

**Caractérisation expérimentale de l'anisotropie  
directionnelle des mesures dans l'infrarouge thermique  
sur un milieu urbain en conditions hivernales : premiers  
résultats obtenus sur Toulouse lors de la campagne  
CAPITOUL**

Jean-Pierre Lagouarde, Mark Rankin Irvine, Patrick Moreau, Britta Kurz,  
Grégoire Pigeon, Valéry Masson

► **To cite this version:**

Jean-Pierre Lagouarde, Mark Rankin Irvine, Patrick Moreau, Britta Kurz, Grégoire Pigeon, et al.. Caractérisation expérimentale de l'anisotropie directionnelle des mesures dans l'infrarouge thermique sur un milieu urbain en conditions hivernales: premiers résultats obtenus sur Toulouse lors de la campagne CAPITOUL. Atelier de Modélisation de l'Atmosphère, Météo-France, Jan 2007, Toulouse, France. 1 p., 2007. hal-02823054

**HAL Id: hal-02823054**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02823054>**

Submitted on 6 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.

# CARACTÉRISATION EXPÉRIMENTALE DE L'ANISOTROPIE DIRECTIONNELLE DES MESURES DANS L'INFRAROUGE THERMIQUE SUR UN MILIEU URBAIN EN CONDITIONS HIVERNALES : PREMIERS RÉSULTATS OBTENUS SUR TOULOUSE LORS DE LA CAMPAGNE CAPITOUL

J.-P. Lagouarde (1), M. Irvine (1), P. Moreau (1), B. Kurz (1), G. Pigeon (2), V. Masson (2)

(1) INRA, UR1263 EPHYSE, 71 avenue E. Bourlaux, F-33140 Villenave d'Ornon, France  
 (2) Météo France/CNRS CNRM-GAME, 42 av Coriolis, 31057 Toulouse, France

## Introduction

Des mesures expérimentales de l'anisotropie directionnelle dans l'infrarouge thermique (IRT) réalisées sur Marseille dans le cadre d'ESCOMPTE (2001) ont révélé une forte anisotropie et des effets de hot spot importants sur les milieux urbains (Lagouarde et al., 2004) avec des variations de -5 à +7K dans le plan principal en conditions estivales diurnes. Les travaux sur la caractérisation de l'anisotropie directionnelle dans l'IRT obéissent aux motivations suivantes :

- Accès aux températures des différentes strates de la canopée urbaine en vue de l'amélioration des estimations de flux de chaleur sensible
- Assimilation des données IRT dans les modèles de surface
- Correction angulaire des données des satellites à large champ indispensable à l'analyse fine de la variabilité temporelle et/ou spatiale des températures de surface
- Définition de configurations de visée optimales et recommandations pour des futurs systèmes spatiaux dans l'IRT

Des mesures réalisées sur Toulouse lors de la campagne CAPITOUL permettent d'étendre les résultats acquis sur Marseille à des cas de conditions hivernales et de conditions nocturnes. Un essai préliminaire de modélisation de l'anisotropie directionnelle nocturne IRT est également proposé.

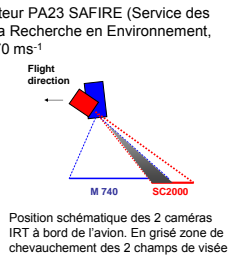
## Campagnes expérimentales

### Dispositif expérimental

Les mesures de température radiative de surface ont été effectuées à l'aide de 2 caméras infrarouge thermique (IRT)

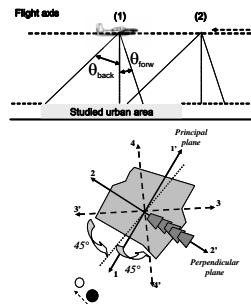
- **INFRAMETRICS M740** équipée d'un objectif grand angulaire de 80°, visée arrière avec une inclinaison de 10°, acquisition 1 Hz
- **FLIR SC2000**, objectif 24°, inclinaison AR 50°, acquisition 4.3 Hz

... utilisées en aéroporté sur le bimoteur PA23 SAFIRE (Service des Avions Français Instrumentés pour la Recherche en Environnement, <http://www.safire.fr>). Vitesse avion 70 ms<sup>-1</sup>



### Protocole

- Parcours de plusieurs axes de vol se croisant à la verticale du site central CAPITOUL (MONOPRIX)
- Réalisation de radiosondages simultanément aux vols
- Acquisitions manuelles de Ts des éléments urbains (façades, sols, toits) au moment des vols



### Traitement des données

- Etalonnage M740 au laboratoire et intercalibration en continu en vol par rapport à la caméra SC2000 sur la zone de superposition des champs de visée
- Corrections radiométriques et géométriques
- Corrections atmosphériques : LOWTRAN 7



Extrait (~3500x4400m) d'une photographie aérienne du centre de Toulouse (photo IGN du 24 juin 1998). Les axes de vol en conditions nocturnes sont figurés en pointillés. En blanc la zone d'étude considérée.

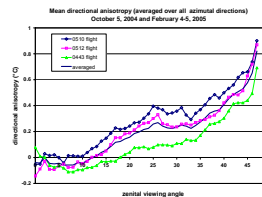
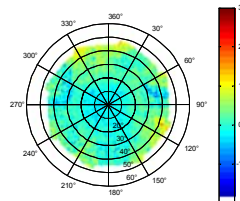
N° vol	heure (TU)	
0443 (04/10/2005)	22:40 – 23:17	NUIT
0509 (24/02/2005)	09:06 – 09:52	MATIN
0510 (24/02/2005)	21:45 – 22:42	NUIT
0511 (25/02/2005)	13:52 – 14:27	APRÈS-MIDI
0512 (25/02/2005)	21:56 – 22:50	NUIT

Récapitulatif des vols dont les résultats sont présentés dans le poster

## Résultats

### Anisotropie directionnelle IRT nocturne

Anisotropie directionnelle IRT pour la nuit du 24 février 2005 (vol 0510). L'échelle de couleur correspond à la différence de température entre visées obliques et nadir. Les rayons et cercles concentriques correspondent aux angles azimutaux et zénithaux de visée respectivement



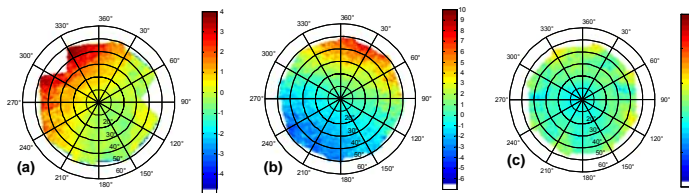
Variation de l'anisotropie avec l'angle zénithal de visée (θ<sub>v</sub>) tous azimuts confondus pour les 3 nuits des 04/10/2004 et 24-25/02/2005

- Pas d'effet azimutal φ<sub>v</sub>
- Anisotropie < 1K pour θ<sub>v</sub> < 50°

### Evolution de l'anisotropie directionnelle IRT au cours du cycle de 24 heures

Evolution de l'anisotropie directionnelle IRT sur le centre-ville de Toulouse au cours des 24 et 25 février 2005 :

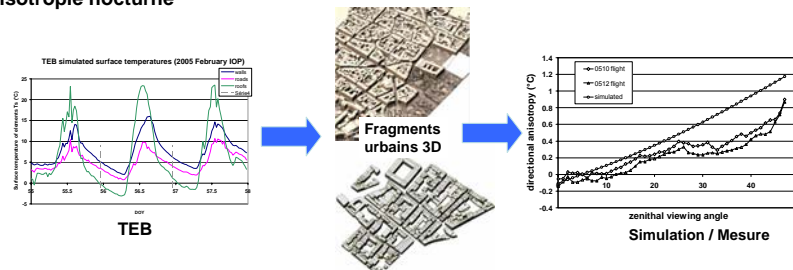
- (a) 24 février, matin (09:06 – 09:52 TU)
- (b) 25 février, après-midi (13:52 – 14:27 TU)
- (c) moyenne des nuits des 24 et 25 février (21:45 – 22:42 TU et 21:56 – 22:50 TU).



- Confirmation des résultats ESCOMPTE avec une forte anisotropie diurne et hot spot :  
 -1 → +4 K (matin)  
 -4 → +8 K (après-midi)
- Pas d'effet résiduel d'inertie thermique en milieu de nuit

### Essai préliminaire de simulation de l'anisotropie nocturne

- Génération de scènes dans les directions azimutales [0 – 360°] et zénithales [0 – 50°] à l'aide du logiciel PovRay (<http://www.povray.org>) et 'une maquette 3D du milieu urbain
- Extraction, des fractions % d'éléments urbains (façades, toits, sol) pour chaque direction de visée
- Estimation des températures directionnelles par pondération des températures des éléments fournies par TEB (modèle Town Energy Budget, Masson, 2000)
- Confrontation avec les résultats expérimentaux



- Résultats prometteurs à confirmer (écart simulation / expérience ~0.4K) et à étendre jusqu'à θ<sub>v</sub> = 65° (à l'aide des données de la caméra FLIR)
- Impact de l'hypothèse d'uniformité des températures élémentaires des facettes au sein de chaque classe à évaluer

## Conclusions

- ◆ Confirmation des résultats ESCOMPTE en conditions diurnes : forte anisotropie directionnelle IRT et hot spot
- ◆ Effets directionnels réduits de nuit (<1° pour θ<sub>v</sub> < 50°). Pas d'effet azimutal
- ◆ Effets d'inertie thermique gommés 6h après le coucher du soleil
- ◆ Intérêt potentiel des maquettes 3D pour la modélisation de l'anisotropie directionnelle
- ◆ Couplage TEB

### Références :

Lagouarde J.-P., Ballans H., Moreau P., Guyon D. & Coraboeuf D. (2000). *Remote Sens. Environ.*, 72, 17-34.  
 Lagouarde J.-P., Moreau P., Irvine M., Bonnefond J.-M., Voogt J., Solliet F. (2004). *Remote Sensing Environ.*, 93 (4), 443-462.  
 Masson, V. (2000). *Boundary Layer Meteorol.*, 98, 357-397.

### Remerciements :

les auteurs remercient l'équipe SAFIRE pour la réalisation des campagnes aéroportées IRT