



HAL
open science

Génération de volumes de contrôle solaire

Khaoula Raboudi, Abdelkader Ben Saci

► **To cite this version:**

Khaoula Raboudi, Abdelkader Ben Saci. Génération de volumes de contrôle solaire. SCAN14: 6ème Séminaire de Conception Architecturale Numérique, Jun 2014, Luxembourg, Luxembourg. hal-04234577

HAL Id: hal-04234577

<https://hal.science/hal-04234577>

Submitted on 10 Oct 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Copyright

Génération de volumes de contrôle solaire

Khaoula RABOUDI¹, Abdelkader BEN SACI²

¹ *Equipe M2a, Ecole Doctorale SIA, ENAU, Sidi Bou Saïd, Tunisie*
khaoularaboudi@yahoo.fr

² *Cresson, ENSA, Grenoble, France*
bensaci@grenoble.archi.fr

RÉSUMÉ. Ce papier développe une approche de génération du volume englobant de contrôle solaire (V_{ex}). Celui-ci est le volume conditionné à la fois par les règles de l'enveloppe solaire et les règles de l'enveloppe d'ombre. L'enveloppe solaire est le volume maximal qui ne projette pas d'ombres sur le milieu avoisinant pendant des heures utiles d'ensoleillement. L'enveloppe d'ombre est le volume minimal permettant d'ombrager les constructions voisines pendant des heures de surchauffe en été. Ce volume servira de médium pour assister les urbanistes dans l'établissement de règles urbaines morphologiques de contrôle solaire.

MOTS-CLÉS : Contrôle solaire, accès solaire, ombrage, volume englobant de contrôle solaire, morphing 3D.

ABSTRACT. This paper develops an approach for the generation of the Solar Control Bounding Box (XBB). This volume is conditioned by both the solar envelope rules and the shading envelope rules. The solar envelope defines the largest volume that does not cast its shadows on neighboring buildings during beneficial periods of sunshine. The shading envelope is the minimum volume to shade the neighboring constructions during the hours of overheating in summer. The XBB volume will serve as a medium to assist planners in drafting morphological urban rules of solar control.

KEYWORDS: solar control, solar access, shading, solar control bounding box, 3D morphing.

Interaction(s) des maquettes numériques

1. Introduction

Ce papier présente une approche de morphose numérique des solutions du *volume englobant de contrôle solaire* V_{ex} . La notion de contrôle solaire intègre à la fois le besoin d'accès solaire et le besoin d'ombrage en fonction des caractéristiques climatiques de la région considérée. Le V_{ex} étant une délimitation spatiale du volume conditionné par les règles de l'enveloppe solaire et les règles de l'enveloppe d'ombre.

Les règles de l'enveloppe solaire génèrent les limites maximales d'un volume permettant d'assurer l'accès direct du soleil aux constructions voisines pendant des périodes utiles d'ensoleillement. La problématique d'accès solaire a été traitée de différentes manières (Twarowski, 1967 ; Achard & Gicquel, 1986 ; Siret, 1997). Le concept de l'enveloppe solaire a été développé par Knowles (1981). Il permet de préserver le droit solaire¹ en milieu urbain et d'aider à la gestion de l'occupation du sol (Pereira & Nome Silva, 1998 ; Casabianca, Evans, & Schiller, 1991 ; Raboudi, Belkaïd, & Ben Saci, 2012).

Les règles de l'enveloppe d'ombre génèrent les limites minimales d'un volume permettant d'assurer l'ombrage des constructions voisines pendant les périodes de surchauffe en été. Plusieurs études sur la ville font état de l'importance de l'ombrage pour lutter contre le phénomène de l'îlot de chaleur urbain. Néanmoins, ces études se focalisent sur l'utilisation de la végétation et des protections solaires pour protéger les bâtiments du rayonnement solaire estival. Nous proposons ici le concept de l'enveloppe d'ombre pour protéger les constructions d'une exposition excessive au soleil par la projection d'ombre mutuelle des unes sur les autres.

L'enveloppe solaire fixe les limites géométriques d'un volume maximal restreignant la projection d'ombre. L'enveloppe d'ombre au contraire fixe les limites d'un volume minimal limitant la projection du rayonnement solaire indésirable en été. Ces deux concepts permettent de produire des règles urbaines morphologiques de contrôle solaire en milieu urbain. L'enveloppe solaire et l'enveloppe d'ombre représentent deux limites maximale et minimale du *volume englobant de contrôle solaire* V_{ex} . Dans cet article, nous proposons d'examiner la possibilité de réaliser ces deux conditions a priori contradictoires. A quelle condition

1. Le droit solaire définit les conditions d'accès solaire dans le bâtiment. Il désigne l'aptitude d'une construction à recevoir la lumière du soleil dans les limites de la propriété, sans obstruction de la propriété voisine (Knowles, 1981).

Génération de volumes de contrôle solaire

est-il possible de générer un volume intégrant les deux contraintes d'accès solaire et d'ombrage ?

2. Le volume englobant de contrôle solaire

Le volume englobant de contrôle solaire V_{ex} est la délimitation géométrique du volume conditionné à la fois par les règles de l'enveloppe solaire et les règles de l'enveloppe d'ombre.

2.1. Règles de l'enveloppe solaire

Les règles de l'enveloppe solaire, telles que présentées par Knowles (1981), sont le temps de coupure et les clôtures d'ombre. Le temps de coupure est la période de temps d'accès solaire des bâtiments voisins. Les clôtures d'ombre sont les limites restrictives de projection d'ombre. Le bâtiment à construire ne doit pas projeter d'ombre en dehors de cette limite.

2.2. Règles de l'enveloppe d'ombre

Nous définissons l'enveloppe d'ombre comme étant le volume minimal permettant de garantir l'ombrage des constructions voisines pendant les périodes de surchauffe en été. Comme pour l'enveloppe solaire, l'enveloppe d'ombre est régie par deux contraintes : le temps de coupure et les clôtures solaires.

Le temps de coupure désigne ici la période de temps pour laquelle l'ombrage est souhaitable. Nous proposons ici de distinguer *le temps de coupure d'ombrage* pour l'enveloppe solaire et *le temps de coupure solaire* pour l'enveloppe d'ombre. Ces derniers sont définis selon les besoins énergétiques de la région considérée (besoin d'accès solaire en hiver ou d'ombrage en été) et selon la fonction du bâtiment.

Les clôtures solaires sont les limites à l'intérieur desquelles l'ombrage est souhaitable. Elles sont ici des limites restrictives pour la pénétration du rayonnement solaire indésirable en été. La délimitation des clôtures d'ombre et solaires se fait selon les besoins d'accès solaire ou d'ombrage de l'environnement avoisinant. Un hangar, une voie de circulation ou un espace de stationnement n'ont pas le même besoin d'accès solaire ou d'ombrage qu'un espace d'habitation.

Interaction(s) des maquettes numériques

3. Méthode de génération de l'enveloppe solaire

Nous présentons ici le cas d'une parcelle à usage d'habitat isolé appartenant au lotissement d'El Mrazka à Nabeul (Tunisie) (figure 2).

3.1. Détermination du temps de coupure d'ombrage

Pour déterminer les heures d'accès solaire souhaitable, nous procédons au calcul du flux solaire (intensité d'ensoleillement en W/m^2) reçu par les différentes orientations des façades Sud, Nord, Est, Ouest, Sud-Est, Sud-Ouest, Nord-Est, Nord-Ouest au solstice d'hiver (21 Décembre) (figure 1). Ceci garantit l'accès solaire à ces façades toute l'année. Nous utilisons pour cela l'outil de calcul en ligne « Info-Récepteur Solaire »². Nous proposons de préserver l'accès solaire pendant les pics de flux solaires entre 10h et 14h le 21 décembre.

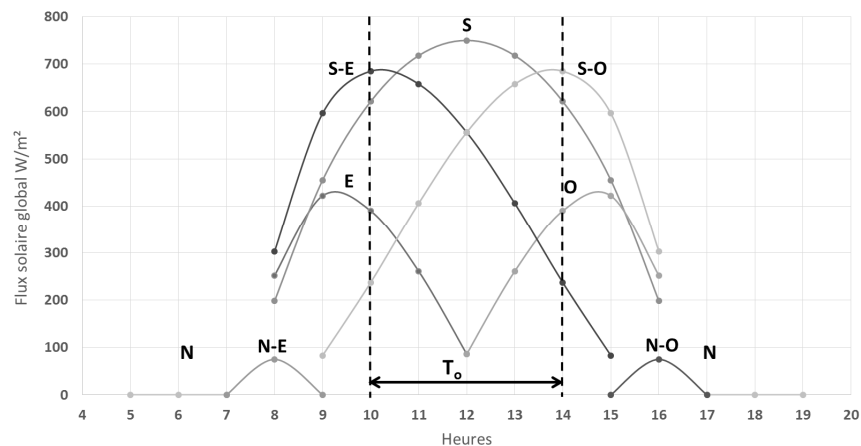


Figure 1. Calcul du flux solaire (en W/m^2) reçu par les façades Sud (S), Nord (N), Est (E), Ouest (O), Sud-Est (S-E), Sud-Ouest (S-O), Nord-Est (N-E) et Nord-Ouest (N-O) le 21 Décembre à Nabeul.

Le temps de coupure d'ombrage des façades Sud, Est et Ouest du cas d'étude pour le 21 Décembre est $T_0 = [10h, 14h]$.

2. L'outil a été développé par le CERMA. Il permet de calculer le flux solaire reçu par une surface pour une orientation, une latitude, une date et une heure données. En ligne : <http://audience.cerma.archi.fr/index.html>

Génération de volumes de contrôle solaire

3.2. Délimitation des clôtures d'ombre

Les clôtures d'ombre sont délimitées par la base des façades des constructions voisines qui reçoivent un flux solaire important en hiver, c'est-à-dire les façades Est, Sud et Ouest des constructions voisines (figure 2).

3.3. Génération de l'enveloppe solaire

Pour la génération de l'enveloppe solaire on se base sur la méthode développée par Stasinopoulos (2000).

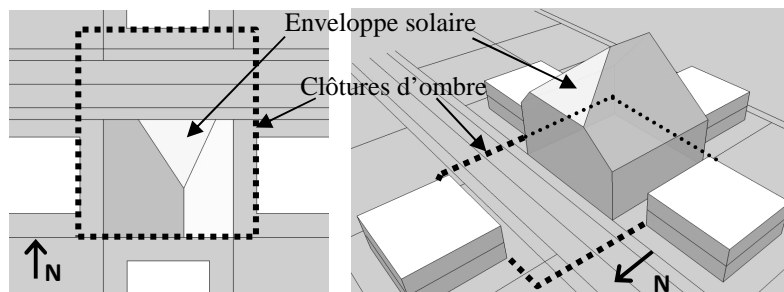


Figure 2. Enveloppe solaire permettant d'assurer l'accès solaire aux façades des constructions toute l'année entre 10h et 14h.

4. Méthode de génération de l'enveloppe d'ombre

Nous proposons de déployer le concept de l'enveloppe d'ombre pour ombrager les façades des constructions voisines pendant la période de surchauffe en été. Nous présentons ici l'enveloppe d'ombre pour le même cas d'étude cité plus haut.

4.1. Détermination du temps de coupure solaire

Pour l'enveloppe d'ombre, le temps de coupure solaire est défini par les jours et les heures pour lesquels l'ombrage est souhaitable. On se base sur le solstice d'été (21 juin) quand le soleil est à sa position la plus haute. Ceci garantit l'ombrage des façades toute l'année. Nous proposons de fixer le temps de coupure solaire en fonction de l'intensité du flux solaire reçu par les façades en utilisant l'outil « Info-Récepteur Solaire » (figure 3).

Interaction(s) des maquettes numériques

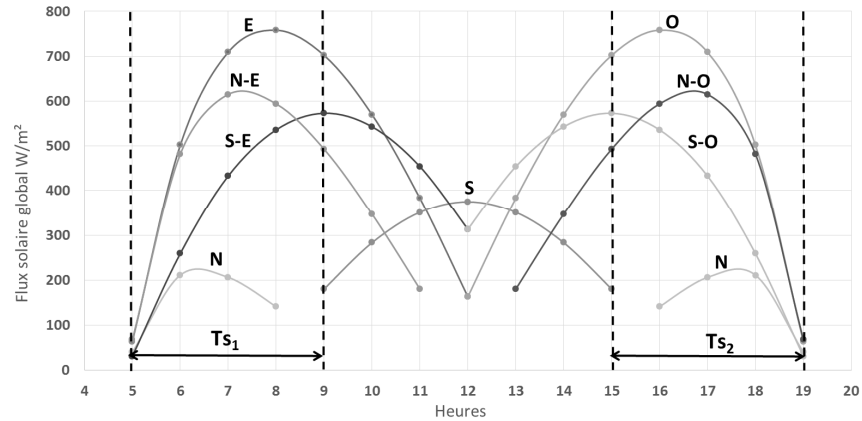


Figure 3. Calcul du flux solaire (en W/m^2) reçu par les façades Sud (S), Nord (N), Est (E), Ouest (O), Sud-Est (S-E), Sud-Ouest (S-O), Nord-Est (N-E) et Nord-Ouest (N-O) le 21 juin à Nabeul.

Ainsi, dans le cas étudié ici, il est préférable d'ombrager les façades Est et Ouest pendant les pics solaires. C'est-à-dire entre 7h et 9h pour la façade Est et entre 15h et 17h pour la façade Ouest. Cependant, la géométrie solaire implique d'étaler le temps de coupure solaire du lever du soleil jusqu'à 9h (T_{s1}) pour la façade Est et de 15h jusqu'au coucher du soleil (T_{s2}) pour la façade Ouest.

Le temps de coupure solaire des façades Est et Ouest pour la parcelle étudiée le 21 juin est alors $T_s = ([5h-9h], [15h-19h])$.

4.2. Délimitation des clôtures solaires

Pour la parcelle étudiée, les clôtures solaires sont limitées par le niveau le plus haut des façades des constructions voisines. L'ombre devra atteindre cette limite pendant *le temps de coupure solaire*. Néanmoins, l'ombre dépasse cette limite pendant les autres jours de l'année. C'est une limite restrictive de pénétration du rayonnement solaire indésirable.

Le 21 juin à 9h l'ombre se projette à l'Ouest. La clôture d'ombre est dans ce cas limitée par le niveau le plus haut de la façade Est de la construction se trouvant à l'Ouest de la parcelle à construire. De même, à 15h l'ombre se projette à l'Est. La clôture d'ombre est, dans ce cas, limitée par le niveau le plus haut de la façade Ouest de la construction se trouvant à l'Est de la parcelle à construire. Les clôtures d'ombres sont ainsi

Génération de volumes de contrôle solaire

délimitées par les façades Est et Ouest des constructions voisines (figure 4).

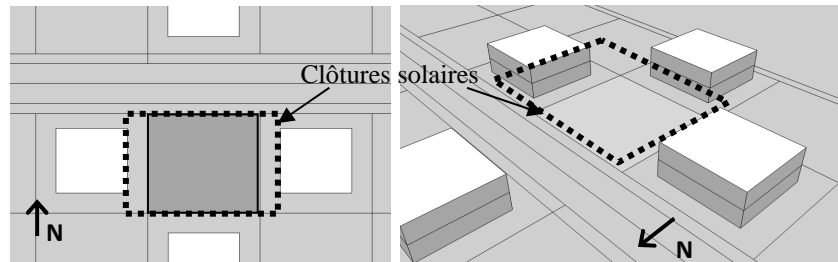


Figure 4. Délimitation des clôtures solaires pour une parcelle à usage d'habitat isolé située à El Mrazka à Nabeul (Tunisie).

4.2. Génération de l'enveloppe d'ombre

On utilise ici, la méthode de construction géométrique de l'enveloppe solaire pour générer l'enveloppe d'ombre. On procède donc à la construction de l'enveloppe d'ombre à partir de 3 volumes principaux (figure 5.a). Soit V_{ts_1} et V_{ts_2} deux volumes dont la base est définie par les limites des clôtures solaires. Nous extrudons ces deux volumes selon les directions des trajectoires du soleil relatives au temps de coupures solaire $T_{s_1} = 9h$ et $T_{s_2} = 15h$. Le troisième volume V_3 est extrudé à partir du polygone formant la parcelle à construire. L'enveloppe d'ombre est alors l'intersection des trois volumes V_{ts_1} , V_{ts_2} et V_3 ; $EO = V_{t_1} \cap V_{t_2} \cap V_3$ (figure 5.b).

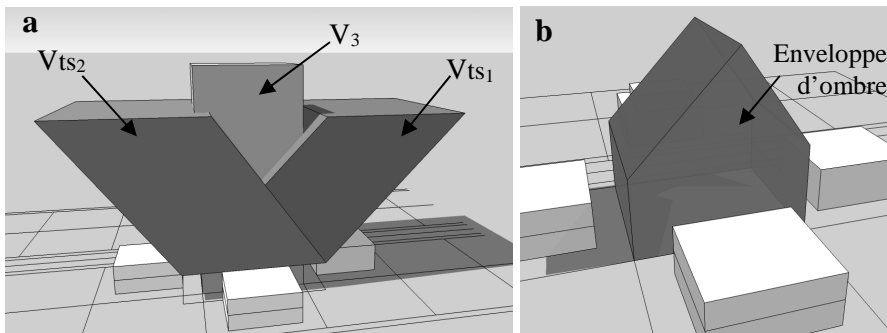


Figure 5. a) Volumes servant à la construction de l'Enveloppe d'ombre : V_{ts_1} (suivant la direction du soleil à 9h), V_{t_2} (suivant la direction du soleil 15h) et V_3 (à partir de l'assise de la parcelle). b) Enveloppe d'ombre $EO = V_{t_1} \cap V_{t_2} \cap V_3$, est l'enveloppe minimale assurant l'ombrage toute l'année avant 9h et après 15h.

5. Génération du volume englobant de contrôle solaire

5.1. Domaines du volume englobant de contrôle solaire

L'enveloppe solaire et d'ombre représentent deux limites maximale et minimale du *volume englobant de contrôle solaire* V_{ex} . Il existe trois domaines de génération du V_{ex} (figure 7) ; 1. Le premier domaine, noté E_1 , est situé au-dessous de l'enveloppe solaire ; 2. Le deuxième domaine, noté E_2 , est le volume interstitiel entre la limite maximale de l'enveloppe solaire et la limite minimale de l'enveloppe d'ombre ; 3. Le troisième domaine, noté E_3 , est situé au-dessus de l'enveloppe d'ombre.

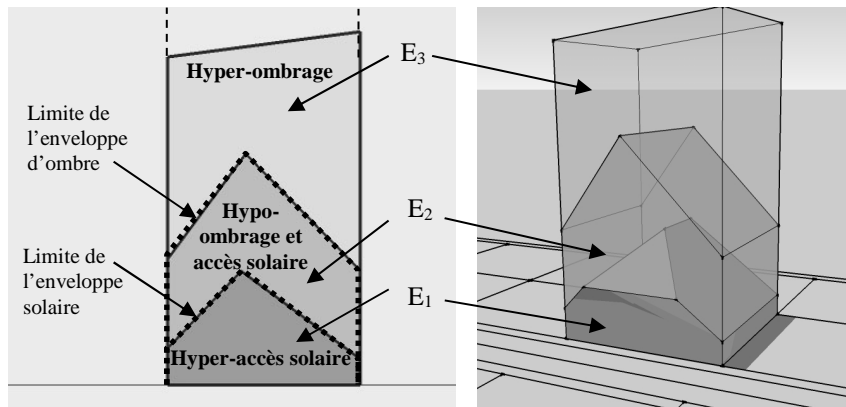


Figure 6. Solutions du volume englobant de contrôle solaire V_{ex}

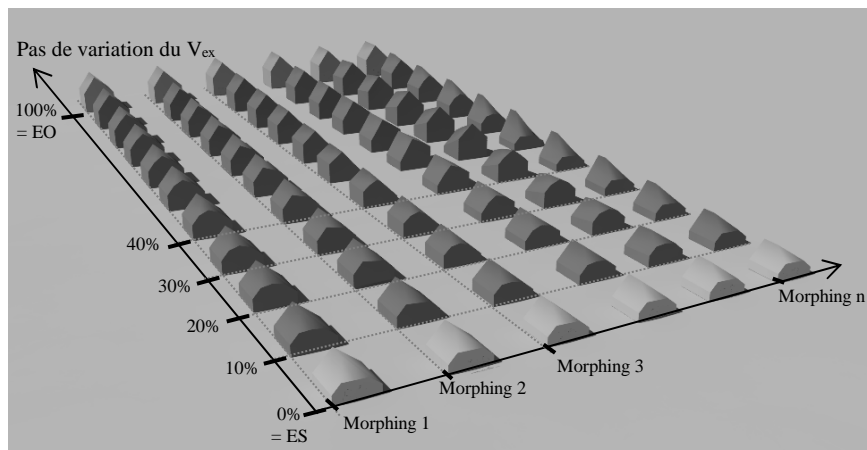
Chaque domaine de génération possède une qualification particulière selon le degré de satisfaction de la contrainte d'ombrage ou d'accès solaire. Le domaine E_1 est le support des solutions du V_{ex} assurant une hyper-satisfaction de la contrainte d'accès solaire. Les solutions appartenant à ce domaine s'éloignent fortement de la limite de l'enveloppe d'ombre et présentent un bilan négatif quant à la satisfaction des contraintes d'ombrage. De même, le domaine E_3 est le support des solutions du V_{ex} assurant une hyper-satisfaction de la contrainte d'ombrage. Les solutions appartenant à ce domaine s'éloignent fortement de la limite de l'enveloppe solaire. Ils présentent un bilan négatif quant à la satisfaction des contraintes d'accès solaire. Le domaine E_2 est interstitiel entre l'enveloppe solaire et l'enveloppe d'ombre. Ce domaine est le support des solutions assurant une satisfaction partielle des contraintes

Génération de volumes de contrôle solaire

d'accès solaire et d'ombrage. C'est le domaine de l'équilibre entre les deux contraintes d'accès solaire et d'ombrage. Plus les solutions du V_{ex} s'approchent de la limite de l'enveloppe d'ombre plus elles projettent de l'ombre. D'un autre côté, plus les solutions du V_{ex} s'approchent de la limite de l'enveloppe solaire plus elles assurent l'accès solaire.

5.2. Exploration des solutions du volume englobant de contrôle solaire

Nous nous intéressons aux solutions du domaine E_2 . Dans ce dernier on peut délimiter n-solutions du V_{ex} et définir en conséquence des valeurs de règles urbaines de contrôle solaire qui assurent l'ombrage et/ou l'ensoleillement selon le besoin et selon les caractéristiques climatiques d'une région donnée. Nous proposons ici d'utiliser la technique du morphing 3D pour générer d'une manière automatique des solutions du V_{ex} . L'état initial (0% du morphing) correspond au volume de l'enveloppe solaire, c'est la première solution du V_{ex} . L'état final (à 100% du morphing) correspond au volume de l'enveloppe d'ombre. Nous effectuons plusieurs types de morphing entre l'enveloppe solaire et l'enveloppe d'ombre. Il est possible de changer le morphing en modifiant à chaque fois la position des sommets (vertex) pendant leur transformation progressive. Chaque morphing effectué permet de générer n solutions du V_{ex} et selon un pas de variation du morphing. Nous proposons de générer les solutions du V_{ex} à 10% d'intervalle. Ceci permet d'avoir une variation formelle assez significative entre les V_{ex} (figure 8).



Interaction(s) des maquettes numériques

6. Discussion

Le morphing permet de fournir à l'urbaniste un ensemble d'entités virtuelles. Chaque entité constitue une morphologie de la réglementation urbaine de contrôle solaire. Ainsi, il ne s'agit plus ici d'un simple document statique (un cahier de charge écrit) mais d'une représentation morphologique dynamique de la réglementation urbaine.

Cependant, une approche purement morphologique du volume englobant de contrôle solaire est insuffisante. Il serait utile ici d'introduire des points de vue permettant de dégager des degrés de pertinence de chaque solution du V_{ex} . Le degré de proximité de la limite de l'enveloppe solaire ou de l'enveloppe d'ombre est une première pertinence à étudier. Ceci permettra de dégager des solutions du V_{ex} les plus optimales par rapport aux besoins d'accès solaire (solution s'approchant de la limite de l'enveloppe solaire) et/ou d'ombrage (solution s'approchant de la limite de l'enveloppe d'ombre) et selon les caractéristiques climatiques de la région considérée. Une deuxième pertinence à étudier serait l'évaluation de la consommation énergétique des constructions (chauffage en hiver et climatisation en été). Cette problématique est de plus en plus soulevée dans les projets actuels de planification urbaine.

Le cas étudié ici concerne la génération de volumes de contrôle solaire d'une parcelle à usage d'habitat isolé appartenant au lotissement d'El Mrazka à Nabeul (Tunisie). Le tissu urbain choisi est de type aéré mais la méthode reste valable dans le cas d'une densification urbaine respectueuse du droit à l'accès solaire en hiver et du besoin d'ombrage en été (Knowles, 1981 ; Raboudi & Ben Saci, 2013).

7. Conclusion

L'enjeu de ce travail est la génération de volumes sous contraintes d'accès solaire et d'ombrage. Nous venons de voir comment le concept du volume englobant de contrôle solaire est efficient pour déterminer des solutions sous contraintes a priori contradictoires. Ce concept ouvre de nouvelles perspectives pour l'établissement d'une réglementation urbaine respectueuse du contexte climatique particulier à chaque région. On peut alors passer d'un cahier de charge écrit à des entités virtuelles offrant une plus grande créativité et interactivité à l'urbaniste.

Génération de volumes de contrôle solaire

8. Bibliographie

- Achard, P., & Gicquel, R. (1986). *The European Passive Solar Handbook*. Bruxelles (Belgique) : Commission of the European Communities.
- Capeluto, I. G., Yezioro, A., Bleiberg, T., & Shaviv, E. (2006). Solar Rights in the Design of Urban Spaces. *PLEA 2006 : The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture*. suisse.
- Casabianca, G., Evans, J. M., & Schiller, S. (1991). Solar right and planing codes. *PLEA 91 – The 9th International Conference on Passive and Low Energy Architecture*. Sevilla (Espagne).
- Knowles, L. R. (1981). *Sun Rhythm Form*. Cambridge : MIT Press.
- Pereira, F. O., & Nome Silva, C. A. (1998). A proposal for the implementation of the solar envelope in urban planning as a concept for regulating the occupation of urban area. *PLEA 98 : The 15th International Conference on Passive and Low Energy Architecture*, (pp. 611–614). Lisbon, Portugal.
- Raboudi, K., & Ben Saci, A. (2013). A morphological generator of urban rules of solar control. *PLEA2013 : Sustainable Architecture for a Renewable Future*. Munich.
- Raboudi, K., Belkaïd, A., & Ben Saci, A. (2012). Morphose numérique du volume englobant solaire. *SCAN'12 : Séminaire de Conception Architecturale Numérique* (pp. 179-189). Paris : Presses Universitaires de Lorraine.
- Siret, D. (1997). *Propositions pour une approche déclarative des ambiances dans le projet architectural : Application à l'ensoleillement*. Thèse de doctorat, Université de Nantes, Nantes (France).
- Stasinopoulos, T. (2000). *Solar envelope : a construction method using AutoCAD 200*. Consulté le Decembre 20, 2009, sur <http://www.oikotekton.net/solenvelope/>
- Twarowski, M. (1967). *Soleil et Architecture*. Paris (France) : Dunod.