

BILANS RADIATIF ET D'ÉNERGIE DANS UN CANYON URBAIN

G. NAJJAR¹, P.P. KASTENDEUCH², N. RINGENBACH¹, J.R. COLIN¹, M.P. STOLL¹, F. NERRY¹, J. BERNARD¹, A. DE HATTEN¹, R. LUHAHE¹, D. VIVILLE²

¹ Laboratoire des Sciences de l'Image, de l'Informatique et de la Télédétection (UMR 7005 ULP/CNRS) Pole API, B.P. 10413, 67412 Illkirch CEDEX, France. najjar@equinoxe.u-strasbg.fr

² Centre de Géochimie de la Surface (UMR 7517 ULP/CNRS), Université Louis Pasteur, Strasbourg, France

Résumé

Une campagne de mesures en climatologie urbaine a été réalisée durant l'été 2002 à Strasbourg dans le cadre du projet RECLUS. Parmi les sites de mesures, un échafaudage installé dans une rue a permis de réaliser des mesures continues de différents paramètres météorologiques sur quatre niveaux. L'objectif était de documenter les différents processus physiques qui interviennent dans l'élaboration du microclimat à l'intérieur d'un canyon urbain. Le présent article décrit les mesures et les premiers résultats obtenus en ce qui concerne les bilans radiatifs et d'énergie à l'échelle du canyon urbain.

Mots-clés : bilan radiatif, bilan d'énergie, climatologie urbaine, canyon urbain

Abstract

Radiation and energy budgets in an "urban canyon"

A measurement campaign in urban climatology was carried out in the Strasbourg area during the summer 2002 (RECLUS project). A scaffolding was installed in an urban canyon oriented NNE-SSW with a height/width ratio (H/L) approximately equal to one. The measurements were done at 4 levels. At each level all the components of radiation balance were measured horizontally and parallel to the walls oriented E and W. The meteorological parameters like temperature humidity and wind turbulence were also registered. Finally at the top of the canyon (the roof level), the turbulent, sensible and latent heat fluxes were measured for a week. This paper describes results concerning radiative and energy balance in urban canyon.

Keywords: radiation balance, energy balance, urban climatology, urban canyon

Introduction

Ces dernières années, la climatologie urbaine, jusque là focalisée surtout sur l'Ilot de Chaleur Urbain (ICU), s'intéresse de plus en plus à l'étude des échanges radiatifs et d'énergie entre la surface urbaine et l'atmosphère (Mestayer et Anquetin, 1994). Ces échanges modifient les caractéristiques de la

masse d'air au contact de cette surface et sont à l'origine de la création d'une couche limite urbaine (CLU) dont l'ICU est une manifestation.

Les climatologues distinguent dans cette couche deux parties :

- à la base, entre la surface et la hauteur moyenne des bâtiments, s'étend la « canopée urbaine », couche dans laquelle se produisent la majeure partie des échanges d'énergie et de masse, y compris la pollution. Sa connaissance est primordiale, surtout dans l'étude de la mosaïque microclimatique à l'intérieur de la ville. L'unité élémentaire d'étude y est le canyon urbain (Nunez et Oke, 1977), dont la géométrie est caractérisée de manière simple par un indice (H/L), qui est le rapport entre la hauteur (H) des bâtiments et la largeur (L) de la rue.

- la deuxième, au-dessus de la canopée, se trouve elle-même subdivisée en sous-couches de rugosité, de mélange, etc. Les modèles atmosphériques non hydrostatiques actuels, utilisent pour cette couche des mailles de l'ordre de quelques centaines de mètres, ce qui correspond au quartier ou fragment urbain, termes désignant la juxtaposition de plusieurs canyons de géométrie sensiblement identique mais d'orientation différente

L'un des sujets actuels de recherche dans ce domaine est la connexion entre ces deux couches, autrement dit, l'étude du passage d'échelle entre le canyon urbain, unité élémentaire dans la canopée, et le quartier, unité élémentaire dans la couche au-dessus. La solution a priori la meilleure pour étudier les flux radiatifs et d'énergie dans chacune de ces couches, consiste à effectuer des mesures. Si les techniques actuelles offrent le moyen de mesurer avec une bonne précision les différents termes de bilans, la représentativité spatiale de ces mesures est cependant fortement limitée par l'hétérogénéité du milieu urbain et sa complexité. Il est par ailleurs impossible de multiplier indéfiniment les sites de mesures (Najjar et al., 2000). Pour ces raisons, on procède en climatologie urbaine à la combinaison des mesures ponctuelles ou d'extension réduite avec des modèles à base physique. Ces modèles, adaptés à chacune des échelles, une fois testés et validés par confrontation aux mesures qui constituent la seule vérité terrain, permettent de prendre en compte l'hétérogénéité du système urbain et de suppléer aux mesures directes.

C'est cette démarche que nous avons utilisée pour nos recherches de climatologie urbaine à Strasbourg, menées dans le cadre du projet RECLUS : Rayonnement, Energie dans la Couche Limite Urbaine de Strasbourg (Najjar et al., 2004) et s'appuyant sur une campagne de mesures réalisée durant l'été 2002 (du 7 juillet au 20 août). Les principaux objectifs de cette campagne de mesures étaient :

- d'acquérir la vérité terrain à partir des mesures des différentes composantes des bilans radiatifs et d'énergie à l'échelle du canyon, du quartier et même de l'agglomération pour certains paramètres.

- d'analyser ces résultats et de tester et de valider les modèles adaptés à l'échelle du canyon et du quartier, en l'occurrence SOLENE (CERMA de Nantes, Groleau et Marenne, 2001) et TEB-ISBA (Masson, 2000).
- de mettre au point et tester les méthodes d'agrégation qui permettent le passage d'échelles entre le canyon, le quartier et l'agglomération.
- d'étudier l'apport de la télédétection dans ce type de démarche, à la fois comme moyen de validation mais aussi comme source de données d'entrée pour les modèles.

Dans cet article, nous limiterons notre démarche à la présentation et l'analyse des résultats des mesures réalisées dans le canyon urbain. Il faut signaler que ces résultats et les graphiques qui les accompagnent sont exprimés en temps universel (TU).

1. Description du site et de l'instrumentation

Contrairement à d'autres études (Nunez et Oke, 1979) portant sur des canyons simplifiés (symétrie parfaite, couleur homogène, absence de fenêtre et de végétation), le site choisi pour cette étude est une rue réelle, avec toute sa complexité. Néanmoins, nous avons cherché à nous rapprocher au maximum des conditions d'un canyon idéal. Le site de mesures choisi est la rue de l'Argonne, située à 2 km du centre ville, dans une zone de bâti dense (cf. carte de localisation, figure 1). Elle est orientée Nord Nord-Est, Sud Sud-Ouest (35° par rapport au Nord géographique). Ce canyon possède un indice proche de 1 (hauteur moyenne des bâtiments de 22 m (H) pour une largeur de 24 m (L), ce qui donne un rapport (H/L) de 0.9). La rue aux bâtiments jointifs et aux façades relativement homogènes et symétriques est située dans une zone résidentielle. La végétation occupe une surface réduite à l'intérieur du canyon, qui est bien représentatif du quartier dans lequel il est situé.

Les mesures des flux (radiatif, chaleur sensible, chaleur latente et quantité de mouvement) ont été réalisées à l'aide d'un dispositif très complet installé sur un échafaudage de 25 m de haut et de 5 m de long (figure 2) disposé perpendiculairement à l'une des façades du canyon (celle qui fait face à l'Est Sud-Est), afin de pouvoir réaliser des mesures le long des parois, ainsi qu'au-dessus de la rue à 4 niveaux de hauteur. Tous les instruments ont été installés sur des bras horizontaux permettant de déporter les appareils et de limiter l'influence de la structure de l'échafaudage (figure 3). Les mesures réalisées à ces niveaux sont les suivantes :

- aux courtes longueurs d'ondes, les flux radiatifs incident et réfléchi (pyranomètres) ; aux grandes longueurs d'ondes, les flux incident et émis (y compris la partie réfléchie, par des pyrgeomètres). Ces mesures ont été effectuées à la fois à l'horizontale et parallèlement aux murs ;

- le flux de chaleur sensible et de quantité de mouvement par des anémomètres soniques (3 niveaux du 28 juillet au 13 août, puis 4 niveaux pour le reste de l'expérience) ;
- les vecteurs vent et les paramètres de turbulence dérivés des mesures des anémomètres soniques 3D ;
- la température et l'humidité dans des abris ventilés ;

Le flux de chaleur latente n'a été mesuré qu'au sommet du canyon, pour la période de beau temps du 14 au 20 août 2002, par un hygromètre à krypton (KH20 Campbell Scientific). De plus, la température de brillance locale de la surface asphaltée de la rue et de l'une des façades a été mesurée dans la bande 8-14 microns par le biais de radio-thermomètres Everest.

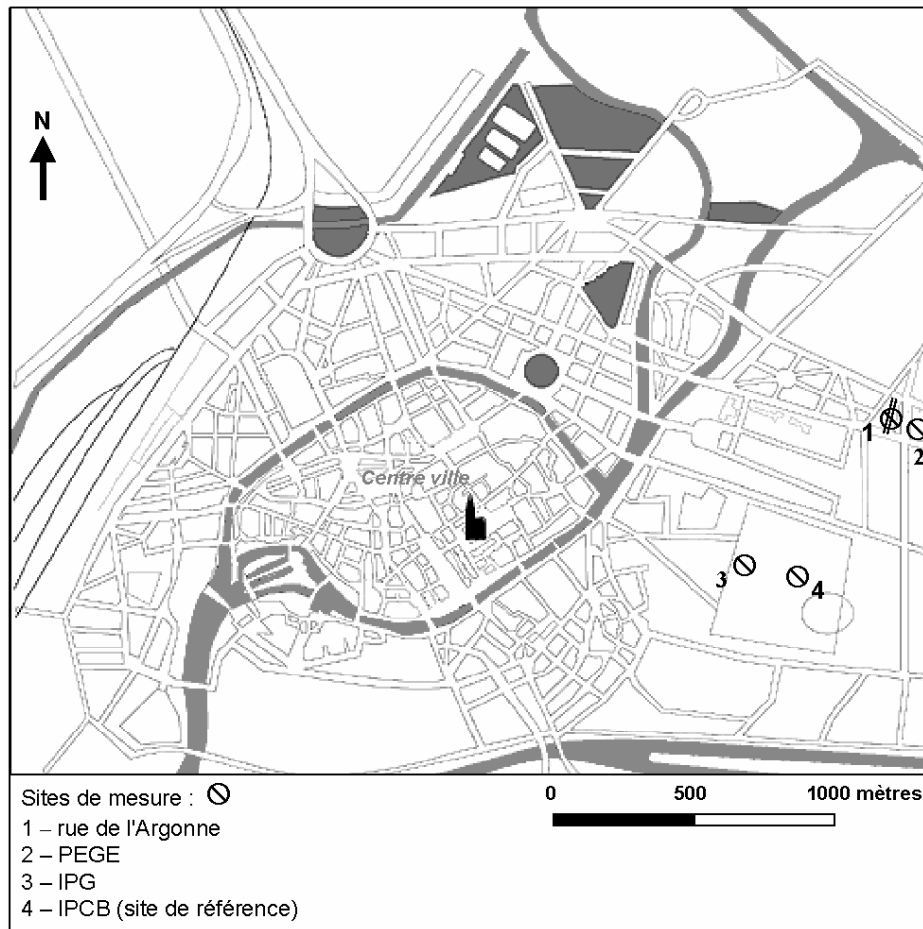


Figure 1 : Carte de localisation des sites. *Map of the measurement sites locations.*



Figure 2 : Photographie du canyon urbain. *Photograph of the studied urban canyon.*



Figure 3 : Photographie de quelques instruments installés sur l'échafaudage. On y voit notamment un anémomètre sonore, un bilan-mètre... *Photograph of some of the measurement devices on the scaffolding.*

Lors des Périodes d'Observation Intensives (POI, 27-28 juillet et 14 août) des mesures supplémentaires ont été réalisées dans ce canyon afin d'obtenir les informations indispensables à la conduite de la modélisation. Il s'agit :

- des mesures de réflectance sur des surfaces test (eau, béton, toit...) par un spectromètre GER 3700 et un radiomètre BARRINGER HHRR (équipé des filtres Landsat-TM et SPOT), ainsi que des mesures d'émissivité par un radiomètre infrarouge CIMEL ;
- des mesures distribuées de la température de surface des bâtiments du canyon urbain à l'aide d'une caméra infrarouge (AGA 786) montée sur un chariot mobile.

En ce qui concerne le rayonnement entrant au sommet de la canopée urbaine, Strasbourg dispose depuis quelques années d'une station de référence située sur le toit d'un bâtiment (IPCB, figure 1). Grâce à une monture équatoriale automatique SCI-TEC, qui suit en permanence la trajectoire du soleil, ce dispositif permet des mesures continues du :

- rayonnement solaire direct (pyrhéliomètres CH1, K&Z)
- rayonnement solaire diffus (pyranomètre CM11, K&Z équipé d'une boule)
- rayonnement infrarouge atmosphérique (pyrgéomètre CG1, K&Z)

En complément deux pyranomètres (CM11 K&Z), dont l'un est équipé d'un cache solaire, permettent une mesure du rayonnement solaire global et diffus.

2. Le bilan radiatif dans le canyon

2.1 L'éclairement solaire horizontal

Dans le canyon urbain, l'éclairement solaire incident mesuré à l'horizontale montre des différences importantes entre le sommet et la base qui s'expliquent par l'effet de masque exercé par les façades (figure 4). La durée pendant laquelle le rayonnement direct qui atteint le capteur diminue quand l'effet de masque augmente. Cet effet se traduit par un déficit d'énergie d'autant plus important que l'on s'enfonce dans le canyon.

Le rayonnement solaire réfléchi mesuré à l'horizontale présente une évolution temporelle qui varie selon le niveau dans le canyon (figure 5). Le matin (entre 4 et 9 h), il est plus important aux niveaux supérieurs. Ceci est dû au fait que les parties hautes du canyon sont éclairées en premier, donc réfléchissent une plus grande quantité d'énergie que les parties basses, qui sont encore à l'ombre. Au milieu de la journée (de 9 à 14 h), alors que le fond du canyon est entièrement éclairé par le soleil, cette tendance s'inverse : le rayonnement réfléchi est plus fort aux niveaux inférieurs (5.7 m) qu'aux niveaux supérieurs (15.7 m). En effet, dans cette situation, les capteurs les plus hauts intègrent dans leur champ de vision une plus grande proportion de

surfaces à l'ombre, que les capteurs les plus bas. La configuration en fin de journée (de 14 h à 19 h) est identique à celle du matin puisque, avec le soleil couchant, la base du canyon passe à l'ombre en premier, alors que les parties supérieures des façades encore éclairées sont capables de réfléchir une bonne part du rayonnement solaire reçu.

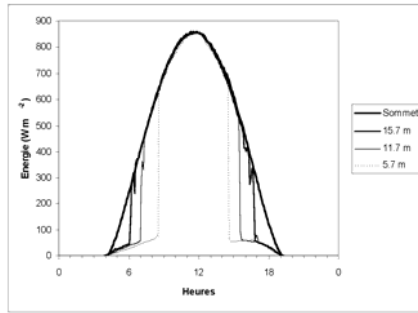


Figure 4 : Eclairage solaire global mesuré horizontalement à plusieurs niveaux (5.7, 11.7, 15.7m et sommet) dans le canyon pour une journée ensoleillée (28 juillet 2002). *Global solar irradiation horizontally measured at different levels for a sunny day.*

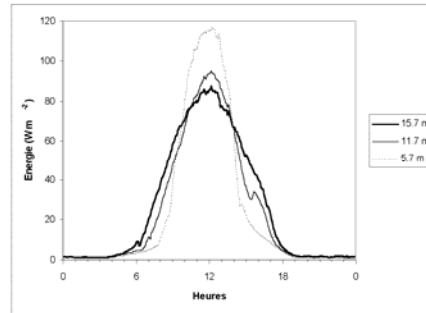


Figure 5 : Rayonnement solaire réfléchi mesuré horizontalement à plusieurs niveaux (5.7, 11.7, 15.7m et sommet) dans le canyon pour une journée ensoleillée (28 juillet 2002). *Reflected solar radiation horizontally measured at different levels for a sunny day.*

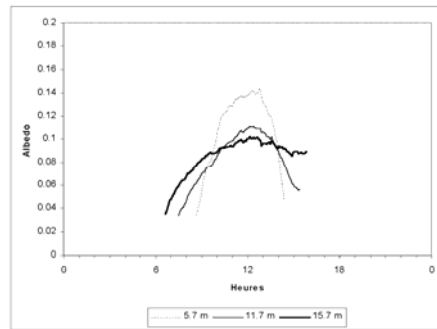


Figure 6 : Albédos apparents calculés à plusieurs niveaux (5.7, 11.7, 15.7m et sommet) dans le canyon pour une journée ensoleillée (28 juillet 2002). *Apparent albedos computed at different levels for a sunny day (July 28, 2002).*

Ces données permettent de calculer un albédo apparent du canyon à chaque niveau. Ces albédos ont été uniquement calculés durant la période pendant laquelle le capteur était exposé directement au soleil. Les valeurs obtenues au sommet du canyon (figure 6) sont de l'ordre de 0.1 à 0.12 et restent faibles en comparaison des valeurs souvent constatées en milieu rural (0.2 pour la

végétation ; 0.11 à 0.15 pour la forêt ; 0.25 à 0.3 pour un sol nu). On note que le comportement de l'albédo apparent aux 3 niveaux rappelle celui du rayonnement diffus décrit précédemment. Il augmente le matin et décroît l'après-midi (en variant parfois du simple au double) et quand on compare les niveaux, les valeurs de l'albédo diminuent en allant du sommet du canyon vers la base en début et en fin de journée, alors que c'est l'inverse en milieu de journée.

2.2 Le rayonnement solaire reçu par les façades

Pour un canyon orienté Nord Nord-Est, Sud Sud-Ouest, comme celui de la rue de l'Argonne, le rayonnement direct éclaire alternativement les façades le matin et le soir (figure 7). La face Est Sud-Est est d'abord éclairée le matin et progressivement du sommet vers la base. La face Ouest Nord-Ouest est éclairée dans l'après-midi et l'ombre gagne progressivement de la base vers le sommet. La dissymétrie entre les courbes est due à la géométrie du canyon, à son orientation (NNE-SSO), mais aussi au fait que le capteur n'est pas situé exactement au milieu de la rue. En dehors des périodes d'éclairage direct, les façades ne reçoivent que du rayonnement diffus et réfléchi. Ce dernier présente une dissymétrie due notamment à la différence d'albédo des matériaux des deux façades (0.16 et 0.25).

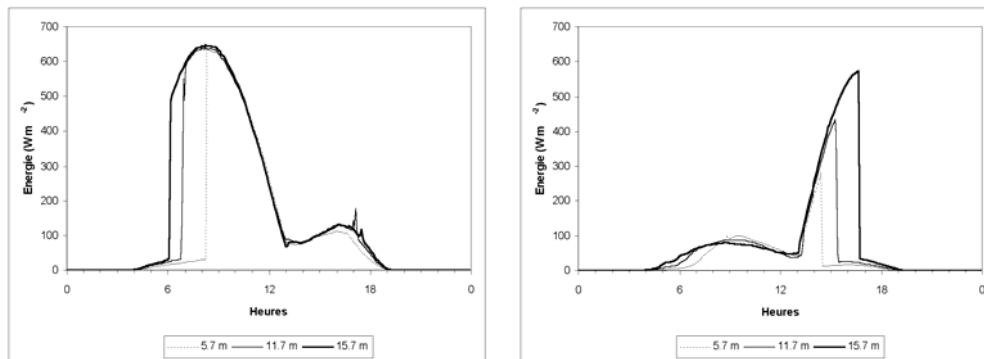


Figure 7 : Rayonnement solaire global mesuré au centre du canyon par un albedomètre orienté verticalement pour une journée ensoleillée (28 juillet 2002). La figure (a) présente le rayonnement reçu par les capteurs tournés vers l'Est Sud-Est (face ESE), alors que la figure (b) c présente le rayonnement reçu par les capteurs tournés vers l'Ouest Nord-Ouest (face ONO). *Global solar irradiation measured at the center of the canyon using a vertical albedometer. 7a: Irradiation measured for the ESE face. 7b: same as 7a but for WNW face.*

2.3 Le rayonnement infrarouge

2.3.1 Le rayonnement infrarouge descendant

Les mesures réalisées au sommet et à deux niveaux dans le canyon (5.7 et 11.7 mètres) montrent une évolution journalière similaire (figure 8). A l'intérieur du canyon, la différence entre les valeurs mesurées est très faible,

avec des valeurs légèrement supérieures pour le niveau le plus bas, notamment en milieu de journée. L'infrarouge incident au sommet est en moyenne inférieur de 30 Wm^{-2} à celui à l'intérieur du canyon. Cette différence est due au fait que l'infrarouge mesuré au sommet du canyon provient essentiellement de l'atmosphère, alors que les capteurs placés dans le canyon intègrent une quantité non négligeable d'infrarouge en provenance des façades.

2.3.2 Le rayonnement infrarouge ascendant

Les valeurs mesurées de l'infrarouge ascendant (figure 8) sont beaucoup plus élevées que celles de l'infrarouge descendant (de 80 à 100 Wm^{-2}). Les courbes montrent très peu de différences au cours de la nuit entre le sommet et l'intérieur du canyon, ce qui peut s'expliquer par un équilibre thermique entre les façades, la surface de la rue et l'air à l'intérieur du canyon (cf. figure 9, températures). Pendant la journée, des différences notables apparaissent et on peut distinguer deux types d'évolutions en fonction de l'éclairement du canyon :

- puisque en début de matinée ce sont les parties hautes des façades qui sont éclairées en premier, ce sont elles qui s'échauffent le plus par rapport au fond du canyon. Ceci explique pourquoi l'infrarouge ascendant augmente au fur et à mesure que l'on s'élève dans le canyon, puisque les capteurs les plus élevés intègrent dans leur champ de vision une plus grande proportion de surfaces éclairées que de surfaces à l'ombre.
- en milieu de journée, le canyon est entièrement éclairé et c'est la rue qui reçoit le plus efficacement le rayonnement solaire, ce qui se traduit par un réchauffement intense (cf. figure 9, températures) et permet d'expliquer aisément pourquoi le rayonnement infrarouge est plus fort au niveau le plus bas.

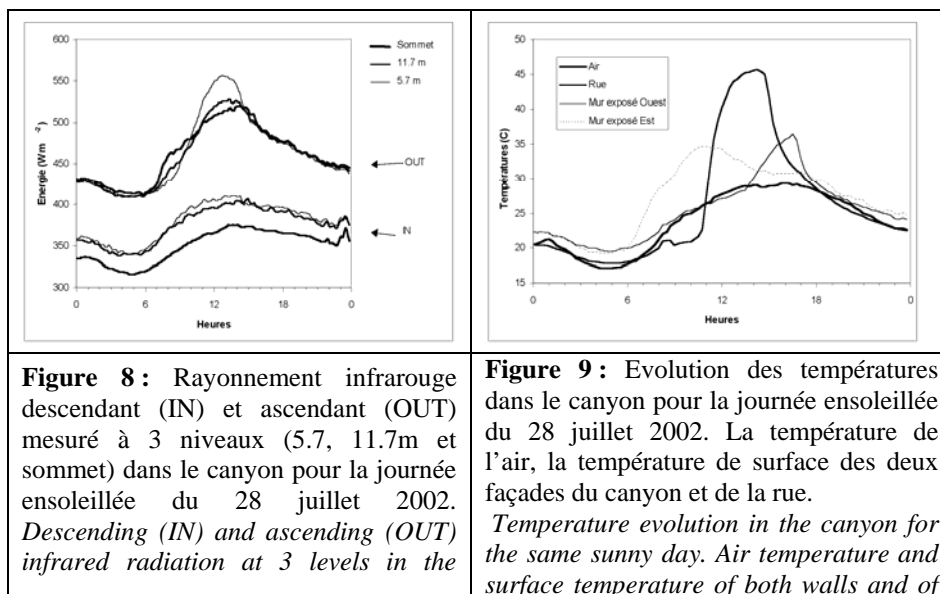


Figure 8 : Rayonnement infrarouge descendant (IN) et ascendant (OUT) mesuré à 3 niveaux (5.7, 11.7m et sommet) dans le canyon pour la journée ensoleillée du 28 juillet 2002. *Descending (IN) and ascending (OUT) infrared radiation at 3 levels in the*

Figure 9 : Evolution des températures dans le canyon pour la journée ensoleillée du 28 juillet 2002. La température de l'air, la température de surface des deux façades du canyon et de la rue. *Temperature evolution in the canyon for the same sunny day. Air temperature and surface temperature of both walls and of*

<i>canyon for the same sunny day.</i>	<i>the street.</i>
---------------------------------------	--------------------

2.3.3 Le bilan du rayonnement infrarouge

Le bilan du rayonnement infrarouge (BIR, figure 10), qui représente la différence entre les rayonnements infrarouges descendant et ascendant, est négatif à tous les niveaux. Au sommet du canyon, la valeur moyenne du BIR est de l'ordre de -120 Wm^{-2} , avec une pointe autour de midi qui est de -150 Wm^{-2} . Dans le canyon, les niveaux 1 et 2 ont des BIR très proches pendant la nuit, ce qui est dû à une homogénéisation des températures au niveau des façades de la rue et de l'air à l'intérieur du canyon. Mais ces bilans restent largement supérieurs (de l'ordre de 35 Wm^{-2}) à celui du sommet. En effet à l'intérieur du canyon, le rayonnement descendant est favorisé par une contribution des façades dont la température radiative est nettement supérieure à celle de l'atmosphère libre, qui intervient seule au niveau du sommet. Dans la journée le BIR de ces deux niveaux se différencie nettement, et celui du niveau le plus bas devient le plus déficitaire, puisqu'il réagit fortement à l'augmentation de la température de surface de la rue. C'est autour de midi, heure du maximum de la température de surface au niveau de la rue, que le BIR atteint simultanément son minimum aux 3 niveaux.

2.4 Le bilan radiatif à l'horizontale

Le bilan radiatif dépend très fortement de la géométrie du canyon urbain et particulièrement du rapport (H/L). La durée pendant laquelle ce bilan est positif (figure 11) diminue en allant vers le fond du canyon (6h pour le niveau 1, contre 13 heures au sommet de la rue). Ce déséquilibre radiatif constaté entre les différents niveaux joue certainement un rôle moteur dans l'établissement de la circulation de l'air à l'intérieur de la rue et par conséquent dans les phénomènes de dispersion. De plus, le passage d'un bilan radiatif positif à un bilan radiatif négatif est brutal au fond du canyon, contrairement à ce qu'on observe au sommet, en raison de l'influence de l'éclairement direct. Les valeurs fortement négatives du BIR autour de midi et à tous les niveaux provoquent un décalage du maximum du bilan radiatif vers le matin, décalage qui s'accroît en allant vers le fond du canyon.

2.5 Le bilan radiatif mesuré parallèlement aux murs

L'un des paramètres clés dans la validation des modèles physiques à l'échelle du canyon est le bilan des échanges entre les façades. Pour acquérir ces valeurs, nous avons procédé à des mesures de deux manières différentes :

- la première en utilisant un bilan-mètre placé au bord de l'échafaudage et parallèlement aux murs. Cet appareil enregistre directement le bilan des échanges.

- la deuxième par des mesures séparées des différentes composantes des bilans radiatifs des murs.

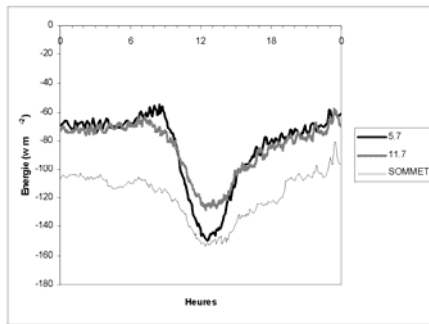


Figure 10 : Bilan horizontal du rayonnement infrarouge pour la journée ensoleillée du 28 juillet 2002 à 3 niveaux dans le canyon. *Horizontal infrared radiation budget at 3 levels for the sunny day of July 28, 2002.*

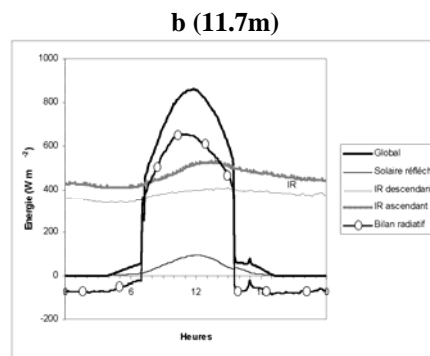
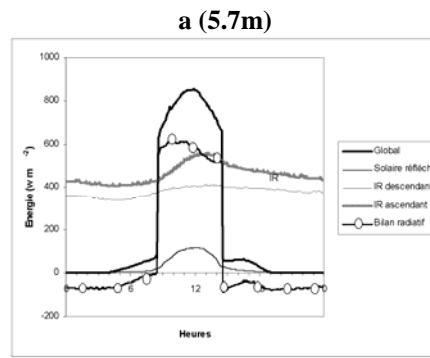
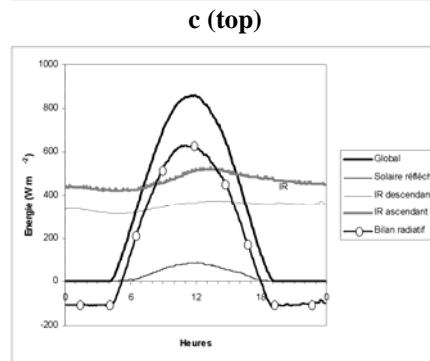


Figure 11 : Bilan radiatif à l'horizontale et ses composantes pour la journée ensoleillée du 28 juillet 2002 à 3 niveaux dans le canyon. Tous les flux ont été représentés selon leur valeur absolue (à l'exception du bilan). Le bilan radiatif s'obtient en additionnant le global à l'IR descendant et en retranchant le solaire réfléchi et l'IR ascendant. *Horizontal radiation budget and its components at 3 levels in the canyon for the sunny day of July 28, 2005. All fluxes have displayed as absolute values (except the budget).*



La figure 12 montre le résultat de la comparaison du bilan des échanges entre les façades mesurés directement et calculés à partir des paramètres séparés (le sens des flux est choisi arbitrairement : l'un des murs est considéré dans le sens positif et l'autre dans le sens négatif). On note la bonne concordance entre les deux méthodes, mais aussi le comportement nocturne de ces échanges, dont le bilan est très proche de zéro, c'est à dire de l'équilibre thermique, ce qui est confirmé par les mesures des températures de surface et de l'air (figure 9). En

journée on note un déséquilibre des échanges radiatifs entre la face ensoleillée et celle à l'ombre.

3. Le bilan d'énergie dans le canyon

L'équation du bilan d'énergie au sommet d'un canyon contient le flux de chaleur stocké dans les murs et dans le sol, un terme dont la mesure directe est difficile sinon impossible. Dans le cas présent nous avons procédé à des mesures des termes du bilan radiatif (RN, cf. section 2.4), mais aussi des flux de chaleur sensible (H, anémomètre sonique CSAT 3, Campbell scientifique) et latente (LE, hygromètre krypton KH20, Campbell scientifique). Le flux de chaleur stocké dans les murs et dans le sol (S) a été estimé par différence à partir de l'équation du bilan d'énergie (figure 13).

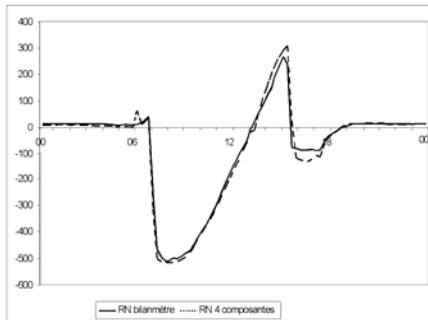


Figure 12 : Comparaison du bilan radiatif mesuré (RN bilanmètre) et reconstitué à partir des composantes du rayonnement (RN 4 composantes). *Comparison of the measured radiation budget (RN bilanmeter) and reconstructed from measured components.*

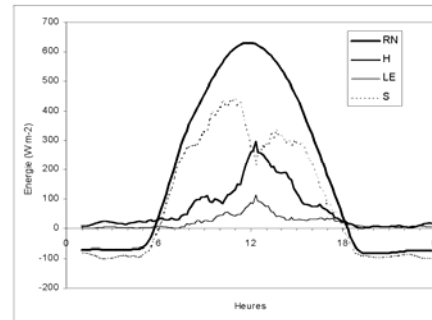


Figure 13 : Composantes du bilan d'énergie au sommet du canyon pour la journée ensoleillée du 28 juillet 2002 à 3 niveaux dans le canyon. RN = rayonnement net ; H = flux de chaleur sensible ; LE = flux de chaleur latente ; S = flux de chaleur dans le sol. *Components of the energy budget at 3 levels in the canyon for the sunny day of July 28, 2005. RN = net radiation, H = sensitive heat flux, LE = latent heat flux, S = ground convective heat flux.*

Cette façon de l'estimer, même si elle est la plus courante, a l'inconvénient de cumuler dans ce terme les erreurs des mesures des autres termes du bilan. En raison du faible pourcentage de surface végétalisée dans le canyon, il est intéressant de constater la faible part du flux de chaleur latente qui ne dépasse pas 100 Wm^{-2} , largement inférieur à celui constaté dans les zones rurales et qui est de l'ordre de 300 Wm^{-2} . Le flux de chaleur sensible, quant à lui, atteint les 300 Wm^{-2} au maximum de la journée, ce qui est du même ordre de grandeur que dans les zones rurales (entre 250 et 300 Wm^{-2}). Le flux de chaleur stocké dans les bâtiments et le sol consomme la plus grosse part de l'énergie disponible dans le canyon, avec des pointes dépassant les 400 Wm^{-2} en fin de matinée. Ce

terme est l'un des paramètres clés dans l'explication du phénomène de l'îlot de chaleur urbain. Il est important de noter, que pour cette période de l'année, le stockage diurne est supérieur au déstockage nocturne, ce qui a pour conséquence une variation de stock positive correspondant à une accumulation de chaleur.

Conclusion et perspectives

Cette campagne a permis de constituer une base de mesures détaillée des termes des bilans radiatifs et d'énergie dans le canyon urbain et sur différents fragments urbains, grâce notamment à des acquisitions de télédétection. Les résultats présentés ici ne sont qu'une première analyse limitée au canyon. Une modélisation du bilan radiatif à l'échelle du canyon a déjà été réalisée avec un modèle thermo-radiatif, à savoir le modèle SOLENE élaboré au CERMA de Nantes. Ce travail a fait l'objet d'une thèse (Ringebach, 2004) dont les résultats sont en cours de publication.

Les perspectives qui s'ouvrent à travers cette base de données, jointe à l'existence d'un modèle numérique d'élévation de l'agglomération, sont nombreuses. En particulier la mise au point et la validation de méthodes d'agrégation (s'appuyant sur la télédétection) permettant le passage d'échelles entre le canyon, unité élémentaire dans la canopée urbaine, et le quartier, unité élémentaire dans la couche limite urbaine.

La compréhension de ce changement d'échelle (canyon-fragment) est considérée comme essentielle pour étendre à toute l'agglomération la modélisation de la formation de la Couche Limite Urbaine. A cette échelle les observations de télédétection apparaissent comme incontournables en tant que source de données d'entrée pour les différents modèles, et moyen de validation pour leurs résultats.

Bibliographie

- GRIMMOND C.S.B., OKE T.R., 2002: Turbulent heat fluxes in urban area : Observations and a local-scale urban meteorological parameterisation scheme (LUMPS), *J. Appl. Meteorology.*, 41, p. 792-810.
- GROLEAU D., MARENNE C., 2001: Simula_3D : a multi-zone unsteady thermal simulation tool based on a 3D modelling of the building. In *Seventh International IBPSA Conference : Building simulation*, Rio de Janeiro, 13-15 August 2001, IBPSA p. 585-592.
- MASSON V. 2000: A physically-based scheme for the urban energy budget in atmospheric models, *Bound. Layer Meteorology.*, 94(3) p. 357-397.
- MESTAYER P.G., ANQUETIN S., 1994: Climatology of cities. In *Diffusion and Transport of pollutants in Atmospheric Mesoscale Flow Fields* . A. Gyr & F.S. Rys editors, ERCOFTAC Series, Kluwer Academics Press p. 165-189.

- NAJJAR G., KASTENDEUCH P.P., FISCHER L., PAUL P., VIVILLE D., 2000 :
Techniques et mesures en climatologie urbaine : l'exemple de Strasbourg. *Publ. Ass. Inter. Clim.*, 13, p. 420-425.
- NAJJAR G., KASTENDEUCH P.P., STOLL M.P., COLIN J.R., NERRY F., RINGENBACH N., BERNARD J., DE HATTEN A., LUHAHE R., VIVILLE D., 2004 : Télédétection, rayonnement et bilan d'énergie en climatologie urbaine à Strasbourg, le projet *RECIUS*, *La Météorologie*, 46, p. 44-50.
- NUNEZ M., OKE T.R., 1977: The energy balance of an urban canyon. *J. Appl. Meteorology.*, 16, 11-19.
- RINGENBACH N., 2004 : *Bilan radiatif et flux de chaleur en climatologie urbaine : mesures, modélisation et validation sur Strasbourg*, Thèse de l'Université Louis Pasteur, Strasbourg, 166 p.