

Météo France

Centre National de Recherches Météorologiques

**Note sur la préparation des données
physiographiques en entrée de SURFEX pour
l'agglomération parisienne**

C. de Munck et G. Pigeon

Décembre 2009

Mise à jour : Mars 2010

Table des matières

| | |
|---|-----------|
| 1 Préparation des données d'occupation du sol pour SURFEX..... | 4 |
| 1.1 Contexte..... | 4 |
| 1.2 Surface et fraction de ville dans la maille (TEB)..... | 4 |
| 1.3 Surface et fraction d'espaces agricoles et naturels dans la maille (ISBA)..... | 5 |
| 2 Préparation des données d'entrée pour TEB..... | 6 |
| 2.1 Types de matériaux dominant pour les toits..... | 6 |
| 2.2 Surface et fraction de bâti dans la ville..... | 6 |
| 2.3 Hauteur moyenne des bâtiments dans la maille..... | 7 |
| 2.4 Calcul de la surface de murs des bâtiments..... | 7 |
| 2.5 Surface et fraction de routes pour traitement dans ISBA..... | 10 |
| 2.6 Types de matériau dominant pour les murs..... | 11 |
| 2.7 Épaisseurs et caractéristiques radiatives et thermiques des murs..... | 11 |
| 2.8 Caractéristiques radiatives et thermiques des toits..... | 14 |
| 2.9 Caractéristiques radiatives et thermiques des routes..... | 14 |
| 2.10 Ratio « surface de murs / surface urbaine au sol » | 15 |
| 3 Préparation des données des espaces agricoles et naturels pour ISBA..... | 15 |
| 3.1 Contexte..... | 15 |
| 3.2 Répartition spatiale et fractions des types d'espaces agricoles et naturels. | 15 |
| 3.3 Caractéristiques des types de végétation..... | 16 |
| 3.4 Cas particulier du LAI pour la classe de végétation « forest »..... | 17 |
| 4 Préparation des flux de chaleur liés au trafic automobile..... | 17 |
| 4.1 Contexte..... | 17 |
| 4.2 Calculs et corrections..... | 17 |

Liste des tableaux

| | |
|---|----|
| Tableau 1. Codes des types de matériaux dominant pour les toits..... | 6 |
| Tableau 2. Codes des types de matériaux dominant pour les murs..... | 11 |
| Tableau 3. Caractéristiques des murs..... | 13 |
| Tableau 4. Caractéristiques des toits par type de toit..... | 14 |
| Tableau 5. Caractéristiques des routes..... | 14 |
| Tableau 6. Classes de végétation ECOCLIMAP présentes dans Paris..... | 15 |
| Tableau 7. Règles de création des types de végétation pour Paris..... | 16 |
| Tableau 8. Corrections appliquées au Qtraffic calculé étape 3 | 19 |

Liste des figures

| | |
|---|----|
| Figure 1. Fraction d'espaces agricoles et naturels dans la maille pour l'agglomération parisienne..... | 5 |
| Figure 2. Types de toit présents dans Paris..... | 6 |
| Figure 3. Comparaison entre les surfaces de murs calculées avec l'équation 5 (prof_bld = 14 m) et celles observées sur Paris stricto..... | 8 |
| Figure 4. Histogramme de la différence entre les surfaces de murs calculées avec l'équation 5 (prof_bld = 14 m) et celles observées sur Paris stricto..... | 9 |
| Figure 5. Comparaison entre les surfaces des murs calculées avec l'équation 5 (prof_bld = 11.40 m) et celles observées sur Paris stricto..... | 9 |
| Figure 6. Histogramme de la différence entre les surfaces de murs calculées avec l'équation 5 (prof_bld = 11,40 m) et celles observées sur Paris stricto..... | 10 |

1 Préparation des données d'occupation du sol pour SURFEX

1.1 Contexte

Les données fournies par l'APUR (Atelier Parisien d'Urbanisme) pour Paris ont été fournies pour 4 zones géographiques, respectivement appelées Paris stricto, Paris bords, grande couronne (GC) et petite couronne (PC). Avant leur intégration dans des simulations avec SURFEX, ces données ont été vérifiées et notamment les incompatibilités avec SURFEX. Par exemple, on ne peut pas définir une zone urbaine sans bâtiments dans TEB et il faut s'assurer que ce n'est pas le cas dans les données de l'APUR. Ce travail a été effectué dans le logiciel SIG GRASS (Version 6.2.3.). Les données de l'APUR ont ensuite été corrélées avec les données du CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment) pour générer des grilles de caractéristiques radiatives et thermiques pour les bâtis (albédo, émissivité, conductivité thermique et capacité calorifique).

Les données suivantes ont été retravaillées pour être cohérentes entre elles ou calculées :

- x les surface et fraction de ville dans la maille
- x les surface et fraction d'espaces agricoles et naturels dans la maille
- x les types de matériaux dominant pour les toits
- x les surface et fraction de bâti dans la ville
- x la hauteur moyenne des bâtiments dans la maille
- x la surface de murs des bâtiments
- x une surface de « routes » pour traitement dans ISBA (traitée comme un sol nu ayant les mêmes caractéristiques radiatives et thermiques qu'une route) lorsque des mailles présentaient des zones urbaines sans bâtiments
- x le rapport entre la surface des murs et la surface urbaine horizontale (variable WALL_O_HOR)
- x les types de matériaux dominant pour les murs
- x les caractéristiques radiatives et thermiques des murs
- x les caractéristiques radiatives et thermiques des toits
- x les caractéristiques radiatives et thermiques des routes

1.2 Surface et fraction de ville dans la maille (TEB)

Dans un premier temps, lorsque la surface de ville dans la maille n'est pas nulle, elle a été définie comme :

$$paris_surf_town = \max(196 ; 62500 - paris_surf_water - paris_surf_nature) \quad (1)$$

Un seuil minimal de 196 m² pour la surface de ville dans les mailles urbaines a été imposé pour limiter les calculs dans TEB aux surfaces de ville supérieures à une « unité de surface de ville » raisonnable. Cette « unité de surface de ville » a été définie comme contenant un bâtiment fictif de profondeur 14 m (estimation visuelle par l'APUR pour les

zones en dehors de Paris stricto), de longueur 7 m (choix arbitraire), et une route de surface équivalente à celle du bâtiment (choix arbitraire). Toute surface de ville inférieure à la surface de ville seuil a été ré-attribuée à la surface d'espaces agricoles et naturels dans la maille.

Dans un deuxième temps, quand la surface de ville est supérieure à ce seuil mais que l'emprise au sol des bâtiments est inférieure à des seuils (voir section 2.2), nous avons considéré que cette surface représentait des routes et elle a été affectée aux espaces agricoles et naturels en tant que sol nu.

Finalement, la fraction de ville dans la maille (*paris_frac_town*) a été calculée comme suit :

$$paris_frac_town = \frac{paris_surf_town}{62500} \quad (2)$$

1.3 Surface et fraction d'espaces agricoles et naturels dans la maille (ISBA)

La surface d'espaces agricoles et naturels dans la maille, *paris_surf_nature* est égale à la surface de végétation totale fournie par l'APUR à laquelle a été ajoutée la surface de ville quand celle-ci était inférieure au seuil de 196 m².

Finalement, la fraction de nature dans la maille (*paris_frac_nature*, Figure 1) a été calculée comme suit :

$$paris_frac_nature = \frac{paris_surf_nature}{62500} \quad (3)$$

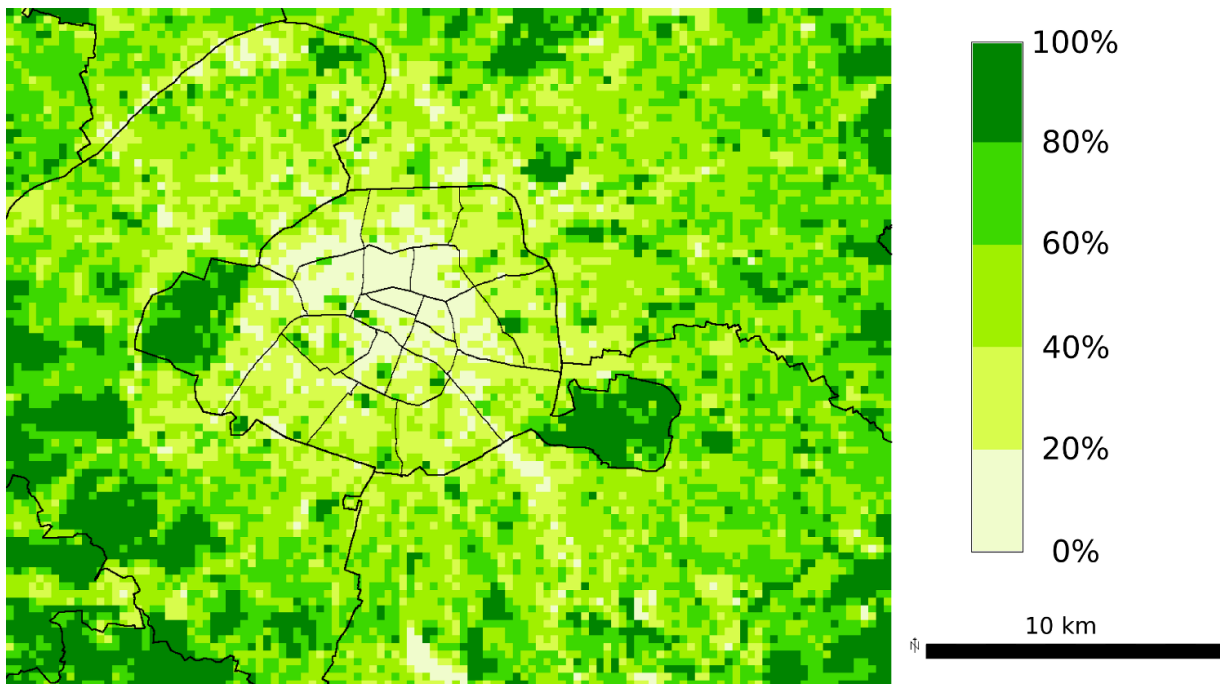


Figure 1. Fraction d'espaces agricoles et naturels dans la maille pour l'agglomération parisienne

2 Préparation des données d'entrée pour TEB.

2.1 Types de matériaux dominant pour les toits

Les types de matériaux dominant pour les toits, fournis par l'APUR sous forme de chaînes de caractères, ont été convertis en codes numériques (paramètre *paris_roof_mat*) pour faciliter leur traitement dans GRASS (Tableau 1).

Tableau 1. Codes des types de matériaux dominant pour les toits

| Matériau dominant pour les toits | Code |
|----------------------------------|------|
| Donnée inexistante | * |
| Zinc | 1 |
| Tuile | 2 |
| Terrasse | 3 |
| Terrasse végétale | 4 |
| Ardoise | 5 |

Par soucis de cohérence avec les autres données et le fonctionnement de TEB, le type de matériaux de toit a été imposé à « inexistante » (« donnée inexistante », pas de calcul dans TEB) quand les valeurs de surfaces de toits étaient inexistantes. La Figure 2 présente la répartition géographique des types de toits sur Paris.

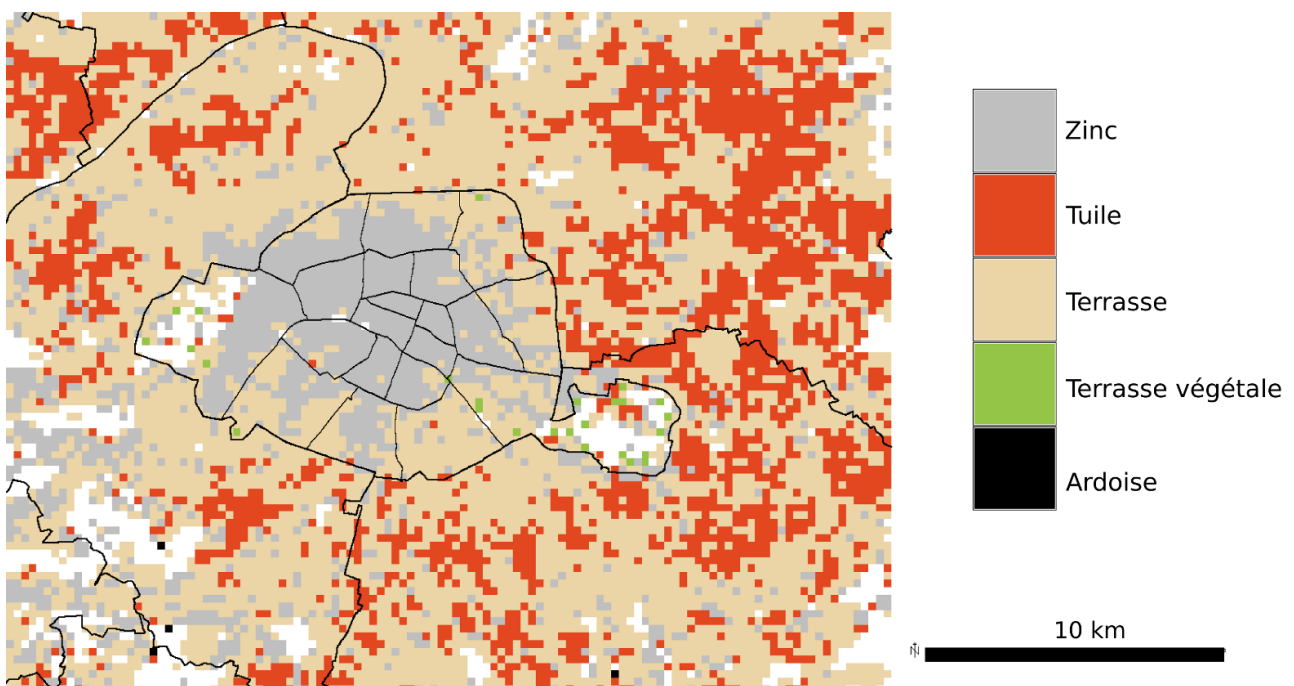


Figure 2. Types de toit présents dans Paris

2.2 Surface et fraction de bâti dans la ville

La surface moyenne de bâti dans la maille (*paris_surf_bld*) est représentée par l'emprise au sol des bâtiments ou surface de toit fournie par l'APUR. Ces données de surfaces de

toits sont disponibles pour la totalité des zones géographiques. Les contraintes suivantes ont été imposées aux données par soucis de cohérence avec les autres données et le fonctionnement de TEB :

- x la valeur de surface de bâti est considérée comme inexistante (« donnée manquante », pas de calcul dans TEB) quand la surface de ville est nulle ou inférieure au seuil de surface de ville ;
- x la valeur de surface de bâti est considérée inexistante (« donnée manquante », pas de calcul dans TEB) en dessous de seuils de surface de toits. Ces seuils sont définis par type de toit – zinc, tuile, ardoise, terrasse, et terrasse végétale. La surface de ville de ces mailles est alors affectée à un nouveau type d'occupation du sol : les routes pour lesquelles les calculs seront faits dans ISBA (variable *paris_surf_road_isba*). Ce traitement est décrit section 2.5 ;
- x la surface de bâti est bornée à 0.95 fois la surface de ville pour allouer une fraction minimale de surface de routes dans la maille (par soucis de cohérence avec le fonctionnement de TEB).

Les seuils de surface de bâti ont été définis par la profondeur moyenne des bâtiments au carré divisée par 2 (en cohérence avec l'unité de surface de ville établie préalablement pour le calcul du seuil de surface de ville) selon 3 groupes :

- x toits en zinc de profondeur moyenne 11,4 m (valeur de surface de mur calculée pour Paris stricto, voir plus loin section 2.4),
- x toits en tuile ou en ardoise de profondeur moyenne 9 m (estimation visuelle d'après photographies aériennes, ces toits correspondent plutôt à des pavillons),
- x toits en terrasse de profondeur moyenne 14 m (estimation visuelle d'après photographies aériennes, catégorie présentant le plus d'hétérogénéité, ces toits peuvent correspondre à des immeubles de tailles variables ainsi qu'à des bâtiments industriels, commerciaux ou de bureaux).

Par conséquent les seuils de surfaces de toit (bâti) sont respectivement de 64.98, 40.5 et 98 m².

Finalement, la fraction de bâti dans la ville (*paris_frac_bld*) a été calculée comme :

$$paris_frac_bld = \frac{paris_surf_bld}{paris_surf_town} \quad (4)$$

2.3 Hauteur moyenne des bâtiments dans la maille

Pour assurer une cohérence avec les autres données ville, la hauteur moyenne des bâtiments dans la maille (*paris_bld_height*) n'existe que quand la fraction de ville est définie.

Par ailleurs, pour 5 points qui montraient des hauteurs de bâtiments nulles alors que la surface de ville était non nulle, celles-ci ont été calculées comme la moyenne des hauteurs des bâtiments des points voisins (pour lesquels la fraction de ville était non nulle).

2.4 Calcul de la surface de murs des bâtiments

La surface des murs dans la maille n'étant disponible que sur Paris stricto, l'APUR propose de calculer la surface de murs dans Paris bords, GC et PC à partir de l'équation

suivante :

$$surf_m = 2 \times \left(\frac{surf_bld}{prof_bld} + prof_bld \right) \times H \quad (5)$$

où $surf_m$ représente la surface de murs dans la maille (m^2), $surf_bld$ la surface de bâti dans la maille (m^2), et H et $prof_bld$ respectivement la hauteur et la profondeur moyennes des bâtiments dans la maille (m). L'APUR recommandait une valeur de 14 m comme profondeur moyenne des bâtiments.

La comparaison des surfaces de murs calculées avec l'équation 5 avec les surfaces de murs observées sur Paris stricto a montré qu'avec une profondeur moyenne des bâtiments à 14 m, on sous-estime la surface de murs sur cette zone (Figures 3 et 4).

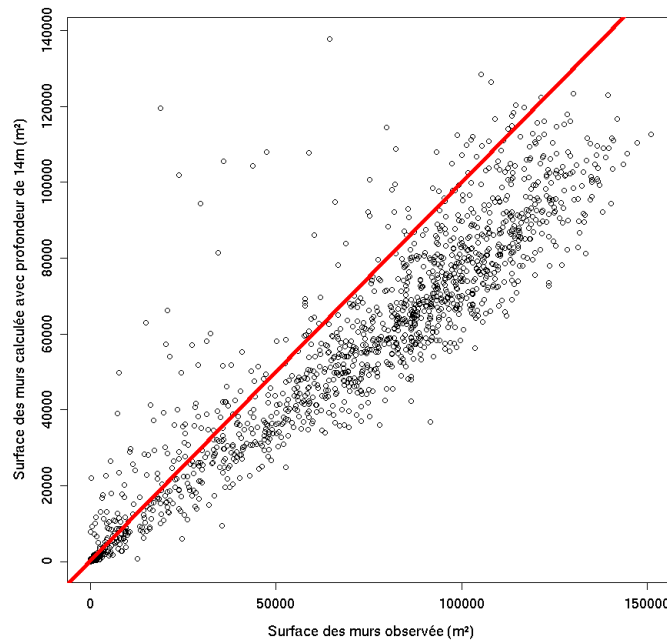


Figure 3. Comparaison entre les surfaces de murs calculées avec l'équation 5 ($prof_bld = 14$ m) et celles observées sur Paris stricto.

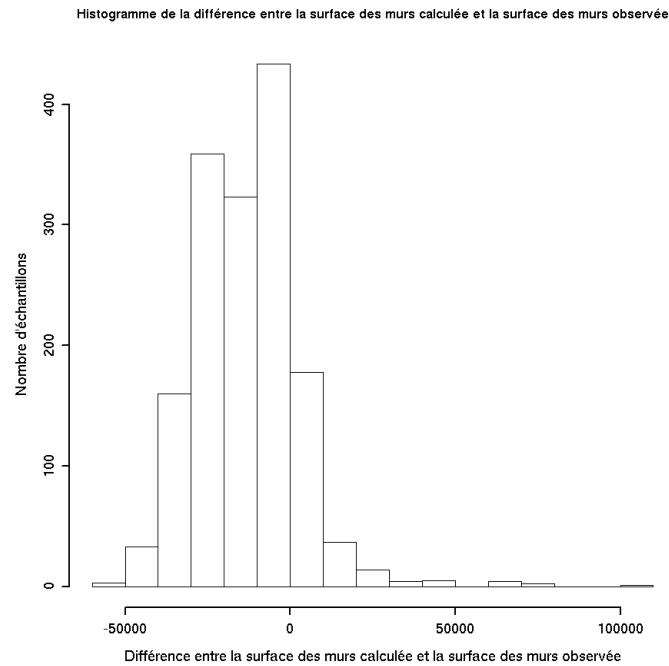


Figure 4. Histogramme de la différence entre les surfaces de murs calculées avec l'équation 5 ($prof_bld = 14$ m) et celles observées sur Paris stricto.

Une régression non linéaire a été effectuée pour calculer la profondeur moyenne des bâtiments si la surface de murs observée dans la maille était décrite par l'équation 5 proposée par l'APUR. Le résultat est une profondeur de bâtiment de 11,40 m qui montre une meilleure corrélation entre surfaces de murs calculées et observées (Figures 5 et 6). Cette profondeur de bâtiment de 11,40 m peut être corrélée avec le type majoritaire de toits sur Paris stricto qui est en zinc.

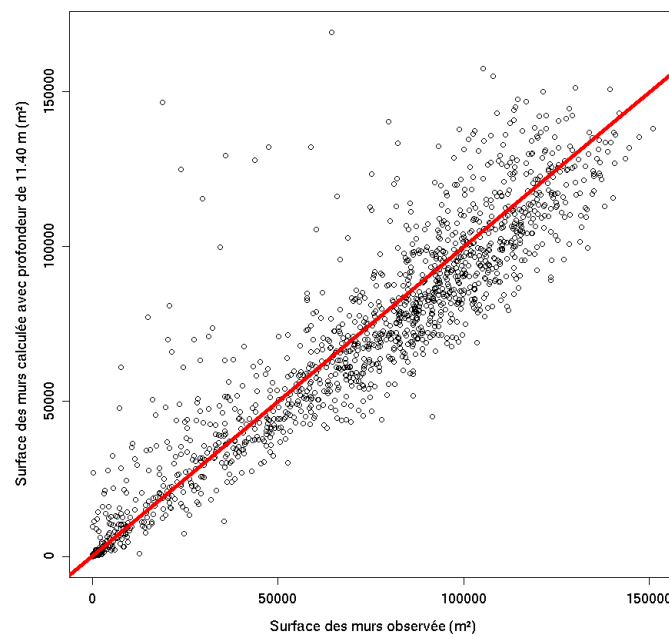


Figure 5. Comparaison entre les surfaces des murs calculées avec l'équation 5 ($prof_bld = 11.40$ m) et celles observées sur Paris stricto

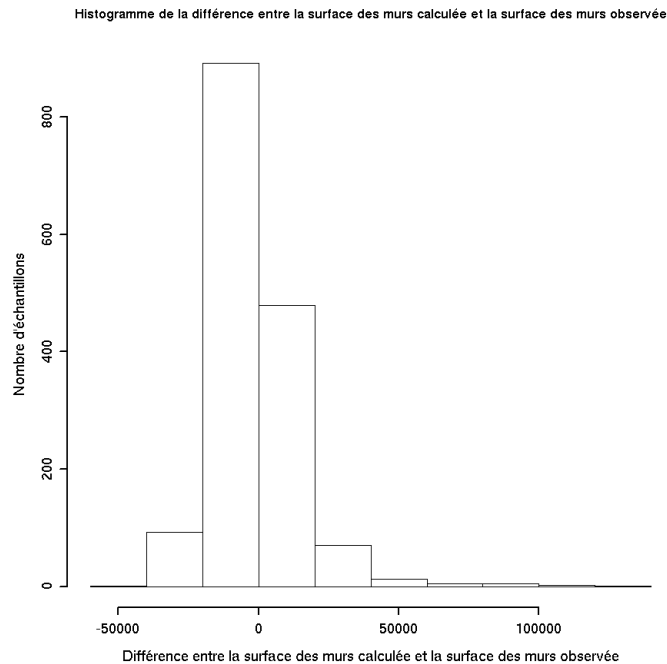


Figure 6. Histogramme de la différence entre les surfaces de murs calculées avec l'équation 5 ($prof_bld = 11,40$ m) et celles observées sur Paris stricto

Finalement, en dehors de Paris stricto, l'équation 5 a été utilisée par le CNRM pour calculer la surface de murs **en fonction du type de toit**, de la même façon que les seuils de surface de bâti ont été définis (avec une profondeur de bâtiment qui dépend du type de toit, voir section sur les surfaces de bâti).

Les surfaces de mur dans tout le domaine sont soumises aux mêmes contraintes que les données ville précédentes, à savoir qu'elles ne sont définies que lorsque la surface de ville est non nulle.

Après forçage de ces conditions dans les données brutes de l'APUR, il restait 5 points dans Paris stricto avec des surfaces de mur nulles alors que les surfaces de ville étaient non nulles. Pour ces 5 points, les surfaces de murs ont été forcées avec les valeurs moyennes de leurs plus proches voisins.

2.5 Surface et fraction de routes pour traitement dans ISBA

Cette donnée est générée quand la surface de ville est initialement non nulle mais que les surfaces moyennes de bâtis dans la maille sont inférieures à leurs seuils respectifs par type de toit. Dans ces cas là, la valeur de surface de ville est affectée à cette donnée pour être traitée dans ISBA comme du sol nu ($paris_surf_road_isba$).

Finalement, la fraction de routes dans la maille qui sera traitée dans ISBA ($paris_frac_road_isba$) a été calculée comme :

$$paris_frac_road_isba = \frac{paris_surf_road_isba}{62500} \quad (6)$$

et a été ajoutée dans ISBA au type de végétation correspondant à du sol nu (bare soil – $frac_bare$, voir section 3 sur la préparation des données d'espaces agricoles et naturels).

2.6 Types de matériau dominant pour les murs

A l'intérieur de Paris (Paris stricto), l'APUR a défini des classes pour les matériaux des murs, en fonction de leur date de construction. Il existe 12 classes APUR (1 à 11 et 99), auxquelles le CNRM a rajouté une classe (12) pour les murs des bâtiments qui se trouvent en dehors de Paris stricto (Tableau 2). Au total, il existe donc 13 classes de matériaux (paramètre *paris_wall_mat*).

Tableau 2. Codes des types de matériaux dominant pour les murs

| Code de matériau dominant pour les murs | Code correspondant dans le fichier d'origine du CSTB | Description |
|---|--|--|
| 1 | SM1 | Bâtiment construit avant 1800 |
| 2 | SM2 | Bâtiment construit entre 1800 et 1850 |
| 3 | SM3 | Bâtiment construit entre 1851 et 1890 |
| 4 | SM4 | Bâtiment construit entre 1891 et 1914 |
| 5 | SM5 | Bâtiment construit entre 1918 et 1939 |
| 6 | SM6 | Bâtiment construit entre 1945 et 1967 |
| 7 | SM7 | Bâtiment construit entre 1968 et 1974 |
| 8 | SM8 | Bâtiment construit entre 1975 et 1981 |
| 9 | SM9 | Bâtiment construit entre 1982 et 1989 |
| 10 | SM10 | Bâtiment construit entre 1990 et 1999 |
| 11 | SM11 | Bâtiment construit après l'an 2000 |
| 99 | SM99 | Bâtiments non datés |
| 20 | aucun | Classe non référencée par le CSTB – ce code est trouvé pour seulement 5 points de grille. Choix fait par le CNRM d'imposer des caractéristiques radiatives et thermiques équivalentes à celles des murs de la classe 99. |
| 12 | Code créé par le CNRM pour tous les matériaux de murs en dehors de Paris stricto | Valeur moyenne des classes SM6 et SM7 |

Par soucis de cohérence avec les autres données ville et le fonctionnement de TEB, le type de matériaux de mur n'est défini que lorsque la surface de ville est non nulle.

Pour 2 points de maille pour lesquels aucune classe de mur n'était définie dans les fichiers de l'APUR alors qu'il existait une surface de murs, le code de matériau a été forcé à 99¹.

2.7 Épaisseurs et caractéristiques radiatives et thermiques des murs

Les données fournies par le CSTB consistaient en des murs à 3 couches, avec une couche intérieure relativement épaisse pour les bâtiments conçus avant 1945 et pour les bâtiments non datés (qui ont par défaut les caractéristiques thermiques de la classe 5 de bâtiments – construits entre 1918 et 1935). Or pour bien modéliser dans TEB les flux de chaleur là où les gradients de température sont forts – i.e. entre l'air extérieur et la couche extérieure ou entre la couche intérieure et l'air intérieur, il faut des couches minces. Par conséquent, la couche intérieure fournie par le CSTB a été divisée en 2 couches de

¹ il serait intéressant de vérifier s'il existe une corrélation entre type de toit dominant et type de mur dominant dans Paris stricto pour extraire une règle à appliquer en dehors de Paris pour les caractéristiques radiatives et thermiques des murs. Initialement, il a été choisi de retenir pour la classe de type de mur « 12 » la valeur moyenne des classes CSTB « SM6 » et « SM7 » en référence à l'urbanisation accélérée de Paris extra-muros lors des Trente Glorieuses (1945-1975).

caractéristiques thermiques identiques mais :

- x d'épaisseurs différentes pour les murs anciens (de classe 1 à 5) et non datés (classe 99),
- x d'épaisseurs égales pour les murs plus récents (des classes 6 à 11 et de la classe 12) dont la couche intérieure était déjà mince.

Le tableau 3 présente l'épaisseur des murs et leurs caractéristiques radiatives et thermiques en fonction de leur date de construction (c'est-à-dire en fonction du type de mur dominant, i.e. Extérieur). Les caractéristiques radiatives et thermiques des murs ont été ensuite corrélées avec la grille spatiale de types de mur dominant (i.e. extérieur) fournis par l'APUR pour générer des grilles spatiales de caractéristiques radiatives et thermiques pour les murs de Paris.

Tableau 3. Caractéristiques des murs.

| classe SM APUR | code for paris_wall_mat | C1 materiau | C1 albedo | C1 emissivite | C1 epaisseur m | C1 capacite thermique J/m3 K | C1 conductivite thermique W/mK | C2 materiau | C2 epaisseur m | C2 capacite thermique J/m3 K | C2 conductivite thermique W/mK | C3 materiau | C3 epaisseur m | C3 capacite thermique J/m3 K | C3 conductivite thermique W/mK | C4 materiau | C4 epaisseur m | C4 capacite thermique J/m3 K | C4 conductivite thermique W/mK | epaisseur totale mur m |
|------------------|-------------------------|---------------------------|-----------|---------------|----------------|------------------------------|--------------------------------|----------------------|----------------|------------------------------|--------------------------------|----------------------|----------------|------------------------------|--------------------------------|----------------------|----------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------|
| SM ¹ | 1 | platre ou platre et sable | 0,8 | 0,9 | 0,1 | 1600000 | 0,8 | calcaire tendre | 0,10 | 1800000 | 1,10 | calcaire tendre | 0,10 | 1800000 | 1,10 | calcaire tendre | 0,10 | 1800000 | 1,10 | 0,41 |
| SM ² | 2 | platre ou platre et sable | 0,8 | 0,9 | 0,1 | 1600000 | 0,8 | Pierre (demi-ferme) | 0,10 | 2000000 | 1,40 | Pierre (demi-ferme) | 0,10 | 2000000 | 1,40 | Pierre (demi-ferme) | 0,10 | 2000000 | 1,40 | 0,46 |
| SM ³ | 3 | platre ou platre et sable | 0,8 | 0,9 | 0,2 | 1600000 | 0,8 | Pierre ferme | 0,10 | 2200000 | 1,70 | Pierre ferme | 0,10 | 2200000 | 1,70 | Pierre ferme | 0,10 | 2200000 | 1,70 | 0,48 |
| SM ⁴ | 4 | platre ou platre et sable | 0,8 | 0,9 | 0,2 | 1600000 | 0,8 | Pierre ferme | 0,10 | 2200000 | 1,70 | Pierre ferme | 0,10 | 2200000 | 1,70 | Pierre ferme | 0,10 | 2200000 | 1,70 | 0,48 |
| SM ⁵ | 5 | terre cuite | 0,7 | 0,9 | 0,2 | 1600000 | 0,8 | brique | 0,10 | 1480000 | 1,20 | brique | 0,12 | 1480000 | 1,10 | brique | 0,10 | 1480000 | 1,10 | 0,36 |
| SM ⁶ | 6 | enduit ciment et sable | 0,8 | 0,9 | 0,4 | 1800000 | 1,0 | beton | 0,10 | 2200000 | 1,70 | beton | 0,12 | 2200000 | 1,70 | beton | 0,12 | 2200000 | 1,70 | 0,36 |
| SM ⁷ | 7 | enduit ciment et sable | 0,8 | 0,9 | 0,4 | 1800000 | 1,0 | beton | 0,10 | 2200000 | 1,70 | beton | 0,12 | 2200000 | 1,70 | beton | 0,12 | 2200000 | 1,70 | 0,36 |
| SM ⁸ | 8 | enduit ciment et sable | 0,8 | 0,9 | 0,2 | 1800000 | 1,0 | beton | 0,20 | 2200000 | 1,70 | isolant | 0,05 | 2050 | 0,04 | isolant | 0,05 | 2050 | 0,04 | 0,34 |
| SM ⁹ | 9 | enduit ciment et sable | 0,8 | 0,9 | 0,2 | 1800000 | 1,0 | beton | 0,20 | 2200000 | 1,70 | isolant | 0,10 | 2050 | 0,04 | isolant | 0,10 | 2050 | 0,04 | 0,30 |
| SM ¹⁰ | 10 | enduit ciment et sable | 0,8 | 0,9 | 0,2 | 1800000 | 1,0 | beton | 0,20 | 2200000 | 1,70 | isolant | 0,12 | 2050 | 0,04 | isolant | 0,12 | 2050 | 0,04 | 0,36 |
| SM ¹¹ | 11 | enduit ciment et sable | 0,8 | 0,9 | 0,2 | 1800000 | 1,0 | beton | 0,20 | 2200000 | 1,70 | isolant | 0,12 | 2050 | 0,04 | isolant | 0,12 | 2050 | 0,04 | 0,38 |
| SM ¹⁹ | 19 | idem SM ⁵ | 0,7 | 0,9 | 0,2 | 1600000 | 0,8 | idem SM ⁵ | 0,10 | 1480000 | 1,20 | idem SM ⁵ | 0,10 | 1480000 | 1,10 | idem SM ⁵ | 0,10 | 1480000 | 1,10 | 0,38 |
| CNRM | 12 | mean SM6 & SM7 | 0,8 | 0,9 | 0,4 | 1800000 | 1,0 | beton | 0,10 | 2200000 | 1,70 | beton | 0,12 | 2200000 | 1,70 | beton | 0,12 | 2200000 | 1,70 | 0,36 |
| CNRM | 20 | idem classe 19 | 0,7 | 0,9 | 0,2 | 1600000 | 0,8 | idem SM ⁵ | 0,10 | 1480000 | 1,20 | idem SM ⁵ | 0,10 | 1480000 | 1,10 | idem SM ⁵ | 0,10 | 1480000 | 1,10 | 0,38 |

2.8 Caractéristiques radiatives et thermiques des toits

Les données fournies par le CSTB consistaient en une description des toits en 3 couches (Tableau 4).

Tableau 4. Caractéristiques des toits par type de toit

| Paramètres | Type de toit | | | | |
|--|--------------|----------|-------|-------|-------|
| | Ardoise | Terrasse | Tuile | Zinc | |
| Albedo (-) | 0,15 | 0,2 | 0,15 | 0,6 | |
| Emissivité (-) | 0,9 | 0,8 | 0,9 | 0,1 | |
| Épaisseur (m) | Couche 1 | 0,012 | 0,004 | 0,025 | 0,007 |
| | Couche 2 | 0,02 | 0,2 | 0,02 | 0,02 |
| | Couche 3 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| Capacité calorifique (MJ.m ⁻³ .K ⁻¹) | Couche 1 | 2,5 | 2,1 | 1,6 | 2,736 |
| | Couche 2 | 0,9 | 2,3 | 0,9 | 0,9 |
| | Couche 3 | 0,075 | 0,075 | 0,075 | 0,075 |
| Conductivité thermique (W.m ⁻¹ .K ⁻¹) | Couche 1 | 2,2 | 0,7 | 1 | 110 |
| | Couche 2 | 0,13 | 2,3 | 0,13 | 0,13 |
| | Couche 3 | 0,035 | 0,035 | 0,035 | 0,035 |

2.9 Caractéristiques radiatives et thermiques des routes

Nous avons utilisé des données uniformes pour la ville de Paris (Tableau 5) (Colombert, 2008). Les routes sont modélisées avec 3 couches.

Tableau 5. Caractéristiques des routes

| Paramètres | Routes | |
|--|----------|----------------------|
| Albedo (-) | 0,10 | |
| Emissivité (-) | 0,94 | |
| Matériau | Couche 1 | Béton bitumé |
| | Couche 2 | Béton bitumé & béton |
| | Couche 3 | Sol sec |
| Épaisseur (m) | Couche 1 | 0,04 |
| | Couche 2 | 0,37 |
| | Couche 3 | 1,0 |
| Capacité calorifique (MJ.m ⁻³ .K ⁻¹) | Couche 1 | 2,0 |
| | Couche 2 | 2,0 |
| | Couche 3 | 1,8 |
| Conductivité thermique (W.m ⁻¹ .K ⁻¹) | Couche 1 | 2,0 |
| | Couche 2 | 1,5 |
| | Couche 3 | 0,25 |

2.10 Ratio « surface de murs / surface urbaine au sol »

Quand la fraction de ville est non nulle dans la maille, TEB utilise le ratio « surface de murs / surface urbaine au sol ». La surface urbaine au sol est par définition égale à la surface de ville dans la maille (elle comprend la surface de routes et l'emprise au sol des bâtiments). Ce ratio (*paris_wall_o_hor*), a donc été calculé comme suit, en cohérence avec les données « ville » précédentes:

$$paris_wall_o_hor = \frac{paris_surf_wall}{paris_surf_town} \quad (7)$$

3 Préparation des données des espaces agricoles et naturels pour ISBA

3.1 Contexte

La fraction d'espaces agricoles et naturels est traitée par ISBA. Les données fournies par l'APUR fournissent la fraction totale de végétation dans la maille, ainsi que d'autres données difficilement utilisables pour caractériser les espaces agricoles et naturels plus en détail dans ISBA.

Il a par conséquent été décidé d'extrapoler les caractéristiques des espaces agricoles et naturels à partir des classes d'ECOCLIMAP et de leurs caractéristiques utiles dans SURFEX.

Les classes ECOCLIMAP présentes dans la zone géographique considérée sont celles décrites dans le tableau 6.

Tableau 6. Classes de végétation ECOCLIMAP présentes dans Paris

| Classe | Description |
|--------|--------------------------------|
| 151 | Zones urbaines denses |
| 153 | Zones suburbaines |
| 155 | Zones industrielles |
| 156 | Routes et voies ferroviaires |
| 157 | Zones portuaires |
| 158 | Aéroports |
| 159 | Mines |
| 160 | Parcs et jardins |
| 161 | Zones de sport et loisir |
| 168 | Cultures (plantes en C3 et C4) |
| 202 | Forêts |

3.2 Répartition spatiale et fractions des types d'espaces agricoles et naturels.

La répartition spatiale des types d'espaces agricoles et naturels et leurs fractions associées ont été générés en 2 étapes :

1. initialement par l'application de règles portant sur les différentes classes d'espaces agricoles et naturels extraites de la base de données ECOCLIMAP sur la zone géographique concernée. Ces règles sont présentées dans le tableau 7 ;

2. ensuite par l'affectation de la fraction de route destinée à être traitée par ISBA (paris_frac_road_isba) à la fraction existante de sol nu (frac_bare).

Les différents types de végétation contenus dans chacune de ces 11 classes ainsi que leur positions géographiques ont été extrait d'ECOCLIMAP dans GRASS et agrégés pour estimer i) la répartition géographique par types de végétation (variable VEGTYPE dans SURFEX et non plus par classes d'espaces agricoles et naturels, variables COVER) ainsi que ii) la fraction de chaque type de végétation dans chaque maille. Les types de végétation (et les cartes de fraction associées) sont les suivants² :

- x forest (frac_tree)
- x park (frac_park)
- x grass (frac_grass)
- x crops – C3 (frac_c3)
- x crops – C4 (frac_c4)
- x bare soil (frac_bare)

Tableau 7. Règles de création des types de végétation pour Paris

| VEGTYPE | Règle /COVER ECOCLIMAP | Valeur de la fraction de VEGTYPE |
|------------|---|----------------------------------|
| forest | cover 202 | 1 |
| | (covers 151 ou 153) et paris_frac_nature >= 0,8 | 0,8 |
| | (covers 151 ou 153) et paris_frac_nature < 0,8 | 0,5 |
| | cover 161 | 0,2 |
| | cover 160 | 0,8 |
| park | (covers 151 ou 153) et paris_frac_nature >= 0,8 | 0,2 |
| | (covers 151 ou 153) et paris_frac_nature < 0,8 | 0,5 |
| | cover 161 | 0,8 |
| | cover 160 | 0,2 |
| grass | cover 156 ou 158 | 1 |
| crops – C3 | cover 168 | 0,9 |
| crops – C4 | cover 168 | 0,1 |
| bare soil | covers 155 ou 157 ou 159 | 1 |

3.3 Caractéristiques des types de végétation

Pour les calculs dans ISBA, les 6 types de végétation (VEGTYPE) seront regroupés en 3 patchs de calculs : végétation haute (forest), végétation basse (park, grass, crops – C3 et crops – C4) et sol nu (bare soil). Par conséquent, des caractéristiques de végétation moyennes ont été préparées pour chaque patch selon les mêmes règles que ce qui est fait par SURFEX lors de l'utilisation d'ECOCLIMAP.

² pour pallier à des problèmes d'arrondis lors des calculs de fractions des types de végétation, le type de végétation « bare soil » a finalement été forcé (i.e. arrondi à 1.e⁻⁰⁶ près ou au-delà) pour que la somme des fractions des types de végétation soit exactement égale à 1.

3.4 Cas particulier du LAI pour la classe de végétation « forest »

Pour le type de végétation « forest », les mesures issues du projet CARBO-Europe effectuées en forêt de Fontainebleau (données « Barbeau ») ont été utilisées car elles étaient plus réalistes que le LAI fourni par ECOCLIMAP pour cette classe de végétation.

4 Préparation des flux de chaleur liés au trafic automobile

4.1 Contexte

Nous ne disposons pas à l'heure actuelle sur Paris de données des flux de trafic comparables à celles issues de la campagne de mesure CAPITOUL sur Toulouse. Nous disposons en revanche à partir des travaux de thèse de M. Colombert (2008) du trafic global sur la commune de Paris et d'une estimation du dégagement de chaleur associé. Pour palier à l'imprécision qui serait introduite en utilisant en chaque point de grille une valeur uniforme du flux de chaleur généré par le trafic automobile, le flux de chaleur dégagé par le trafic a été spatialisé en faisant l'hypothèse qu'il était proportionnel à la surface de route dans une maille. Le calcul du flux de chaleur dégagé par le trafic, Q_{traffic} , est prescrit dans TEB (donc par unité de surface de ville) et s'est effectué en 5 étapes:

- 1) évaluation de la fraction de routes dans chaque maille (à partir des données ville issues de l'APUR présentées précédemment) et calcul de la surface de route totale dans la commune de Paris (zone intramuros),
- 2) calcul du flux de chaleur total généré par le trafic dans Paris intramuros en utilisant les données de la thèse de M. Colombert (2008) puis calcul du flux de chaleur lié au trafic par unité de surface de route à partir des données calculées à l'étape précédente ($Q_{\text{traffic, road}}$ en $W m^{-2}$ de route),
- 3) calcul de Q_{traffic} ($W m^{-2}$ de ville), le flux de chaleur généré par le trafic, pour chacune des mailles de notre domaine géographique (Paris intra et extra muros) en utilisant le terme normatif $Q_{\text{traffic, road}}$ ($W m^{-2}$ de route) calculé pour Paris intramuros,
- 4) vérification et corrections en dehors de Paris intramuros des flux. Les flux sont notamment surestimés par la méthode lorsqu'il y a des zones avec des grands espaces de parkings ou des pistes d'aéroport,
- 5) répartition du flux de chaleur total corrigé en flux de chaleur sensible et latente.

4.2 Calculs et corrections

Étape 1

En chaque point de maille, la fraction de route au sein de la ville peut être calculée par :

$$f_{\text{road}}(i) = 1 - f_{\text{bld}}(i) \quad (8)$$

où $f_{\text{bld}}(i)$ est la fraction de bâti au sein de la ville (TEB) pour une maille i . Dans ce cas, la surface totale de routes dans le domaine de Paris se calcule :

$$S_{\text{road}}(\text{Paris}) = \sum_{\text{Paris}} f_{\text{road}}(i) \times f_{\text{town}}(i) \times S_{\text{mesh}} \quad (9)$$

où $f_{\text{town}}(i)$ est la fraction de ville dans la maille i et S_{mesh} est la surface de la maille (62500

m² dans notre cas). D'après les données de l'APUR, cette surface est alors de 465,92 fois la surface de maille.

Étape 2

Colombert (2008) a calculé pour Paris intramuros un flux de chaleur généré par le trafic routier de 13,23 W.m⁻² pour Paris intramuros intégrant les bois de Boulogne et de Vincennes (surface de 105 km²) et 15,96 W.m⁻² pour Paris intramuros hors bois de Boulogne et de Vincennes (surface de 87 km²), ce qui revient à un flux global moyen de 1388,5 mW pour l'ensemble de la zone Paris intramuros comprenant les deux bois. D'après les valeurs à notre disposition, nous en déduisons une valeur de 47,8 W m⁻² pour $Q_{\text{traffic, road}}$.

Étape 3

Pour chacune des mailles de notre domaine (intramuros et extérieur de la commune de Paris), nous exprimons Q_{traffic} selon l'équation suivante :

$$Q_{\text{traffic}} = \frac{Q_{\text{traffic, road}} \times f_{\text{road}}(i) \times f_{\text{town}}(i) \times S_{\text{mesh}}}{f_{\text{town}}(i) \times S_{\text{mesh}}} \quad (10)$$

$$\text{soit } Q_{\text{traffic}} = Q_{\text{traffic, road}} \times f_{\text{road}}(i) \quad (11)$$

Étape 4

Les classes d'occupation du territoire CORINE Land Cover 2006 (100m de résolution) ont été utilisées pour vérifier la cohérence entre le type d'occupation du sol et les valeurs Q_{traffic} calculées avec notre méthode. Cette étape a fait apparaître :

- x en dehors de Paris, des points de maille qui montraient des valeurs trop fortes de Q_{traffic} compte tenu de leur classe d'occupation du sol : pour les classes « Zones portuaires », « Zones industrielles et commerciales », « Équipements sportifs et de loisirs » et « Terres arables hors périmètres d'irrigation ». Cette vérification a montré qu'affecter à la fraction de routes la fraction non-bâtie de la surface de ville (voir équation (8)) nécessitait de corriger par la suite tous les points de maille pour lesquels cette hypothèse n'était pas vérifiée. En effet, pour les zones concernées, la surface de ville non bâtie ne comprend pas seulement de la voirie : les autres espaces bitumés (tels que parkings ou terrains sportifs) peuvent représenter une part importante de la surface urbaine non bâtie,
- x en dehors de Paris pour les classes « Tissu urbain continu » et « Tissu urbain discontinu », un ensemble de valeurs qui semblent sur-estimées, du fait de l'application à l'extérieur de Paris de $Q_{\text{traffic, road}}$ (terme estimé à partir des données de Paris intramuros).

Les corrections que nous avons appliquées sont présentées dans le tableau 8.

Tableau 8. Corrections appliquées au Q_{trafic} calculé étape 3

| Classe CORINE concernée | Correction appliquée | Description |
|---|---|---|
| Zones portuaires (5) Zones industrielles et commerciales (3) | Q_{trafic} majoré à $10,9 \text{ W.m}^{-2}$ | Cette valeur correspond à la moyenne journalière de Q_{trafic} (à la résolution de 100m) pour les routes principales de l'agglomération de Toulouse (Pigeon et al., 2007). |
| Équipements sportifs et de loisirs (11) Terres arables hors périmètres d'irrigation (12) | Q_{trafic} majoré à $5,5 \text{ W.m}^{-2}$ | Ces zones sont censées accueillir pas ou peu de trafic automobile. La valeur maximale retenue correspond à la valeur moyenne journalière de Q_{trafic} (à la résolution de 100m) pour les routes du centre ville de l'agglomération de Toulouse (Pigeon et al., 2007). |
| Tissu urbain continu (1) Tissu urbain discontinu (2) | Q_{trafic} majoré arbitrairement à $21,8 \text{ W.m}^{-2}$ | Valeur arbitraire correspondant à 2 fois la moyenne journalière de Q_{trafic} pour les routes principales de l'agglomération de Toulouse (Pigeon et al., 2007). |

Étape 5

Finalement, en chaque point de maille, les flux de chaleur sensible et latente sont obtenus respectivement en appliquant au flux de chaleur total corrigé les ratios de 92% et 8% préconisés par Pigeon et al. (2007).

Remerciements

Nous remercions l'APUR et le CSTB pour leur travail sur les données initiales d'occupation du sol et de description des bâtiments.

Références

Colombert, M., 2008. Contribution à l'analyse de la prise en compte du climat urbain dans les différents moyens d'intervention sur la ville. Thèse de l'Université Paris-Est. Septembre 2008.

Pigeon, G., Legain, D., Durand, P., Masson, V., 2007. Anthropogenic heat release in an old European agglomeration (Toulouse, France). International Journal of Climatology, vol.27, n°14, p.1969-1981.