

L'IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES BESOINS DE CLIMATISATION EN ANDALOUSIE À DES ÉCHELLES DE DÉTAIL

MARZO-ARTIGAS X. ⁽¹⁾, PITA M. F. ⁽²⁾, ALVAREZ-FRANCOSO J. I. ⁽²⁾

(1) Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía (IECA), San Gregorio, n 7, 41071 Séville, Espagne [javimarzo@gmail.com]

(2) Dpto. de Geografía física y AGR. Universidad de Sevilla, María de Padilla, s/n, 41004 Séville, Espagne [mpita@us.es ; jalvarez2s.es]

Résumé – Ce travail analyse les variations spatiotemporelles subies par les besoins de climatisation (chauffage et réfrigération) en Andalousie dans le contexte du changement climatique à partir de la comparaison des degrés-jour réfrigération et des degrés-jour chauffage actuels et ceux prévus pour la fin du XXI^e siècle.

Mots-clés : changement climatique, degrés-jour chauffage, degrés-jour réfrigération, demande énergétique.

Abstract – *The impact of climate change on air conditioning needs in Andalusia at detailed scales.* Spatio-temporal variations of air conditioning needs in Andalusia induced by climate change are examined by means of the comparison between present and future heating/cooling degree days.

Keywords: climate change, heating degree days, cooling degree days, energetic demand.

Introduction

L'objectif de cette communication est l'estimation des variations spatiotemporelles subies par les besoins de climatisation (chauffage et réfrigération) en Andalousie dans le contexte du changement climatique.

Les hypothèses de départ sont les suivantes :

- le processus de réchauffement global déterminera une baisse des besoins de chauffage en Andalousie mais, en même temps, il produira une augmentation des besoins de réfrigération. Dans ce cas, il serait nécessaire d'estimer aussi bien la magnitude que la direction de ces changements. La prédominance de la baisse des besoins de réfrigération sur la hausse des besoins de chauffage serait avantageuse du point de vue économique, énergétique et environnemental. Le cas opposé aurait des conséquences négatives à tout point de vue ;
- ces changements auront de grandes variations spatiales, étant donné l'étendue et la diversité physiographique de l'Andalousie, de sorte que l'on retrouvera des territoires avantagés, défavorisés ou neutres par rapport aux conséquences de la nouvelle situation. Ce travail essaie d'évaluer ces possibilités en Andalousie à l'échelle du détail pour identifier les changements subis par les demandes énergétiques en raison de la climatisation des différents territoires.

1. Données

Pour l'analyse de la situation actuelle, on a sélectionné des séries de températures maximales et minimales journalières de cent trente-six stations météorologiques de l'Andalousie (Fig. 1) pour la période 1985-1999. On a suivi la méthodologie d'Aguilar *et al.* (2003) pour le contrôle de qualité des séries, obtenant 90 % des registres valides dans toutes les stations. Le comblement des lacunes a été fait suivant la méthodologie proposée par Brunet *et al.* (2006). En ce qui concerne les projections climatiques, nous avons utilisé des données journalières de températures minimale et maximale de cent douze observatoires de la région pour la période 2011-2100. Ces données ont été fournies par le Service Régional de l'Environnement (Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía), et elles sont issues de l'application d'une régionalisation statistique aux sorties des modèles CNM3 et ECHAM5 pour les scénarios d'émissions A2 et B1.

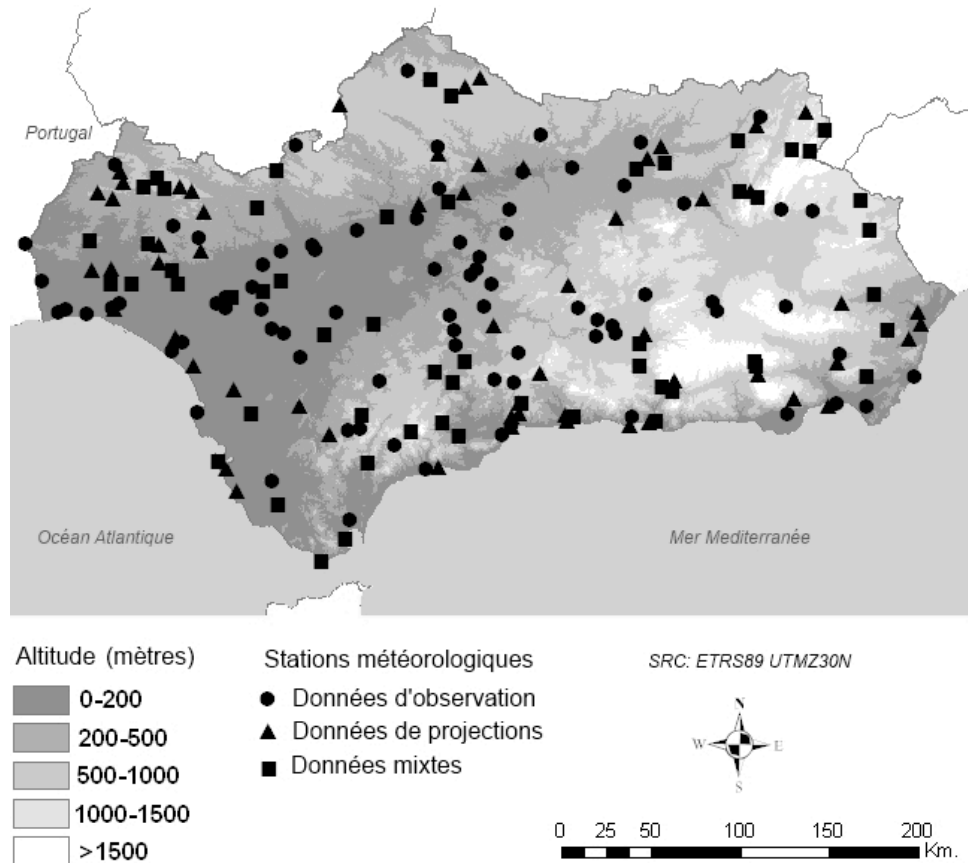


Figure 1 : Stations météorologiques de la zone d'étude utilisées dans ce travail

2. Méthodes

La méthodologie suivie dans ce travail peut être décomposée en trois parties : dans la première, on effectue le calcul d'un indicateur des besoins de chauffage et de réfrigération pour toutes les stations, ainsi que son agrégation à l'échelle annuelle ; dans la deuxième partie, on procède à la spatialisation des indicateurs pour obtenir des cartographies de détail ; dans la dernière étape, on cartographie les besoins totaux de climatisation à partir de la somme des variables obtenues dans le pas précédent.

2.1. Calcul des indicateurs des besoins de climatisation

Nous définissons les besoins de climatisation comme la somme des besoins de réfrigération et de chauffage dans un territoire. Pour exprimer ces besoins, on a utilisé les variables degrés-jour réfrigération (DJR) et degrés-jour chauffage (DJC), respectivement, car ces indicateurs montrent un rapport évident avec la demande énergétique (Valor *et al.*, 2001 ; Christenson *et al.*, 2006).

La variable degrés-jour chauffage/réfrigération quantifie la différence entre la température ambiante représentative d'un jour et une température de base, considérée comme celle à partir de laquelle il n'y existe plus de besoins de climatisation. En règle générale, cette variable est calculée à partir de la différence entre la température moyenne journalière et la température de base. Dans les travaux qui aspirent à une plus grande précision, comme dans le cas qui nous occupe, on utilise les températures maximales et minimales journalières (Matzarakis *et al.*, 2004), de sorte que l'on capture avec plus de détails le comportement intrajournalier des besoins de climatisation.

Pour chaque station, nous avons calculé toutes les valeurs journalières de DJR et DJC, aussi bien pour la période d'observation que pour les trentaines 2011-2040, 2041-2070 et 2071-2100 de l'ensemble de projections, selon les équations proposées par Matzarakis *et al.* (2004)¹. Les valeurs des températures de base pour le calcul des besoins de chauffage et de réfrigération, qui délimitent l'existence ou non de besoins de climatisation, ont été fixées à 14°C et 21°C respectivement. Cette décision s'appuie sur des travaux précédents menés dans des milieux méditerranéens (Buyukalaka *et al.*, 2001 ; Sailor *et al.*, 1997). Le tableau 1 montre les équations utilisées, selon les rapports établis entre les températures de base de chauffage et de réfrigération (T_{bc} et T_{br}), la température minimale (T_{min}), la température maximale (T_{max}) et la température moyenne journalière (T_{moy}).

Tableau 1 : Équations pour le calcul des degrés-jour chauffage (DJC) et réfrigération (DJR)

PARAMÈTRES	CONDITION	ÉQUATION	
DJC	$T_{min} \geq T_{bc}$	GDC = 0	
	$T_{max} \leq T_{bc}$	GDC = $T_{bc} - T_{moy}$	
	$T_{max} > T_{bc}$	$T_{moy} \leq T_{bc}$	GDC = $[(T_{bc} - T_{min})/2] - [(T_{max} - T_{bc})/4]$
	$T_{moy} > T_{bc}$	GDC = $(T_{bc} - T_{min})/4$	
DJR	$T_{max} \leq T_{br}$	GDR = 0	
	$T_{min} \geq T_{br}$	GDR = $T_{med} - T_{br}$	
	$T_{min} < T_{br}$	$T_{moy} \geq T_{br}$	GDR = $[(T_{max} - T_{br})/2] - [(T_{br} - T_{min})/4]$
	$T_{moy} < T_{br}$	GDR = $(T_{max} - T_{br})/4$	

À partir des valeurs journalières obtenues, nous avons fait l'agrégation annuelle par une sommation, puis on a calculé les valeurs cumulées moyennes annuelles de DJR et DJC pour la période d'observations et pour les trentaines des projections de changement climatique utilisées.

2.2. Spatialisation des variables

Nous avons modélisé les DJR et DJC en nous servant des variables physiographiques les mieux corrélées avec eux : l'altitude et la continentalité. Cette dernière variable peut s'exprimer à partir de formulations diverses, dont nous avons utilisé la distance logarithmique à la mer. La méthode utilisée pour la modélisation spatiale a été la régression linéaire multiple, qui montre des valeurs du coefficient de détermination (R^2) de 0,824 et 0,736 pour les DJC et les DJR respectivement.

2.3. La variable degrés-jour climatisation

La variable degrés-jour climatisation (DJCL) spatialisée pour toute l'Andalousie est le résultat de la somme des couches spatialisées des DJC et DJR. Elle est calculée à l'échelle annuelle car, aussi bien, il est possible que les deux seuils (température minimale journalière inférieure à 14 °C et température maximale journalière supérieure à 21 °C) soient dépassés au même endroit et dans la même journée ; en termes pratiques, il est très improbable que les deux types de besoins aient lieu.

3. Résultats

3.1. Échelle régionale

Dans l'actualité en Andalousie, les DJCL cumulés moyens annuels sont estimés en 1 436 degrés-jour. Les besoins potentiels de chauffage (DJC = 831,6) sont donc supérieurs à ceux de

¹ Les équations utilisées pour le calcul des degrés-jour réfrigération ont été obtenues par analogie avec celles proposées par Matzarakis *et al.* (2004) pour les besoins de chauffage.

réfrigération (DJR = 604,4) (Fig. 2). Au cours du XXI^e siècle, les besoins de climatisation, après une légère baisse dans la trentaine 2011-2040, augmenteront, notamment pendant la dernière trentaine du siècle. Cette évolution sera le résultat d'une forte hausse des DJR qui ne sera pas compensée par la baisse des DJC. Le bilan final montrera une hausse des besoins potentiels de climatisation pour la trentaine 2070-2100 de 3,3 % dans le meilleur des cas (CNCM3_B1) et de 17,8 % dans le pire (CNCM3_A2). Cette évolution sera aussi caractérisée par l'augmentation de l'importance du rôle joué par les besoins de réfrigération par rapport aux besoins de chauffage à partir de la deuxième trentaine du XXI^e siècle (Fig. 2).

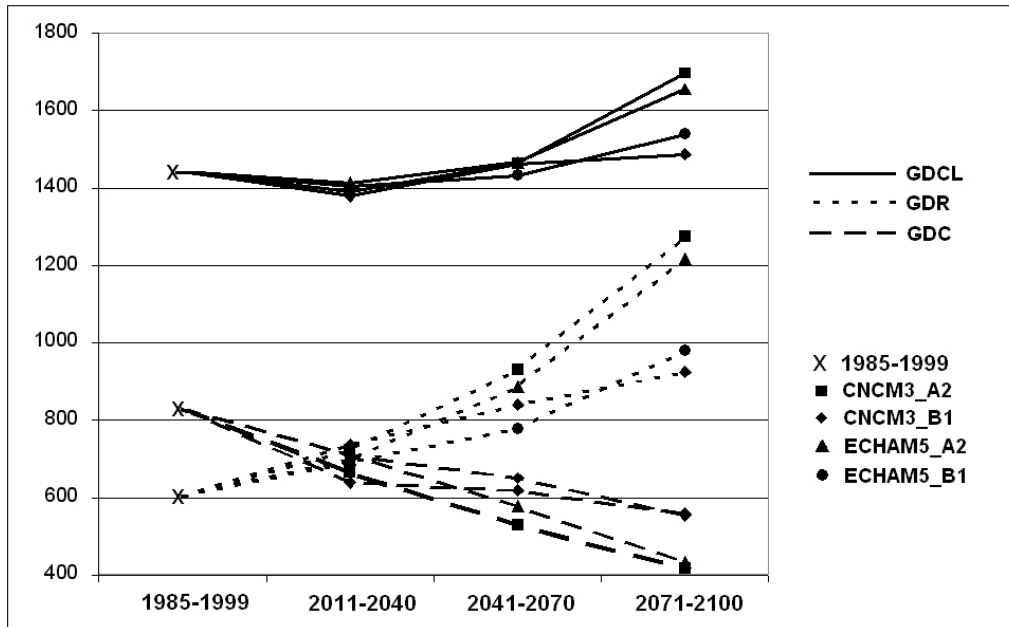


Figure 2 : Évolution des DJC, DJR et DJCL pour la période 2011-2100 en Andalousie

3.2. Les nuances territoriales. L'évolution à des échelles de détail

Dans la période 2071-2100, nous prévoyons que la plus grande partie de la région expérimentera une hausse des besoins de climatisations : 73,8 % dans le meilleur des cas (CNCM3_B1) et 87 % dans le pire (CNCM3_A2). Dans les deux cas, les territoires les plus touchés en général seront ceux situés au-dessous de 1 000 m d'altitude, dans lesquels les besoins de réfrigération (déjà très élevés actuellement) subiront une hausse considérable (Fig. 3). À l'opposé, les territoires situés à des altitudes plus élevées seront favorisés par cette évolution, car les besoins de chauffage y seront considérablement moindres, sans avoir toujours des besoins de réfrigération. Ce dernier cas concernera 0,5 % de la surface de la région (à partir d'environ 2 200 m d'altitude) selon le meilleur scénario (CNCM3_B1) et 0,2 % (à partir d'environ 2 500 m d'altitude) selon le scénario le moins favorable (CNCM3_A2).

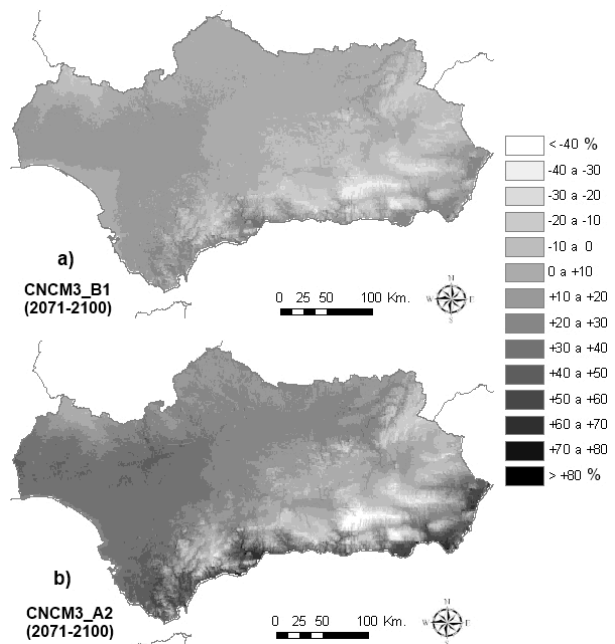


Figure 3 : Taux de changement de DJCL pour les projections CNCM3_B1 et CNCM3_A2 (2071-2100)

D'autre part, il y aura des parties de la région dans lesquelles la demande de climatisation n'augmentera guère, car l'accroissement des besoins de réfrigération n'y parviendra pas à contrecarrer l'effet de la baisse des besoins de chauffage. Cela se produira dans 12,8 % de la surface de la région selon la projection CNCM3_A2 et dans 25,7 % selon la projection CNCM3_B1.

Le rapport entre les besoins de chauffage et les besoins totaux de climatisation subira également des changements notables pendant le siècle. Actuellement, le pourcentage de surface de la région où les besoins de chauffage sont prédominants (là où le pourcentage de DJC sur les DJCL dépasse 50 %) est de 60,1 %. À la fin du XXI^e siècle, ce pourcentage aura baissé sensiblement dans tous les scénarios, jusqu'à 6,3 % dans le cas le plus sévère (CNCM3_A2), et jusqu'à 21,1 % dans le cas le moins marqué (CNCM3_B1) (Fig. 4).

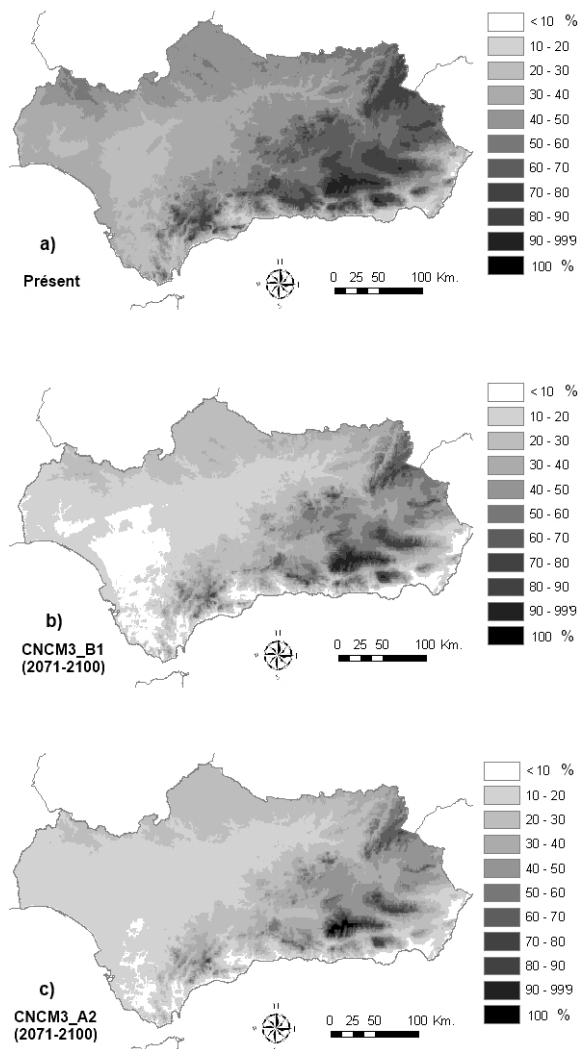


Figure 4 : Pourcentage de DJC sur les DJCL :
a) actuel ; b) estimé pour la projection CNCM3_B1(2071-2100) ; c) estimé pour la projection CNCM3_A2 (2071-2100)

Références bibliographiques

Aguilar E., Auer I., Brunet M., Peterson T.C., Wieringa J., 2003: *Guidelines on climate metadata and homogenization*. WCDMP-No. 53, WMO-TD No. 1186. World Meteorological Organization, Genève.

Bien que l'augmentation des besoins de climatisation ne semble pas excessive, elle devrait être prise en compte dans le cadre de la planification des demandes énergétiques dans l'avenir, car les territoires qui voient augmenter les besoins de réfrigération sont aussi les plus peuplés de la région. Cela déterminera une hausse des besoins réels de climatisation très supérieure à celle des besoins potentiels.

Nous envisageons dans le futur proche — en plus d'une amélioration de la méthode de spatialisation — d'incorporer la distribution de la population dans les calculs, de manière à obtenir une meilleure approche de l'estimation des besoins réels de climatisation.

Conclusions et perspectives

À partir des résultats de ce travail, il est possible de tirer les conclusions suivantes :

- à l'échelle générale, la région subira une hausse modérée des besoins de climatisation ;
- le chauffage, qui joue le rôle principal dans les besoins de climatisation actuels, cédera la place à la réfrigération à partir de la seconde trentaine du siècle.

Brunet M., Saladié O., Jones P., Sigró J., Aguilar E., Moberg A., Walther A., Lister D., López D., Almarza C., 2006: The development of a new daily adjusted temperature dataset for Spain (1850-2003), *International Journal of Climatology*, **26**, 1 777-1 802.

Büyükalaca O., Bulut H., Yılmaz T., 2001: Analysis of Variable-Base Heating and Cooling Degree-Days for Turkey, *Applied Energy*, **69(4)**, 269-283.

Christenson M., Manz H., Gyalistras D., 2006 : Climate warming impact on degree-days and building energy demand in Switzerland. *Energy Conversion and Management*, **47(6)**, 671-686.

Matzarakis A., Balafoutis C., 2004: Heating degree-days over Greece as an index of energy consumption. *Int. J. Climatology*, **24**, 1 817-1 828.

Sailor D., Muñoz R., 1997: Sensitivity of electricity and natural gas consumption to climate in the U.S.A: Methodology and results for eight states. *Energy*, vol. 22, **10**, 987-998.

Valor E., Meneu V., Caselles V., 2001: Daily Air Temperature and Electricity Load in Spain. *Journal of Applied Meteorology*, **40**, 1 413-1 414.