CARTOGRAPHIE CLIMATIQUE : QUELLES SPÉCIFICITÉS POUR LES VILLES DU SUD ?

par Zohra Mhedhbi, Sinda Haouès-Jouve, Julia Hidalgo

Université Toulouse Jean Jaurès, UMR5193 LISST
5allées A. Machado 31058 Toulouse
Météo-France, UMR 3589 CNRM
42 avenue Gaspard Coriolis 31057 Toulouse
zohra.mhedhbi@univ-tlse2.fr, sinda.haoues-jouve@univ-tlse2.fr, julia.hidalgo@univ-tlse2.fr

et Valéry Masson

Météo-France, UMR 3589 CNRM
42 avenue Gaspard Coriolis 31057 Toulouse
valery.masson@meteo.fr

Il est aujourd'hui crucial de penser la pertinence, les modalités et les limites d'une éventuelle adaptation aux contextes des villes du Sud de certaines solutions et outils conçus et mis en œuvre dans les villes du Nord pour appuyer le processus d'adaptation au changement climatique dans le champ de l'urbanisme. Dans ce cadre, ce travail propose une réflexion sur l'adaptabilité particulière des cartes climatiques de l'environnement urbain qui se développent largement au Nord et commencent à se diffuser vers certaines villes du Sud. La circulation de cet outil à travers des villes telles que Stuttgart, Tokyo, Hong-Kong ou encore Salvador témoigne de sa grande adaptabilité à différents contextes urbains. C'est à ce titre que l'on propose de qualifier cet outil de best tool *par analogie à* best practices. *Dans le cadre d'une thèse en cours, nous proposons de développer cet outil à l'échelle du Grand Tunis en l'ajustant aux particularités de ce territoire.*

Dans le contexte actuel marqué par le changement climatique, les villes jouent un rôle majeur et complexe dans l'amplification de ce phénomène à différentes échelles. D'une part, elles contribuent au réchauffement qui s'opère à l'échelle globale, à travers les émissions de gaz à effet de serre issues des activités anthropiques (trafic routier, chauffage domestique et climatisation, industries, etc.) ; d'autre part, ce réchauffement global est amplifié au cœur des villes par le microclimat spécifique qui y règne, phénomène bien connu sous le nom d'îlot de chaleur urbain (ICU) (Oke 1982). Cela fait de l'adaptation au changement climatique un nouvel enjeu pour toutes les villes du monde, quelles que soient leur localisation et leur taille.

Beaucoup d'efforts sont entrepris dans les villes du Nord afin d'intégrer les problématiques climatiques dans la planification et l'aménagement urbains, comme par exemple l'installation de systèmes de *monitoring* des conditions microclimatiques ou le développement d'outils d'analyse climatique d'ordre cartographique. Les villes du Sud quant à elles, éprouvent des difficultés à faire de l'adaptation une priorité en matière d'urbanisme, compte tenu des nombreux défis urbains plus classiques auxquels elles sont confrontées : pauvreté massive, forte croissance démographique, etc. Il est donc crucial d'interroger la pertinence, les modalités et les limites d'une éventuelle adaptation aux contextes particuliers des villes du Sud de certaines solutions et outils conçus et mis en œuvre dans les villes du Nord. Parmi ces outils nous pouvons citer la carte climatique de l'environnement urbain développée depuis quelques années dans plusieurs villes à travers le monde comme la ville de Cassel en Allemagne ou celle d' Arnhem aux Pays-Bas. (Ren *et al*. 2011)

L'objectif de cet article est d'analyser la circulation de l'outil carte climatique et son éventuelle adaptabilité aux contextes des villes du Sud. Nous commencerons par mettre l'accent sur la méthodologie d'élaboration de la carte climatique de l'environnement urbain, et sur sa circulation à travers le monde. Ensuite, nous

1 Une carte LCZ permet de classer les zones urbaines de surface homogène en termes de matériaux de construction, d'occupation du sol, de structure du bâti et d'activités humaines.

envisagerons les modalités de son adaptation à des contextes urbains caractérisés par une pénurie de données urbaines. Enfin, nous ferons un focus sur les possibilités d'ajustement au contexte des villes du Sud de la carte en Zones Climatiques Locales (LCZ)[1], laquelle pourrait être une des solutions pour la construction des cartes climatiques dans un tel contexte.

La carte climatique : un *best tool* pour la prise en compte du climat dans la planification et l'aménagement urbain ?

L'environnement climatique est une composante du système urbain à prendre en compte par les politiques urbaines afin d'améliorer le cadre de vie et le confort des habitants. Même si depuis les années 1970, la climatologie urbaine est une discipline bien établie qui produit de nombreuses connaissances, ses résultats peinent encore à percoler dans les pratiques de planification et d'aménagement urbain (Mills *et al*. 2010). Aujourd'hui, le besoin de tisser des liens entre chercheurs et praticiens urbains émerge fortement afin de construire un référentiel commun pouvant conduire à des pratiques urbanistiques plus respectueuses du climat. Dans le contexte français par exemple, six équipes de recherche de diverses disciplines conduisent avec des praticiens de l'urbanisme un projet de recherche ANR intitulé « Modélisation Appliquée et droit de l'Urbanisme : Climat urbain et Énergie » (MApUCE). Ce projet vise à intégrer dans les politiques urbaines et les documents juridiques les plus pertinents des données quantitatives de microclimat urbain, climat et énergie, dans une démarche applicable à toutes les villes de France.

Afin de favoriser le dialogue entre chercheurs et praticiens autour de cette problématique, la cartographie climatique, testée sur le site toulousain, s'est avérée être un outil pertinent, d'une part pour traduire et spatialiser les connaissances coproduites (Hidalgo et Touati 2015 ; Touati 2017) et d'autre part comme outil d'analyse, de communication et d'aide à la décision (Hidalgo *et al*. 2018)

La carte climatique

La carte climatique de l'environnement urbain (*Urban Climate Map*, *UC-Map* en anglais) est un outil cartographique qui permet de diagnostiquer les conditions microclimatiques de l'environnement urbain et d'en tirer des recommandations spatiales visant à améliorer le confort thermique des usagers (Ren *et al*. 2012).

L'*UC-Map* est constituée de deux composantes principales :

- La carte d'analyse du climat urbain (*UC-AnMap*) permet de diagnostiquer l'état physique de l'environnement climatique urbain en tenant compte de la topographie de la zone d'étude, de la morphologie urbaine, de l'occupation du sol et des données climatiques locales. La combinaison de ces données permet une étude spatialisée de leurs effets sur le confort thermique, à travers une classification de l'espace urbain en différents climatopes. Chaque climatope correspond à des zones homogènes ayant des caractéristiques bien déterminées : climatope forestier, climatope aquatique, climatope commercial (en se référant au type de bâtiments existant dans la zone), etc.

- La carte de recommandations (*UC-ReMap*) a pour objectif de proposer des pistes en mesure d'orienter les scénarios de planification et d'aménagement urbains en se basant sur l'analyse obtenue de l'*UC-AnMap*. En effet, les climatopes similaires sont regroupés en zones homogènes pour lesquelles des recommandations sont formulées afin de mieux les adapter aux contraintes climatiques auxquelles elles sont exposées. Tout l'enjeu consiste à penser la territorialisation des recommandations proposées. Cela nécessite une collaboration étroite avec les acteurs locaux de l'urbain afin de traduire efficacement les informations relatives au climat urbain et de les inscrire dans le projet du territoire.

En se basant sur *l'UC-ReMap*, les zones les plus vulnérables au stress thermique peuvent être sélectionnées pour une analyse plus approfondie qui peut aller jusqu'à la construction d'une carte climatique à échelle plus fine.

Sa circulation à travers le monde

La première carte climatique de l'environnement urbain (*UC-Map*) a été conçue par des chercheurs allemands dans les années 1970 pour la ville de Stuttgart. Baptisée « *Synthetic Climate Function Map* » (Baumüller *et al*. 1992), elle était appuyée par une forte volonté politique d'adopter des stratégies de planification urbaine durable (Hebbert et Mackillop 2013). Des lois spécifiques, et notamment le code fédéral allemand du bâtiment (BAUGESETZBUCH), imposent explicitement que les nouveaux aménagements urbains respectent certaines normes environnementales et climatiques. Dans ce contexte, différents outils parmi lesquels des *Climate Analysis*

Maps, des *Synthetic Functions Maps* et des *Digital Environmental Atlas* ont été développés à Berlin et dans la région de la Ruhr (Stock et Beckröge 1985). Depuis, ce type d'outils s'est largement diffusé en Allemagne. Aujourd'hui, plusieurs villes ont développé leurs propres cartes climatiques : Berlin, Francfort, Stuttgart et Fribourg (Ng et Ren, 2015).

Le Japon est également l'un des pays les plus concernés par le développement de ces outils. Au cours des dernières années, des *Urban Environmental Climate Maps* (*UECM)* (Tanaka *et al*. 2009) ont été élaborées pour plusieurs villes japonaises (Kobe, Osaka, Yokohama et Sakai). Les UECM correspondent elles aussi à deux types de cartes : *Climate Analysis Map* (CAM) et *Recommandation Map* (RM).

Outre les villes allemandes et japonaises, d'autres villes à travers le monde ont développé leurs propres cartes climatiques, notamment en Chine, au Vietnam, à Singapour, au Brésil, à Taïwan, au Portugal, en Angleterre, en Espagne, en Suède, au Pays-Bas, etc… Différentes approches ont été choisies en fonction du contexte de la ville. Généralement, les priorités thématiques et le contexte géographique de la ville sont les facteurs qui orientent le plus fortement la construction des cartes climatiques. Les résultats des cartes d'analyse sont également traduits différemment d'une ville à une autre, en fonction essentiellement du projet du territoire et des orientations stratégiques urbaines locales (Ren, Ng et Katzschner, 2011).

La carte climatique : *un best tool ?*

Dans le contexte actuel de mondialisation et de circulation de l'information, les acteurs urbains se préoccupent de ce qui se fait ailleurs et cherchent à s'en inspirer pour résoudre certains problèmes locaux. Ce souci de prendre appui sur « l'expérience des autres » (Arab 2007) génère une circulation internationale des modèles urbains qui s'accompagne de traductions et d'appropriations locales (Bourdin et Idt 2016). La circulation d'idées, de projets, de démarches ou dispositifs, souvent désignés de « best practices », participe au renouvellement des pratiques urbanistiques. Dans le même temps, par effet de mimétisme, cette circulation est susceptible de participer à l'homogénéisation des manières de faire et à l'effacement des singularités des productions urbaines. Par ailleurs, l'analyse des modalités de production et de circulation des modèles urbains entre lieux producteurs et lieux récepteurs révèle que ces processus sont loin d'être neutres, notamment au regard des rapports de force qui peuvent se nouer entre protagonistes, et des effets produits sur les systèmes de gouvernance locaux (Peyroux et Sanjuan 2016). De plus, les représentations classiques selon lesquelles les foyers d'innovation urbaine seraient localisés dans les pays du Nord sont remises en question dans la mesure où des pratiques et des projets urbains innovants émergent et diffusent à partir de nombreuses villes du Sud (Moussi 2010 ; Verdeil 2005).

Dans ce contexte d'échange et de circulation des savoirs en matière de relation entre ville et climat, et face au problème du réchauffement climatique, plusieurs villes ont opté pour la construction de leurs propres cartes climatiques à l'instar de Tokyo, Hong-Kong, Berlin ou encore Arhem aux Pays-Bas. Ces expériences de construction de cartes climatiques dans des contextes urbains très contrastés semblent témoigner en faveur de la malléabilité et de l'adaptabilité de ce dispositif qui peut ainsi circuler entre différents contextes locaux moyennant des ajustements. A titre d'exemple, en Allemagne, les cartes climatiques prennent en considération davantage qu'ailleurs la capacité de ventilation de l'espace urbain, du fait que dans ce pays la problématique de la qualité de l'air reste prioritaire par rapport à la question du stress thermique. A HongKong, en plus de la question de ventilation urbaine, la carte climatique prête particulièrement attention au confort thermique estival en raison des caractéristiques topographiques et surtout de la morphologie urbaine dans cette région. À Arnhem aux Pays-Bas, bien que le confort d'été ne soit pas encore un problème majeur de santé publique, la ville anticipe et s'appuie sur la carte climatique pour réfléchir à la vulnérabilité des personnes âgées, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur des bâtiments (Ng et Ren, 2015).

C'est au titre de cette labilité qu'on postule qu'il est possible de considérer le dispositif « carte climatique » comme un *best tool* - expression que nous forgeons par analogie avec celle de *best practice* - dont il convient d'interroger les effets. C'est à cette tâche que nous voulons nous atteler à Tunis où nous projetons de coproduire ce dispositif avec certains acteurs locaux de l'urbanisme, en particulier l'Agence d'Urbanisme du Grand Tunis en sa qualité de principal acteur de la planification urbaine de cette région. Cet objectif implique de notre part le pari de concilier deux postures : celle de l'expert qui contribue à la mise en place d'un objet (en l'occurrence la carte climatique) et celle du chercheur qui observe et analyse les modalités et les effets de cette mise en place.

Construire des cartes climatiques : quelle place accorder à la carte LCZ ?

Outre les précautions que nous avons évoquées à propos de la circulation de la carte climatique et de sa mise en place dans de nouveaux contextes urbains, nous prêtons une attention particulière à l'adaptation des modalités de construction de cet outil aux situations caractérisées par une pénurie de données urbaines. Parmi les ajustements que nous suggérons figure le recours à la typologie en Zones Climatiques Locales (LCZ) et à la carte LCZ correspondante comme moyen de combler le manque de certaines de ces données.

La carte LCZ dans la construction de la carte climatique

Stewart et Oke ont proposé une nouvelle typologie à vocation universelle pour caractériser à la fois l'occupation du sol et la morphologie du bâti : les Zones Climatiques Locales (LCZ) (Stewart et Oke, 2012). Cette typologie est construite sur la base d'un panel complet de paramètres qui entrent en jeu dans la création de l'ICU et influencent son intensité. Ces paramètres sont relatifs aux propriétés physiques de la surface et au métabolisme urbain (flux d'énergie anthropique). Les 17 types de LCZ représentent une description simplifiée de la surface urbaine, renseignant notamment sur les hauteurs de bâtiment et l'occupation du sol. Cette classification compte 10 types urbains et 7 types naturels (fig. 1).

A chaque LCZ correspond une fiche caractéristique qui comprend une série d'indicateurs avec des plages représentatives pour la zone. Ce sont dix indicateurs qui peuvent être classés en 5 catégories : les caractéristiques des matériaux (albédo et coefficient de convection), de morphologie urbaine générale (rugosité), les expositions aux flux solaires (effet canyon et facteur de vue du ciel), la morphologie du bâti (hauteur moyenne et densité de bâti), le type de surface (imperméable, perméable) et enfin les flux de chaleur anthropiques.

Cette approche a reçu un fort intérêt de la part de la communauté de climatologie urbaine, comme le montre l'affluence qu'a connue la session dédiée à ce thème lors de la 9ème conférence internationale sur le climat urbain (Toulouse, 20-24 juillet 2015, www.meteo.fr/icuc9), session à laquelle ont assisté plus de 200 chercheurs.

Outre l'étude des ICU, cette typologie peut servir à combler le manque d'informations sur les villes et à harmoniser les données urbaines à travers le monde. En effet, le rapport du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) a mentionné dans son rapport de 2014 la pénurie relative à ces informations observée dans les zones urbaines (IPCC 2014).

En ce qui concerne l'information qui peut être pertinente pour les études climatiques, il n'y a aucune cohérence entre les bases de données urbaines disponibles à l'échelle internationale en termes de résolution spatiale et de paramètres caractérisant le paysage urbain. Par conséquent, la communauté scientifique de la climatologie urbaine est confrontée à l'absence d'une description standardisée de l'occupation du sol urbain et de la couverture terrestre des villes et des paysages environnants (densités, hauteurs, couverture naturelle et fonction). Ce contexte a favorisé l'émergence d'une initiative mondiale de collecte de données urbaines permettant de disposer - pour un nombre croissant de villes - de multiples informations caractéristiques sur les morphologies et les paysages urbains (morphologies, géométries, informations thermiques/physiques, couverture de surface, etc…), de manière homogénéisée et standardisée. C'est l'objectif poursuivi par le projet international WUDAPT[2].

La participation à la construction des cartes LCZ dans le cadre du projet WUDAPT

WUDAPT est une initiative internationale qui vise à répondre à la nécessité de construire une base de données mondiale sur les villes fournissant les données nécessaires aux études climatiques. Cette initiative vise à mobiliser les LCZ pour décrire de manière homogène les surfaces urbaines en recueillant des données sur les formes d'occupation de l'espace et les fonctions qui leur sont associées. Outre la production de données, ce projet permet d'homogénéiser - au sein de la communauté des climatologues urbains- la représentation des surfaces urbaines à l'échelle internationale. A terme, il assurera également l'accès à un certain niveau de précision de données urbaines dans des contextes où celles-ci ne sont pas disponibles.

Le projet WUDAPT adopte une approche hiérarchique en trois niveaux pour recueillir les données :

- Niveau 0 : Les villes sont cartographiées en se basant sur une classification en zones climatiques locales LCZ (Stewart et Oke, 2012).

2 http://www.wudapt.org/

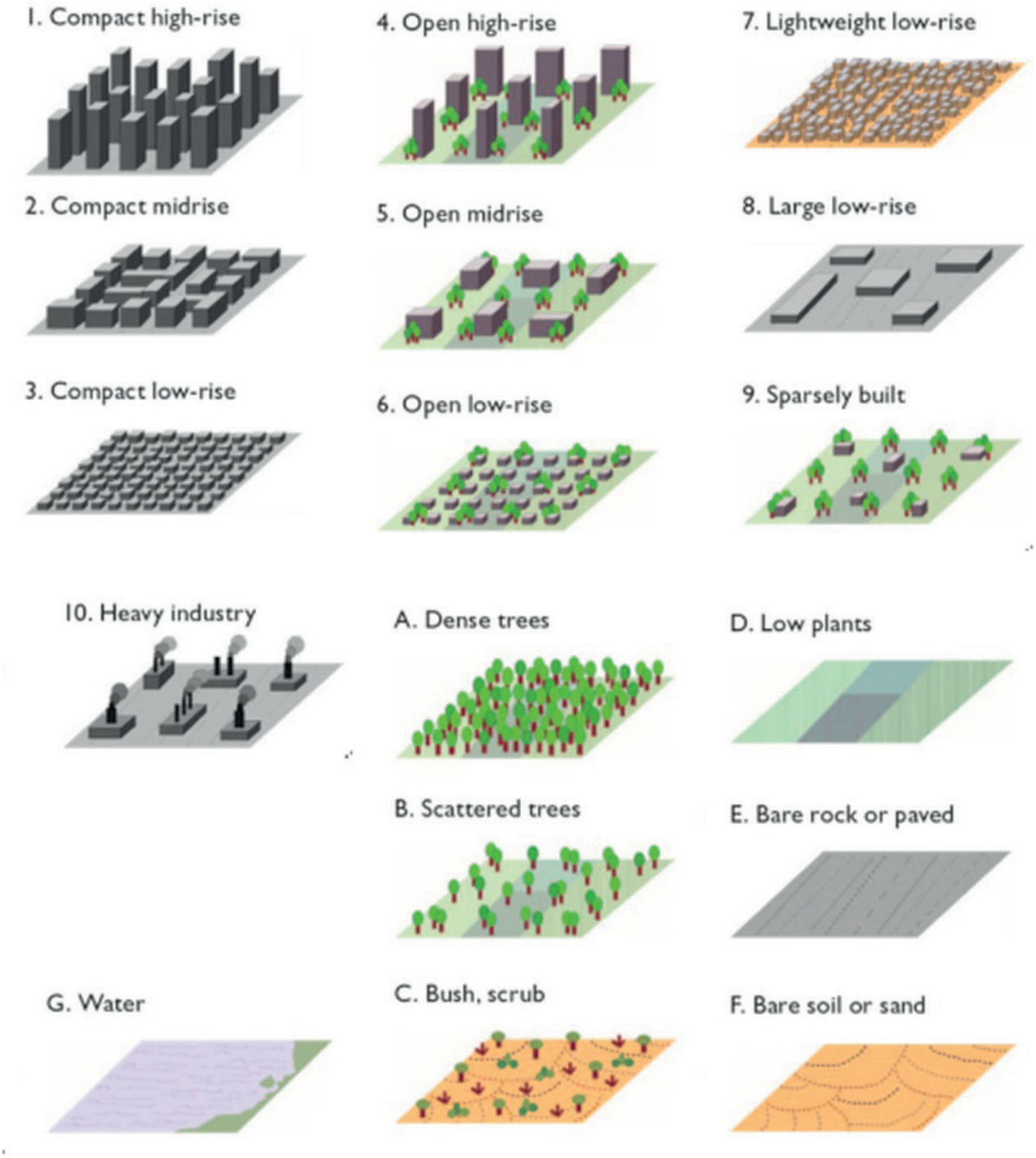

Figure 1 : Classification des zones urbaines et rurales en Zones Climatiques Locales (Stewart et Oke, 2012)
1. Bâtiments de grande hauteur et de forte densité ; 2. Bâtiments de hauteur moyenne et de forte densité ; 3. Bâtiments de basse hauteur et de forte densité ; 4. Bâtiments de grande hauteur et de basse densité ; 5. Bâtiments de hauteur moyenne et de basse densité ; 6. Bâtiments de basse hauteur et de basse densité ; 7. Bâtiments légers de basse hauteur et de forte densité ; 8. Grande zone pavée ; 9. Bâtiments étalés ; 10. Zone industrielle ; A. Forêt dense ; B. Arbres dispersés ; C. Arbustes, arbrisseaux ; D. Végétation basse ; E. Rocher dénudé ou sol pavé ; F. Terre dénudée ou sable ; G. Plan d'eau.

- Niveau 1 : Ce niveau propose des valeurs plus précises pour les paramètres de chaque LCZ en mettant l'accent sur les formes urbaines (hauteur du bâti, longueur de rue, etc.) et les fonctions (bureau, industriel, résidentiel, etc.).

- Niveau 2 : Il s'agit du niveau le plus précis et le plus riche en détails. Il fait référence aux données urbaines recueillies à une échelle spatiale spécifiée (250 m) de l'ensemble de la zone urbaine. Ce niveau permet de distinguer plus de précision au sein d'une même LCZ.

Dans le cadre de WUDAPT, un protocole a été conçu pour cartographier les villes du monde au niveau 0 (Bechtel *et al*. 2015). Les données utilisées sont essentiellement des images Landsat, disponibles gratuitement sur le site USGS de la Nasa. Les logiciels utilisés sont des logiciels libres : *Google Earth* et le système d'information géographique SAGA.

La méthode proposée est une classification supervisée qui repose sur des zones d'apprentissage correspondant aux 17 typologies de LCZ qu'il faut identifier et dessiner sur *Google Earth* en se référant à *Google Street View*. En partant de ces zones d'apprentissage, une classification semi-automatique de la région d'intérêt est effectuée en utilisant des données de télédétection multi-spectrale, multi-temporelle et des méthodes statistiques telles que les réseaux de forêt aléatoire.

Dans la partie suivante, nous allons interroger le potentiel de ces outils et leur capacité à être mobilisés pour différents usages.

Place accordée à la carte LCZ dans la construction de l'*UCMAP*

La construction classique de l'*UC-ReMap* se base généralement sur des zonages issus de l'*UC-AnMap*. Ces zonages sont construits en se basant sur une analyse statistique de la topographie du terrain, des paramètres climatiques, de l'occupation du sol et de la morphologie de la ville étudiée. Les critères de leur construction ne sont pas standardisés, mais plutôt propres à chaque cas d'étude. Cela dépend essentiellement de la disponibilité des données et des expertises locales.

Nous considérons que les LCZ peuvent présenter une solution alternative pour la construction de la carte de recommandations *UC-ReMap*, cela grâce à la série d'indicateurs qui les caractérise. En outre, utiliser de manière standardisée pour toutes les villes les LCZ comme données de base pour construire l'*UC-ReMap* peut aider à avoir une certaine cohérence dans la définition des couches d'entrée. Grâce aux LCZ, les données de surface sont faciles à générer, notamment en se basant sur la méthode WUDAPT, ce qui présente un grand intérêt pour les villes ayant un accès limité aux ressources nécessaires pour une étude de cartographie climatique. Cependant, l'approche présente des limites dans la mesure où les LCZ ne prennent pas en compte les données topographiques. Donc, lorsqu'elles sont utilisées pour la cartographie climatique, les LCZ doivent être combinées avec des couches complémentaires renseignant la topographie, la température, le flux d'air et l'humidité. L'utilisation pour la première fois de la carte LCZ pour la construction de *UC-ReMap* a été réalisée pour le cas de l'agglomération toulousaine, dans le cadre du projet MApUCE par un travail commun entre le Laboratoire Interdisciplinaire Solidarités, Sociétés, Territoires (LISST), le Centre National de Recherches Météorologiques (CNRM) et l'Université chinoise de Hong-Kong (Lau *et al.* 2018). Les chercheurs ont procédé à une pixellisation de la carte LCZ, puis ils ont superposé cette dernière avec un indicateur de stress thermique issu de la modélisation climatique à l'échelle locale (UTCI) pour plusieurs plages horaires afin d'obtenir une typologie simplifiée par rapport à celle des LCZ. Cette simplification est censée faciliter la transmission de cet outil vers les acteurs locaux et la préconisation d'actions adaptatives.

Cette approche nous semble être adaptable aux contextes urbains caractérisés par une pénurie des données, ce qui est le cas de nombreuses villes du Sud.

Adaptation de la méthode de classification en LCZ au contexte des villes du Sud

Afin de participer au développement des études climatiques dans les pays du Sud, nous sommes en train d'appliquer la méthode WUDAPT à un panel de 15 villes de la zone Afrique du Nord et Moyen-Orient (MENA) (fig. 2), en proposant des ajustements tenant compte de la spécificité climatique de cette zone et surtout de l'absence ou des lacunes en matière de données urbaines disponibles.

Choix des données satellites

La zone MENA présente une homogénéité climatique selon la classification de Köppen (Kottek *et al*. 2006). En effet, elle est classée BWH[3]. Le climat de notre panel de villes est donc globalement qualifié d'aride. La couverture végétale y est limitée et les matériaux de

3 B : Arid, W : winter dry, H : hot arid

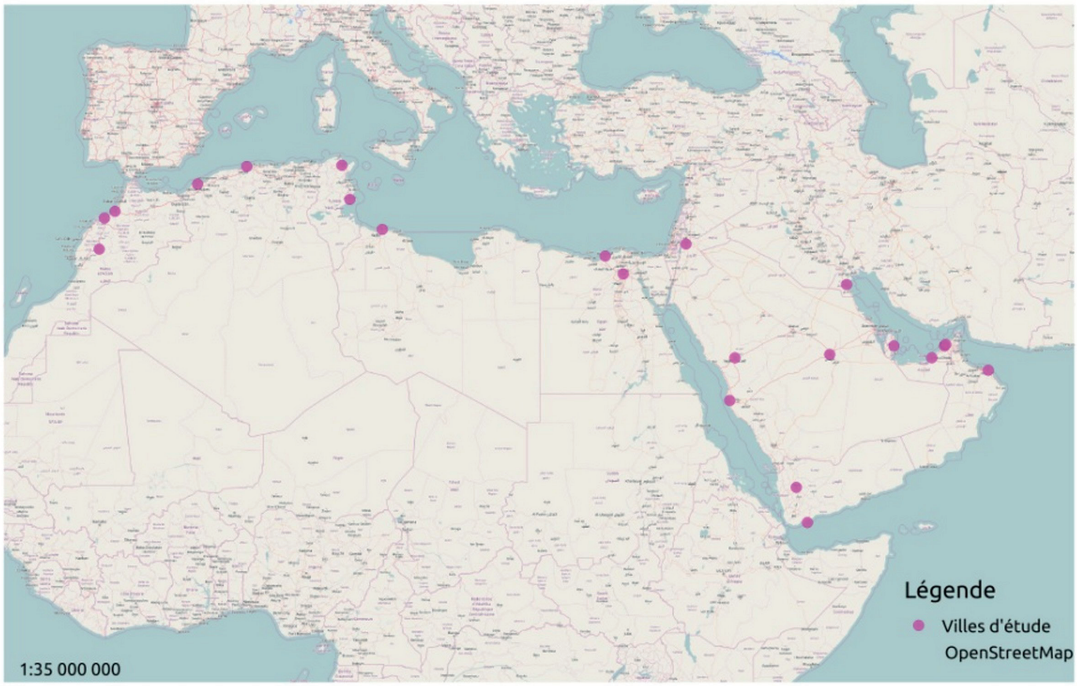

Figure 2 : Les villes à classifier avec la méthode WUDAPT

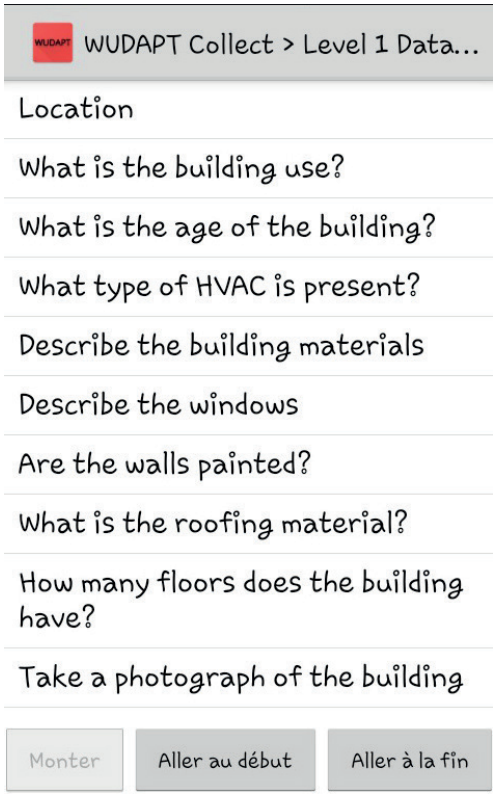

Figure 3 : Le questionnaire WUDAPT (WUDAPT)

construction ressemblent souvent à la surface naturelle présente aux alentours de la ville. Une bonne résolution radiométrique pourrait améliorer la classification. C'est pour cela que pour classifier notre panel de villes, nous avons préféré travailler avec les images satellitaires Sentinel 2a qui présentent une résolution radiométrique plus fine que Landsat 8.

En outre, Sentinel2a a une fauchée[4] plus grande que celle de Landsat 8 (290 km au lieu de 185 km), ce qui augmente la chance de couvrir avec une même scène toute la tache urbaine d'une ville. La différence de résolution spatiale entre ces deux satellites ne pose pas de problème étant donné que nous optons pour un ré-échantillonnage dans une grille commune de 100 m. Enfin, l'équipe WUDAPT a obtenu de bons résultats de classification avec Sentinel 2a, ainsi que le montre l'exemple de Beyrouth qui a été classifiée avec des images Landsat et des images Sentinel (Kaloustian et Bechtel 2016).

Pallier l'absence de Google Street View

La méthode proposée par WUDAPT est une classification supervisée qui se base sur l'identification manuelle de zones d'apprentissage. Afin d'identifier ces zones, le protocole WUDAPT utilise la vue 3D de la ville fournie par *Google Street View,* notamment pour identifier les hauteurs de bâtiments. Or, pour le panel qui nous intéresse, seule Dubaï dispose de cet outil sur la totalité de son territoire ; et récemment Tunis et Sfax mais de manière partielle. Pour cartographier les autres villes, nous proposons de mettre en place une démarche participative palliant l'absence de cet outil. La stratégie choisie a recours à la cartographie volontaire basée sur le *crowdsourcing* comme mode de production des données. L'objectif est de collecter, à travers un questionnaire diffusé sur les réseaux sociaux, une description des hauteurs de bâtiments pour dessiner les zones d'apprentissage avec plus de précision et garantir ainsi une meilleure qualité de classification.

Pour tester et valider la méthode de *crowdsourcing*, nous avons choisi de la déployer en premier sur Tunis. En effet, le fait que cette ville dispose depuis peu de l'outil *Google Street View* (mars 2017) nous permettra de tester le questionnaire et ensuite d'évaluer la pertinence et l'efficacité de la démarche en comparant les résultats obtenus grâce à l'enquête avec ceux issus de l'utilisation de *Google Street View*.

Dans le cadre du projet WUDAPT, un autre outil a été développé dans Geopedia (See *et al*. 2015) pour la collecte de données de niveau 1. Ce niveau nécessite un échantillonnage des LCZ pour affiner les plages de paramètres qui les caractérisent. Cela est possible à travers la collecte de photos géo-référencées.

L'outil en question prend la forme d'une application (fig. 3) qui comprend : la localisation, l'usage du bâtiment, l'âge du bâtiment, l'existence d'un système de climatisation, la nature des matériaux de construction, les fenêtres, la peinture des murs, la toiture, le nombre d'étages et une photo du bâtiment.

Pour construire notre questionnaire (fig. 4), nous nous sommes inspirés de cette application afin d'articuler notre travail à la dynamique du projet WUDAPT. Cependant, nous nous sommes efforcés d'adapter le contenu du questionnaire à l'objectif de notre étude et à notre population cible. En effet, l'application WUDAPT est à destination d'experts (communautés d'architectes, étudiants en urbanisme ou en architecture, etc.), alors que notre questionnaire vise un public plus large. Pour cela, nous avons modifié l'ordre des questions : la localisation en premier, suivie de la question concernant le nombre d'étage. Nous avons supprimé la question relative à la toiture étant donné qu'à Tunis, la majorité des toitures sont des toitures terrasses. Nous avons également supprimé la question relative à l'âge du bâtiment car elle nous a semblé compliquée à renseigner par des contributeurs non spécialistes. A propos de la couleur des murs, il nous a semblé plus pertinent de demander aux contributeurs si les murs sont clairs ou foncés, plutôt que peints ou non peints. Enfin nous avons rajouté au début du questionnaire un court paragraphe explicitant l'objectif de celui-ci et le contexte de l'étude, l'idée étant de susciter l'intérêt des contributeurs et de les sensibiliser aux enjeux climatiques.

Pour diffuser ce questionnaire créé sur *Google Forms*, nous avons choisi le réseau social *Facebook*. Notre choix se base sur le fait que les réseaux sociaux sont des médias très répandus en Tunisie. Depuis 2008, l'usage de *Facebook* s'est fortement développé dans la société tunisienne, l'objectif étant alors de contourner la censure qui dominait les médias traditionnels avant la révolution tunisienne de 2011 (Lecomte, 2011). Selon le rapport de Medianet labs (Medianet 2016), *Facebook* reste le média socio-numérique le plus utilisé en Tunisie avec 6 100 000 utilisateurs en 2016, soit 55 % de la population. Nous sommes partis de l'hypothèse selon laquelle l'intérêt manifesté pour la vie politique à travers les réseaux sociaux - et notamment *Facebook* - pourrait s'étendre aux questions environnementales.

4 La surface observée par les capteurs d'un satellite en orbite autour d'une planète

Participez à la description de votre ville pour le climat

*Obligatoire

Pour nous aider à proposer aux acteurs locaux de votre ville des pistes d'amélioration de votre confort thermique estival, veuillez répondre à ce questionnaire.

Adresse du bâtiment que vous voulez décrire *
Numéro de bâtiment , Rue, Ville

Indiquez le nombre d'étages du bâtiment *

Quel est l'usage du bâtiment?

Existe-il un systéme de climatisation?

Quels sont les matériaux de construction?

Description des fenêtres

Les murs sont ils de couleur claire ou foncée?

Pourriez vous ajouter une photo du bâtiment?

Figure 4 : Notre questionnaire

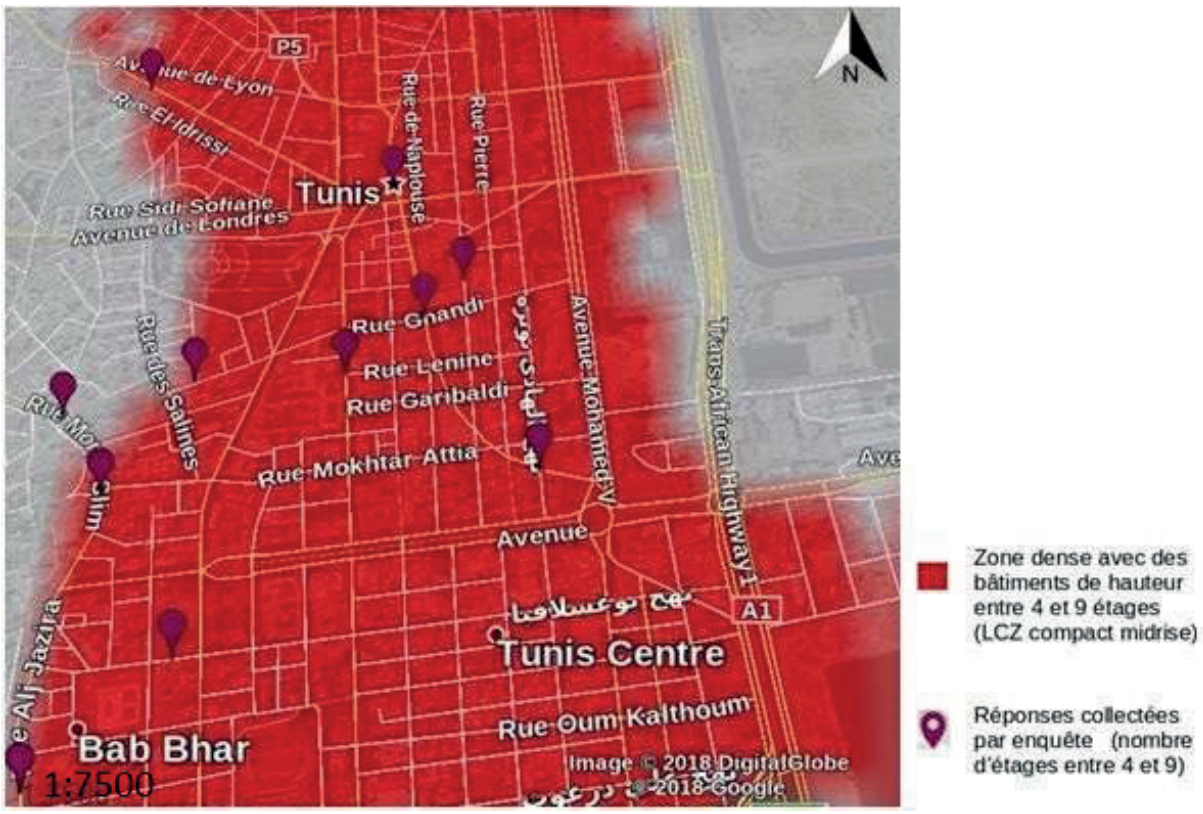

Figure 5 : Validation des résultats de notre questionnaire

Nous avons lancé l'enquête en décembre 2017. Pour le moment, nous avons une centaine de réponses, mais nous comptons continuer la collecte jusqu'en juin 2018. Les réponses obtenues jusqu'à présent nous ont permis d'effectuer un zoom sur un quartier du centre-ville de Tunis (fig. 5). Ce quartier est classé en LCZ *compact midrise* (zone caractérisée par des bâtiments ayant entre 4 et 9 étages). Par ailleurs, les 10 réponses collectées sur ce quartier indiquent que les bâtiments identifiés ont de 4 à 9 étages. Ce résultat montre qu'il est a priori possible de se référer à cette méthode de collecte de données pour pallier l'absence ou l'incomplétude de *Google Street View*. Cette méthode pourrait être utile pour plusieurs villes du Sud ne disposant pas de cet outil comme les villes de la zone MENA.

Conclusion et perspectives

L'adaptation au changement climatique est un nouvel enjeu pour toutes les villes du monde. Celles-ci vont devoir mettre en place des processus d'adaptation à ses effets, notamment dans le champ de l'urbanisme qui nous intéresse en premier lieu. Cet article explore la possibilité d'adapter aux contextes particuliers des villes du Sud certaines solutions et outils conçus et mis en œuvre dans les villes du Nord. Dans ce cadre, l'analyse de la circulation de la carte climatique de l'environnement urbain a montré sa grande adaptabilité à différents contextes urbains, essentiellement au Nord. S'agissant des villes du Sud, l'absence ou du moins l'incomplétude des données urbaines oblige à penser l'ajustement des modalités de production de cet outil. Cette adaptation nécessite un travail à multiples niveaux. En l'absence des données nécessaires à la construction de la carte d'analyse du climat urbain (*UC-AnMap*), la carte LCZ peut constituer une alternative intéressante. Cependant, dans ce contexte, l'élaboration même de la carte LCZ exige une adaptation, compte tenu de la nécessité de disposer de la vue 3D de la ville fournie par *Google Street View*. Dans la mesure où la majorité des villes de la zone MENA ne dispose pas de cet outil, nous avons proposé de mettre en place une démarche participative pour pallier cette absence. Cette démarche consiste à recourir à la cartographie volontaire basée sur le *crowdsourcing* pour produire les données manquantes. Une expérimentation de cette démarche est en cours dans le Grand Tunis, utilisant à cette fin le réseau social *Facebook*. En dépit de la complexité de sa construction dans certains contextes, la carte climatique a fait preuve, à travers ses différentes versions localisées, de sa capacité à rendre intelligibles les enjeux environnementaux du territoire urbain. À ce titre, nous avons qualifié cet outil de *best tool* par analogie à *best pratice*. En effet, nous estimons que, sous réserve d'être approprié par les acteurs de locaux concernés et ajusté au territoire pour lequel il est développé, le recours à cet outil est susceptible de faire émerger des pratiques urbanistiques vertueuses prenant en compte l'enjeu climatique dans la planification et l'aménagement urbains. Dans la suite de la thèse, nous travaillerons à la mise en place d'une collaboration avec l'Agence d'Urbanisme de Grand Tunis (AUGT) en sa qualité de principal acteur de la planification urbaine de cette région. L'objectif est de réfléchir entre scientifiques et praticiens à la manière de faire émerger les questions environnementales et plus particulièrement climatiques sur la scène urbanistique tunisoise. Dans ce cadre, la carte climatique pourrait jouer, dans un premier temps, le rôle d'un élément de communication et de sensibilisation auprès des acteurs de l'urbain à la problématique climatique et à sa relation avec la planification et l'aménagement urbain.

Remerciements

Ce travail a bénéficié d'une aide de l'IDEX APR-2016 de l'Université Fédérale de Toulouse Midi-Pyrénées.

Bibliographie

Arab N., 2007, « À quoi sert l'expérience des autres: Bonnes pratiques et innovation dans l'aménagement urbain », *Espaces et sociétés*, n° 131, p. 33-47.

Baumüller J., Hoffmann U., Nagel T., Reuter U., 1992, *Klimauntersuchung Stuttgart,* Stuttgart Nachbarschaftsverband.

Bechtel B., Alexander P., Böhner J., Ching J., *et al.* 2015, « Mapping local climate zones for a worldwide database of the form and function of cities », *ISPRS International Journal of Geo-Information*, p. 199-219.

Bourdin A.l., IDT J., 2016, *L'urbanisme des modèles: Références, benchmarking et bonnes pratiques*, Paris, l'Aube.

Hebbert M., Mackillop F., 2013, « Urban Climatology Applied to Urban Planning : A Postwar Knowledge Circulation Failure », *International Journal of Urban and Regional Research*, n°37, p.1542–1558.

Hidalgo J., Touati N., 2015, « Les types de temps dans la région toulousaine et leur influence sur l'îlot de Chaleur Urbain ». Document technique tâche 5.1, projet MapUCE

Hidalgo, J., Touati N., Schoetter R., 2018, « Modélisation climatique du stress thermique à Balma et ses environs », Fiche technique projet MApUCE

Hidalgo, J., Touati N., Schoetter R., 2018, « Modélisation climatique du stress thermique à l'échelle de Toulouse Métropole », Fiche technique projet MApUCE

Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014, Climate Change 2014–Impacts, Adaptation and Vulnerability: Regional Aspects, Cambridge, University Press.

Kaloustian N., Bechtel B., 2016, « Local Climatic Zoning and Urban Heat Island in Beirut », *the 4th International Conference on Countermeasures to Urban Heat Island*, Singapore.

Kottek M., Grieser J., Beck C., Rudolf B., Rubel F., 2006, « World map of the Köppen-Geiger climate classification updated », *Meteorologische Zeitschrift,* n° 15, p. 259-263.

Lecomte R., 2011. « Révolution tunisienne et Internet : le rôle des médias sociaux », *L'Année du Maghreb*, n° VII, p. 389-418

Lau K., Hidalgo J., Ren C., Schoetter R., *et al.* 2018, "Urban climatic analysis for heat stress mitigation in French cities : A case study for Toulouse", ICUC10, New York

Moussi M., 2010, « Trajectoires et transactions de modèles urbains. Échafaudages théoriques et accommodements locaux », *Les Cahiers d'EMAM*, n° 20, p. 9-22.

Medianet, 2016, Chiffres clés sur les réseaux sociaux en Afrique : Facebook, Linkedin, Instagram, Tunis, Blog medianet http://blog.medianet.com.tn/blog/chiffres-cles-sur-les-reseaux-sociaux-en-afrique-facebook-linkedin-instagram-presentes-lafrican

Mills G., Cleugh H., Emmanuel R., Endlicher W.,*et al.*., 2010, « Climate information for improved planning and management of mega cities (needs perspective) » , *Procedia Environmental Sciences*, n°1, p. 228-246

Ng E., Ren C., 2015, *The Urban Climatic Map : A Methodology for Sustainable Urban Planning*, Oxford, Routledge.

Oke, T R., 1982, « The energetic basis of the urban heat island », *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, volume 8, n°455, p.1-24.

Peyroux E., Sanjuan T., 2016, « Stratégies de villes et « modèles » urbains : approche économique et géopolitique des relations entre villes », *EchoGéo* https://journals.openedition.org/echogeo/14642

Ren C., Ng E., Katzschner L., 2011, « Urban climatic map studies : a review », *International Journal of Climatology*, n°15, p. 2213-2233.

Ren C., Spit T., Lenzholzer S., Lam Steve Yim H., *et al.*, 2012 , « Urban climate map system for Dutch spatial planning », *International journal of applied earth observation and geoinformation*, n°18, p. 207-221.

See L., Ching J., Masson V., Feddema J., *et al.* , 2015, Generating WUDAPT's specific scale-dependent urban modeling and activity parameters : Collection of level 1 and level 2 data http://www.wudapt.org/wp-content/uploads/2015/05/See_etal_ICUC9.pdf.

Stewart, D.,Oke T., 2012, « Local climate zones for urban temperature studies », *Bulletin of the American Meteorological Society*, n°12, p.1879-1900.

Stock P., Beckröge W., 1985, *Klimaanalyse Stadt Essen,* Essen, Kommunalverb. Ruhrgebiet, Abt, Öffentlichkeitsarbeit.

Tanaka T., Ogasawara T., Koshi H., Yoshida S. *et al.*., 2009, Urban environmental climate maps for supporting urban-planning related work of local governments in Japan: case studies of Yokohama and Sakai. Paper presented at the *The Seventh International Conference on Urban Climate*, Yokohama, Japan.

Touati N., 2017, "Application opérationnelle de cartes de végétation en planification urbaine, Toulouse" Présentation lors de la journée technique *l'apport de l'imagerie satellitaire pour l'aménagement des territoires.* Toulouse, 7 novembre 2017.

Verdeil E., 2005 « Expertises nomades au Sud. Eclairages sur la circulation des modèles urbains », *Géocarrefour*, n°3, p. 165-169.