

UTILISATION DES IMAGES LANDSAT-7 POUR L'ANALYSE DE LA DISTRIBUTION SPATIALE DES TEMPÉRATURES À PORTO (PORTUGAL)

MADUREIRA H.¹, MONTEIRO A.² et GÓIS J.³

¹ Université de Porto- Département de Géographie/CEGOT, Via Panorâmica s/n ,4150-564 Porto, Portugal, hmadureiramail@gmail.com

² Université de Porto- Département de Géographie/CITTA/ISPUP, Via Panorâmica s/n°, 4150-564 Porto, Portugal, anamonteirosousa@gmail.com

³ Université de Porto- Faculté d'Ingénierie/CIGAR, Rua Dr. Roberto Frias, 4200-464 Porto, Portugal, jgois@fe.up.pt

Résumé : L'objectif de ce travail est d'approfondir la connaissance de la distribution spatiale des températures de surface à Porto en utilisant les données de températures de surface obtenues à partir d'images du satellite Landsat 7 et les relier avec les données physiographiques et censitaires usuellement associées à la variation spatiale des températures en milieu urbain. Les différentes variables sont intégrées dans un système d'information géographique qui, en association avec les méthodologies statistiques comme l'analyse multivariée ou la géostatistique, nous permet d'interpréter les résultats.

Mots-clés : climat urbain, télédétection, SIG, Analyse en Composantes Principales

Abstract: *Spatial analysis of surface temperature using Landsat 7 images*

This work aims at expanding knowledge on spatial distribution of surface temperatures in Porto using surface temperatures obtained from Landsat 7 satellite images. These data were linked to the physiographic and census data usually associated with the spatial variation of temperature in urban areas. The different variables were integrated into a geographic information system which, in combination with statistical methods such as multivariate analysis or geostatistics, helped in interpreting the results.

Keywords: urban climate, remote sensing, GIS, Principal Components Analysis

Introduction

La formation d'îlots de chaleur urbains est de plus en plus un sujet de préoccupation. L'inconfort thermique et les dangers pour la santé dus aux canicules sont indubitablement un des facteurs qui contribue à cette préoccupation. En outre, la demande croissante en climatisation montre que la formation des îlots de chaleur urbains est à la fois la cause et la conséquence de l'augmentation de la consommation énergétique à l'échelle de la ville.

Cette étude vise à caractériser et interpréter la distribution spatiale des températures de surface à Porto lors de différentes situations atmosphériques et saisonnières. Porto est situé sur la façade atlantique du Portugal, à l'embouchure du fleuve Douro (Fig. 1). Avec une population estimée à 216 080 habitants, Porto est le cœur de la deuxième région métropolitaine portugaise (GAMP), avec 1 682 447 habitants (INE 2009).

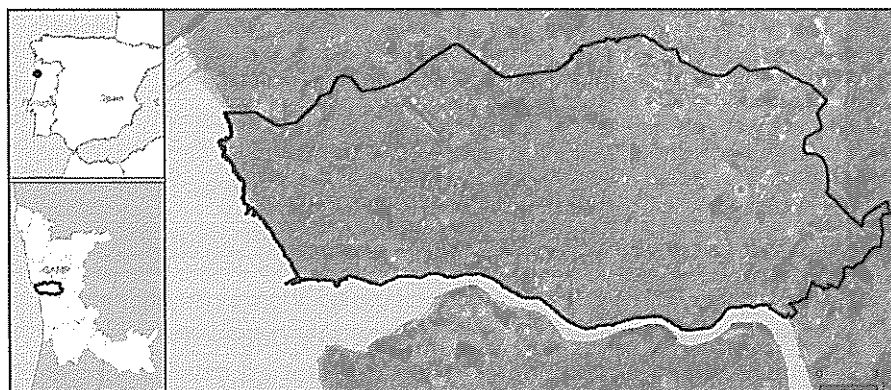


Figure 1 : Localisation géographique de Porto (Photographie aérienne (rés. 0,50 m), Instituto Geográfico do Exército, 2007).

En continuité avec les travaux de Monteiro (1993) et Góis (2002) qui ont établi des campagnes de mesures itinérantes de températures nocturnes, notre objectif est d'approfondir la connaissance de la distribution spatiale des températures de surface à Porto en utilisant les données diurnes de températures de surface obtenues à partir d'images du satellite Landsat 7 et les relier avec les données physiographiques et censitaires usuellement associées à la variation spatiale des températures en milieu urbain (Buyantuyev, 2010).

L'intégration de ces différentes données vise deux objectifs complémentaires : connaître l'ampleur et la variabilité de facteurs qui expliquent l'établissement des différentes mosaïques thermiques dans la ville ; connaître les différents comportements spatiaux intra- urbains des températures de surface, ce qui permettra, dans le futur, d'identifier les zones et les populations les plus vulnérables aux canicules ou celles avec de grandes dissipations thermiques des bâtiments. La relation spatiale entre les différentes variables est intégrée dans un système d'information géographique qui, en association avec les méthodologies statistiques comme l'analyse multi variée ou la géostatistique, nous permet d'interpréter les résultats.

1. Méthodologie

1.1. Acquisition des données satellitaires et estimation de la température de surface

La télédétection infrarouge thermique consiste à mesurer l'énergie radiative émise par la surface terrestre, ce qui permet d'en déduire la température de surface. Les capteurs mesurent une luminance spectrale qui est reliée à la température de surface par la loi de Planck. Plusieurs images du capteur Landsat ETM+ (60 mètres de résolution spatiale), couvrant la région de Porto, ont été acquises : 19 février 2000, 24 juin 2000, 20 mars 2000, 27 août 2000, 15 septembre 2001, 2 novembre 2001, 30 juin 2002, 27 avril 2002, 4 octobre 2002 et 7 décembre 2002. Les pixels des images ont été convertis en unités de radiance absolue puis en température en utilisant la formule de conversion suggérée par la Nasa (2002).

1.2. Acquisition des données physiographiques, censitaires et d'occupation du sol

Pour interpréter les différentes mosaïques thermiques on utilise des variables explicatives généralement associées à la variation spatiale des températures en milieu urbain (Tableau 1), comme la distance à la mer, la distance au fleuve, la topographie, la densité de la population, la densité du bâti (INE 2001) ou la surface avec couverture végétale et la surface imperméabilisée (Madureira, 2001).

Tableau 1 : Table des variables, leurs codes et leur signification.

Nom de la Variable	Codification	Nom de la Variable	Codification
Distance à la Mer	DM	température 7 décembre 2002	7de
Distance au Fleuve	DF	température 30 juin 2002	30ju
Altitude	Alt	température 2 novembre 2001	2no
Densité de Population	DP	température 27 août 2000	27ao
Densité de Bâtiments	DB	température 27 avril 2002	27av
Pourcentage occupation couverture Verte	PV	température 7 février 2001	19fe
Surface Moyenne Constructions	SMC	température 15 septembre 2001	15se
Surface Total Constructions	STC	température 24 juin 2000	24ju

1.3. Structuration des données dans un Système d'Information Géographique (SIG)

Les données ont été intégrées dans un Système d'Information Géographique (ArcGis 9.3.). Pour pouvoir corréler les différentes données, toutes les variables ont été adaptées à la plus

petite section censitaire, dont la surface moyenne est de 1,92 ha à Porto. Cela a eu comme conséquence la nécessité de calculer la température de surface et l'altitude moyenne pour chaque section. Pour la distance à la mer et au fleuve on a calculé la distance aux centroïdes des sections.

1.4. Application de L'Analyse en Composantes Principales (ACP)

L'Analyse en Composantes principales (ACP) est une méthode statistique descriptive multidimensionnelle qui fait partie des méthodes factorielles. En utilisant l'ACP il est possible d'obtenir, à partir des données comportant les valeurs de variables quantitatives pour n unités (ou individus), des représentations géométriques de ces unités et de ces variables. Ces représentations des variables permettent alors d'établir les structures de liaisons linéaires sur l'ensemble des variables considérées (Benzécri, 1973 ; Diday, 1982).

Notre échantillon initial est composé par 2 064 individus (les sections censitaires à Porto) et 18 variables (les données de température, physiographiques, censitaires et d'occupation du sol). Cette analyse nous permettra de systématiser les principales tendances explicatives des distributions spatiales des températures de surface (Tableau 2).

Tableau 2 : Extrait de la matrice de données utilisée pour l'ACP.

Variable (Code) → Individus ↓	DM (m)	DF (m)	Alt (m)	DP (hab/km ²)	DB (n ^o /km ²)	PV (%)	....	Q variables (Q = 18)			
								15se (°C)	24ju (°C)	30ma (°C)	4ou (°C)
i ₁	4790.5	3157.9	94.9	17095.3	1409.9	29.8	....	26.3	31.6	17.2	21.9
i ₂	8825.8	3718.4	120.0	37048.6	1058.5	0.0	....	28.0	33.3	17.5	22.3
i ₃	5116.8	1430.9	111.2	10705.6	1936.5	7.6	....	26.7	33.9	17.5	22.9
...
12002	5679.4	62.9	59.7	0.0	178.3	0.0	....	28.3	33.3	17.9	24.5
12003	4545.3	229.5	57.6	6145.5	3511.7	7.9	....	26.7	33.1	16.5	23.0
12004	4943.1	158.4	69.3	0.0	0.0	87.2	....	26.0	32.2	16.3	23.2

n individus ($n = 2064$)

1.5. La corrélation spatiale entre les différents variables

La régression géographiquement pondérée (Geographically Weighted Regression) est une extension de la régression linéaire multiple classique. Le modèle produit une équation pour chaque entité spatiale et ainsi, des valeurs locales de r^2 (coefficient de corrélation multiple local). Il est toutefois possible de vérifier si le modèle varie spatialement et, si c'est le cas, de montrer ces variations. On utilisera la régression géographiquement pondérée pour évaluer les corrélations spatiales locales entre les principales tendances explicatives déjà établies.

2. Résultats

2.1. L'Analyse en Composantes principales (ACP)

L'analyse en composantes principales (Fig. 2) montre que le plan principal, formé par les deux premiers axes, explique 57% de la variabilité totale (% exp, Tableau 3). On peut établir les structures de liaisons suivantes entre les variables considérées : 1) une association entre les variables distance à la mer (DM), distance au fleuve (DF) et altitude (Alt), toutes les trois corrélées positivement avec les températures du 30 juin 2002 (30ju) et du 27 avril 2002 (27av) et corrélées négativement avec les températures du 7 décembre 2002 (7de) ; 2) une association entre les températures de surface de tous les autres jours (24ju, 27ao, 4ou, 30ma, 15se, 2no, 19fe), toutes corrélées négativement avec le pourcentage d'occupation par la

végétation verte (PV); 3) une association entre les variables densité de population, densité de bâtiments, mais qui n'établit aucune corrélation significative avec les autres variables.

Tableau 3 : Relations de proximité et de l'opposition entre les variables dans les axes factoriels.

N.° de Variables	Axe 1		Axe 2	
	% exp.	Variables Corréées	% exp.	Variables Corréées
15	34	PV ⊗ 24ju, 27ao, 4ou, 30ma, 15se, 2no, 19fe	23	7de ⊗ DF, 30ju, 27av, DM, Alt,

Legende: ⊗ - Représente l'opposition des variables sur les axes factoriels

On peut alors systématiser trois principales tendances explicatives des distributions spatiales des températures de surface pour les jours sélectionnés: 1) un cas de corrélation négative avec l'altitude et la distance à la mer et au fleuve; 2) deux cas de corrélation positive avec l'altitude et la distance à la mer et au fleuve; 3) sept cas de corrélation négative avec le pourcentage d'occupation par la végétation verte.

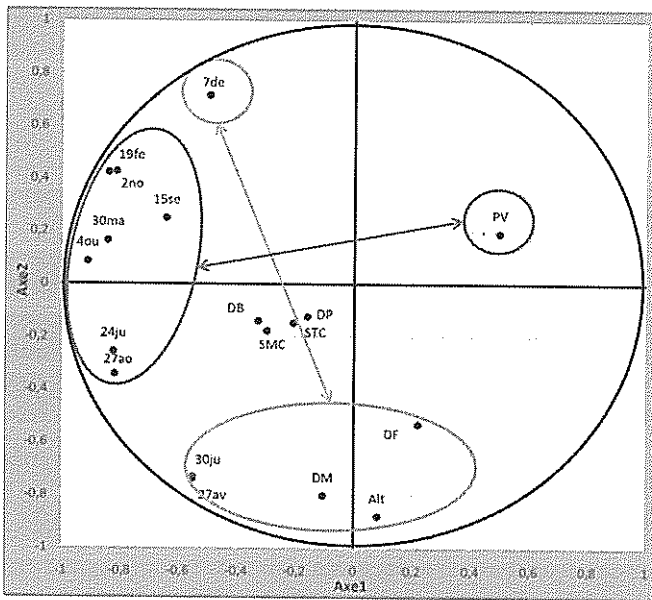
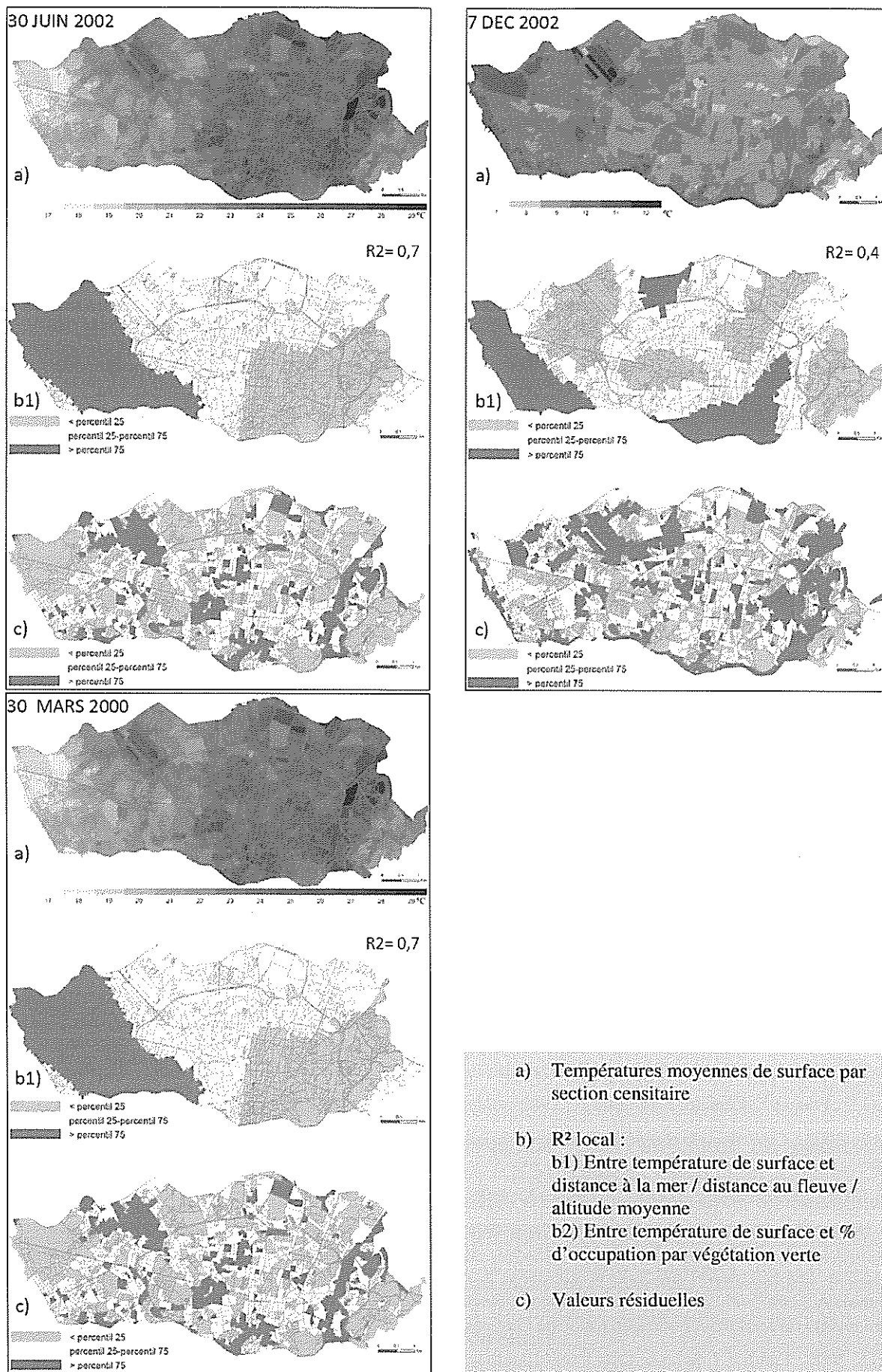


Figure 2 : L'ACP - Projections des variables sur le plan factoriel 1,2.

2.2. La corrélation spatiale entre les différentes variables

Après avoir systématisé les trois principaux groupes de tendances explicatives pour les distributions spatiales des températures de surface pour les jours sélectionnés, on a choisi un jour de chaque groupe pour évaluer la corrélation spatiale entre les différentes variables. Pour les trois jours choisis (30 juin 2002, 7 décembre 2002 et 30 mars 2000) on utilise la régression géographiquement pondérée (ArcGis 9.3.) pour illustrer la corrélation spatiale entre les températures de surface et les variables qui, selon l'ACP, ont le plus contribué à l'explication de la variabilité totale.

Les températures de surface du 30 Juin 2002 et du 7 Décembre (Fig. 3), sont surtout expliquées, malgré des sens contraires à cause des contextes saisonniers différents, par les distances à la mer et au fleuve et par l'altitude. Les plus fortes corrélations spatiales locales (R^2) ont un comportement différencié, mais il est possible d'établir une correspondance entre les valeurs les plus élevées près de la mer et les valeurs les plus basses à l'extrémité orientale de la ville.



a) Températures moyennes de surface par section censitaire

b) R^2 local :

b1) Entre température de surface et distance à la mer / distance au fleuve / altitude moyenne

b2) Entre température de surface et % d'occupation par végétation verte

c) Valeurs résiduelles

Figure 3 : La régression géographiquement pondérée.

La structure spatiale des résidus positifs du modèle montre quelques importantes coïncidences : une concentration de températures élevées non expliquées par le modèle au nord-ouest et au sud-est de la ville ainsi que quelques concentrations plus dispersées au cœur de la ville. La connaissance du territoire nous permet de reconnaître la complexité de situations qui contribuent à ces anomalies positives : concentration de zones de stockage et de commerce ou de grandes surfaces imperméabilisées, mais aussi coïncidences avec les lieux d'implantation d'hôpitaux, d'écoles et de lotissements sociaux. Plusieurs facteurs explicatifs contribuent à l'apparition de ces anomalies thermiques : les matériaux de construction et de revêtement, la consommation énergétique des bâtiments, mais aussi la distribution spatiale de la vie quotidienne de la population, pas nécessairement la même que la distribution du lieu de résidence.

La variation des températures de surface du 30 mars 2000 (Fig. 3) est surtout expliquée par la présence (ou l'absence) d'espaces avec végétation. Malgré le caractère plus dispersé de la distribution des corrélations locales et des résidus résultants, il est possible d'identifier, de façon plus générale, la même complexité de situations qui contribuent à ces anomalies.

Conclusion

L'intégration entre les données diurnes de température de surfaces obtenues pour dix jours différents et les données physiographiques et censitaires de la ville de Porto a contribué avant tout, à approfondir la connaissance des mécanismes qui interviennent dans la formation des mosaïques thermiques dans la ville.

Cependant, la préoccupation croissante par rapport à l'inconfort thermique et les dangers pour la santé dus aux canicules, nous invite à réfléchir sur ce que sont les micro-contextes les plus vulnérables à l'occurrence des températures extrêmes... Surtout quand notre recherche suggère que, pour les jours sélectionnés, les valeurs de températures les plus élevées coïncident aussi avec les lieux de forte concentration de la population pendant la journée (écoles, hôpitaux, centres commerciaux) mais qui ne sont pas prises en compte dans les données censitaires usuellement utilisées dans ces recherches.

D'autre part, la demande croissante en climatisation, à la fois cause et conséquence de la formation des îlots de chaleur urbains, nécessite des solutions quant à son atténuation. La connaissance plus précise de la distribution spatiale des dissipations thermiques des bâtiments permettra d'envisager des solutions plus claires et effectives en ce sens.

Bibliographie

- Benzécri J.P., 1973 : *L'Analyse des Données- vol.1 : la taxinomie*. Dunod, Paris, 612p.
- Buyantuyev A., Wu J., 2010 : Urban heat islands and landscape heterogeneity: linking spatiotemporal variations in surface temperatures to land-cover and socioeconomic patterns. *Landscape Ecology*, **25**, 17–33.
- Diday E., Pouget J., Lemaire J. et Testu F., 1982 : *Éléments d'analyse de données*. Dunod, Paris, 462p.
- Góis J., 2002 : *Contribuição dos Modelos Estocásticos para o Estudo da Climatologia Urbana*. FEUP, Porto, 685p.
- INE, 2001 : *Recenseamento Geral da População*. INE, Lisboa.
- INE, 2009 : *Estimativas Provisórias de População Residente*. INE, Lisboa.
- Madureira H., 2001 : *Processos de transformação da estrutura verde do Porto*. FAUP/FEUP, Porto, 127 p.
- Monteiro A., 1997 : *O clima urbano do Porto. Contribuição para a definição de estratégias de planeamento e ordenamento do território*. Fundação Calouste Gulbenkian, JNICT, Lisboa, 402 p.
- NASA, 2000 : Landsat 7, Science Data Users Handbook. <http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/handbook.html>