

Vers une nouvelle approche pour calculer les indicateurs de la densité urbaine via l'imagerie de satellite Alsat-2A

Dr. T. MEDJADJ, Maître de conférences, Institut de gestion des techniques urbaines, Université de M'sila,
Mail : medjadj.tarek@gmail.com

M. M. HADJI, Maître assistant, Institut de gestion des techniques urbaine, Université de M'sila,
Mail : hadj181@yahoo.fr

ملخص : يتناول هذا المقال دراسة لإمكانات الصور الفضائية للساتل الجزائري ألسات 2 في التحليل الحضري. حيث يتميز المجال الحضري عموماً بتعقيده الشكلي والنوعية إذ تختلف درجة تجانسه من مدينة لأخرى. فالخصائص الاجتماعية والثقافية والتاريخية لكل منطقة لها دور أساسي في تحديد الكثافة الحضرية للمدن. ولتحديد هذه الأخيرة خاصة خلال إنجاز أو مراجعة أدوات التهيئة والتعمير، يتم عادة استعمال معامل شغل الأرض ومعامل تحديد الأرض كمؤشرين لقياس درجة الكثافة. نحاول من خلال هذه الدراسة استخراج هذين المؤشرين بطريقة آلية من الصور الفضائية ألسات 2 بالاعتماد على مقارنة جديدة تسهل عملية الحساب دون التنقل إلى الميدان. فهذا العمل الأصلي يقترح حلولاً للإشكالية المطروحة مع تأكيد دقة النتائج من الواقع عن طريق الخرجات الميدانية.

الكلمات الأساسية : الكثافة الحضرية، الاستشعار عن بعد، المدينة

Résumé : Cet article propose une approche, basée en grande partie sur la télédétection, dans un souci d'examiner les potentialités des images de satellite Alsat 2-A pour l'analyse urbaine. Les tissus urbains sont caractérisés par une complexité liée notamment à la forme, la typologie et la densité. En outre, la densité urbaine est déterminée souvent par les dimensions sociales, culturelles et historiques de chaque région laquelle la ville est localisée. Il est à signaler que la réalisation ou la révision des instruments d'aménagement et d'urbanisme s'appuierait sur les indicateurs de la densité urbaine (COS, CES) pour rendre la réalité de l'échelle des quartiers. Nous attachons à travers cette étude à calculer et déduire ces indicateurs par le biais des images satellitaires Alsat-2A tout en comptant sur une méthode originale et automatique sans faire le déplacement sur le terrain.

Mots-clés : densité urbaine, télédétection, ville.

Abstract : This article suggests an approach, largely based on remote sensing, in order to examine the potentialities of Alsat 2-A satellite images for urban analysis. The urban fabrics are characterized by a complexity related in particular to the shape, the typology and the density. In addition, urban density is often determined by the social, cultural and historical dimensions of each region in which the city is located. It should be noted that the implementation or revision of urban planning instruments would be based on urban density indicators (COS, CES) to make the reality of the neighborhood. Through this study,

we aim to calculate and derive these indicators through satellite images Alsat-2A while relying on an original and automatic method without moving on the field.

Keywords : urban density, remote sensing, city.

1. Introduction

L'analyse des espaces urbanisés exige des techniques et des méthodes scientifiques qui se sont en constante évolution. Cependant, des méthodes et des approches ont été développées en faisant référence aux échelles d'analyses et aux champs disciplinaires impliqués dans l'étude de la ville en générale (aménagement et urbanisme, Architecture). La variété des approches offrent les outils les plus appropriés d'analyse qui permettent à une meilleure compréhension des formes et les aspects liées à l'organisation géométrique des tissus urbains. Nous citons à titre d'exemple, l'approche structuraliste traduit en partie par la méthode typo-morphologique issue de l'école italienne d'architecture initiée par Caniggia.G (1960). Ainsi que l'approche systémique où l'espace urbain considéré comme un ensemble cohérent dans sa dynamique impulsée par les interactions spatiales et les mécanismes de croissance (Panerai.P, 1999). Une autre approche dite paysagiste qui a mûri au sein de l'école américaine, développée par Kevin Lynch (1960) et qui ne cesse d'évoluer à son tour. Nous intéresserons dans cet article à présenter une approche d'analyse urbaine qui est basée en grande partie sur la télédétection spatiale. Les techniques de traitement d'image ont été, d'ors et déjà, impliquées dans les études urbaines comme moyen d'analyse par Donnay.J-P ; Collet.C, weber.C (2000). Néanmoins, l'émergence de nouvelles technologies de l'optique et les évolutions récentes des systèmes aéroportés ont permis l'augmentation de la résolution spatiale et radiométrique des images satellitaires. L'impact est très positive pour explorer davantage les espaces urbanisés. Malgré ces avancés mais l'identification des objets urbains avec leurs dimensions réelles reste toujours dépendant à sa forme géométrique traduisant des difficultés dans la restitution photogrammétrique. Les déformations géométriques, générées par la hauteur des bâtiments, sont les problèmes que nous tentons de résoudre à travers cet article. L'objectif est d'arriver à la fin à une nouvelle méthode pour calculer les indicateurs liés à la densité urbaine notamment le Coefficient d'occupation du sol (COS) et le Coefficient d'emprise au sol (CES).

2. Problème de déformation géométrique des objets urbains

Des méthodes ont été développées pour la discrimination des objets géographiques en générale. La classification que soit supervisée ou non supervisée est la plus répandue et utilisée souvent pour les espaces non urbanisés. En outre, le milieu urbain présente des complexités spatiales et dimensionnelles. La classification semblerait-elle une méthode inadéquate pour l'analyse (Donnay, 2000). Néanmoins, l'identification et l'interprétation visuelle par la perception directe pourrait être utile et donnerait des résultats satisfaisants dans le cas des images de haute résolution spatiale. Cette méthode exige des connaissances théoriques sur la typologie et l'organisation des tissus urbains. Identifier visuellement, à coup sûr, un type de tissu urbain à partir d'images de satellite fait appel à tous les aspects de l'image, texture, structure, topologie, organisation de l'espace (Michel.A, Lortic.B, 1992).

La résolution spatiale est déterminée en fonction de l'altitude de capteur, taille du détecteur, la distance focale et le système de configuration (Jensen, 2005). Une étude de Petri.R et Ranchin.T(2004) portant sur les potentialités des nouveaux capteurs de haute résolution spatiale pour l'extraction des réseaux de rues urbaines, démontre que les images de haute résolution spatiale constituent potentiellement un très grand apport pour la cartographie des villes à des échelles de l'ordre de 1 :10 000. Cependant, l'échelle de restitution de l'information urbaine est liée aussi à la résolution spatiale des images satellitaires utilisées. Puissant.A et Hirsh.J (2004) ont fait des travaux intéressants sur la détectabilité des éléments géographiques lui permettant de donner un seuil optimal de résolution pour chaque type d'objets urbains (Cf. Tableau 1).

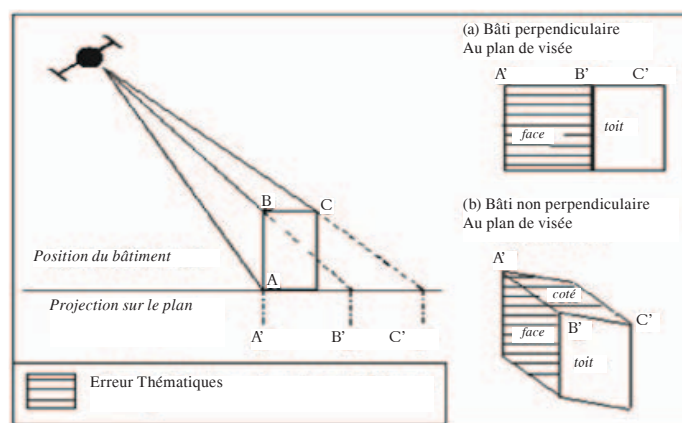
Tab 1. le seuil de détectabilité des objets urbains.

Objets	Résolution spatiale Optimale
Objets carré à circulaire de type pavillons à arbre isolé	0.8 à 1m
Objets linéaires de type route	1 à 2m
Objets rectangulaire à carré de type bâtiment	2 à 3m
Zones de formes quelconques de type zone de végétation	6 à 8m

Sources :
Puissant A., Hirsh J(2004) *Télé-détection urbaine et résolution optimale*,
Revue Internationale de Géomatique,
Volume 14,
n° 3-4, p. 405.

Dans le cas de réseau des rues urbaines linéaires, les déformations géométriques relatives à l'angle de la prise de vue et à l'angle azimutal solaire n'ont pas d'incidence sur la qualité de l'information restituée. Par contre, les objets

urbains portant la forme rectangulaire caractérisés par leurs hauteurs, peuvent être influencés et des déformations dans leurs dimensions réelles pourraient se produire (Cf. Fig.1).



Source :
Lhomme.S (2005),
Identification du bâti à partir d'images satellitaires à très haute résolution spatiales, Thèse de doctorat en géographie, Université Luis Pasteur I, Strasbourg, P. 64.

Fig. 1 La déformation géométrique des bâtiments due à leurs hauteurs (D'après Lhomme.S, 2005).

En milieu urbain, les distorsions géométriques causées par le relief sont plus gênantes. La position géométrique des bâtiments est souvent perturbée par les variations des reliefs. De fait, un ensemble d'erreurs thématiques pourraient être engendrés par ce type de déformation. En conséquence, certaines zones comme les fonds de vallées peuvent ne pas apparaître sur l'image. Pour cette raison, des méthodes de correction géométrique et d'orthorectification par DEM (Digital Elevation Model) ont été développées pour y remédier ce problème.

Les distorsions de l'ombre portée des bâtiments peuvent, aussi, affecter la précision et la qualité de l'information urbaine car les rues urbaines peuvent être classées par erreur comme une végétation et elle peut conduire à 30 % d'erreur. (van der Linden & Hostert, 2009). L'ombre des bâtiments, générés souvent par l'angle d'incidence solaire, constituent une nuisance visuelle dans l'image. Mais aussi le rôle de l'angle de visé dans les capteurs obliques, qui fournissent, également, des images hors-nadir à angles de vue pouvant aller jusqu'à 30° (Zhou & Kelmelis, 2006).

Alors, des objets ou des détails urbains peuvent être occultés par l'ombre et cela risque de limiter la pertinence de l'analyse par perception directe des milieux urbanisés. Dans le cas des images multimodales, l'imagerie acquise par les capteurs se distinguent par le regard de visé et la position du soleil au moment de la prise de vue. La précision géométrique, spectrale et radiométriques correspondant à des images multi-temporelles est presque impossible et les méthodes basées sur les objets apparaissent plus approprié et plus efficace (Tewkesbury et al., 2015).

Les indicateurs liés à la forme sont utilisés, principalement, pour estimer le ratio d'occupation du sol et la densité des objets terrestres mais cette méthode ne parviennent pas à caractériser efficacement les zones urbaines complexes et conduisent, souvent, à des résultats moins pertinents. Par exemple, une zone résidentielle peut avoir des dimensions similaires des bâtiments mais avec une disposition spatiale qui n'est pas forcément ordinaire. Cela est un bon indicateur pour différencier les catégories d'occupation de l'espace urbain mais un travail de complèterment sur le terrain est nécessaire pour aboutir à des résultats efficaces (Li et al.2016).

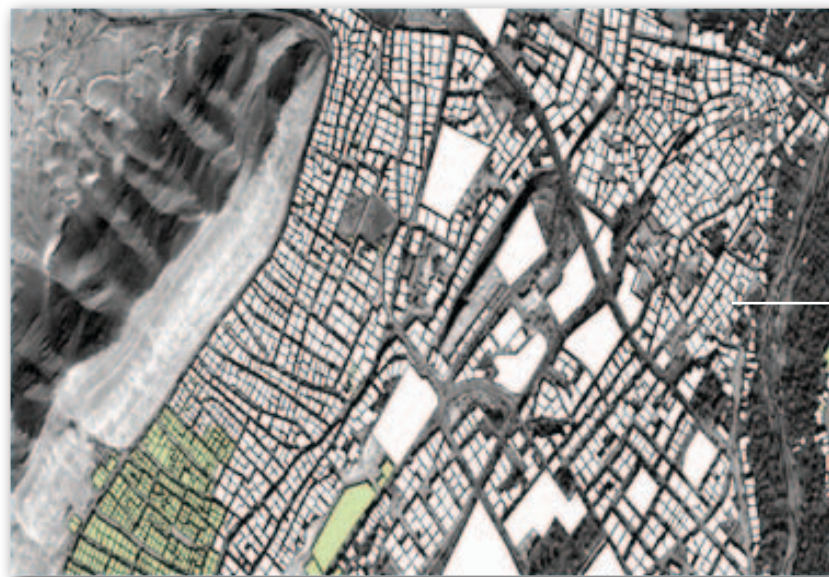
Traditionnellement, c'est l'approche typo-morphologique qui a adopté la notion de la forme en associant la typologie du bâti pour comprendre la complexité des espaces urbains. Donc, la forme urbaine, déjà, un indicateur pour l'analyse urbaine mais nous nous attachons dans la présente

étude, aussi, à la dimension spatiale des objets urbains. Cependant, notre approche est basée sur la perception mais aussi sur des informations descriptives qui sont récupérables par le traitement des images satellitaires. L'analyse urbaine depuis longtemps était l'objectif visé par les travaux de recherches Welch (1982) et Foster (1985) mais la résolution spatiale faible était l'inconvénient pour aboutir aux résultats escomptés. L'adéquation entre la résolution spatiale et la discrimination des objets urbains varie en fonction de la taille, de l'organisation spatiale, la forme des éléments et de la densité urbaine. Donnay et al. (2000) ont montré les potentialités des images de haute résolution spatiale dans le milieu urbain et une méthode basée sur le principe de reconnaissance direct des objets urbain a été présentée. Pétri (2007), Albert (2007) ont développés, aussi, des méthodes pour l'extraction des objets urbains en adoptant une approche typologique (selon le type d'objet linéaire ou surfacique) par l'identification directe des éléments loin des méthodes traditionnelles de classification supervisée ou in-supervisée.

3. Méthode de calculer les indicateurs de la densité urbaine (COS et CES)

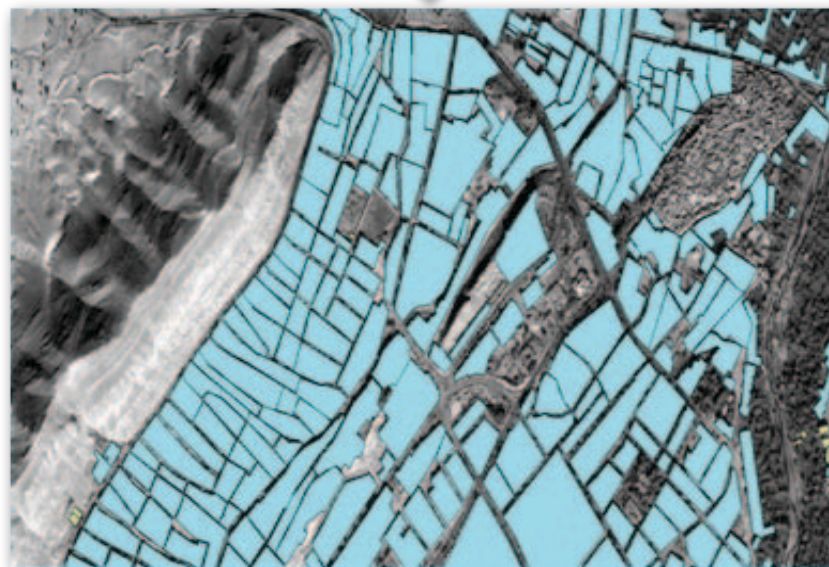
En télédétection, les travaux utilisant les données multi spectrales s'appuient principalement sur des méthodes de classification et débouchent sur des descriptions zonales de l'environnement urbain et se limitent le plus souvent à l'occupation du sol ou la description zonale des densités de bâtis (Gadal.S, Gilg. JP, Biraud.I, 2007). Par contre, la densité urbaine est analysée souvent par deux indicateurs à savoir le Coefficient d'Emprise au Sol (CES) et le Coefficient d'Occupation du Sol (COS). La hauteur des bâtiments varie selon la typologie du bâti et génère l'ombre portée en occupant des surfaces où des objets urbains seront occultés notamment dans les tissus urbains denses. Comme nous avons déjà indiqué précédemment, notre approche consiste à utiliser une méthode de calcul de ces indicateurs (CES, COS) par le biais de l'imagerie satellitaire Aalst 2-A.

Premièrement, pour le CES, nous avons restitué la surface occupée par le bâtiment et la surface foncière via des outils que disposent les logiciels de traitement d'images satellitaires (Erdas imagin). Cet exercice a été réalisé sur un quartier localisé au centre de la ville de Bousaâda (Algérie) (Cf Fig. 2). Le produit a été appliqué dans l'équation 1 et où il fait l'objet d'une comparaison avec le CES calculé sur le terrain selon la méthode classique.



A :
surface
occupé
par les
bâtiments

Fig. 2 L'extraction de la surface occupée



B :
surface
foncière
(à l'échelle
de l'îlot)

$$CES = \frac{\text{la surface bâtie du cadre bâti } (S_b)}{\text{la surface foncière } (S_f)}$$

$$S_b = \sum \text{surfaces des bâtiment}$$

$$S_f = \sum \text{surfaces des îlots}$$

Il ressort que le CES calculé sur la base de la surface restituée par télédétection coïncide sensiblement avec celui calculé sur la base des données du terrain. Ces résultats valident notre approche ainsi que la méthode utilisée pour calculer cet indicateur. Il est à signaler qu'une amélioration dans la résolution des images satellitaires permettrait de

- (1) minimiser la marge d'erreur induit par la méthode de calcul des surfaces occupées par les objets urbaines. Ceci devient insignifiant avec une résolution de moins de 2.5 m. En terme d'analyse urbaine, le CES calculé par le biais de l'imagerie satellitaire (d'une résolution spatiale de moins de 2.5m) est largement suffisant pour caractériser la densité urbaine. Alors, on peut qualifier le résultat de très satisfaisant

Nous avons refait le même exercice mais cette fois-ci avec l'autre indicateur de la densité urbaine, le COS. Cet indicateur, aussi, essentiel pour rendre la situation sur l'occupation du bâti dans les espaces urbanisés. Pour calculer le COS, il est à rappeler que la surface planchée des bâtiments est exigée comme a été bien indiquée dans l'équation 2.

$$\text{COS} = \frac{\text{la surface plancher des bâtiments}}{\text{la surface foncière}} \quad (2)$$

Pour résoudre le problème de la surface planchée, nous avons pensé à une méthode qui nous permettra de connaître d'abord le nombre d'étages pour chaque bâtiment selon l'équation 3 puis la surface planchée selon l'équation 4.

$$\text{Nbre Étages} = \frac{\text{La hauteur (H)}}{\text{La hauteur de l'étage (H'=3.5m)}} \quad (3)$$

$$\text{La surface plancher} = \text{la surface plancher du bâtiment} * \text{Nbre Étages} \quad (4)$$

La variable inconnue dans l'équation 3 est la hauteur (H). De fait, on va tenter de répondre à cette question en s'appuyant sur l'ombre portée. Entre autre, nous cherchons la hauteur (H) par la mise en évidence des techniques de traitement d'image satellitaire pour résoudre ce problème. Notre approche consiste à calculer la hauteur (H) par le biais des facteurs déterminants de la dimension de l'ombre sur le terrain à savoir l'angle de l'azimute solaire au moment de la prise de vue par le satellite (Cf. Fig. 3). Néanmoins, les ombres portées et l'ensoleillement revêtent également une importance dans la conception architecturale et urbanistique notamment pour le choix des orientations adéquates des bâtiments.

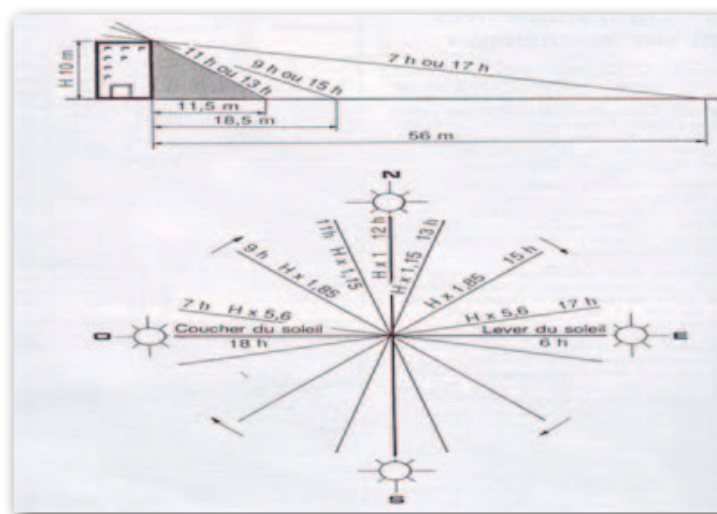


Fig. 3 Les ombres portées par rapport à la trajectoire du soleil (STU, France).

La prénotion ou bien la connaissance de la trajectoire solaire permet de maîtriser l'ensoleillement (ainsi que l'ombre portée) à l'échelle architecturale et urbaine. Des modèles pratiques ont été établis (des diagrammes solaires), selon les zones en fonction de la latitude et la longitude) pour déterminer l'ombre portée. Afin de comprendre la méthode

de calcul, nous nous recourons à exposer dans ce qui suit l'exemple d'un bâtiment situé à la ville de Bousaada en tant qu' échantillon. Sachant bien que les trajectoires solaires possèdent deux composantes, l'une est horizontale et l'autre est verticale, l'azimut et l'angle de la hauteur (Cf. fig. 4).

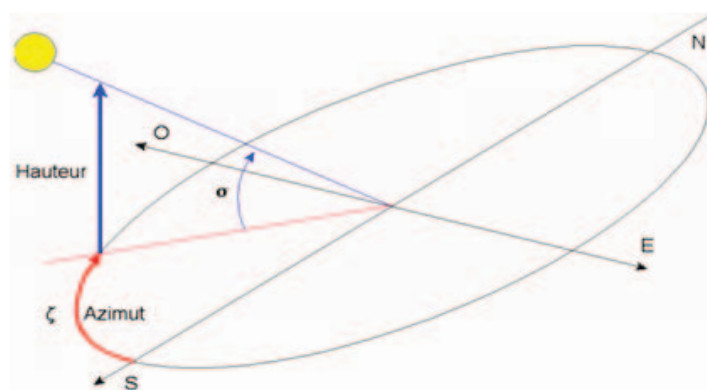


Fig. 4 Les angles de trajectoire solaire.

L'azimut solaire est l'angle mesuré dans le sens des aiguilles d'une montre entre le point cardinal Sud (dans l'hémisphère nord) ou Nord (dans l'hémisphère sud) et la projection sur le plan horizontal local de la droite reliant la terre au soleil (Cf. Fig. 4). L'angle est mesuré dans le sens des aiguilles d'une montre dans l'hémisphère nord et dans le sens contraire dans l'hémisphère sud, en utilisant les projections sur le plan horizontal du point d'observation.

L'azimut solaire est négatif le matin (direction Est), nul ou égal à 180° à midi et positif l'après-midi (direction Ouest),

sur tout le globe (Beckers.B, 2013). *L'angle de la hauteur* est l'angle formé par la droite reliant la terre au soleil avec le plan horizontal local. (Cf.Fig. 5).

Nous avons besoins de deux type d'informations nécessaires pour connaître l'angle d'incidence de rayonnement solaire qui sera traduit spatialement par l'ombre portée des bâtiments ; l'angle d'azimut (dite horizontale) et l'angle de la hauteur (Cf. Fig. 7).

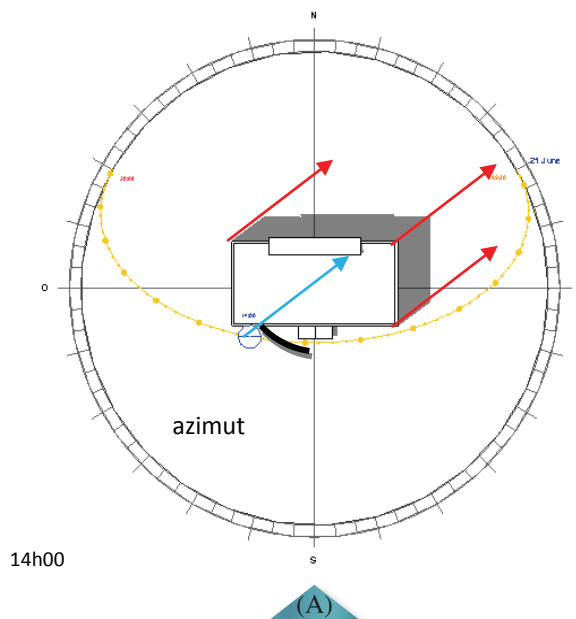
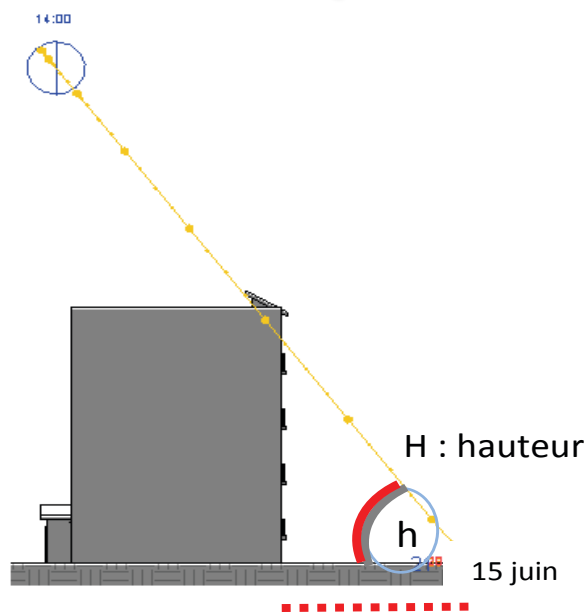


Fig. 5 Représentation de l'angle de l'azimut (A) et de la hauteur (B)



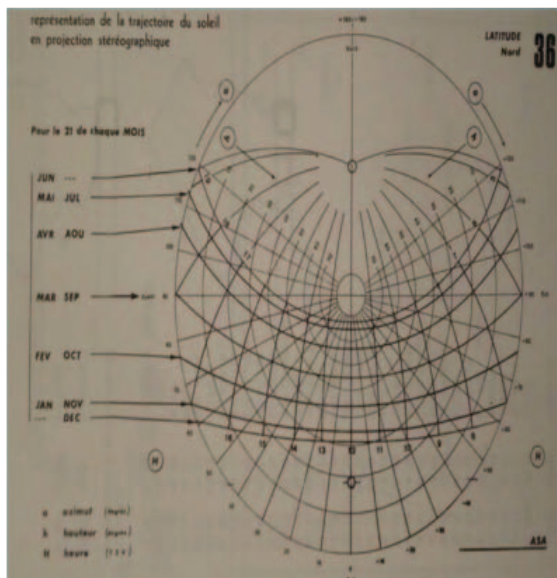


Fig. 6 Trajectoire solaire en projection stéréographique (CAPDEROU, 1987)

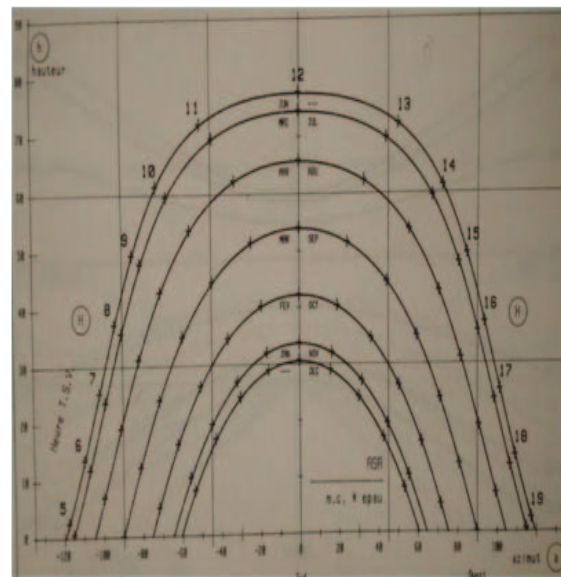


Fig.7 Trajectoire solaire en projection frontale (CAPDEROU, 1987)

La méthode que nous avons développée est basée sur les travaux de CAPDEROU (1987) liés à la projection de trajectoire solaire que ce soit stéréographique ou frontale. En fonction de la position géographique (latitude et longitude) de l'objet urbain ciblé (information repérable sur l'image satellitaire), on va utiliser le diagramme solaire approprié (Cf. Fig 6) pour choisir le mois, la journée et l'heure de la prise de vue par le capteur (information disponible et offert par le fournisseur de l'image satellitaire). En faisant référence au diagramme de CAPDEROU (Cf. Fig 7), on peut déduire l'azimut et de l'angle de la hauteur. En fin, l'azimut permettrait de connaître le sens de l'ombre tandis que l'angle de la hauteur sera exploité pour calculer la hauteur de bâtiment (H) selon l'équation 5. Cependant, l'objectif de notre étude est atteint, notamment, la déduction de la valeur du COS à partir de image satellitaire. Sachant qu'on a besoin de la surface planchée totale de chaque bâtiment, celle-ci est inhérente de la hauteur de ce dernier ($S_p = S_b \times H$), nous pouvons obtenir la valeur de H selon l'équation 5.

$$H = \text{tang } h \times L \quad (5)$$

Lors de la perception visuelle de l'image satellite, les ombres portées perçues comme une nuisance. Tandis que dans notre cas, nous avons mis en évidence ces ombres pour connaître la hauteur des bâtiments. En fin, le CES et le COS ont été calculé selon la méthode que nous avons proposée et les résultats sont satisfaisants.

4. Conclusion

Les résultats de ce travail sont le fruit d'un travail de recherche empirique qui nous a pris beaucoup de temps

et d'efforts¹. Afin d'éviter toute confusion ou discours convenu, nous avons confronté les résultats obtenus aux données du terrain pour validation. Il est appaît que la méthode proposée est acceptable dans la mesure où la résolution des images satellites utilisées permettraient d'identifier les objets urbain à l'échelle du bâtiment. Donc, les images Alsat-2A avec une résolution de 2.5 m panchromatique est largement suffisant pour accomplir cette tâche. L'importance de notre approche consiste à minimiser les coûts pour mener à bien les études urbaines qui relèvent du domaine professionnel (PDAU, POS, SDAAM) ou de la recherche académique.

Notre espoir est d'utiliser et d'adopter notre approche de déduction des indicateurs de la densité urbaine par les collectivités locales ainsi que les acteurs impliqués dans les études urbaines. Les villes algériennes souffrent de manque de données fiables et à jours. La plupart des instruments d'aménagement et d'urbanisme (PDAU, POS), utilisés souvent dans la planification urbaine, sont obsolètes car la date des données dedans peut aller jusqu'à 10 ans (la période de révision). Avec la méthode que nous avons proposée ce problème sera résolu et on pourrait obtenir le COS et le CES à n'importe quelle date. Cette alternative à la méthode classique aussi sera une opportunité pour impliquer davantage les techniques spatiales dans la gestion de nos villes, jusqu'à lors peut utilisée.

Références bibliothèques

Albert.P (2007), L'apport des images satellites dans l'analyse comparé des espaces périurbains des métropoles du

¹ Ce projet a été réalisé dans le cadre d'une convention de coopération entre l'institut de gestion et techniques urbaine (université de M'sila) et l'Agence spatiale Algérienne. Les auteurs de cet article présentent leurs remerciements à l'ASAL pour les images Alsat-2A fournies dans le cadre de ce projet.

- sud-ouest européen*, Thèse de doctorat en géographie et aménagement, Université de Toulouse-le Mirail, Toulouse.
- Capderou.M (1987), *Atlas Solaire de l'Algérie*, Tome1, Vol 1 et 2 : Modèles théoriques et expérimentaux', Office des Publications Universitaires, Algérie.
- Donnay.J-P ; Collet.C, weber.C (2000), *la télédétection urbaine à l'aube de la très haute résolution spatiale*, in La télédétection en francophonie: analyse critique et perspectives, Ed. AUF, P. 3-13.
- Gadal.S, Gilg. JP, Biraud.I (2007), *Caractérisation des zones urbaines par télédétection spatiale*, IX èmes Journées du Réseau Télédétection, AUF.
- Lhomme.S (2005), *Identification du bâti à partir d'images satellitaires à très haute résolution spatiales*, Thèse de doctorat en géographie, Université Luis Pasteur I, Strasbourg.
- Li.M, Stein.A, Bijker.W, Zhan.Q (2016). *Urban land use extraction from Very High Resolution remote sensing imagery using a Bayesian network*. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 122, 192–205.
- Michel.A, Lortic.B (1992). *Typologie urbaine et télédétection satellitaire, la notion de zone en milieu urbain, Espace géographique*,2, P. 173
- Jensen, J. R. (2005). *Introductory digital image processing : A remote sensing perspective* (Third Edition). Upper Saddle River, NJ : Prentice Hall
- Tewkesbury, A.P., Comber, A.J., Tate, N.J., Lamb, A., Fisher, P.F., (2015). *A critical synthesis of remotely sensed optical image change detection techniques*. In Leichte.T et al. (2017), International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 54, 15–27.
- Van der Linden, S., & Hostert, P. (2009). *The influence of urban structures on impervious surface maps from airborne hyperspectral data*. Remote Sensing of Environment, 113,2298–2305
- Zhou, G. Q., & Kelmelis, J. A. (2006). *True orthoimage generation for urban areas with very buildings*. In Q. Weng, & D. A. Quattrochi (Eds.), Urban Remote Sensing (pp. 3–20). Boca Raton, FL: CRC Press
- Puissant A., Hirsh J.(2004) *Télédétection urbaine et résolution optimale*, Revue internationale de Géomatique, Volume 14, n° 3-4, p.403-415.
- Pétri.R et Ranchin.T(2004), *Potentialités des nouveaux capteurs à très haute résolution spatiale pour l'extraction des réseaux de rues urbaines*, Revue Internationale de géomatique, n° 14, P. 85.
- Panerai.P et al.(1999), *Analyse urbaine*, Collection eupalinos, Édition parenthèse (sous licence), Alger.
- Weber.C (1995), *Images satellitaires et milieu urbain*, collection géomatique, Hermès, paris, 175 p.