

Architecture et contrôle de l'ensoleillement

Daniel Siret, Amina Harzallah

CERMA - UMR CNRS 1563

Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Nantes, Rue Massenet, BP 81931, F-44319 Nantes Cedex 3

email : daniel.siret@cerma.archi.fr

Résumé : Cet article propose quelques éléments de compréhension de la question du contrôle de l'ensoleillement à travers l'histoire de l'architecture au XXe. Nous évoquons l'élan solaire dans les théories hygiénistes au début du siècle, en décrivant l'exemple de la théorie héliothermique (A. Rey, 1928) et celui des immeubles à gradins de H. Sauvage. Nous rappelons ensuite la problématique de la maîtrise de l'ombre et la genèse du brise-soleil chez l'architecte Le Corbusier, suite aux difficultés thermiques posées par les premiers pans de verre des années 1930. Enfin, nous montrons comment les questions solaires et climatiques sont prises en compte dans les projets indiens de Le Corbusier, avec notamment la méthode de la grille climatique et les tracés solaires de I. Xenakis.

Mots-clés : Architecture, Histoire, Ensoleillement

1. Introduction

La question du confort d'été pose le problème du contrôle de l'ensoleillement dans les bâtiments. La dimension technique de cette question est bien connue. Sa dimension culturelle et historique l'est sans doute moins. Interroger la problématique du contrôle de l'ensoleillement telle qu'elle traverse, avec des mouvements divers, l'histoire des cent dernières années, n'est pourtant pas sans éclairer la période contemporaine.

Cet article propose quelques pistes permettant d'aborder cette histoire de l'ensoleillement. Nous y intégrons différentes études et recherches menées depuis quelques années, notamment autour de la figure de Le Corbusier. Nous montrerons comment évoluent parallèlement la nature des questions d'ensoleillement en architecture et les dispositifs de contrôle solaire. Nous présentons en premier lieu l'élan solaire de la période hygiéniste, en décrivant l'exemple de la théorie héliothermique (A. Rey, 1928) et celui des immeubles à gradins de H. Sauvage. Nous développons ensuite la question de la maîtrise de l'ombre et la genèse du brise-soleil chez Le Corbusier, suite aux difficultés posées par les premiers pans de verre des années 1930. Enfin, nous montrons comment les questions solaires et climatiques sont prises en compte dans les projets indiens de Le Corbusier avec la méthode de la grille climatique et les tracés solaires de I. Xenakis.

2. L'élan solaire dans les théories hygiénistes au début du XXe siècle

Durant la deuxième moitié du dix-neuvième siècle et jusqu'au début du vingtième siècle, les villes européennes sont le théâtre d'une succession de maladies épidémiques. Hommes de science et philanthropes dénoncent l'insalubrité des logements des villes qu'ils suspectent d'être des foyers d'infection. Les découvertes médicales (Pasteur, Koch) montrent l'influence de l'air et de la lumière

sur le bacille de la tuberculose et mettent en avant l'ensoleillement comme facteur microbicide. Dès lors, l'habitation devient l'un des axes de la prophylaxie sociale de la tuberculose, décrite comme maladie de l'obscurité. C'est dans ce contexte qu'une ardente mobilisation du soleil va s'installer en architecture et en urbanisme.

De nombreuses publications témoignent de cet élan solaire au tout début du vingtième siècle. Les préconisations des auteurs portent avant tout sur la forme urbaine permettant le meilleur accès au soleil en toute saison : orientations et gabarits des voies supposés optimaux, organisations du front bâti supposées augmenter l'accès au soleil (gradins, redents), etc. Le principal objectif est alors d'optimiser l'accès au soleil dans les bâtiments, en toute saison, l'idéal hygiéniste reléguant au second plan la question des surchauffes d'été.

L'une des théories les plus emblématiques de ce mouvement est sans doute celle proposée en 1928 par A. Rey, J. Pidoux et C. Barde, dans un ouvrage dont le titre indique le caractère positiviste : *La Science des plans de villes* (Rey et al, 1928). La théorie héliothermique, supposée conduire à une optimisation solaire des tracés urbains, constitue l'un des fondements de l'ouvrage. Elle est basée sur le constat que la température maximale de l'air (ce que les auteurs appellent « la vague thermique ») n'est pas strictement superposée au maximum des flux solaires. Ce décalage entre irradiation maximale et température maximale justifie, selon les auteurs, la nécessité de définir une nouvelle unité de mesure, la « valeur héliothermique », produit de la durée d'ensoleillement en un point par la température moyenne de l'air pendant cette durée. De manière catégorique, Rey, Pidoux et Barde établissent qu'au nom de l'égalité héliothermique des façades, l'orientation optimale des bâtiments se situerait autour de 20° par rapport à l'axe nord-sud (19° à Paris), la façade est étant décalée vers le sud et la façade ouest vers le nord.

Les auteurs donnent des exemples d'application de réorganisation des villes, notamment Paris, suivant l'axe héliothermique. Ils proposent de conserver les voies principales, les places, les parcs et tous les édifices publics, puis de lotir les terrains suivant des barres parallèles orientées dans la direction héliothermique, en supprimant les cours fermés et en agrandissant les surfaces de jardin (figure 1).

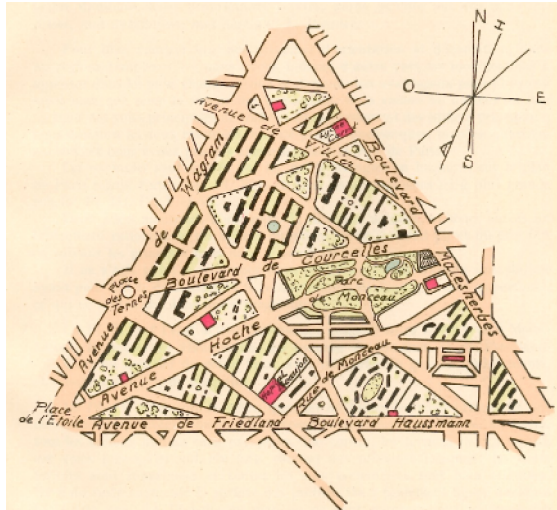


Figure 1 : Réaménagement héliothermique d'un quartier de Paris (Rey et al, 1928)

Ces propositions ont suscité d'importantes controverses parmi les théoriciens de l'urbanisme. Certains adhèrent à la théorie héliothermique dans ses principes, comme l'ingénieur Edmond Marcotte ou l'architecte André Gutton. Mais c'est sans doute Le Corbusier qui a contribué le plus à faire connaître la théorie de Rey, en définissant l'axe héliothermique comme « l'armature du tracé urbain » (1935). Le Corbusier reprend ainsi à son compte la théorie de *La Science des plans de villes* (sans d'ailleurs jamais en citer les auteurs), et met en œuvre l'axe héliothermique comme principe fondamental pour l'orientation de la Ville radieuse dès 1930. Il l'utilise explicitement ou implicitement dans plusieurs projets urbains des années 1930 (notamment le plan pour la rive gauche de l'Escaut à Anvers en 1933) et contribue à diffuser largement cette théorie à travers *La ville radieuse* publiée en 1935. Ce principe perdure implicitement dans son œuvre jusqu'au début des années 1940 ; on peut ainsi montrer que le premier projet pour l'unité d'habitation de Marseille, en 1945, est orienté selon l'axe héliothermique.

L'abandon assez discret de la théorie de l'axe héliothermique par Le Corbusier (il ne s'en explique pas) peut être interprété de plusieurs manières. D'une part, le rôle de l'ensoleillement dans la prévention de la tuberculose est devenu négligeable après l'invention de la pénicilline à la fin des années 1920. D'autre part, Le Corbusier se trouve alors confronté à la question de l'excès de

chaleur derrière les façades de type pans de verre, et concentre ses recherches sur le dispositif du brise-soleil dont nous parlons plus loin. Enfin, les théories de Rey ont été violemment contestées au début des années 1940 par Gaston Bardet, qui estime que le principe de valeur héliothermique est physiquement vide de sens, faux et simpliste. Bardet compare Rey à un hydraulicien qui multiplierait la hauteur d'une chute d'eau par la durée de l'écoulement, en oubliant le débit !

Plus de 75 ans après la publication de *La Science des plans de villes*, nous disposons des connaissances et des moyens techniques facilitant l'élucidation des principales questions solaires qui se posent en matière d'architecture et d'urbanisme. La transcription de la théorie héliothermique en termes physiques nous a conduit à simuler, à l'aide du logiciel Solène, les températures de surfaces des façades d'un immeuble fictif (simple paroi de pierres, sans ouvertures) orienté par pas de 10° autour de l'axe nord-sud. Les hypothèses choisies sont conformes aux simplifications de *La Science des plans de villes*. Dans ces conditions, il a été possible de montrer que les intuitions de Rey étaient partiellement vérifiées : du fait de l'augmentation de la température dans la journée, la façade ouest d'un immeuble orienté exactement nord-sud s'échauffe légèrement plus que la façade est, ensoleillée durant la même durée. La différence n'est cependant sensible qu'en mars et juin, et quasi nulle en décembre.

Cependant, contrairement à ce qu'affirment les auteurs de *La Science des plans de villes*, l'orientation héliothermique ne permet pas de réguler ces différences. Elle tend à augmenter sensiblement la température de la façade sud-est toute l'année sauf en été (2°C environ), et à diminuer celle de la façade nord-ouest, si bien qu'au final, elle accentue la différence entre les deux façades la plupart du temps. L'axe héliothermique ne réalise la « symétrie thermique » de l'immeuble qu'en été, amplifiant aux autres dates l'écart de températures entre les deux façades par rapport au cas de référence. L'analyse des températures moyennes horaires sur l'année confirme ce résultat ; l'axe héliothermique introduit en effet un déséquilibre thermique en faveur de la façade sud-est, bien supérieur au déséquilibre thermique « naturel » en faveur de la façade Ouest de la situation de référence.

L'exemple de *La Science des plans de villes* illustre bien l'opposition mise en évidence par B. Barraqué (1988) entre les hygiénistes comme Rey, partisans du maximum d'ensoleillement en termes de durée d'exposition et peu soucieux des réalités physiques, et les « climatistes » comme Marboutin, qui considèrent, en plus de la durée d'exposition, l'angle d'incidence du soleil à chaque instant et l'énergie effectivement transmise. La théorie héliothermique témoigne également de la mise en

œuvre d'une approche allégorique du contrôle de l'ensoleillement, où la rigueur scientifique est négligée devant l'urgence à résoudre les problèmes sanitaires urbains, et la croyance en la capacité de l'architecture et de la ville à répondre elles-mêmes aux problèmes qu'elles posent.

La question de l'orientation des voies n'est pas la seule approche pour maximiser l'accès du soleil dans les bâtiments. Certains architectes ont mis en avant la nécessité de reconfigurer le front bâti. Parmi les différentes propositions faites en ce sens (immeubles à redents d'Eugène Hénard, immeubles crénelés de Robert de Souza, ville radieuse de Le Corbusier), les immeubles à gradins définis et même brevetés en 1912 par Henri Sauvage sont emblématiques (Minaert, 2001). Sauvage s'inspire des sanatoriums construits en Allemagne quelques années plus tôt. En élargissant progressivement le profil de la rue de bas en haut, les gradins sont supposés favoriser le renouvellement d'air, augmenter l'ensoleillement des étages bas et offrir à chaque appartement une terrasse aérée et lumineuse. L'architecte ne construira que deux immeubles sur ce principe (rue Vavin et rue des Amiraux à Paris) mais il produira une abondante architecture de papier qui évoluera, à la fin de sa vie, vers une ville à gradins utopique.

Si l'œuvre de Sauvage a été assez largement étudiée sur le plan architectural, les intentions solaires et aérauliques qui fondent les propositions de l'architecte n'ont pas été questionnées par elles-mêmes. Nous avons abordé ces questions en prenant appui sur l'immeuble de la rue des Amiraux à Paris, construit entre 1922 et 1927 et qui présente les principaux attributs de l'immeuble à gradins type (façades à gradins suivant trois orientations, espace central occupé par une piscine publique, logements sociaux, etc.). Les simulations montrent que le projet réalisé présente certains avantages du point de vue de l'ensoleillement mais le bénéfice potentiel des gradins est mal exploité, en raison de la présence des circulations verticales. En effet, en voulant réserver l'espace central de l'immeuble à des fonctions spécifiques (une piscine pour l'immeuble de la rue des Amiraux), les circulations sont rejetées en façade où elles forment des blocs verticaux projetant une ombre qui réduit sensiblement le potentiel solaire des gradins, et ceci d'autant plus fortement que l'immeuble est haut (figure 2). On voit donc que du point de vue solaire au moins, la question des circulations verticales interagit fortement avec celle des gradins. La généralisation de la construction à gradins sur un ensemble urbain apparaît donc assez rhétorique. Comme pour la théorie de l'axe héliothermique, une vision allégorique de l'ensoleillement prime sur l'analyse scientifique des solutions avancées. Le soleil peut ici être vu comme une sorte d'alibi de recherches formelles qui trouvent leur place dans la modernité naissante du début du XXe siècle.

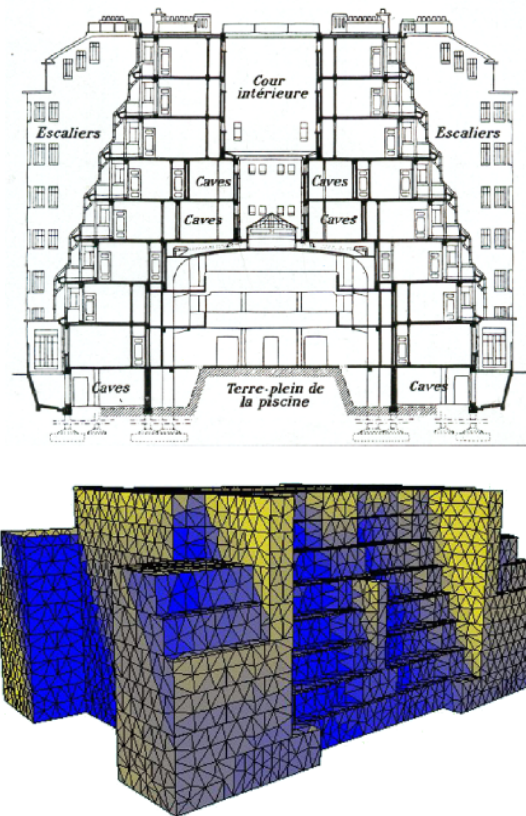


Figure 2 : Coupe et simulation d'ensoleillement sur les façades de l'immeuble à gradins d'H. Sauvage, rue des Amiraux à Paris (logiciel Solène)

3. La maîtrise de l'ombre : genèse du brise-soleil chez Le Corbusier

L'idéal solaire de l'hygiénisme, conjugué à l'évolution de l'architecture moderne (façade libre, mur rideau), conduisent les architectes à affronter la question de la maîtrise du flux solaire de manière à lutter contre les surchauffes derrière les pans de verre. Le projet qui illustre le mieux cette question est sans doute celui de la Cité de Refuge de l'Armée du Salut, construite à Paris par Le Corbusier en 1930. Ce bâtiment exemplaire de la modernité présente un pan de verre étanche (sans ouvrants) de mille mètres carrés, orienté plein sud. Le Corbusier justifie cette orientation par le gain de chauffage en hiver, en prévoyant de contrer les surchauffes estivales au moyen d'un système de conditionnement d'air (« l'air exact ») et d'une solution originale de refroidissement par circulation d'air dans le double vitrage de façade (« mur neutralisant »). Différentes péripéties techniques et économiques empêchent de mettre en œuvre ces dispositifs et une vive polémique s'engage dès la réception du bâtiment sur son caractère étouffant en été (Taylor, 1980, Traisnel, 1997).

Le Corbusier admettra difficilement cet échec. Dans une lettre à l'ingénieur Gustave Lyon, il accuse les pensionnaires d'affabulation : « Nous avons 51 chambrettes pour Mères et Enfants, qui

ont chacune une paroi de verre et dont l'aération est faite par pulsion, avec une légère surpression. Comme les bonnes femmes qui sont là-dedans ne peuvent pas mettre le nez à la fenêtre (ouvrir la fenêtre), elles prétendent qu'elles étouffent ». Il faut dire que les connaissances physiques semblent manquer pour construire les dispositifs idéalisés par l'architecte. Ainsi, le questionnaire lancé en 1930 aux physiciens donne la mesure des incertitudes de Le Corbusier pour avancer dans la voie de la mécanisation du confort. En témoigne par exemple la question suivante : « Si l'on doit admettre que, par radiation, les rayons solaires provoquent un réchauffement important de l'air à l'intérieur des locaux, pouvez-vous indiquer les méthodes neutralisant les effets de cette radiation (concerne les grands vitrage en été) ? » (Le Corbusier, 1935).

Ces problèmes de surchauffe conduisent Le Corbusier à chercher des méthodes de nature plus architecturale pour maîtriser l'ombre sur le pan de verre ; c'est ainsi que naît le dispositif du brise-soleil. Formellement, Le Corbusier situe l'invention de ce dispositif au moment de son déménagement Rue Nungesser et Coli en 1934. En réalité, le problème consistant à concilier les bénéfices du soleil en hiver et ceux de l'ombre en été est posé de manière théorique dès 1929 (Le Corbusier, 1930) et en pratique dès 1932, dans un projet de lotissement en Algérie publié dans *La Ville Radieuse* (Le Corbusier, 1935). Entre 1932 et 1945, le dispositif de brise-soleil recouvre des formes très diverses : c'est un système de jalousies pivotantes dans les projets pour Barcelone (1933), un assemblage de casiers accrochés aux pans de verre sud et ouest des projets d'Alger (1933), des lames obliques et des refends verticaux à Rio (1936).

La fusion entre le principe du jardin suspendu des immeubles villas des années 1920 et celui du brise-soleil, produisant ensemble le dispositif de loggia brise-soleil, apparaît dans les projets pour Alger de la fin des années 1930 (palais de justice 1938), et sous un climat très différent, dans le projet de station biologique à Roscoff (1939). En 1943, ces différentes possibilités sont évoquées dans ce que A. Wogenscky appelle alors « le réglage de l'enseiement » (Wogenscky, 1943).

A partir de 1945, Le Corbusier se fait le chantre du brise-soleil dont il s'autoproclame l'inventeur. Il prononce en juillet 1945 une conférence sur l'urbanisme et l'enseiement des habitations, et consacre un chapitre du deuxième tome de l'Œuvre Complète aux « Problèmes de l'enseiement » : « Je vais vous montrer une suite de petites découvertes successives qui m'ont permis de devenir et de demeurer ami du soleil et d'apporter, même à certains pays comme le Brésil et sous le soleil tropical, des solutions qui sont les premières à laisser s'épanouir en toute liberté la vie moderne (...); d'ailleurs le mot employé ici — le brise-soleil — stipule que l'on s'est rendu maître d'un

élément. » Hormis le cas particulier de Rio, ces recherches sur le brise-soleil trouvent leur première application concrète dans l'usine Claude et Duval à Saint-Dié. Cependant, le projet le plus représentatif de ce nouveau dispositif est évidemment celui de l'unité d'habitation de Marseille (1946-1950), œuvre emblématique de la modernité, dont les loggias brise-soleil sont supposées laisser entrer le soleil d'hiver et filtrer le soleil d'été.

Il faut souligner le caractère paradoxal de cette loggia brise-soleil, du fait de la contradiction entre l'organisation des appartements traversants orientés à l'est et à l'ouest, et le dispositif du brise-soleil horizontal dont l'efficacité est avérée pour les orientations proches du sud (dans l'hémisphère nord). Le dispositif doit permettre « au soleil de donner son plein effet en hiver et d'être jugulé en été, aux périodes caniculaires » comme l'explique Le Corbusier. Mais en réalité, le brise-soleil se révèle médiocre dans l'appartement type ; le 21 juin, passé 15 heures solaires, la loggia ne protège que la moitié de la façade ouest, exposant l'autre moitié aux rayons du soir les plus chauds. En hiver au contraire, plus de la moitié de la façade est à l'ombre de la loggia tout l'après-midi (figure 3).

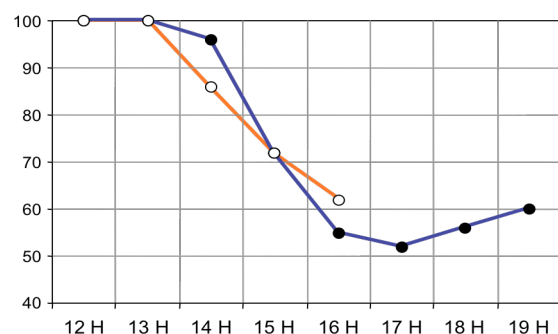


Figure 3 : Les loggias brise-soleil de l'unité d'habitation de Marseille. En bas : pourcentage de masques estivaux (courbe bleue) et hivernaux (courbe orange) sur le pan de verre à l'ouest

A Marseille, Le Corbusier se trouve en réalité confronté à une situation complexe : avoir à démontrer le bien-fondé de la solution du brise-soleil (démonstration nécessaire compte tenu des expériences malheureuses du pan de verre), dans les orientations où le brise-soleil est le moins efficace. Il est assez significatif de constater, par ailleurs, que Le Corbusier chercha alors à installer des brise-soleil sur les façades des bâtiments emblématiques des années 1930 (le Pavillon Suisse, la Cité de Refuge), manifestant sa volonté de corriger les erreurs du pan de verre.

4. Projets indiens : formalisation d'une approche bioclimatique de l'architecture moderne

En même temps qu'il développe ses projets d'unités d'habitation, au début des années 1950, Le Corbusier se voit confier plusieurs grands chantiers en Inde, notamment la construction d'une ville nouvelle à Chandigarh. Parmi l'ensemble des défis que relève l'architecte dans ces projets indiens, l'adaptation au climat n'est pas le moindre. Il s'agit de faire la démonstration des vertus de l'architecture moderne dans un climat difficile, qui voit s'enchaîner une saison très chaude de mars à mai (températures avoisinant les 40°C), une saison très humide de juin à octobre (arrivée de la mousson), et une saison fraîche de novembre à février. Outre la question de l'ensoleillement, les problèmes de ventilation intérieure, de contrôle de l'hygrométrie et de protection contre la pluie, s'imposent ainsi comme éléments déterminants des projets indiens.

Pour répondre à ces enjeux, l'atelier de Le Corbusier met au point fin 1951 un nouvel outil méthodologique : la grille climatique. L'ingénieur, musicien et compositeur I. Xenakis, entré à l'atelier en 1947 (Sterken, 2003), semble être à l'origine de cette idée. Il définit « l'ambiance climatique » comme une fonction de 4 variables (température de l'air, humidité relative, vitesse de l'air et température des parois) et il propose de « définir les variations optima et théoriques de l'ambiance pour conserver ou accroître le meilleur rendement VITAL » (majuscules dans le texte) en considérant les variations diurnes et annuelles. L'objectif consiste à « trouver d'après les données climatiques et les résultats théoriques préétablis les procédés architecturaux de correction. Ceci au moyen d'une grille (voir le tirage) ». Le tirage auquel renvoie Xenakis correspond probablement à une planche datée du 21 décembre 1951, qui transpose de manière graphique les principes présentés dans le texte. La grille est divisée en trois colonnes, correspondant aux trois étapes de la méthode : le relevé des données climatiques du site, les « conditions optimales » à atteindre, et enfin les « procédés architecturaux » permettant de tendre vers ces conditions optimales, dans le contexte climatique donné. Chaque colonne est découpée en

douze mois, regroupés en saisons, au regard desquelles sont illustrées les informations. Ainsi, la première colonne (données climatiques) présente les courbes de température de l'air et d'humidité relative, des schémas solaires (azimuts et hauteur) et différents pictogrammes indiquant la présence de pluie ou la direction des vents dominants. La colonne suivante figure les conditions souhaitables pour un individu occupant l'espace. Ces conditions restent, à ce stade, très schématiques et ne sont pas quantifiées ; il s'agit de se protéger du soleil, d'assurer une bonne ventilation naturelle et d'éviter l'humidité au printemps, de protéger le bâtiment de la pluie l'été, d'accueillir le soleil mais se protéger du vent à l'automne. Les moyens pour parvenir à cette fin sont décrits dans la dernière colonne.

La grille définitive est formalisée dans un document daté du 31 janvier 1952. Elle est définie comme « un moyen matériel de visualisation permettant d'énumérer, de coordonner et d'analyser les données climatiques d'un lieu défini (par sa latitude) afin d'orienter la recherche architecturale vers des solutions accordées à la biologie humaine. Il s'agit de régulariser et de rectifier utilement les débordements de climats excessifs et de réaliser par des dispositifs architecturaux les conditions capables d'assurer le bien être et le confort ». Le Corbusier ouvre ainsi un vaste programme d'études que l'on pourrait ranger aujourd'hui sous la bannière de l'architecture bioclimatique. Les trois colonnes initiales deviennent des « titres ». Le premier (Titre A) concerne les « Conditions d'ambiances », avec les quatre facteurs initialement formulés par Xenakis. La seconde colonne s'intitule « Corrections en vue du confort et du bien-être », Dans les cases de cette colonne, « le psychobiologiste inscrira les corrections ou rectifications jugées indispensables. Ainsi, la lecture du second panneau de la Grille constitue-t-elle le programme même motivant l'intervention de l'architecte ». Enfin, la dernière colonne se présente sous le titre « Solutions architecturales » et s'organise suivant un protocole assez précis. Il ne s'agit plus de représenter des solutions schématiques dans la grille elle-même, mais de signaler par un tampon (la lettre « D » pour le mot dessin) l'existence d'une solution étudiée, référencée et accompagnée, si possible, d'un schéma de principe. Ces pièces graphiques, organisées dans un cahier annexe, « constituent la réponse de l'architecte ».

La première application de ce nouvel outil concerne les projets de maisons de 110 m² (ou maison des péons) à Chandigarh. Par le système du tampon « D », la grille renvoie à diverses solutions architecturales : un système de rafraîchissement par « création d'une poussière fine de gouttelettes d'eau dans le jardin et sur le toit et les murs » ; l'installation de brise-soleil et d'auvents qui « augmentent la surface d'ombre » ; des portes et claustras mobiles permettant l'« établissement ou

suppression de la circulation d'air dépendant du temps ensoleillé » ; un double toit « parasol peint en blanc pour réfléchir les rayons thermiques » ; d'autres solutions de rafraîchissement par « la création d'un enduit de verdure sur les murs à l'aide d'espaliers » ; l'augmentation de l'hygrométrie par l'installation d'un « caliquot humidifié à l'endroit de l'entrée du vent » ; l'orientation judicieuse des ouvertures en fonction des vents ; des chambres fermées « à l'aide de tentures épaisses de coton se roulant sous le plafond » pour la saison fraîche ; etc.

L'effervescence autour de la grille climatique qui marque la période de décembre 1951 et janvier 1952 s'atténue progressivement. Cependant, les réflexions qu'elle a suscitées restent très visibles dans la recherche de protections solaires efficaces entreprise par I. Xenakis au même moment. Ce dernier va donner aux problèmes solaires de l'architecture corbuséenne une dimension nouvelle, qu'il faut sans doute relier aux expériences musicales et structurelles qu'il mène en parallèle.

Ainsi, les premiers tracés témoignant de la recherche d'une nouvelle méthode de détermination de l'ensoleillement datent de janvier 1952, et coïncident avec les dernières réflexions sur la grille climatique. Ces recherches conduisent Xenakis vers la mise au point, au cours de l'année 1952, d'un diagramme solaire original qui se présente comme un abaque synthétique permettant de dessiner rapidement les ombres portées aux trois périodes significatives (solstices d'hiver et d'été, équinoxes). Six mois plus tard (décembre 1952), Xenakis dessine un diagramme analogue pour la latitude de Paris (49° Nord, figure 4).

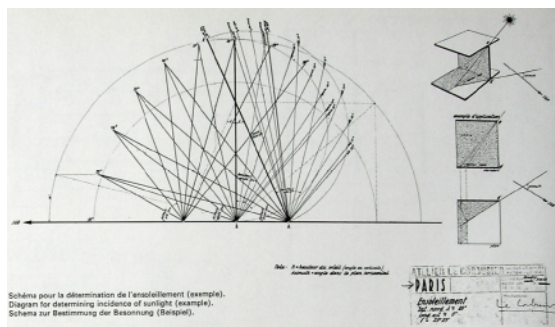


Figure 4 : Le Corbusier, *Oeuvre Complète*, Vol. 6. Diagramme présenté sous le titre « Schéma pour la détermination de l'ensoleillement (exemple) »

Cette planche donne une méthode de construction graphique de l'ombre portée par un point quelconque sur un plan horizontal. Les trois schémas de droite indiquent les étapes de la méthode si l'on connaît l'azimut et la hauteur du soleil pour la date et l'heure considérées. Le reste du dessin apparaît plus complexe à saisir. Pour le comprendre, il faut se référer à l'étude que présente A. Talati (collaborateur de Le Corbusier) en juin 1956, sous le titre « Etude théorique des problèmes

d'ensoleillement (lumineux) ». Il s'agit de tracés correspondant à la détermination graphique des azimuts et hauteurs du soleil pour une latitude donnée, aux solstices et aux équinoxes. Le lecteur géomètre pourra suivre les étapes de la construction dans le texte de Talati (Fondation Le Corbusier F2-16-9) et leur mise en œuvre dans la planche de Xenakis. En juin 1956, Talati dessine plusieurs diagrammes solaires à la manière de Xenakis, pour la latitude de Chandigarh. Un diagramme complet pour cette latitude est établi par Xenakis lui-même le 13 septembre 1957, sans doute à des fins démonstratives, les projets de Chandigarh étant déjà conçus pour la plupart.

Si les études d'ensoleillement sont clairement visibles dans de nombreux projets indiens, l'exemple le plus abouti de cette démarche reste sans conteste la Tour d'ombres, dite aussi Tour des 4 horizons, dont Le Corbusier orne l'esplanade du Capitole à Chandigarh. Attribut symbolique du Capitole, la Tour n'a pas de fonction particulière. Le Corbusier la présente comme « une halle très ouverte, très haute et ombragée », son atmosphère sombre devant inviter à la méditation (*Oeuvre Complète*, Vol. 6). On peut y voir également une sorte de manifeste pour le brise-soleil, la démonstration « que l'on peut maîtriser le soleil aux quatre points cardinaux d'un édifice et le manipuler même dans un pays chaud pour diminuer les températures », comme l'écrira l'architecte (*Oeuvre Complète. Les dernières œuvres*). La démonstration est effectivement impeccable : l'agencement des brise-soleil de la Tour, construite au milieu des années 1980, soit trente ans après sa conception, ne laisse quasiment jamais entrer les rayons solaires, ainsi qu'en témoignent nos simulations en laboratoire (figure 5).

Il semble que les toutes premières réflexions sur ce projet datent du début des années 1950. Ainsi, en décembre 1952, c'est-à-dire au moment même où Xenakis dessine son diagramme solaire pour Paris, Le Corbusier note dans ses Carnets : « urgent / Mettre Xenakis sur la Tour des 4 horizons pour liquider la question brise-soleil dans l'exactitude ». En dépit de l'urgence annoncée, les études de la Tour ne sont entreprises que plus de trois années plus tard. La conception semble avoir connu deux étapes assez différentes, en janvier 1956 d'abord, puis en janvier et février 1957. En janvier 1956, la forme générale est fixée. Il s'agit d'un volume d'emprise à peu près carrée, ouvert sur trois niveaux (sans planchers intermédiaires), avec un étage de couronnement posé de manière oblique et muni d'une longue rampe d'accès. Comme l'écrit Le Corbusier, « l'édifice est dirigé exactement nord-sud et rompt délibérément la symétrie de l'immense esplanade » (*Oeuvre Complète*, Vol. 6). Le choix d'un couronnement oblique illustre peut-être la volonté de démontrer l'efficacité des brise-soleil non seulement dans les quatre directions

cardinales du corps principal, mais aussi dans les directions diagonales. Les brise-soleil qui composent les façades sont de fait ajustés dans les trois dimensions, en fonction de l'orientation : les refends verticaux plus ou moins obliques assurent la protection en début et fin de journée, lorsque le soleil est bas sur l'horizon. Le reste du temps, ce sont les tablettes horizontales plus ou moins profondes, qui brisent les rayons solaires. Le travail d'ajustement de ces brise-soleil semble avoir été très intense. Deux planches du 19 janvier 1956 font état des « études à faire pour la tour d'ombres » selon les orientations et selon les formes à donner aux brise-soleil. Ces études sont consignées dans différents dessins préparatoires qui montrent l'incidence du soleil sur chacune des façades. Des brise-soleil verticaux d'épaisseur variable sont proposés. Les brise-soleil du dernier niveau connaissent des formes variées.

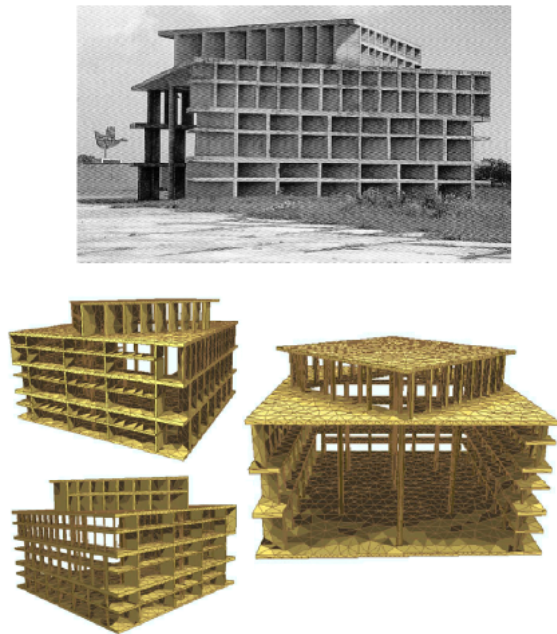


Figure 5 : Le Corbusier, Tour d'ombres à Chandigarh. Photographie, modélisations 3D et simulations solaires (logiciel Solène)

Il semble que le projet de la Tour ait ensuite été mis en sommeil. Le 21 janvier 1957, soit un an exactement après l'étude initiale, Talati note sur un brouillon : « Finir la Tour d'ombres Esplanade Chandigarh ». En quelques feuillets manuscrits complétés de croquis datés du 31 janvier et du 11 février 1957, l'architecte entame une étude critique des propositions formulées un an plus tôt. Sa réflexion devient discursive ; les effets des tablettes horizontales et des refends verticaux sont examinés heure par heure et commentés finement suivant les orientations. Il compare et commente différentes variantes, comme par exemple : « Côté Ouest. Été. Possibilité I. Le soleil ne pénètre pas jusqu'à 17h00. Les brise-soleils verticaux fonctionnent plus après 17h00 et même les brise-soleils horizontaux

fonctionne à peine car les angles solaires en hauteur sont bas (moins de 30°). Possibilité II. Dans le cas contraire, le soleil est arrêté à partir de 14h30 complètement. Jusqu'à 14h30, c'est les brise-soleils horizontaux qui fonctionnent. Ceci aidant à laisser passer le vent librement » (retranscription littérale, Talati n'est pas français). Ce travail de réflexion est mis en forme dans différentes planches qui montrent des essais de brise-soleil variés, tant pour le corps principal (brise-soleil plus ou moins profonds et rapprochés) que pour l'étage haut (brise-soleil d'épaisseurs variables, avec ou sans refends verticaux côté nord-est).

Au final, le projet de Tour d'ombres apparaît comme une brillante démonstration du brise-soleil dans l'architecture moderne. Avec le vocabulaire guerrier que Le Corbusier affectionne, une planche de 1957 évoque ainsi « la conquête de l'ombre et de la fraîcheur ». Si l'on peut accepter la victoire de l'architecte dans la conquête de l'ombre (après vingt ans d'efforts), il convient cependant de nuancer le succès quant à la fraîcheur. Sous le soleil indien en effet, le béton des tablettes et refends interceptant le soleil s'échauffe rapidement. Les brise-soleil accumulent la chaleur le jour pour la restituer en partie la nuit. Le principe trouve son accomplissement géométrique et prouve en même temps ses limites, du fait même du matériau qui a permis sa mise en œuvre.

5. La question du contrôle d'ensoleillement en architecture aujourd'hui

Nous venons de jalonner schématiquement quelques grandes étapes de l'histoire du contrôle de l'ensoleillement en architecture au vingtième siècle. Nous avons principalement décrit les propositions de Le Corbusier, architecte emblématique de la période et grand producteur de théories, systèmes et innovations. D'autres architectes méritent notre attention, de même que d'autres mouvements, plus récents, dont l'analyse historique reste à faire. Ainsi, l'ensoleillement des années soixante jusqu'à nos jours traverse des périodes intéressantes, tant sur le plan des doctrines architecturales que sur le plan technique. L'émergence et les évolutions du mouvement bioclimatique nécessite une analyse approfondie, de même que la place du soleil dans l'idée actuelle de « durabilité », en matière de construction et d'aménagement urbain.

On peut retenir différentes leçons de cette courte histoire. En premier lieu, on remarque que les problèmes d'ensoleillement posés aux architectes sont assez mouvants. Le mouvement hygiéniste invoque un idéal solaire constant, la volonté d'une irradiation salubre permanente des miasmes urbains. La modernité découvre le problème du confort d'été derrière le pan de verre ; l'échec de solutions mécaniques de climatisation trop audacieuses conduisent Le Corbusier vers l'expérimentation de solutions passives, l'invention

puis la généralisation du dispositif du brise-soleil supposé laisser entrer le soleil d'hiver et briser les rayons d'été. La question énergétique est sous-jacente mais jamais cruciale. Elle apparaîtra avec force à partir des années soixante-dix, avant que ne soient posés les problèmes d'ambiances lumineuses et thermiques liés à l'ensoleillement.

En second lieu, l'histoire montre que les ressources conceptuelles et techniques pour aborder la question de l'ensoleillement en architecture ne manquent pas. De multiples théories, outils et méthodes ont été proposés, tant par les ingénieurs, les physiciens, que les architectes. Une part de ces propositions apparaît assez rhétorique comme la théorie de l'axe héliothermique présentée plus haut. D'autres témoignent d'une inventivité technique singulière (diagrammes de Xenakis) ou d'approches étonnantes comme celle de la grille climatique qu'il serait intéressant de comparer aux démarches actuelles pour la qualité environnementale des constructions.

Enfin, l'histoire montre que les problèmes de contrôle d'ensoleillement fournissent un substrat indéniable à la création formelle en architecture. Au delà de leurs effets parfois rhétorique, les gradins de Sauvage, les redents et les brise-soleil de Le Corbusier, trouvent leur origine dans la résolution d'une question d'ensoleillement. Bien d'autres exemples pourraient être donnés dans lesquels l'ensoleillement s'avère être source, parfois alibi, de l'innovation architecturale.

Il est coutumier d'affirmer que les architectes ne savent pas ou plus composer avec le soleil. En réalité, les problèmes d'ensoleillement posés aux concepteurs sont aujourd'hui complexes. Il s'agit de concilier l'efficacité énergétique des bâtiments, le confort d'été, les qualités d'ambiances attendues, invoquant souvent transparence et clarté, protection et fraîcheur. La dualité entre soleil d'hiver et soleil d'été est au centre du problème et suppose d'être abordée avec des outils efficaces. Les techniques constructives, les matériaux, les outils numériques de modélisation et de représentation permettent toute sorte de formes complexes ; la période actuelle est en outre propice à de nouvelles expériences formelles, comme le montrent de nombreuses œuvres architecturales récentes. Plusieurs outils éprouvés de simulation physique des conditions d'ambiances hygrothermiques, lumineuses ou visuelles peuvent s'insérer dans les processus d'évaluation des projets. Des méthodes nouvelles existent également pour la conception de dispositifs solaires permettant de concilier efficacité et créativité architecturale (Siret 2002, Siret et Houpert 2004). Il ne tient qu'aux architectes de s'approprier ces outils pour redonner à la question solaire toute la dimension discursive, voire rhétorique, qu'elle a eu au cours du siècle passé.

Bibliographie

- Augustin-Rey A, J. Pidoux J. et Barde C. (1928) « La science des plans de villes, ses applications à la construction, à l'extension, à l'hygiène et à la beauté des villes, orientation solaire des habitations », Lausanne, Payot et Cie, Paris, Dunod
- Barraqué B. (1988), *Soleil-lumière, soleil-chaueur, deux conceptions du confort ?* in Goubert J-P, « Du luxe au confort », Paris, Belin
- Descat S, Monin E. et Siret D. (2006) *Introduction à une histoire du soleil dans la ville*, in Descat S, Monin E. et Siret D. (Ed.), « La ville durable au risque de l'histoire », Paris, J-M Place, 2006
- Harzallah A, Siret D, Monin E. et Bouyer J. (2005) *Controverses autour de l'axe héliothermique : l'apport de la simulation physique à l'analyse des théories urbaines*, in actes du colloque « Repenser les limites : », INHA, Paris (publication en cours)
- Le Corbusier (1930) « Précisions sur un état présent de l'architecture et de l'urbanisme », Paris, Ed. Crès.
- Le Corbusier (1935) « La Ville Radieuse », Paris, Vincent, Fréal et Cie
- Minaert J.B (2001), « Henri Sauvage ou l'exercice du renouvellement », Paris, Ed. Norma
- Siret D. (2005-2006) « Etude d'ensoleillement », « Tour d'ombres » et « Grille climatique », Articles en français, anglais et japonais de l'édition numérique des Oeuvres complètes de Le Corbusier, Fondation Le Corbusier - Echelle 1 (16 DVD)
- Siret D. and Houpert S. (2004), *A geometrical framework for solving sunlighting problems within CAD systems*, Energy and Buildings, Volume 36, Issue 5
- Siret D. (2004) *Généalogie du brise-soleil dans l'oeuvre de Le Corbusier : Carthage, Marseille, Chandigarh*, Cahiers thématiques, n° 4, Ecole d'architecture de Lille, Ed. J.M. Place
- Siret D. (2002) *Ensoleillement et CAO*, in Actes de la conférence IBPSA France 2002
- Sterken S. (2003) *Travailler chez Le Corbusier : le cas de Iannis Xenakis. Le conflit comme stratégie créative*, in J. Quetglas : « Anuario de estudios lecorbusierianos » (28), Barcelona, Fundación Caja de Arquitectos
- Taylor B.B. (1980) « Le Corbusier. La Cité de Refuge. Paris 1929-1933 », Paris, L'Equerre
- Traisnel J.P. (1997) « Le métal et le verre dans l'architecture en France. Du mur à la façade légère », Thèse de Doctorat, Université Paris 8, Institut Français d'Urbanisme
- Wogenscky A. (1943) *Réglage de l'ensoleillement*, in Techniques et Architecture, n° 7-8 « Le soleil »