



HAL
open science

Controverses autour de l'axe héliothermique

Amina Harzallah, Daniel Siret, Eric Monin, Julien Bouyer

► **To cite this version:**

Amina Harzallah, Daniel Siret, Eric Monin, Julien Bouyer. Controverses autour de l'axe héliothermique. Repenser les limites: l'architecture à travers l'espace, le temps et les disciplines, Aug 2005, Paris, INHA, France. halshs-00573755

HAL Id: halshs-00573755

<https://shs.hal.science/halshs-00573755v1>

Submitted on 21 Nov 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.

Controverses autour de l'axe héliothermique : l'apport de la simulation physique à l'analyse des théories urbaines

Amina Harzallah, Daniel Siret, Eric Monin, Julien Bouyer

Laboratoire CERMA - UMR CNRS 1563
Ecole d'Architecture de Nantes
Rue Massenet, BP 81931, F-44319 Nantes cedex 3
Tél. 02 40 59 43 24
e-mail : {amina.harzallah, daniel.siret}@cerma.archi.fr

1. Introduction

Les techniques contemporaines de modélisation et de simulation appliquées à l'architecture sont souvent mises en avant pour la restitution visuelle des environnements bâtis disparus, au moyen d'images de synthèse photo réalistes. Ces techniques informatiques offrent bien d'autres possibilités pour l'analyse historique. En particulier, les outils de simulation physique développés pour l'étude des projets contemporains d'architecture et d'aménagement urbain, peuvent s'appliquer très à propos pour une analyse rétrospective des théories et des propositions architecturales qui ont jalonné l'histoire.

Cet article voudrait donner une illustration de ces possibilités par une nouvelle étude critique, à caractère à la fois historique et technique, de la théorie de l'axe héliothermique, proposée à la fin des années 1920 dans « La science des plans de villes » d'A. Augustin-Rey *et al.* (1). Cette étude s'inscrit dans le cadre plus large d'une thèse en cours portant sur l'instrumentation des phénomènes solaires dans les théories architecturales et urbaines de la fin du XIXe siècle jusqu'au milieu du XXe. Rappelons que nous assistons en France, à cette période, à une importante prise en compte des questions de salubrité et de santé publique dans les prescriptions architecturales et urbaines. Ces préoccupations ont poussé au début du XXe siècle certains architectes à proposer des principes et des théories supposés rendre

1. A. Augustin-Rey, J. Pidoux, C. Barde, *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, 1928, 493 p.

la ville et l'habitat plus « hygiéniques ». Il s'agissait en particulier de favoriser l'ensoleillement et la ventilation des habitations et des espaces publics (2). Les théories et propositions de constructions à gradins (A. Sauvage), de cours ouvertes (A. Augustin-Rey et H. Provensal) ou encore d'immeubles à redents (E. Hénard, H. Provensal, Le Corbusier), s'inscrivent parfaitement dans cette visée.

Le système de « l'axe héliothermique » est un exemple extrême de ces recherches. Il s'agit, pour les auteurs de *La Science des plans de villes*, de réformer l'orientation urbaine de manière à optimiser l'insolation des bâtiments. De manière catégorique, Rey, Pidoux et Barde établissent qu'en vertu du décalage entre insolation maximale et température maximale, 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. Cette théorie, fondée sur des bases très contestables mais reprise et réifiée par Le Corbusier dans *La ville radieuse* en 1935, a suscité une importante controverse dans les milieux scientifiques des années 1940, opposant les partisans de l'exposition Est-Ouest à ceux défendant l'exposition Nord-Sud.

L'objectif de cet article est de montrer comment nous pouvons aujourd'hui dépasser ces contradictions en procédant à une évaluation de la théorie de l'axe héliothermique au moyen de simulations physiques. Dans un premier temps, nous rappellerons la genèse et les principes de la théorie héliothermique, et nous situerons les différentes positions prises par les acteurs de la controverse que cette théorie a suscitée. Nous procéderons ensuite à une traduction physique du problème posé par la théorie héliothermique et nous montrerons les résultats d'un ensemble de simulations thermo-radiatives qui permettent d'en discuter les fondements. Nous concluons sur la théorie elle-même, mais aussi sur les relations que peuvent entretenir aujourd'hui la simulation physique et l'histoire en matière de recherche et de projet urbain.

2. La théorie de l'axe héliothermique : principes et controverses

Adolphe Augustin-Rey étudie à l'Ecole des arts décoratifs, puis à l'Ecole des Beaux-Arts, où il devient architecte diplômé en 1888. Sa carrière prend un tour marquant lorsqu'il gagne, en 1905 le concours de la Fondation Rothschild ; il se spécialise dès lors dans les problèmes de l'hygiène de l'habitation et de l'urbanisme (3). Présent au deuxième congrès international d'hygiène de l'habitation à Genève en 1906, il y rencontre Justin Pidoux (astronome honoraire de l'observatoire de Genève) et Charles Barde (architecte) qui exposent leurs travaux sur l'insolation des bâtiments. Ils engagent ensemble une collaboration sur « l'héliothermie » qui les conduira jusqu'à la publication de *La Science des plans de villes* en 1928 (J. Pidoux décède avant cette publication). C. Moley décrit Rey comme un « *infatigable missionnaire présent dans de nombreux congrès internationaux, prolifique auteur de publications dûment répertoriées, [qui] remettra sans cesse sur le métier ses prescriptions et ses exemples de principe* » (4). Sa foi en l'hygiénisme est totale : « *jusqu'à la fin de sa vie, explique C. Moley, Rey voudra que, pour l'extension des agglomérations urbaines, les règlements de voirie prévoient l'orientation héliothermique des maisons d'habitation, afin de*

-
2. Pour une analyse de cette question sous l'angle de l'histoire de la médecine, voire notamment T.C. Medici, « La tuberculose et l'idéal de l'habitat moderne », *Médecine & Hygiène* 2448, Sept. 2003
 3. Cf. M-J Dumont, *Le logement social à Paris, 1850-1930 : les habitations à bon marché*, Ed. Mardaga, Liège, 1991
 4. C. Moley, *L'architecture du logement. Cultures et logiques d'une norme héritée*. Paris, Ed. economica, 1998. p. 82

réaliser le meilleur éclairage des façades, vœu que le congrès de Lyon en 1932 n'adopte pas cette fois. »

La théorie héliothermique 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. Ainsi, la température maximale journalière est atteinte quelques heures après le midi solaire ; de même, la température maximale annuelle n'est pas atteinte au solstice d'été mais dans les deux mois suivants. 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. Le terme « héliothermique » suggère cette combinaison des deux éléments principalement mis en jeu dans la sensation de chaleur. On notera que l'insolation est considérée en terme de durée d'exposition, sans tenir compte de l'énergie incidente (fonction de l'angle d'incidence entre les rayons solaires et les façades des bâtiments).

Munis de cette unité, Rey, Pidoux et Barde proposent de rechercher une sorte d'axe de symétrie thermique, distinct de l'axe de symétrie solaire. Ainsi naît l'axe héliothermique qui prétend rendre compte de « l'échauffement » des bâtiments en tenant compte à la fois de leur exposition au soleil et de la température de l'air (Figure 1). L'axe héliothermique est défini par la direction permettant de répartir les valeurs héliothermiques de manière égale entre les deux façades opposées d'un bâtiment :

« Cette direction partage l'insolation totale en deux parties inégales, et la valeur héliothermique totale en deux parties égales. Si nous supposons un bâtiment ou une suite de constructions alignées suivant cette direction, les façades tournées à l'est et celles tournées vers l'ouest jouiront de la même valeur héliothermique, savoir pour chacune la moitié de la valeur totale. Aux deux extrémités de l'alignement se trouvent : tournée au sud la façade la mieux ensoleillée, et à l'autre extrémité, tournée au nord, la façade avec l'exposition la plus défavorable. » (5)

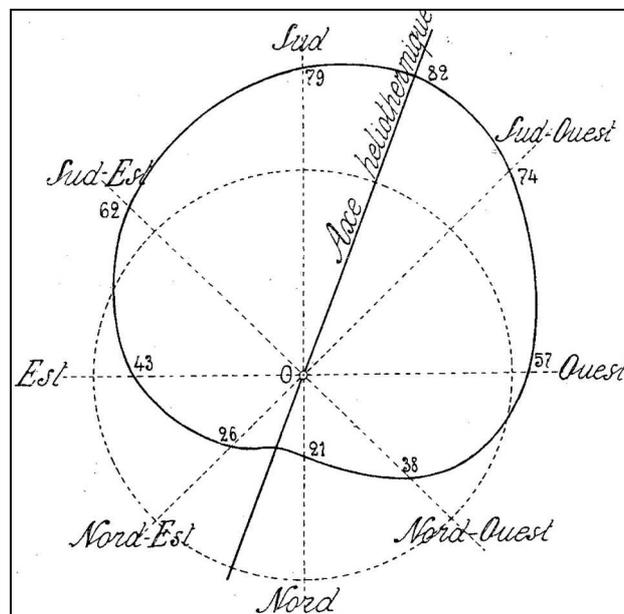


Figure 1. Valeurs héliothermiques des façades et axe héliothermique

Pour étayer et illustrer leur théorie, Rey, Pidoux et Barde étudient trois cas de figure : un immeuble orienté suivant l'axe Est-Ouest (une façade au Nord et une façade au Sud), un immeuble orienté suivant la direction diagonale Nord-Est-Sud-Ouest (façades orientées suivant les directions normales) et un immeuble orienté suivant l'axe héliothermique (Figure 2). Leurs analyses sont les suivantes :

- Dans le premier cas, la façade au Sud reçoit le maximum d'insolation, elle est dite « chaude » ; la façade au Nord n'est ensoleillée que pendant une partie de l'été, elle est dite « froide ». Selon les auteurs : « *Le contraste entre les deux côtés est très grand et cette disposition n'est à recommander que pour des cas spéciaux comme les sanatoriums, où l'on tient à obtenir un maximum d'effet solaire sur la façade sud, la façade nord et les façades latérales étant réservées à des services secondaires.* » Les façades exposées à l'Est et à l'Ouest du même immeuble ont des durées d'insolation équivalentes. Cependant, la façade Ouest recevant les rayons solaires pendant l'après-midi, au moment du maximum de la vague thermique, est jugée beaucoup plus « chaude » que la façade Est et parfois même plus que celle orientée au Sud.
- Dans le deuxième cas, l'axe longitudinal du bâtiment fait un angle de 45° avec la ligne Nord-Sud. La façade Sud-Est a une valeur héliothermique supérieure à la façade Nord-Ouest. La façade Nord-Est est très peu ensoleillée, tandis que la façade Sud-Ouest est jugée très chaude en été, plus que celle orientée Sud, car « *quoique recevant les rayons solaires un peu moins longtemps, elle y est exposée pendant les heures les plus chaudes* ».
- Le dernier cas est jugé le meilleur selon ses auteurs. En effet, les façades Sud-Est et Nord-Ouest reçoivent toutes deux pendant la totalité de l'année la même valeur héliothermique cumulée : la façade Sud-Est est exposée plus longtemps au soleil pendant une partie moins chaude de la journée, alors que la façade Nord-Ouest est exposée pendant une plus courte période au soleil mais alors que l'air est plus chaud : « *L'axe principal au lieu d'être dirigé au sud est dévié vers l'ouest sous l'influence de la température qui est plus élevée l'après-midi que le matin et qui contribue à favoriser les valeurs héliothermiques de la deuxième moitié de la journée* ». Notons que les auteurs admettent une certaine flexibilité dans l'application du système, quelques degrés d'écart à gauche ou à droite de l'axe héliothermique ne modifiant pas sensiblement la valeur héliothermique des façades.

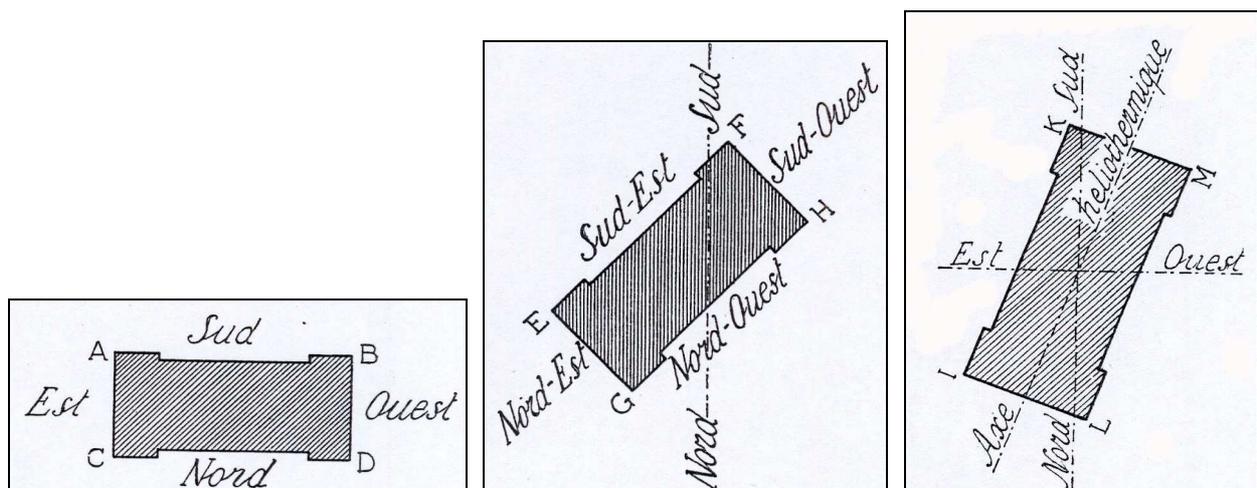


Figure 2. Différentes orientations d'un immeuble

Rey, Pidoux et Barde donnent des exemples d'application de réorganisation des villes suivant l'axe héliothermique (cf. Figure 3). 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 fermées et en agrandissant les surfaces de jardin (6).

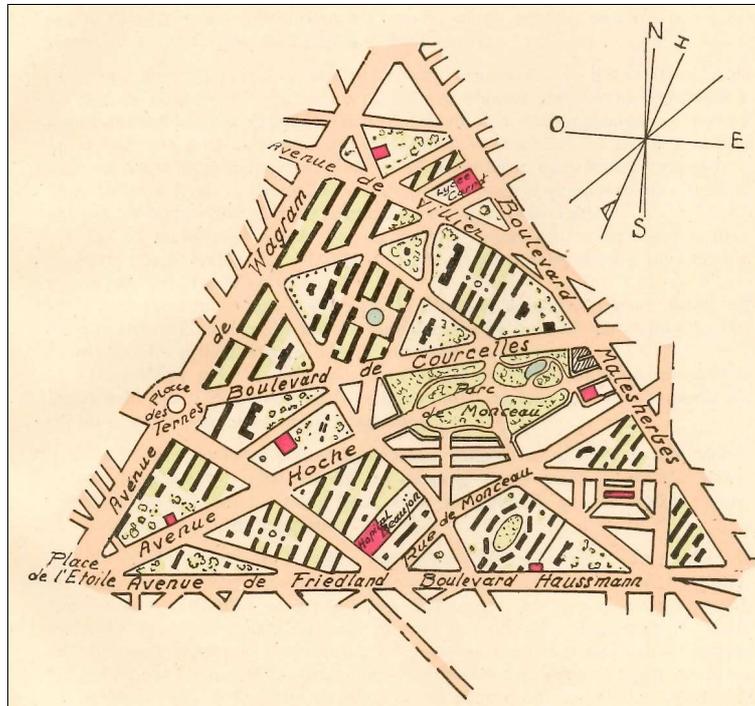


Figure 3. Réaménagement héliothermique d'un quartier de Paris

Ces propositions ont suscité d'intenses controverses parmi les théoriciens de l'urbanisme. Certains adhèrent (et cautionnent de fait) la théorie héliothermique dans ses principes, comme l'ingénieur Edmond Marcotte ou l'architecte André Gutton. Marcotte reprend ainsi, dans un ouvrage publié en 1930, certains principes énoncés par Rey et notamment celui de l'axe héliothermique, qu'il recommande principalement dans le cas où l'on recherche la lumière et la chaleur du soleil : « Si l'on veut dispenser également, aux deux expositions de la voie nord-sud, non seulement la lumière mais encore la chaleur du soleil, on modifiera légèrement cette orientation nord-sud de 20° vers l'est dans la région parisienne. » (7) Gutton (8) considère l'axe héliothermique comme la meilleure exposition pour les façades

6. Les auteurs de *La Science des plans de villes* reconnaissent cependant qu'il est souvent difficile de tracer toutes les rues suivant la direction de l'axe héliothermique et que d'autres facteurs entrent également en compte : « Les voies principales et fondamentales, formant l'ossature de la cité, doivent pouvoir être tracées suivant des directions déterminées par des exigences impérieuses, telles que la circulation, par des circonstances économiques, commerciales et topographiques capitales, ou pour relier directement des groupes de bâtiments d'intérêt général ... La direction des vents dominants et violents peut parfois entrer en jeu dans la détermination de la direction des rues ... Cette question des vents dominants a été discutée depuis des temps fort anciens, alors qu'on ne se préoccupait que fort peu de celle concernant l'insolation, pourtant capitale. » (Op. cit. p. 45-46)
7. Edmond Marcotte, ingénieur, technicien sanitaire diplômé par l'état, chef de la section des essais à l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. Extrait de *L'art de bâtir une maison agréable et saine*, Paris et Liège, Librairie polytechnique Ch. Béranger, 1930, p. 217
8. André Gutton, architecte diplômé par le gouvernement en 1927 et urbaniste, fut successivement architecte en chef des Bâtiments civils et palais nationaux en 1936, architecte (1936) puis architecte en chef de l'Institut de France (1943-1969), architecte en chef de l'Opéra de Paris (1950-1954) et architecte des P.T.T.

des bâtiments. Il décrit sommairement la théorie de Rey, supposée permettre un ensoleillement annuel maximal des façades : « *Sans vouloir nous étendre sur ce sujet que le lecteur pourra retrouver dans l'étude de 'La science des plans de villes' d'Augustin Rey, nous précisons simplement qu'il s'agit pour l'urbaniste d'étudier pour chaque localité, avant tout tracé, la position exacte du soleil dans le ciel à toutes les époques de l'année, afin de trouver un axe moyen pour les constructions à édifier en bordure des voies tel que les façades reçoivent un ensoleillement annuel maximum. Cet axe est en réalité pour notre pays très près de l'axe nord-sud (nord-est sud-ouest, il forme avec lui un angle de 19 degrés). Il ressort des études faites qu'il varie très peu avec la latitude et le climat du lieu que l'on considère.* » (9)

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* » (10). 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, lors du CIAM de Bruxelles, soit à peine deux années après la publication de *La Science des plans de villes*. 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 lui-même orienté suivant l'axe héliothermique et ce n'est qu'à partir de 1947, sur recommandation de J. Dourgnon, que l'Unité s'oriente exactement suivant l'axe Nord-Sud.

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 à partir de l'invention de la pénicilline à la fin des années 1920, sa production industrielle et son application à grande échelle au début des années 1940. D'autre part, Le Corbusier s'est trouvé alors confronté à la question de l'excès de chaleur derrière les façades de type pans de verre, notamment à l'Est et à l'Ouest, et concentre ses recherches sur le dispositif du brise-soleil (11). Enfin et peut-être surtout, 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 :

« Parmi les récents théoriciens qui ont eu une influence désastreuse, citons M. Augustin Rey, qui pensait 'avoir l'honneur de ramener à des principes immuables l'art de construire les villes'. Il fut l'inventeur de 'l'axe héliothermique' dont Le Corbusier déclara imprudemment 'qu'il était l'armature du tracé urbain'. L'ouvrage de MM. Augustin Rey, Pidoux et Barde que l'on a osé intituler 'La science des plans de villes' est le type de ce que peut produire l'inconscience, le manque d'esprit scientifique, conjugués avec le mandarinat. » (12)

G. Bardet fait état de l'influence (qu'il juge désastreuse) qu'aurait exercée Rey sur ses contemporains en France et à l'étranger : « *où l'on a vu (...) surgir de nombreuses cités aux maisons soigneusement rangées pour subir les plus fortes variations de température, celles*

Il fut également professeur à l'École nationale supérieure des Beaux-Arts (1949-1958) et à l'Institut d'urbanisme de l'université de Paris (1944).

9. André Gutton, *La charte de l'urbanisme*, Paris, Dunod, 1941, p.70

10. Le Corbusier, *La ville radieuse*, Paris, 1935, p. 159

11. Cf. D. Siret, « Généalogie du brise-soleil dans l'oeuvre de Le Corbusier : Carthage, Marseille, Chandigarh », *Cahiers thématiques*, n° 4, Octobre 2004, pp. 169-181

12. G. Bardet, « Le facteur soleil en urbanisme », *Techniques et architecture*, Juillet-Août 1943, p. 205

précisément des façades Est et Ouest ». (13) Il explique l'intérêt suscité par cette théorie par les préjugés en faveur de l'orientation Nord-Sud, et l'héritage d'E. Trélat : « *Comment a-t-on pu le [l'ouvrage d'A. Rey] prendre au sérieux ? Sans doute parce que son axe restait sensiblement nord-sud, répondant à l'exposition 'royale' de Trélat et aux préjugés régnant en faveur des expositions est et ouest.* »

G. Bardet met en opposition l'approche héliothermique et les recherches de Félix Marboutin, qui prennent en compte non pas seulement la durée d'insolation, mais l'énergie transmise. Il entérine ainsi le clivage entre hygiénistes et « climatistes », les premiers privilégiant la lumière et défendant l'orientation Est-Ouest (Rey, Le Corbusier), les seconds partisans des expositions au Sud, prêts à accepter l'ouverture de certaines pièces au Nord (14). Bardet avance des arguments convaincants. Ainsi, l'ingénieur et architecte R. Leroux (professeur de climatologie appliquée à l'Institut international d'urbanisme de Bruxelles) explique prudemment en 1946 que « *le facteur héliothermique (...) est une des bases de l'urbanisme et sur lequel souvent on se guide pour une climatologie de l'habitation* » mais qu' « *il n'apporte pas des arguments aussi décisifs pour la théorie de la construction que ceux apportés par la thermohygrométrie* ». (15) De même, l'architecte A. Hermant admet l'intérêt de l'axe héliothermique mais en relativise la portée : « *L'axe héliothermique (...) peut être considéré comme la trace du véritable plan de symétrie thermique de l'espace — ce qui ne signifie point que l'on doit nécessairement, et d'une manière générale, orienter les façades parallèlement à cet axe, comme le préconisait M. Augustin Rey.* » (16)

3. La théorie de l'axe héliothermique soumise à la simulation physique

Les controverses autour de l'axe héliothermique, inscrites dans le contexte de la fin de l'hygiénisme et de l'émergence de la modernité architecturale, doctrines marquées toutes deux par une forte orientation technique et scientifique, ont aujourd'hui perdu beaucoup de leur force. Hormis quelques ouvrages spécialisés sur la question du logement au début du XXe siècle à Paris (17) ou sur l'histoire des techniques en architecture (18), le nom d'A. A-Rey apparaît peu dans les ouvrages généralistes d'histoire d'architecture et d'urbanisme. Lorsqu'ils le citent, les historiens le présentent généralement comme un militant de l'ensoleillement dans l'habitation, sans s'attarder sur les aspects contestables de son œuvre.

Ainsi, L. Mumford, souligne simplement que Rey fit « ressortir l'intérêt » des questions d'orientation des immeubles (19). M. Ragon, dans le deuxième tome de l'Histoire mondiale

-
13. Ibid. G. Bardet cite notamment les travaux de M. Bigaut de Casanove, P. Jamin et G. Vinaccia, s'appuyant sur l'axe héliothermique.
 14. Voir à ce sujet B. Barraqué, « Soleil-lumière, soleil-chaleur, deux conceptions du confort ? » in : *Du luxe au confort*, Paris, Belin, 1988, p. 102
 15. R. Leroux, *La climatologie de l'habitation*, Institut technique du bâtiment et des travaux publics, Circulaire série B n°7, Paris, 1946, p. 11
 16. A. Hermant. « Ensoleillement direct et orientation », *Techniques et architecture*, Juillet-Août 1943, p. 195
 17. Cf. notamment M-J Dumont. *Le logement social à Paris, 1850-1930 : les habitations à bon marché*, op. cit ; C. Moley, *L'architecture du logement. Cultures et logiques d'une norme héritée*, op. cit ; C. Mazzoni, *De la ville-parc à l'immeuble à cour ouverte, Paris (1919-1939)*, thèse de doctorat, Université Paris 8, 2000 ; P. Mory, « Architecture et hygiénisme à Paris au début du XXe siècle. L'architecte entre savoir médical et pouvoir politique », in P. Bourdelais (dir.) : *Les hygiénistes. Enjeux, modèles et pratiques*, Paris, Éditions Belin, 2001
 18. Cf. par exemple J-P. Traisnel, *Le métal et le verre dans l'architecture en France. Du mur à la façade légère*, Thèse de doctorat, Université Paris 8, 1997
 19. L. Mumford, *La cité à travers l'histoire*, Paris, Le Seuil, 1964 (première éd. 1961), p. 532 : « *L'orientation des immeubles, permettant d'obtenir un ensoleillement optimal pendant la saison d'hiver, avantage que n'ignoraient ni les anciens grecs, ni les chinois était récemment encore complètement négligé ; ce furent les*

de l'architecture et de l'urbanisme modernes, cite Rey comme le précurseur d'un urbanisme dicté par les lois de l'ensoleillement (20). F. Choay, ne le mentionne que pour signaler sa communication au congrès d'hygiène de l'Institut Pasteur en 1921 (21). Lorsqu'il est cité ailleurs, l'auteur de la théorie héliothermique est souvent désigné comme l'architecte lauréat du concours de la Fondation Rothschild en 1905 (22).

L'une des difficultés rencontrées pour analyser les controverses au sujet de l'axe héliothermique, consiste à traduire les propositions de Rey dans un langage physique, afin d'en situer la portée et les limites au regard des connaissances et outils contemporains. Comment en effet prendre parti dans le débat technique opposant Rey et Bardet sans apporter des éléments de connaissance nouveaux susceptibles de trancher entre les opinions ? Ce travail d'analyse critique d'une théorie scientifique contestée est aujourd'hui possible au moyen des outils de simulation numérique développés dans les champs de la physique du bâtiment et de l'informatique appliquée. C'est l'objectif de cet article que de proposer une telle rencontre et d'en montrer l'intérêt.

En essayant de combiner chaleur sensible (température de l'air) et durée d'ensoleillement, les auteurs de l'axe héliothermique espèrent définir une sorte de « charge thermique » sur les façades leur permettant de proposer une orientation pour laquelle cette charge thermique s'égalise de part et d'autre d'un immeuble en long. La grandeur physique la plus adaptée pour discuter cette notion de « charge thermique », semble être celle de température de surface des façades de l'immeuble considéré. Cette température de surface est fonction de la nature de la paroi (matériaux, épaisseur), des échanges convectifs avec l'air extérieur, ainsi que de l'énergie solaire atteignant la façade (énergie directe, énergie diffusée par le ciel et réémise par les éléments proches). Ces différents paramètres doivent être considérés de manière dynamique (variation des températures extérieures selon les dates et heures de la journée, dynamique des flux solaires). La température de surface a une incidence sur la température intérieure du bâtiment considéré, mais également sur le microclimat autour du bâtiment et le confort ressenti dans les espaces ouverts attenants.

La question posée par la théorie de l'axe héliothermique pourrait alors se formuler de la manière suivante : existe-t-il des conditions d'orientation pour lesquelles les températures de surface moyennes annuelles s'égalisent des deux côtés d'un bâtiment ? Pour se rapprocher des hypothèses de Rey, il nous faut alors considérer un bâtiment aveugle (l'énergie transmise par les vitrages et l'effet de serre intérieur n'est pas considéré par Rey), sans masques proches (les effets d'ombre portée ne sont pas pris en compte dans la théorie héliothermique) et constitué des deux côtés d'un simple mur de pierre parfaitement homogène ...

On voit donc que le problème posé est non seulement de faible intérêt physique (l'égalité des températures de surfaces ne présume pas une égalité de températures intérieures) mais qu'il repose de plus sur des conditions très théoriques et sans applicabilité, comme celle des

travaux de plusieurs spécialistes et notamment de l'urbaniste français Augustin Rey qui, au début du XXe siècle, en firent ressortir l'intérêt. »

20. M. Ragon, *Histoire mondiale de l'architecture et de l'urbanisme modernes*, Tome 2, « Pratiques et méthodes 1911-1976 », Paris, Casterman, 1977, 1^{ère} édition 1972 : « *Déjà en 1908, au Congrès international de la tuberculose à Washington, Augustin Rey avait souligné que l'orientation au soleil devrait guider les urbanistes et qu'il était de leur devoir de concevoir des appartements de telle manière que tous puissent recevoir un ensoleillement direct. Il faudra attendre presque vingt ans pour que Gropius et Le Corbusier puissent faire de cet impératif un apostolat.* »
21. F. Choay, *L'urbanisme, utopies et réalités, une anthologie*, Paris, le Seuil, 1965. Note 1 de la page 35 : « *Ces auteurs exaltent 'la lumière solaire, suprême facteur de la vie' et proposent une 'solution rigoureuse du problème de l'éclairage solaire des habitations' qu'ils reprendront plus tard dans La science des plans de villes, 1928.* »
22. Cf. R-H. Guerrand, *Hygiène*, Paris, Editions de la Villette, 2001. pp. 71-72. C. Loupiac et C. Mengin (sous la direction de Gérard Monnier), *L'architecture moderne en France*, tome 1, 1889-1940, Paris, Picard, 1997. p. 126

murs aveugles. Ces conditions nous sont imposées par les hypothèses mêmes de la théorie de l'axe héliothermique, hypothèses très réductrices pour une théorie prétendant réformer l'organisation des villes.

Dans les conditions fictives ainsi imposées, nous avons calculé la variation des températures de surface des façades opposées d'un « immeuble », composé de deux murs aveugles en pierres blanches de 40 cm d'épaisseur (23). Les températures sont calculées sous un ciel clair en décembre, mars, juin et septembre (24). L'immeuble est orienté par pas de 10° entre -45° et +45° par rapport à l'axe Nord-Sud (direction 0°), de manière à évaluer les effets de l'orientation sur la température. Chaque situation est évaluée sur un cycle de 3 jours afin de prendre en compte les effets d'inertie. Nous avons repris la table des températures de l'air horaires annuelles publiées dans *La Science des plans de villes*, établie d'après les relevés météorologiques disponibles à l'époque. Le logiciel mis en œuvre a été développé dans notre laboratoire et est utilisé régulièrement pour des études solaires, lumineuses, énergétiques et microclimatiques urbaines (25).

Les résultats pour la direction Nord-Sud (situation de référence) sont donnés dans la Figure 4 ci-après. On voit que la façade Est (face 1 sur le graphique) atteint sa température maximale vers 9 heures solaires en été (27°C environ) et vers 11 heures solaires en hiver (9°C environ). L'effet de l'ensoleillement sur la température varie suivant la saison. En été, il provoque une hausse de plus de 10°C en moins de 4 heures (de 5 heures à 9 heures) ; en hiver, l'échauffement est moindre (un peu moins de 4°C en 3 heures, de 8 heures à 11 heures). Dans les deux cas, la chaleur accumulée se dissipe lentement sur l'ensemble de la journée.

La façade orientée Ouest (face 2 sur le graphique) s'échauffe tout au long de la journée pour atteindre son maximum en fin d'après-midi solaire. En été, la température maximale est atteinte à 17 heures solaires (près de 29°C). En hiver, la façade Ouest atteint son maximum (9,5°C) entre 14 et 15 heures solaires. L'effet de la température de l'air, mis en avant par les tenants de la théorie héliothermique, est sensible en été. A durée d'insolation égale, la température maximale de la façade Ouest est en effet supérieure de près de 2°C à celle de la façade Est. La courbe montre bien l'échauffement de la façade le matin, suivant l'élévation progressive de la température de l'air. Cet effet est également sensible en mars, avec une différence de 2°C entre les deux façades. En septembre cependant, la différence n'est que de 1°C, tandis qu'en décembre, les deux façades atteignent des températures à peu près égales, symétriques par rapport au midi solaire. On voit donc que l'incidence de la « vague thermique » sur l'échauffement de la façade est variable suivant les saisons, et nul en hiver.

-
23. Rey, Pidoux et Barde ne précisent pas les modes constructifs des bâtiments étudiés pour l'établissement de l'axe héliothermique. Dans un autre chapitre de *La Science des plans de villes*, ils recommandent de construire les habitations avec des parois de 50 cm « comportant une partie solide extérieure, doublée à l'intérieur d'une cloison séparée par une mince couche d'air. (...) Cette disposition diminue en effet considérablement la déperdition de chaleur qui se fait à travers les murs en hiver et la pénétration de la chaleur en été ». Dans un autre texte, Rey recommande « pour les habitations modestes » l'emploi d'enduits « à base de sable, de chaux et de ciment (...). Sur ces enduits, une fois par année, le badigeon à la chaux doit être appliqué. C'est une dépense peu élevée, mais dont nous venons d'expliquer les effets sur l'hygiène de la lumière. » (A. Rey, *Hygiène de l'habitation*, Collection Traité d'hygiène, publié en fascicules sous la direction de Brouardel et Mosny, Chantemesse et Mosny. Paris, Librairie J.-B. Baillière et fils, 1946). Notre choix d'une pierre blanche se rapproche des propositions d'enduit à la chaux de Rey, en terme d'albédo et de réflectivité.
 24. Si les équinoxes sont équivalents du point de vue solaire, ils doivent être différenciés du fait de la température moyenne différente en mars et en septembre.
 25. Logiciel Solène. Voir entre autres D. Groleau, « Simulation thermo-radiative d'un îlot urbain avec le logiciel Solène », Rapport interne, Laboratoire CERMA, Ecole d'Architecture de Nantes, 2004, 27 p.

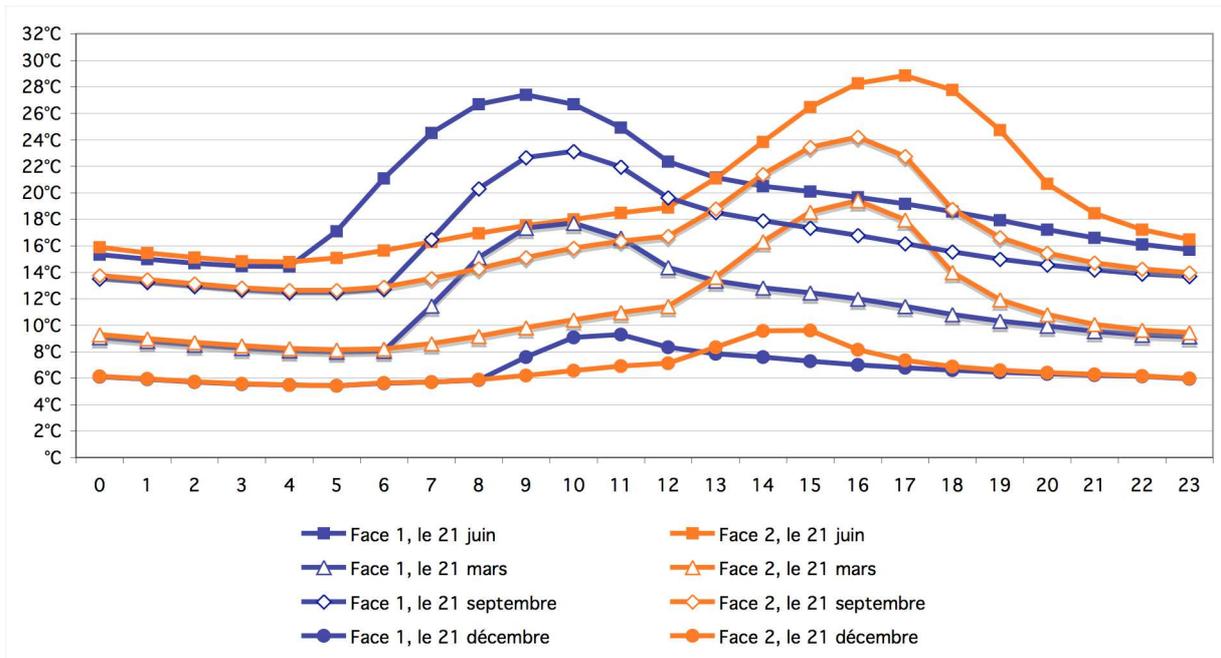


Figure 4. Températures de surface simulées heure par heure pour 4 dates représentatives – Direction Nord-Sud

La Figure 5 page suivante montre les résultats des simulations pour la direction 20°, c'est-à-dire l'orientation correspondant à l'axe héliothermique pour la latitude de Paris (19° selon Rey). La façade orientée légèrement Sud-Est (face 1 sur le graphique) atteint des températures maximales supérieures de 2°C par rapport au cas de référence Nord-Sud en décembre (maximum de 11,5°C), en mars (19,7°C) et en septembre (25,2°C). En juin, les valeurs maximales sont égales entre les deux orientations.

La façade orientée légèrement Nord-Ouest connaît une situation inverse, avec des températures maximales toutes inférieures au cas Nord-Sud. La différence est de 1°C en été (maximum de 27,9°C à 17 heures solaires) et de 1,5°C en hiver (maximum de 8°C à 15 heures solaires) mais elle dépasse 2°C en mars (maximum de 16,8°C au lieu de 19,4°C) et en septembre (21,7°C au lieu de 24,2°C). Les courbes montrent également que la température de la façade Nord-Ouest est généralement inférieure à celle de la façade Sud-Ouest. La différence atteint 3°C en mars, et près de 4°C en septembre et en décembre.

On voit donc que par rapport au cas Nord-Sud, l'orientation héliothermique augmente la température de la façade Sud-Est d'environ 2°C toute l'année sauf en été, et diminue la température de la façade Nord-Ouest, de 1°C à 2°C selon la saison. Dans ce mouvement de balancier, la différence entre les deux façades de l'immeuble orienté suivant l'axe héliothermique s'avère importante, sauf en été. Elle atteint 3°C en mars, et près de 4°C en septembre et en décembre. On en conclut que l'axe héliothermique ne réalise la « symétrie thermique » de l'immeuble qu'en été, accentuant aux autres dates le déséquilibre des températures entre les deux façades par rapport au cas de référence.

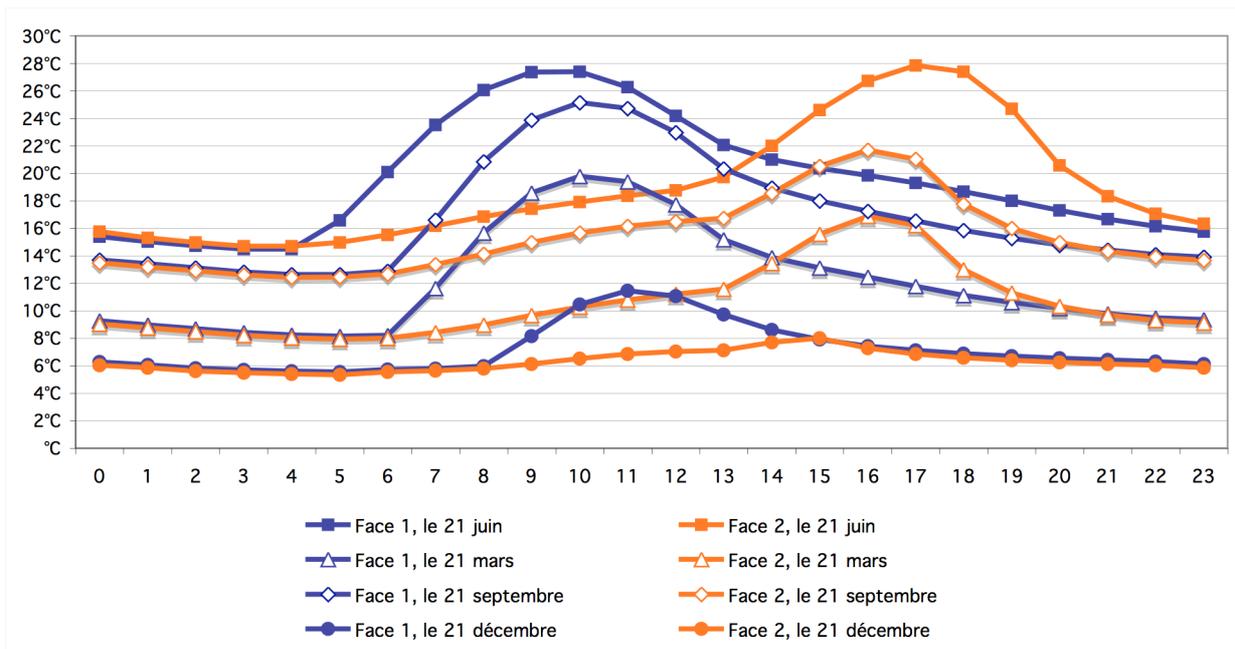


Figure 5. Températures de surface simulées heure par heure pour 4 dates représentatives – Direction 20° (axe héliothermique)

Pour affiner ces résultats et nous rapprocher des conditions moyennes considérées dans la théorie héliothermique, nous avons calculé une température horaire moyenne annuelle de chaque façade en fonction de l'orientation, correspondant simplement à la moyenne, à chaque heure, des températures en mars, juin, septembre et décembre. Elle donne une indication des variations thermiques de la paroi en fonction de l'orientation.

La Figure 6 montre les résultats obtenus. Ce sont naturellement les orientations les plus proches du Sud (-45° et 45°) qui conduisent aux plus fortes températures. Cependant, les températures maximales ne sont pas obtenues aux mêmes heures. Pour la façade exposée le matin, c'est en milieu de matinée (entre 9 heures et 11 heures solaires selon l'orientation) que la paroi est la plus chaude en moyenne annuelle. Pour la façade exposée l'après-midi, la température de surface maximale est obtenue en milieu d'après-midi, entre 15 heures et 17 heures solaires.

La Figure 6 montre également, comme on pouvait s'y attendre, la forte dissymétrie des températures moyennes annuelles des façades dès que l'orientation s'écarte de l'axe Nord-Sud. Ainsi, pour l'immeuble orienté à 45°, la façade exposée Sud-Est atteint une température moyenne annuelle de 22°C à 11 heures solaires, tandis que la façade opposée ne dépasse pas les 16°C à 17 heures solaires, soit un écart de 6°C entre les maxima. On voit donc que l'effet de l'insolation (énergie solaire directe) dépasse largement celui de la température de l'air. L'exposition héliothermique suit cette règle : dans l'immeuble orienté à 20°, la façade exposée Sud-Est voit sa température moyenne annuelle varier de 17°C à 19°C le matin entre 8 heures et midi solaires, avec un maximum de 21°C à 10 heures. Au contraire, la température moyenne annuelle de la façade exposée Nord-Ouest varie de 13°C à 16°C entre midi et 18 heures solaires, avec un maximum de 18°C à 16 heures. L'équilibre « héliothermique » recherché n'est donc pas réalisé, comme le montre bien la comparaison entre les orientations 0° et 20° dans la Figure 7 ci-dessous.

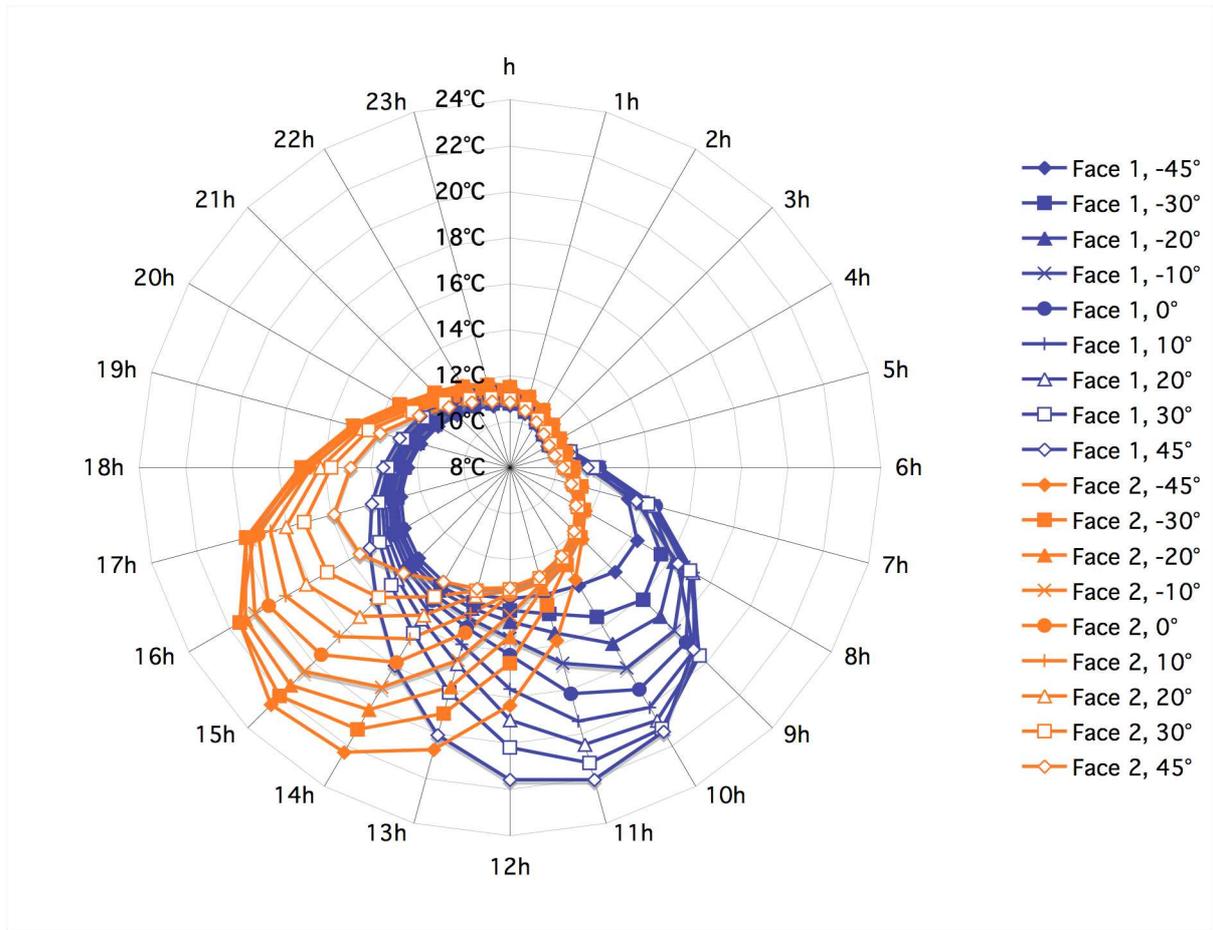


Figure 6. Températures moyennes annuelles selon l'orientation

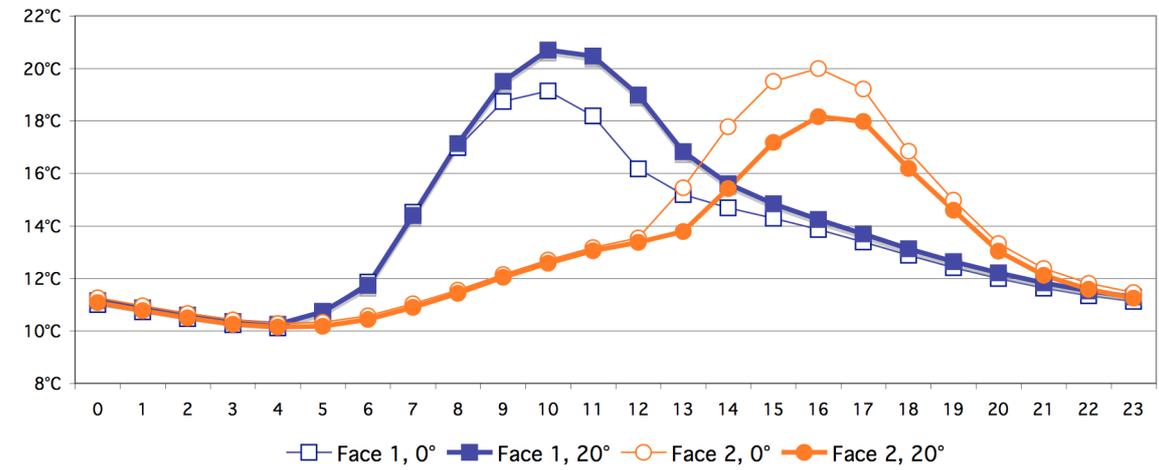


Figure 7. Températures moyennes annuelles selon l'orientation : comparaison entre les orientations 0° et 20°

La part prépondérante des effets de l'ensoleillement par rapport à ceux résultant de la température de l'air, apparaît encore plus clairement lorsque nous calculons les moyennes annuelles (moyenne sur l'année des moyennes sur la journée), orientation par orientation. Les résultats obtenus (Figure 8) sont sans appel. Les températures moyennes de surface s'équilibrent pour l'orientation exacte Nord-Sud. Autrement dit, dans les conditions de simulation choisies et suivant les hypothèses simplifiées mises en oeuvre, l'effet de la

température de l'air est négligeable, en moyenne annuelle, sur l'effet de l'énergie solaire incidente. Les variations journalières et saisonnières analysées précédemment s'annulent de telle sorte que les températures de surface moyennes annuelles suivent une simple régression linéaire, parfaitement symétrique entre les deux façades.

L'équilibre thermique annuel entre les façades, recherché par les partisans de l'axe héliothermique, n'est donc réalisé que pour les façades exposées parfaitement à l'Est et à l'Ouest, c'est-à-dire pour un immeuble orienté exactement Nord-Sud. Toutes les autres orientations entraînent une dissymétrie thermique qui s'accroît au fur et à mesure que l'on s'écarte de l'axe Nord-Sud (26).

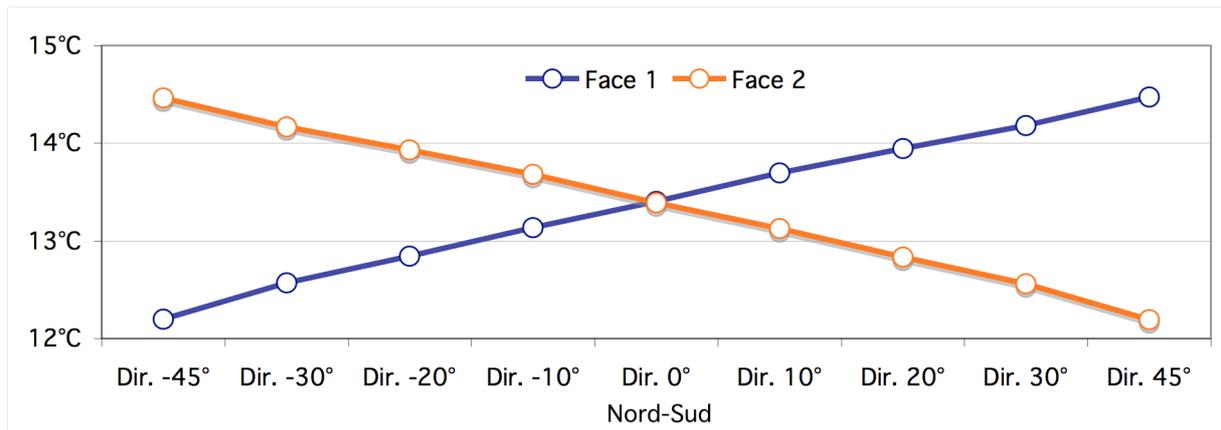


Figure 8. Températures de surface moyennes annuelles selon l'orientation

4. Conclusion

Dans le contexte social issu des désastres de la tuberculose au début du XXe siècle, différentes théories urbaines sont apparues, prétendant réorganiser la ville pour mieux ventiler les rues et exposer les bâtiments au soleil. Ces théories hygiénistes légitimaient leur radicalisme par l'urgence et l'ampleur des fléaux dont les populations urbaines souffraient.

La tuberculose fut résorbée par l'utilisation de la pénicilline dans les années 1940 et la plupart des théories hygiénistes sont aujourd'hui oubliées. L'une de ces théories cependant, l'axe héliothermique, formée au cours des années 1910 et publiée en 1928, est restée dans la mémoire urbaine par la publicité qu'en a faite Le Corbusier dans la Ville radieuse en 1935. Cette théorie proposait de réorganiser les villes selon un axe de symétrie thermique prenant en compte températures d'air et durées d'insolation. Les hypothèses sur lesquelles est fondée cette théorie ont suscité une importante controverse dans les années 1940, opposant les hygiénistes adeptes de l'exposition Est-Ouest, aux « climatistes » partisans de l'exposition Sud.

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, thermiques et énergétiques qui se posent en matière d'architecture et d'urbanisme. La transcription de la théorie héliothermique en termes physiques nous a conduit à simuler les températures de surfaces des façades d'un immeuble fictif (simple paroi de pierres, sans

26. Ces résultats ne sont évidemment interprétables et applicables que dans les conditions de simulation décrites précédemment et correspondant à la présente étude.

ouvertures) orienté par pas de 10° autour de l'axe Nord-Sud. Les hypothèses restrictives choisies sont conformes aux hypothèses simplificatrices de *La Science des plans de villes*.

Dans ces conditions, nous avons montré que les intuitions des auteurs de *La Science des plans de villes* 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 Rey, Pidoux et Barde, 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 (augmentation sensible de 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 (3°C en mars, près de 4°C en septembre et en décembre). 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.

Enfin, l'analyse des « températures annuelles moyennes » des façades révèle que l'égalité thermique moyenne, recherchée par les partisans de l'axe héliothermique, n'est réalisée que pour un immeuble orienté exactement Nord-Sud. Toutes les autres orientations entraînent une dissymétrie thermique moyenne qui s'accroît au fur et à mesure que l'on s'écarte de l'axe Nord-Sud. L'axe héliothermique en lui-même ne présente donc rien de spécifique.

Au-delà de ces résultats qui sont aujourd'hui anecdotiques pour l'urbaniste, cette recherche montre que les rapports entre histoire urbaine et simulation physique peuvent être féconds. Comme nous l'avons montré, la simulation physique permet d'éclairer certains points de l'histoire urbaine que les historiens laissent souvent obscurs, faute de moyens d'investigation adaptés ; d'autres analyses que celle concernant l'axe héliothermique mériteraient d'être menées. Réciproquement, on peut aussi mettre en avant les apports potentiels de l'histoire des techniques urbaines à l'ingénierie urbaine techniciste qui se développe aujourd'hui. Les questions relatives à l'orientation des immeubles et, plus généralement, aux qualités environnementales des formes urbaines, sont aujourd'hui renouvelées par les problématiques du développement urbain durable (27). On cherche ainsi à concilier densité urbaine et qualité environnementale, à favoriser l'usage d'énergies renouvelables, dont l'énergie solaire, pour l'éclairage et le chauffage, à optimiser la régulation thermique des bâtiments en hiver et en été tout en favorisant la ventilation naturelle. Dans ce contexte, les approches scientifiques des formes urbaines reviennent à la faveur des aménageurs, par le biais notamment des nombreux outils logiciels de simulation des paramètres physiques des environnements construits. Mettre en perspective ces questions de durabilité au regard de l'histoire urbaine peut s'avérer riche d'enseignement (28). Les connaissances en matière d'histoire urbaine permettent en effet de discuter les propositions contemporaines qui s'aventurent parfois dans des voies simplificatrices, légitimées par le sentiment d'urgence introduit par la notion de développement durable.

27. Il existe une abondante bibliographie (notamment sur Internet) concernant cette question. Voir entre autres : <http://www.urbanisme.equipement.gouv.fr/cdu/accueil/bibliographies/developpementdurable/sommaire.htm>

28. Cf. E. Monin, S. Descat, D. Siret, « Le développement durable et l'histoire urbaine », *Annales de la recherche urbaine*, n° 92, 2002, pp. 7-15