

## Etude expérimentale et modélisation des effets directionnels dans l'IRT en zone urbaine

Jean-Pierre Lagouarde, Patrick Moreau, Frédéric Sollic, Dominique Groleau,  
Mark Irvine, Jean-Marc Bonnefond, James Voogt

### ► To cite this version:

Jean-Pierre Lagouarde, Patrick Moreau, Frédéric Sollic, Dominique Groleau, Mark Irvine, et al..  
Etude expérimentale et modélisation des effets directionnels dans l'IRT en zone urbaine. Atelier de  
modélisation de l'atmosphère, Météo France. FRA., Dec 2002, Toulouse, France. hal-02762825

HAL Id: hal-02762825

<https://hal.inrae.fr/hal-02762825>

Submitted on 4 Jun 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.

## ETUDE EXPERIMENTALE ET MODELISATION DES EFFETS DIRECTIONNELS DANS L'IRT EN ZONE URBAINE

(1) Lagouarde J.-P., (1) Moreau P., (1) Sollic F., (2) Groleau D., (1) Irvine M., (1) Bonnefond J.-M.,  
(3) Voogt J.

(1) Unité de Bioclimatologie INRA, BP 81, 33883 Villenave d'Ornon

(2) CERMA, BP 81931, 44319 Nantes cedex 3

(3) Dept. of Geography, Univ. of Western Ontario, Canada

### Résumé

Une expérience destinée à caractériser les variations angulaires de la température radiative de surface en zone urbaine a été menée sur Marseille lors de la campagne CLU-ESCOMPTE en 2001. Le dispositif expérimental est basé sur l'utilisation d'une caméra IRT équipée d'un objectif grand-angulaire et embarquée sur un petit avion. Le protocole décrit permet de caractériser les effets angulaires pour des angles zénithaux de visée jusqu'à  $-60^\circ$ , et pour toutes les directions azimutales. Un premier résultat expérimental obtenu sur le centre ville ancien de Marseille révèle un effet de 'hot spot' marqué ( $\pm 4K$  dans le plan solaire principal). On présente ensuite les premiers résultats d'un travail de modélisation mené à partir de maquettes informatiques. La sensibilité des effets directionnels aux températures des toits et des murs exposés au soleil ou à l'ombre est illustrée.

### Introduction

La caractérisation des effets angulaires dans l'infrarouge thermique (IRT) a fait l'objet de nombreux travaux sur divers types de surfaces végétales (Paw U, 1992 ; Lagouarde et al., 2000). Les études consacrées au milieu urbain sont en revanche très rares. Les applications potentielles sont importantes : (i) normalisation des mesures de température par satellite en vue de l'analyse de séries temporelles par exemple (les angles zénithaux de visée peuvent atteindre respectivement  $60^\circ$  'across track' et  $55^\circ$  'along track' respectivement avec les capteurs AVHRR ou ATSR/AATSR à bord des satellites NOAA ou ERS/ENVISAT), ou encore (ii) extraction de paramètres de surface tels que les rugosités mécanique et thermique (Prévoit et al., 1994) en vue d'améliorer les estimations de flux de chaleur sensible. Les surfaces à structure complexe présentent par ailleurs des effets de 'hot spot' importants, que les travaux de modélisation ne prennent en général pas encore en compte de façon satisfaisante (Caselles et al., 1992 ; Smith et al., 1997). On présente dans la suite les premiers résultats de mesures directionnelles dans l'IRT réalisées sur l'agglomération marseillaise lors de la campagne ESCOMPTE 2001 au moyen d'un instrument aéroporté, ainsi qu'une approche de modélisation basée sur l'utilisation de maquettes informatiques 3D.

### Protocole expérimental

Une caméra infrarouge thermique (INFRAMETRICS 760) équipée d'un objectif grand angulaire (champ :  $\pm 37^\circ$ ,  $\pm 28^\circ$ ) est montée à bord d'un petit avion (PA 28) avec une inclinaison de  $22^\circ$  en arrière. L'angle zénithal de visée varie ainsi de  $-20$  à  $-60^\circ$  sur l'axe de vol (compte tenu de l'attitude - 'cabrage' - de l'appareil en vol). Le parcours d'un même axe selon des directions opposées, et la réalisation de séquences de 4 axes se croisant au-dessus de la zone d'étude (dans le plan solaire principal, dans le plan perpendiculaire et dans deux directions complémentaires à  $45^\circ$ ) permet d'échantillonner les températures directionnelles dans toutes les directions azimutales et jusqu'à des angles zénithaux de visée de l'ordre de  $60^\circ$ . Deux inclinomètres à réponse rapide montés sur le support de la caméra fournissent de plus les angles de tangage et de roulis. Les images acquises sur bande vidéo sont ensuite numérisées à une fréquence de 1 Hz. Elles subissent dans une première phase un prétraitement consistant en (1) une rectification géométrique (correction de la déformation en 'barillet' due à l'utilisation de l'objectif grand-angle), (2) une correction radiométrique dans le champ de l'image (correction de 'vignettage'), (3) un masquage (élimination de zones de texte, de parasites éventuels...), (4) une conversion en température de brillance.

Néko-France

Atelier de Modélisation

111

de l'Atmosphère, Toulouse, 17-19 décembre 2002.

Après avoir réalisé pour chaque image un masque permettant d'isoler la zone urbaine étudiée, le traitement consiste à extraire pour chacun de ses points la température directionnelle ainsi que les angles azimutaux et zénithaux de visée (en tenant compte du roulis et du tangage). La combinaison des divers axes de vol sur une séquence permet ensuite de calculer une température directionnelle moyenne pour chaque configuration ( $\theta_v$ ,  $\varphi_v$ ) de visée. Les effets atmosphériques qui varient avec l'épaisseur d'atmosphère traversée (et donc  $\theta_v$ ) sont corrigés au moyen du modèle LOWTRAN7 à partir des données de radiosondages effectués en simultanéité avec les vols. On obtient à l'issue de cette étape des températures radiatives de surface dont les variations directionnelles sont caractérisées par référence à la température verticale. Le lecteur pourra trouver une description détaillée de ce protocole dans Lagouarde et al. (2000).

Lors de la campagne ESCOMPTE, les acquisitions ont été faites sur 3 quartiers de structure très différente (centre ville ancien, zone pavillonnaire de Saint Barnabé, et zone de grands ensembles de La Rose), à 4 dates (26 et 29 juin, 10 et 12 juillet 2001) et à diverses heures de la journée. Nous ne présentons ici que les résultats préliminaires obtenus pour un survol du centre ville le 10 juillet autour de 14:15 TU.

### Résultats expérimentaux

La représentation synthétique des effets directionnels se fait dans un diagramme polaire (figure 1) : les rayons correspondent aux directions azimutales de visée tandis que les cercles concentriques indiquent les angles zénithaux de visée. On observe la présence d'un 'hot spot' correspondant à une direction de visée 'soleil dans le dos' pour laquelle la température mesurée excède la température verticale d'environ 3K. Ce phénomène connu est lié au fait que l'observateur 'voit' dans cette direction des zones majoritairement éclairées et donc plus chaudes. Dans le plan principal les effets angulaires présentent une forte dissymétrie et varient de -3K à 3K environ. Dans le plan perpendiculaire on note une symétrie des effets avec une amplitude plus réduite ( $\pm 2K$ ).

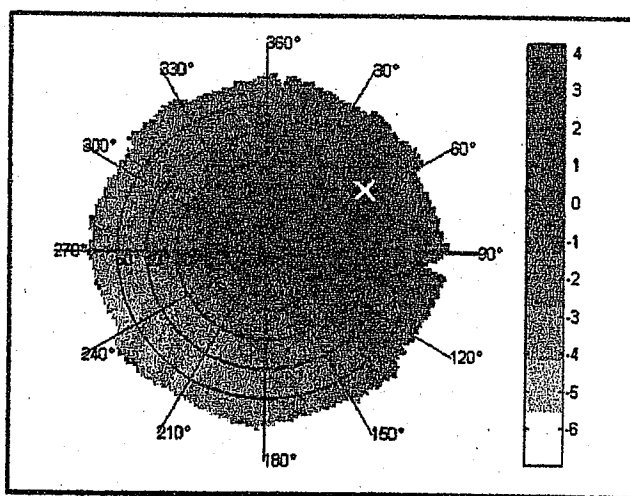


Figure 1 : variations directionnelles de la température radiative de surface sur le centre ville de Marseille le 10 juillet 2001, entre 14:02 et 14:30 TU. La croix blanche indique la position de la zone éclairée directement par le soleil (angles azimutal et zénithal solaires au moment du parcours de l'axe de vol dans le plan principal  $\theta_v \sim 35.2^\circ$ ,  $\varphi_v \sim 244.4^\circ$ ).

### Modélisation

La modélisation des effets directionnels est basée sur l'utilisation de maquettes informatiques de quartiers urbains. Deux approches sont menées en parallèle. L'une repose sur le modèle SOLENE du CERMA (<http://www.cerma.archi.fr>) qui permet de calculer les températures des parois des bâtiments à partir d'un bilan radiatif et énergétique des divers éléments de surface. L'autre approche – décrite dans cette note – est basée sur l'utilisation du logiciel de synthèse d'images Pov-Ray.

## Méthode

La maquette 3D utilisée ici a été construite par le CERMA à partir de la BD Topo IGN et des informations cadastrales pour un quartier du centre ville situé autour de la préfecture. Pov-Ray permet de simuler une image du quartier pour une configuration d'observation ( $\theta_v, \varphi_v$ ) et d'éclairement solaire ( $\theta_s, \varphi_s$ ) donnée. Un choix approprié des paramètres de la simulation (texture des surfaces, propriétés de réflectance...) permet de classer l'image ainsi générée en 6 classes (toits, murs, sol, chacun d'entre eux à l'ombre ou au soleil) dont on peut évaluer les pourcentages d'occupation  $\alpha_i$ . Si l'on fait l'hypothèse simplificatrice que l'ensemble des températures élémentaires du secteur urbain observé peut se réduire à un jeu de 6 valeurs de températures moyennes de surface  $T_{s_i}$  pour chacun de ces éléments, la température résultante directionnelle est évaluée par :

$$T_s(\theta_v, \varphi_v, \theta_s, \varphi_s) = [\sum \alpha_i T_{s_i}^4]^{1/4}$$

Les données expérimentales sont simulées en faisant varier la position de l'observateur et/ou la configuration solaire.

La construction de la maquette 3D n'est pas achevée à l'heure actuelle. La maquette ne couvrant encore qu'une surface réduite, celle-ci a été complétée en l'entourant de façon arbitraire par un certain nombre d'îlots de bâtiments réagencés. Ces îlots ont pour rôle d'éliminer les effets de bord, seule la partie centrale des images simulées étant utilisée dans le calcul des pourcentages d'occupation des diverses classes (figure 2).

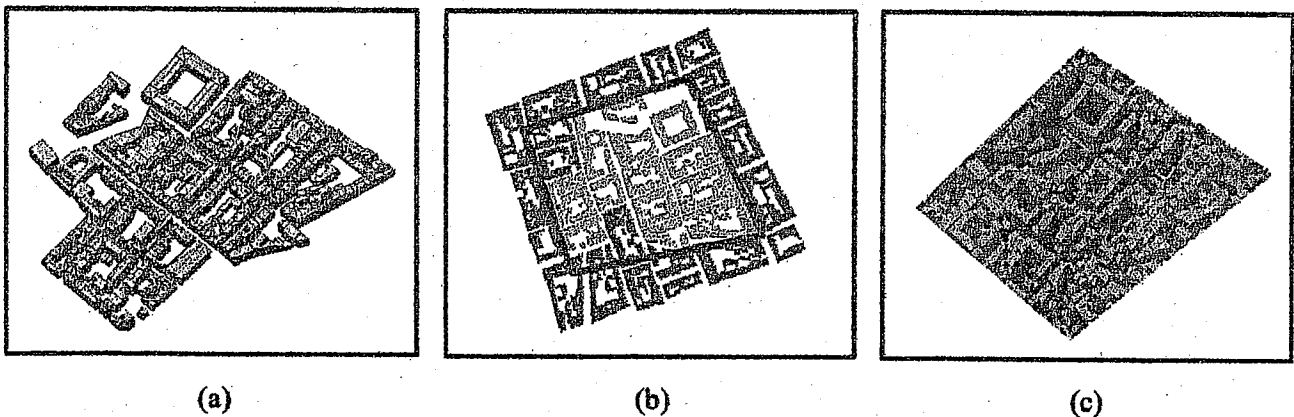


Figure 2 : (a) : maquette 3D initiale du quartier de la préfecture. (b) : la maquette est complétée par des îlots de bâtiments (en gris sombre), les calculs d'occupation des classes se faisant sur la zone centrale (à l'intérieur du cadre en trait épais). (c) : exemple de simulation pour une configuration solaire ( $\theta_s = 37.7^\circ$ ,  $\varphi_s = 248.2^\circ$ ) et de visée ( $\theta_v = 50^\circ$ ,  $\varphi_v = 230^\circ$ )

## Résultats préliminaires

La figure 3a illustre le résultat d'un premier test effectué dans la configuration solaire moyenne de l'expérience présentée ci-dessus ( $\theta_s = 37.7^\circ$ ,  $\varphi_s = 248.2^\circ$ ) avec des températures arbitraires de 25 et 35°C pour les parois et le sol respectivement à l'ombre et au soleil, et avec une température de 45°C pour les toits. Du fait de leur faible pente (de l'ordre de 20°) les toits sont très majoritairement au soleil, de sorte que l'influence des toits à l'ombre peut être ici négligée. Le fait de parvenir à restituer l'allure des résultats expérimentaux est prometteur et incite à explorer cette voie de modélisation plus avant. L'introduction de températures de surface réelles mesurées par l'équipe de l'Université de Western Ontario conduit cependant à des résultats nettement différents de la réalité (figure 3b). Des améliorations importantes doivent donc être apportées au modèle. En particulier, il convient

d'introduire une modulation de la température des toits en fonction de leur orientation qui conditionne largement le rayonnement global reçu.

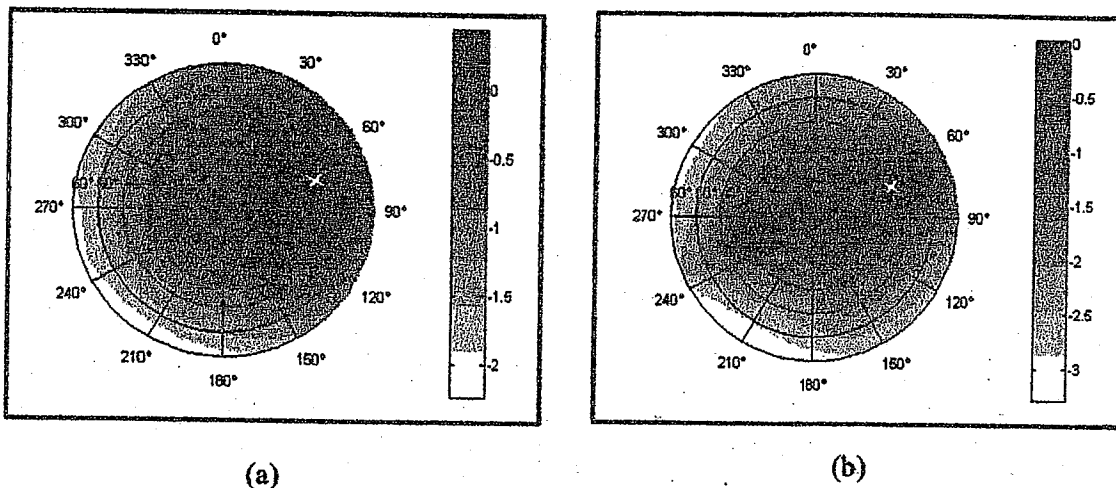


Figure 3 : simulation des effets directionnels. (a) : avec des températures arbitraires de parois et de sol de 25 et 35°C à l'ombre et au soleil, et de 45°C pour les toits (les toits à l'ombre sont négligés). (b) : avec des températures issues de mesures au sol (murs 27.7/32.1°C, sol 30/39°C toits 32.8/42°C ombre/soleil). La croix indique la position de la zone directement éclairée ( $\theta_s = 37.7^\circ$ ,  $\phi_s = 248.2^\circ$ ).

### Conclusion

Les premiers résultats expérimentaux mettent clairement en évidence l'existence d'un hot spot marqué comme cela avait pu être observé sur d'autres couverts complexes, tels que les couverts forestiers (Lagouarde et al., 2000). Les acquisitions ayant été faites sur 3 quartiers de structure très différente (centre ville ancien, zone pavillonnaire, et zone de grands ensembles), à 4 dates et à diverses heures de la journée, l'analyse du jeu complet de données permettra de préciser les effets combinés de la structure de la surface et de la configuration d'éclairement (position solaire). Au niveau de la modélisation, on évaluera les possibilités d'inversion offertes par cette approche de modélisation après amélioration de la prise en compte de l'effet de l'orientation des toits.

### Références

- Caselles V., Sobrino J.A. and Coll C. (1992). A physical model for interpreting the land surface temperature obtained by remote sensors over incomplete canopies. *Remote Sens. Environ.*, 39, 203-211.
- Lagouarde J.P., Ballan H., Moreau P., Guyon D., Coraboeuf D., 2000 : Experimental study of brightness surface temperature angular variations of Maritime Pine (*Pinus Pinaster*) stands. *Remote Sens. Environ.*, 72, 17-34.
- Paw U K.T. (1992). Development of models for thermal infrared radiation above and within plant canopies. *ISPRS Journal of Photogrammetry and remote Sensing*, 47, 189-203.
- Prévoit L., Brunet Y., Paw U K.T. and Seguin B. (1994). Canopy modelling for estimating sensible heat flux from thermal infrared measurements. *Proc. 'Thermal remote sensing of the energy and water balance over vegetation' Workshop*, La Londe-les-Maures, sept. 1993. CEMAGREF Ed., 17-22.
- Smith J.A., Chauhan N.S., Schmugge T.J. and Ballard J.R. (1997). Remote sensing of land surface temperature: the directional viewing effect. *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sens.*, Vol 35, n° 4, 972-974.

### Remerciements :

Ce travail a été effectué dans le cadre du programme ESCOMPTE (<http://medias.obs-mip.fr/escomppte>) et a été soutenu par le PNTS et le PATOM. Il a bénéficié de l'appui de Météo France qui a réalisé les radiosondages simultanément aux vols. Nous remercions également la Société SAAL d'Aix-en-Provence.