prend son nom. Son espace urbain est composé de cinq communes (Fig. 1) : Teboulbou, Gabès-ville, Chenin-Enahal, Bouchemma et Gannouche. La localisation de Gabès aux abords du nord du Sahara et en bordure sud du bassin méditerranéen sous un climat semi-aride à nuance sèche, représente une source de vulnérabilité aux extrêmes climatiques à occurrence accrue (GIEC, 2014).

## 2. Données et méthodes

Nous utilisons des mesures issues de la station météorologique de l'Institut National de la Météorologie (INM). Elle est implantée depuis les années quarante au centre-ville de Gabès. La base de données est constituée d'une série chronologique des maxima et des minima quotidiens de température de 1973 à 2020. Pour évaluer l'homogénéité de ces données, nous utilisons la méthode de segmentation d'Hubert et le test de Pettitt. Par ailleurs, nous utilisons le test de Mann-Kendall pour vérifier la significativité de la tendance des séries.

La spatialisation des températures de l'air à 2 m du sol dans la ville de Gabès est fondée sur des mesures itinérantes réalisées en voiture dans les oasis et les différents quartiers par temps radiatif (un ciel dégagé et un vent faible), en été. Les dix points de mesure sont distribués dans la ville : trois oasiens et sept dans l'espace bâti (fig. 1). La campagne de mesure retenue dans ce travail date du 10 août 2021 à 22h, réalisée à l'aide d'un thermohygromètre Testo 901. Il s'agit d'une journée radiative (ciel clair vent faible) marquée par une forte chaleur ( $t_x 42^\circ\text{C}$ ,  $T_n 26^\circ\text{C}$ ) ; ces conditions sont favorables à un ICU intense.

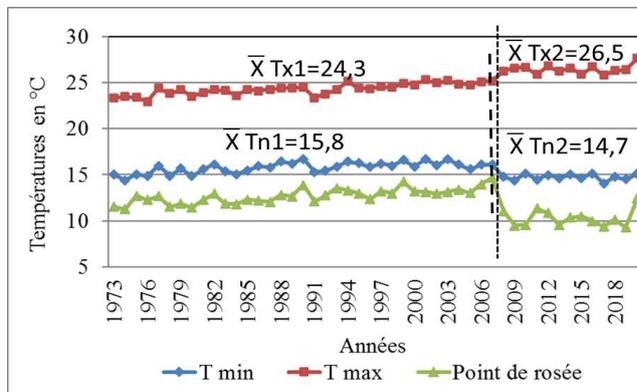
En outre, et afin d'étudier l'intensité et l'évolution des écarts thermiques à Gabès à l'échelle journalière, nous avons implanté trois stations météorologiques de types Davis au centre-ville, à la périphérie et dans l'oasis, du 17 août au 30 octobre 2020. Les données recueillies auprès de ces stations sont comparées entre elles et avec celles issues des stations synoptiques du centre-ville et de l'aéroport, qui font partie du réseau de l'INM. Afin de mettre en évidence la variabilité spatiale de la température de surface de l'agglomération de Gabès, nous avons recouru à l'imagerie satellitaire

issue de l'*Advanced Spaceborne Thermal Emission and reflection Radiometer (ASTER)* à 90 m de résolution, prise le 09 juillet 2019 par temps radiatif caniculaire. Les températures de brillance ont été déduites en appliquant la formule de Planck détaillée dans les travaux de Jimenez-Munoz et Sobrino (2010).

### 3. Résultats

#### 3.1. Une tendance à la hausse des températures minimales et maximales

Les tests d'homogénéité des données confirment une rupture statistique en 2007 causée par la délocalisation de la station vers une zone rurale à 25 km du centre-ville et de la mer d'où la chute des températures du point de rosée et des températures minimales (Fig. 2). L'analyse des chroniques thermiques sur la période homogène, de 1973 à 2006 (Fig. 2), montre une tendance significative à la hausse des températures maximales (croissance de 0.47°C/décennie) et minimales (croissance de 0.4°C/décennie), confirmée par le test de Man Kendall avec une marge d'erreur respectivement inférieure à 0.01% et 0.02%. Nous constatons que la tendance à la hausse se poursuivait après 2007 (année de la délocalisation de la station).



**figure 2.** Variations des moyennes annuelles des minima et des maxima de températures et du point de rosée à Gabès entre 1973 et 2020 (Données : INM).

La hausse des températures depuis trois décennies a été confirmée par des investigations dans d'autres villes en Tunisie comme Sfax et Tunis (Dahech, 2012 ; Charfi et Dahech, 2018). Il est édifiant de signaler aussi que, l'extension urbaine aux dépens des oasis et des sols nus surtout aux abords de la station urbaine, explique à son tour cette tendance au réchauffement. En effet, l'énergie accumulée pendant la journée par les constructions et les autres espaces imperméables est relâchée lentement sous forme de chaleur tellurique pendant la nuit (Oke, 1987).

En effet, la pression démographique à Gabès après les années soixante-dix a provoqué l'étalement urbain avec l'apparition de plusieurs quartiers comme ceux de Mohamed Ali, El Ezdihar et Bab Bhar rendant le centre-ville plus compact et plus dense. L'évolution du tissu urbain serait un facteur déterminant de la variation spatiale des températures à Gabès par temps radiatif dont le phénomène de l'îlot de chaleur urbain est la manifestation majeure.

#### 3.2. Intensité et variabilité temporelle de l'îlot de chaleur urbain (ICU)

La station Davis installée située au centre-ville (Mohamed Ali) est en moyenne plus chaude la nuit que le site de l'oasis et que celui de la périphérie (Fig. 1). Un ICU faible de 0.5 à 2°C, en moyenne, s'installe la nuit. La faiblesse des écarts s'explique vraisemblablement par l'installation des capteurs des stations au-dessus des toits, d'où l'effet de site, exprimé par l'effet de paroi, qui explique en grande partie l'atténuation du phénomène de l'ICU. Une heure après le lever du soleil, le site de la station de l'Oasis commence à être plus chaud que ceux du centre-ville et de la périphérie (Fig. 3). Ce phénomène particulier pourrait s'expliquer par une faible turbulence due à la faible densité de l'oasis, d'où la réduction des échanges de vapeur d'eau (Riou, 1990). Par conséquent, le brassage de l'air diminue aux environs de la station, située à une altitude plus basse que la canopée de l'Oasis. En effet, la diminution de la turbulence peut entraîner un ralentissement de la dissipation de la chaleur (le jour) ou du froid (la nuit) et amener des températures plus élevées le jour et plus basses la nuit (Riou, 1990). Au cours de la journée, la station urbaine est plus exposée à la brise de mer et donc plus fraîche que la

périphérie. L'effet de la continentalité devient plus marqué à la station de l'aéroport, qui est plus chaude le jour et plus froide la nuit à cause de la brise d'amont qui se confond avec la brise de terre. L'inversement de l'écart thermique entre la station du centre-ville et celle de la périphérie est plus tardif que celui à l'Oasis. En effet, cette dernière se réchauffe plus rapidement le matin que les deux autres stations et demeure plus chaude que la station du centre-ville jusqu'au début de l'après-midi, parallèlement au renforcement de l'évaporation qui permet l'émergence de l'effet rafraichissant de l'oasis. Cette apparition tardive d'un îlot de fraîcheur au niveau de l'oasis s'explique par l'arrosage irrégulier dans le temps et dans l'espace des cultures maraîchères relativement abondantes dans la strate herbacée.

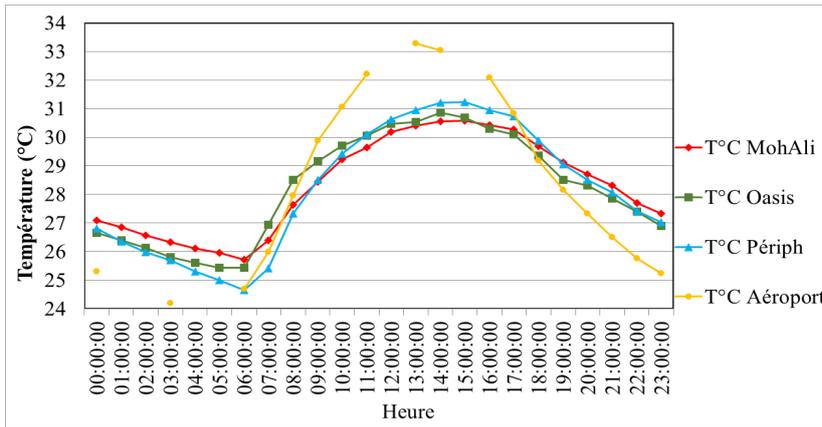


figure 3. Évolution des températures moyennes horaires de quatre stations météorologiques: Mohamed Ali (urbaine), Oasis, Périphérie (périurbaines) et Aéroport (rurale) du 18 août 2020 au 30 septembre 2020.

En périphérie, l'arrivée de la brise de mer est plus tardive (elle se lève vers 12h) à cause de l'éloignement de la mer. Ce fait explique l'écart positif des températures par rapport aux deux stations plus proches de la mer : Mohamed Ali et Oasis. Pour affiner davantage nos déductions, il était obligatoire d'augmenter la résolution spatiale des mesures thermo-hygrométriques et du vent par le biais des campagnes itinérantes.

### 3.3. Variabilité ponctuelle des températures de l'air à Gabès

La campagne de mesure du 10 août 2021 à 21h montre une disparité thermique spatiale fonction de l'occupation du sol. Les sites des mesures dans les palmeraies sont plus frais que ceux dans les espaces bâtis (Fig. 4 & 5). La valeur maximale enregistrée à Jara, au centre-ville, atteint 32.5° contre 22°C à l'Oasis (Ouaïd), soit un gradient thermique spatial de 10.5°C.

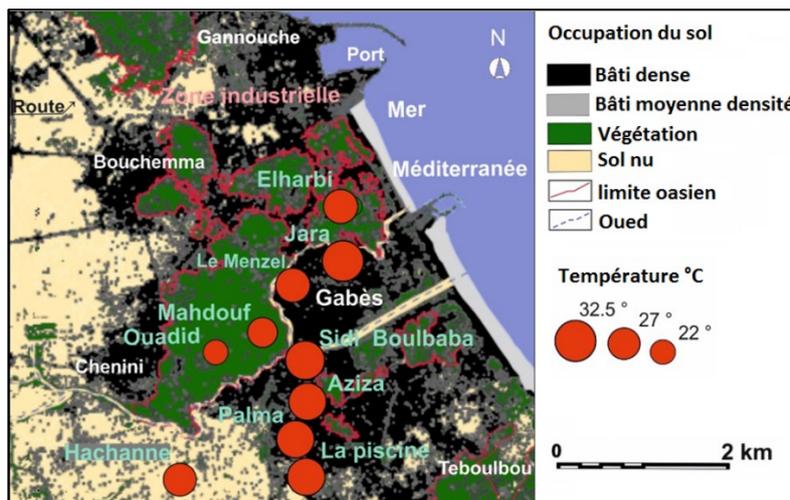


figure 4. Spatialisation de la température nocturne de l'air à 2 m du sol à Gabès le 10 août 2021 à 21 h.

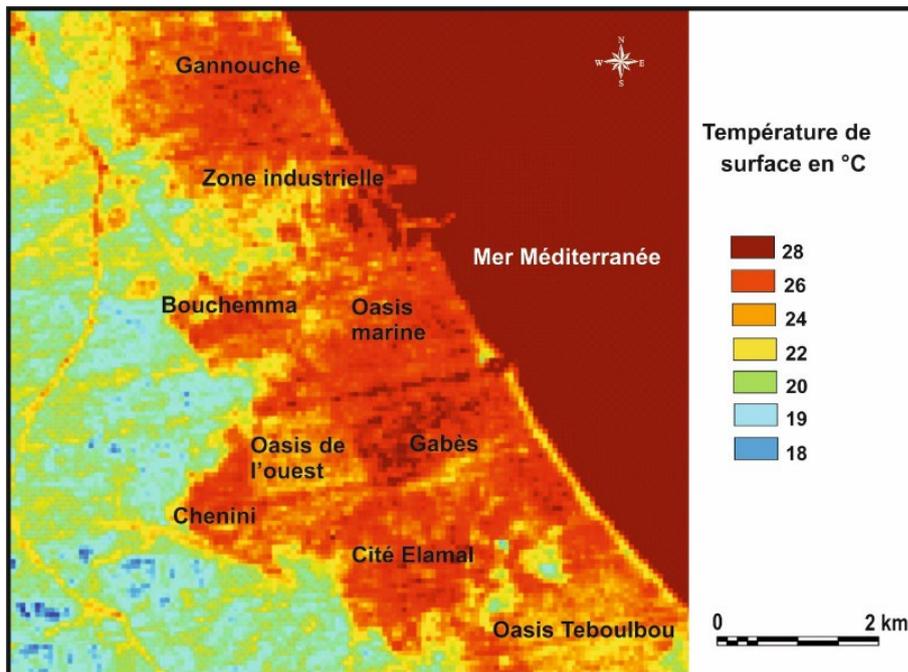
Cet écart thermique s'explique par le fait que le bilan énergétique varie entre les espaces bâtis et les végétations oasiennes. Celles-ci, pendant la journée, atténuent le rayonnement solaire par le biais de l'ombrage et l'utilisation de l'énergie solaire sous forme de chaleur latente par évapotranspiration (Bigorgne, 2015). L'arrosage a probablement renforcé l'intensité de cet écart.

Quelques disparités sont également enregistrées en milieu oasien. En effet, la figure 4 révèle que le site oasien Elharbi enregistre une température nocturne plus élevée que ceux de Mahdouf et

d'Ouadid, avec respectivement 30°C, 28°C et 22°C. Ces derniers se situent dans une palmeraie dense et étendue à l'ouest de Gabès (590 ha), donc plus fraîche. Cependant, le point de mesure « Elharbi » se trouve dans l'oasis marine moins étendue (290 ha), à faible densité (CRDA, 2020) et plus influencé par la mer. Cette dernière agit par sa forte inertie thermique et fait que la frange littorale enregistre des températures plus élevées que l'arrière-pays, la nuit.

### 3.4. Un îlot de chaleur en surface à Gabès

L'imagerie satellitaire permet de mettre en relief la thermographie des différents éléments tant de la zone urbaine que de l'espace rural (Song et Park, 2015). L'image ASTER-TIR montre une nette variabilité spatiale de la température de surface à Gabès, enregistrée par un temps radiatif et chaud (Fig. 5). En effet, le 9 juillet 2019 les températures ont oscillé entre 26 et 45°C. La partie centrale de la ville de Gabès est occupée par un noyau chaud, mais discontinu.



**figure 5.** Disparités spatiales de la température nocturne de surface suivant la scène ASTER-TIR datée le 09 juillet 2019.

Vers le nord, des micro-îlots de chaleurs dans la zone industrielle et à Gannouche sont bien individualisés, et avec moins d'intensité au sud, à la Cité Elamal. Cette scène permet aussi de se rendre compte des températures relativement élevées dans les oasis allant de 22° à 26°C vu que le radiomètre ne capte que l'émissivité de la canopée (le niveau supérieur des palmiers). Malgré les limites de l'imagerie spatiale, la scène nocturne d'ASTER visualise un champ thermique proche de celui qu'on a enregistré à 2 m de la surface (dans l'air).

### Conclusion

Nous avons constaté une augmentation significative de la température entre 1973 et 2006, expliquée à l'échelle globale par les quantités additionnelles des gaz à effet de serre, et localement par l'extension horizontale et verticale des bâtis au détriment des oasis et du sol nu. L'îlot de chaleur urbain à Gabès paraît proportionnel à la taille de la ville. L'implantation des stations au-dessus des toits fait que les comparaisons effectuées se faisaient entre les impacts des différents types d'"airs" (urbain, périurbain, oasien) et non entre sites. L'effet de l'oasis paraît variable en fonction de la densité des palmiers, et de l'arrosage. De surcroît, cette étude révèle une inégalité spatiale de température de l'air ambiant entre les espaces bâtis, plus chauds que les palmeraies, et les terres nues. Les oasis forment

des îlots de fraîcheurs pendant les nuits radiatives de la saison chaude dans une zone semi-aride qui se situe aux abords nord du Sahara, une sorte de « climatiseur naturel » qui impulse des vents frais vers les quartiers limitrophes. En outre, les jours de temps calme favorisent le phénomène d'ICU la nuit dans l'air et à la surface. La hausse des températures, en relation avec le réchauffement climatique peut augmenter le stress hydrique et donc la vulnérabilité d'une région où la question de l'eau est problématique.

## Bibliographie

- Bechraoui A., 1980 : *La vie rurale dans les oasis de Gabès*. Thèse de doctorat, Université de Tunis, 301 pages.
- Bensalah M., 2011 : *La palmeraie de Gabès*. Projet Phoenix France-Italie, 7 pages.
- Berrich M., 2018 : *La disparité de la perception et de la vulnérabilité envers la pollution atmosphérique à Gabès : Etude comparative entre Bouchemma et Ezzarat*. Mémoire de Master. Faculté des Lettres et des Sciences Humaines de Sfax, 118 pages.
- Bigorgne J., 2015 : Les îlots de chaleur urbains à Paris, *Cahier #1 .Atelier Parisien d'Urbanisme*, 35 pages.
- Cantat O., 2004 L'îlot de chaleur urbain parisien selon les types de temps. *Norois* [En ligne], **191** | 2004/2, mis en ligne le 10 septembre 2008, 33 pages.
- Charfi S., 2012 : *Le comportement spatio-temporel de la température dans l'agglomération de Tunis*. Thèse doctorat, Université de Tunis et Université de Nice (en cotutelle), 308pages.
- Charfi S., Dahech S., 2018 : Cartographie des températures à Tunis par modélisation statistique et télédétection, *M@ppemonde*, **123**, 14 pages.
- CRDA., 2020 : Rapport Annuel de Commissariat Régional de Développement Agricole de Gabès. Tunisie, 209 pages.
- Dahech S., 2007 : *Le vent à Sfax (Tunisie), impact sur le climat et la pollution atmosphérique*. Thèse de doctorat soutenue à Université de Paris VII, 309 pages et annexes.
- Dahech S., 2012 : Evolution de la répartition spatiale des températures de l'air et de surface dans l'agglomération de Sfax entre 1987 et 2010. Impact sur la consommation d'énergie en été. *Climatologie*, numéro spécial « Climats et changement climatique dans les villes », 11 – 32.
- GIEC., 2014 : Changements climatiques 2014: Rapport de synthèse, Genève, Suisse, 161 pages.
- Hamdi A. M., 1985 : *Industrialisation et environnement : étude d'un cas : Gabès (Tunisie)*. Thèse de doctorat, Université de Paris 10, 434 pages.
- Hayder A., 1986 : *L'industrialisation à Gabès et ses conséquences : étude de géographie urbaine et économique*. Thèse de doctorat, Université de Tunis, 242 pages.
- Jimenez-Munoz J., Sobrino J., 2010 : A Single-Channel Algorithm for Land-Surface Temperature Retrieval From ASTER Data. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters* **7(1)**, 176 – 179.
- Oke T-R., 1973 : City size and the urban heat island. *Atmospheric Environment Pergamon Press* 1973. **Vol. 7**, 769-779.
- Oke T-R., 1987 : *Boundary Layer Climates*. British Library Cataloguing in Publication Data, Second edition, 435 pages.
- Riou C., 1990 : Bioclimatologie des oasis. In : Dollé V. (ed.), Toutain G. (ed.). *Les systèmes agricoles oasiens*. Montpellier, <http://om.ciheam.org/om/pdf/a11/CI901496.pdf>.
- Song B., Park A., 2015 : Analysis of Surface Temperature Accuracy in ASTER Images according to Land-Use Type. ICUC9 - *9th International Conference on Urban Climate jointly with 12th Symposium on the Urban Environment*, 6 pages.
- Toreti, A., Desiato F., 2008 : Change in temperature extremes over Italy in the last 44years. *Int. J. Climatol.*, **28**:733-745.