



HAL
open science

Les enveloppes solaires de Ralph Knowles, ou les ambivalences d'un modèle de régulation des formes urbaines

Daniel Siret

► **To cite this version:**

Daniel Siret. Les enveloppes solaires de Ralph Knowles, ou les ambivalences d'un modèle de régulation des formes urbaines. *Lieux Communs - Les Cahiers du LAUA*, 2011, n° 14, p. 195-206. halshs-00762720

HAL Id: halshs-00762720

<https://shs.hal.science/halshs-00762720>

Submitted on 7 Dec 2012

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.

Les enveloppes solaires de Ralph Knowles, ou les ambivalences d'un modèle de régulation des formes urbaines

Daniel SIRET

Laboratoire CERMA - UMR CNRS 1563,
Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes
Contact : daniel.siret@cerma.archi.fr

Résumé

Le modèle des enveloppes solaires, défini par Ralph Knowles au début des années 1970, offre une solution pour la régulation des formes urbaines au regard du droit au soleil. Cet article présente ce modèle et en discute les ambivalences. Représentation géométrique formelle d'un problème d'organisation de la densité urbaine et dispositif expérimental permettant d'analyser ce problème, les enveloppes solaires sont également l'expression d'un modèle urbain idéal empruntant aux utopies des années 1970. Portées par l'avènement de l'informatique graphique à partir des années 1980, elles ont su résister à l'usure du temps jusqu'à répondre désormais aux injonctions de la ville durable. Ces transformations témoignent d'une grande plasticité du modèle, entre idéal urbain, formalisation scientifique et outillage de CAO.

Abstract

Defined by Ralph Knowles in the early 1970s, the model of solar envelopes offers a solution for regulating the urban fabric according to solar rights. This paper presents this model and discusses its ambivalences. Both a geometric representation of a formal organizational problem of urban density and an experimental setup used to analyze this problem, the solar envelopes are also the expression of an ideal urban model related to the utopias of the 1970s. Brought by the advent of computer graphics from the 1980s, they have stood the test of time to respond to the present injunctions of the sustainable city. These transformations reflect a strong plasticity of the model, between an urban ideal, a scientific formalization, and a CAD tool.

Introduction

Comment concilier densité urbaine et accès au soleil ? Discutée dès le milieu du dix-huitième siècle, cette question occupe une place importante dans les préoccupations théoriques sur la ville au dix-neuvième et au vingtième siècle (Descat, Monin, Siret, 2006, introduction). Les intentions qui sous-tendent l'ambition d'une régulation des formes urbaines au regard de l'exposition au soleil sont diverses. Dans ses *Solutions Sociales* (1871), J-B. Godin met en avant la lumière naturelle comme besoin essentiel au progrès humain et préfigure les fondements d'un nouveau « droit au soleil » (1). Les théories hygiénistes insistent sur le rôle prophylactique de l'insolation des façades et des voies publiques dans la lutte contre les maladies urbaines en général et contre la tuberculose en particulier. La modernité architecturale reprend ce credo hygiéniste et y ajoute une forme d'hédonisme solaire et de pureté symbolique de la ville irradiée devenue « radieuse ». D'autres auteurs insistent sur la plastique solaire née du jeu des ombres et des clairs-obscurs et sur ses capacités d'enchantement urbain (2). Notre époque développe quant à elle la nécessité d'une exposition solaire favorisant la mise en œuvre des énergies renouvelables dans la ville devenue « durable ».

Quels que soient ses fondements, la régulation solaire des formes urbaines cherche à organiser un partage équitable de l'ensoleillement dans un développement urbain par nature créateur d'ombre. Des formulations scientifiques et techniques de cette question apparaissent dès la fin du dix-neuvième siècle. On cherche alors l'orientation optimale du réseau viaire par rapport à la variation saisonnière de l'exposition solaire, et la forme idéale des gabarits des voies en tenant compte des jeux d'ombres portées. Véritables modèles urbains avant l'heure, des équations de rues sont proposées ; elles sont en général empiriques et conduisent à des préconisations souvent contradictoires (Harzallah 2007). Ces investigations mènent à de nombreuses dérives scientistes, dont l'une des plus connues est la théorie de l'axe héliothermique proposée par A. Augustin-Rey en 1928 et reprise par Le Corbusier pour imposer « la dictature du soleil » dans *La Ville radieuse* (Harzallah et al. 2005). En faisant éclater le tissu urbain traditionnel, la modernité architecturale donnera une solution encore plus radicale à ce problème : il suffira d'espacer convenablement les barres et les tours de telle sorte qu'elles ne se portent pas ombre mutuellement, comme le préconiseront L. Hilberseimer en 1924 ou W. Gropius en 1931 (3).

Avec le déclin de la doctrine moderne au cours des années 1960, la question du partage équitable de l'accès au soleil dans les limites parcellaires de la ville existante renaît dans la littérature urbaine. Plusieurs auteurs tentent alors de donner à la notion de « droit au soleil » une représentation susceptible d'être intégrée dans les processus de régulation de la forme urbaine. C'est ainsi qu'apparaît l'idée générale du gabarit d'ensoleillement, limite géométrique virtuelle à l'intérieur de laquelle il est possible de construire librement avec la garantie de ne pas empiéter sur le « droit au soleil » des constructions voisines. On reconnaît généralement la paternité de cette idée à l'Américain Ralph Knowles qui introduit la notion d'enveloppe solaire à Los Angeles au début des années 1970.

C'est cette idée d'enveloppe solaire, constituée en modèle, que cet article voudrait présenter et discuter pour en montrer les ambivalences. Notion polysémique s'il en est, le modèle recouvre des sens divers dans le langage commun, dans les langages des sciences, mais aussi en architecture et en urbanisme. Les enveloppes solaires vérifient différentes acceptions de la notion. Ce sont bien sûr des maquettes et mêmes des « moules » que les constructions devraient remplir sans déborder (4). Elles sont aussi l'expression d'un modèle scientifique, comme représentation formelle d'une réalité physique et comme dispositif expérimental per-

mettant d'analyser cette réalité. Mais derrière cette rigueur scientifique, les enveloppes solaires manifestent également un modèle urbain idéal implicite qui témoigne du renouveau d'un culte solaire offrant une solution quasi magique à un problème d'organisation de la densité urbaine. Elles constituent enfin une occasion instrumentale dont nombre d'informaticiens se sont emparé, assurant ainsi la circulation et la persistance du modèle entre les utopies urbaines des années 1970 et les injonctions actuelles de la ville durable.

Notre approche est avant tout historique et tente de situer l'histoire courte des enveloppes solaires (une quarantaine d'années) dans une histoire plus générale de l'ensoleillement dans les discours sur la ville et les théories urbaines. Nous nous appuyons sur un double corpus de textes et de connaissances, le premier concernant la question de la régulation géométrique de l'ensoleillement en ville, dont les enveloppes solaires sont une expression particulière, et l'autre lié plus généralement aux théories de la ville dans lesquelles des questionnements solaires apparaissent régulièrement.

L'émergence des gabarits d'ensoleillement

R. Knowles, professeur d'architecture à l'Université de Californie du Sud (USC) à Los Angeles, se met en quête au début des années 1970 d'un système permettant d'inscrire efficacement le droit au soleil dans la réglementation urbaine. Il cherche un cadre pratique qui puisse permettre de rendre incontestable ce droit, ce que n'offrent pas les dispositions légales existant aux Etats-Unis (Knowles 1981, 1999, 2003). Cette recherche s'inscrit dans le renouveau des questions solaires liées au déclin des idées modernes et l'ambition d'une réforme urbaine renouant avec un tissu de parcelles. La crise pétrolière mondiale de 1973 accélère et légitime ces recherches en mettant en avant la nécessité d'un recours massif aux énergies renouvelables dans l'habitat. Parmi celles-ci, l'énergie solaire est bien sûr la plus immédiate, mais aussi la plus facile à capter à condition que l'environnement construit immédiat n'offre pas d'obstacle aux moments les plus critiques, en particulier en hiver. C'est à ce problème que répondent les enveloppes solaires, offrant une solution formelle au respect du droit au soleil dans les processus de développement et de densification urbaine.

R. Knowles s'inspire des formes étagées des villes grecques antiques et met en exergue les constructions vernaculaires à gradins des villages du Nouveau-Mexique, en y voyant une forme implicite de régulation solaire de l'environnement construit. Il utilise ces références pour construire un système de régulation qui prend la forme, intuitivement, d'une frontière géométrique définie par le déplacement journalier et saisonnier du soleil. Pour saisir ce que représente une telle frontière d'ensoleillement, il faut imaginer une parcelle sur laquelle s'établit un gabarit de construction classique, et un scalpel imaginaire découpant ce gabarit pour permettre aux rayons solaires d'accéder aux façades voisines à certains moments de l'année. Le gabarit prend une forme découpée plus ou moins pyramidale, qui définit l'enveloppe solaire de la parcelle pour la plage temporelle d'exposition définie. Cette enveloppe solaire ne garantit rien quant à l'ensoleillement de la parcelle elle-même. En revanche, elle définit le volume maximal dans lequel les constructions doivent s'établir sur la parcelle pour ne pas entraver l'accès au soleil des parcelles voisines. C'est la généralisation de cette notion à l'ensemble du tissu urbain qui inscrit le droit au soleil de chacune des parcelles, par une sorte de partage négocié des limites volumiques des constructions. Des enveloppes solaires pourront par exemple être définies pour préserver l'ensoleillement d'un ensemble de parcelles voisines de dix heures à quatorze heures en hiver, et de huit heures à seize heures en été. Plus la plage temporelle est étendue et plus l'enveloppe solaire (et de ce fait le volume constructible sur la

parcelle) est réduit. L'orientation et la forme des parcelles sont également des éléments déterminants. On trouvera des exemples de telles constructions géométriques sur la page web que R. Knowles maintient sur le site de l'USC (<http://www-bcf.usc.edu/~rknowles/> page consultée en février 2011).

Un modèle formel de régulation du droit au soleil

R. Knowles n'est pas le premier à proposer ce type de construction géométrique permettant de représenter et d'instrumenter des contraintes d'ensoleillement liées à une parcelle. Plus d'une décennie plus tôt, le Polonais M. Twarowski proposait une méthode graphique analogue, dite des « courbes de niveau solaire », qui constitue une approche complémentaire de celle mise en œuvre par Knowles. Plutôt que de dessiner l'enveloppe maximale constructible au niveau de la parcelle visée, Twarowski représente le volume dans lequel doivent s'inscrire les constructions voisines pour respecter une contrainte d'ensoleillement fixée sur cette parcelle (Twarowski 1967). R. Knowles ne cite pas cet auteur polonais qu'il ne connaît probablement pas. Il s'inscrit d'emblée dans une approche réglementaire, là où Twarowski ne cherche qu'un outil de conception pour l'architecte (5). R. Knowles rend visibles ces enveloppes solaires en fabriquant des maquettes quand Twarowski se contente de constructions géométriques sur la table à dessin.

Les enveloppes solaires de R. Knowles deviennent ainsi l'expression d'un modèle au sens que donne la science aujourd'hui à cette notion, c'est-à-dire à la fois la représentation formelle d'une réalité physique et un dispositif expérimental permettant de reproduire et d'analyser le « fonctionnement » de cette réalité (6). La réalité dont il est question ici est l'incidence des constructions d'une zone de l'espace sur l'ensoleillement des zones adjacentes sous une latitude donnée. Les enveloppes solaires représentent cette incidence au moyen d'une partition de l'espace qui matérialise la capacité des constructions d'une zone donnée à respecter l'ensoleillement des zones voisines pour certaines périodes critiques, c'est-à-dire la capacité d'un projet de construction à respecter le « droit au soleil » des constructions voisines, existantes ou à venir. La définition de ce que recouvre ce « droit au soleil » fait partie des paramètres du modèle (ce sont les plages temporelles d'exposition solaires qui définissent les limites de l'enveloppe). Le modèle possède ainsi la capacité de simuler la portée de différentes exigences solaires, en termes de densité construite par exemple.

Le modèle des enveloppes solaires représente le droit au soleil de manière purement géométrique : toute construction incluse dans le volume de l'enveloppe respecte le droit au soleil défini par cette enveloppe pour les constructions voisines. À l'inverse, toute partie construite en dehors de l'enveloppe conduit à un ombrage partiel des zones voisines pendant la période définie. Cette simplicité permet de focaliser l'attention sur le problème du respect du droit et donne un moyen simple de déterminer l'infraction éventuelle. En contrepartie, le modèle ne dit rien sur l'incidence d'un élément qui déborderait de l'enveloppe, il indique simplement l'existence d'une ombre portée plus ou moins étendue sur les parcelles voisines pendant la période définie pour cette enveloppe. Il ne dit rien non plus sur le jeu plus subtil entre exposition et énergie. En effet, il ne considère que les durées d'exposition au soleil, sans prendre en compte les angles d'incidence, renouvelant en cela les simplifications faites par nombre de théories hygiénistes du début du vingtième siècle (7).

Un modèle idéal de densification naturelle de l'environnement urbain

« Un modèle n'est pas un petit bout de science absolue et universelle mais l'expression d'un point de vue qui prendra sa place dans un contexte social où il sera plus ou moins pertinent » explique N. Bouleau (1999, p. 340). Sous une apparence rationnelle et pragmatique, les enveloppes solaires manifestent en effet un point de vue idéal sur la ville, qui s'inscrit bien dans le contexte des années 1970 qui voient la publication de plusieurs propositions pour la prise en compte du soleil dans les formes urbaines. Parmi ces propositions, certaines sont délibérément utopiques, comme l'étonnante Ecopolis de Guy Rottier qui poursuit un nouvel urbanisme débarrassé des contraintes d'orientation solaire au moyen de dispositifs de capteurs solaires, de concentrateurs et d'un réseau de distribution de la lumière naturelle comme un fluide sous pression (Ragon 1973). D'autres auteurs comme G. Alexandroff (1979) imaginent de grandes villes solaires capables de s'autoréguler sur le plan énergétique au moyen de dispositifs de stockage saisonnier étendus à la ville entière. Il faut également citer les nombreuses propositions d'architecture bioclimatique qui naissent au même moment, parmi lesquelles, en France, le texte fondateur de « La face cachée du soleil » (Nicolas et al. 1974).

Derrière la rigueur de leur expression formelle géométrique, les enveloppes solaires définissent de même un idéal urbain implicite : celui d'une harmonie enfin établie entre des conditions naturelles et des aspirations humaines, un équilibre entre le droit à la ville et le droit au soleil, et celui d'une architecture soumise aux rythmes d'une nature bienveillante. « The sun is fundamental to all life, écrit Knowles en préambule de la présentation des enveloppes solaires. It is the source of our vision, our warmth, our energy, and the rhythm of our lives. Its movements inform our perceptions of time and space and our scale in the universe. » (Knowles 1999) Ce préambule place les enveloppes solaires dans une visée idéaliste qui met en résonance l'homme et l'univers, l'architecture, le temps et les rythmes naturels. Dans ses nombreuses analyses sur le rythme, la sacralité, le temps et le soleil (8), et en dépit d'un style maîtrisé par le moule académique et la forme professorale, R. Knowles manifeste une sorte de dévotion solaire qui semble placer la contrainte d'ensoleillement dans l'ordre d'une nécessité naturelle faite à l'homme. Ce point de vue n'est d'ailleurs pas sans rappeler le nouveau culte solaire explicite que proposait D. Wright au même moment, en prédisant l'avènement de nouveaux « citoyens solaires » (9).

Il faut remarquer que cette idéalisation du modèle de régulation solaire de l'environnement ne tient que parce que R. Knowles place son discours dans une perspective a-historique. Il ignore les débats sur l'efficacité solaire des tissus urbains qui ont marqué le début du vingtième siècle. Il ne mentionne jamais les différentes théories hygiénistes produites en Europe sur la question des gabarits et de l'orientation des voies permettant au soleil de pénétrer les logements et de jouer le rôle prophylactique qu'on lui prêtait alors. Bien qu'utilisant abondamment le système des constructions pyramidales, il ne se réfère pas plus aux projets utopiques de quartiers et villes à gradins dessinés par H. Sauvage cinquante ans plus tôt en réponse aux injonctions solaires hygiénistes et aux expérimentations des solariums. R. Knowles fait également l'impasse sur les travaux précurseurs de l'Américain W. Atkinson au tournant du vingtième siècle, qui a pourtant beaucoup œuvré à la prise en compte de l'ensoleillement dans la régulation urbaine de Boston, souvent citée comme exemple dans ce domaine. Enfin, Knowles ne mentionne pas plus les théories solaires de la modernité et, on l'a vu, il ne connaît manifestement pas les travaux de M. Twarowski qui ont apporté dix ans plus tôt des solutions géométriques analogues au problème des gabarits d'ensoleillement.

En lieu et place de cette séquence historique qui permettrait de situer son propos dans une continuité de questionnements, R. Knowles évoque un idéal antique d'intelligence solaire représentée par certaines villes grecques, et une sorte d'aboutissement d'adaptation au climat que définirait l'architecture vernaculaire des villages du Nouveau-Mexique. Dans cette perspective, les enveloppes solaires apparaissent comme un discours révélé, renouant avec une vérité antique et un savoir-faire populaire ancestral, sans prise avec l'histoire.

Un modèle instrumental en circulation

En dépit de leur caractère idéal et du faible nombre de mises en œuvre effectives dans les réglementations urbaines (10), les enveloppes solaires de R. Knowles restent une proposition encore discutée aujourd'hui. Comment expliquer cette persistance sur près de quarante ans ? Il faut pour cela mettre en avant la dualité d'un modèle, comme représentation formelle d'une réalité d'une part et comme instrument d'autre part. Un modèle possède en effet une finalité heuristique et définit par lui-même un cadre instrumental offrant au chercheur ou au praticien des moyens d'expérimentation de la réalité considérée. « C'est parce qu'un modèle est un instrument qu'il n'est pas la preuve de quoi que ce soit », explique J-M. Legay (1991, p. 237). Les modèles mathématiques construisent ce cadre instrumental en réduisant les phénomènes observés à un jeu de paramètres et d'équations, qu'il est possible de faire varier pour évaluer leurs conséquences sur certaines caractéristiques du phénomène étudié.

Dans le cas des enveloppes solaires, la finalité instrumentale peut être dissociée de la finalité réglementaire du modèle. Pour permettre de spécifier des droits à construire en fonction de droits au soleil, il est impératif que les enveloppes solaires puissent être calculées et instrumentées. R. Knowles et ses étudiants construisaient des maquettes en carton, modèles primitifs permettant de matérialiser les enveloppes solaires dans leur site urbain et d'en proposer des interprétations architecturales. Dépasser ce stade artisanal et rendre les enveloppes solaires opérationnelles en pratique est une question en soi, à laquelle nombre de chercheurs ont tenté de répondre à partir du début des années 1980. C'est en effet à partir de cette décennie que se démocratise l'ordinateur individuel, qu'apparaissent les nouvelles technologies d'informatique graphique, et que se définissent de nouveaux champs de recherche méthodologique en lien avec la conception architecturale et urbaine (le dessin assisté, puis la conception assistée par ordinateur). Il devient possible de calculer et d'instrumenter les enveloppes solaires comme volumes tridimensionnels au moyen de logiciels spécialisés. Le modèle sort alors du domaine de la régulation urbaine pour circuler dans les différents champs des sciences et techniques susceptibles d'offrir un cadre instrumental numérique favorable à l'expression et à la manipulation des enveloppes solaires.

Sur une vingtaine d'années, du milieu des années 1980 jusqu'au milieu des années 2000, sont ainsi produits une série d'articles scientifiques proposant d'apporter une solution numérique, et parfois un logiciel prêt à l'emploi, pour résoudre ce problème. Sans entrer dans les détails de chaque contribution, citons pour la démonstration : Vonderohe 1986 (formulation mathématique de la géométrie des enveloppes solaires), Schiler et al 1993 (proposition d'un programme interactif, le logiciel Solvelope, pour définir et visualiser les enveloppes solaires ; les auteurs sont des élèves de Knowles à l'USC), Cotton 1996 (définition d'une méthode de construction des enveloppes solaires au moyen d'un outil de modélisation 3D générique), Noble et al. 1998 (description d'un logiciel de calcul d'enveloppes solaires et de ses applications potentielles), Ruttkay et al 1998 (calcul et expérimentation d'enveloppes solaires à l'échelle d'un quartier), Stasinopoulos 2000 (méthode de calcul d'enveloppes solaires sous AutoCAD publiée

sur Internet), Capeluto et al. 2001 (expérimentation des enveloppes solaires pour la conception d'un quartier dense), Grazziotin et al 2002 (intégration des enveloppes solaires dans un système d'aide à la décision pour l'aménagement urbain), Kensek et Knowles 2007 (mise en oeuvre d'un outil numérique et expérimentation des enveloppes solaires dans un projet d'étudiants à Saintes en France) ou encore Morello et al. 2009 (extension de la définition et du calcul des enveloppes solaires par la prise en compte de l'énergie lumineuse). Nous avons nous-mêmes contribué à ce mouvement en montrant comment les enveloppes solaires peuvent être considérées comme un cas particulier des volumes solaires définis dans la géométrie intégrale de l'ensoleillement (Siret 1997, Siret et al. 2004).

Cette circulation du modèle a permis la mise en place d'un jeu de légitimations croisées dans différents champs de recherche académiques. Les informaticiens trouvent dans les enveloppes solaires une assise à leurs travaux, voire un alibi pour le développement de nouveaux algorithmes de modélisation spatiale et de méthodes de CAO. Calculer et manipuler ces enveloppes n'est pas un travail aisé, et l'informatique graphique apporte indéniablement une assistance dans ce domaine. Réciproquement, les urbanistes promoteurs d'une régulation solaire de l'environnement construit obtiennent par les travaux infographiques des outils pratiques d'expérimentation et de développement de leurs hypothèses urbaines. Les chercheurs à l'interface de ces disciplines trouvent finalement dans ce modèle des enveloppes solaires à la fois un idéal urbain, une assise scientifique et un support de développements et d'expérimentations pratiques.

Conclusion

R. Knowles invente au début des années 1970 la notion d'enveloppe solaire, dispositif technique de régulation de la densité urbaine permettant de faire respecter le droit au soleil de constructions voisines. Ces enveloppes solaires se constituent alors comme un double modèle : modèle formel régulateur de l'environnement urbain qui peut être intégré dans le droit comme on l'a vu, mais aussi modèle idéal d'une nouvelle ville en harmonie avec les conditions naturelles, expression d'un certain culte solaire renouvelé qui s'inscrit bien dans le contexte de contre-culture des années 1970.

Avec le développement de l'informatique graphique au début des années 1980, les enveloppes solaires circulent du champ de l'urbanisme réglementaire à celui de l'aide à la conception. La dimension instrumentale du calcul des gabarits d'ensoleillement prend progressivement le pas sur leur dimension théorique initiale. Les enveloppes solaires deviennent alors une fonction de l'outillage de CAO pour la ville et, à ce titre, elles rejoignent progressivement le cadre instrumental de « la gestion de l'environnement durable ». Des méthodes pratiques et des logiciels prêts à l'emploi sont produits dans cette visée.

L'histoire des enveloppes solaires est peut-être exemplaire d'une évolution plus générale des modèles urbains des années 1970. En perdant leur dimension utopique et l'ambition sous-jacente d'un nouveau rapport à la nature au sein de la ville, en se technicisant et en renonçant de facto à une transformation des méthodes de planification urbaine, les enveloppes solaires manifestent leurs limites intrinsèques. Elles apparaissent finalement comme une expression de la pensée solaire de la modernité architecturale, fascinée par le problème de l'exposition des corps et des façades, et porteuse de solutions très simplificatrices.

Références bibliographiques

- ALEXANDROFF G. (1979), « Les feux du soleil. La ville solaire », Techniques et Architecture, N°325
- BOULEAU N. (1999), Philosophies des mathématiques et de la modélisation. Du chercheur à l'ingénieur, Paris, L'Harmattan
- BRADBROOK A-J. (1995), « Le développement du droit sur les énergies renouvelables et les économies d'énergie », Revue internationale de droit comparé, Vol. 47, n°2
- CAPELUTO I-G., SHAVIV E. (2001), « On the Use of the Solar Volume for Determining the Urban Fabric », Solar Energy, Vol. 70, N°3
- COTTON J-F. (1996), « Solid modeling as a tool for constructing solar envelopes », Automation in Construction, Vol. 5, N°3
- DESCAT S., MONIN E., SIRET D. (2006), « Introduction à une histoire du soleil dans la ville », in DESCAT S., MONIN E., SIRET D (dir), La ville durable au risque de l'histoire, Paris, J-M. Place
- GRAZZIOTIN P-C., DAL SASSO FREITAS C-M., TURKIENICZ B., RUTTKAY PEREIRA F-O. (2002), « Visualization Techniques in a Building Potential Simulator Using Sunlight Access Control », Proceedings of SIACG 2002, First Ibero American Symposium in Computer Graphics, Guimaraes, Portugal
- HARZALLAH A. (2007), Emergence et évolution des préconisations solaires dans les théories architecturales et urbaines en France, de la seconde moitié du XIXe siècle à la deuxième guerre mondiale, Thèse de doctorat en Architecture, Université de Nantes
- HARZALLAH A., SIRET D., MONIN E., BOUYER J. (2005), « Controverses autour de l'axe héliothermique : l'apport de la simulation physique à l'analyse des théories urbaines », Proceedings of international conference Changing boundaries: architectural history in transition, Paris, IN-HA
- KENSEK K., KNOWLES R.L. (2007), « Solar access zoning : computer generation of the solar envelope », ACSA Southwest Regional Meeting Albuquerque, New Mexico
- KNOWLES R-L. (1974), Energy and Form. An Ecological Approach to Urban Growth, Cambridge, MIT Press
- KNOWLES R-L. (1981), Sun Rhythm Form, Cambridge, MIT Press
- KNOWLES R-L. (1999), The Solar Enveloppe, Texte disponible sur la page <http://www-bcf.usc.edu/~rknowles/> (consultée en février 2011)
- KNOWLES R-L. (2003), « The solar envelope: its meaning for urban growth and form », Energy and Buildings, 35/1, pp. 15-25
- KNOWLES R-L. (2007), « Ritual House and Solar City Lecture », Vidéo d'une conférence de R. Knowles, prononcée en 2007 à XXX, et diffusée sur Youtube, URL : <http://www.youtube.com/watch?v=LP96GI44EJ0> (consultée le 15/01/11)
- LEGAY J-M. (1991), « De la complexité des objets à la méthode des modèles », in BRISSAUD M., FORSE M., ZIGHED A. (textes réunis pas), La modélisation au confluent des sciences, Paris, Editions du CNRS
- MAGNAN R. (1979), « Le droit au soleil », Revue Urbanisme n°172, pp. 64-65
- MORELLO E., RATTI C. (2009), « Sunscapes: 'Solar envelopes' and the analysis of urban DEMs », Computers, environment and urban systems, Vol. 33, n°1, pp. 26-34
- NICOLAS F., TRAISNEL J-P., VAYE M. (1974), La face cachée du soleil. Energie solaire et architecture, Paris, Auto-éditeur Bricolo Lézardeur

- NOBLE D., KENSEK K. (1998), « Computer generated solar envelopes in architecture », *The Journal of Architecture*, Vol. 3, N°2
- NOUVEL P. (2002), *Enquête sur le concept de modèle*, Paris, PUF
- PARROCHIA D. (1991), « Quelques aspects épistémologiques et historiques des notions de 'système' et de 'modèle' », *La modélisation au confluent des sciences (textes réunis par M. BRISSAUD, M. FORSE, A. ZIGHED)*, Paris, Editions du CNRS
- RAGON M. (1973), « Urbanisme et énergie », *Revue Urbanisme* n°139, pp. 102-106
- RUTTKAY PEREIRA F-R., SIVA 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 », *Proceedings of PLEA 1998, Passive and Low Energy Architecture*, Lisbon, Portugal
- SCHILER M., YEH U-F. (1993), « Solvelope: An Interactive Computer Program for Defining and Drawing Solar Envelopes », *Proceedings of the American Solar Energy Society Conference*, 1993
- SHAVIV E., YEZIORO A., CAPELUTO I. G. (2001), « Sun and Winds in a new Business District in Tel Aviv », *Proceedings of Seventh International IBPSA Conference*, Rio de Janeiro, Brazil
- SIRET D. (2006), Notices « 1950 - Etudes d'ensoleillement - Tour d'ombres – Chandigarh », « 1950 - Grille climatique – Chandigarh » et « Ensoleillement (première partie) », in *Le Corbusier, Oeuvre complète*, Paris, Ed. Echelle 1 & Fondation Le Corbusier, DVD-ROM
- SIRET D. (2004), « Généalogie du brise-soleil dans l'oeuvre de Le Corbusier : Carthage, Marseille, Chandigarh », *Cahiers thématiques : architecture histoire conception N°4*, Lille, ENSA, Paris, J-M. Place
- SIRET D. (1997), *Propositions pour une approche déclarative des ambiances dans le projet architectural et urbain, application à l'ensoleillement*, Thèse de doctorat en Sciences de l'ingénieur, Université de Nantes
- SIRET D., HOUPERT S. (2004), « A geometrical framework for solving sunlighting problems within CAD systems », *Energy and Buildings*, Vol. 36, N°5
- STASINOPOULOS T-N. 2000 — « Solar Envelope, A construction method using AutoCAD 2000 », <http://www.ntua.gr/arch/geometry/tns/solvelope/> (consulté en février 2011)
- TWAROWSKI M. (1967), *Soleil et Architecture*, Paris, Dunod (Première édition polonaise en 1962)
- VONDEROHE A-P. (1986), « Geometry of Solar Envelopes », *Journal of Surveying Engineering*, Vol. 112, N°1
- WRIGHT D. (1979), *Soleil, Nature, Architecture*, Marseille, Parenthèses

Notes

1. J-B. Godin place la lumière naturelle parmi ce qu'il définit comme « les équivalents de la richesse » et sa répartition équitable doit être à ce titre assurée. Au chapitre XXIII des *Solutions Sociales* (1871, ouvrage reproduit sur le site web du familistère de Guise), il envisage une codification du « droit de vivre » qui propose une sorte de garantie d'accès aux éléments naturels. Ainsi apparaît peut-être la première tentative pratique d'une régulation codifiée de l'espace collectif permettant de garantir une égalité d'accès au rayonnement lumineux.
2. M. Twarowski, dont nous reparlerons plus loin à propos des gabarits d'ensoleillement, fait partie de ceux-ci (Twarowski 1967).
3. Pour une discussion des théories de Gropius à ce sujet, voir notamment G. Stevens, *The Reasoning Architect: Mathematics and Science in Design*, McGraw-Hill, New-York, 1990. Sur la

question de la rhétorique de l'ensoleillement chez Le Corbusier, voir nos travaux précédents (Siret 2004, Siret 2006).

4. D. Parrochia (1991, p. 219) rappelle que le terme modèle provient du latin *modulus* (diminutif de *modus*, mesure, terme d'architecture), ce terme ayant donné lieu à deux importations en français, au Moyen-Age et à la Renaissance : le mot moule d'abord, puis, au XVI^{ème} siècle, par l'intermédiaire de l'italien *modello*, le mot modèle.

5. Les courbes de niveau solaire ne sont qu'un outil parmi de très nombreux autres mis au point par M. Twarowski dans son ambition d'une maîtrise technique et plastique complète de l'ensoleillement des formes architecturales, urbaines et même paysagères.

6. Le Trésor de la Langue Française, reprenant la définition d'A. Birou dans son « Vocabulaire Pratique Des Sciences Sociales » (1966, Paris, Editions Economie et humanisme), définit un modèle comme un système physique, mathématique ou logique représentant les structures essentielles d'une réalité et capable à son niveau d'en expliquer ou d'en reproduire dynamiquement le fonctionnement. Cette définition simple et efficace met en équilibre les deux moteurs de la modélisation : la formalisation d'un phénomène d'une part, et la construction d'un appareillage de simulation de ce phénomène d'autre part. Pour une discussion de ces questions, on peut consulter les ouvrages de N. Bouleau (1999) ou P. Nouvel (2002).

7. Les enveloppes solaires permettent ainsi de matérialiser l'une des injonctions de la Charte d'Athènes de 1934, exigeant que chaque logement reçoive le soleil au moins deux heures par jour en hiver. Cependant, là où Le Corbusier déplace la charge de la preuve solaire du côté des constructeurs (« Il faut exiger des constructeurs une épure démontrant qu'au solstice d'hiver le soleil pénètre dans chaque logis au minimum deux heures par jour. Faute de quoi, l'autorisation de bâtir sera refusée. », Charte d'Athènes, article 26), les enveloppes solaires inscrivent la contrainte dans la réglementation urbaine, limitant a priori les possibilités de construction.

8. Voir par exemple le texte « Rhythm and ritual: a motive for design » (1998) ou « Solar Aesthetic » (2008), parmi d'autres textes répertoriés sur le site de l'USC (cf. supra).

9. Ainsi écrit ce pionnier de l'architecture bioclimatique : « Devenir des CITOYENS SOLAIRES, telle est notre destinée. Lorsque nos politiciens, économistes, ingénieurs, enseignants et tous les autres auront acquis une compréhension solaire plus claire, notre monde physique lui aussi changera. Alors la politique d'aménagement du territoire, la forme et les fonctions des constructions, l'environnement dans son ensemble, tout cela évoluera ; et bien sûr dans le bon sens ! » (Wright, 1979) Ce mouvement de dévotion solaire n'est d'ailleurs pas cantonné à la contre-culture américaine. En France, dès 1975, la revue anarchiste *La Rue*, faisant écho au texte fondateur de « La face cachée du soleil » paru un an plus tôt (Nicolas et al. 1974) ainsi qu'aux projets de G. Rottier sur l'Ecopolis (Ragon 1973), invoque « le temps des Solariens » et (ironiquement) celui des nouvelles cités radieuses.

10. Les enveloppes solaires sont en effet très peu mises en pratique dans la réglementation urbaine. Lorsqu'elles le sont, c'est le plus souvent à l'initiative des chercheurs capables de les générer. C'est ainsi le cas à Los Angeles sous l'influence de R. Knowles lui-même. À Tel Aviv, des projets d'aménagement comprenant la définition préalable d'enveloppes solaires ont été élaborés sous l'influence du professeur E. Shaviv et de son équipe (voir par exemple Shaviv et al. 2001). Explorant la thématique du droit au soleil aux Etats-Unis, le juriste A-J. Bradbrook (1995) cite les deux villes américaines de Boulder (Colorado) et Albuquerque (Nouveau-Mexique) dont la réglementation urbaine inclut un principe analogue.