



HAL
open science

Pierre Jeanneret face au climat indien : les dispositifs climatiques dans les bâtiments publics de Pierre Jeanneret à Chandigarh

Marie Gilliard

► To cite this version:

Marie Gilliard. Pierre Jeanneret face au climat indien : les dispositifs climatiques dans les bâtiments publics de Pierre Jeanneret à Chandigarh. Architecture, aménagement de l'espace. 2017. dumas-02280198

HAL Id: dumas-02280198

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02280198>

Submitted on 6 Sep 2019

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

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

Copyright

PIERRE JEANNERET FACE AU CLIMAT INDIEN

Les dispositifs climatiques dans les bâtiments publics de Pierre Jeanneret à Chandigarh.

Marie GILLIARD



ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

Photographie de la page de couverture: «Jeanneret at Taj Mahal - Agra», issue du fond d'archives du CCA de Montréal, © MALHOTRA (J.), 1957.

Photographies : Camille Gravouil et Marie Gilliard, sauf mention contraire.

Relevés et dessins initiaux: Camille Gravouil et Marie Gilliard.

Documents et dessins d'analyse: Marie Gilliard, sauf mention contraire.

ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE

SÉMINAIRE
«ARCHITECTURE - PATRIMOINE, THÉORIES ET DISPOSITIFS»

HERITAGE, THEORIES AND DEVICES

Marie GILLIARD

PIERRE JEANNERET FACE AU CLIMAT INDIEN

Les dispositifs climatiques dans les bâtiments publics de Pierre Jeanneret à Chandigarh.

Soutenue le 15 Juin 2017

Mémoire de master dirigé par :

Françoise Blanc, docteur, maitre-assistante HCA,

Audrey Courbebaisse, docteur, maitre assistante associée TPCAUI,

Rémi Papillault, docteur-hdr, professeur VT.

ABSTRACT

PIERRE JEANNERET FACE AU CLIMAT INDIEN

Les dispositifs climatiques dans les bâtiments publics de Pierre Jeanneret à Chandigarh.

En Août 1947, l'indépendance de l'Inde est proclamée et un vaste programme urbain pour la modernisation et l'aménagement du territoire est engagé par le premier ministre Nehru, incluant la création d'une cinquantaine de villes nouvelles, dont Chandigarh. Un premier plan est établi par Albert Mayer et Matthew Nowicki en 1949, mais le déroulement des événements amène alors le projet à l'atelier 35 rue de Sèvres, toujours en pleine effusion face à la quantité de travaux en cours. En 1950, Le Corbusier accepte le contrat, malgré ses premières réticences, et y voit sa dernière chance d'appliquer ses théories d'urbanisme et donc de concrétiser son œuvre. Accompagné de son cousin Pierre Jeanneret, ainsi que d'un couple d'architectes anglais, Maxwell Fry et Jane Drew, il remanie le plan d'aménagement de la ville et, ensemble, ils produisent tous les bâtiments nécessaires au futur développement de Chandigarh.

Ce mémoire se concentre essentiellement sur Pierre Jeanneret, homme modeste et encore aujourd'hui dans l'ombre de son charismatique cousin Le Corbusier, ainsi que sur sa réflexion climatique dans ses bâtiments publics à Chandigarh. Au travers des recherches de ce mémoire, il s'agit de répondre à plusieurs interrogations: quels sont les dispositifs climatiques mis en place par l'architecte dans son œuvre publique ? En quoi répondent-ils à un confort et une qualité climatique pour les usagers? Cinquante ans après, la mise en place de ces outils est-elle toujours efficace ? Dans ces recherches, il est donc question de relever, décrire et analyser les solutions climatiques apportées par Pierre Jeanneret dans son architecture publique, et d'essayer de définir les principes de conception de l'architecte, ainsi que son apport en matière d'architecture bioclimatique.

Pour répondre à ces questions, je m'appuierai sur des ouvrages concernant les climats tropicaux et leurs caractéristiques, l'architecture vernaculaire indienne, ainsi que sur une documentation variée autour de la ville de Chandigarh, de ces principes d'urbanisme, de l'équipe de conception et plus particulièrement de l'architecte Pierre Jeanneret. Dans un second temps, une grande partie du contenu a été élaborée sur place au travers de relevés de bâtiments, dans le but d'effectuer une lecture transversale de l'œuvre publique de Pierre Jeanneret et d'inventorier les dispositifs climatiques pensés par l'architecte.

Mots clés : Pierre Jeanneret – Climat – Dispositif – Bâtiments publics – Confort – Chandigarh

PIERRE JEANNERET FACING INDIAN CLIMATE

Climate devices in Pierre Jeanneret's buildings at Chandigarh.

August 1947, the independency of India is announced, and a wide urban planning for the modernisation and territorial planning is launched by the Prime Minister Nehru, including the creation of fifty cities, such as Chandigarh. A preliminary plan was drawn by Albert Mayer and Matthew Nowicki in 1949. A following sequence of events brought the project to the studio at 35 rue de Sèvres, who was still inundated with current projects. In 1950, Le Corbusier accepted the contract despite his initial reluctance. He saw in it his last chance to apply his theories and the possibility to materialise his work. Accompanied by his cousin, Pierre Jeanneret, and a couple of English architects - Maxwell Fry and Jane Drew - he revised the plan of the city and, together, they produced all the buildings necessary for the future development of Chandigarh.

This essay focuses mainly on Pierre Jeanneret, a modest man, still in the shadow of his charismatic cousin, Le Corbusier, also on his climatic thoughts developed through his public buildings at Chandigarh. During this research, my purpose will be to answer to many questions: what are the climate devices developed by the architects in his public work? How may they respond to a climatic comfort and a quality for the users ? After fifty years, is the establishment of the devices still efficient ? During this research, the purpose is to measure, describe and analyse these climatic solutions, and to attempt to define the principles of design of the architect, as well as his contribution regarding bioclimatic architecture.

In order to answer to such questions, I will base my research on works regarding tropical climates, Indian vernacular architecture, as well as a varied documentation about the city of Chandigarh, its town planning principles, the design team and especially the architect Pierre Jeanneret. In a second phase, a large part of the content has been developed on site through surveys, in order to make a cross-analysis of the public work of Pierre Jeanneret and to draw up an inventory of climate devices thought out by the architect.

REMERCIEMENTS

Je souhaite tout d'abord remercier Rémi Papillault, ainsi que l'ENSA de Toulouse pour m'avoir offert l'opportunité de partir en mobilité en Inde, à Chandigarh, et ainsi d'avoir vécu une des plus belles expériences de ma vie, tant humaines et culturelles, qu'architecturales. Par la même occasion, je tiens à remercier l'école de Chandigarh, ses étudiants, ainsi que son directeur Mr. Pradeep K. Bhagat, pour leur accueil chaleureux, leur aide dans la vie quotidienne, ainsi que dans mes démarches de recherches.

Je remercie également les enseignants du séminaire *Architecture – Patrimoine, Théories et Dispositifs*, qui ont su m'initier à une méthode de recherche, et me porter dans la rédaction de mon mémoire durant ces deux années d'études. Ils m'ont, chacun à leurs tours, apporté des visions à la fois bien différentes mais cependant complémentaires. Je souhaite plus particulièrement remercier Rémi Papillault, de m'avoir suivi régulièrement et encouragée dans cet exercice de recherche et d'écriture. Grâce à ce travail, je ressens aujourd'hui plus avertie sur le mouvement moderne, mais surtout sur l'apport que l'architecture peut offrir dans le confort des usagers au quotidien. Ce fut un réel plaisir de découvrir un architecte que je ne connaissais pas, Pierre Jeanneret, et d'entrevoir les problématiques autour de la conception en milieu tropical, et plus spécifiquement la question climatique. Ce travail a permis de me sensibiliser à des questions bien actuelles comme le développement durable, comment offrir du confort climatique dans diverses situations, et ce dans un contexte économique restreint.

Dans un second temps, j'aimerais également remercier Camille Gravouil et Bénédicte Menu, mes partenaires de voyages, sans qui mon expérience n'aurait pas été la même. Leur aide m'a été absolument essentielle dans l'ampleur de mes relevés, notamment Camille avec qui je partage une partie de mon corpus et avec qui la coopération fut nécessaire et très enrichissante.

Je souhaite également remercier chaleureusement l'ensemble de mes proches, qui ont su me soutenir durant mes années d'études et les doutes qui les ont égrainés. Je souhaite remercier mes amis, qui par leur écoute attentive et leurs écoutes ont fait en sorte que je mène à bien cet écrit. Je souhaite remercier mes parents pour tout leur soutien malgré mes égarements, ils ont su depuis toujours me donner l'envie d'apprendre et de m'investir dans mon travail. Je remercie tout particulièrement ma mère, Sylvie, pour les nombreuses relectures et corrections, qui je l'espère furent aussi enrichissantes pour elle, qu'utiles pour moi. J'aimerais également remercier ma sœur, dont la ténacité dans les études fut une source de courage pour moi, notamment lorsque ma charge de travail me semblait irréalisable.

Et enfin, je remercie toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la finalisation de ce travail, notamment les personnes m'ayant autorisé à visiter ces bâtiments, à faire des relevés, et celles qui m'ont offert de leur temps pour me guider et m'accompagner dans mes bâtiments d'étude, tout ce sans quoi mon mémoire n'aurait jamais pu aboutir.

TABLE DES MATIÈRES

AVANT PROPOS	11
--------------------	----

INTRODUCTION

Contexte du projet: Temporalités et Situation climatique.....	13
---	----

L'oeuvre de Pierre Jeanneret: Biographie et réalisations indiennes	19
--	----

Méthode de recherche	23
----------------------------	----

Problématique	27
---------------------	----

CHAPITRE A _ DES DISPOSITIFS CLIMATIQUES TRADITIONNELS INDIENS AUX THÉORIES

MODERNISTES À CHANDIGARH - Contexte conceptuel et Réflexions parallèles	29
---	----

1. Dispositifs vernaculaires et pratiques culturelles dans l'architecture traditionnelle indienne	29
--	-----------

2. Théories corbuséennes : de la pensée urbaine à la grille d'hygiène climatique et ses solutions architecturales	49
--	-----------

3. Une architecture tropicale adaptée de Maxwell Fry et Jane Drew	67
--	-----------

4. L'oeuvre domestique de Pierre Jeanneret à Chandigarh	79
--	-----------

ECOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT DE L'AUTEUR

CHAPITRE B _ L'ARCHITECTURE PUBLIQUE DE PIERRE JEANNERET FACE AU CLIMAT INDIEN - Atlas de dispositifs climatiques visant à atteindre une situation de confort pour les usagers

usagers87

1. L'ombre et le vent: dispositifs urbains91

a) **Implantation urbaine: choix d'orientation solaire**91

b) **Aménagements paysagers**99

2. L'ombre et le vent: dispositifs architecturaux103

a) **La forme totale comme outil climatique**103

b) **La zone tampon**109

c) **Les systèmes de protection solaire en façade**120

d) **Les systèmes de protection solaire en toiture**139

e) **Les systèmes de ventilation naturelle**144

f) **Les systèmes de ventilation mécanique**159

3. L'apport de Pierre Jeanneret en matière d'architecture bioclimatique167

CONCLUSION172

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXES

INTRODUCTION

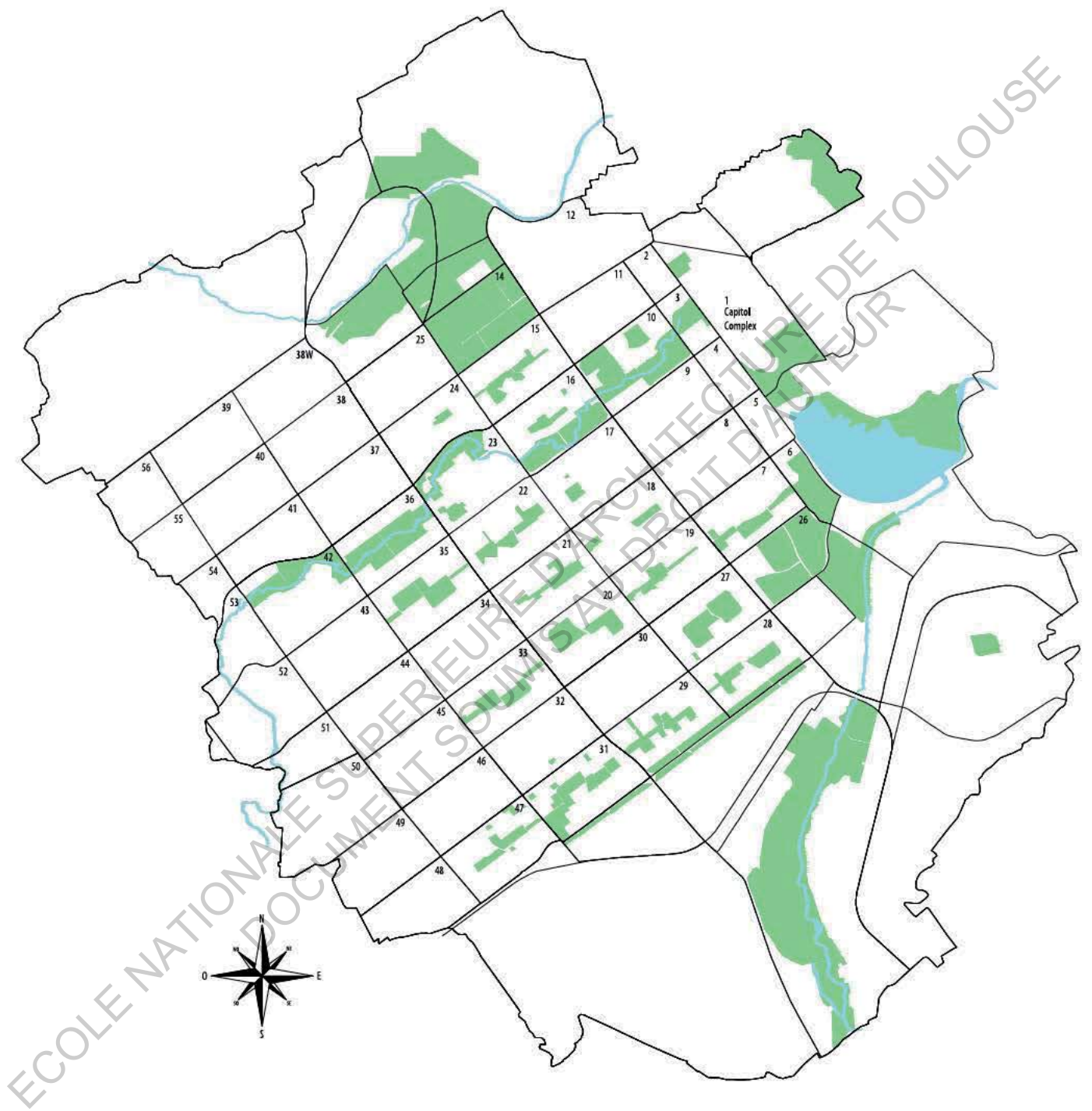
AVANT PROPOS

Durant ma troisième année de licence, j'ai formalisé mon souhait de partir étudier à l'étranger. Mon choix s'était rapidement orienté vers l'Inde et Chandigarh pour diverses raisons, mais la principale étant d'en connaître plus sur Le Corbusier, ainsi que ses dogmes. Je souhaitais alors vivre, étudier et parcourir cette ville, ce pays, qui avait éprouvé les théories dites corbusiennes. Suite à une première demande repoussée, j'ai décidé de réaliser une année de césure afin de prendre du recul sur mes choix, sur leurs origines et sur leurs justifications. Ainsi, l'année suivante, ma seconde demande était déterminée et motivée par une réelle envie d'étudier Chandigarh, Le Corbusier et le mouvement moderne. Cette idée ayant mûri dans mon esprit depuis presque deux ans, j'avais eu le temps de l'alimenter de connaissances générales sur le projet et une esquisse de sujet de mémoire se dessinait alors dans mon esprit.

Au cours de mes premières lectures, j'ai ainsi pu réaliser que Chandigarh est loin d'être issue de la pensée d'un seul homme, mais plutôt le résultat d'une grande oeuvre collective. Cela m'ouvrait à de nouvelles voies d'études, pas seulement centrées sur Le Corbusier, je pouvais également me tourner vers les travaux des *seniors architects* tels que Pierre Jeanneret, Jane Drew ou encore Maxwell Fry. De ces mêmes lectures, un thème m'avait particulièrement interpellé et intéressé, celui du traitement climatique au sein des bâtiments. L'établissement de la grille climatique pour répondre à des notions de confort évoquait pour moi une esquisse d'architecture climatique. Lutter contre la chaleur, mais aussi l'humidité et le froid, les conditions environnementales sont multiples et extrêmes en Inde, et c'est cette complexité qui m'intéressait dans ce sujet. Toiture parasol, brise-soleils, vérandas, claustras : nombreuses ont été les réflexions de l'équipe de conception et multiples sont les applications de ce nouveau type d'architecture, que l'on pourrait désigner de bioclimatique. Il m'apparaissait alors extrêmement enrichissant de comprendre la démarche de conception et les solutions architecturales avancées dans ce contexte climatique extrême. J'espérais que l'étude de cette méthodologie et de ses résultats contribuerait à ma formation d'architecte dans un pays occidental où les conditions climatiques sont plus tempérées, mais où la maîtrise de ces notions est nécessaire pour atteindre un confort d'usage réglementaire.

Outre le fait de devoir répondre à un contexte climatique varié, l'équipe de conception a également dû se contraindre à des matériaux, des savoir-faire, des usages locaux et traditionnels, tout en respectant une enveloppe budgétaire limitée. Cette contrainte économique est fondamentale dans la conception, puisqu'elle entraîna l'exclusion de solutions mécaniques coûteuses, mettant ainsi l'architecture au service du confort des usagers.

Le climat extrême de l'Inde, ainsi que les contraintes culturelles, constructives, économiques et temporelles, ont poussé les architectes à proposer des solutions innovantes pour améliorer le confort climatique des usagers à Chandigarh. L'étude de ces dispositifs climatiques me semblait être une source d'enrichissement, tant pédagogique que personnel.



[1.] Plan d'aménagement de la ville de Chandigarh, avec l'organisation des secteurs.

CONTEXTE DU PROJET: Temporalités

Le 15 Août 1947 est proclamée l'indépendance de l'Inde et s'ensuit la partition entre la république fédérale de l'Union indienne, et la république islamique du Pakistan. Jawaharlal Nehru, Premier ministre de ce nouvel État Indien, lance un nouveau programme urbain pour la modernisation et l'aménagement du territoire, incluant la création d'une cinquantaine de villes nouvelles. L'État du Penjab étant un des États les plus riches de l'Inde, il était important que sa nouvelle capitale soit le symbole de cette nouvelle indépendance, au travers de la modernité.

Le site choisi se trouve à 270 km au nord de New Delhi, cadré par deux rivières de mousson et au pied des contreforts de l'Himalaya. Sa localisation est stratégique pour plusieurs raisons. Sa distance avec la frontière du Pakistan et du Cachemire met la future ville à l'abri des conflits, mais en fait une base militaire stratégique, d'où la réelle importance de la construction de cette capitale. C'est ainsi qu'en 1949, le plan d'aménagement de la ville est dans un premier temps attribué à une équipe américaine composée d'Albert Mayer et Matthew Nowicki. Celui-ci s'organise autour de notions directrices: l'unité de voisinage ou «super-blocks», la flexibilité du plan avec son adaptation au site, et une hiérarchisation des systèmes de transports. Suite à la mort de Nowicki en 1950 dans un crash d'avion, Mayer hésite à poursuivre le projet. Ajouté à l'engagement de l'Inde dans le mouvement des Non-Alignés, le contexte du projet évolue totalement ce qui pousse l'État Indien à se mettre à la recherche d'une nouvelle équipe de conception. Il se tourne alors vers l'Europe et plus particulièrement Le Corbusier pour sa renommée internationale. Ce dernier vient d'essayer plusieurs échecs face aux projets de la Reconstruction en France, et même s'il refuse dans un premier temps face à la faible rémunération, il revient sur sa décision initiale. Il voit dans Chandigarh, sa dernière chance d'appliquer ses théories d'urbanisme et donc de concrétiser son œuvre. En parallèle, l'État Indien engage également un couple d'architectes anglais, Maxwell Fry et Jane Drew. Leur publication *Village Housing in the Tropics* sur la conception en Afrique de l'Ouest et leur expérience en contexte

tropical intéresse la maîtrise d'ouvrage, et malgré leur crainte commune face à la collaboration avec Le Corbusier, ils acceptent finalement le projet. Dans les termes de son contrat, Le Corbusier ajoute comme condition la présence de son cousin Pierre Jeanneret parmi l'équipe de conception, confrère et ami qui lui est indispensable dans ce moment crucial de sa carrière.

«*We will rectify the pilot plan ... We must begin from the beginning.*»¹

Une fois les contrats signés, les *seniors architects* se retrouvent pour la première fois à Chandigarh en Février 1951. Malgré la demande de la maîtrise d'ouvrage d'appliquer le plan Mayer, la nouvelle équipe de conception entame des rectifications, et en huit jours un nouveau plan est établi; «*un plan de haute classe*», selon les propos de Le Corbusier. Établi sur une trame de 800x1200 mètres qui délimite les secteurs, le plan tend vers un carré, géométrie mathématique régulée par des années de recherches de la part du Corbusier. L'équipe propose une rationalisation du plan, dans un but purement économique, laissant l'esthétisme de côté dans un premier temps. Densification du bâti, alignement et hiérarchisation des voies, adaptation de la grille pour lutter contre les contraintes climatiques; les changements vis-à-vis du plan Mayer sont notables malgré les similarités évidentes. L'architecte participe à la mystification de son œuvre, en mettant en exergue les «*miracles*» qui viennent vérifier ses choix, tout cela évidemment dans le but de s'en assurer la paternité. On est alors loin des réflexions rationnelles et systématiques de son œuvre antérieure, on se trouve dans un urbanisme ouvert aux autres, aux traditions, aux événements, à l'histoire, mais surtout au temps avec les principes d'évolutivité.

«*Tout ce que je croyais savoir sur la ville a ici été remis en question.*»²

1. LE CORBUSIER – Février 1951.

2. LE CORBUSIER, 8ème Congrès International d'Architecture Moderne – Hoddeston 1951.

CONTEXTE DU PROJET: Situation climatique

«The climates of the earth in all their variety and contrast, the natural geology of the regions, and the efforts of our ancestors to turn them to account, are responsible of our environment. (...) We can modify and adapt it by the skill and intelligence with which we build, and in doing so produce an architecture and a landscape suited both to it and us.»³

Les climats tropicaux, malgré leur variété, ont comme constante l'absence de modération dans les situations et leur alternance, c'est-à-dire que ceux-ci sont rarement favorables au confort biologique humain, ils mènent alors toujours vers une situation d'inconfort. Dans un pays tropical, on peut passer en quelques heures de fortes chaleurs sous un ciel entièrement dégagé à des orages et pluies torrentielles. On distingue néanmoins plusieurs catégories de climat tropicaux.

Le premier, le Climat Tropical Humide, influence une zone équatoriale entre les latitudes 7°N et 5°S, mais aussi les îles tropicales. Il est caractérisé par un fort taux d'humidité, en moyenne de 90%; de fortes pluies lors de la saison des moussons, en moyenne 200cm de précipitations par an, contre 150cm en France; les températures moyennes annuelles sont d'environ 30°C, pouvant s'approcher des 40°C parfois en saison chaude.

Le second, le Climat Tropical Intermédiaire, appelé Subtropical Humide, dans la classification de Köppen, se caractérise par une saison chaude et humide, tout comme le climat tropical humide, ou bien une répartition des précipitations tout au long de l'année suivant les cas; mais aussi une saison plus douce où les températures sont inférieures à 20°C en journée et peuvent être négatives durant la nuit, la température moyenne reste tout de même supérieure à 10°C pendant au moins 8 mois de l'année.

Il est difficile de localiser ce type de climat tropical, car il constitue une transition entre le climat continental, et ses réels coups de froid en hiver, et le climat tropical

humide. Il englobe différents types de sous-climats, ce qui le rend extrêmement complexe à définir, et chaque cas présente ses spécificités en fonction de sa localisation.

Le troisième, le Climat Tropical Sec, influence des zones plus éloignées de l'équateur, de 15°N à 30°S et se caractérise par une température moyenne annuelle supérieure à 20°C, pouvant dépasser les 40°C en été pour atteindre dans des situations extrêmes les 50°C, et d'environ 30°C en hiver, les températures nuptiales approchant alors les 10°C ; un faible taux d'humidité, inférieur à 50%, avec un très faible taux de précipitations inférieur à 25cm par an ; des vents chauds et poussiéreux entraînant des tempêtes occasionnelles.

Et enfin, le dernier climat tropical concerne les zones montagneuses, l'altitude venant modifier les caractéristiques du climat initial, en terme de températures et de variations, de précipitations et d'humidité, mais aussi de vent.

3. DREW (J.) - FRY (M.), «Climate», *Tropical Architecture in Dry and Humid Zone* p.27.

«Lorsque l'on aborde un pays, on a coutume de le décrire avec des mots-clefs. Ce qui est déjà péniblement acceptable pour un pays, l'est encore moins pour un continent. Or, l'Inde est un continent. Son climat va des neiges éternelles, aux Tropiques, elle s'étend des plaines cultivées aux sommets inaccessibles.»⁴

Les climats de l'Inde sont variés du fait d'une part de l'immensité géographique du pays, et donc des différences de latitude, et d'autre part de sa topographie qui varie du littoral maritime jusqu'aux plus hautes altitudes terrestres. Chandigarh, capitale des Etats du Punjab et de l'Haryana, se situe à 270 kilomètres au nord de New Delhi, sur les contre-forts des collines de Shivalik. Sa situation au pied de l'Himalaya lui confère un environnement protégé, notamment des vents froids sibériens bloqués par la chaîne montagneuse.

On remarque différentes périodes bien distinctes à Chandigarh :

- De mi-Novembre à Mars, un hiver sec mais plutôt rigoureux, influencent les températures pouvant alors frôler les négatives durant la nuit et atteignant rarement plus de 20°C en journée. Il est donc important de capter le rayonnement solaire et de compacter l'espace pour diminuer les déperditions.

- De Mars à Juin, c'est la saison chaude, le climat se réchauffe, tout en restant sec. Les températures augmentent de manière significative, elles sont comprises entre 25°C et 40°C, et pouvant atteindre des maximales à 46°C. Le rayonnement solaire est important et tout objet ou surface exposés emmagasinent de la chaleur en journée et la restituent la nuit, il est donc important de protéger un maximum les surfaces problématiques. La température de l'air s'adoucit durant la nuit, d'où la tradition locale indienne de dormir dehors, souvent sur les toits-terrasse, pour profiter de la fraîcheur.

- De Juin à mi-Septembre, de fortes pluies et violents orages s'abattent sur la région, c'est la saison des moussons. Le taux de précipitations est important passant de

moins de 3 cm en mai à plus de 25 cm en août, créant un fort taux d'humidité et donc de l'inconfort. L'aération et la ventilation des espaces est alors nécessaire pour réguler le taux d'humidité et créer un environnement sain.

«Le climat à Chandigarh n'est pas le même qu'ailleurs aux Indes. Cette ville est la pointe bâtie d'une plaine fertile, s'avancant jusqu'aux pieds de l'Himalaya. La mousson n'y dure pas trop longtemps et la chaleur même est plus que tempérée qu'en d'autres lieux. L'hiver n'y est pas rude alors qu'à quelques kilomètres, on peut s'adonner aux joies du ski.»⁵

La localisation de Chandigarh implique donc un climat différencié en trois saisons. Malgré la latitude de la région, la protection de la chaîne himalayenne face aux vents sibériens lui confère un hiver bien plus doux que la normale tout en conservant une saison chaude et humide. On peut donc qualifier le climat de Chandigarh de subtropical humide malgré le fait que la latitude soit supérieure au tropique du cancer, limite habituelle entre les climats tropicaux et tempérés. Chandigarh se situe donc dans une situation géographique particulière qui lui confère un climat singulier et extrême. L'amplitude thermique et hygrométrique est relativement importante, imposant une complexité de conception, avec l'obligation d'effectuer des choix et des compromis pour répondre aux variations et atteindre un confort optimal d'usage.

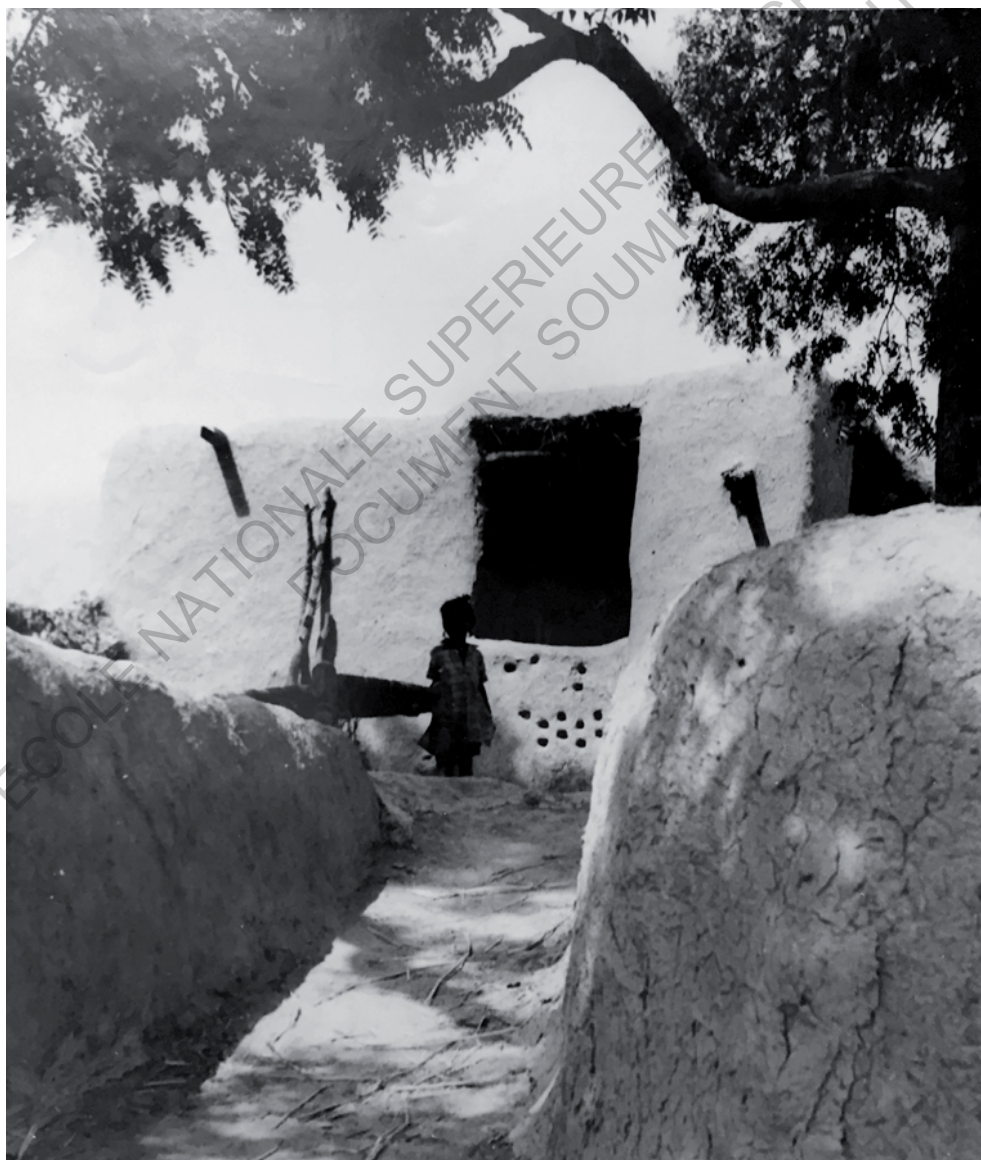
Durant la conception de Chandigarh, Le Corbusier établit un nouvel outil méthodologique pour faciliter le traitement climatique dans les bâtiments, et pour cela, il utilise les données d'une station climatique proche, Ambala. Lors de mes recherches, j'ai été en mesure d'analyser des données, contemporaines (1953) à celles connues de l'équipe de conception, dans l'ouvrage *Climatological and Solar data for India (To Design Buildings for thermal comfort)*.⁶ Il est important de noter que des contradictions émergent de ces deux sources, alors qu'elles devraient être identiques, notamment par rapport aux vents et leur

5. Ibid.

6. SESHADI (T.N.) - RAO (K.R.) - SHARMA (M.R.) - SARMA (G.N.) - SHARAFAT ALI, *Climatological and Solar data for India (To Design Buildings for thermal comfort)*.

4. HERVE (L.), «Inde», *L'Architecture d'aujourd'hui*, oct. 1956, n°67/68, p.154.

force. Le Corbusier présente ceci comme une donnée primordiale pour la suite de ces études, néanmoins dans les données de cet ouvrage, il en ressort que les vents sont presque nuls à Ambala. En supposant que les bâtiments de Pierre Jeanneret furent pensés selon ses données de la grille climatique, c'est ainsi que je réaliserais mon étude, cependant il me semble utile de noter les incohérences et de recommander la réalisation de nouveaux relevés climatiques à Chandigarh, et non à Ambala. La mise à jour de ces données permettrait de réellement étudier les dispositifs de Pierre Jeanneret dans leur contexte climatique, notamment avec les évolutions que celui-ci pourrait avoir eu ces dernières années avec le réchauffement climatique par exemple.



[3.] Village indien traditionnel, photographie issue du fond d'archives du CCA de Montréal, photographe inconnu.



[4.] Pierre Jeanneret et Le Corbusier au Sukhna Lake, photographie issue du fond d'archives du CCA de Montréal.,
photographe inconnu.

L'OEUVRE DE PIERRE JEANNERET: Biographie et réalisations indiennes

Né à Genève, le 22 Mars 1896, Pierre Jeanneret entame des études d'architecture aux Beaux-Arts de Genève en 1913 et y poursuit de brillantes études en recevant les premiers prix de peinture, de sculpture et d'architecture en 1915. Il quitte la Suisse en 1920, ne se retrouvant pas dans l'esprit conservateur de Genève, pour s'installer à Paris. C'est ainsi que, sur les recommandations de son cousin Charles-Edouard Jeanneret, il intègre l'agence des frères Perret où il complète sa formation théorique, notamment en terme de construction. Dès son arrivée à Paris, il entame des collaborations occasionnelles avec son cousin, c'est ainsi que l'idée d'un travail commun émerge petit-à-petit pour s'officialiser au début de l'année 1922.

«L'année 1922, je me suis associée à mon cousin Pierre Jeanneret. Avec loyauté, optimisme, initiative et persévérance et aussi avec bonne humeur, nous nous sommes mis au travail. Deux hommes qui se comprennent sont plus forts que cinq autres qui sont seuls.»⁷

Le Corbusier ne souhaitant pas à l'époque s'investir totalement dans une mission d'architecte afin de travailler son avenir de peintre, la présence de Pierre au sein de l'atelier est alors indispensable. Leur association permet à Pierre Jeanneret de profiter de la renommée naissante et du charisme de son cousin pour obtenir des commandes, tout en trouvant un certain équilibre entre collaboration et liberté d'exercice. Sa présence continue participe à la bonne exécution des projets, en terme de conception, d'administration mais aussi, et surtout, de construction. Cette période prospère pour l'atelier est aussi l'époque de la réalisation et matérialisation de leurs théories, développés dès 1920 dans *l'Esprit Nouveau*, le temps des spéculations est passé, il est alors temps de concrétiser leurs travaux au travers d'une œuvre architecturale. On découvre au travers de l'ouvrage *L'Aventure Indienne*⁸, une relation extrêmement complexe entre les deux cousins.

«Mon vieux, j'ai un caractère difficile, un sale caractère, vieille chanson. C'est hors de ma volonté. Si on déclenche l'orage, il faut attendre que ça passe. Ça met du temps.»⁹

«Entre deux bien unis dans cette sacrée carrière, c'est beaucoup, il faut en profiter. Ta position est la première, sans toi, je ne veux rien décider mets toi à ma place et dis toi que souvent je serais tenté de liquider une affaire à ma manière pour gagner du temps éviter les fausses manœuvres et les renvoie, mais je ne veux pas le faire, ce serait la fin d'une belle entente. (...) C'est toi qui mènes la barque, devine mon embarras et intervies à temps. (...) car mon vieux Corbu tu sais très bien quelle est la place que tu occupes dans mon affection.»¹⁰

Il semble que les deux architectes trouvaient chacun leur intérêt dans cette association, bien que celle-ci ne fut possible que par l'effacement Pierre Jeanneret pour laisser la place à Le Corbusier sur le devant de la scène. Pierre Jeanneret était son plus proche collaborateur car il comprenait son fonctionnement et le poussait dans ses théories, parfois en s'opposant mais toujours dans le but d'aboutir à la création d'une œuvre moderne, révolutionnaire pour le mouvement architectural de l'époque. On remarque également au travers des correspondances que Le Corbusier a tendance à se concentrer sur la forme, sur de vastes idées, tandis que Pierre Jeanneret prête plus d'attention aux aspects techniques et pratiques, leur coopération s'équilibre car elle s'articule autour d'idéaux communs. C'est donc ainsi que se déroule le travail dans l'atelier rue de Sèvres jusqu'en 1940. Interrogations techniques des moyens pour atteindre les volumétries et plasticités définies en amont, la production de dessins, de croquis, de détails techniques est intense à cette époque et témoigne de l'engagement de Pierre Jeanneret dans cette entreprise.

Au mois de juin 1940, l'atelier suit le mouvement général vers le sud de la France et s'installe à Lannemezan

7. LE CORBUSIER - JEANNERET (P.) «Introduction», *Oeuvre Complète (1910-1929) Volume I*, p.9.

8. TOUCHALEAUME (E.) - Moreau (G.), *Le Corbusier, Pierre Jeanneret, L'Aventure indienne*.

9. Correspondance entre Le Corbusier et Pierre Jeanneret, 1923, Ibid., p. 24.

10. Ibid.

dans les Hautes Pyrénées, mais en décembre 1940, Pierre Jeanneret met fin à sa collaboration avec Le Corbusier pour des avis divergents. Il intègre le Bureau Central des Constructions à Grenoble, s'ensuit alors une période difficile et peu productive pour l'architecte qui va de petits projets, en mission de design aux Etats-Unis, pour finalement revenir à Paris en 1947. Il refuse une première proposition de collaboration avec Le Corbusier, avant de revenir sur ce choix en 1950, face au projet indien.

C'est ainsi que Pierre Jeanneret s'installe à Chandigarh, où il restera de mars 1951 à août 1965 afin d'assurer le suivi du projet et des chantiers, et le respect des principes mis en place par l'équipe de conception. Lors de son arrivée en Inde, Pierre Jeanneret se projette totalement dans la culture afin d'en comprendre les traditions et usages. Son architecture s'inscrit dans un contexte local, grâce son observation des modes de vie, une compréhension des techniques de construction et une fine appréhension des problématiques locales, notamment en terme de climat.

Eric Touchaleaume et Moreau Gérard, définissent dans *L'Aventure Indienne*, quelques grands principes qui viennent structurer la pensée et l'architecture de Pierre Jeanneret. Selon eux, une particularité de la production de Jeanneret serait la clarté du parti pris, en terme de plan, d'espaces, mais surtout en terme de système constructif, notamment avec la mise en place de types de bâtiments, les écoles en particulier. De son attention particulière des modes de vie, il en ressort également des préoccupations climatiques, qui viennent altérer le confort et donc les usages. C'est ainsi qu'il a développé un panel de dispositifs climatiques, mais nous reviendrons sur ce point plus en détail. Et enfin, un dernier principe découlant également de ses observations et de sa projection dans la culture indienne est l'utilisation expressive des matériaux traditionnels en exploitant toutes leurs caractéristiques et potentiels, rythme, modénature, combinatoire, etc., mais en étudiant également leur mise en œuvre pour optimiser l'exécution et donc réaliser une économie de projet. L'œuvre de Pierre Jeanneret à Chandigarh est abondante et représente une grande partie de la production de sa vie avec plus de 7500 bâtiments. Il y traverse de nombreux

programmes, logements, écoles, universités, hôpitaux, commerces, hôtel de ville, etc.¹¹

En parallèle de ses projets personnels, il continue sa collaboration avec son cousin en assurant la matérialisation de ses idées au travers des bâtiments du Capitole, ils correspondent à distance, Le Corbusier restant à Paris, mais ils partagent également beaucoup lors des visites de ce dernier. Pierre Jeanneret joue également un rôle pédagogique crucial au sein du bureau des architectes dans la formation des jeunes architectes indiens, adopté et admiré par ces derniers. Il doit malheureusement quitter Chandigarh le 31 Août 1965 pour des raisons de santé, et décède le 4 décembre 1967 à Genève.

*«Je pense, malgré tout écart de puissance et de perfection, que je suis à ce jour l'architecte le plus près de l'oeuvre de Le Corbusier ... et il paraît surprenant que, malgré toutes les divergences de fond entre nous deux (lui, ordre et organisation, moi, idées toujours un peu anarchiques), je sois le plus voisin de lui sur le plan de l'action».*¹²

L'intérêt que je trouve le plus notable dans l'œuvre et l'architecture de Pierre Jeanneret, mais aussi dans son caractère, est son dévouement tant pour son cousin Le Corbusier, que pour son but ultime, c'est-à-dire la modernité. Il profite de situations fortes en contraintes pour composer ses espaces, qui n'en sont que plus confortables et agréables. On le constate bien avec l'exemple de Chandigarh. Quand il emménage dans ce pays, il cherche rapidement à comprendre les traditions, usages et modes de vie de cette civilisation, son architecture est pour les autres, pour répondre à leurs besoins, il s'inscrit dans un contexte local. Son adaptation face à une situation économique restreinte et climatique extrême est également remarquable, il se sert de ces contraintes pour sublimer ces espaces et atteindre un niveau de confort optimal. Ses connaissances constructives sont également le témoin de sa dévotion à l'architecture et de sa détermination dans la définition d'un idéal moderne pérenne pour cette nouvelle capitale en devenir.

11. Voir Annexe n°1.

12. Correspondance entre Pierre Jeanneret et Jean Petit Ibid, p. 48.



[5.] Pierre Jeanneret et les *juniors architects*, photographie issue du fond d'archives du CCA de Montréal., photographe inconnu.

« *In Chandigarh, all the philosophy of modernism, and ideal of modernism stands for, were relayed totally. So it is said that Chandigarh is the DNA of modernism. [...] So you need to understand modernism to begin with, to analyse Jeanneret and Corbusier, because they both talked about modernism.* »¹³

Au cours de mon échange, nous avons la chance, avec mes deux partenaires de mobilité, de rencontrer Mr Sharma Shivdatt, qui fut l'élève de Pierre Jeanneret et ami durant tout son séjour à Chandigarh. Entendre parler un de ses proches sur son travail fut extrêmement enrichissant, bien que son regard soit loin d'être objectif, il me permet d'un peu mieux comprendre la personnalité de cet architecte, ainsi que sa démarche et sa philosophie architecturale.

“*I think you should begin with the ideology of Jeanneret. It has been always to look for the poor, to help them, and to do architecture with very poor, cheap material. It did a very artistic architecture, innovative. He designed also furniture in the same way, in the same spirit. His attitude, towards the architecture and the people is very interesting. He talked about equality, democracy.*”¹⁴

13. Entretien avec SHARMA (S.) réalisé le 09 Mai 2016.

14. Ibid.

MÉTHODE DE RECHERCHE

Suite à mon admission à l'échange et à mon intégration au sein du séminaire «*Architecture - Patrimoine, théories et dispositifs*», on me donnait donc la possibilité de travailler sur le sujet de mon choix, il m'a donc semblé intéressant d'orienter ma recherche vers la problématique climatique, sujet incontournable de nos jours, et particulièrement dans un pays tropical tel que l'Inde. J'apprenais alors l'accès récent aux archives de Pierre Jeanneret au *Canadian Center for Architecture* de Montréal qui permettait de nouvelles voies de recherches avec un fond d'archives en dessins fourni mais aussi un fond photographique. Ce dernier nous introduit dans la découverte de l'Inde par Pierre Jeanneret, ses visites des villages traditionnels, mais il permet aussi de suivre sa vie tout le temps où il y résidait, notamment le suivi des chantiers de Chandigarh.

Deux anciennes étudiantes du séminaire, Lélia Menuau et Natacha Barouillet, ayant déjà entamé une réflexion climatique autour des logements pour les plus pauvres et des logements pour les classes moyennes de Pierre Jeanneret, il semblait alors intéressant et enrichissant d'étudier les édifices publics de Pierre Jeanneret, encore très peu analysés. Mon intérêt dans l'étude des dispositifs climatiques résidant dans la notion de confort, peu importe la saison, il était évident que mon corpus de bâtiments ne pouvait se limiter à quelques exemples significatifs. Il s'agissait donc d'effectuer une lecture transversale de la production publique de Pierre Jeanneret, afin d'inventorier le panel de dispositifs climatiques conçus par l'architecte. La première étape de la recherche fut donc la définition du corpus de bâtiments.

Le livre de Kiran Joshi – *Documenting Chandigarh : The Indian Architecture of Pierre Jeanneret, Maxwell Fry and Jane Drew* fut ma première source savante afin d'établir mon secteur d'études. Après un premier inventaire exhaustif de toutes ses constructions¹⁵, les maisons gouvernementales ont été exclues, souhaitant concentrer ma

recherche sur les bâtiments publics. Après cette exclusion, se posait la question de la notion d'hébergement, présente dans certains bâtiments publics avec, par exemple : University Hostel for Girls – Secteur 14; University Hostel for Boys – Secteur 14; Shop-Cum-Flats – Secteur 11 & 16. Afin d'éviter toutes confusions liées à des différences d'usages et de temps de présence au sein des bâtiments, il fut choisi de retirer ces bâtiments du corpus d'étude.

Néanmoins, au fur et à mesure de l'avancement dans le sujet et des lectures, il s'est avéré que d'autres auteurs attribuaient la paternité de conception de bâtiments à Pierre Jeanneret. Afin d'établir un corpus le plus juste possible, j'ai entamé un inventaire et une comparaison des possibles réalisations de l'architecte¹⁶, ceci mettant en évidence le manque de recherche autour de Pierre Jeanneret et de la méconnaissance, encore actuelle, de son œuvre à Chandigarh. Durant mon séjour à Chandigarh, j'ai eu l'occasion de partager mes réflexions avec nombre de mes professeurs, mais personne ne semblait du même avis concernant ces bâtiments, ou alors, dans l'ignorance, attribuer à tort et à travers la conception d'un bâtiment à Pierre Jeanneret. Il faut savoir qu'à Chandigarh, son travail est plus étudié qu'en Europe, et que le Chandigarh College of Architecture, ses enseignants, les chercheurs et architectes de la ville reconnaissent la valeur de son travail, autant que Le Corbusier, et ont donc tendance à lui attribuer de nombreuses constructions dont il n'est en réalité pas le concepteur. C'est lors d'un workshop au Gandhi Bhawan – *Conservation of Cement Concrete and Modern Heritage in India*, que j'ai été amenée à rencontrer de nombreuses personnes savantes sur ces sujets de recherche, notamment Mr Shivdatt Sharma, *Junior Architects* lors de la conception de Chandigarh, qui a longtemps côtoyé Pierre Jeanneret, tant sur un plan professionnel que personnel.

15. Voir Annexe n°1.

16. Voir Annexe n°2.

C'est donc au cours d'un entretien que la lumière fut apportée sur mes doutes, ceci menant donc à un corpus composé de 21 bâtiments publics :

- Nursery School - S7 / S16 / S22 / S23
- Primary School - S15
- Junior Secondary School - S10 / S16 / S19 / S21 / S22
- Postgraduate Institute of Medical Education & Research (PGI) - S12
- Administration Building - S14
- University Arts College - S14
- University Science College - S14
- University Library - S14
- Gandhi Bhavan - S14
- University Health Center - S14
- Central State Library - S17
- Town Hall - S17
- Architect's Office - S19
- Polytechnic - S26

Après avoir établi le corpus de bâtiments, j'ai entamé la mise au propre de ces plans. En me basant sur le livre de Kiran Joshi¹⁷, un premier dessin fut réalisé. Bien que travaillant plutôt à l'échelle du détail, il m'a semblé nécessaire de réaliser ce travail plus large afin de dresser des fiches d'identité de chaque bâtiment¹⁸, pour visualiser toutes les possibilités de dispositifs. En effet, je pense que le dessin est l'outil qui nous permet de nous interroger sur les intentions d'un architecte, ceci m'a permis de mieux comprendre chaque bâtiment et son fonctionnement.

Bien que mon séjour ne fut seulement que de quatre mois, j'ai pu assez vite saisir les problématiques climatiques auxquelles les architectes ont été, et sont encore, confrontés. A mon arrivée, le temps était plutôt frais, notamment la nuit, avec des températures pouvant descendre en dessous de 10°C. Et au contraire, en Mai, on se retrouve confronté à de fortes températures en journée pouvant avoisiner les 45°C de temps en temps, et surtout elles descendent peu durant la nuit. Ces écarts de température altèrent d'autant plus le confort, que l'équipement

des bâtiments indiens n'est pas aussi développé que dans nos pays occidentaux. Vivant dans une résidence pour filles, j'ai pu appréhender les situations d'inconfort provoquées par ces différents climats lorsque l'on ne bénéficie pas de la mécanique et de la technologie pour y palier. Il n'y avait ni chauffage lors des premières nuits fraîches, ni climatisation lors des températures extrêmes de la saison sèche, à cela on peut rajouter le rationnement d'eau en cette période, et donc un accès restreint aux douches par exemple. La période de moussons qui s'en suit, est également très difficile à endurer, le taux d'humidité accroissant d'autant plus l'inconfort. Bien qu'ayant déjà vécu un peu dans un pays à climat tropical, cette expérience de résidence, à l'aménagement des plus simples, m'a permis de réellement saisir la situation dans laquelle se sont retrouvés les architectes en charge de l'élaboration de cette ville nouvelle. Dans les années 50, à leur arrivée, l'Inde émerge à peine de la colonisation britannique, bien que le Punjab soit un Etat riche, la population reste majoritairement pauvre et personne n'a alors les moyens d'équiper son logement des derniers systèmes technologiques. La situation économique de l'Inde a aujourd'hui beaucoup évolué, mais la résidence pour filles du Secteur 11B est, elle, restée, comme figée dans le temps, à l'image de très nombreux logements et bâtiments indiens actuels.

Les relevés des bâtiments de mon corpus¹⁹ furent de longue haleine, d'une part par le nombre de sites que j'ai eu à visiter, mais surtout par les quelques difficultés administratives à rentrer dans certains lieux. Bien qu'ayant en ma possession des lettres officielles de la part du directeur du Chandigarh College of Architecture, il s'agissait toujours d'obtenir de multiples autres autorisations à chaque visite. Malgré cela, j'ai été en mesure de mettre à jour les plans d'archive que j'avais redessiné, et ainsi être en mesure d'attaquer l'étude réelle des dispositifs climatiques à l'échelle du détail cette fois-ci.

La première étape fut d'identifier et nommer tous les dispositifs relevés, trouver le bon titre à chacun est un travail délicat, je pense d'ailleurs que l'on peut toujours faire évoluer le travail présenté ci-dessous. Une fois le panel

17. *Documenting Chandigarh : The Indian Architecture of Pierre Jeanneret, Maxwell Fry and Jane Drew.*

18. Voir Annexe n°4.

19. Voir Annexe n°3.

complet de dispositifs climatiques mis à plat, il fut important de les organiser et de les hiérarchiser afin de pouvoir dresser une analyse cohérente. Pour ma part, j'ai adopté une démarche décroissante, c'est-à-dire que je suis partie de l'échelle urbaine, pour approcher ensuite l'échelle architecturale jusqu'au détail. Après une étape nominative, descriptive et analytique, il fut donc question de mettre ces recherches en perspective vis-à-vis des théories architecturales de l'époque, c'est ainsi que j'ai essayé de définir les caractéristiques de l'architecture climatique de Pierre Jeanneret dans ses bâtiments publics et d'en dresser un bilan général.



[6.] Plan de localisation des bâtiments publics de Pierre Jeanneret.

PROBLÉMATIQUE

Face à un environnement tropical tel que l'Inde, et plus précisément Chandigarh, comment les dispositifs climatiques développés par Pierre Jeanneret dans son architecture publique participent à la création d'une qualité climatique et un confort d'usage?

Dans la première partie de ma logique de démonstration, nous nous intéresserons au contexte culturel et théorique qui se déroulait durant la période de conception de Chandigarh. Lors de l'arrivée de Pierre Jeanneret en Inde, il découvre une nouvelle culture et des coutumes traditionnelles, un climat extrême, et donc toute une série de dispositifs climatiques présents dans l'architecture vernaculaire indienne. Nous chercherons donc dans un premier temps à définir ces outils traditionnels, avant d'en déterminer l'influence sur l'architecture de Pierre Jeanneret. Puis, l'influence de Le Corbusier sur son cousin étant indéniable, nous étudierons quelle posture adopte celui-ci, notamment par l'analyse de la grille d'hygiène climatique, et ses répercussions sur son architecture par la suite. Dans la continuité de l'étude des théories des différents *seniors architects*, nous nous intéresserons également aux travaux de Maxwell Fry et Jane Drew en matière d'architecture tropicale et climatique, en définissant quelles théories et quels dispositifs ils préconisent pour atteindre un confort optimal. Et enfin, avant d'aborder l'oeuvre publique de Pierre Jeanneret, il s'agira de dresser un bref bilan des acquis climatiques de l'architecte au travers de son corpus de logements, avec l'analyse et la synthèse de deux mémoires d'étudiantes.

Dans la seconde partie de mon mémoire, il s'agira au cours de mes recherches de décrire et analyser les performances d'un panel de dispositifs définis au préalable lors de mes relevés sur place, à Chandigarh et de comprendre en quoi ils participent à un confort annuel pour les usagers. Ils seront étudiés selon une échelle décroissante, tout d'abord urbaine, puis architecturale, et selon une organisation thématique abordant des problématiques différentes : le soleil, le vent, l'ombre, rafraîchir, etc.. Ainsi je serai en mesure dans un dernier point de cette partie de dresser un bilan de l'architecture bioclimatique de Pierre Jeanneret, de déterminer l'efficacité ou non de ses bâtiments et d'analyser les correctifs climatiques s'il y a lieu d'être. Il s'agira finalement de déterminer si, encore de nos jours, l'architecture de Pierre Jeanneret est réellement adaptée à son environnement.



[7.] «Storage for cow-dung cakes in an Indian Village», photographie issue du fond d'archives du CCA de Montréal,
© KUMAR (S.).

CHAPITRE A - DES DISPOSITIFS CLIMATIQUES TRADITIONNELS INDIENS AUX THÉORIES MODERNISTES À CHANDIGARH : Contexte conceptuel et Réflexions parallèles

Avant de définir les dispositifs climatiques mis en place par Pierre Jeanneret dans son architecture publique, il est important de remettre le tout dans son contexte. Nous avons vu précédemment le contexte climatique extrême qui s'impose à l'architecte lors de son arrivée en Inde, mais il est nécessaire de comprendre également le contexte théorique qui s'établissait autour de la conception de Chandigarh à l'époque. Nous étudierons donc dans un premier temps, l'architecture vernaculaire des plaines du nord indienne, que Pierre Jeanneret a pu découvrir lors de séjours en Inde et dans la campagne environnante de Chandigarh. Puis nous aborderons la réflexion climatique de Le Corbusier au travers de la pensée urbaine, mais aussi à l'échelle architecturale avec sa «*grille d'hygiène climatique*»; ainsi que celle de Maxwell Fry et Jane Drew au travers de leur ouvrage *Tropical Architecture*. Enfin, nous retracerons rapidement les acquis climatiques de Pierre Jeanneret au travers de son architecture domestique avec la retranscription de deux mémoires d'étudiantes.

1. Dispositifs vernaculaires et pratiques culturelles dans l'architecture traditionnelle indienne

Afin d'aborder le vaste sujet de l'architecture vernaculaire au sein de la civilisation indienne, j'exploiterai les recherches et les conclusions de deux ouvrages:

BORIE (A.) - CATALAA (F.) - Papillault (R.), *Jaipur - Ville nouvelle du Vingtième siècle au Rajasthan*

COOPER (I.) - DAWSON (B.), *Traditional Buildings of India*

Par l'état de l'art de ces écrits, il s'agit au cours de cette partie de définir les grands dispositifs climatiques qui régissent l'architecture vernaculaire indienne, et plus particulièrement celle des plaines nord-ouest.

«*India's traditional architecture has evolved within these constraint : it may be defined as architecture without architects (...) that it is the product of well tried local craftsmen raised in the use of local materials to comfort local social and environmental conditions.*»²⁰

La définition littéraire du terme vernaculaire désigne ce qui est propre à un pays, à ses habitants.²¹ L'architecture vernaculaire peut donc se définir par une architecture réalisée par des artisans locaux, sans l'intervention d'architecte, au sens savant du terme. En

20. COOPER (I.) - DAWSON (B.), *Traditional Buildings of India*, p. 10.

21. Définition réalisée à l'aide du dictionnaire en ligne du Centre National de Ressources Textuelles.



[8.] «A bamboo paddy thatched house. Eastern Gujarat», photographie issue du *Traditional Buildings of India*, p. 39.



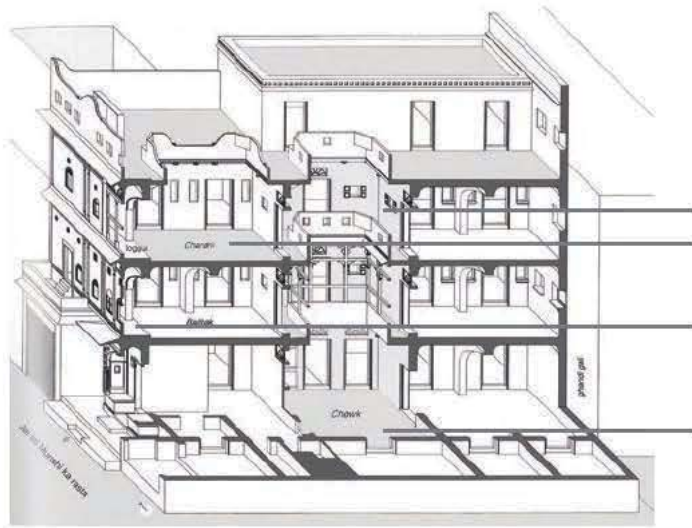
[9.] Maison traditionnelle dans un village indien proche de Jaisalmer.

hindi, on peut nommer cette typologie d'architecture par le terme *Kachha*, qui signifie littéralement brute, incomplète, inaboutie. Elle est généralement construite de matériaux locaux et peu pérennes, car elle représente historiquement une tendance d'architecture nomade, et donc éphémère. A l'opposé, en relation avec le phénomène de sédentarisation, on voit se développer une architecture traditionnelle plus durable, désignée en hindi par le terme *Pukka*. Ce type de construction est réalisé avec des matériaux plus résistants aux conditions environnementales afin d'offrir une stabilité aux usagers dans le temps.

Dans un cas comme dans l'autre, éphémère ou pé-

renne, l'architecture peut faire partie du registre du vernaculaire car elle se développe hors des pensées théoriques, des pensées urbaines, en harmonie avec le contexte local: géographique, topographique, climatique; ainsi qu'avec les usages et coutumes locales. L'architecture *Kachha* est néanmoins un témoin plus révélateur des traditions vernaculaires indiennes, car, par l'utilisation économique de matériaux locaux dits pauvres, elle est historiquement l'architecture des premières civilisations ayant occupé ce territoire.

Maintenant que nous avons défini l'architecture vernaculaire, nous allons nous intéresser plus précisément



Vedi
Chandni
Jharokha
Chowk

[10.] «Bai Ram ji ki haveli (relevé n°10), coupe axonométrique», dessin issu de *Jaipur - Ville nouvelle du XVIIIème siècle au Rajasthan*, p. 125.

aux dispositifs urbains, architecturaux et techniques qui peuvent la définir. Dans l'ouvrage *Traditional Buildings of India*, nous utiliserons les chapitres *Materials and Constructions Techniques et The Northern Plains*²², alors que dans *Jaipur - Ville nouvelle du XVIIIème siècle au Rajasthan*, nous nous focaliserons sur le chapitre *Typologie des maisons et des haveli*²³, qui s'intéresse au cas précis des haveli. Les haveli sont d'«anciennes demeures de familles de commerçants ou de notables dans les villes indiennes»²⁴, sous forme de «maison à cour qui logeait les membres d'une famille élargie, et certains de leurs servants»²⁵. Alain Borie définit les haveli selon trois principes récurrents²⁶ qui créent une homogénéité architecturale, malgré la grande variété de maisons construites durant les époques:

- l'espace distributif principal: la cour, *chowk* en hindi;
- les trois espaces habitables de base: le *kamra*: pièce close et couverte; le *tibara*; pièce ouverte et couverte; et le *chandni*, espace clos et découvert;
- les deux éléments rapportés en façade; les *jharokha* sur rue et les *vedi* sur cour.

«Dans le terme haveli, on peut retrouver la racine «hava» ou «hawa» qui est le mot hindi pour désigner le vent. Même si l'étymologie n'est pas certaine, on peut croire qu'une haveli est avant tout un lieu où l'on peut prendre le vent.»²⁷

Les conditions environnementales extrêmes de Jaipur dans ce cas d'études, mais généralement de l'Inde ont conduit les architectes, artisans, usagers et autres acteurs de la construction d'espace, a développé «une climatisation passive du bâtiment»²⁸, par de savants dispositifs urbains, architecturaux, techniques ou alors usuels.

22. *Traditional Buildings of India*, p. 9 à 40 et 61 à 68.

23. *Jaipur - Ville nouvelle du XVIIIème siècle au Rajasthan*, p. 98 à 194.

24. *Ibid*, p.98.

25. *Ibid*, p.98.

26. *Ibid*, p.178.

27. *Ibid* p.180.

28. *Ibid* p.93.

LE CONTEXTE URBAIN

L'environnement physique proche d'un bâtiment est un composant primordial à prendre en compte dans l'efficacité climatique d'un bâtiment. En effet, face à un climat tropical, trois données régissent entièrement la notion de confort, les variations de température d'une part, le taux d'humidité de l'air, et enfin la direction et intensité des vents.

«In these hot countries a house is considered beautiful if it be capacious, and if the situation be airy and exposed on all sides to the wind, especially the northern breeze.»²⁹

L'efficacité climatique démarre donc dès l'échelle urbaine, avec la trame de la ville, son espacement, son orientation, qui créent soit un espace clos, sans lumière, ni air, soit une ville aérée profitant d'une bonne circulation de l'air, avec une exposition solaire plus ou moins adaptée. Alors qu'il est primordial de favoriser la circulation d'air en orientant et en aérant au maximum la trame urbaine, il est plutôt avantageux de profiter des masques solaires des autres bâtiments pour se protéger du rayonnement du soleil, ce qui est plutôt contradictoire. Il s'agit alors de trouver l'équilibre entre les deux.

«CHOWK»: LA MAISON À COUR

« An architectural northern indian town house is chawkband (cour) [...] The concept of the courtyard, an enclosed private space open to the sky, is basic to indian urban housing.»³⁰

La maison à cour est donc une typologie de bâtiments très présente dans l'architecture vernaculaire indienne, tant pour l'exemple précis des *haveli*, que pour des constructions plus populaires. En hindi, la cour intérieure est désignée par le terme *chowk*, qui signifie le carrefour, la place ou bien la cour. Cette pluralité de significations indique déjà l'ambiguïté quant à l'usage de cet espace.

Il faut distinguer la maison «avec cour» qui n'a pour



[11.] «Ramchandra Aggarwal *haveli* (relevé n°34), coupe axonométrique», dessin issu de *Jaipur - Ville nouvelle du XVIIIème siècle au Rajasthan*, p. 109.

29. *Traditional Buildings of India*, p. 18.

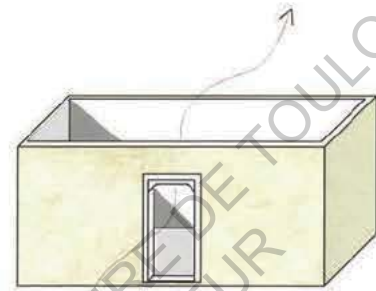
30. *Ibid* p.71.

fonction que l'éclairage et la ventilation, de la maison «à cour» qui a un rôle distributif et usuel essentiel. Dans le second cas, l'espace est pleinement habité et utilisé, car elle représente un espace de respiration dans un tissu urbain extrêmement dense. Il s'agit donc du poumon de la maison, d'où l'appellation traditionnelle d'espace de Brahma, vide d'où le souffle de la vie peut jaillir.

CHANDNI: LA COUR SURÉLEVÉE

De manière analogue au dispositif de cour, le *chandni* est une caractéristique de la conception des *haveli*, mais présente également un réel intérêt climatique. Il s'agit en effet d'une cour, mais cette fois-ci suspendue dans les étages de l'habitation. Le *chandni* représente une travée close verticalement, mais découverte horizontalement afin de capter air et lumière. L'étymologie de ce terme hindi nous permet d'appréhender un peu mieux la fonction et l'usage de ce lieu. En effet, *chand* signifie lune en hindi, il s'agit donc d'un lieu où l'on peut profiter de la fraîcheur nocturne durant les saisons chaudes. Dormir sur les toits fait partie des usages traditionnels en Inde, car on cherche la fraîcheur et lorsque les températures atteignent des maximales durant la saison estivale.

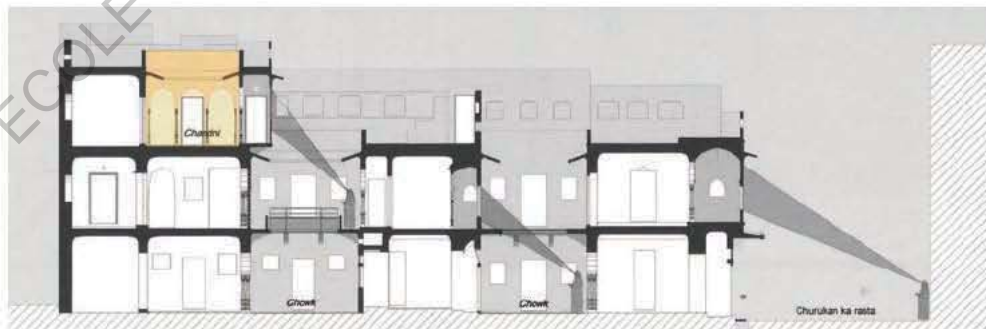
La composition des *haveli* avec leurs nombreuses *chowk* et *chandni* permet donc de créer des espaces de dilatation et des respirations dans cette forme monolithique de base. Ainsi, on multiplie les possibilités d'éclairage et de ventilation, tout en préservant l'intimité des habitants et en offrant des lieux aux usages vernaculaires.



[12.] «Schéma d'un *chandni* - Espace découvert», dessin issu de *Jaipur - Ville nouvelle du XVIIIème siècle au Rajasthan*, p. 123.



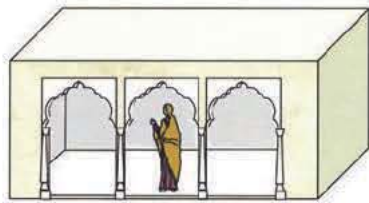
[13.] «Kashliwalji ki *haveli*, intérieur du *chandni* axial du premier étage, au fond du *zenana*», photographie issue de *Jaipur - Ville nouvelle du XVIIIème siècle au Rajasthan*, p. 136.



[14.] «Virendra Narayan Paliwal *haveli* (relevé n°15), coupe longitudinale», dessin issu de *Jaipur - Ville nouvelle du XVIIIème siècle au Rajasthan*, p. 126.



[15.] «Tibara, Bhatt Raja ji ki haveli», photographie issue de *Jaipur - Ville nouvelle du XVIIIème siècle au Rajasthan*, p. 123.



[16.] «Schéma d'un tibara - Espace ouvert latéralement», dessin issu de *Jaipur - Ville nouvelle du XVIIIème siècle au Rajasthan*, p. 123.

TIBARA: LA VÉRANDA

« Almost all the daily ritual takes place outside(...) in the shelter of the verandah »³¹

Dans la composition des travées des *haveli*, on trouve trois typologies d'espace:

- les *kamra*: qui sont des pièces closes et couvertes;
- les *chandni*, décrits précédemment;
- et enfin les *tibara*, qui sont littéralement des portiques, ou des «verandahs» selon le terme hindi puis intégré à l'anglosaxon.

Le *tibara* est donc un espace couvert, en partie clos, mais une façade de la pièce est ouverte par des arcades sur l'extérieur. Dans une *haveli* traditionnelle, cet espace extérieur est en réalité une *chowk* ou un *chandni* dans la coutume de préservation de l'intimité. Le *tibara* forme donc un portique couvert, desservant différentes pièces, mais constituant une pièce de vie pour les habitants, il ne s'agit pas d'une simple circulation.

Le *tibara* présente un réel intérêt climatique, car il crée à la fois un espace couvert donc protégé du rayonnement solaire ou des pluies de mousson, mais de part l'ouverture d'une façade, l'espace est entièrement ventilé naturellement.

31. Ibid p.64.

JHAROKHA: LA FAÇADE LÉGÈRE

Les *haveli* sont construites selon deux principes: une construction lourde formant la trame principale des différentes pièces, et des éléments plus légers venant se rapporter sur les façades extérieures ou intérieures au niveau des cours. Ici, nous développerons le cas des *jharokha* situées en extérieur avant d'aborder dans le prochain point, les *vedi* qui sont les coursives sur cours.

Les *jharokha* forment une épaisseur supplémentaire, rajoutées en console sur la trame courante, et constituent donc une architecture plus aérienne, avec des matériaux plus légers, qui se déploie en porte-à-faux au dessus de l'espace public. Elles sont généralement construites de plaques de grès d'une douzaine de centimètres, percées de petites ouvertures ou de *jali*. Formant une sorte d'alcôves depuis l'intérieur de l'espace, c'est un espace privilégié dans l'usage de la maison, car on peut profiter de la vue et de l'air, sans être vu depuis la rue. En effet, suivant la tradition du *purdah*, les femmes doivent se préserver des vues extérieures, on développe donc une architecture très introvertie, mais avec des façades masquées qui permettent une vue unilatérale, de l'intérieur sur l'extérieur.

«un percement pour la vue, un pour l'éclairage, un pour la ventilation»³²

Le *jharokha* est une façade filtre permettant la vue, la ventilation et l'éclairage, mais par leur fin travail d'ouvertures, et même de sculptures pour les *jali*, elle permet de protéger l'intimité de la maison. Cette épaisseur de façade présente donc un réel intérêt climatique car elle travaille sur la porosité tout en fermant un espace. Sachant que la ventilation et la protection solaire sont des éléments essentiels de l'architecture climatique passive, ce dispositif présente donc une réelle efficacité.



[18.] *Jharokha* - Jodhpur.



[17.] «Joshi haveli, le *jharokha* du *chanani axial*», photographie issue de *Jaipur - Ville nouvelle du XVIIIème siècle au Rajasthan*, p. 154.

32. *Jaipur - Ville nouvelle du XVIIIème siècle au Rajasthan*, p.156.



[19.] «Pandit Shiveen haveli, vedī du premier étage», photographie issue de *Jaipur - Ville nouvelle du XVIII^{ème} siècle au Rajasthan*, p. 160.



[20.] «Terrasse et chandni dans le quartier de Modikhana», photographie issue de *Jaipur - Ville nouvelle du XVIII^{ème} siècle au Rajasthan*, p. 150.

VEDI: LA COURSIVE SUR COUR

De manière totalement analogue, les *vedi* se déploient autour des cours intérieures. Il s'agit également de façades légères rajoutées en consoles sur la trame principale, en porte-à-faux sur l'espace de la cour. Ces couronnes sont des coursives de distribution permettant de desservir tous les espaces de la *haveli*.

Outre l'intérêt circulatoire, les *vedi* présentent un intérêt climatique pour le bâtiment, car elles ne sont pas closes, elles permettent donc de poursuivre l'action climatique de la cour en apportant air et lumière. Leurs façades intérieures peuvent également être support pour des tentures ou des stores, permettant de se protéger du soleil et de préserver l'intimité. Ces protections solaires peuvent également former un dispositif rafraîchissant l'air, ce que nous développerons dans une prochaine partie.

LE TOIT-TERRASSE

«The flat roof is an important space, cool in summer nights, where the family socialize and sleep.»³³

De la même manière que le *chandni*, le toit est un lieu essentiel dans la vie familiale, puisque durant la saison estivale, lorsque les températures atteignent des extrêmes, on sort dormir sur les toits la nuit afin de profiter pleinement de la fraîcheur nocturne. Les espaces internes ayant, malgré la ventilation et la protection, tout de même emmagasiné de la chaleur, le temps que le déphasage des matériaux s'effectue, les habitants peuvent aller profiter directement de la fraîcheur en extérieur.

Le toit ne constitue donc pas réellement un dispositif climatique, mais il fait partie intégrante des usages et coutumes vernaculaires qui se sont développés pour améliorer le confort face à de difficiles caractéristiques environnementales. On peut également y retrouver des *barsati*, qui sont des pièces supplémentaires, destinées à l'hébergement des servants, ou alors de simples pièces pour faire la sieste durant la journée, abritées et protégées du soleil, mais ventilées.

33. *Traditional Buildings of India*, p.74.

TEH KHANA: LE SOUS-SOL

« *A teh khana (...) is sunk well into the earth, retaining a temperature little affected by external fluctuation.* »³⁴

A l'opposé du toit en terme d'altimétrie de coupe, on peut retrouver la présence de *teh khana*, qui est un sous-sol ou une cave, qui est donc enterré par définition. Cette situation d'enfouissement permet à ces espaces de conserver des températures faibles malgré les variations extérieures. En dépit d'un éclairage inexistant de cet espace, on peut y retrouver un peu de fraîcheur et au moins stocker des jarres d'eau ou des réserves d'alimentation. Tout comme le toit, le *teh khana* n'est pas un dispositif climatique à part entière, mais est essentiel dans l'usage vernaculaire des espaces.

CHAJJA: LA CASQUETTE BRISE-SOLEIL

« *Broad chajjas (eaves) project over external and courtyard walls, shading them from the sun, and deflecting monsoon downpours from the fabric of the building.* »³⁵

Le *chajja* est un composant remarquable de l'architecture indo-moghole. Il s'agit d'une corniche en saillie du mur, permettant de protéger une ouverture des nuisances du rayonnement solaire, ou bien de la pluie. Bien qu'ayant un fort intérêt pour l'esthétique de la façade, ce débord permet de déporter le rayonnement des ouvertures ou façades, diminuant donc le stockage de chaleur des matériaux. De plus, il permet de repousser l'écoulement de la pluie des façades, limitant ainsi l'altération des matériaux qui pourrait se créer suite au ruissellement de l'eau. Ce dispositif, ancêtre du brise-soleil moderniste, révèle donc un intérêt essentiel dans l'efficacité climatique d'une façade, et plus généralement d'un bâtiment.

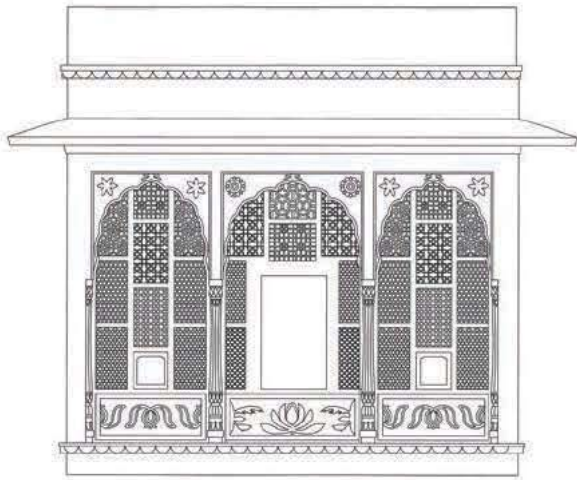


[21.] *Chajja* - Jodhpur.

34. Ibid., p.18.

35. Ibid.

[23.] *Jali* - Tombeau de Shaikh Salim Chisti - Fatehpur Sikri.



[22.] "Virendra Narayan Paliwal *haveli* (relevé n°15), détail du *jali* sur la rue", dessin issu de *Jaipur - Ville nouvelle du XVIIIème siècle au Rajasthan*, p. 150.

JALI: MAILLE SCULPTÉE

«Les *jali*, magnifiques parois ajourées à des motifs floraux ou géométriques, dissimulent les femmes depuis l'espace public tout en leur permettant de surveiller le va-et-vient.»³⁶

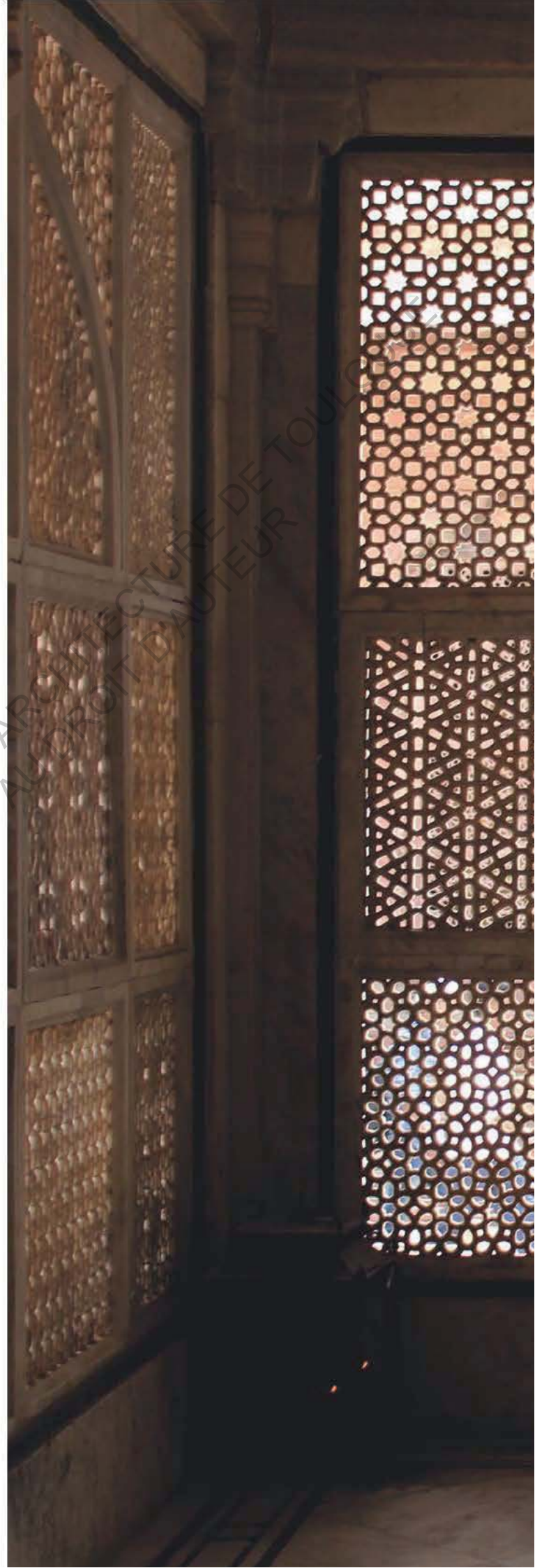
Le *jali* peut être formé de fins écrans de pierre ajourés³⁷ ou bien de claustras de briques³⁸, formant une paroi filtre entre l'intérieur et l'extérieur d'un bâtiment. La porosité de ce dispositif permet le passage de la lumière, mais aussi, et surtout, de l'air, favorisant la ventilation traversante des espaces. Selon la finesse du travail d'ajourement, l'intimité des habitants est plus ou moins préservée, respectant ainsi la tradition moghole du *pardah*.

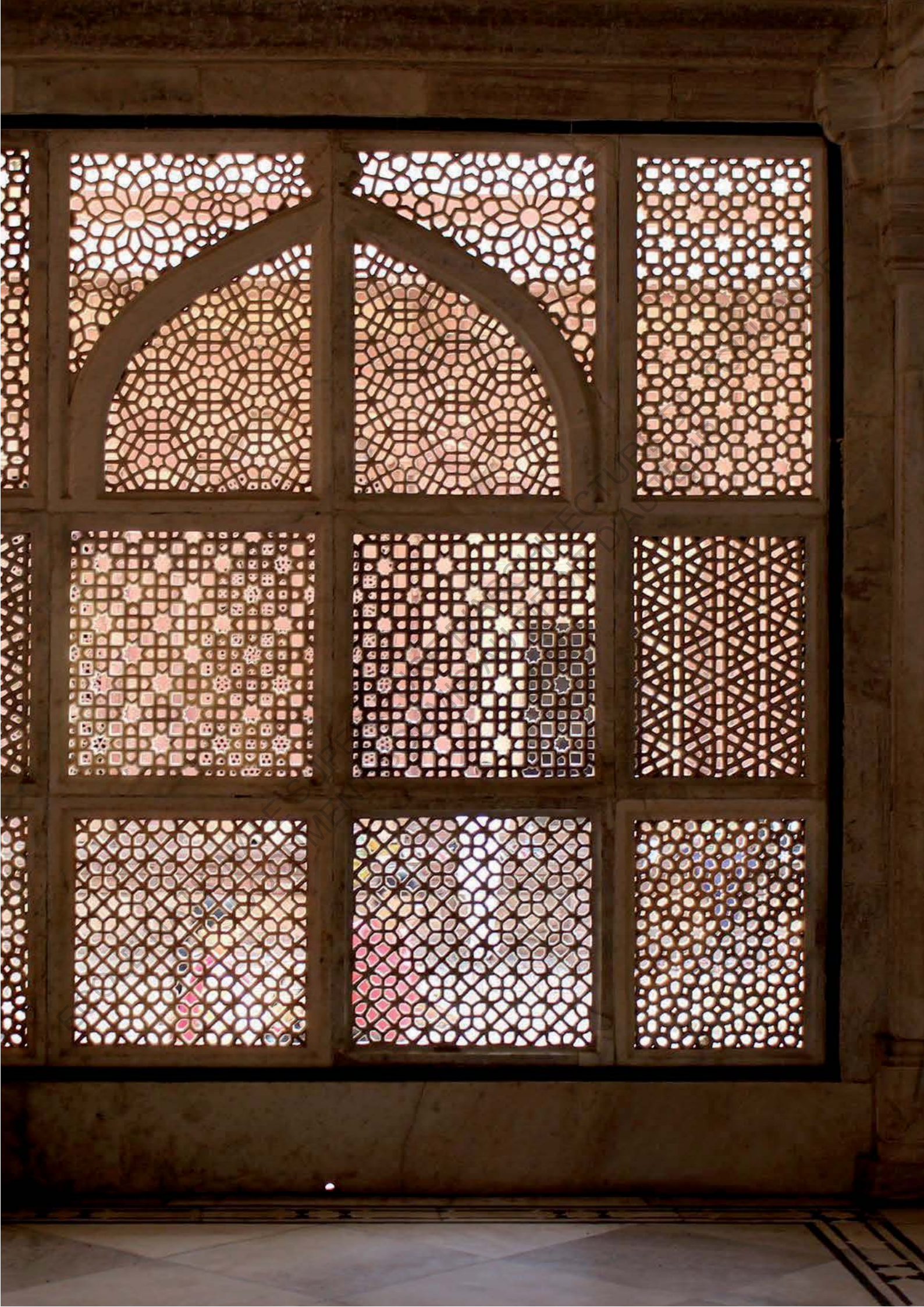
Que ce soit par l'ingéniosité d'une composition de claustra de briques ou bien d'une riche sculpture de pierre, de marbre ou de grès, le *jali* est donc un dispositif esthétique représentatif de l'architecture vernaculaire indienne, mais il présente également une efficacité climatique permettant l'amélioration du confort interne d'un bâtiment.

36. *Jaipur - Ville nouvelle du XVIIIème siècle au Rajasthan*, p.202.

37. *Traditional Buildings of India*, p.16.

38. *Ibid.*, p.25.





VENTILATION TRAVERSANTE

«*Windows are plentiful but unglazed to allow efficient ventilation, closed instead by wooden shutters.*»³⁹

Que ce soit par la conception des *chowk*, *tibara*, *chandni*, des façades *jharokha* ou par le détail des *jali*, l'architecture vernaculaire indienne investit la problématique de la porosité des façades. Il faut à la fois que celles-ci remplissent leur rôle protecteur et sécuritaire, qu'elles autorisent un éclairage suffisant, tout en se protégeant des rayonnements solaires trop agressifs, mais avant tout, elles doivent laisser passer l'air. Lorsque les températures augmentent pour atteindre parfois les 45°C, ou que le taux d'humidité est de cent pour cent durant la mousson, la ventilation est primordiale pour améliorer le confort des usagers: c'est un composant essentiel de la conception climatique d'un bâtiment.



[24.] "Virendra Narayan Paliwal *haveli*, *jharokha* sur le *chandni axial*", photographie issue de *Jaipur - Ville nouvelle du XVIIIème siècle au Rajasthan*, p. 126.

PROTECTION SOLAIRE MOBILE

«*Screens made from dried *klus* grass roots were hung in the front of window and door openings and frequently wetted. The draught passing through these wet screens was cooled.*»⁴⁰

Ajoutés au travail des façades poreuses, des éléments de protection solaire mobiles peuvent se rajouter pour compenser d'hypothétiques dysfonctionnements de surexposition par exemple. Un dispositif vernaculaire consiste à suspendre des rideaux, tentures ou stores de fibres végétales aux ouvertures et aux arcades des *tibara* afin de protéger les habitants des surchauffes solaires. Les habitants humidifient également ces protections afin que l'air chaud pénétrant de l'extérieur se rafraîchisse selon le principe d'évaporation, dispositif récurrent dans tous les pays chauds, parfois sous formes de cruches d'eau.

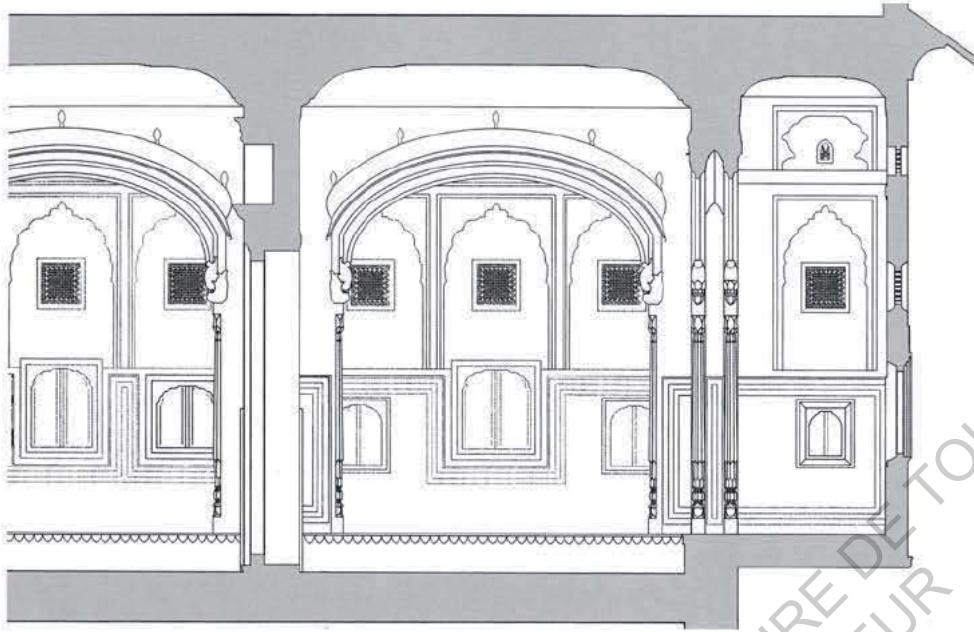
C'est donc l'investissement des usagers dans la pratique des espaces qui rend l'architecture vernaculaire indienne, bien plus savante qu'une architecture non investie, car les habitants instaurent des pratiques culturelles ancestrales et économiques.



[25.] "Bamboo Screen - Chic - A pair of screens, made from very fine bamboo splints, with each splint individually wrapped in silk yarn." - Fort de Jodhpur.

39. Ibid., p.18.

40. Ibid., p.19.



[26.] "Jai Singh minister haveli (relevé n°28), coupe sur les jharokha du grand mahal", dessin issu de Jaipur - Ville nouvelle du XVIIIème siècle au Rajasthan, p. 156.



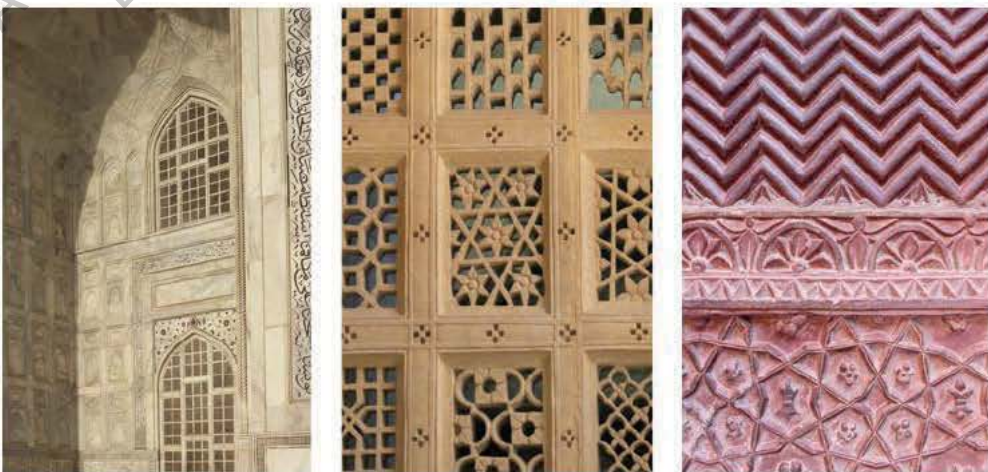
[27.] "Choturam ji ki haveli (relevé n°28), jharokha à jali", photographie issue de Jaipur - Ville nouvelle du XVIIIème siècle au Rajasthan, p. 152.



[28.] "Constructing the wall of a Rajasthani jhonpri or hut", photographie issue de *Traditional Buildings of India*, p.23.



[29.] "A Rajasthani open brick-kiln. Sun dried bricks.", photographie issue de *Traditional Buildings of India*, p.26.



[30.] Marbre blanc du Taj Mahal - Agra / Grey sableux du temple jaïn Chandraprabhu - Jaisalmer / Grey rouge du palais de Jodh Bai - Fatehpur Sikri.

ÉPAISSEUR DES PAROIS ET MATÉRIALITÉ

«*Temperature extremes call for thick insulating walls and roofs to maintain a comfortable internal environment.*»⁴¹

Malgré un travail de porosité pour favoriser la ventilation traversante, la conception architecturale dans un climat tropical aux températures estivales extrêmes entraîne la réalisation de bâtiments assez introvertis, avec un travail sur l'épaisseur de l'enveloppe. En effet, pour se protéger des chaleurs, une construction lourde avec une forte épaisseur de matériaux protège l'intérieur du bâtiment d'importantes variations de température qui pourraient se produire entre le jour et la nuit. La dérive de ce type de conception est la création d'espaces très sombres, avec de faibles ouvertures sur l'extérieur qui n'ont alors pour unique fonction que la ventilation.

L'architecture vernaculaire indienne, qui se trouve pleinement dans l'architecture dite *Kaccha*, est construite de matériaux peu coûteux, et surtout locaux que l'on peut trouver sans difficulté. La résultante est l'utilisation de matériaux peu altérés, manufacturés, c'est-à-dire qu'ils sont utilisés presque à l'état brut. La palette de matérialité investie par l'architecture vernaculaire est assez large, surtout s'il s'agit de *Kaccha* ou de *Pukka*, et donc suivant les ressources financières disponibles.⁴²

Le terre est un matériau important dans le registre vernaculaire. Crue, séchée ou cuite, la terre peut être extraite directement du site même de construction. Dans un style purement vernaculaire, presque au sens nomade du terme, la civilisation indienne a développé de nombreuses formes architecturales de bâtiments, de logements, au travers de la terre crue. Elle peut être utilisée brute, ou alors mélangée à de la matière fécale bovine, de la paille ou des gravats afin de lui donner plus de rigidité suivant le besoin. Les parois de terre crue doivent tout de même être protégées du contact avec l'eau, qui viendrait l'éroder et la fragiliser en cas de contact trop important. Pour cela, il faut donc prévoir des soubassements et des débords de

toit permettant la protection contre le ruissellement ou les remontées par capillarité de l'eau.

La civilisation Harappan qui évoluait entre 5000 av. JC et 1900 av. JC dans la vallée de l'Indus s'est retrouvée confrontée aux cycles d'inondation répétitifs et singuliers des vallées fluviales, elle a donc développé de nouvelles utilisations de la terre. D'abord séchée au soleil dans des moules, puis cuite dans des fours, cette civilisation a accru les propriétés de la terre en terme de résistance vis-à-vis des contraintes climatiques. Ce nouveau matériau, plus résistant dans le temps, est toujours aussi facile d'accès tant économiquement que géographiquement.

Pour des réalisations plus riches, souvent issues du registre sacré ou royal, l'utilisation de matériaux plus nobles apparaît comme l'utilisation de la pierre ou du marbre. Ceux-ci sont moins présents dans les vallées alluviales et nécessitent donc d'être acheminés sur de plus grandes distances, impliquant un coût plus important. Bien que pouvant être utilisée à l'état brut, la pierre nécessite une main d'œuvre importante et difficile, ce qui explique sa faible utilisation dans le domaine domestique, et donc plutôt pour des bâtiments monumentaux. Chaque région exploite des pierres différentes, comme le grès rouge à Jodhpur, le grès sableux à Jaisalmer, etc. Le marbre est lui exploité pour des réalisations exceptionnelles, sacrées par exemple, avec le temple Jain de Ranakpur par exemple, ou le fameux Taj Mahal.

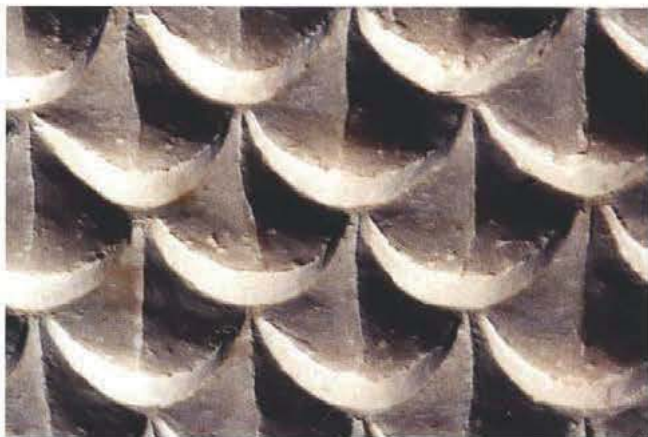
Le bois, quant à lui, fut un des premiers matériaux utilisés lors des constructions vernaculaires, cependant, trop exploité, il est devenu petit à petit un matériau plus rare et donc plus cher, la surexploitation ayant engendré des problèmes d'érosion dans les zones déforestées. Le bois, dans sa grande polyvalence, peut à la fois être un élément structurel, tout comme il peut servir d'éléments de décoration jusqu'au mobilier.

41. Ibid., p.21.

42. Pour ce chapitre autour des matérialité, j'utilise le chapitre *Materials and Construction techniques* de *Traditional Buildings of India*, p.21 à 40.



[31.] "Rampe d'eau, palais d'Amber", photographie issue de *Jaipur - Ville nouvelle du XVIIIème siècle au Rajasthan*, p. 207.



[32.] "Travail contemporain d'une rampe d'eau en grès, fabriqué près de Jaipur", photographie issue de *Jaipur - Ville nouvelle du XVIIIème siècle au Rajasthan*, p. 207.

L'EAU

Comme nous l'avons vu précédemment l'utilisation de l'eau fait partie des pratiques traditionnelles indiennes, notamment sur l'humidification de stores pour le rafraîchissement de l'air. On peut noter également un autre dispositif profitant des propriétés de l'eau, mais qui sort un peu du registre vernaculaire par son lieu d'exploitation. On peut définir le vernaculaire par l'appartenance à une civilisation, à un groupe d'hommes, cela peut donc se questionner si cela se limite à une catégorie de civilisations. Ici, je veux parler d'un dispositif qui se limitait au palais et riches demeures, excluant donc une masse populaire d'accès à cette ressource climatique. L'eau est un élément rare en Inde, pays chaud et très peuplé, il est bon d'économiser au maximum cette ressource. Néanmoins, dans les palais, on l'utilisait pour rafraîchir l'air par des fontaines. Des plans inclinés, sculptés en écailles de poissons, recevaient des filets d'eau, qui par leur dévalement et ruissellement permettaient de rafraîchir l'air.⁴³

MOBILIER

«*The charpoy functions both as a bed and bench. A charpoy is a common furniture. It has a wooden frame over which a lattice of twine and cotton tape is tied.*»⁴⁴

Toujours dans l'utilisation de coutumes traditionnelles, la problématique du mobilier a également été investie comme dispositif climatique. Le *charpoy* est un lit traditionnel, encore très courant aujourd'hui. Il s'agit d'une structure de bois, sur lequel des rubans de coton ont été tressés en treillis. Ce quadrillage permet à la fois d'assurer le maintien d'une personne en position allongée ou assise, mais par les mailles creuses, l'air passe au travers. Par conséquent, même en position allongée, le corps est ventilé, ce qui évite des situations d'inconfort nocturne, ou lors des siestes par exemple, lorsque la peau ne peut pas respirer sur un matelas classique.

43. *Jaipur - Ville nouvelle du XVIIIème siècle au Rajasthan*, p.207.

44. *Traditional Buildings of India*, p.64.



[33.] Un indien sous un lit charpoy lui servant de parasol, photographie issue du fond d'archives du CCA de Montréal, ©MOHR (J.).





[34.] Habitat indien traditionnel, photographie issue du fond d'archives du CCA de Montréal, photographe inconnu.

ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

Durant son expérience en Inde, et plus particulièrement lors de séjours dans la campagne environnante de Chandigarh, Pierre Jeanneret découvre l'architecture vernaculaire indienne. Nous disposons d'ailleurs de nombreuses photographies d'archives⁴⁵, qui montrent l'intérêt particulier que Pierre Jeanneret portait aux coutumes et traditions locales, notamment en terme de construction.

45. CCA Montréal.



[35.] Le Corbusier, photographie issue du fond d'archives du CCA de Montréal, ©JEANNERET (P).

2. Théories corbuséennes : de la pensée urbaine à la grille d'hygiène climatique et ses solutions architecturales

«Le jeu des saisons apportera une gamme nuancée de bienfaits et de méfaits: au solstice d'hiver, le soleil est bas sur l'horizon et ses rayons sont bienvenus à l'intérieur du logis où ils réchauffent moralement et physiquement; les mi-saisons, printemps et automne, se satisferont fort bien d'un soleil doux à la créature. Mais le solstice d'été et la canicule avec ses températures intenable ont fait du soleil l'ami, un ennemi implacable; à ces heures chaudes, le besoin d'ombre devient impératif.»⁴⁶

La question de l'ensoleillement et de la protection des façades est une réflexion présente dans les écrits et réalisations de Le Corbusier depuis 1928 avec la construction de la maison Carthage, et se poursuivra tout du long de son œuvre avec l'unité d'habitation de Marseille par exemple. Il développe toute une théorie autour du brise-soleil, mais lorsqu'il rencontre le climat de l'Inde, beaucoup plus extrême que ce qu'il a pu connaître auparavant, il doit sortir des réflexions purement théoriques pour entamer une démarche presque scientifique. Face aux écarts climatiques entre les grands froids de la saison hivernale, les grandes chaleurs d'avril, mai et juin, mais aussi l'ambiance humide et pesante de la mousson et une période aux températures plaisantes d'intersaison, Le Corbusier cherche à trouver des dispositions architecturales qui conviennent à ces multiples ambiances.

«Lors de son premier séjour, comme le montrent ses carnets de croquis, (...) les modes d'habiter et les arrangements architecturaux climatiques sont précisément relevés, mesurés: tels les vérandas, les épais murs de terre, les fenêtres de ventilation hautes et basses, les matières végétales des toitures...»⁴⁷

Le Corbusier entame donc sa réflexion climatique au travers de relevés lors de ses séjours en Inde et dans l'environnement proche de Chandigarh. Il note les dispositifs climatiques remarquables notamment la véranda, mais l'assimile pleinement à la compréhension de la culture indienne, de ses coutumes et modes d'habiter locaux. En effet, dans un tel environnement, toute l'organisation de la vie et des usages est conditionnée par le climat et ses variations. Mais Le Corbusier va profiter de ces fortes contraintes climatiques pour démontrer les vertus de l'architecture moderne dans un climat difficile, en adaptant ses théories.

46. LE CORBUSIER, «Problème d'ensoleillement – Le brise-soleil», *Oeuvre Complète 1938-1946 (Volume 4)*, p.104.

47. PAPILLAULT (R.), «Maison des Péons», *DVD - Volume 11*.

ARBORISATION

«Il faut planter des arbres! [...] Le phénomène gigantesque de la grande ville se développera dans les verdureuses joyeuses.»⁴⁸

Tout d'abord, selon la doctrine de «Soleil, Espace, Verdure» énoncée lors des CIAM de 1933, le mouvement moderne établit que la présence d'importantes masses végétales en ville est fondamentale, et ce dans une certaine continuité des théories hygiénistes du début du 19^{ème} siècle. Le Corbusier fait une critique cinglante des politiques urbaines adoptées par la ville de Paris dans son ouvrage *Urbanisme*, ne jugeant pas le parti pris assez fort pour résoudre les maux qui sont à l'origine de sa congestion. Néanmoins, on ne peut nier le fait que ses théories s'inscrivent dans une certaine continuité avec les travaux d'Hausmann par exemple, même s'il intervient de manière encore plus radicale. Revenons donc sur le mouvement hygiéniste et les grands travaux de Paris, qui sont pour moi, une source de réflexion pour Le Corbusier.

«[...] Tels sont les procédés à l'aide desquels il a été possible de doter Paris des plantations qui constituent aujourd'hui l'un de ses principaux ornements, et qui contribuent puissamment à l'agrément et à la santé des habitants.»⁴⁹

Suite au développement de l'Art des Jardins et de l'horticulture au cours du XIX^{ème} siècle, les notions de végétation et de paysage adoptent une nouvelle dimension à cette époque, notamment au travers des travaux d'Hausmann, théorisé par Adolphe Alphand dans son ouvrage *Les Promenades de Paris*.⁵⁰ Les grandes villes et la théorie des systèmes de parcs structurant l'ensemble est une idée fondatrice de ce nouveau mouvement d'urbanisme, qui cherche à relier des parcs, des espaces verts par un réseau d'espaces libres, les avenues et les promenades. La première fonction mise en avant par Alphand est l'intérêt esthétique de l'utilisation de la végétation en ville. Mais outre cette fonction décorative, l'ingénieur

développe pour la première fois de nouvelles théories valorisant d'autant plus le travail de paysage. Il met ainsi l'accent sur les vertus environnementales et sanitaires, ainsi que sur la fonction climatique.

«Elles [les plantations] sont indispensables pour renouveler l'air vicié d'une grande cité, en absorbant l'acide carbonique, qu'elles décomposent et transforment en oxygène. (...) Ils [les ingénieurs du service municipal] ne tenaient pas assez compte de l'influence heureuse de leur feuillage sur la salubrité des villes, ni du bien-être que sa protection assure contre les ardeurs du soleil.»⁵¹

Alphand et Hausmann innoveront à cette époque, en allant au-delà de la simple fonction du «beau», mais en introduisant l'idée de vertus environnementale, climatique et sanitaire que la végétation peut avoir sur nos villes qui étaient alors en pleine révolution industrielle. En développant ces nouvelles théories, Alphand et Hausmann ouvrent ainsi de nouvelles considérations, qui ont été d'importantes sources d'inspiration et de réflexion pour les générations suivantes.

La présence de la végétation est une réflexion présente dans les théories de Le Corbusier bien en amont de la conception de Chandigarh. «Soleil, Espace, Verdure»⁵² : théories déjà appliquées avec la réalisation des unités d'habitation par exemple. Lors du dessin d'urbanisme de Chandigarh, l'architecte introduit donc la notion de «plan d'arborisation» de la ville, dès juillet 1952 avec l'aide German Samper, jeune architecte colombien de l'agence de la rue de Sèvres. Ses expériences et recherches antérieures, ainsi que sa récente visite de New Delhi, l'ont en effet convaincu de la nécessité d'introduire la végétation dans la conception d'une ville, car celle-ci est un futur vecteur de l'image de la ville: «la sensation d'urbanité de la ville moderne réside dans la disparition du bâti dans la végétation».⁵³

Le plan d'arborisation détermine donc les types de plantation suivant le type de la voie de circulation, ce qui

48. LE CORBUSIER, *Urbanisme*, p.70-71.

49. ALPHAND (A.), *Les Promenades de Paris*, p.244.

50. Ibid.

51. HAUSSMANN (G.E.), *Mémoires*, p. 942-943.

52. IV^e Congrès International d'Architecture Moderne (CIAM) en 1933.

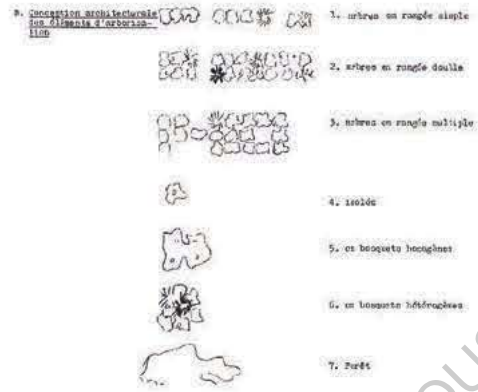
53. PAPILLAULT (R.), «Arborisation», *DVD - Volume II*

apporte une certaine cohérence à la ville, bien en amont de toutes constructions de bâtiments. Les essences sont sélectionnées selon leur forme, leur hauteur, leur rythme de croissance (rapide ou lente), leurs fleurs et feuillages, caduque ou permanent, dense ou clairsemé, plantations en alignement (simple, double ou multiples), isolés, bosquets homogènes ou hétérogènes, ou en forêt.⁵⁴ Néanmoins, ces études d'arborisation s'intéressent exclusivement aux voies de circulation, et plus spécifiquement à l'aménagement paysager du Capitole. Malgré la vision sélective du plan d'arborisation pensé par Le Corbusier et ses collaborateurs, ils ouvrent la réflexion sur l'intérieur des secteurs en transmettant ses recherches à l'équipe des *seniors architects* présents sur place.⁵⁵ Ceux-ci se saisissent du sujet en créant le «*Landscape Advisory Committee*», sous la direction de M. S. Randhawa, botaniste indien, qui va ainsi poursuivre, compléter et affiner, ses esquisses de réflexion pour mener à la ville de Chandigarh actuelle, surnommée «*Ville verte de l'Inde*».

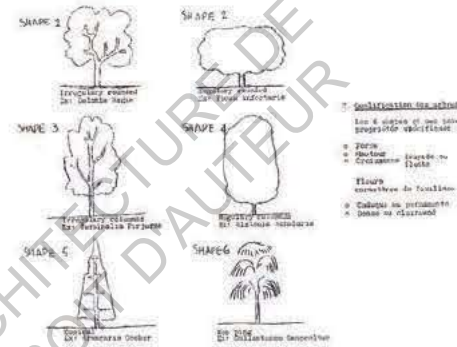
Dans la même continuité idéologique qu'Alphand et Haussmann, Le Corbusier initie donc un nouveau type d'urbanisme en Inde, pays en développement démographique constant, en donnant de l'importance aux espaces libres, à la respiration et donc à la végétation. Bien avant l'explosion des moyens de locomotions motorisés en Inde, Le Corbusier, passionné depuis longtemps par l'automobile et la vitesse, dessine une ville à l'échelle du mouvement et de la rapidité de déplacement, et associe au dessin de la trame urbaine, le dessin d'une trame végétale. Selon moi, cette vision permet aujourd'hui à la ville de Chandigarh de pouvoir absorber, à sa mesure, les pollutions produites par ces nouveaux moyens de transport et ainsi, l'importante masse végétale participe à la réduction de l'îlot de chaleur urbain. Chandigarh adopte ainsi une posture unique en Inde, et ce choix urbanistique et paysager permet aujourd'hui à la ville d'être une des villes les plus salubres et saines du pays.

54. LE CORBUSIER et son atelier rue de Sèvres 35 : «Arborisation de Chandigarh», *Oeuvre Complète (1952-1957) Volume 6*, p.110.

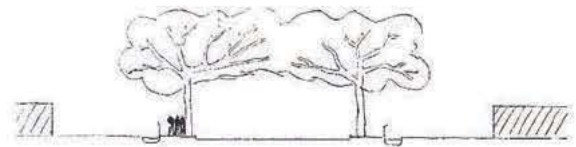
55. LE CORBUSIER, lettre à Jane Drew, 1er Août 1952, FLC, P2.2.9.



[36.] "Les éléments d'arborisation" - *Oeuvre Complète (1952-1957)*, p.110.

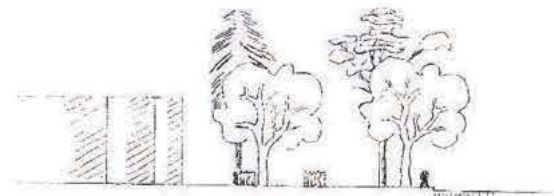


[37.] "Qualification des arbres" - *Oeuvre Complète (1952-1957)*, p.110.



V3 Verticales
 Feuilleillage permanent (pour arrêter le soleil).
 Forme : coupe 2, développement des branches à l'horizontale pour pouvoir laisser en l'air.
 Disposition : rangée double, écartement régulier.

[38.] "Arborisation des V3" - *Oeuvre Complète (1952-1957)*, p.111.



V4
 1) Mélange varié de feuillages caduques pour permettre d'avoir l'ombre en été et le soleil en hiver.
 2) Feuilleillage permanent pour maintenir quelques degrés fixes en hiver.
 Forme : diversité des formes pour obtenir un rayonnement varié avec diversité sur le côté de la coupe, d'un côté de la coupe à l'autre, et horizontalement pour les divers types de formes dans la traversée plus ouverte par la V3 (feuilles caduques, feuilles persistantes, etc.) et un renouvellement de couleur au vent. Hauteur 1, 2, 3, 4.
 Disposition : rangées simples, doubles ou multiples, et quinconces.

[39.] "Arborisation des V4" - *Oeuvre Complète (1952-1957)*, p.111.

LA «GRILLE D'HYGIÈNE CLIMATIQUE»⁵⁶ COMME OUTIL DE RÉFLEXION

Dans cette continuité de réflexion climatique, face aux conditions environnementales complexes, variables et extrêmes, Le Corbusier développe dès 1952, à l'aide d'André Missenard, membre du mouvement hygiéniste, Xenakis et Maisonnier, un nouvel outil méthodologique pour la conception, la grille climatique. Aujourd'hui, on pourrait facilement assimiler cette démarche et ces recherches sous la bannière d'architecture climatique, de démarche de Haute Qualité Environnementale, bien que, comme nous le verrons, les résultats ne furent pas aussi probants qu'espérés. Le Corbusier définit les objectifs de la grille climatique selon ces termes:

«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.»⁵⁷

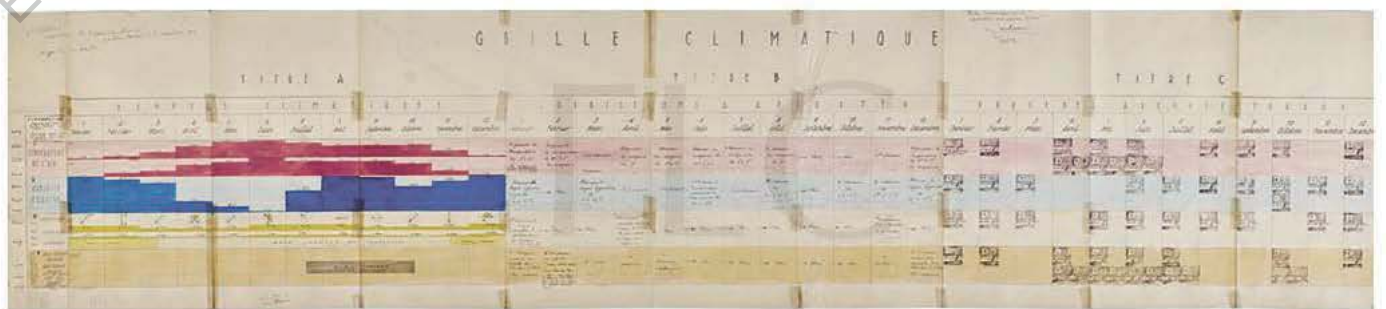
Ce nouvel outil consiste à l'élaboration d'un tableau visant donc à une amélioration du confort biologique de l'Homme. Il est composé de quatre bandeaux horizontaux, ainsi que de trois volets verticaux, eux-mêmes divisés en unité de temps. Ces trois volets verticaux signalent trois

étapes méthodologiques, tout d'abord, le relevé des données climatiques du site, puis l'établissement des conditions optimales à atteindre, et enfin les procédés architecturaux permettant de tendre vers ces conditions optimales dans le contexte climatique donné.

Le premier volet vise donc aux relevés des «conditions d'ambiance» au travers d'unité de temps, annuelle, journalière ou momentanée. Le premier bandeau relève les températures de l'air visant à appréhender les variations au cours du temps, le second note le taux d'humidité relatif de l'air, alors que les deux derniers bandeaux examinent le vent (direction, vitesse et température) ainsi que le rayonnement thermique et le taux de radiation. Ainsi on arrive facilement au repérage des points critiques où l'Homme se situe dans une situation d'inconfort. Le second volet, appelé «corrections en vue de confort et du bien-être» vise à corriger cela en tirant les conclusions de ces relevés en vue d'atteindre un niveau de confort et de bien-être optimal, selon les différentes conditions climatiques. Il constitue donc la source du programme motivant l'intervention d'un architecte. Et enfin le dernier volet «solutions architecturales» définit les moyens à mettre en œuvre pour atteindre cet objectif optimal. Il préconise des dispositifs architecturaux précis et adaptés à chaque situation critique en vue de correction d'une situation d'inconfort, c'est la transcription d'un besoin biologique par un document graphique, menant à une solution constructive concrète.

56. Lettre de Le Corbusier à Jane Drew, 21/12/1951, FLC P2-1-9.

57. LE CORBUSIER, *Oeuvre Complète 1952-1957 (Volume 6)*, p. 108.



[40.] "Grille climatique", FLC 5623.

Nous allons plus précisément nous intéresser à ce dernier volet des solutions architecturales, cela représentant concrètement les dessins témoignant des recherches architecturales stimulées par la grille climatique et des multiples solutions formelles et matérielles imaginées pour permettre aux usagers de tendre vers une situation de confort sous le climat de Chandigarh. Les solutions ne sont pas représentées concrètement au sein de la grille climatique, on peut noter un tampon avec un système de référencement qui renvoie à des pièces graphiques d'un carnet annexe⁵⁸. Toutes ces études sont notamment faites au travers des logements pour Péons, classe populaire de la société indienne, qui ne furent pas réalisés mais qui formèrent un laboratoire de recherche pour Le Corbusier.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

58. Feuilletts FLC 5627A-P et FLC 5600-5611 - Fondation Le Corbusier.

Orientation des ouvertures⁵⁹

Une des solutions avancées par Le Corbusier pour améliorer le confort d'été est d'agir sur la ventilation du logement. L'orientation Nord-Ouest/Sud-Est est définie comme la plus favorable car elle permet la pénétration du vent prédominant Est-Ouest des mois d'Août et Septembre, période humide où l'on cherche à favoriser la circulation d'air pour réguler le taux d'humidité. Il est donc judicieux d'adopter une orientation urbaine du bâtiment permettant de capter ces brises de fraîcheur.

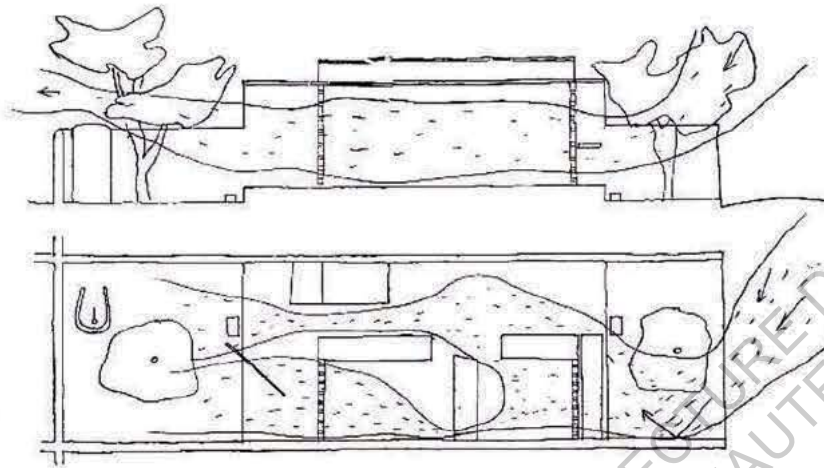
Sans jamais être énoncé, mais pourtant très lisible et fondamental, le dispositif de plan traversant est donc nécessaire à ce souhait de circulation d'air. Les logements sont généralement mitoyens pour l'économie de matériaux, mais cela permet également de libérer les façades avant et arrière créant ainsi une ventilation traversant toutes les pièces du logement.

Portes et claustras amovibles⁶⁰

Face à ce besoin de ventilation traversante pour les saisons chaudes et humides, Le Corbusier met en place un système de portes et de claustras amovibles qui permet de pouvoir réguler cette circulation d'air. En effet, durant la période hivernale, c'est-à-dire Janvier, Février, Mars et Novembre, il est nécessaire de stabiliser, voire prohiber la ventilation, car les vents prédominants sont froids et il faut donc s'en protéger. Un système fixe de ventilation est donc inadapté au panel de situations climatiques de Chandigarh, c'est pourquoi le système amovible prend tout son sens.

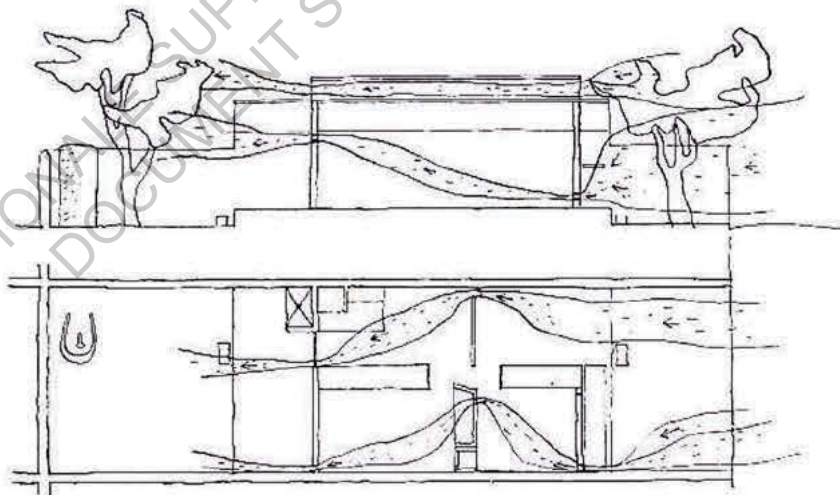
59. Solution référencée III 8,9 se rapportant aux feuillets FLC 5608, FLC 5627 d) et FLC 5627 e).

60. Solution référencée II 1,2,3,10,11,12 se rapportant aux feuillets FLC 5602 et FLC 5611.



"Le vent prédominant EST-OUEST pénètre à l'intérieur en ricochant sur les murs. - Claustres et portes ouverts."

[41.] "Grille climatique - Solution III 8,9", FLC 5608.



"Etablissement ou suppression de la circulation d'air dépendant du temps ensoleillé. Claustra fermé ou ouvert par temps ensoleillé. De même pour les portes."

[42.] "Grille climatique - Solution II 1,2,3,10,11,12", FLC 5602.

Le toit-parasol⁶¹

«[...] le toit-terrasse sert de couverture définitive habitée en dessous, et le meilleur agent isolant sera de construire un jardin sur la toiture, et, dans des pays comme l'Inde, d'arroser ce jardin par des moyens automatiques, plus encore de maintenir une humidité permanente sur la toiture, cette humidité étant assurée par la présence de terre et de plantes posées à même sur l'imperméabilisation du béton et humidifiées par un système automatique d'arrosage.[...] La seconde méthode consiste à établir un véritable parasol de béton, celui-ci étant formé d'une coquille la plus fine possible, la plus légère possible. Cette pellicule n'a qu'un objectif, celui de projeter de l'ombre, à travers un espace libre sur le plafond des locaux habités au dessous.»⁶²

La toiture parasol est un double toit disposé au dessus du toit habité. Il permet d'absorber le rayonnement solaire direct, l'espace entre ces deux couches est largement ventilé permettant de dissiper l'accumulation de chaleur. Le rayonnement solaire n'atteignant pas directement le toit du logement, celui-ci est protégé des surchauffes qui auraient pu se produire par cette surface largement exposée.

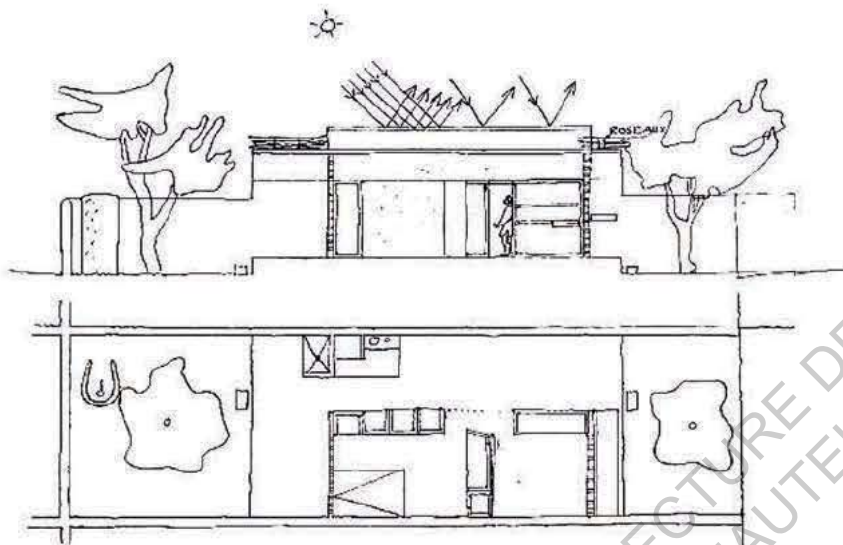
Brise-soleil et débord de toit⁶³

Durant la saison chaude, le rayonnement solaire est problématique, il faut donc protéger au maximum les façades périphériques pour éviter qu'elles n'emmagasinent trop de chaleur, mais aussi les ouvertures pour ménager des zones d'ombre et ainsi éviter l'ensoleillement direct du logement. La solution architecturale développée pour répondre à cette problématique est la protection solaire en façade, sous forme de brise-soleil, de débord de toit, d'auvent, etc. Selon les relevés des modes d'habiter effectués durant ses explorations, Le Corbusier intègre complètement le principe de vérandas sur les façades avant et arrière des logements, créant une mise à distance avec la rue, mais aussi des espaces de travail, de repos, à l'ombre et ventilé. Ces zones tampon permettent de protéger les façades habitées du logement, et leur ventilation permet de dissiper l'augmentation de température qui peut s'y produire. De manière analogue au toit parasol, la véranda est un dispositif qui permet de préserver le logement de toute surchauffe dues aux rayonnements solaires.

61. Solution référencée IV 4,5,6,7,10 se rapportant aux feuillets FLC 5603 et FLC 5627.

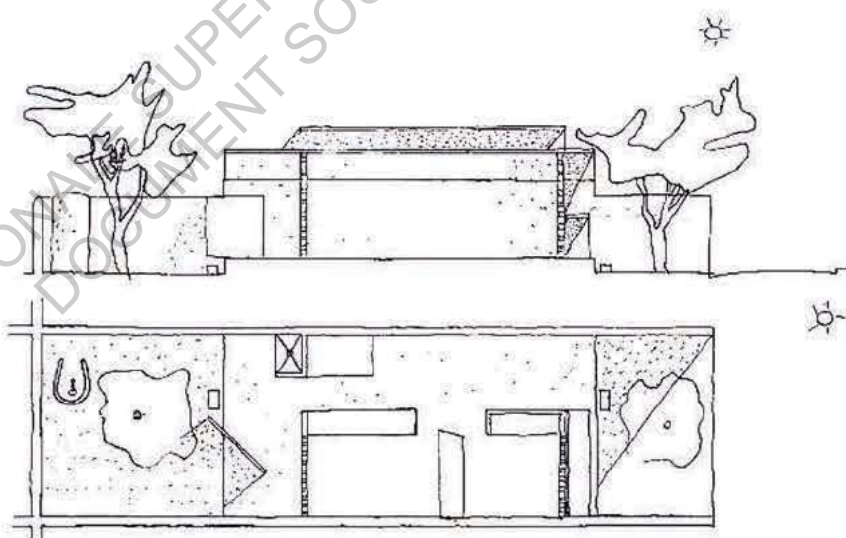
62. «Soleil et Ombre», Ibid, p. 188.

63. Solution référencée IV 4,5,6,7,10 se rapportant aux feuillets FLC 5601, FLC 5609 et FLC 5627 m).



"Parasol peint en blanc pour réfléchir les rayons thermiques (peut être en métal?) - IMPORTANT - Une bonne isolation du toit vaut mieux qu'une élévation de la toiture. Si les plafonds ne rayonnent pas la hauteur est indifférente."

[43.] "Grille climatique - Solution IV 4,5,6,7,10", FLC 5603



"Le principe du brise-soleil."

[44.] "Grille climatique - Solution IV 4,5,6,7,10", FLC 5601

Dispositifs hygrométriques

Le Corbusier développe deux dispositifs qui cherchent à réguler la température de l'air par le phénomène physique de l'évaporation de l'eau. Il s'agit de la solution des gouttelettes d'eau⁶⁴, ainsi que du calicot⁶⁵.

Cette première solution consiste à abaisser la température de l'air par la création d'une fine poussière d'eau sur les murs, les toits et les jardins. On peut mettre en cause la pertinence d'un tel dispositif dans un pays aux ressources hydrauliques limitées et onéreuses, ce qui rend l'application de cette solution pour le logement des Péons, classe populaire, absolument utopique.

La deuxième solution, nommée calicot humidifié, est la retranscription d'une coutume vernaculaire, que nous avons présenté précédemment⁶⁶. Le terme calicot désigne un «*coton grossier tissé en toile et par extension une banderole, tire son nom de la ville Calicut située dans la province du Kerala au sud-ouest de l'Inde*»⁶⁷. Il consiste à réguler le taux d'humidité d'une pièce en plaçant un linge humide suspendu aux ouvertures, captant ainsi la brise qui pénètre par la ventilation traversante, énoncée auparavant. Lorsque l'air traverse la tenture, il se charge en humidité, et donc arrive rafraîchi auprès des habitants.

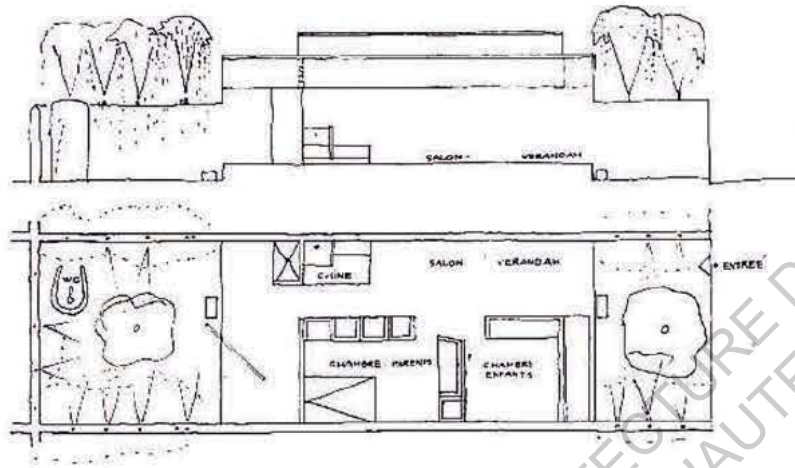
Cette brume et ce linge humide permettent de rafraîchir l'air ambiant grâce au phénomène physique de l'évaporation de l'eau qui utilise de l'énergie et donc décharge l'air de sa chaleur. Ces dispositifs peuvent donc être efficaces durant la saison chaude et sèche, mais sont à proscrire durant la période de mousson, où l'on cherche au contraire à diminuer le taux d'humidité de l'air.

64. Solution référencée I 4,5,6 b) se rapportant aux feuillets FLC 5600 et FLC 5627 a).

65. Solution référencée III 6,7 se rapportant aux feuillets FLC 5605 et FLC 5627 b).

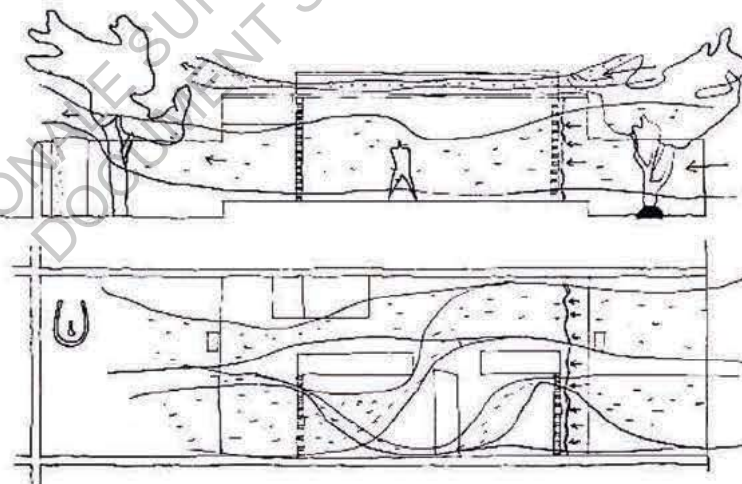
66. Voir p.44.

67. MENUAU (L.), *Pierre Jeanneret et Le Corbusier face à l'Inde*, p.16.



"Création d'une poussière fine de gouttelettes d'eau dans le jardin et sur le toit et les murs."

[45.] "Grille climatique - Solution I 4,5,6". FLC 5600.



"1. Le même principe qu'en I 4,5,6 b) est à adopter. 2. Caliquot humidifié à l'endroit de l'entrée du vent, pour augmenter le degré d'humidité."

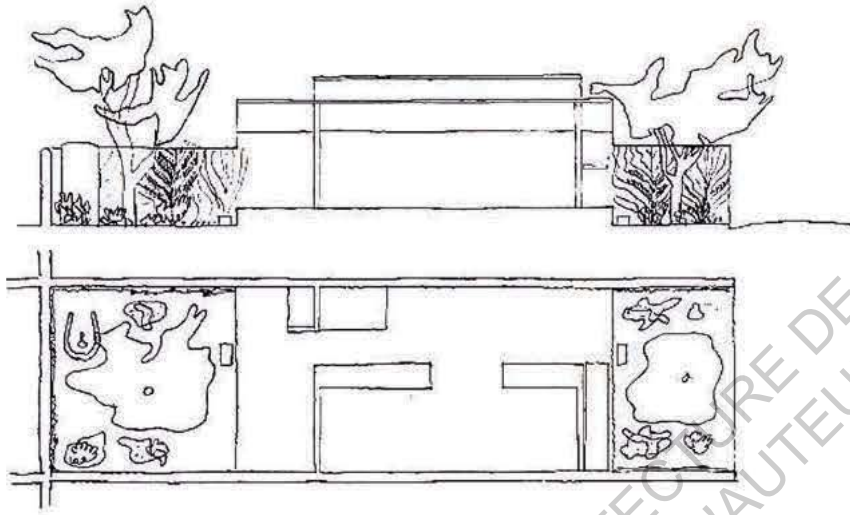
[46.] "Grille climatique - Solution III 6,7". FLC 5605.

Ecran de verdure⁶⁸

Dans la continuité de proposition d'une trame végétale à l'échelle urbaine⁶⁹, Le Corbusier propose de développer à l'échelle domestique ce qu'il désigne «*écran de verdure*». Selon lui, la végétation possède cette capacité rafraîchissante de l'air, en plus de pouvoir créer des masques solaires. Il recommande d'appliquer des «*enduits verts*» sur les parois verticales (murs) et horizontales (toit et jardins), à l'aide de plantes grimpantes qui viennent protéger les parois du rayonnement solaire, en plus de réguler la température. Cela permet de diminuer l'emménagement de chaleur des parois, en se protégeant des radiations solaires, et par conséquent finale d'abaisser la température intérieure du logement et donc d'améliorer le confort des usagers.

68. Solution référencée I 4,5,6 c) se rapportant aux feuillets FLC 5604 et FLC 5627 c).

69. Voir p.50-51.



"Création d'un enduit de verdure sur les murs à l'aide d'espaliers etc."

[47.] "Grille climatique - Solution I 4,5,6, FLC 5604.

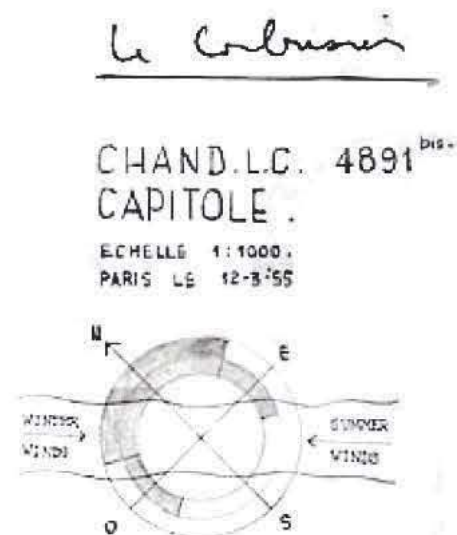
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

Néanmoins, des réserves seront émises dès sa réflexion en 1952 de la part de Maxwell Fry, Jane Drew et Pierre Jeanneret. Ces derniers doutent de la pertinence des données pris en compte, mais ne remettent pas en question le principe même de méthodologie de recherche. En effet, pour établir les solutions architecturales, Le Corbusier et son atelier ont pris comme données des relevés effectués à Ambala, celle-ci se trouve, en effet proche de Chandigarh, mais sa situation est quelque peu différente, et pouvant mener à des contradictions. Le Corbusier exploite, tout de même, ses réflexions dans plusieurs dessins pour le projet des maisons de Péons, qu'il ne réalisera pas, étant écarté de la production de logements.

Conscient des limites d'utilisation de la grille climatique, la réflexion autour de celle-ci s'arrêta à l'esquisse des maisons des Péons, mais permis au moins à l'équipe de conception de se poser les questions auxquelles devaient répondre les bâtiments pour offrir une qualité climatique à leurs usagers. Cependant, il est intéressant de noter l'intérêt que Le Corbusier portait à la réponse apportée face aux situations d'inconfort provoquées par le climat. Il est aujourd'hui évident que toutes ses réalisations indiennes, tant à Chandigarh, qu'à Ahmedabad, furent influencées par ces recherches climatiques autour de l'ensoleillement, de l'ombre, des vents, etc. On peut d'ailleurs retrouver sur de nombreux plans d'études du Capitole, une rose des vents avec la course du soleil en été et en hiver, ainsi que les vents dominants.⁷⁰ C'est d'ailleurs dans le secteur institutionnel de la ville que Le Corbusier pousse ses réflexions, bien plus loin qu'une simple méthodologie de recherche.

Tout d'abord, nous allons nous intéresser à la Tour des Ombres, ou Tour des Quatre Horizons, où l'architecte établit une démonstration impeccable⁷¹ de l'efficacité du brise-soleil dans un climat tropical. Il s'agit d'un bâtiment situé sur l'esplanade du Capitole, sans fonctionnalité particulière, outre celui d'être une source d'expérimentation pour l'atelier 35 rue de Sèvres quant à l'ensoleillement, et

la question de la protection solaire. Manifeste du dispositif de brise-soleil, la tour est 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»⁷². Pour cela, l'atelier, et plus précisément Xenakis, mène des études beaucoup plus poussées que pour la grille climatique, en établissant les tracés solaires suivant les heures, les saisons, etc., jusqu'à pouvoir constituer un abaque synthétique permettant de rapidement dessiner les ombres portées du soleil sur un bâtiment. Il réalise cette étude sur trois moments clés de l'année: le solstice d'été et d'hiver, ainsi que l'équinoxe, en traçant le rayonnement solaire selon son azimut, son angle d'incidence avec la Terre en un point précis. Il établit alors trois paramètres définissant un brise-soleil: l'orientation; des refends verticaux pour une protection optimale face au rayonnement bas en début et fin de journée; et des tablettes horizontales, plus ou moins profondes, pour la mi-journée lorsque le soleil est haut. Ces études furent extrêmement intenses, puisqu'elles mobilisent une centaine de planches de recherches, mais elles aboutissent à ce que l'on pourrait nommer «une brillante démonstration du brise-soleil»⁷³.



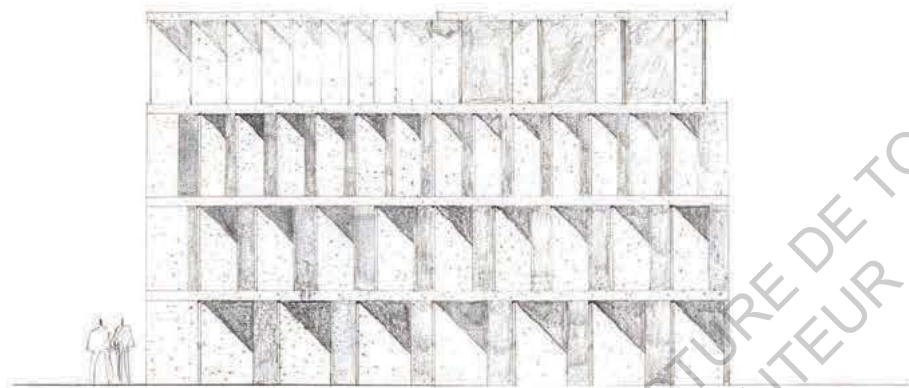
[48.] "Relevés d'ensoleillement", FLC 29150.

70. FLC 29150.

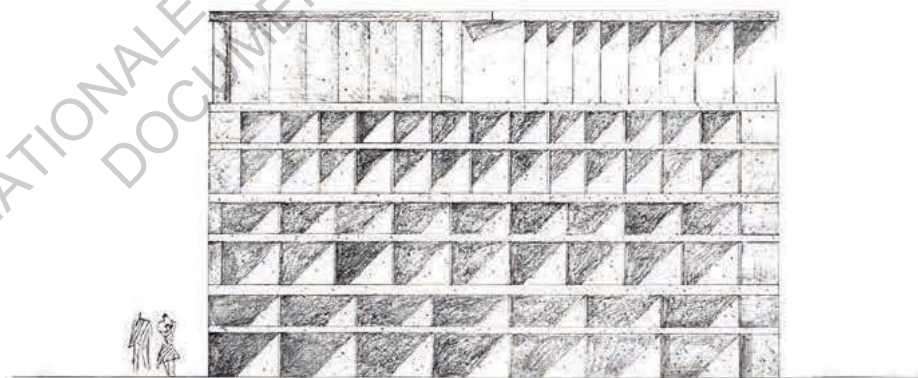
71. La fondation Le Corbusier a, sur ce point, réalisé des simulations en laboratoire afin de vérifier l'efficacité du système. - Siret (D.), « Tour d'Ombres », DVD - Volume 11.

72. LE CORBUSIER, *Oeuvre Complète 1965-1969 (Volume 8)*, p. 76.

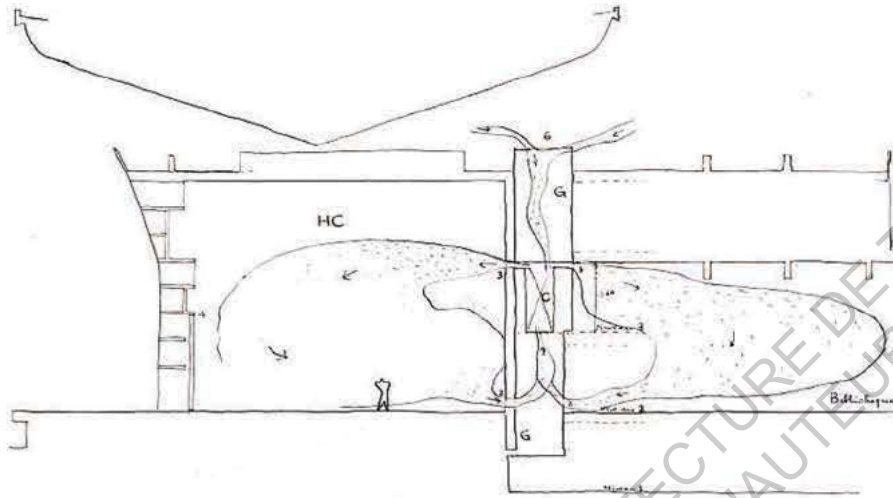
73. SIRET (D.), « Tour d'Ombres », DVD - Volume 11.



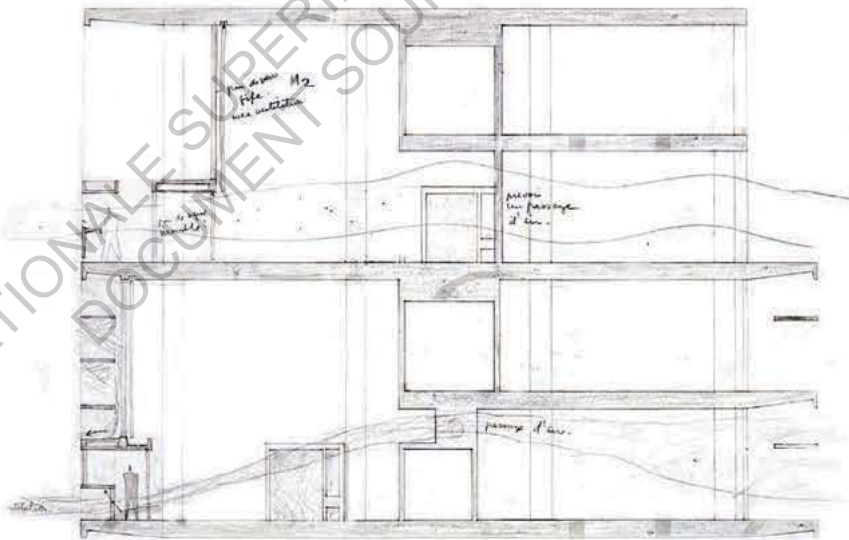
[49.] "Tour des Ombres", FLC 5727.



[50.] "Tour des Ombres", FLC 5735.



[51.] "Ventilation artificielle de la Haute Cour", FLC 4635.



[52.] "Secrétariat - Ministre, 25 Octobre 52 - Samper", FLC 2827.

Les trois grandes institutions du Capitole sont également un laboratoire d'expérimentation et d'application pour Le Corbusier, qui, exclu de la production de logements, y applique les théories développées par la méthode de la grille climatique.

La Haute Cour de Justice, définie comme une «*grande machine à refroidissement*»⁷⁴, applique plusieurs des dispositifs présentés précédemment: le toit parasol, qui protège le bâtiment, la double peau et les brise-soleil pour la lutte contre l'ensoleillement, ainsi que la ventilation, favorisée par la forme même du bâtiment. Les bassins, appelés «*bassins à reflet*»⁷⁵, rappellent les recherches faites autour des dispositifs hygrométriques rafraîchissants, sans jamais être définis en tant que tel, néanmoins ils permettent de refroidir le température de l'air avant qu'il ne circule dans le bâtiment.

De même le Secrétariat développe une épaisseur de façade, qui rappelle l'unité d'habitation de Marseille, et donc sa recherche de lutte contre le soleil. De nombreuses recherches autour de la ventilation naturelle, mais aussi artificielle sont menées pour ce vaste bâtiments de bureaux.⁷⁶ Le «*vitrage ondulatoire*»⁷⁷ est également expérimenté permettant de développer un large linéaire de façade vitrée fixe, ponctué «*d'aérateurs*»⁷⁸, c'est-à-dire des volets pivotants permettant de ventiler les bureaux.

Bien que Pierre Jeanneret prenne des distances avec les théories de son cousin Le Corbusier lors de son séjour à Chandigarh, on sait qu'ils entretiennent une relation de confiance par les nombreuses correspondances archivées à la Fondation Le Corbusier ou au CCA de Montréal. Lors de ses voyages indiens, Le Corbusier résidait chez son cousin, il lui a laissé la responsabilité de ses chantiers, etc, tout cela montre les liens privilégiés qu'ils entretenaient. Sur la question climatique, on sait que celui-ci était informé des recherches de l'atelier rue de Sèvres par

une lettre de 1959:

«*Mon cher Pierre, je t'envoie [...] la Grille Climatique ayant servi à motiver les données architecturales de l'étude des maisons des péons. Rien de tout ceci n'a été réalisé, mais la méthode de travail qu'autorisait la Grille Climatique était intéressante.*»⁷⁹

De manière assez surprenante, c'est donc sept ans après les études de la grille climatique, que Le Corbusier transmet les résultats de ses études à son cousin qui a déjà construit de nombreux bâtiments à Chandigarh. Même si Pierre Jeanneret construit dorénavant de manière indépendante, il est indéniable que les théories de l'atelier de Paris, et les nombreuses conversations avec son cousin ont du l'influencer dans son architecture.

«*Vent dominants, soleil/ombre, ont dicté l'orientation du bâtiment, comme de toute la ville d'ailleurs.*»⁸⁰

74. PAPILLAULT (R.), *Chandigarh et Le Corbusier - Création d'une ville en Inde, 1950 - 1965*, p. 275.

75. LE CORBUSIER, «La Haute Cour», *Oeuvre Complète (1946-1952) Volume 5*, p. 129.

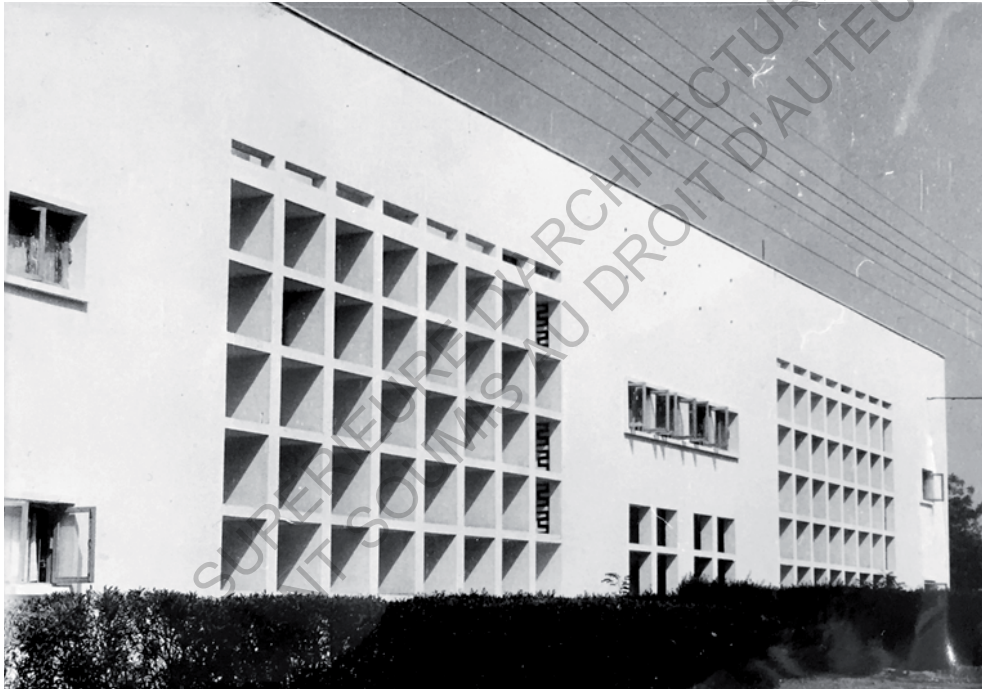
76. Ibid., p. 136.

77. *Oeuvre Complète 1952-1957 (Volume 6)*, p. 78.

78. Ibid p. 78

79. SIRET(D.), «Grille climatique», DVD, Volume 11

80. LE CORBUSIER, *Modulor 2*, p. 227



[53.] "5 Room House, E. Maxwell Fry ", photographie issue du fond d'archives du CCA de Montréal, ©MALHOTRA (J.).

3. Une architecture tropicale adaptée de Maxwell Fry et Jane Drew

«*The climates of the earth (...) are responsible of our environment. By our efforts we can to some extent control this environment. We can modify and adapt it by the skill and intelligence with which we build, and in doing so produce an architecture and a landscape suited both to it and us.*»⁸¹

Maxwell Fry et Jane Drew, de part leurs expériences antérieures en Afrique notamment⁸², ont développé de larges connaissances en matière d'architecture climatique, ce qui les mena à être sélectionnés par les ingénieurs indiens pour l'équipe de conception de Chandigarh. Durant leur présence en Inde, ils compilent leur recherche autour des climats humides et secs⁸³, en un seul ouvrage: *Tropical Architecture in Dry and Humid Zone*, édité en 1954. On n'y trouve très peu de références sur Le Corbusier et la grille climatique, présenté précédemment⁸⁴, et pour cause, ils sont très critiqués sur ces recherches, pour des raisons de données, mais également pour s'attribuer la paternité de certaines théories, selon moi.

Ils commencent par définir les considérations qui doivent influencer la conception dans un milieu tropical: la population et ses besoins, le climat et ses problématiques, ainsi que les matériaux et les moyens de construction. Ils abordent donc un panel de réflexion bien plus large que la simple question du climat. Ils nuancent également les facteurs déterminant une situation de confort de l'utilisateur, outre les critères strictement scientifiques. Ils affirment donc que le bien-être d'un usager dépend également de plusieurs indices liés à l'individu et pas seulement à un lieu, c'est-à-dire: son état de santé, sa tenue vestimentaire, son régime alimentaire, ainsi que son activité (repos, travail physique ou bien intellectuel).

Dans cet ouvrage, ils définissent deux grandes catégories de climats tropicaux: le climat sec et le climat humide. De leurs caractéristiques respectives découlent deux modes d'habiter différents et donc deux grandes théories de conception. Face à un climat tropical sec, la réaction humaine est une déshydratation générale, ainsi que des irritations dues aux vents poussiéreux ou sableux. Les pays sous influence de ce climat développent donc des traditions et usages en fonction de cela, par exemple on se couvre un maximum le corps, type *purdah*, pour se protéger; les siestes sont nécessaires au moment les plus chauds de la journée; l'activité humaine se concentre plutôt en soirée, quand les températures finissent par diminuer; et on dort généralement dehors pour profiter de la fraîcheur nocturne. Au contraire, face à un climat de type tropical humide, on cherche toujours à se protéger du soleil, mais prioritairement à générer de la ventilation afin de lutter contre l'humidité constante et à se protéger des fortes pluies. L'activité humaine est de ce fait

81. DREW (J.) - FRY (M), *Tropical Architecture in Dry and Humid Zone*, p.27.

82. *Village Housing in the Tropics with Special Reference to West Africa*.

83. *Architecture in the Humid Tropics & Architecture in the Dry Tropics*.

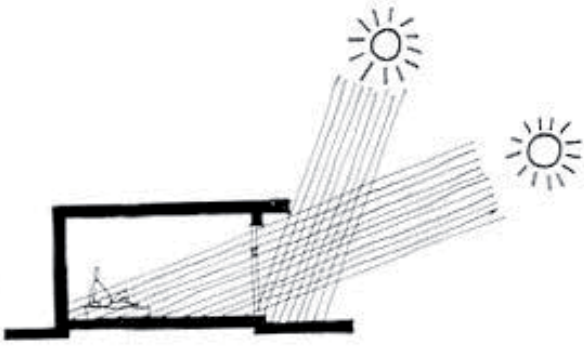
84. Voir p.52-61.

plus intense en journée, sauf au moment de précipitations; et l'habillement quotidien des habitants est beaucoup plus découvert pour augmenter la surface de peau en contact avec l'air et pouvant donc se refroidir. Face aux caractéristiques d'un climat et aux conséquences sur les modes d'habiter pour atteindre une condition optimale, Maxwell Fry et Jane Drew instaurent deux grandes théories de conception.

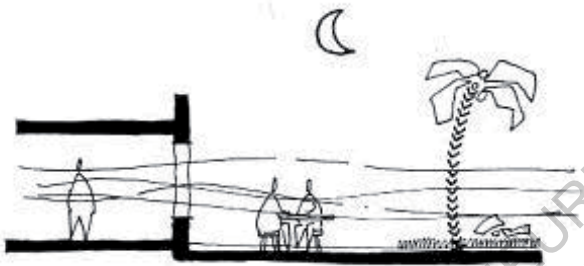
Pour les climats humides, la condition environnementale la plus défavorable au confort de l'homme est le fort taux d'humidité de l'air. Ce dernier, saturé en vapeur d'eau, empêche les radiations du corps humain et les échanges avec l'air ambiant. Il s'agit donc de favoriser la circulation d'air pour réguler le taux d'humidité présent dans l'environnement, ce qui conduit à la conception de bâtiments très ouverts vers l'extérieur. La problématique qui découle de cette première orientation architecturale est la nécessité de se protéger du soleil, mais aussi des précipitations. Des avancées de toit, ou tous autres dispositifs sont donc nécessaires pour faire de l'ombre, éviter la pénétration d'eau à l'intérieur du bâtiment, mais aussi pour protéger les façades et éviter leur dégradation par érosion.

Pour les climats secs, les températures extrêmes et le fort taux d'éblouissement entraînent, contrairement au climat humide, une forte intériorisation des espaces avec très peu d'ouvertures sur l'extérieur, limitant ainsi la pénétration de lumière et donc de chaleur. Les espaces doivent donc être compacts, les murs épais permettant le stockage d'air frais interne, et une surface non-éblouissante périphérique au bâtiment suffisamment importante pour supprimer ce désagrément. Alors qu'une conception dans un climat humide ne peut être envisageable sans ouverture non-close laissant passer l'air, ceci est fortement déconseillé face à un climat sec, où de petites ouvertures sont donc recommandées. En effet, en plus d'avoir des températures extrêmes dans ces régions, il peut également y avoir des vents plus ou moins importants, mais surtout chargés de poussières ou de sables, provoquant des situations fortement inconfortables. Les ouvertures doivent donc être protégées et empêcher la pénétration de ces vents chauds et chargés d'impuretés.

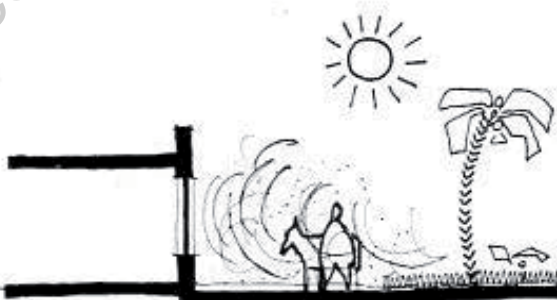
Au regard de ces deux principes de conception, on peut noter que ceux-ci atteignent un même but commun de participation au confort des usagers, mais par deux manières pratiquement opposées. Ils ont en commun la recherche d'ombre et la protection contre la chaleur et le soleil, mais la grande différence est la protection au vent. Dans le cas du climat humide, la création de mouvement d'air prime sur la protection solaire, alors que dans le cas du climat sec, elle est absolument à proscrire. Suite à ce constat, le couple d'architectes détermine plusieurs dispositifs récurrents dans la conception climatique en milieu tropical.



[54.] "sun protection at low angles", dessin issu de *Tropical Architecture in Dry and Humid Zone*, p.54.



[55.] "humid tropics: admit cooling breeze at body height", dessin issu de *Tropical Architecture in Dry and Humid Zone*, p.45.



[56.] "dry tropics: exclude dust-laden breeze, hot air and sun", dessin issu de *Tropical Architecture in Dry and Humid Zone*, p.45.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

ORIENTATION DES BÂTIMENTS

Tout d'abord, la prise en considération de la localisation et de l'orientation du bâtiment sont primordiales. La position et l'inclinaison du rayonnement solaire sont connues pour tous les jours de l'année, quelque soit l'endroit sur Terre. Il est donc possible de déterminer quelle surface sera exposée et à quel moment de la journée par l'utilisation d'héliodon, ainsi que le dimensionnement (hauteur, profondeur, épaisseur) des dispositifs nécessaires pour assurer une protection vis-à-vis de la lumière et de la chaleur.

La localisation et l'orientation des bâtiments en climat tropical humide se font également en fonction des courants d'air majeur, comme il s'agit de favoriser les mouvements d'air au travers du bâtiment. Néanmoins, parfois l'orientation favorable à cela entre en conflit avec l'orientation favorable face au rayonnement solaire. Il est donc de la responsabilité de l'architecte de faire des choix suivant la situation la plus critique, la ventilation étant généralement la plus nécessaire étant donné le type de climat.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'ACCÈS À L'INFORMATION

VENTILATION

Les manières pour le corps humain de réguler sa température interne, et donc d'être dans une situation de confort, s'établit au travers de trois échanges de chaleur: les radiations; la convection, qui n'est possible que si la température extérieure est inférieure à la température du corps; et l'évaporation. Ce dernier phénomène physique ne peut s'effectuer que si le taux de l'humidité de l'air ambiant est assez faible pour emmagasiner de la vapeur supplémentaire. Par conséquent, dans un climat humide, la circulation d'air est primordiale afin de diminuer le taux d'humidité de l'air, c'est ainsi que les usagers sont en mesure d'évacuer leur augmentation de température corporelle.

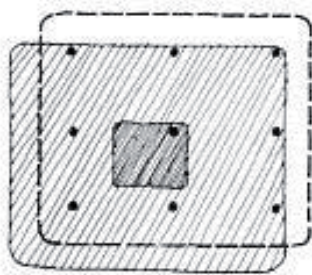
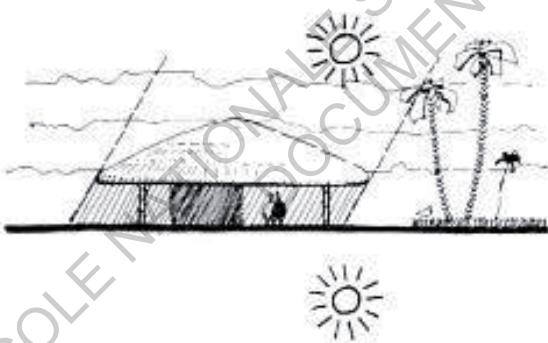
Outre la ventilation naturelle, certains dispositifs mécaniques peuvent être instaurés, sous condition d'alimentation en électricité. Le ventilateur remplit strictement la même fonction que la ventilation naturelle, et peut venir en complément pour des périodes sans vent, ou trop extrêmes. Il est d'ailleurs pratiquement obligatoire dans le cas des climats secs, dont les températures sont très chaudes. Les climatiseurs, bien plus coûteux, mais plus efficaces, permettent également de créer des mouvements d'air dans la pièce. Néanmoins, on peut également intervenir sur la température, ainsi que l'humidité de l'air, ce qui peut être très efficace, particulièrement dans un climat humide.

SURFACES HORIZONTALES

Le troisième point, et non négligeable, à prendre en compte est les surfaces horizontales. Le toit est la surface la plus exposée au soleil et aux intempéries dans une construction. Son traitement ne peut être évité, c'est un point critique où la pénétration et le stockage de chaleur sont à proscrire. Afin d'éviter un maximum la transmission de chaleur, la solution développée est un système de parasol, analogue à la proposition de Le Corbusier, recevant et rejetant une grande quantité de chaleur et évitant ainsi le stockage de chaleur de la dalle. Dans le cas des zones humides une autre problématique s'ajoute, il s'agit de l'évacuation des eaux de pluie. Celles-ci pouvant se trouver en quantité importante, il est important de les rejeter rapidement afin d'éviter l'altération des matériaux. De manière générale, les questionnements autour de la couverture d'un bâtiment peuvent être réellement conflictuels face à la situation climatique extrême, et la difficulté à maintenir une qualité de couverture suffisante face à des matériaux fortement sollicités.

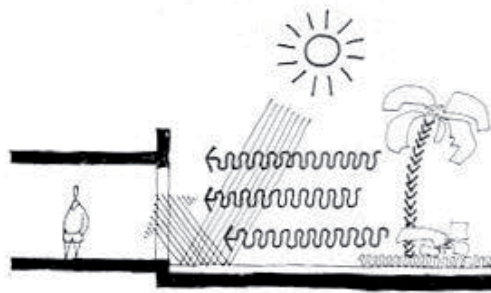
[57.] "methods of sun protection by air gaps under the roofs", dessin issu de *Tropical Architecture in Dry and Humid Zone*, p.48.

Le toit n'est pas la seule surface horizontale à devoir être prise en compte, une attention particulière doit également être portée aux traitements des surfaces extérieures. En effet, si les surfaces périphériques à un bâtiment sont trop exposées au rayonnement solaire, elles peuvent créer des problématiques de confort. En effet, elles deviennent transmetteuses de chaleur et surtout réfléchissent la lumière captée et sont donc source d'éblouissement. Il est important de maîtriser ce dernier désagrément aux abords des espaces habités, cela peut notamment se réaliser au travers de vérandas, ou bien de larges débords de toit périphériques.

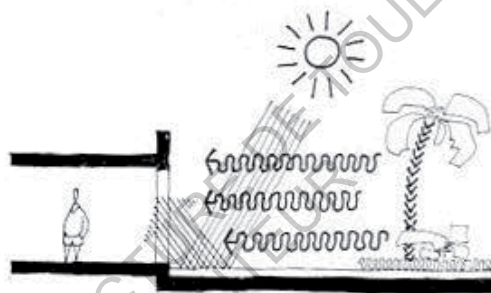


[58.] "methods of sun protection by air gaps under the roofs", dessin issu de *Tropical Architecture in Dry and Humid Zone*, p.48.

Pour éviter la transmission de chaleur par le sol, plusieurs solutions peuvent être envisagées, d'une part la création de pilotis venant intercaler une lame d'air ventilée entre le bâtiment et la source de chaleur (la terre); et d'autre part des écrans de verdure. Ceux-ci ont plusieurs avantages, ils sont source de rafraîchissement et évitent donc la transmission de chaleur; ils empêchent l'éblouissement dû à l'exposition trop importante d'une surface critique et la réflexion des rayonnements lumineux; mais ils ont également l'avantage d'être des masques solaires venant renforcer les dispositifs architecturaux et techniques de protection.



[59.] "air heated by sun", dessin issu de *Tropical Architecture in Dry and Humid Zone*, p.58



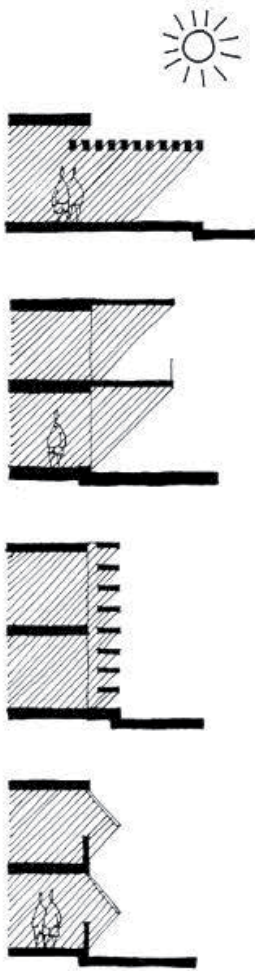
[60.] "air cooled through vegetation", dessin issu de *Tropical Architecture in Dry and Humid Zone*, p.58.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

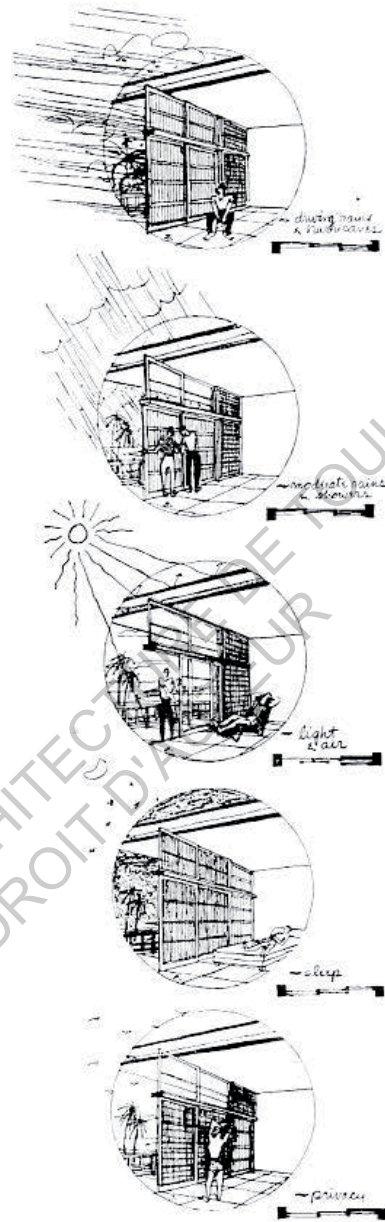
OUVERTURES ET PROTECTIONS SOLAIRES

Le quatrième point, également influencé par la localisation et l'orientation d'un bâtiment, s'articule autour des parois verticales, de leur ouverture sur l'extérieur ainsi que de leur protection. Le rôle de l'architecte est d'empêcher la pénétration de chaleur et de précipitations à l'intérieur du bâtiment, au travers de différents dispositifs énoncés: les débords de toit, vérandas, brise-soleils, pergola, claustra, volets, stores, etc. Tout le génie et l'intelligence constructive de l'architecte peuvent se développer ici, afin d'éviter les surchauffes sans abolir la pénétration de lumière, et toujours en alliant confort et esthétisme. Dans cette réflexion, il ne faut pas se concentrer uniquement sur les ouvertures, il s'agit de réellement considérer toutes parois verticales susceptibles de recevoir, capter et diffuser de la chaleur. Il rentre donc également en jeu la composition de la paroi, les caractéristiques des matériaux qui la constituent ainsi que les épaisseurs mises en place.

Dans le cas particulier des zones humides, les ouvertures et leurs protections ne doivent en aucun cas altérer la circulation d'air. Néanmoins l'humidité va de pair avec le développement d'espèces invasives, comme une grande variété d'insectes, et plus précisément les moustiques. Outre le désagrément des piqûres, ces derniers peuvent être porteurs de maladies dans certaines régions, ce qui rend la protection des espaces obligatoires. Pour cela des moustiquaires doivent être installées, ce qui a pour conséquence d'altérer la circulation de l'air. Une fois de plus, les contraintes de conception sont tellement nombreuses dans ce contexte extrême, qu'il s'agit de pouvoir répondre correctement aux plus importantes.



[61.] "way of sun protection for walls", dessin issu de *Tropical Architecture in Dry and Humid Zone*, p.58.



[62.] "the uses of screens", dessin issu de *Tropical Architecture in Dry and Humid Zone*, p.63.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

Nous avons présenté précédemment les quatre principes primordiaux qui régissent la conception en milieu tropical suivant Maxwell Fry et Jane Drew. Face à ces problématiques, le travail de l'architecte est donc de mesurer les situations critiques qui créent des situations inconfortables, et par des solutions rationnelles proposer des dispositifs venant réguler les problématiques. Au regard de l'emprise des climats tropicaux sur Terre, on peut remarquer que beaucoup de pays du Tiers-Monde ou en voie de développement se trouvent dans ces zones. L'intelligence de l'architecte est donc encore plus sollicitée, car il peut se trouver dans une situation économique difficile, et ne peut avoir recours à des matériaux ou solutions technologiques innovantes et surtout coûteuses. A cela, il faut également ajouter la question de l'usage, mais aussi des modes de construction, qui ne peuvent être évités dans un tel contexte. La conception en milieu tropical peut également se complexifier si la localisation d'un projet doit aussi répondre à des dimensions sécuritaires supplémentaires, par exemple des vents violents, ouragans, tornade, tempête tropicale, inondations, tremblement de terre, etc. En plus de la détérioration accélérée des matériaux, les mouvements structurels peuvent altérer la stabilité du bâtiment. Le choix des matériaux et leur mise en œuvre est donc également une autre problématique inévitable dans les pays tropicaux. Comme tous projets, la conception en milieu tropical demande la prise en compte de nombreux paramètres, sauf que ceux-ci sont exacerbés. Il s'agit donc pour l'architecte d'être capable d'établir des priorités afin de tendre au mieux vers une situation de confort et bien-être.

Malgré de fortes critiques de la part de Jane Drew et Maxwell Fry au regard du travail de la grille climatique de Le Corbusier, on retrouve dans leurs travaux de nombreuses similitudes, comme l'attention à l'orientation d'un bâtiment, la ventilation traversante, les écrans de verdure, etc. Néanmoins, ils ne cherchent pas à réellement se baser sur des données climatiques. Dans cet ouvrage, il s'agit plus de l'établissement de dispositifs relevés lors de leurs nombreuses expériences dans le milieu tropical. Ils ont accumulé au cours de leurs travaux et recherches de nombreuses références, notamment en matière d'architecture vernaculaire, et c'est ce qu'ils essayent de transmettre au travers de leurs réalisations modernes et de leur ouvrage *Tropical Architecture*.

«We should learn to draw sensible inferences from the past habits and styles of building in both tropical regions that will help us to solve our current problems.»⁸⁵

La principale divergence qui s'établit entre les travaux de Le Corbusier et ceux de Fry et Drew est la prise en considération de deux situations opposées: le climat tropical sec, et humide. Certes ils présentent cela selon deux typologies d'architecture, car ils supposent qu'il s'agit de deux localisations géographiques différentes. Mais il est intéressant de penser cela dans le cas concret de Chandigarh. La ville se situant dans un climat subtropical⁸⁶, elle présente une saison froide et chaude, et surtout cette dernière est tout

85. *Tropical Architecture*, p.45

86. Voir p.14-17.

d'abord sèche, avant d'être très humide. Les deux théories de conception définies par Fry et Drew sont assez antagonistes, mais l'architecture de Chandigarh doit elle, théoriquement, résoudre les problématiques de ces deux climats tropicaux secs et humides. Il sera donc intéressant d'étudier quels dispositifs ont été réalisés, et de voir si un parti a été pris par les architectes vis-à-vis d'une des situations qu'il aurait jugé prépondérante.

“Modern architecture is distinguished by nothing so much as its determination not to turn aside from science and the effects of science, but to enter into them and wring from them a solution of value to humanity”⁸⁷

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

87. Ibid., p.19.



[63.] "Facade de la maison de Pierre Jeanneret, Sector 5 1956", photographie issue du fond d'archives du CCA de Montréal. ©JEANNERET (P).

4. L'oeuvre domestique de Pierre Jeanneret à Chandigarh

Des travaux étudiants antérieurs ont été réalisés autour de la question climatique et des logements conçus par Pierre Jeanneret à Chandigarh. La question climatique et de l'appropriation ayant déjà été étudiée dans le corpus domestique, mes recherches se sont orientées vers la réponse climatique abordée par l'architecte dans son oeuvre publique à Chandigarh. Néanmoins, il me semble intéressant de remettre en perspective les résultats apportés par ces recherches afin de pouvoir identifier par la suite les similitudes ou différences, les avancées et innovations, ou bien une certaine linéarité de recherches.

Pour cela, j'utiliserai les recherches de deux étudiantes et les résultats apportés par leur mémoire :

- MENUAU (L.), *Pierre Jeanneret et Le Corbusier face à l'Inde: la question de la conception d'un logement pour les plus pauvres et de sa protection face au climat vue par Le Corbusier et Pierre Jeanneret pour la ville de Chandigarh (1951-1965)*

- BAROUILLET (N.), *Pierre Jeanneret et les Énergies en Inde: la question climatique dans les logements de Pierre Jeanneret pour la classe moyenne à Chandigarh, de 1952 à 1965*

Il s'agit donc, par les recherches de mon mémoire, de poursuivre les études déjà entamées antérieurement autour de la question climatique dans l'oeuvre de Pierre Jeanneret à Chandigarh. Ces deux mémoires développent de manières différentes leur raisonnement, mais définissent de nombreux dispositifs communs, et quelques uns différents selon le corpus. La compilation de ces deux recherches permet donc d'établir, de manière plus ou moins exhaustive, un panel de dispositifs climatiques développés par Pierre Jeanneret dans les logements de Chandigarh.

LES ESPACES EXTÉRIEURS: zone tampon

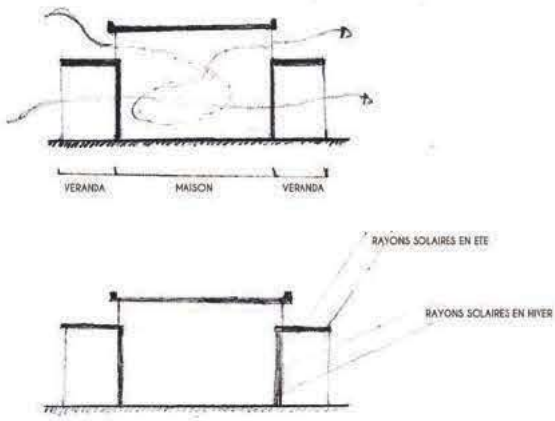
Le jardin est un élément essentiel dans la composition des logements puisqu'il s'articule, la plupart du temps, à l'avant et à l'arrière de la maison. Il permet ainsi de mettre la rue à distance pour une question de préservation de l'intimité, mais cela permet également de créer des espaces aérés. La végétation des jardins permet également de créer des masques solaires sur les logements, ainsi elle limite les surchauffes dans le logement. La végétation permet également de rafraîchir l'air ambiant, ce qui est primordial pour l'été, où l'on cherche à favoriser l'ombre et la fraîcheur. On peut comparer cette application systématique du jardin au dispositif énoncé par Le Corbusier dans la grille climatique: *l'écran de verdure*. Il faut tout de même nuancer l'intérêt de ce dispositif par les conséquences qu'il peut avoir durant la saison hivernale. Il est nécessaire de choisir correctement les essences d'arbres, afin que ceux-ci perdent leur feuillage en hiver, afin de laisser passer le rayonnement solaire, et non créer des masques, qui cette fois-ci seraient défavorables.

La véranda se situe dans le prolongement du logement, mais également du jardin. Elle forme un tampon entre l'intérieur et l'extérieur, tant d'un point de vue des usages, que sur la question climatique. Espace couvert, mais ouvert, elle protège les façades du logement du rayonnement solaire direct. Ainsi par la ventilation de ces espaces, on peut dissiper les surchauffes provoquées par l'exposition solaire, et au final protéger l'intériorité de l'espace de vie. La véranda est un dispositif vernaculaire dans l'architecture domestique indienne, fédérateur de la vie quotidienne, c'est un lieu de vie, de travail et de repos primordial dans les modes d'habiter locaux. Les usagers y sont protégés du soleil, en extérieur, donc ils profitent pleinement des brises rafraîchissantes durant les saisons chaudes, mais ils sont également protégés des fortes pluies durant la mousson.

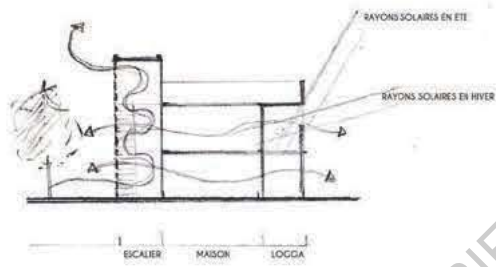
Pour les typologies de logements superposés et collectifs, la cage d'escalier est également un dispositif de zone tampon. Ces colonnes de ventilation permettent de fournir une circulation d'air constante au logement, qui peut ainsi décharger les surchauffes provoquées par l'exposition

solaire.

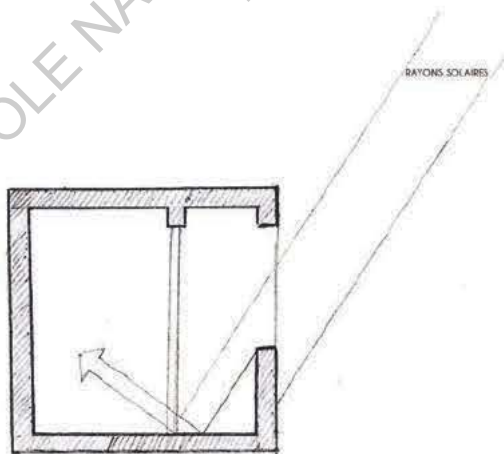
La loggia, correctement dimensionnée, remplit la même fonction qu'une véranda, mais dans les étages cette fois-ci. Le recul créé permet de protéger le logement du soleil haut d'été, mais ne doit pas être trop profond de manière à ce que le soleil bas d'hiver puisse pénétrer dans le logement pour le réchauffer.



[64.] "la véranda", dessin issu du mémoire de BAROUILLET (N.), p.44.



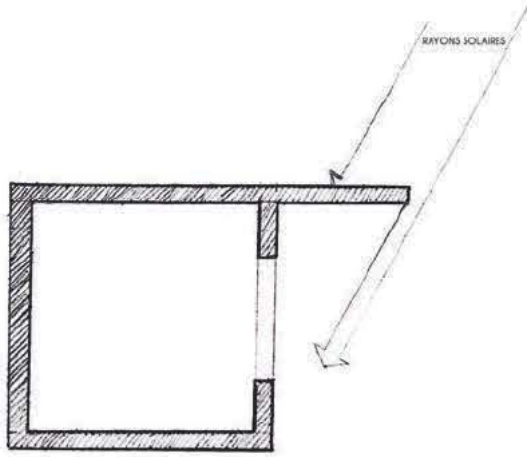
[65.] "la cage d'escalier", dessin issu du mémoire de BAROUILLET (N.), p.44.



[66.] "la loggia", dessin issu du mémoire de BAROUILLET (N.), p.46.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

PROTECTIONS SOLAIRES EN FAÇADE



[67.] "la débord de toit", dessin issu du mémoire de BAROUILLET (N.), p.46.

Le débord de toit est un élément primordial dans la conception des loggia et vérandas, car il permet de repousser le rayonnement solaire ainsi que les pluies de la façade habitée ainsi que des ouvertures. En été, le rayonnement étant déporté des ouvertures, l'éclairage s'établit en second jour, limitant l'éblouissement et donc les situations d'inconfort à l'intérieur du logement qui auraient pu être créés par une exposition directe.

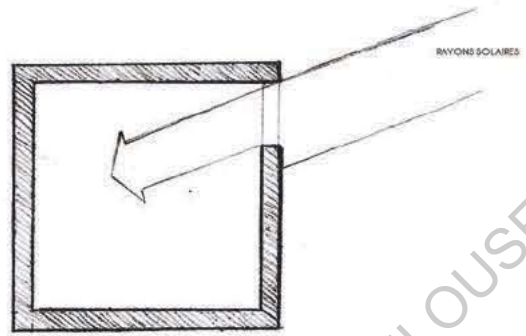
Le brise-soleil est également un dispositif présent dans les logements de Pierre Jeanneret, même si son potentiel formel, climatique et esthétique n'est pas poussé comme dans la Tour d'Ombres étudié précédemment.⁸⁸ Pour les logements, et face à la masse de production que cela impliquait, Pierre Jeanneret développe des éléments préfabriqués, en équerre, en T, ou sous d'autres formes, qui permettent de protéger les ouvertures qui ne se situent sur des espaces tampon, comme les loggia ou vérandas.

Le claustra est un dispositif qui a permis à l'architecte de mettre en avant son génie constructif. Par l'utilisation du matériau terre, et plus précisément terre cuite sous forme de briques, il met en place des parois, dites claustra, ou jali en hindi. Ces parois poreuses par l'alternance de plein et vide permettent de fermer, sécuriser un espace, préserver son intimité, mais elles laissent passer la lumière, et surtout l'air, ce qui autorisent donc une ventilation naturelle constante. La problématique de claustras est qu'il s'agit d'un dispositif construit et non amovible, ce qui pose problème pour la saison hivernale.

⁸⁸. Voir p.63-63.

OUVERTURES EN PARTIE HAUTE

De la même manière, les ouvertures en partie haute permettent d'éclairer un espace intérieur par réflexion sur le plafond, créer ainsi une ambiance lumineuse confortable. Le jeu d'ouverture en partie haute et partie basse favorise également la création de circulation d'air traversant la logement, ce qui permet d'une part d'évacuer l'air chaud, d'autre part de rafraîchir les usagers.



[68.] "ouverture en partie haute", dessin issu du mémoire de BAROUILLET (N.), p.46.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

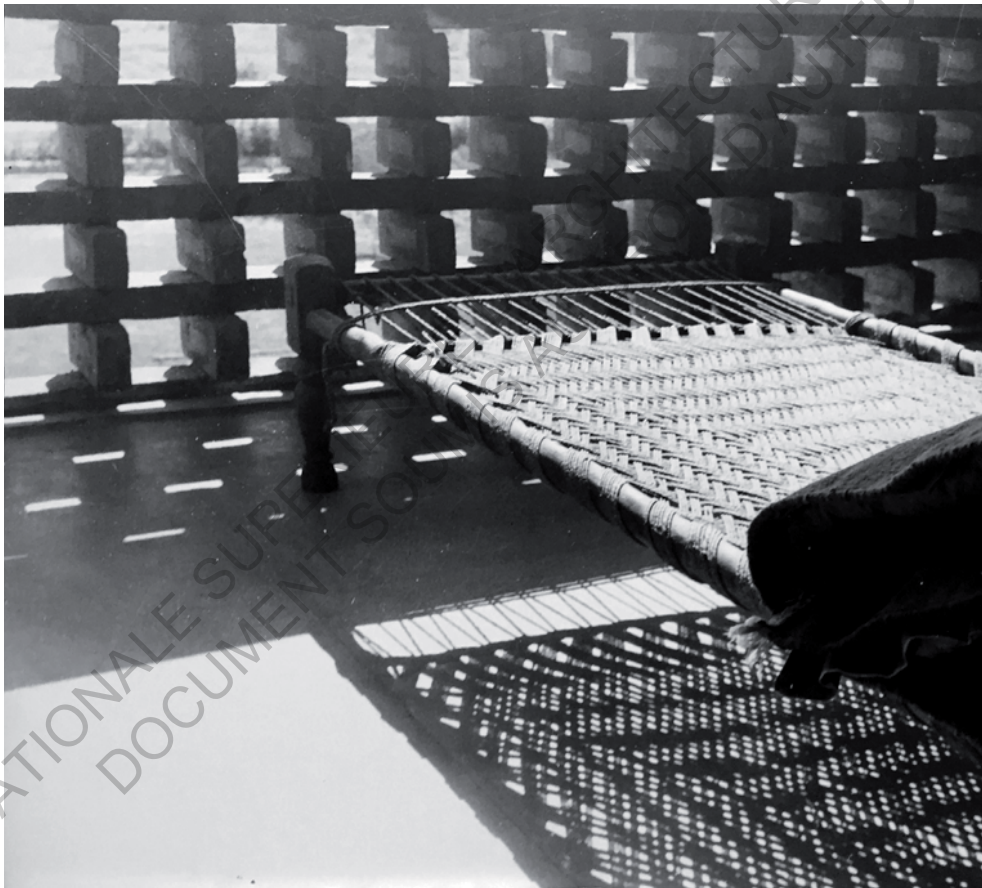
En conclusion de ces premières recherches théoriques, on peut établir plusieurs hypothèses quant aux influences et connaissances de Pierre Jeanneret en matière d'architecture climatique.

Tout d'abord, Pierre Jeanneret, au travers de son architecture domestique, réutilise un certain nombre de dispositifs analogues aux outils traditionnels de l'architecture vernaculaire indienne. On peut dire que, suite à ses voyages, il a complètement intégré les modes d'habiter indien dans sa pensée architecturale, comme le principe de véranda, de ventilation traversante ou encore de brise-soleil et de claustras, tout en les ré-interprétant dans un langage moderne.

Précédemment, nous avons présenté trois théories autour de la question climatique: celle de Le Corbusier, celle de Maxwell Fry et Jane Drew, et enfin l'application de dispositifs climatiques dans l'architecture domestique de Pierre Jeanneret. Dans l'étude de cette dernière, la réflexion de l'architecte est assez proche des pensées des autres membres de l'équipe de conception. Toutes les réflexions s'articulent autour des mêmes dispositifs, mais aucun ne présente cela comme un aboutissement d'un travail commun à Chandigarh. Les considérations pour l'orientation solaire et venteuse font figure d'élément fondamental, intervenant dans les premières phases de projet. Puis toute une série de dispositifs récurrents se déploie: la ventilation traversante, la protection solaire des surfaces horizontales avec le toit parasol ou les débords de toit, la protection solaire des surfaces verticales avec les dispositifs de zone tampon (vérandas, loggia, etc.), la protection solaire des ouvertures avec les brise-soleil, l'utilisation de la végétation comme outil pour rafraîchir l'air ambiant, etc.

On peut néanmoins noter que Pierre Jeanneret n'aborde pas un certain nombre de théories définies par ses confrères dans son œuvre domestique. Par exemple, le toit parasol n'est jamais mis en place, il emploie l'écran de verdure, au sens de la théorie corbuséenne, en instaurant des jardins à l'avant et à l'arrière des logements; mais il ne l'emploie pas pour protéger les surfaces horizontales avec un toit végétalisé, ou les surfaces verticales avec des plantes grimpantes. De la même manière, il n'utilise pas de dispositifs rafraîchissants par l'eau, comme nous avons pu le voir dans les dispositifs vernaculaires, dans les propositions de Le Corbusier, ou dans l'ouvrage de Maxwell Fry et Jane Drew. On peut donc dire que Pierre Jeanneret développe ses propres dispositifs, qu'il juge suffisant au confort des usagers, et cela au regard d'une grande économie de construction. Si une différence majeure doit s'établir entre lui et ses confrères, il s'agit bien d'une passion pour la construction, et par conséquent l'exploitation de la contrainte économique, pour la production de logements de qualité, à un coût le plus bas possible. C'est d'ailleurs pour cela qu'il ne s'engage pas dans des outils trop coûteux comme auraient pu l'être les dispositifs hygrométriques en terme de frais d'exploitation dans le temps.

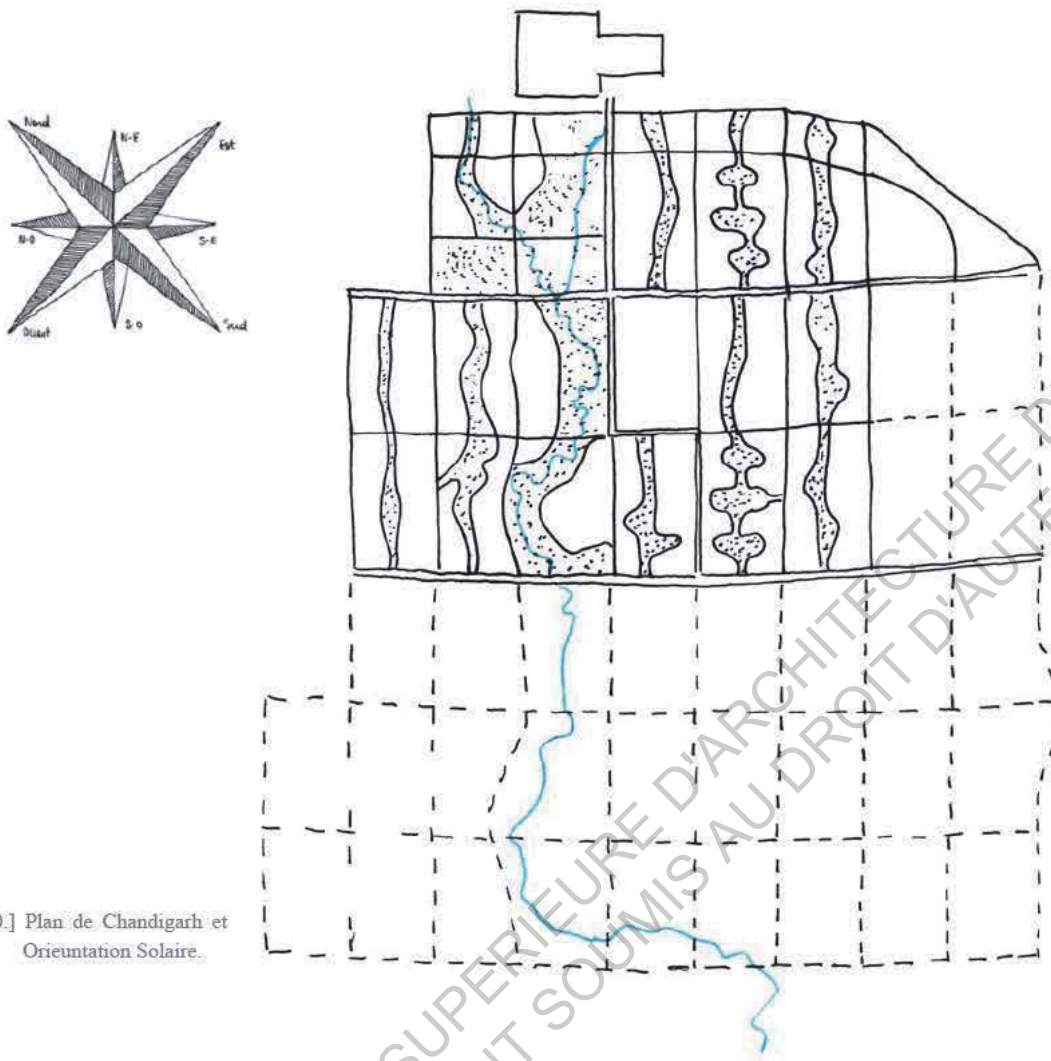
Toutes les démonstrations effectuées précédemment sont basées autour de la question de l'habitat. L'architecture vernaculaire indienne a principalement été étudiée au travers du cas d'études des havelis, Le Corbusier développe ses théories de la grille climatique dans les maisons de Péons, Maxwell Fry et Jane Drew détaillent également leur théorie autour de la question domestique, car elle est, pour eux, la plus perceptible pour tous. On peut alors se demander quels dispositifs climatiques ont été développés pour le confort dans les bâtiments publics, notamment ceux de Pierre Jeanneret.



[69.] "Jali Detail designed by Jeanneret" et Charpoy, photographie issue du fond d'archives du CCA de Montréal, ©MALHOTRA (J.).

CHAPITRE B - L'ARCHITECTURE PUBLIQUE DE PIERRE JEANNERET FACE AU CLIMAT INDIEN

Atlas de dispositifs climatiques visant à atteindre une situation de confort pour les usagers



[70.] Plan de Chandigarh et Orientation Solaire.

Le plan d'urbanisme de Le Corbusier suit les premières intentions initiées par le plan antérieur de Mayer, c'est-à-dire qu'il installe la trame orthogonale des voies en concordance avec les lignes des plus grandes pentes ainsi que les lits des cours d'eau. Bien qu'ayant remis en question ce premier plan⁸⁹, Le Corbusier en conserve l'essence tout en revenant sur les géométries et proportions.⁹⁰

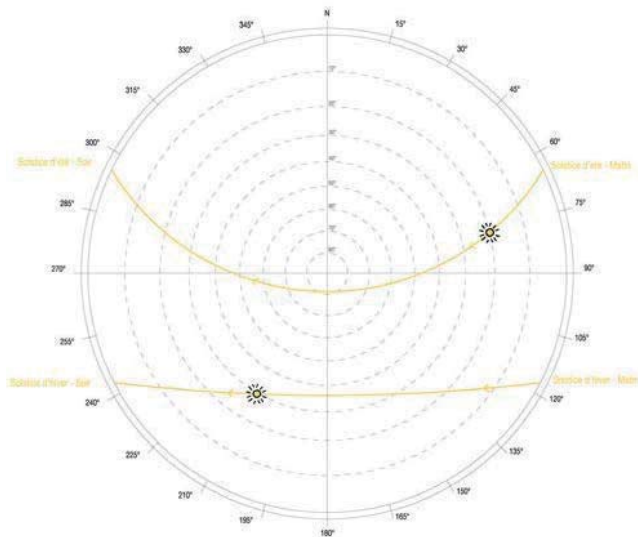
Le choix d'orientation de la trame urbaine implique un pivotement de celle-ci d'environ 50° par rapport au nord polaire, mais il est intéressant d'étudier ce choix au regard des conditions climatiques du site de Chandigarh, et pas seulement des conditions physiques et topographiques.

«Vents dominants, soleil/ombre, ont dicté l'orientation du bâtiment, comme de toute la ville d'ailleurs.»⁹¹

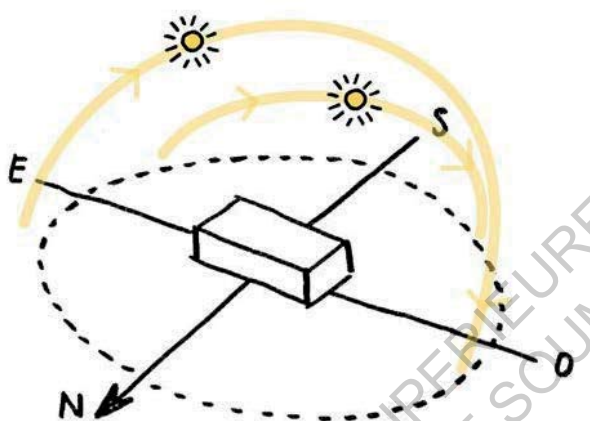
89. « Samedi 24 (Février 1951) Nous allons sur place reconnaître l'erreur de mon collègue américain de New York qui a fait le plan d'urbanisme. Nous jetons les premiers coups de crayon corrects. » Lettre de Le Corbusier à sa mère, mardi 26 février 1951, Simlâ. R1-12-87T, FLC (extrait de *Chandigarh et Le Corbusier - Création d'une ville en Inde, 1950 - 1965*, p. 65).

90. Voir p.13.

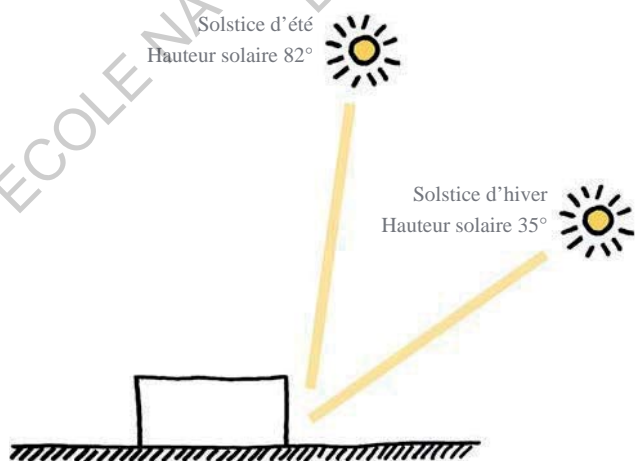
91. *Modulor 2*, p. 227.



[71.] Diagramme solaire correspondant à la latitude de Chandigarh, avec la course du soleil aux solstices.



[72.] Schéma de principe d'enseillement aux solstices.



[73.] Schéma de principe d'enseillement aux solstices.

Du point de vue de l'enseillement, on sait que la course du soleil varie annuellement, en fonction de la révolution de la Terre autour du Soleil, et quotidiennement durant la rotation de la Terre sur son axe. Malgré l'échelle de ces phénomènes astronomiques, leur incidence sur notre environnement est quotidienne et nous est tout à fait familière. Tout d'abord, les saisons, au cours de l'année, la course du soleil est différente. La durée d'enseillement varie, s'allongeant en été, diminuant en hiver, entraînant un spectre plus large du rayonnement solaire, en terme d'angle cardinal mais aussi en terme d'incidence. Ainsi, on connaît toutes les données solaires, il suffit de connaître les coordonnées d'implantation d'un lieu pour en étudier son enseillement. Pour la localisation de Chandigarh, on peut par exemple lire sur l'héliodon⁹² que la course du soleil est plus large en été qu'en hiver, puisqu'elle s'étend du Nord-Est au Nord-Ouest, alors qu'en hiver elle se propage seulement du Sud-Est au Sud-Ouest. Ces données signifient un spectre de façades exposées moindre en hiver mais aussi une durée d'enseillement plus réduite. La lecture de ce document permet également de connaître l'angle d'incidence du rayonnement solaire en fonction de l'heure d'un certain jour. Ainsi au solstice d'été, le rayonnement solaire forme un angle de 82° avec la surface de Chandigarh, alors que cet angle est de seulement 35° pour le solstice d'hiver. L'incidence du rayonnement a une forte importance en matière de conception climatique car il faut se protéger des rayonnements solaires estivaux, pour éviter les surchauffes, alors que l'on va chercher à capter un maximum des rayonnements solaires hivernaux, pour pallier à la diminution des températures saisonnières.

Vis-à-vis des contraintes d'enseillement présentes sur le site de Chandigarh, deux situations se dessinent suivant la saison concernée. Durant l'hiver, les températures ne sont pas trop basses comparées à notre climat tempéré, néanmoins il faut tout de même rechercher à maximiser l'exposition pour profiter de la durée d'enseillement plus courte, d'une amplitude d'azimut restreinte (le soleil se levant au sud-est et se couchant au sud-ouest, voir diagramme solaire) et d'un angle d'incidence plus bas.

92. Données d'enseillement datant de 1953 issus de *Climatological and Solar data for India (To Design Buildings for thermal comfort)*, p.63.

Au contraire durant la saison estivale, le temps d'exposition est pratiquement doublé avec un soleil qui se lève au nord-est et se couche au nord-ouest, ainsi qu'un angle d'incidence du rayonnement solaire très fort en milieu de journée, dont on va chercher à se protéger.

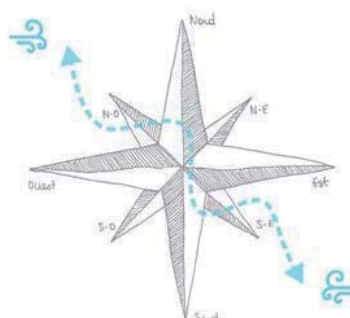
Aux données d'ensoleillement, il faut ajouter l'étude des vents, de leur direction et de leur force pour visualiser le contexte climatique propre au site de Chandigarh. Comme nous l'avons vu précédemment dans la définition du confort biologique d'un homme dans un climat dit tropical, la notion de protection au vent ou à l'inverse d'exposition et de ventilation est déterminante pour réguler le taux d'inconfort.

En analysant les données de vent ci dessus⁹³, on peut en tirer plusieurs conclusions. Tout d'abord la première colonne «*Mean No. of days with wind force*», désigne le nombre de jours en moyenne où la mesure des vents est supérieur à l'échelle 4 de Beaufort, ou comprise entre 4 et 8. La palier 4 de l'échelle de Beaufort représente en moyenne des vents de 20 à 28km/h, désignant une «*jolie brise*», et les effets ressentis sur Terre sont : «*Les drapeaux flottent au vent. Les feuilles sont sans cesse en mouvement.*»⁹⁴ Alors que le palier 8 désigne des «*coups de vent*» pouvant aller de 62 à 74 km/h dont les effets ressentis sur terre sont : «*Les branches sont susceptibles de casser. La marche contre le vent est très difficile, voire impossible.*»⁹⁵ Dans le cas d'Ambala, les vents ne sont jamais supérieurs à ces paliers, on peut voir dans la dernière colonne «*Mean Monthly Wind Speed*», que la vitesse n'excède jamais les 6km/h en moyenne, soit une «*très légère brise*». La première conclusion que l'on peut donc tirer de ces données est que le vent, si nécessaire

au confort en climat tropical humide, n'est pas très favorable dans la région de Chandigarh, car très faible. C'est un point positif pour l'hiver, car il y a besoin de très peu de protections contre les courants d'air froid. Néanmoins, pour les saisons chaudes, les brises n'apportent que très peu de rafraîchissement.

Malgré leur faible mesure, les données de direction des vents nous indiquent que durant l'hiver, les vents proviennent plutôt du nord-ouest, durant la saison chaude et sèche, ils sont changeants entre le sud-est en matinée et le nord-ouest en soirée, durant la saison humide ils sont presque inexistantes en matinée, et une légère brise du sud-est se dessine en fin de journée, et enfin durant la saison automnale ils sont calmes puis changeants entre l'est et le nord-ouest.

Malgré leur très faible force, afin d'améliorer le confort durant les saisons chaudes, et d'autant plus durant la saison humide, il faut favoriser le travail de ventilation traversante et donc privilégier la direction Nord-Ouest / Sud-Est dont les vents proviennent. Il est important de chercher à créer des mouvements d'air au sein d'un espace habité pour que le corps humain puisse être ventilé et donc évacué l'augmentation de sa température temporelle.



[75.]Schéma des directions prédominantes des vents à Chandigarh.

Place	Mean No. of days with wind force		Wind Direction								Mean Monthly Wind Speed km/h			
			Morning				Evening							
	< 4	4<x<8	Jan.	May	Aug.	Nov.	Jan.	May	Aug.	Nov.	Jan.	May	Aug.	Nov.
Ambala	0	0	C/NW	SE/C	C/SE	C/E	NW/C	NW/W	SE/NW	NW/C	4,02	5,95	3,7	2,9

[74.] Tableau des directions et forces des vents. ⁹³

93. Ibid., p.51.

94. Météo France.

95. Ibid.

Tout comme Maxwell Fry et Jane Drew, on peut critiquer la pertinence de ses données, qui sont celles connues durant la période de conception à Chandigarh, car la station climatique utilisée est Ambala et non Chandigarh. Celle-ci est, en effet, proche dans la localisation, mais l'étude du climat est une science précise et chaque situation présente ses spécificités dues à la géomorphologie du site. On ne peut donc assurer l'exactitude de ses données vis-à-vis du site de Chandigarh, cependant ce sont les données connues de l'époque, selon lesquelles les architectes ont pensé les bâtiments, c'est donc selon ce point de vue que je vais effectuer mes recherches. Aujourd'hui, je n'ai pas été en mesure de collecter des données d'ensoleillement et des vents plus récentes, que ce soit sur place à Chandigarh, ou bien à mon retour en France. Il serait donc intéressant que les architectes indiens se penchent sur la question de la localisation spécifique de Chandigarh, en mettant à jour ces données, pour continuer le développement de la ville, et améliorer le confort de ses habitants.

En conclusion, on peut définir deux caractéristiques fondamentales pour la conception architecturale en milieu tropical. Premièrement, **créer de l'ombre**: la protection solaire d'un bâtiment commence dès l'orientation urbaine de la ville jusqu'au contexte de mise en œuvre d'un dispositif architectural précis. Et deuxièmement **ventiler les espaces**: la ventilation naturelle contribue d'une part à évacuer les surchauffes qui pourraient être entraînées par une exposition solaire, et d'autre part, elle est nécessaire à la sudation des corps humain, pour que ceux-ci puissent diminuer leur température corporelle.

Il s'agira donc au cours de cette deuxième partie de recherches, d'étudier les différents dispositifs mis en place par l'architecte Pierre Jeanneret dans ses bâtiments, dans le contexte climatique qui vient d'être décrit, et ce dans un objectif de créer une qualité climatique et de confort pour les usagers.

«Les Indes ont imposé des recherches sévères imposées par le climat excessif de soleil et de pluies.»⁹⁶

96. «Soleil et Ombre», *Oeuvre Complète (1946-1952)*, p. 188.

1. L'ombre et le vent: dispositifs urbains

a) Implantation urbaine: choix d'orientation solaire

Tout d'abord, nous allons étudier l'approche urbaine au travers des choix d'orientation solaire pris par Pierre Jeanneret. On peut dès à présent définir trois types de directions adoptées par l'architecte: Nord-Est/Sud-Ouest; Nord-Ouest/Sud-Est; et Nord/Sud. Pour l'étude de ces trois cas de figures, nous allons effectuer celle-ci tout d'abord de manière généraliste en expliquant l'impact des contraintes environnementales sur un bâtiment orienté dans chaque situation. Puis nous analyserons plus en détail en prenant le cas concret des écoles secondaires. En effet, l'architecte utilise un plan type, donc avec des dispositifs standardisés et récurrents, mais ils implantent les bâtiments dans des orientations totalement différentes. Il est donc intéressant de se pencher sur ce cas singulier pour analyser les choix de l'architecte en matière de dispositifs climatiques à l'échelle urbaine, c'est-à-dire l'orientation du bâtiment.

ORIENTATION NORD-EST/SUD-OUEST

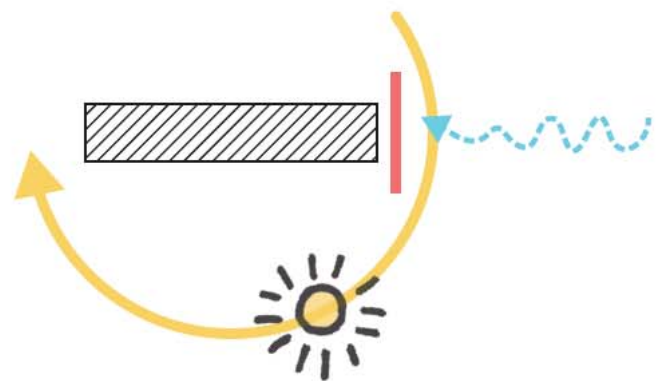
L'orientation Nord-Est/Sud-Ouest correspond à une orientation du bâtiment parallèle à la trame urbaine, mais lorsque la façade principale fait face au petit côté des secteurs. La façade désignée principale dans les relevés est celle présentant le plus long linéaire atteint par les contraintes climatiques, ou bien, la façade où se trouve un des dispositifs climatiques étudiés.

Par rapport aux contraintes d'ensoleillement que nous venons d'énumérer précédemment, une telle orientation implique une forte exposition de la façade sud-ouest durant une grande partie de la journée, surtout en seconde partie de celle-ci, moment où le soleil atteint son zénith et où son rayonnement est le plus fort.

Deuxièmement, on remarque que ce type d'implantation ne révèle pas une réflexion climatique aboutie vis-à-vis de l'exposition aux vents, le bâtiment présentant son petit côté face à leur direction prédominante interdisant ainsi la ventilation traversante. Cependant, on peut être tout-à-fait critique quant à la recherche de ventilation énoncée par les différents *seniors architects*⁹⁷, en effet la force des vents est si faible à Chandigarh que l'effet de circulation d'air recherché est peu perceptible et ne doit pas contribuer au confort autant que les théories l'admettent.



[76.] Schéma d'implantation.



[77.] Schéma de principe d'ensoleillement et d'exposition au vent.

97. Ici, je fais référence aux travaux de LE CORBUSIER et de DREW et FRY étudiés en première partie de ce mémoire.

ORIENTATION NORD-OUEST/SUD-EST

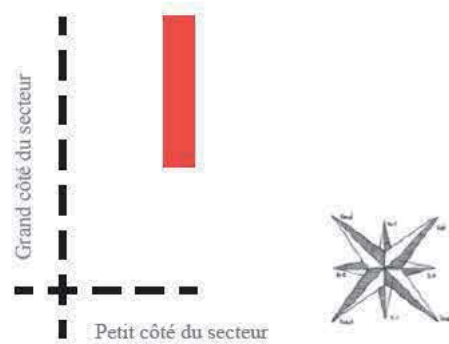
L'orientation Nord-Ouest/Sud-Est correspond à une orientation du bâtiment parallèle à la trame urbaine, mais lorsque la façade principale fait face au grand côté des secteurs.

Par rapport aux contraintes d'ensoleillement, une telle orientation implique une forte exposition de la façade sud-est essentiellement durant la première partie de journée, mais reste un peu plus protégée durant l'après-midi car elle n'est alors atteinte que par des rayonnements indirects, et donc moins forts. Deuxièmement, on remarque que ce type d'orientation s'implante en corrélation avec les directions prédominantes des vents, et essentiellement ceux d'été. Ces derniers étant axés selon la direction nord-ouest/sud-est, l'implantation des bâtiments dans cette même direction permet, par un travail de porosité des façades, de pouvoir ventiler le bâtiment par des mouvements d'air traversants. Malgré la faible force des vents à Chandigarh, ce type d'orientation reste plus favorable à la ventilation traversante, dispositif essentiel dans l'architecture climatique pour améliorer le confort des usagers.

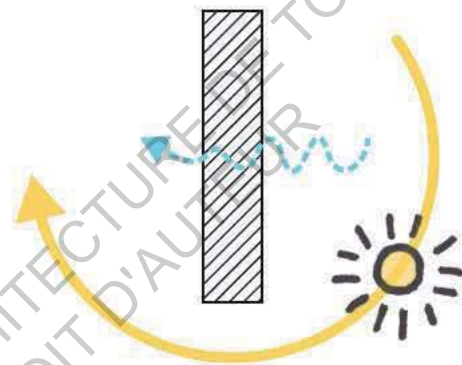
ORIENTATION NORD/SUD

L'orientation Nord/Sud sort de la logique de la trame urbaine, puisque les façades principales des bâtiments suivent l'orientation polaire classique, et quelque peu occidentale, et s'implantent donc avec un angle d'environ 45° par rapport aux axes délimitant les secteurs.

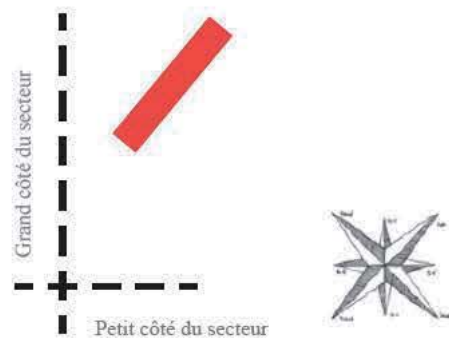
Par rapport aux contraintes d'ensoleillement, une telle orientation implique une forte exposition de la façade sud toute la journée, avec des rayons solaires qui lui parviennent perpendiculairement à son zénith, et donc au moment de son plus fort rayonnement. Deuxièmement, on remarque que ce type d'orientation ne s'implante pas réellement en corrélation avec les directions prédominantes des vents, mais n'y est pas non plus opposé. L'orientation des vents arrivent de biais par rapport aux façades principales, il est donc possible de travailler la ventilation traversante en portant l'attention sur le travail de la porosité des façades. Ce type d'orientation reste plutôt favorable à la ventilation traversante, dispositif essentiel dans l'architecture climatique pour améliorer le confort des usagers.



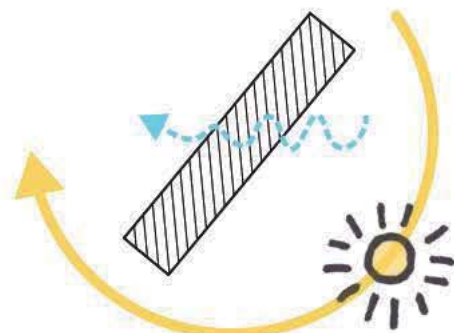
[78.] Schéma d'implantation.



[79.] Schéma de principe d'ensoleillement et d'exposition au vent.



[80.] Schéma d'implantation.



[81.] Schéma de principe d'ensoleillement et d'exposition au vent.

Dans le cas des écoles secondaires, un plan type est mis en place par l'architecte, consistant en une enfilade de salle de classe desservies par une coursive linéaire qui fait office d'espace tampon. Ce dispositif est donc utilisé de manière récurrente, néanmoins on peut apporter quelques remarques. En effet, Pierre Jeanneret met en place un plan identique, mais selon les trois orientations solaires définies précédemment.



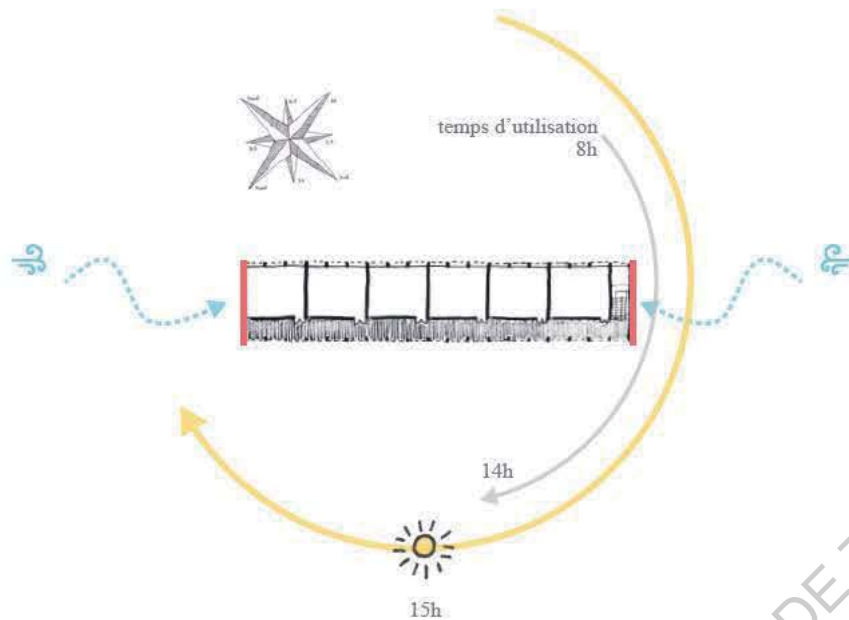
[82.] Coursive de la Secondary School - S21.

Pour les écoles dont les façades principales s'orientent donc au Nord-Est et Sud-Ouest, cette situation implique une forte exposition de la façade sud-ouest au rayonnement solaire, notamment durant les après-midi d'été. En étudiant le plan d'organisation de l'école, on peut relever que du côté de cette façade fortement exposée, l'architecte développe un dispositif climatique créant une zone tampon, dont nous détaillerons le principe dans une partie suivante. Néanmoins cette zone permet de protéger la façade intérieure et habitée des fortes contraintes solaires créées par ce choix d'orientation. De son côté, la façade nord-est se retrouve elle assez préservée de l'exposition forte estivale, disposant d'une lumière naturelle directe une partie de la matinée, et plutôt de second jour en après-midi. C'est sur cette façade que l'architecte développe les principaux espaces habités de l'école, les unités pédagogiques. Elles disposent ainsi de lumière plutôt diffuse, sans éblouissement, une grande partie de la journée. A ce choix d'orientation, on peut ajouter les données liées aux usages du bâtiment. En Inde, les classes scolaires ont lieu en matinée et libèrent les enfants durant l'après-midi, temps de plus forte exposition dans ce choix d'orientation. Durant cette période, le bâtiment n'accueille donc pas d'usagers, donc malgré un possibilité d'inconfort, ces derniers ne sont pas impactés par ce choix conceptuel. La conception du bâtiment doit alors être réalisée de manière à ce que la matière constructive puisse évacuer toute la chaleur emmagasinée durant la nuit.

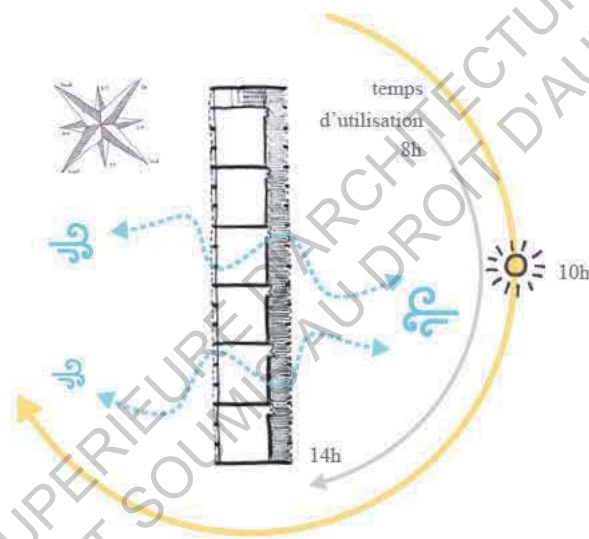
Pour les écoles dont les façades s'orientent donc au Nord-Ouest et Sud-Est. Cette orientation implique une forte exposition de la façade sud-est durant la première partie de la journée, mais elle est plutôt protégée des forts rayons solaires de l'après-midi, car ceux-ci atteignent la façade indirectement. De la même manière que précédemment, c'est sur cette façade fortement exposée que se situe le dispositif climatique créant une zone tampon, qui permet de protéger la façade intérieure et habitée des fortes contraintes solaires créées par ce choix d'orientation. La façade Nord-Ouest, où se développe les unités pédagogiques, reste, elle, préservée de toutes surchauffes et profite d'un ensoleillement de second jour diffus. Grâce à ce choix d'orientation, l'architecte profite également des

faibles brises, dont la direction prédominante est en corrélation avec cette implantation, pour pouvoir ventiler le bâtiment en travaillant sur la porosité de la façade avec le travail d'ouvertures et de menuiseries que nous détaillerons dans le chapitre suivant.

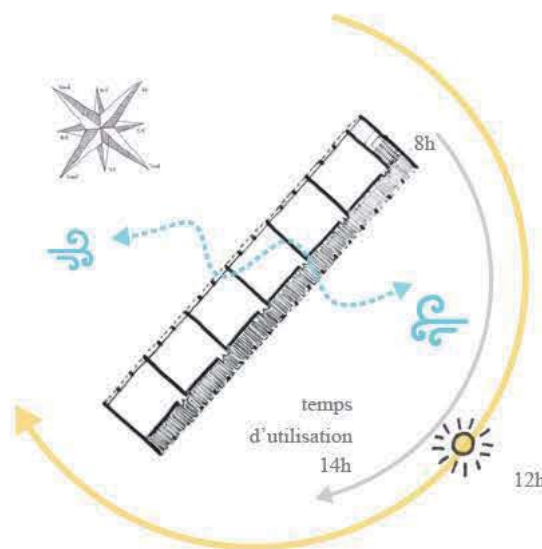
Pour les écoles orientées Nord/Sud, cette exposition implique une forte exposition de la façade sud toute la journée, que ce soit en hiver ou en été. Cette orientation permet de profiter au maximum du rayonnement solaire durant la saison hivernale, cependant elle est très inefficace pour l'été indien. En effet, lorsque le soleil atteint son zénith, le rayonnement solaire arrive perpendiculairement la façade, qui doit donc développer d'autres dispositifs pour se protéger de cette forte incidence et apport de chaleur. De la même manière que sur les autres orientations, l'architecte Pierre Jeanneret développe donc une zone tampon sur cette façade exposée, protégeant ainsi la façade intérieure et habitée des fortes contraintes solaires créées par ce choix d'orientation. De son côté, la façade nord, où se situe les salles de classe, reste, elle, préservée d'exposition solaire et profite d'un ensoleillement de second jour.



[83.] Schéma de principe d'ensoleillement et d'exposition au vent, et temps d'utilisation pour les écoles secondaires orientées Nord-Est/Sud-Ouest.



[84.] Schéma de principe d'ensoleillement et d'exposition au vent, et temps d'utilisation pour les écoles secondaires orientées Nord-Ouest/Sud-Est.



[85.] Schéma de principe d'ensoleillement et d'exposition au vent, et temps d'utilisation pour les écoles secondaires orientées Nord/Sud.

En conclusion, l'architecte Pierre Jeanneret développe donc trois types d'orientations solaires majeures pour ses bâtiments publics. Vis-à-vis des contraintes d'ensoleillement et de vents propres au site de Chandigarh, une des orientations, Nord-Ouest/Sud-Est, semble être la plus favorable en terme de dispositifs climatiques et d'amélioration du confort dans les espaces habités à l'échelle urbaine.

Malgré cela, lorsque l'architecte choisit d'autres types d'orientation, il développe d'autres typologies de dispositifs climatiques à diverses échelles, s'adaptant à chaque cas et surtout programmes qui sont alors singuliers. Dans le cas de l'étude des écoles secondaires développée précédemment, l'application d'un plan type identique et standardisé peut être mis en critique au regard de sa mise en place selon trois orientations cardinales différentes, néanmoins il semble qu'il faille replacer la conception de la ville dans son contexte. Cette production s'est effectuée entre 1951, avec la reformulation du plan d'urbanisme, et 1966, date de la dernière livraison de ses édifices publics, et dans ce laps de temps, Pierre Jeanneret a construit pas moins de 7567 bâtiments⁹⁸. Au regard de cette production massive et de la rapidité de dessins des plans masse en première phase, il semble assez évident que l'équipe de conception et cet architecte n'ont pas eu le temps d'adapter précisément chaque plan en détail. Il s'agissait à l'époque de construire vite, avec les moyens économiques d'un pays tout juste indépendant, et dans une nécessité absolue d'aboutir le plus vite possible à une ville nouvelle, composée de toutes les unités nécessaires à son bon fonctionnement pour pouvoir accueillir massivement une population en pleine exode suite à la partition du pays en 1947.

L'architecte semble donc ne pas choisir l'orientation urbaine d'un bâtiment seulement par la prise en considération des contraintes climatiques mais prend également en compte d'autres facteurs comme la localisation au sein du secteur, l'accès, la relation du bâtiment et son environnement, etc. Les contraintes climatiques sont tellement extrêmes en Inde, que peu importe le choix pris par l'architecte, le bâtiment est exposé d'une manière ou d'une autre à de fortes contraintes entre les différentes saisons.

De plus le développement de plusieurs choix d'implantation était également nécessaire à la création d'une certaine diversité architecturale variant d'un secteur à un autre, afin d'éviter de tomber dans une redondance d'espaces urbains. L'enjeu de la création de cette ville était d'initier ce pays émergent au mouvement architectural moderne, et ce au travers d'une variété de production architecturale.

Face aux orientations urbaines des bâtiments pas toujours favorables à un confort d'usage, l'architecte Pierre Jeanneret développe d'autres dispositifs à l'échelle urbaine, architecturale, mais aussi constructive, que nous allons continuer à étudier afin d'aboutir à des bâtiments dont on espère qu'ils restent habitables et confortables.

98. Voir Annexe n°1.



[86.] University
Library - S14.



[87.] Central State
Library - S17.



[88.] Primary
School - S15.

b) Aménagements paysagers

A l'échelle urbaine, Pierre Jeanneret ne s'intéresse pas seulement à l'implantation et à l'orientation des bâtiments, il prend également en compte l'environnement proche de ceux-ci. Le projet ne s'arrête pas à la limite d'une parcelle, comme cela pourrait se passer pour un projet standard, étant donné qu'il s'agit de la construction d'une ville, de secteurs entiers, tout est pensé en corrélation dès le départ, et donc l'aménagement paysager en tire une certaine cohérence.

L'ARBORISATION

Au cours de la première partie de ce mémoire, nous avons pu étudier que le tracé urbain de la ville de Chandigarh s'est déroulé de manière simultanée à la réflexion sur l'arborisation de celle-ci. Outre les plantations des voies de circulation à Chandigarh, les *seniors architects* présents sur place ont poursuivi cette réflexion en instaurant une réelle considération pour la végétation, tant à l'échelle du secteur, des voies internes et des parcs, qu'à l'échelle parcellaire lors de la conception de bâtiments publics. En effet, si la végétation est correctement choisie en fonction de ses différentes caractéristiques, correctement placée par rapport à un bâtiment, celle-ci peut avoir un réel intérêt, outre qu'esthétique et environnementale, pour le confort des usagers dans un bâtiment ou dans son environnement. Suivant le feuillage et la saison, le houpier d'un arbre peut créer de l'ombre sur un bâtiment et ses espaces extérieurs et ainsi limiter les sensations de surchauffe au sein de celui-ci. Néanmoins, dans le cas de Chandigarh, l'usage de végétation ne doit pas être pensé uniquement avec le point de vue de la saison estivale, mais également en pensant à la saison hivernale, afin d'éviter qu'un avantage devienne un inconvénient. Par exemple, un arbre aux feuillages persistants continuera à créer de l'ombre en hiver et sera défavorable pour le confort dans le bâtiment. Chaque situation doit donc être étudiée singulièrement afin d'aboutir à un confort d'usage.

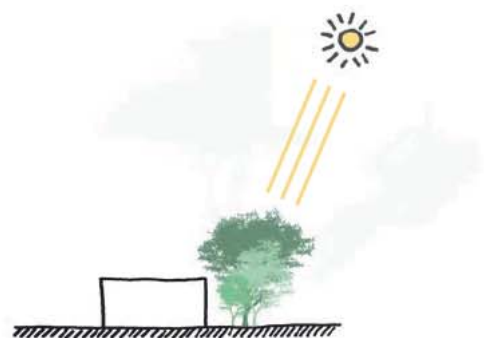
Au travers de l'étude des bâtiments publics de Pierre Jeanneret, on peut discerner deux cas de figures. Premièrement, dans la plupart des secteurs où se situent des écoles, des parcs traversants ont été instaurés dans le master plan par les *seniors architects*, et de ce fait, la végétation a une forte présence dans l'environnement du bâtiment et se poursuit donc à l'intérieur de la parcelle naturellement. Les écoles sont aussi des bâtiments souvent très bien entretenus par le gouvernement, la végétation

a donc reçu l'entretien nécessaire à son bon développement. Mais dans le cas d'étude du secteur de l'université, où l'architecte dessine beaucoup de bâtiments, il semble que l'arborisation ait été oubliée, où alors que l'entretien n'est pas suivi dans le temps, et qu'aujourd'hui le secteur nous parvienne quelque peu désertique.

On peut donc voir que cette notion de dispositifs climatiques par l'arborisation d'une parcelle est très aléatoire dans le travail de l'architecte, ou alors ne nous parvient pas aujourd'hui de la même manière du fait d'une différence d'entretien. Alors que pour les secteurs intégrant des écoles, le travail de la végétation se réalise à l'échelle humaine, lorsque l'échelle du bâtiment augmente, il semble que l'architecte n'y intègre pas ce travail de plantations pour justement recréer une échelle entre l'Homme et les hauteurs des bâtiments. Au sein du secteur de l'université, le travail d'arborisation se poursuit le long des voies de circulation, mais celle-ci ne pénètre pas au cœur des parcelles. Les bâtiments semblent posés au milieu de larges surfaces engazonnées, mais celles-ci manquent d'ombres pour accueillir toute l'activité que celles-ci pourraient recevoir lors de la saison chaude par exemple.



[89.] Schéma de principe d'arborisation pour la période hivernale.



[90.] Schéma de principe d'arborisation pour la période estivale.

LES BASSINS RAFRAÎCHISSANTS

Les bassins font parties des aménagements paysagers mis en place par l'architecte dans quelques bâtiments publics. Bien qu'aucun écrit théorique n'atteste de leur création en tant que dispositif climatique, il semble que leur présence puisse participer au confort des usagers d'un bâtiment.

En terme de confort, durant les saisons chaudes en Inde, les températures atteignent des extrêmes qui rendent toute activité difficile pour un usager. Pour répondre à cet inconvénient, ce dernier doit se trouver dans un espace correctement ventilé, car la diminution de sa température interne dépend du taux d'air en contact avec la peau. Et c'est donc dans cette nécessité de ventilation que l'on peut agir en terme d'espace et d'architecture. Par divers dispositifs, que nous étudierons dans le chapitre suivant, l'architecture d'un bâtiment peut générer des mouvements d'air. Mais ce qu'il est intéressant d'étudier ici, c'est que par l'aménagement urbain proche du bâtiment, on peut participer au rafraîchissement de cet air qui va traverser l'espace et atteindre les usagers. Par la conception de bassins, on peut rafraîchir l'air ambiant, ainsi les brises qui parviennent à un bâtiment passent d'abord au dessus de l'eau, se déchargent en chaleur et se chargent en humidité, avant de traverser le bâtiment et délivrer un air rafraîchi.

Ce dispositif permet donc d'améliorer le confort des usagers par l'intervention sur les caractéristiques climatiques, néanmoins il est plus favorable en climat chaud et sec, plutôt qu'en climat humide. En effet, durant cette saison, c'est l'humidité, et non la chaleur, qui est la caractéristique climatique la plus défavorable au confort d'un usager. L'air déjà chargé en humidité ne possède plus ce pouvoir rafraîchissant, car le corps cherche plutôt un vent sec pour pouvoir évacuer le surplus de chaleur interne par évaporation.

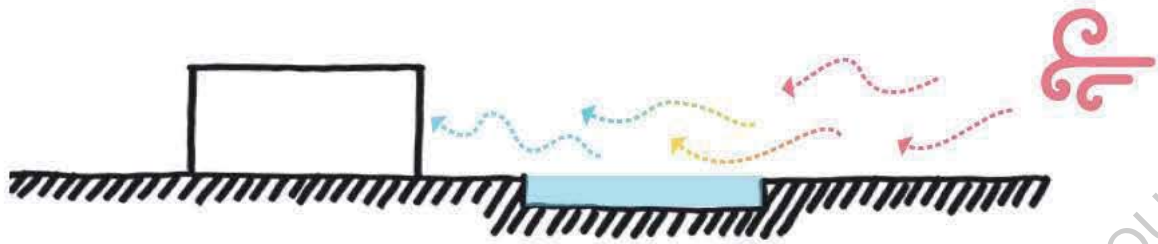
Alors que Le Corbusier ne nomme pas ses bassins comme dispositif rafraîchissant, mais comme «*bassins à reflet*⁹⁹», je pense que Pierre Jeanneret n'a pas toujours utilisé cet aménagement d'un point de vue purement

esthétique. Dans le cas de la bibliothèque universitaire, on peut être étudier cette utilisation d'un autre point de vue. Le bassin se trouve ici sur la façade «arrière» du bâtiment, l'esplanade se trouvant de l'autre côté. Il ne sert donc ni de dispositif esthétique, ni représentatif, comme une fontaine ou un bassin pourrait l'être dans l'architecture classique occidentale. Cette façade de la bibliothèque présente une double peau qui lui permet de se protéger du soleil, mais la façade vitrée qui lui succède montre également un travail de menuiseries permettant une ventilation de l'espace habité. Il semblerait qu'ici l'architecte expérimente les vertus rafraîchissantes qu'un bassin peut avoir sur l'air avant que celui-ci n'atteigne un usager, néanmoins on peut y noter plusieurs incohérences. Tout d'abord son implantation, certes celui-ci se trouve en contact avec une façade poreuse, mais vis-à-vis des vents dominants, il ne semble pas que les brises, aussi légères soient telles, ne proviennent de la direction nord-est où se localise ce dispositif.¹⁰⁰ De plus, le fait que la façade poreuse ne se trouve qu'à partir du premier niveau, et non dès le rez-de-chaussée, niveau du bassin, il faut admettre que, pour que le dispositif soit efficace, l'air circule de manière à d'abord passer au dessus du bassin, puis remonter vers les espaces habités concernés. Bien que de premier abord ce bassin apparaisse comme un dispositif climatique mis en place par l'architecte, je reste un peu critique quant à l'impact que celui-ci peut provoquer sur l'environnement ambiant.

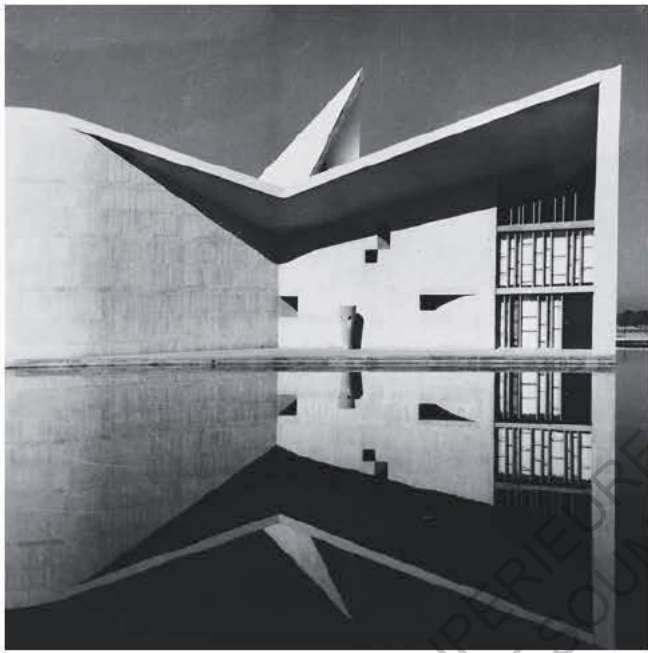
Dans le cas du Gandhi Bhawan, étant donné le programme du bâtiment, il semble que son usage soit plus symbolique qu'autre chose, l'eau ayant cette valeur presque spirituelle. Néanmoins il peut être également efficace en terme climatique au regard de sa conception. En effet, le bâtiment est cette fois-ci complètement entouré du bassin, les brises d'air sont donc, peu importe leur provenance, forcément en contact avec l'eau. Pour ce bâtiment, bien que le bassin crée cette forte valeur esthétique par le reflet de cette architecture remarquable, je pense qu'il présente aussi une valeur climatique.

99. «La Haute Cour», *Oeuvre Complète (1946-1952)*, p. 129.

100. Voir p.89.



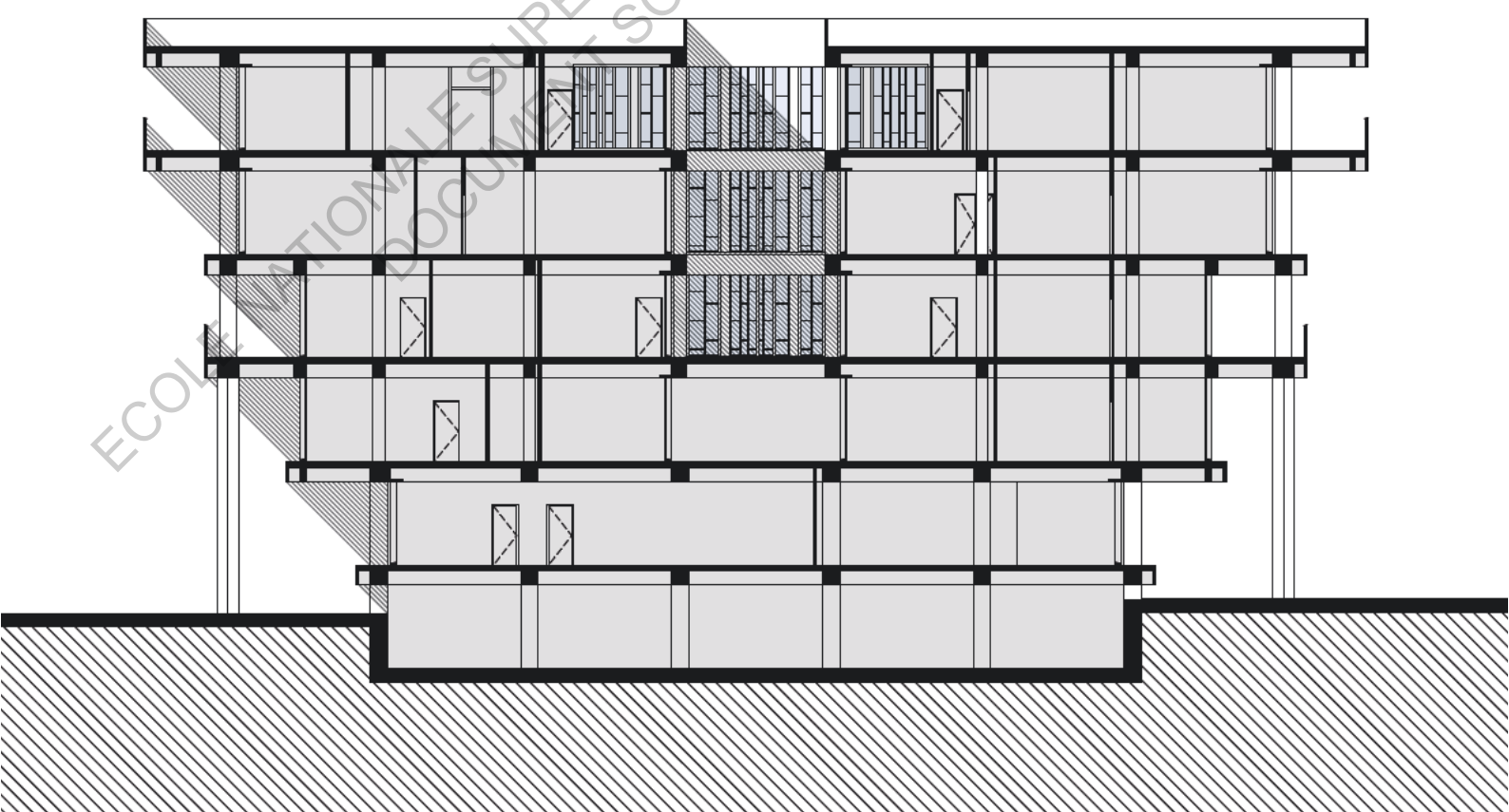
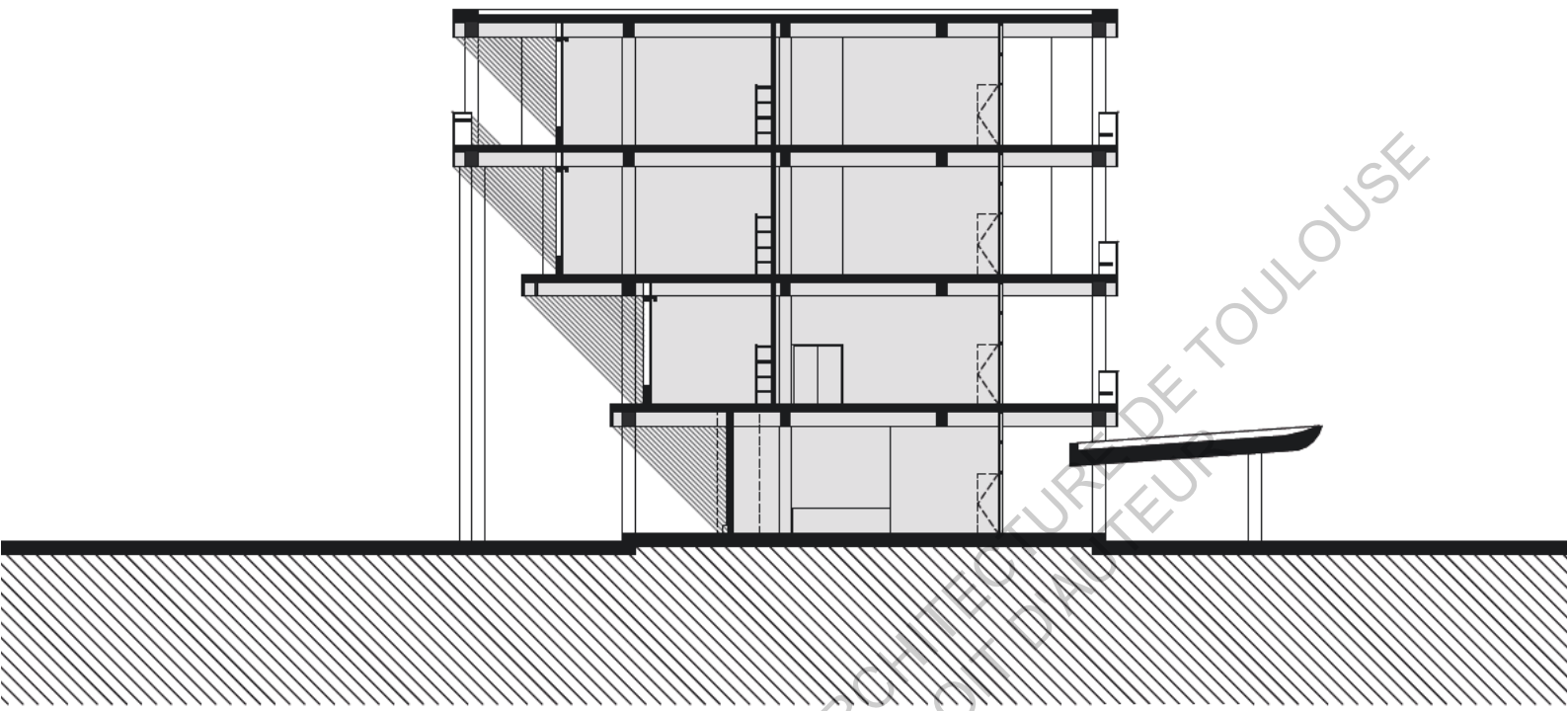
[91.] Schéma de principe du bassin rafraîchissant.



[92.] "Gandhi Bavan", photographie issue du fond d'archives du CCA de Montréal, ©JEANNERET (P.) et Photographie actuelle du Gandhi Bhavan - S14.



[93.] "Secrétariat", photographie issue du fond d'archives du CCA de Montréal, ©JEANNERET (P.) et Photographie actuelle de l'Administration Building - S14.



2. L'ombre et le vent: dispositifs architecturaux

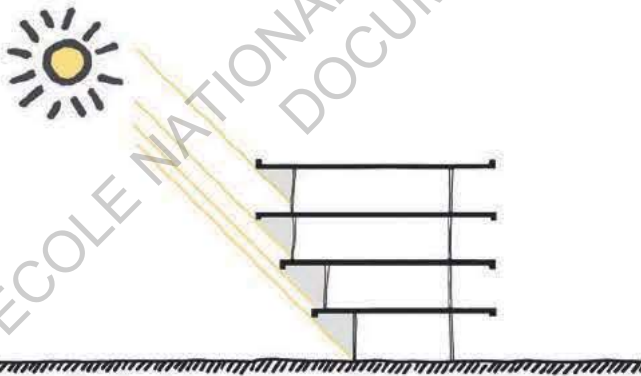
a) La forme totale comme outil climatique

Suite aux dispositifs urbains, nous continuons notre exploration des dispositifs mis en place par Pierre Jeanneret dans son architecture publique en diminuant l'échelle d'étude. Après une pensée urbaine, nous allons donc étudier les dispositifs architecturaux, et dans un premier temps, comment la forme même d'un bâtiment peut servir la question climatique et impacter sur le confort des usagers.

SELF-SHADING SECTION¹⁰¹

«Soleil et pluie sont les deux facteurs d'une architecture qui doit être aussi bien parasol que parapluie.»¹⁰²

En première partie, nous avons explicité le dispositif de toiture parasol théorisé par Le Corbusier¹⁰³, mais par son architecture, Pierre Jeanneret a transposé ce dispositif ne s'appliquant plus qu'à un toit mais au bâtiment en général. Ici, il ne s'agit pas seulement de protéger la surface la plus exposée du bâtiment qui est le toit, mais également de protéger tout un linéaire de façades. La «*self-shading section*», qui signifie «la coupe qui se fait elle-même de l'ombre» se réalise selon le principe de cascades, c'est-à-dire que les étages sont décalés en coupe de manière à se protéger les uns par rapport aux autres. C'est ainsi, comme le nom du dispositif l'indique, que l'architecte crée de l'ombre sur un étage par le décalage du niveau supérieur.



[96.] Schéma de principe - *Self-shading section*

101. Terme employé dans l'ouvrage de PRAKASH (V.), CHD – Chandigarh, p. 118.

102. « Chandigarh. La naissance de la nouvelle capitale du Punjab (Indes) 1950 », *Oeuvre Complète (1946-1952)*, p. 113.

103. Voir p.56-57.v

Ce dispositif est présent dans deux bâtiments publics de Pierre Jeanneret: le bâtiment administratif du secteur universitaire, et l'hôtel de ville du secteur commercial. Sur les deux cas, c'est dans le secteur universitaire que le dispositif s'illustre le plus clairement du fait de son orientation. En effet dans le cas du Town Hall, il s'agit plus d'un outil visant un effet urbain et représentatif, car seule une façade est dessinée ainsi. Il s'agit de la façade nord-ouest, et donc une des façades les moins impactées par les contraintes climatiques du site. Dans ce cas, le dispositif prend plus un qualificatif de portique, car il instaure une présence architecturale forte à ce bâtiment civique, ainsi que des usages.

Néanmoins, la coupe du bâtiment administratif du secteur universitaire est beaucoup plus remarquable en matière d'architecture climatique. En effet, le dispositif est mis en place sur deux façades cette fois-ci et celles-ci sont orientées Nord-Ouest/Sud-Est, et donc plus atteintes par les paramètres environnementaux. Par la mise en place de ce dispositif, l'architecte utilise donc la forme totale du bâtiment comme dispositif climatique. Le décalage des étages en coupe lui permet de générer des ombres protégeant les étages inférieures, à la manière d'un parasol.

Page de gauche:

[94.] Coupe transversale - Town - S17.

[95.] Coupe transversale - Administration Building - S14.

Pages suivantes:

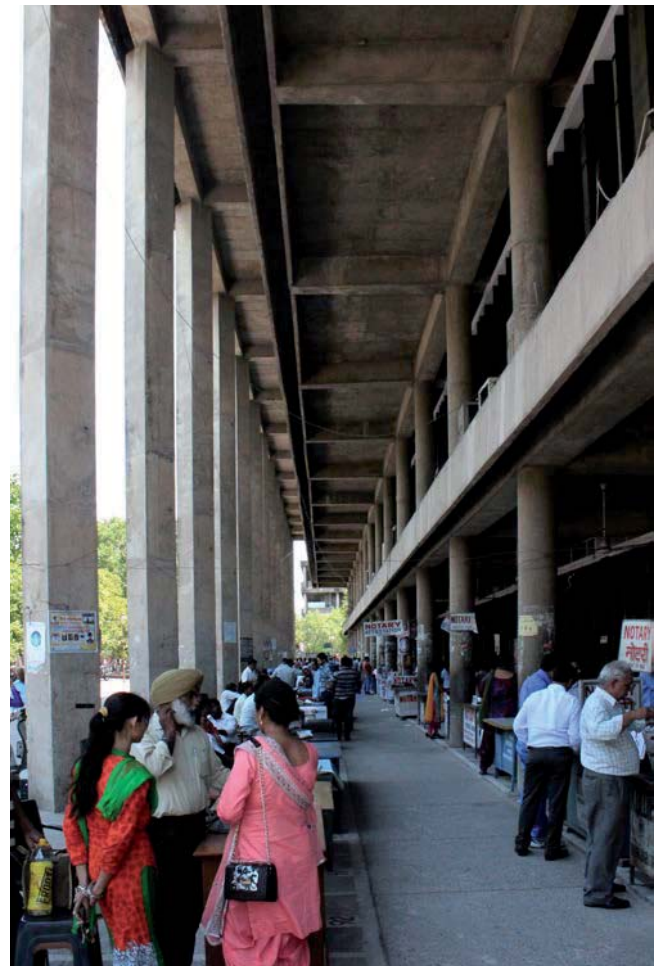
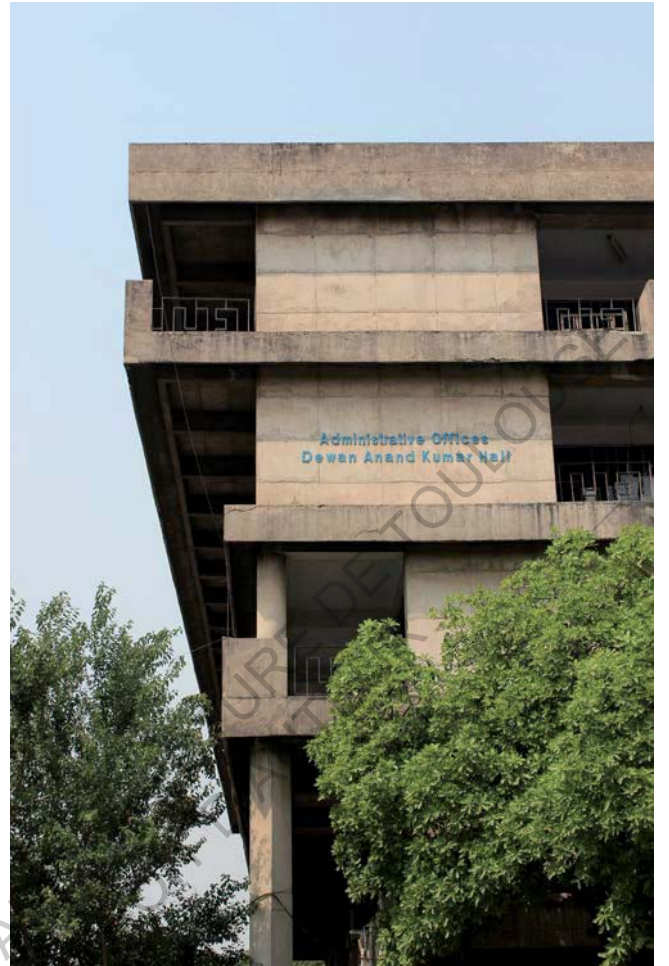
[97.] "Secretariat at the Punjab University Chandigarh", photographie issue du fond d'archives du CCA de Montréal, ©JEANNERET (P).

[98.] Administration Building - S14.

[99.] Town Hall - S17.



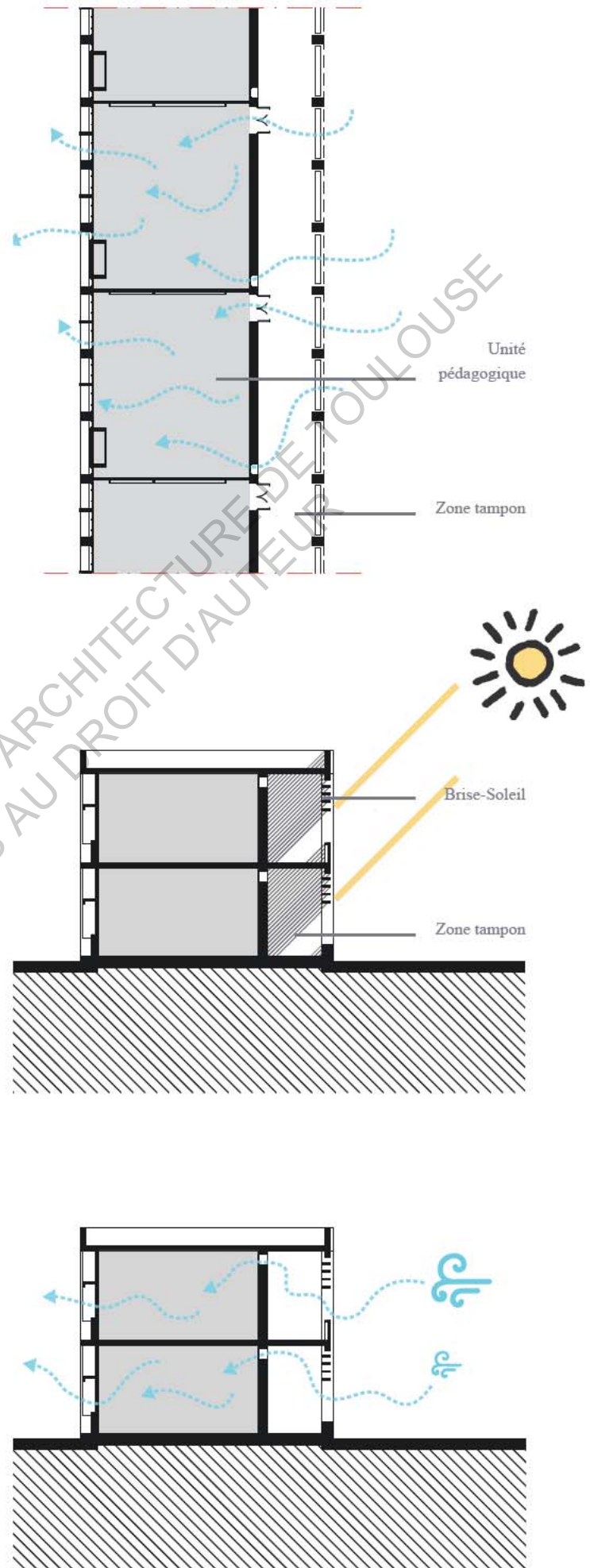
ECOLE INTERNATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE
DOCUMENTS PRESENTES AU DROIT D'UNIVERSITE



LE PLAN TRAVERSANT

Dans le contexte de la création de la ville de Chandigarh, les architectes ont également dû se confronter à d'autres problématiques que celle du climat. Dans ce pays fraîchement indépendant et en voie de développement, la situation financière du pays a amené les architectes à développer de nouvelles solutions architecturales, et cela, à moindre coût. Ajouté à la temporalité réduite du projet vis-à-vis de l'immensité de la tâche à accomplir, les concepteurs ont dû innover également en matière de standardisation.

Pierre Jeanneret développe donc un «plan type», propre au programme éducatif puisqu'il est présent dans les écoles primaires et secondaires, ainsi qu'à l'école polytechnique. Ce plan, à trames structurelles régulières dans la longueur, s'organise en deux séquences dans le plan de la largeur. Ces deux entités sont les unités pédagogiques, qui se situent toujours du côté nord, ainsi que la zone tampon servant de circulation, localisée en façade sud. En terme de dispositifs climatiques, ce plan, en tant que forme totale, présente la mise en abyme de deux autres outils architecturaux: la zone tampon et la ventilation traversante. Par sa conception même, le plan traversant amène donc à l'enchâssement de ces principes. La zone tampon permet de protéger la façade sud habitée, et la ventilation traversante est créée par des mouvements d'air permis par le travail de la porosité des façades. L'architecte développe en effet un travail précis de menuiseries amenant à une circulation d'air, que l'on sait bénéfique au confort des usagers. La mise en place d'un tel plan révèle donc un dispositif à l'échelle architecturale, car c'est par la forme totale du bâtiment que Pierre Jeanneret développe une architecture climatique. Cependant, on peut nuancer l'intérêt de ce plan et sa récurrence si, comme vu précédemment, il est mis en œuvre de la même manière, mais dans des contextes solaires différents par l'orientation du bâtiment.

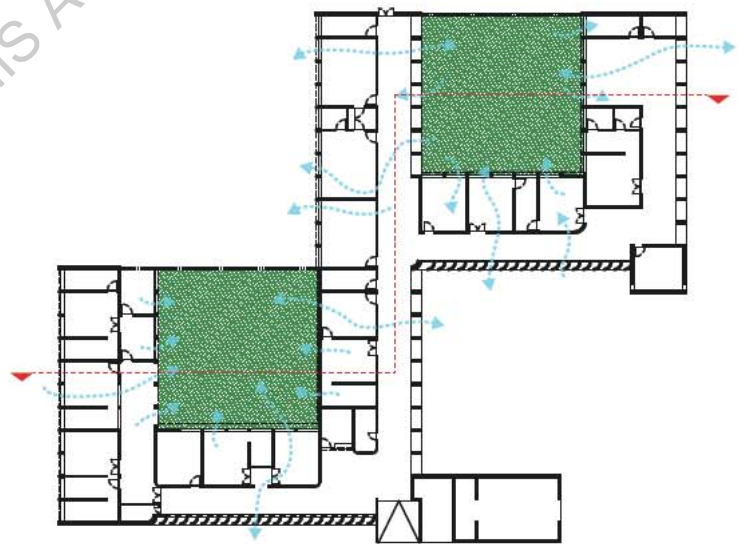


[100.] Plan et coupes de principe du bâtiment traversant - Ecole secondaire.

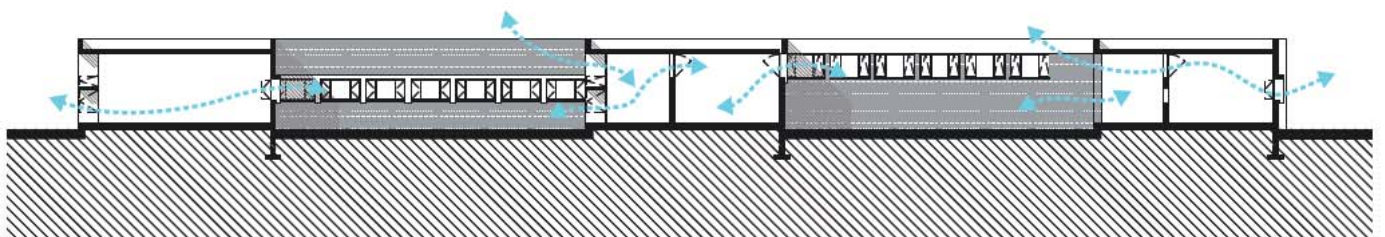
LE BÂTIMENT À COUR

Dans cette dynamique de dispositifs à l'échelle de la forme totale du bâtiment, on retrouve également le bâtiment à cour. Comme nous l'avons vu au cours de notre étude, les maisons à cour sont une composante indéniable de l'architecture vernaculaire indienne, notamment dans les havelis avec les chowk, cour toute hauteur, et les chandni, cour suspendue. Ce type de plan dans l'architecture de Pierre Jeanneret ne fait pas partie d'une conception issue de réflexions autour de la standardisation, mais aborde plus des programmes et des situations singulières.

Ce dispositif cherche donc à développer un linéaire de façade plus important, favorisant ainsi le travail d'ouvertures et donc de lumière et de ventilation, caractéristique que l'on sait nécessaire au confort en climat tropical. Dans le cas du bâtiment administratif universitaire et de l'école polytechnique, il s'agit d'amener plus d'éclairage naturel et de respiration au cœur de ces bâtiments de largeur conséquente. Mais le cas du dispensaire du secteur 14 est plus remarquable que ces deux derniers en matière d'architecture climatique. En effet, développer un linéaire de façades plus important, dans le cas d'un programme médical, est nécessaire en terme d'hygiène et de salubrité. Bien que participant au confort d'usage par l'apport lumineux, ce développé de façades augmente les moyens de ventilation naturelle, notion nécessaire au confort mais aussi à l'hygiène. Contrairement aux principes d'architecture climatique en occident, dans nos climats tempérés, l'architecture climatique tropicale cherche à augmenter les moyens de déperditions de chaleur plutôt de compacter au maximum la forme d'un bâtiment pour limiter celles-ci. C'est en ce point que la forme totale du bâtiment à cour réponds aux exigences tropicales, par l'opportunité que le plan laisse à la respiration et la ventilation.



[101.] Plan de principe du bâtiment à cour - Health Center - S14.



[102.] Coupe de principe du bâtiment à cour - Health Center - S14.

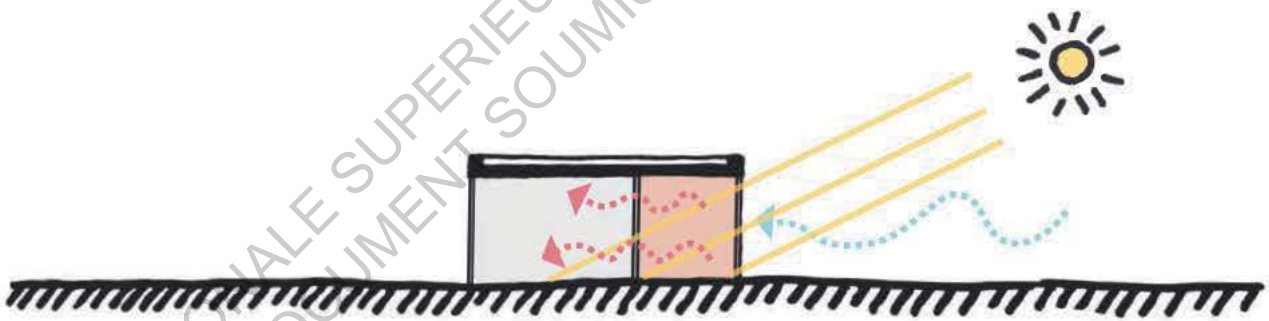
b) La zone tampon

Le dispositif climatique qualifié du terme de zone tampon est un espace conçu dans le but d'absorber une partie des aléas environnementaux afin de protéger un espace habité en y limitant l'amplitude thermique. C'est un espace de transition entre l'intérieur et l'extérieur. En hindi, un terme peut définir cela, c'est le terme baramada, car sa signification est multiple: couloir, galerie, loggia, passage, place, porche, portique, terrasse, véranda, etc. Néanmoins, je n'ai pas d'écrits, ni de relevés ou d'entretiens qui attestent que les indiens utiliseraient ce terme pour désigner cette typologie de dispositifs, il s'agit donc d'une proposition personnelle et non une appropriation.

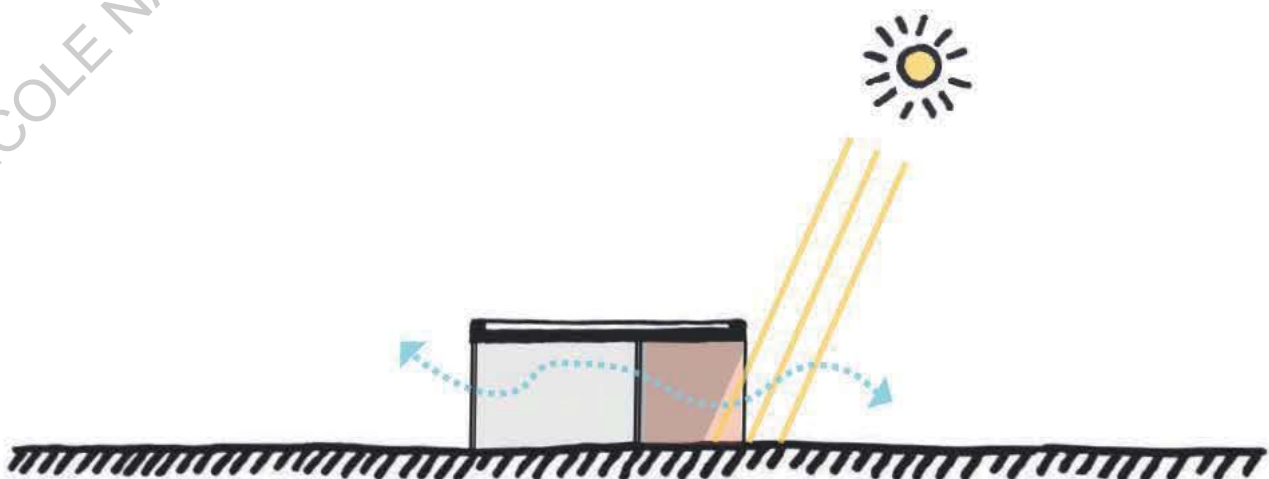
Dans le cas d'une zone tampon efficace durant des périodes hivernales, il faut que cet espace soit couvert et clos, afin de protéger la façade habitée de déperditions de chaleur. Il joue alors le rôle d'une barrière thermique entre l'extérieur et les espaces habités, créant une couche d'air isolante et protectrice des vents. L'espace tampon doit alors être dessiné de manière à laisser passer le rayonnement solaire au maximum pour éclairer l'intérieur de l'espace, mais il doit surtout être fermé afin d'emmagasiner l'énergie solaire pour pouvoir par la suite la diffuser à l'intérieur du bâtiment.

A l'opposé, durant les saisons chaudes, l'espace tampon intervient pour protéger la façade habitée du fort rayonnement solaire, mais aussi des intempéries durant la mousson. Pour assurer sa fonction régulatrice, l'espace est alors couvert pour se protéger du soleil, mais, cette fois-ci, non-clos et ventiler afin de ne pas emmagasiner trop de chaleur. Les zones tampons doivent donc protéger le cœur des espaces habités et leurs façades, et créent donc des mises à distance de l'espace public.

Aux principes climatiques, on peut ajouter que les zones tampons font parties des traditions usuelles en Inde, par cette préservation de l'intimité pour les maisons notamment. A l'échelle domestique, ces zones créent un filtre entre l'intérieur et l'extérieur, ce qui était, et est toujours un peu, réellement important vis-à-vis de la place de la femme dans la société traditionnelle indienne.



[103.] Coupe de principe de la zone tampon en période hivernale.



[104.] Coupe de principe de la zone tampon en période estivale.

LA COURSIVE

Dans les dispositifs climatiques développés à l'échelle architecturale, on retrouve donc la typologie de l'espace tampon, et plus précisément de la cursive. Cet outil dessiné par l'architecte a donc pour finalité d'absorber les variations climatiques, afin de préserver le cœur du bâtiment. Dans le cas de la zone tampon de type cursive, ceci n'est pas sa seule fonction. En effet, l'architecte profite de cet espace protégé pour desservir les différents espaces du bâtiment, la cursive remplit donc également une fonction de circulation. Tout comme dans l'étude réalisée autour de l'architecture vernaculaire et des havelis, on pourrait désigner cet espace par le terme hindi *vedi*, bien qu'aucun relevé n'atteste de l'utilisation usuelle de cette formule.

Ce dispositif est particulièrement développé par l'architecte dans la typologie de plan traversant, présenté dans le chapitre précédent, c'est-à-dire dans les écoles primaires et secondaires. On retrouve également ce principe de manière tout-à-fait analogue dans le plan et la coupe de l'école polytechnique du secteur 26. Bien que l'on ait à faire à un niveau d'enseignement bien supérieur que précédemment, l'architecte transpose le même principe en retravaillant les dimensions de l'espace.

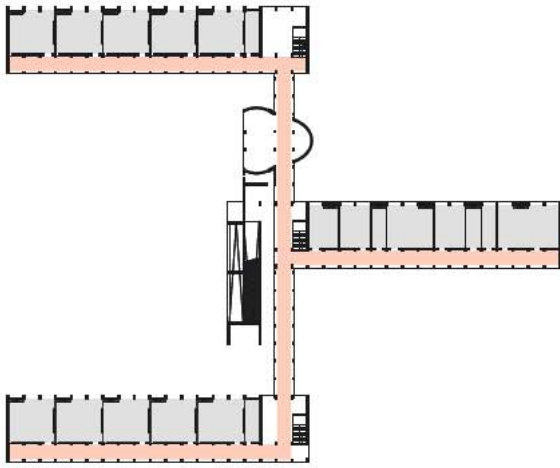
La cursive remplit alors la fonction de desservir les unités pédagogiques dessinées en enfilade, autant en rez-de-chaussée, qu'à l'étage, qu'entre les différents bâtiments du plan masse. Les dimensions de la cursive dessinées par Pierre Jeanneret permettent de protéger la façade intérieure des classes des rayonnements solaires estivaux, tout en permettant de les laisser passer durant la période hivernale. La forme du dispositif qui découle des fonctions à remplir en plan et en coupe crée un espace linéaire ouvert sur un de ses plus grands côtés. De plus, ce dispositif, qui est donc couvert, joue également un rôle de protection durant la mousson, en protégeant les élèves de la pluie. Ils peuvent se rendre dans tous les espaces de l'école, sans être exposés aux trombes d'eau qui s'abattent sur Chandigarh à cette époque. On remarque également que l'espace circulatoire est lui-même protégé par un dispositif climatique de la typologie des protections solaires

en façade, que nous développerons dans le chapitre suivant: le brise-soleil ou les claustras.

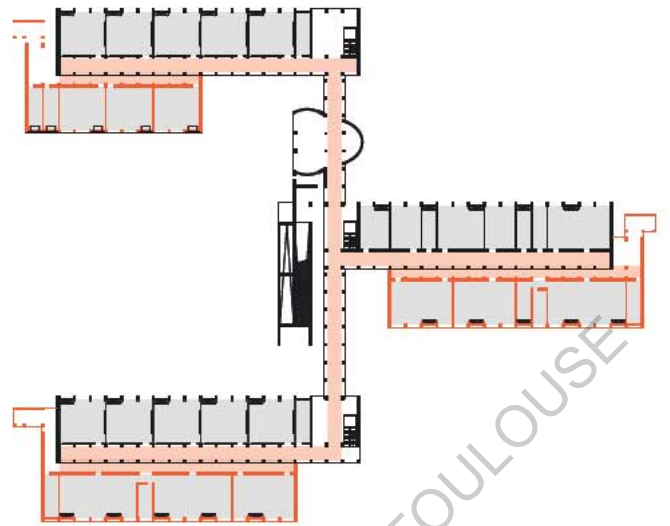
Le cas du dispensaire du secteur 14 peut être assimilé à cette réflexion de la cursive par le principe de distribution et la coupe, néanmoins il se différencie sur un point particulièrement singulier: l'espace est clos. En effet, cette fois-ci l'architecte ne travaille pas sur un espace ouvert et ventilé, mais sur un espace fermé par du vitrage avec possibilité de ventilation par le dessin des menuiseries. On peut expliquer cette différence de traitement par le programme du lieu, le dispensaire étant un équipement de santé et nécessitant une hygiène et un contrôle plus délicat des contraintes environnementales.

En terme d'efficacité, le dispositif climatique de la cursive présente de nombreux avantages comme de protéger les usagers du soleil et de la pluie durant les saisons estivales, quelles soient sèches ou humides. Il crée également des espaces investis et appropriés par les élèves qui en font des espaces d'attente ou de jeux. Néanmoins, durant la saison hivernale, l'espace n'étant pas clos, les élèves sont directement soumis aux aléas climatiques dès lors qu'ils se trouvent à l'extérieur des classes.

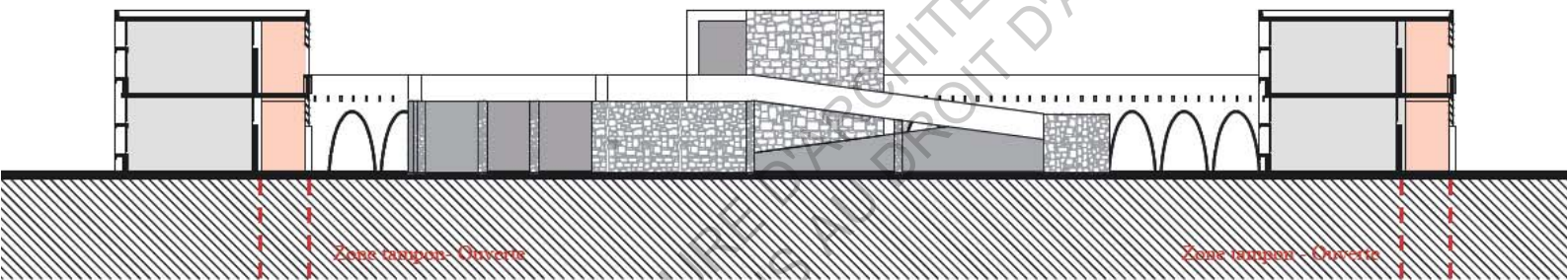
L'inconvénient de ce système distributif, sur uniquement un de ses côtés, se trouve dans sa rentabilité en nombre d'espaces desservis, et dans les possibilités d'extension qui sont intervenues par la suite. Outre la répétition du système par l'ajout de barre comme dans le secteur 10, parfois les extensions se sont faites par symétrie des unités pédagogiques comme dans le secteur 22. L'espace distributif perd alors ses vertus d'espaces tampons et ne devient que couloir de distribution. Ainsi, c'est une façade habitée qui est directement exposée dans l'orientation sud, et donc dans une situation très défavorable. Ces extensions symétriques sont d'autant plus critiquables que les façades ajoutées sont des copies des façades nord d'origine, sauf que leur orientation est opposée. Les dimensions de la trame et des brise-soleil n'ont pas été recalculées afin que celles-ci puissent protéger les ouvertures et ainsi éviter les surchauffes.



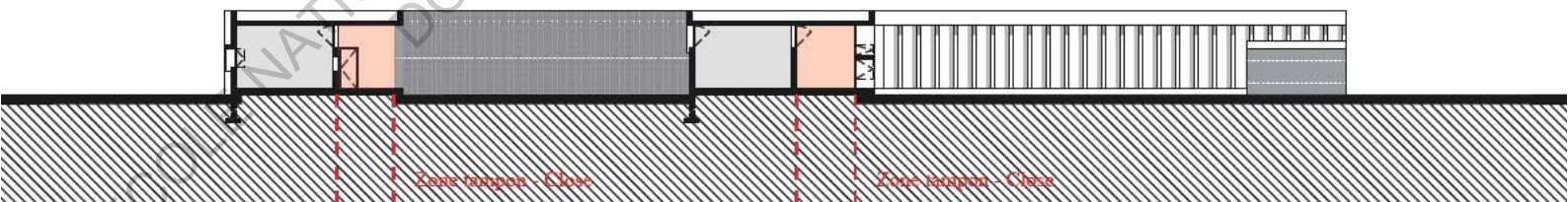
[105.] Principe de distribution par coursive. - Secondary School - S22.



[106.] Exemple d'extension - Secondary School - S22.



[107.] Coupe de principe de la coursive - Secondary School - S22.



[108.] Coupe de principe de la coursive - Health Center - S14.

Pages suivantes:

[109.] "Higher Secondary School, Sector 16, Chandigarh", photographie issue du fond d'archives du CCA de Montréal, ©MALHOTRA (J.).

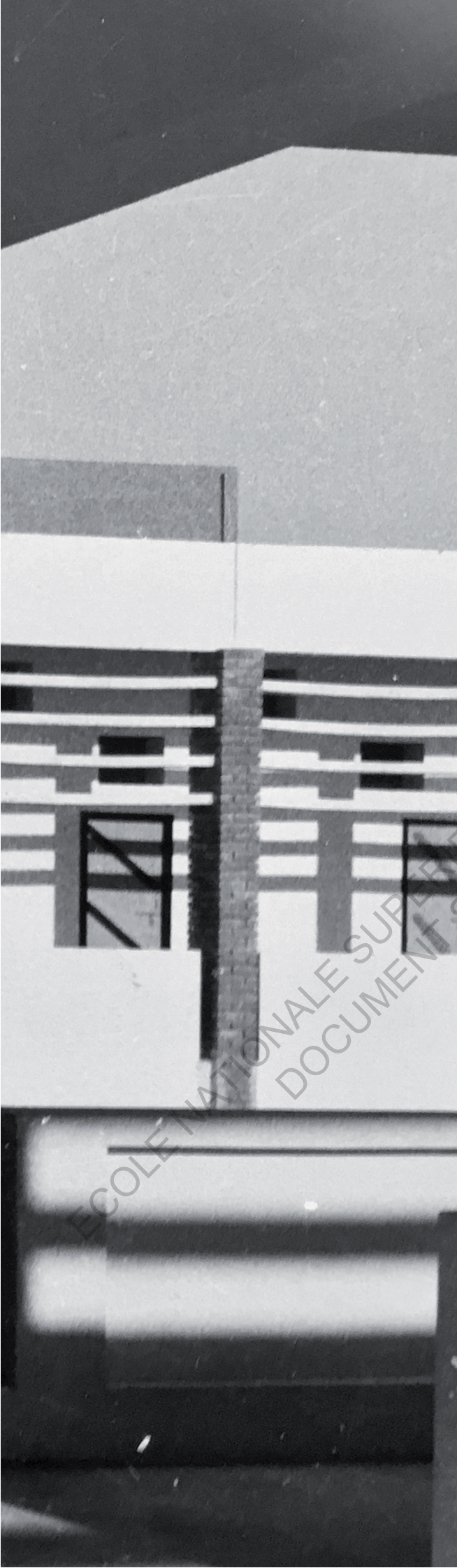
[110.] Secondary School - S16.

[111.] Secondary School - S19.

[112.] Primary School - S15.

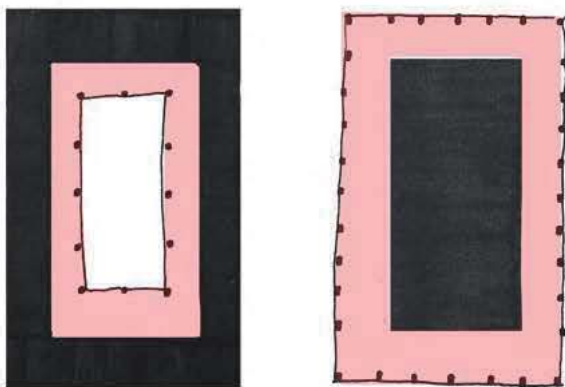
[113.] Health Center - S14.





LA GALERIE

Le principe de galerie peut s'assimiler au dispositif du périptère, sauf qu'il ne se situe pas en rez-de-chaussée, mais dans les étages. Un périptère est le pendant extérieur du péristyle, il s'agit d'une galerie à colonnes faisant le tour extérieur d'un édifice en dehors de son mur d'enceinte, ce qui le différencie de la loggia.



[114.] Schéma de principe du péristyle et périptère.

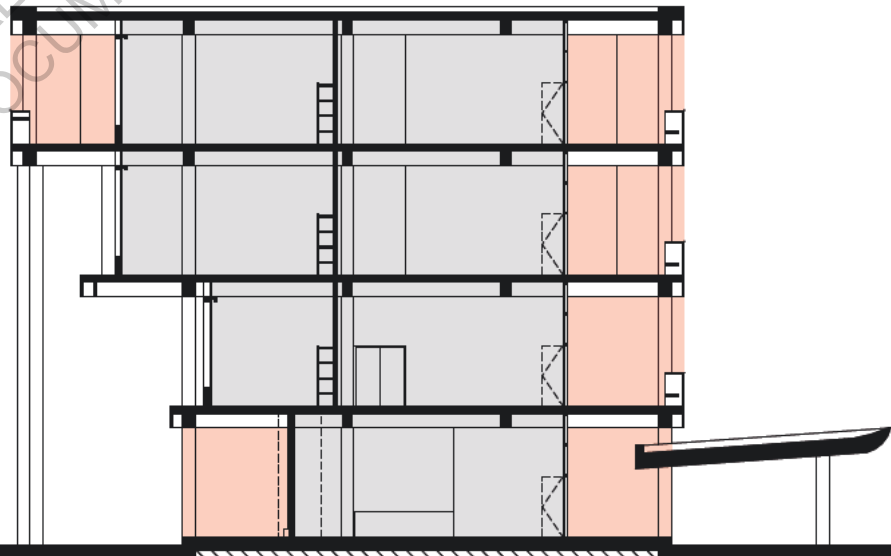
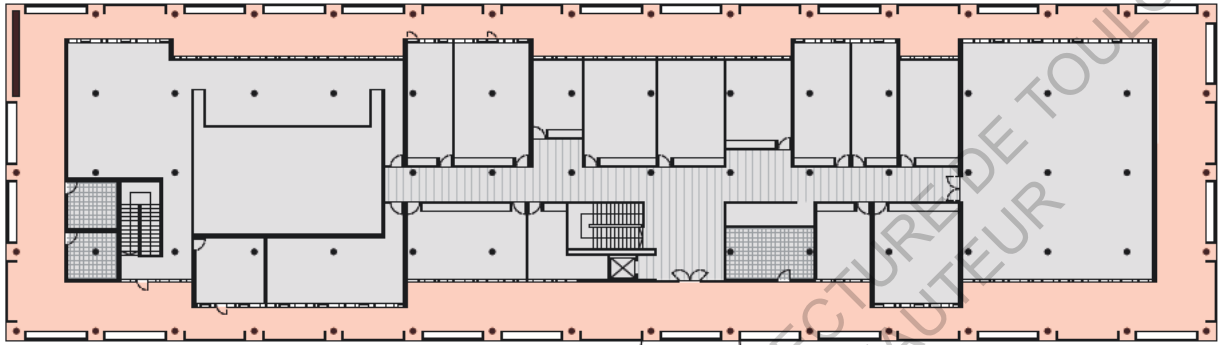
De manière très analogue à la coursive, la galerie est dessinée par Pierre Jeanneret afin d'absorber les variations climatiques. Néanmoins ce dispositif se différencie du précédent, car il ne se localise pas sur une seule façade du bâtiment, mais il l'entoure complètement ou en partie, et il ne participe pas au principe de circulation dans le bâtiment.

La galerie est un espace linéaire, ouvert sur un de ses plus grands côtés, elle est couverte et non close, et a pour fonction, outre l'intérêt climatique, d'offrir des espaces extérieurs aux usagers d'un bâtiment. Ces lieux, par le dessin précis de Pierre Jeanneret, sont appropriés par les usagers qui investissent l'espace. En effet, l'architecte «clos», ou plus précisément protège, l'espace par la réalisation de garde corps plein, qui peuvent être respectivement des assises, des tables ou simplement un système de protection.

Ce principe est développé dans quatre bâtiments publics de Pierre Jeanneret : deux dans le secteur commercial et deux dans le secteur universitaire. Pour trois d'entre eux, le bâtiment administratif du secteur 14, l'hôtel de ville et la bibliothèque du secteur 17, le système se développe sur tout le pourtour du bâtiment, tel une couronne protégeant l'intériorité du bâtiment. Ceci permet à l'architecte de largement ouvrir les façades, qui sont composées par le système du mur ondulateur

Le cas de la bibliothèque universitaire se différencie un peu, bien que l'espace soit identique, il s'agit cette fois-ci plus d'un dispositif qui suit une typologie de balcon, car le système ne s'enroule pas autour du bâtiment, mais se limite à une seule façade, sud en l'occurrence.

Ce principe de galerie, en tant que zone tampon, présente l'avantage de créer le recul nécessaire pour protéger les façades vitrées des surchauffes créées par le rayonnement solaire, mais il permet également de produire de larges surfaces d'espaces extérieurs appropriables par les usagers. Par exemple, dans le cas de la bibliothèque centrale du secteur 17, les lecteurs, ou les étudiants, profitent de ces espaces protégés du soleil pour travailler dehors. Ils se trouvent ainsi dans un espace ombragé et ventilé, mais aussi à hauteur des feuillages des plantations environnantes. A contrario, lorsque ces espaces n'ont pas su trouver d'usages, les indiens ont investi le lieu par du stockage anarchique, dégradant ainsi le dispositif tant en terme d'espaces qu'en terme d'efficacité climatique.



ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR



[116.] Galerie - Central State Library - S17.



[117.] Galerie - Town Hall - S17.



[118.] Galerie - Administration Building - S17.



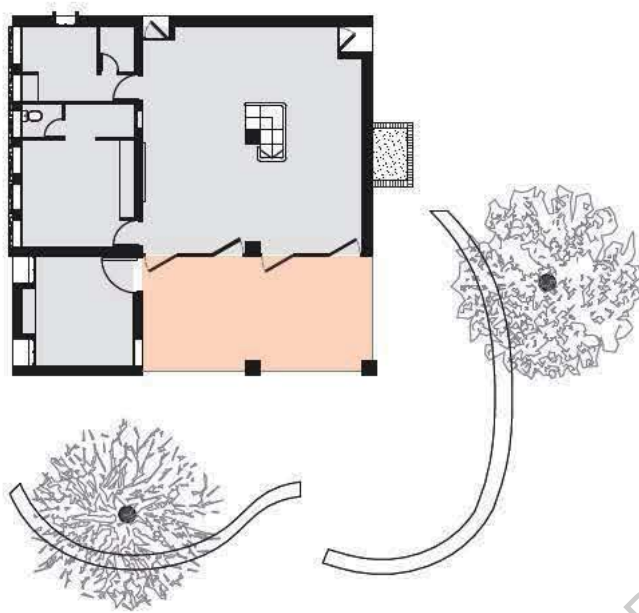
[119.] V é r a n d a - N u r s e r y S c h o o l - S 0 7 .



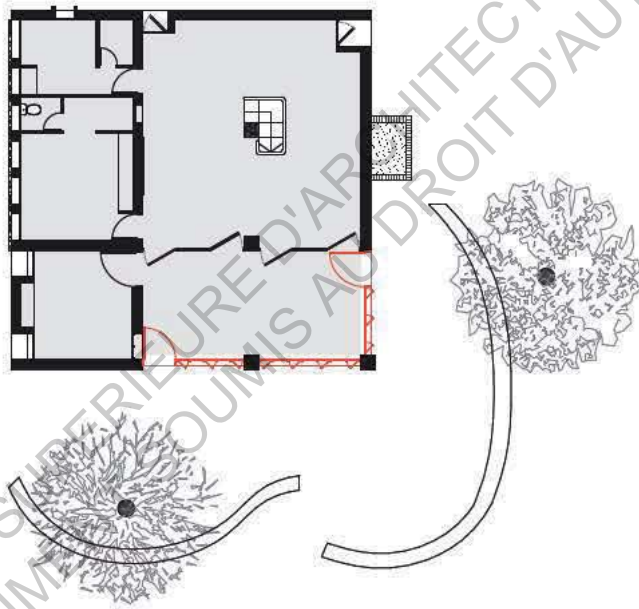
[120.] C o r r e c t i f c l i m a t i q u e e t V é r a n d a - N u r s e r y S c h o o l - S 1 6 .



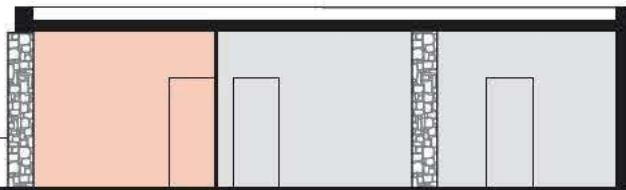
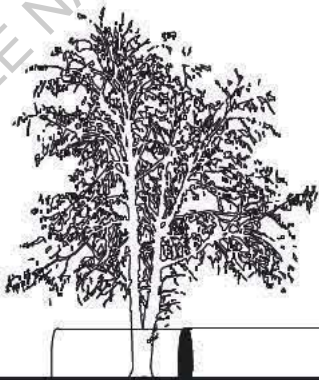
[121.] V é r a n d a - N u r s e r y S c h o o l - S 2 2 .



[122.] Plan de principe de la véranda - Nursery School - S16.



[123.] Correctif climatique actuel - Nursery School - S16.



LA VÉRANDA

Dans cette catégorie de dispositif climatique à l'échelle architecturale, on peut également présenter la véranda, qui est un espace vernaculaire à la culture indienne, nommé tibara. En effet, l'architecte Pierre Jeanneret développe beaucoup ce dispositif à l'échelle domestique, en tant que tampon dans un but climatique, mais également en tant que filtre dans le but de préserver l'intimité du logement. La véranda constitue une première enveloppe protectrice, créant une distance entre l'usage extérieur de la rue, et l'usage intérieur de la maison et de la famille. Outre cet intérêt usuel et traditionnel, la véranda forme également un réel espace tampon, de la même manière qu'étudiée précédemment. Les dimensions de cet espace couvert et ventilé permettent de protéger les façades habitées de la maison des surchauffes estivales et des précipitations, tout en captant un maximum le rayonnement solaire durant l'hiver. La véranda laisse également passer l'air qui ventile alors la maison de façade à façade par les diverses ouvertures.

Ce dispositif développé par l'architecte Pierre Jeanneret dans son architecture domestique est également transmis dans le domaine public par les écoles maternelles, qui sont des programmes analogues à l'échelle domestique. En effet, les écoles maternelles dessinées par l'architecte ne présente qu'une unité pédagogique pour la plupart, ce qui représente donc une surface totale bien moins importante que certains programmes à plusieurs niveaux. Le dispositif est donc placé en forte relation avec l'espace central de l'école, c'est-à-dire la salle de classe, ce qui permet à cette dernière d'être éclairée en second jour et donc d'éviter les surchauffes, mais aussi de pouvoir étendre ses usages avec un renforcement de la relation intérieur/extérieur. Comme vu dans le chapitre orientation, l'efficacité de ces dispositifs dépend essentiellement de leur placement vis-à-vis des contraintes environnementales: le soleil et le vent. Dans les écoles maternelles, seule une semble répondre aux exigences en terme d'efficacité climatique, il s'agit de l'école secteur 22. En effet, cette fois-

ci, la véranda se situe en façade sud-est. Elle protège donc les salles de classe des rayonnements estivaux agressifs, mais elle se situe également dans la direction des vents dominants. Elle participe donc à la ventilation naturelle de l'espace par le dessin de menuiseries mis en place.

Au contraire, les écoles du secteur 7 et 16 présentent toutes deux des vérandas, mais en façade nord-est cette fois-ci. Outre le fait de ne pas favoriser la ventilation car elles ne se trouvent pas dans leur direction, elles se trouvent sur des façades exposées en tout début de journée, lorsque le rayonnement solaire n'est pas encore très agressif. Alors certes, l'école ne subit pas de surchauffes par l'exposition de surface vitrée en façade sud, mais ces larges pans de mur de briques clos emmagasinent la chaleur et ne sont pas protégés par des espaces tampons. Ils sont directement en contact avec l'apport d'énergie, captent et diffusent la chaleur à l'intérieur de la salle. Cette localisation de la véranda est donc assez défavorable car en plus de créer des espaces sombres et peu éclairés directement, les façades habitées se trouvent directement exposées aux contraintes environnementales.

Toujours dans le cas de l'école maternelle du secteur 16, du fait que la véranda soit localisée en façade nord-est et d'avoir perdu son efficacité climatique, les usagers ont investi le lieu en fermant l'espace par des cloisons vitrées. Comme celles-ci sont faiblement impactées par le rayonnement solaire, cela n'engendre pas de surchauffes majeures, mais cela implique un cloisonnement de l'espace empêchant la ventilation naturelle qui s'effectuait auparavant.

c) Les systèmes de protection solaire en façade

«En France, pour éviter les hautes températures, l'on se protège du soleil; ici, il faut se protéger de la chaleur, car plus la température est élevée, moins il y a de différence entre la température à l'ombre et au soleil.»¹⁰⁴

Le travail de profondeur de la façade, que nous venons d'étudier au travers des espaces tampons, est un dispositif essentiel au confort climatique développé par Pierre Jeanneret, cependant, au vu des conditions climatiques indiennes, ce n'est pas toujours suffisant. L'architecte a donc développé d'autres dispositifs qui viennent apporter des protections solaires supplémentaires pour les façades, mais aussi les surfaces horizontales que nous étudierons prochainement.

LE BRISE-SOLEIL

«Les salles de travail sont bien protégées contre les radiations directes du soleil par un immense parasol à double paroi de 108x32m et des réseaux de brise-soleil de 1,40m de profondeur. D'autre part les vents passent librement sur le parasol et dans la salle des Pas-Perdus qui est largement ouvertes sur les deux façades opposées.»¹⁰⁵

Tout comme Le Corbusier au Capitole¹⁰⁶, Pierre Jeanneret développe une réflexion tant climatique, que constructive, économique ou même esthétique au travers d'un panel de brise-soleil très large. L'intérêt même du brise soleil est de protéger des rayonnements solaires un espace habité, cependant, il introduit la notion de porosité et donc de ventilation, ainsi que la relation intérieur-extérieur. Le principale avantage de ce dispositif est qu'il permet également d'engager une réflexion de préfabrication, permettant de réaliser de nombreuses séries de pièces identiques, dans un soucis d'économie financière, mais aussi de rapidité d'exécution.

«Le brise-soleil prenait donc ici toute sa valeur de rejet des styles classiques. Il s'étendait non pas seulement à la fenêtre mais à la façade entière et à la structure même du bâtiment.»¹⁰⁷

Au travers des différentes typologies de brise-soleil, l'architecte use donc des avantages de chacune pour améliorer le confort d'usage dans différents types d'espaces, tout en développant des identités esthétiques propres à chaque bâtiment. La préfabrication s'applique en série sur un bâtiment, mais il ne la déploie pas spécialement sur plusieurs bâtiments d'une même typologie. On ressent plus l'expérimentation des formes et leur efficacité, qu'une optimisation au maximum de cette technique de mise en œuvre sur l'ensemble de son œuvre.

104. JEANNERET (P.), «Incidences des techniques locales et du climat sur la construction à Chandigarh.», *L'architecture d'Aujourd'hui*, oct. 1956, oct, n°67/68, p.178.

105. « La Haute Cour », *Oeuvre Complète (1946-1952) Volume 5*, p. 130.

106. Voir p.64-65.

107. « Chandigarh. La naissance de la nouvelle capitale du Punjab (Indes) 1950 », *Oeuvre Complète (1946-1952) - Volume 5*, p. 113.



[125.] "Detail High Court - Architect LC", photographie issue du fond d'archives du CCA de Montréal, ©MOHR (J.).

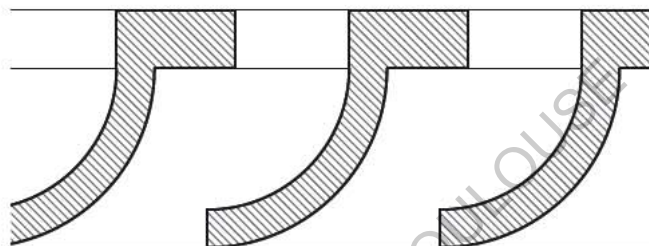
Le brise-soleil vertical

Le brise-soleil vertical est un dispositif climatique que l'architecte n'emploie qu'une seule fois de manière singulière. En effet, l'orientation verticale de l'élément n'est pas des plus efficaces concernant la protection des façades sud, orientations favorisées par l'architecte comme nous l'avons étudié précédemment.¹⁰⁸

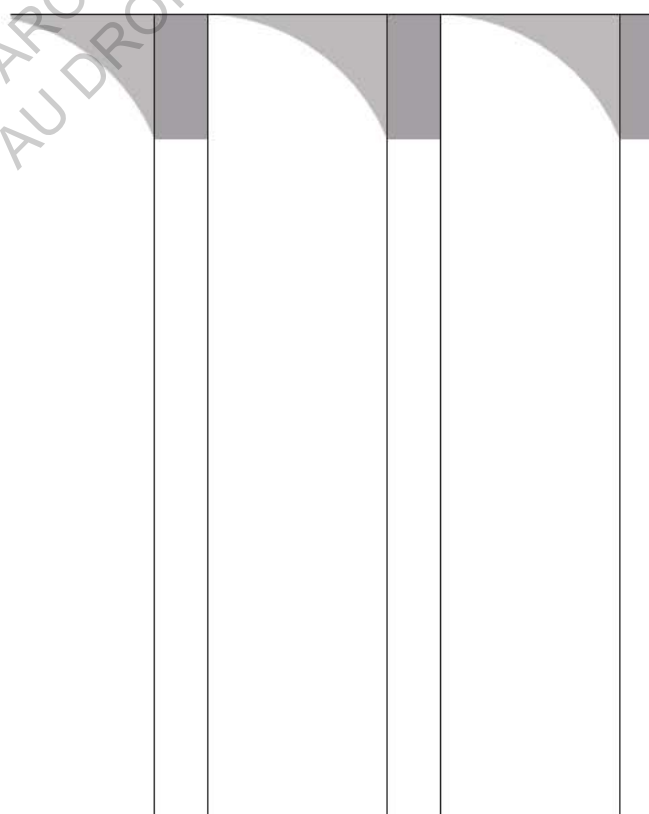
En effet, en été, les rayons solaires sont à leur zénith lorsque le soleil atteint les façades sud, par conséquent une protection horizontale est plus efficace pour déporter les rayons de la façade. Une protection verticale laissant passer les rayons verticaux, est plus efficace dans les orientations est ou ouest, le soleil étant plus bas, soit montant, soit descendant.

L'architecte utilise donc peu ce dispositif, pourtant il l'emploie d'une manière tout-à-fait singulière dans le cas du dispensaire du secteur universitaire. Le dispositif se déploie alors sur toutes les façades sud, et bien qu'un brise-soleil vertical dans cette orientation soit en général tout-à-fait inefficace dû à l'incidence du rayonnement solaire, il trouve ici un réel intérêt par sa forme et ses dimensions. En effet, le brise-soleil se déploie sur toute la hauteur du bâtiment, et chaque élément préfabriqué est un arc de cercle béton, et par conséquent génère une épaisseur, en terme de largeur, mais aussi de profondeur. La répétition très soutenue du dispositif sur tout le linéaire de façades, ne laisse que de très fines lamelles où le soleil peut pénétrer, et il tape sur la courbe du brise-soleil adjacent, et est donc réverbéré. Cela permet de produire un éclairage de second-jour et diffus, tout en protégeant le vitrage à l'arrière des surchauffes.

L'emploi de ce dispositif présente donc une réelle vertu en matière d'architecture climatique, et participe également à la création d'une identité esthétique pour le bâtiment. Par conséquent, l'emploi d'un brise-soleil vertical en façade sud paraît a priori être une erreur de la part de l'architecte, mais son travail de réflexion a permis de le rendre effectif malgré cette orientation. On peut donc tirer la conclusion, que si un dispositif est pensé spécifiquement à son lieu de mise en œuvre, il peut être adapté malgré son inefficacité théorique.



[126.] Plan d'un brise soleil vertical - Health Center - S14.



[127.] Élévation d'un brise soleil vertical - Health Center - S14.

108. Voir p.91-95.



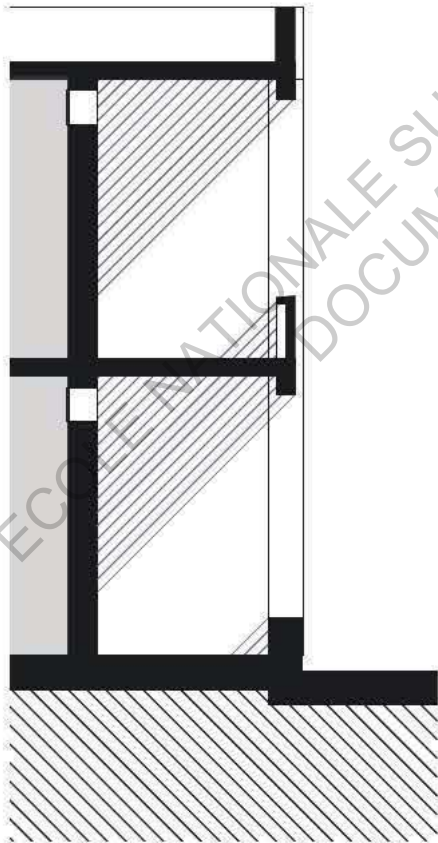
[128.] Façade sud et ses brise-soleil verticaux - Photographie du Health Center - S14.



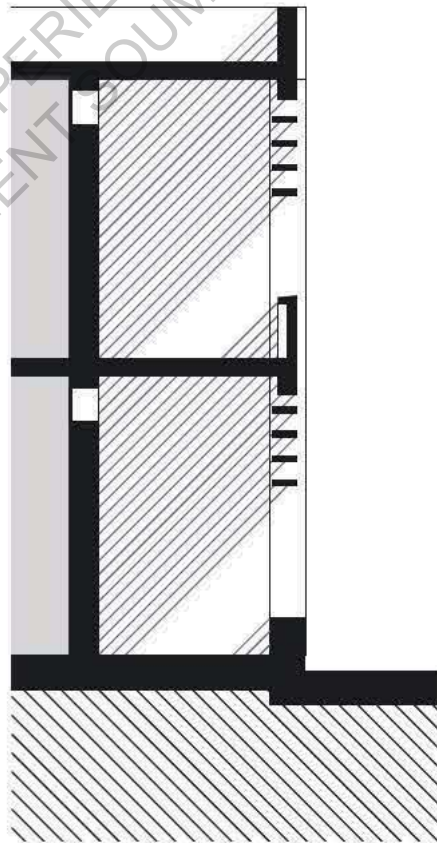
[129.] Façade sud et ses brise-soleil verticaux - Photographie du Health Center - S14.



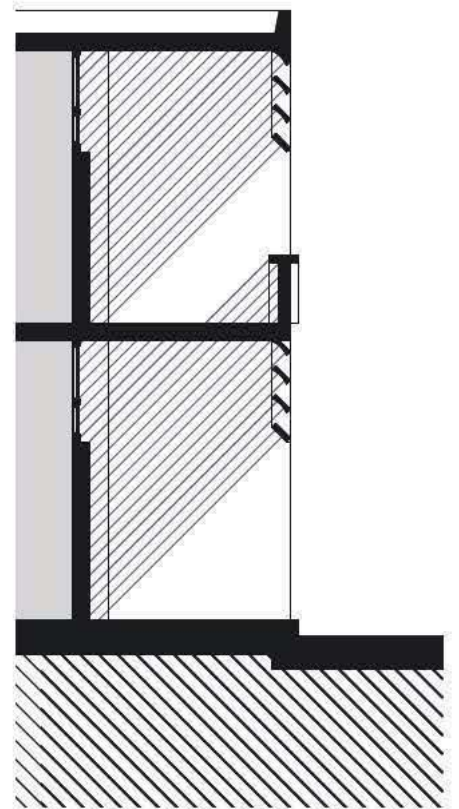
[130.] Façade sud et ses brise-soleil horizontaux - Photographie de la Secondary School - S16.



[131.] Coupe de la zone tampon sans brise-soleil.



[132.] Coupe de la zone tampon avec brise-soleil -
Secondary School - S16.



[133.] Coupe de la zone tampon avec brise-soleil -
Secondary School - S22.

Le brise-soleil horizontal

Le brise-soleil horizontal est un dispositif climatique que l'architecte emploie spécifiquement dans le cas de protection des zones tampons des écoles secondaires, et plus précisément celle du secteur 16 et 22. Le brise-soleil se situe alors sur les façades orientées au sud, comme nous l'avons étudié précédemment¹⁰⁹, ce qui accroît son efficacité. L'angle d'incidence des rayons solaires est très important lorsque le soleil s'oriente au sud, il est alors à son zénith. La protection solaire horizontale est alors le dispositif le plus efficace, car il déporte les rayons de la façade, ou d'une ouverture, évitant ainsi les surchauffes.

L'architecte utilise donc ce dispositif pour protéger les coursives des écoles secondaires du secteur 16 et 22. Bien que le dispositif soit identique, l'architecte développe deux formes plastiques différentes aux orientations singulières, expérimentant leur efficacité suivant le cas de mise en œuvre. Dans les deux cas, le brise-soleil se situe donc sur la façade sud, protégeant les espaces circulatoires, qui eux-même protègent la façade habitée des salles de classe. Le dispositif est donc employé en supplément afin d'offrir également du confort aux usagers dans les espaces extérieurs. En effet, le seul dispositif de la coursive couverte, et donc de son débordement de toit, aurait suffi à apporter du confort aux élèves dans les salles de classe, cependant lorsque ceux-ci se déplacent dans les coursives, ils auraient alors été complètement exposés aux rayons solaires qui ne sont plus déportés par un couvert. L'ajout de brise-soleil contribue donc à rendre plus confortable l'usage de ces zones distributives, et ainsi de les rendre également habitables, générant de nouveaux usages.

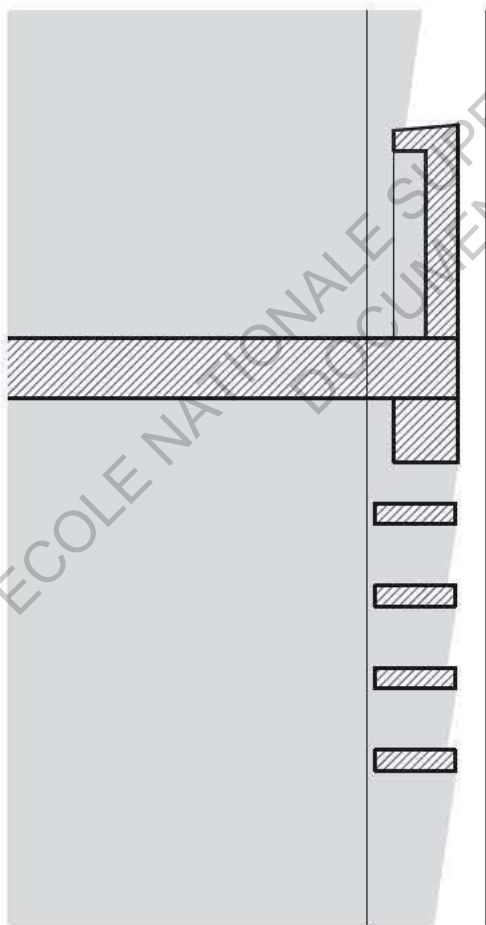
Dans les deux cas, les brise-soleil sont installés entre les trames porteuses des poteaux de brique, mais l'architecte expérimente sur leur forme et orientation. Dans le cas de l'école du secteur 16, il s'agit de simples éléments de béton préfabriqués, légèrement curvilignes en sous-face, installés parallèlement à la surface du sol. Dans l'école du secteur 22, l'architecte expérimente la préfabrication d'éléments courbes sur la longueur qu'il oriente à 45°.

Dans un cas, comme dans l'autre, l'emploi de ce dispositif de brise-soleil horizontal présente donc une réelle vertu en matière d'architecture climatique, et participe également à la création d'une identité esthétique pour les bâtiments. L'expérimentation de l'architecte permet de conclure que tant que la forme, le dimensionnement, l'écartement du soleil est pensé correctement au regard des données d'ensoleillement, le dispositif reste effectif. Une pensée spécifique au site est donc le moyen le plus adapté de concevoir des espaces confortables.

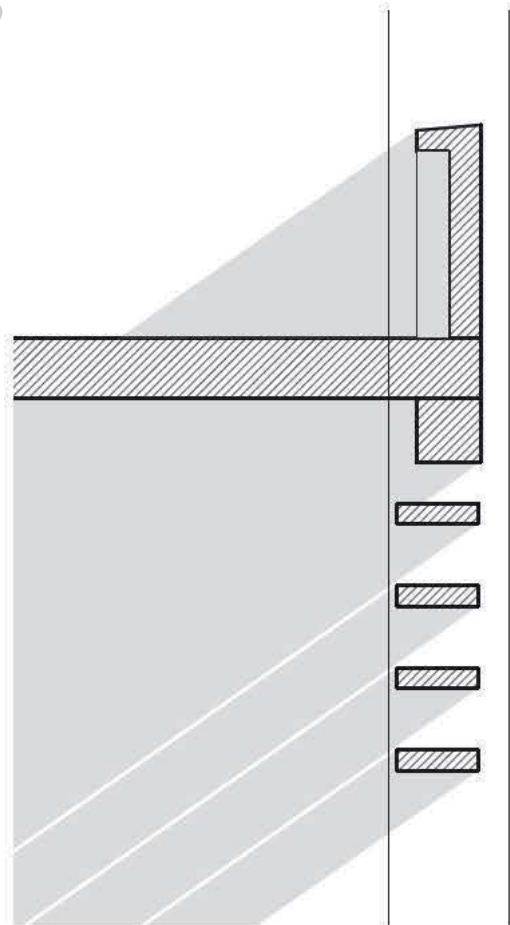
109. Voir p.91-95.



[134.] Coursive - Photographie de la Secondary School - S16.



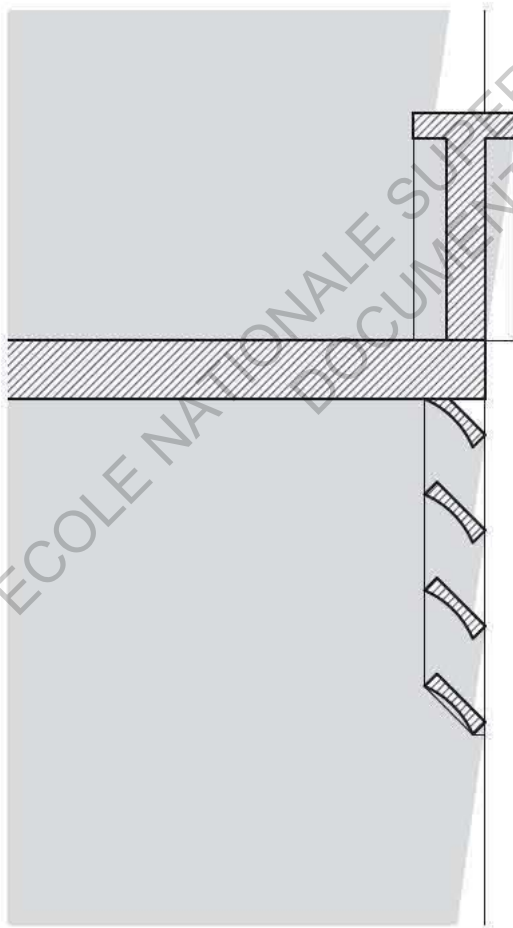
[135.] Coupe détail sur brise-soleil - Solstice d'été- Secondary School - S16.



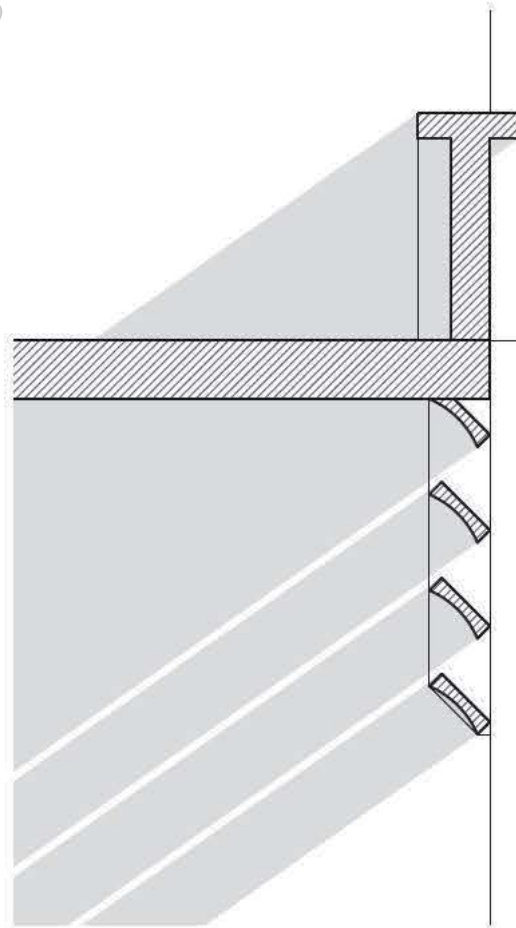
[136.] Coupe détail sur brise-soleil - Solstice d'hiver- Secondary School - S16.



[137.] Coursive - Photographie de la Secondary School - S22.



[138.] Coupe détail sur brise-soleil - Solstice d'été- Secondary School - S22.



[139.] Coupe détail sur brise-soleil - Solstice d'hiver- Secondary School - S22.

La trame de brise-soleil

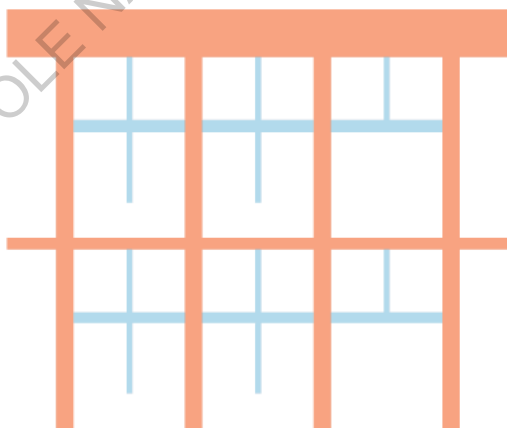
Précédemment, nous avons étudié l'application des brise-soleil verticaux et horizontaux lorsqu'ils sont mis en œuvre par répétition d'un même module. L'architecte déploie également le brise-soleil dans des trames composées, structurelles ou non, en travaillant cette fois-ci sur l'épaisseur de la façade. En combinant brise-soleil verticaux et horizontaux, il crée une nouvelle typologie de façades, capable elle-même de se protéger des rayons solaires, un nouveau type de «*self-shading structure*».

Il existe deux typologies de ces façades tramées, celles dont une partie des brise-soleil est issue de la structure même, c'est-à-dire que l'architecte étend les dalles et murs vers l'extérieur, plaçant les menuiseries au nu intérieur. Ou alors, les façades lisses formées de mur ondulatoire ou de menuiseries composées, sur laquelle est déportée une nouvelle trame, qui est, elle, autoporteuse et ne participe pas à la structure globale du bâtiment.

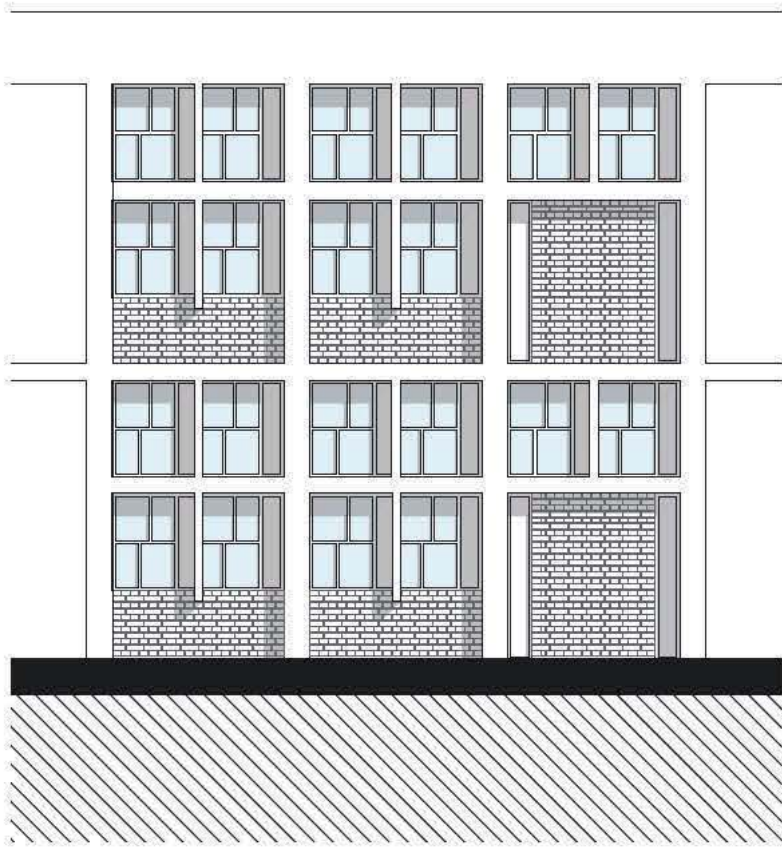
La façade structurelle

Comme énoncé précédemment, l'architecte développe une typologie de dispositifs climatiques par l'épaississement de la façade avec le prolongement des unités structurelles: les murs et dalles. Ces extensions forment une première grille, qui fait déjà office de brise-soleil aux ouvertures qui se situent au nu intérieur, mais l'architecte développe une grille secondaire en ajoutant des brise-soleil verticaux et horizontaux, permettant ainsi de protéger efficacement la façade des rayons solaires.

L'utilisation de cette typologie de façades s'effectue dans ces cas-ci, uniquement sur des façades à l'orientation nord principalement. Bien que l'on ne voit pas l'intérêt de protection solaire sur ces façades dans un contexte européen par exemple, en Inde et à Chandigarh, la course du soleil se déploie sur une plus grande ampleur, pouvant atteindre certaines façades nord-est ou nord-ouest en début ou fin de journée. Ces façades étant largement vitrées, leur épaississement permet ainsi de les protéger pas seulement des surchauffes, mais aussi de l'éblouissement. Cette façade tramée permet également la création d'une identité visuelle qui unifie la répétition des bâtiments dans le cas des écoles par exemple. La trame est alors dans la même matérialité, enduite de blanc, créant ainsi une réelle épaisseur et mettant en valeur le remplissage de verre ou de briques, de chaque unité de grille.



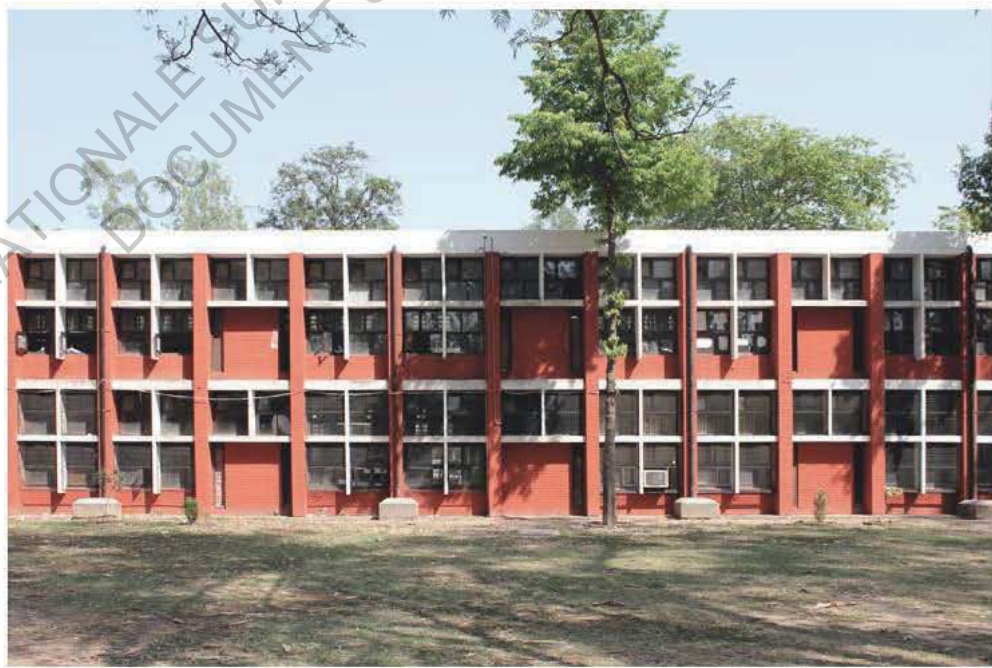
[140.] Schéma de principe - Grille primaire et secondaire - Secondary School - S10.



[141.] Façade Nord -Est- Secondary School - S10.



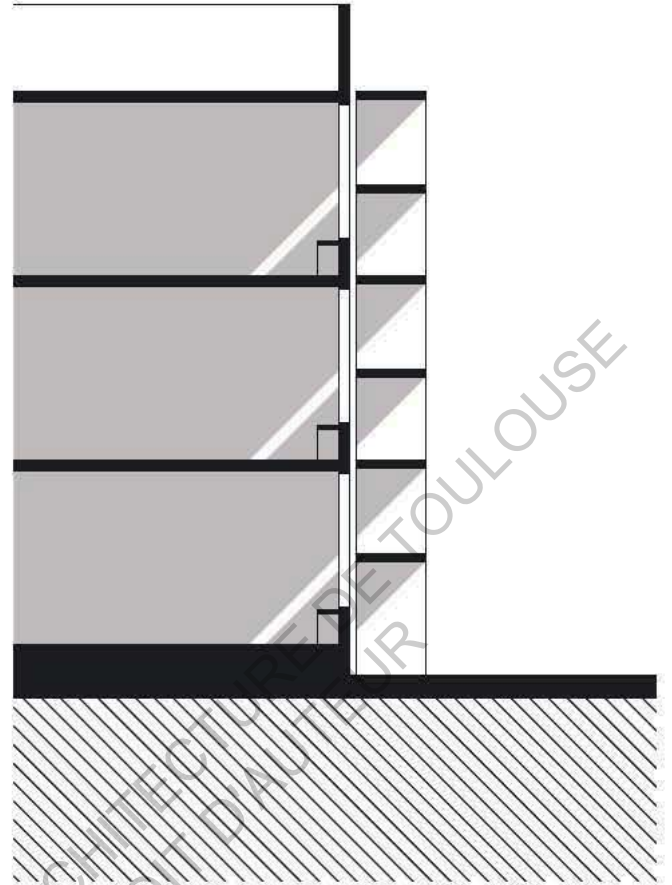
[142.] Coupe Façade Nord -Est- Secondary School - S10.



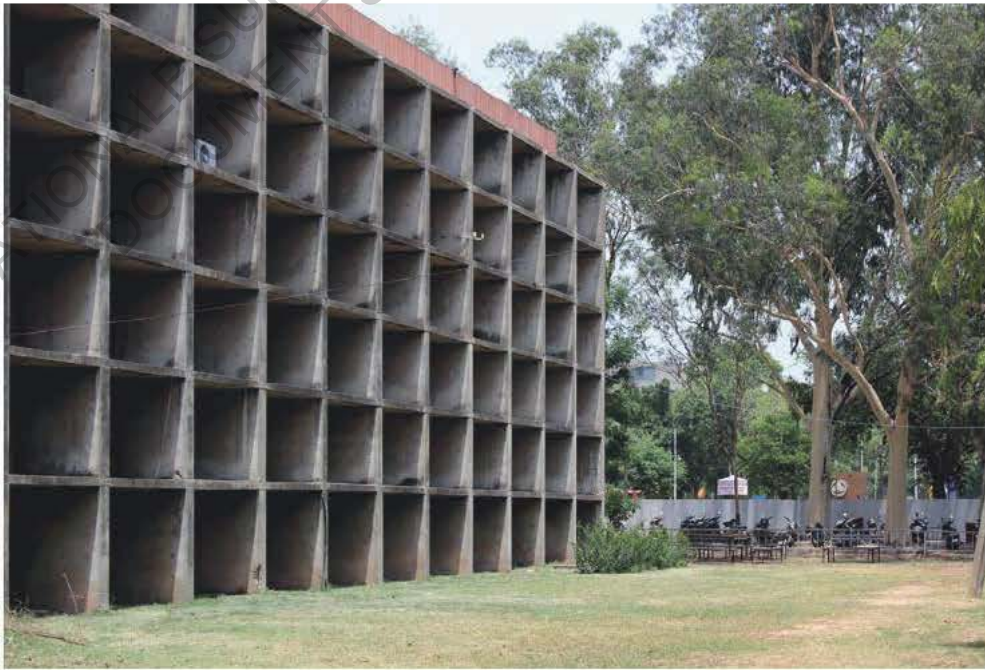
[143.] Façade Nord-Ouest - Photographie de la Secondary School - S19.



[144.] Façade Sud-Ouest - Arts College - S14.



[145.] Coupe de la Façade Sud-Ouest - Arts College - S14.



[146.] Façade Sud-Ouest - Photographie du Arts College - S14.



[147.] Façade Nord-Est - Photographie de la University Library - S14.



[148.] Façade Nord - Photographie du Science College - S14.



[149.] Façade Ouest - Photographie du Health Center - S14.



[150.] Façade Sud - Photographie de l'Architects Office - S19.

La façade déportée

Dans le cas de brise-soleil selon une trame déportée, l'architecte dissocie totalement le dispositif de la structure du bâtiment. Il s'agit d'une toute nouvelle trame, seulement rattachée au bâtiment en des points fixes. Cette grille retransmet tout de même le rythme vertical et horizontal de la structure du bâtiment, ajoutés de nouveaux éléments venant rediviser la trame. De la même manière que précédemment pour la trame structurelle, on a donc l'émergence d'une grille primaire, et d'une grille secondaire qui participent ainsi à la protection solaire de la façade.

La différence qui s'établit avec le dispositif de trame structurelle est que cette fois-ci l'architecte utilise ce dispositif dans plusieurs orientations solaires. Dans le cas de l'université des Arts, la grille se situe en façade sud-est; pour l'université de Sciences en façade nord et sud; pour la bibliothèque universitaire en façade nord-est et pour le bureau des architectes en façade sud. L'avantage de ce dispositif par la combinaison de brise-soleil verticaux et horizontaux est donc qu'il peut s'adapter à diverses orientations, cependant cela nécessite de l'adaptation. Par exemple, Pierre Jeanneret utilise la même trame de brise-soleil sur les façades nord et sud de l'université de sciences dans le secteur universitaire. Ici, aucune adaptation de rythme ou de profondeur n'a été pensée, ce qui crée forcément un déséquilibre dans l'efficacité du dispositif. Les données d'ensevelissement n'impliquant pas le même traitement des façades nord et sud, soit le dispositif de la façade nord est surdimensionné, soit le dispositif de la façade sud est insuffisant. L'architecte aurait, ici, dû remettre en critique les caractéristiques de chaque façade.

Néanmoins, outre ce manque d'adaptation singulière, ce dispositif permet d'assurer la protection solaire des façades, tout en participant à l'élaboration d'une écriture visuelle pour le bâtiment, mais aussi un secteur par exemple. L'architecte emploie ce même dispositif dans trois bâtiments du secteur universitaire, générant ainsi un principe esthétique cohérent.

L'équerre

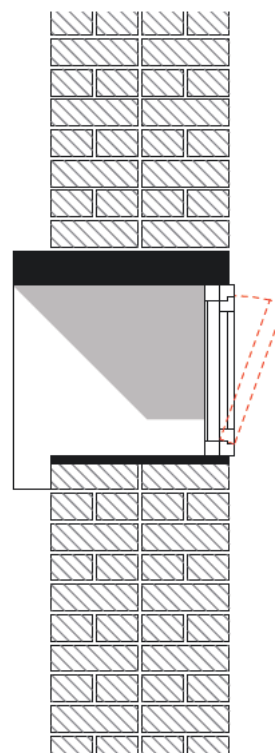
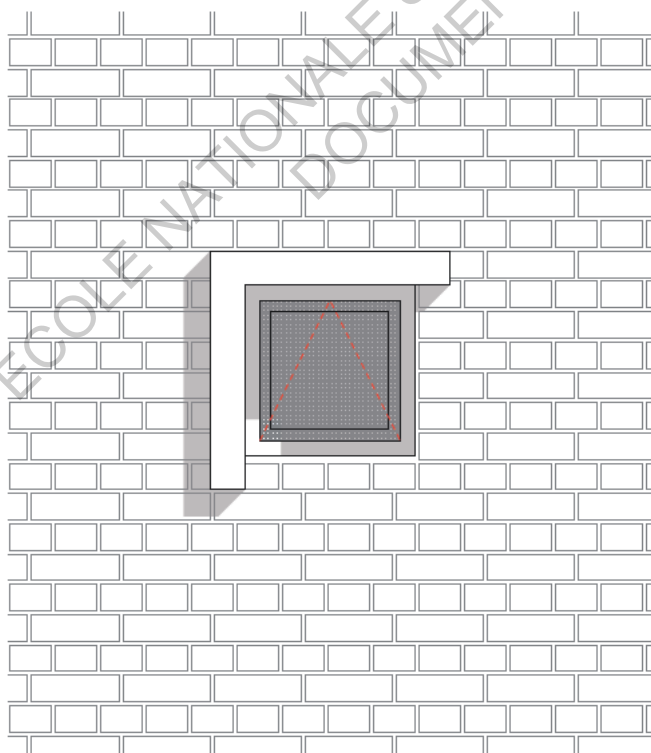
Toujours dans les dispositifs climatiques à l'échelle du brise-soleil, on peut dissocier la typologie de l'équerre. Il s'agit de deux éléments préfabriqués en angle droit qui protègent de petites ouvertures de manière ponctuelle. L'architecte développe beaucoup ce principe de brise-soleil sur les ouvertures de ces maisons, et donc adapte ce dispositif dans la catégorie de bâtiments qui se rapproche le plus de l'échelle domestique, c'est-à-dire les écoles maternelles.

Le principe est simple, il associe un brise-soleil horizontal en partie haute et un vertical sur un côté afin de protéger l'ouverture selon différentes configurations. L'équerre doit être évidemment orientée selon la façade sur laquelle elle est placée.

Ce principe d'équerre n'est donc utilisé que sur deux écoles maternelles du secteur 7 et 23, mais de manière plus ou moins efficace. En effet, il s'agit toujours de la même équerre, peu importe la façade. C'est-à-dire qu'il n'y a pas de parti pris de la part de Pierre Jeanneret quant à un moment critique d'ensoleillement auquel il faut se protéger. Dans le secteur 23, l'équerre est donc présente en façade nord-est, sud-est mais aussi nord-ouest, toujours selon le même angle. En façade nord est, le brise-

soleil vertical permet de se protéger d'un soleil levant. En façade sud-est, c'est le brise-soleil horizontal qui protège l'ouverture d'un soleil haut dans le ciel, mais le brise-soleil vertical ne protège pas de la fin l'ouverture des rayons solaires en fin d'ascension car il ne se situe pas du bon côté. Et enfin, en façade nord ouest le brise-soleil horizontal perd de son efficacité car le soleil est descendant, mais la partie verticale permet de protéger l'ouverture de la fin de course du soleil.

Par conséquent l'utilisation d'une équerre dans une unique orientation n'est pas toujours favorable, c'est pourquoi l'architecte combine également l'utilisation de cette équerre avec une forte profondeur de la paroi, avec une ouverture très en retrait. L'équerre a donc parfois plus un rôle esthétique que climatique, elle permet en effet de créer une identité visuelle pour les écoles, et une cohérence dans l'œuvre et l'échelle des bâtiments.



[151.] Coupe et élévation détaillées d'une équerre - Nursery School - S23.



[152.] Façade Nord-Ouest et équerres préfabriquées - Photographie de la Nursery School - S23.

La casquette et le débord de toit

La casquette et le débord de toit sont des dispositifs simples qui permettent de déporter les rayons du soleil de la façade, évitant ainsi les surchauffes internes. Ces avancées horizontales servent avant tout à protéger des surfaces vitrées, préservant également les usagers des désagréments de l'éblouissement. Il est tout de même nécessaire de dimensionner le couvert afin qu'il protège les ouvertures en été, mais que le rayonnement solaire d'hiver puisse au contraire atteindre le vitrage pour chauffer l'intérieur du bâtiment.

La casquette est formée de dalles très fines, non structurales, et sa profondeur est donc relative à l'orientation du bâtiment, la hauteur de l'ouverture à protéger, etc. Ce dispositif permet la préfabrication, plutôt que de couler en place des linéaires de dalles très importants.

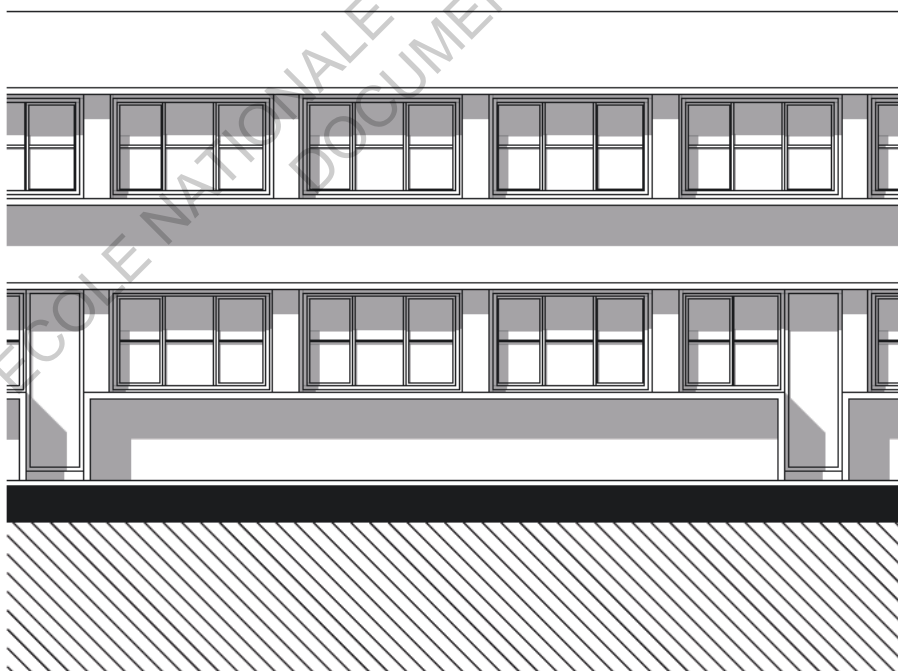
Au contraire le débord de toit est issu de la structure même du bâtiment. Dans le cas de l'architecture de Pierre Jeanneret, on parle de débord de toit terrasse, forme signature du mouvement moderne, et non à pente. Il remplit exactement la même fonction que la casquette, cependant il s'applique forcément en partie haute du bâtiment, son dimensionnement doit donc parfois être important afin

de pouvoir protéger la partie souhaitée. La casquette préfabriquée se révèle donc plus efficace, car elle peut être mise en œuvre très spécifiquement au dessus de l'ouverture souhaitée.

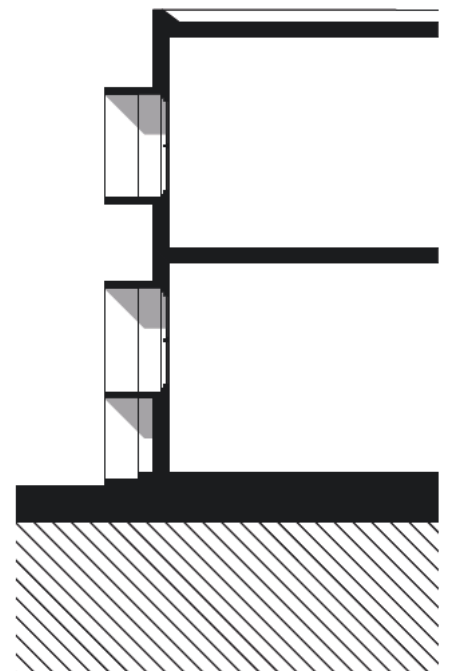
Dans le cas du dispensaire, de l'école polytechnique et de l'école primaire, il s'agit de l'application de casquettes préfabriquées ajoutées spécifiquement au dessus de chaque ouverture qui nécessite une protection particulière.

Mais dans le cas du reste des bâtiments, il s'agit de l'exploitation du débord de toit généré par la création d'un espace tampon couvert. En effet, le prolongement de la toiture est nécessaire pour protéger la façade intérieure, néanmoins le travail réalisé en coupe pour donner de l'épaisseur à cette dalle horizontale permet également d'apporter une protection supplémentaire à l'espace tampon.

Ces dispositifs climatiques ne sont pas ceux qui révèlent le plus l'inventivité de l'architecte et son expérimentation en la matière, mais ils restent tout de même très efficaces.



[153.] Elévation de la façade Nord de la Primary School - S15.



[154.] Coupe de la façade Nord de la Primary School - S15.



[155.] Débord de toit et Espace tampon

Central State Library - S17



[156.] Débord de toiture

Architects Office - S19



[157.] Casquette préfabriquée

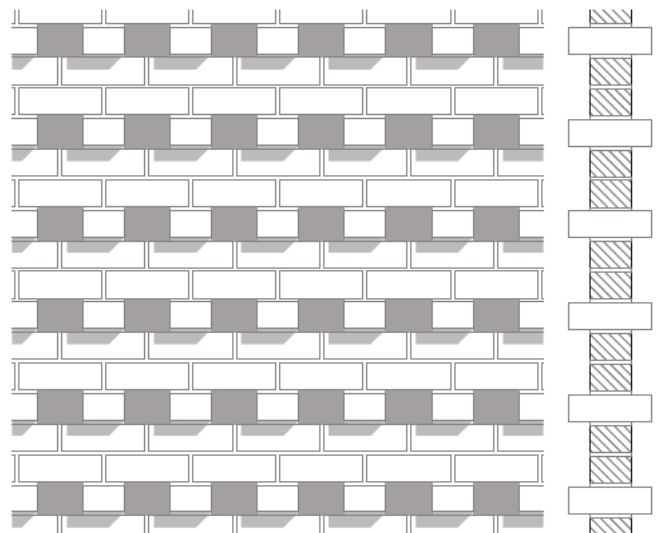
Primary School - S15

LE CLAUSTRA

Le dispositif de claustra rappelle celui du *jali* étudié en première partie, dans l'étude de l'architecture vernaculaire. Ce terme hindi désigne un écran de pierre sculpté, particulièrement utilisé en Inde dans le Rajasthan. Ce sont de écrans de protection permettant aux femmes vivant en purdah de regarder à l'extérieur sans être vues, mais ils permettent également de protéger l'intérieur d'un bâtiment des éléments naturels, comme la pluie ou le soleil, tout en permettant la circulation d'air au travers de motifs géométriques.¹¹⁰ Outre les *jali* de pierre, on peut également retrouver des murs de briques de terre cuite, ajourés par l'espacement de chaque module qui laisse passer l'air et la lumière. Pierre Jeanneret adapte donc ce principe de *jali*, que l'on peut également nommer claustra dans notre vocabulaire occidental, à l'échelle et surtout aux moyens de construction de la ville de Chandigarh. Il profite donc de l'emploi de la brique comme module de base pour créer toute une variété de motifs géométriques suivant le sens de leur mise en œuvre. On retrouve ainsi un panel important de claustras dans l'oeuvre domestique de Pierre Jeanneret, mais il utilise également ponctuellement ce principe au sein des écoles. Tout comme les brise-soleil, le claustra permet de protéger des espaces circulatoires, qui sont eux-même protecteur d'espaces habités. Il permet de protéger des rayonnements solaires en créant de l'ombre, mais sans priver l'espace de ventilation. Le dispositif reste poreux et participe ainsi au principe de ventilation traversante des bâtiments.

Les parois de claustra signent également l'architecture scolaire de Pierre Jeanneret, car en plus de leur disposition sur les façades des zones tampons, l'architecte utilise le même principe pour les coursives qui relient les bâtiments. Elles permettent de clore et diriger, sans rendre l'espace hermétique. Tous les claustras ont été travaillés de manière différente, ce qui amène un travail de composition et de calepinage, mais aussi d'esthétique par le choix d'un rendu brut, ou enduit suivant les situations.

Le claustra par son origine vernaculaire présente de nombreuses vertus, que ce soit climatiques, esthétiques ou usuels. Il participe à l'élaboration d'une signature visuelle de l'architecture de Pierre Jeanneret à Chandigarh tout en remplissant sa première fonction, c'est-à-dire apporter du confort à l'usager.



[158.] Détail d'un claustra de briques - Secondary School - S10.

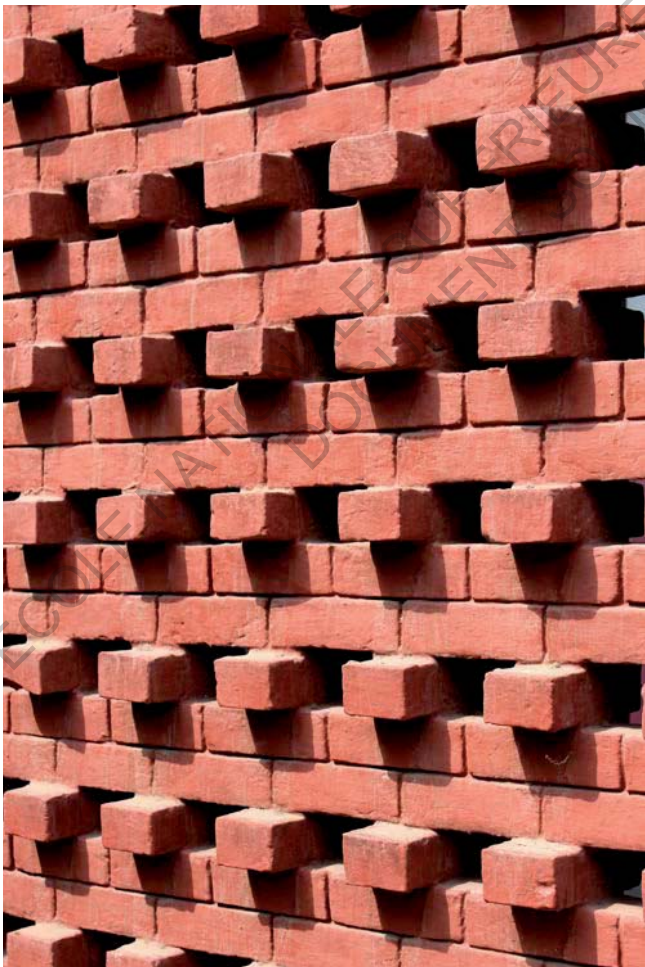
110. Définition réalisée à l'aide du dictionnaire en ligne du Parisien.



[159.] Claustra de briques - Coursives de Polytechnic- S26.



[160.] Claustra de briques - Coursives de la Secondary School - S10.



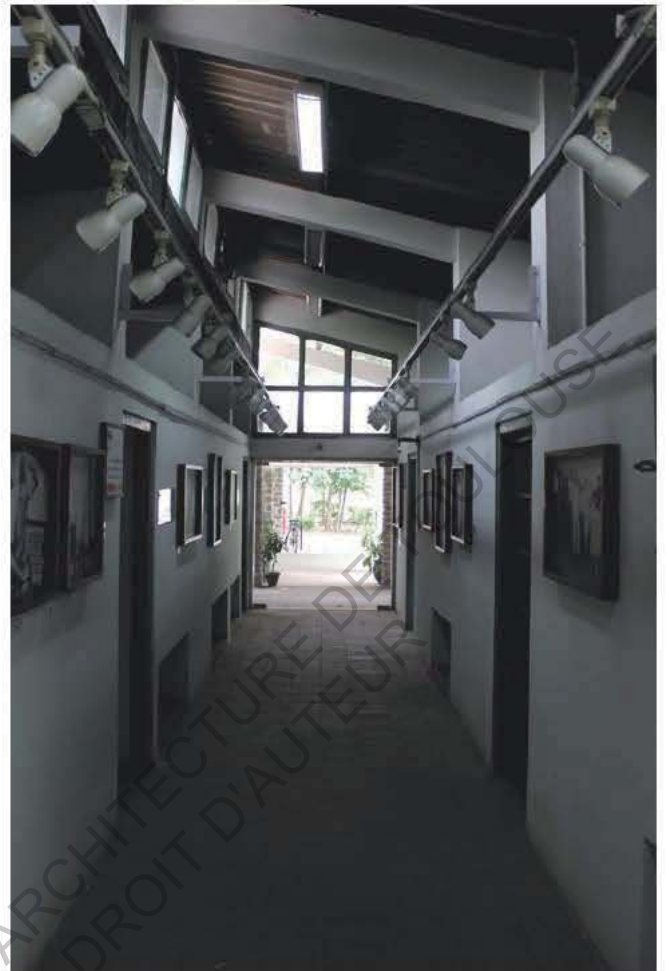
[161.] Claustra de briques - Coursives de la Secondary School - S10.



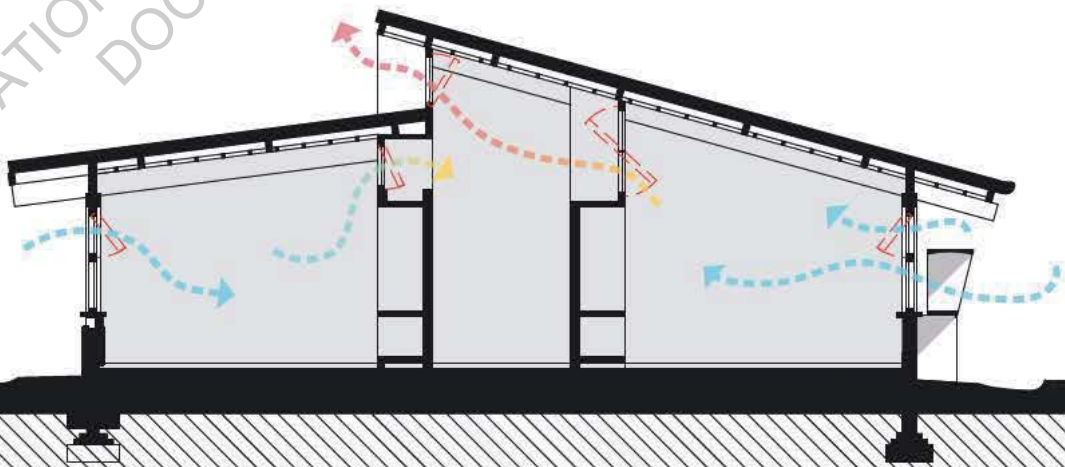
[162.] Claustra de briques - Coursives de la Secondary School - S19.



[163.] Photographie du bureau des Architectes - S19.



[164.] Couloir - Photographie du bureau des Architectes - S19.



[165.] Coupe transversale du bureau des Architectes - S19.

d) Les systèmes de protection solaire en toiture

Pierre Jeanneret développe donc un panel très large de protections solaires en façade, mais nous allons maintenant voir quelles solutions ils adoptent quant aux surfaces horizontales, et plus précisément la toiture. En effet, les débords de toit, zone tampon ou autre dispositif d'écran de verdure ont la vertu de pouvoir protéger les abords directs d'un espace habité, en évitant surchauffes et phénomène d'éblouissement, cependant les toitures sont finalement les surfaces les plus exposées au soleil.

LE SHED

Le shed est principalement un dispositif d'éclairage plus que climatique, mais il intervient quand même dans cette réflexion par ses caractéristiques. Pierre Jeanneret n'utilise ce dispositif que d'une manière extrêmement singulière car il est présent dans seulement deux bâtiments, le bureau des architectes dans le secteur 19, et dans l'école polytechnique dans le secteur 26, et pour deux raisons différentes.

Dans le premier cas, ce choix de coupe et le décalage des toitures à pente permet d'apporter de l'éclairage à l'espace circulaire qui se retrouve bloqué entre deux barres de salles de travail, créant ainsi un long couloir qui aurait pu être monotone. Cette création d'ouverture participe alors de manière essentielle à la ventilation du bâtiment.

Dans le deuxième cas, il s'agit des ateliers de l'école polytechnique, dans lesquels les élèves étudient, mais aussi pratiquent sur du matériel technique. Cette seconde notion de travail technique implique la présence de machines qui explique le déploiement des ateliers en nappe plutôt que dans un système vertical. Il est difficile d'installer les machines à des niveaux d'étages importants, car cela nécessite une manutention complexe. La forme de la nappe implique donc de grandes difficultés pour éclairer tous les espaces uniquement en façade, la profondeur même du bâtiment rendant cela impossible. Les espaces peuvent alors soit être éclairés par des patios, ou alors en partie haute par la mise en place de shed. La définition de ce dispositif est un *comble dissymétrique composé d'un versant court et à forte pente, entièrement vitré et généra-*

*lement orienté au Nord et d'un versant plus long, à faible pente et couvert de matériaux opaques.*¹¹¹

Le shed est donc principalement un dispositif d'éclairage bien qu'il n'offre pas de vues, mais il comporte également des intérêts climatiques. En effet, il peut être un outil pour favoriser la ventilation de l'espace. On sait que l'air chaud est moins dense que l'air froid et que par conséquent celui-ci se situera plutôt en partie haute des pièces. C'est pourquoi il est important de ventiler tout l'espace en créant des mouvements d'air par des ouvertures hautes et basses. Par le travail du shed et de ses ouvertures, on peut donc favoriser la ventilation d'une pièce et donc son rafraîchissement par l'évacuation de l'air chaud.

111. Définition extraite du Centre Nationale de Ressources Textuelles et Lexicales.



[166.] Nappe de sheds - Photographie de l'école Polytechnique - S26.



[167.] Atelier et shed - Photographie de l'école Polytechnique - S26.

LA TOITURE PARASOL

« Soleil et pluie sont les deux facteurs d'une architecture qui doit être aussi bien parasol que parapluie. »¹¹²

Tout comme les façades, la toiture nécessite que l'on développe des systèmes de protection, car finalement elle représente la surface la plus exposée au soleil, peu importe l'orientation du bâtiment. Que ce soit un bâtiment de plain-pied, à étage, avec une toiture terrasse, un toit à deux versants, symétriques ou non, les espaces qui se situent juste en sous-face sont plus exposés aux surchauffes que les étages inférieurs par exemple.

De plus, en Inde, le toit est le lieu de nombreux usages traditionnels, car il est ventilé. En été, il est très courant que les indiens prennent leur matelas pour aller dormir sur les toits, ou il peut y avoir des abris nommés barsati en hindi, ou alors on instaure de nombreux autres usages dans les quartiers traditionnels, par exemple dans le secteur 45 avec le Burail.

Comme présenté précédemment¹¹³, Le Corbusier avait à cœur d'exploiter cette surface comme un dispositif essentielle de l'architecture climatique moderne en Inde. Il recommande alors soit l'isolation du toit par une couche de terres et de plantation qui effectueront un tampon et apporteront de la fraîcheur à la dalle supérieure par leur humidité, ou alors la création d'une seconde dalle venant protéger la surface habitée, avec une lame d'air ventilé entre les deux. Il utilise donc la stratégie de dissipation pour évacuer les surchauffes créées par le rayonnement solaire.

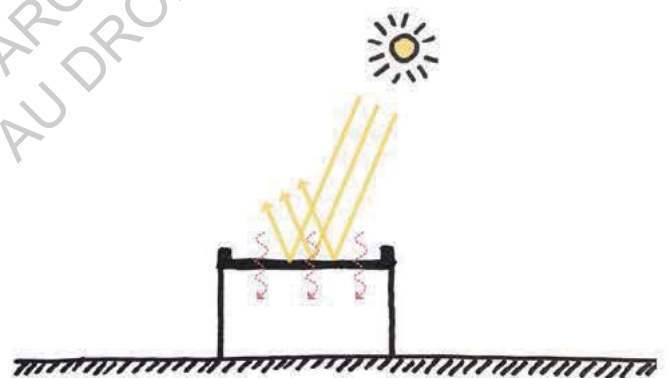
Bien que ces dispositifs de protection en toiture paraissent absolument essentiels et novateurs en matière d'architecture climatique, Pierre Jeanneret ne saisit pas du tout l'importance cruciale de cette problématique, et n'investit pas cette expérimentation dans son œuvre de bâtiments publics, outre une petite exception dans le secteur 23 à l'école maternelle où un espace couvert a été aménagé en toiture.

112. « Chandigarh. La naissance de la nouvelle capitale du Punjab (Indes) 1950 », *Oeuvre Complète (1946-1952) - Volume 5*, p. 113.

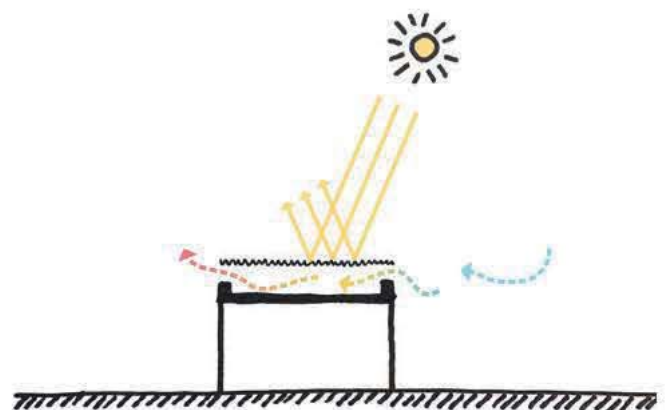
113. Voir p.56-57.

L'architecte réalise donc ici une erreur par l'oubli du traitement des toitures, car aujourd'hui, bien que beaucoup de ces bâtiments soient efficaces par leurs dispositifs climatiques originels, on remarque des inefficacités pour les parties qui se situent sous les toitures. Par exemple, dans les écoles secondaires, lors des visites de site et des relevés, beaucoup d'enseignants vont notifier le fait que les salles de classe en rez-de-chaussée étaient plus agréables que leur homologue de l'étage.

Les vertus des dispositifs de toiture parasol sont assez importantes, on peut étudier cela au travers de la réalisation de Le Corbusier au Capitole, avec la Haute Cour de Justice. L'inconvénient est le coût supérieur à mettre lors de la construction, pour un double toit, ou l'isolation et étanchéité d'une toiture végétalisée, mais l'impact à long terme de cet investissement aurait été, d'après moi, beaucoup plus bénéfique que de ne pas traiter le sujet.



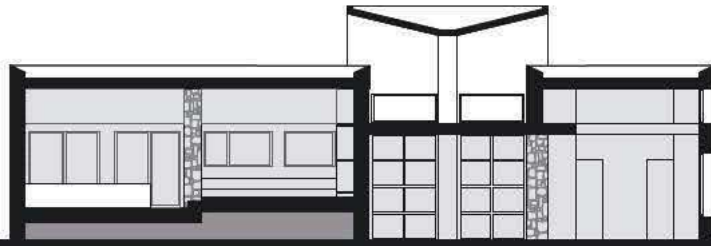
[168.] Schéma des impacts du rayonnement solaire sur les toitures.



[169.] Schéma de principe du toit-parasol.



[170.] Toit-parasol / barsati - Photographie de la Nursery School - S23.



[171.] Coupe du toit-parasol / barsati - Nursery School - S23.

e) Les systèmes de ventilation naturelle

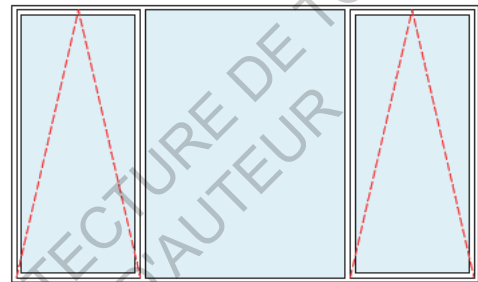
«Aérer: installer des aérateurs [...], fournissant une transaération immense et naturelle en vertu des différences de gravité de l'air d'une façade à l'autre, selon la situation du soleil au cours de la journée.»¹¹⁴

Une des données caractéristiques du confort humain en climat tropical est la ventilation des espaces. En effet, particulièrement durant les périodes humides, le corps évacue la chaleur par sudation, et a donc besoin que l'air environnant soit renouvelé constamment. La création de mouvement d'air au sein des espaces habités est donc un dispositif essentiel dans l'architecture climatique en milieu tropical.

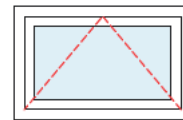
LA VENTILATION TRAVERSANTE

«Actuellement, en Inde, il existe quelques systèmes très économiques: les courants d'air naturels au travers des pièces, produits par le vent ou la différence de densité de l'air sur des façades opposées. Mais sans vent et sans soleil, ce courant d'air n'existe pas.»¹¹⁵

Chandigarh se trouvant en climat subtropical et comportant une saison froide dite hivernale, la circulation d'air doit pouvoir se maîtriser. Durant les périodes chaudes, l'espace doit être constamment traversé de mouvement d'air, afin que l'utilisateur puisse réguler sa température corporelle par transpiration et évaporation. Mais lorsque les températures baissent, les mouvements d'air sont froids et ne sont donc pas souhaités à l'intérieur des espaces habités. La ventilation des bâtiments n'est donc pas constante annuellement mais doit pouvoir être réglée suivant le besoin. Pour cela, l'architecte Pierre Jeanneret a développé des plans type selon des orientations favorables à cet apport d'air, comme nous l'avons étudié précédemment; mais afin d'optimiser et de réguler l'air traversant le bâtiment, l'architecte développe un large panel de menuiseries. Celles-ci peuvent être fixes ou ouvrantes, pleines ou vitrées, en partie haute ou basse d'un mur, toute hauteur, etc.



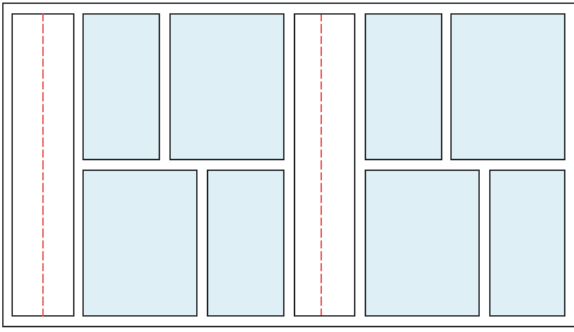
[172.] Menuiserie en partie haute sur coursive - Health Center - S14.



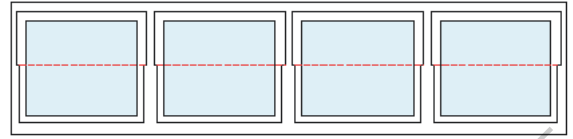
[173.] Menuiserie en partie haute sur coursive et volet de ventilation - Secondary School - S10.

114. « Chandigarh. La naissance de la nouvelle capitale du Punjab (Indes) 1950 », *Oeuvre Complète (1957-1965) - Volume 7*, p. 100

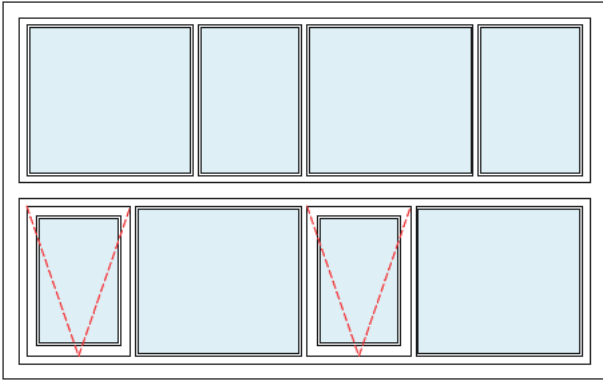
115. JEANNERET (P.), « Incidences des techniques locales et du climat sur la construction à Chandigarh. », *L'architecture d'Aujourd'hui*, oct. 1956, oct, n°67/68, p.178



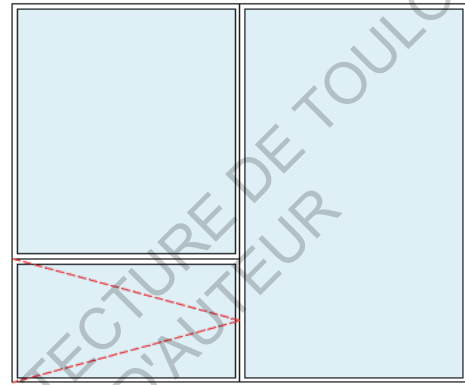
[174.] Menuiserie Façade Nord - Secondary School - S10/S16/S19.



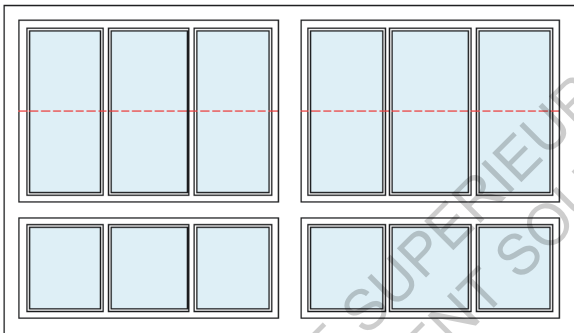
[177.] Menuiserie Façade Nord - Polytechnic - S26.



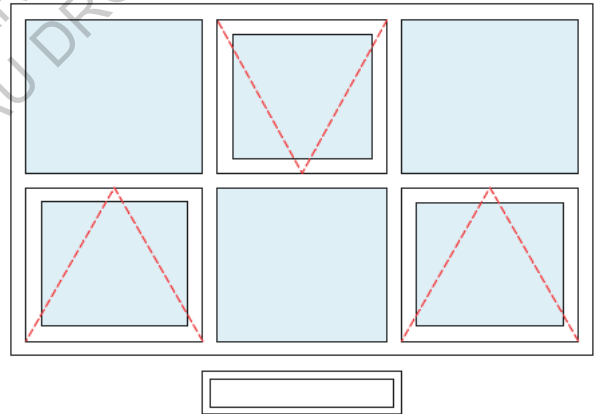
[175.] Menuiserie Façade Nord - Secondary School - S19/S21.



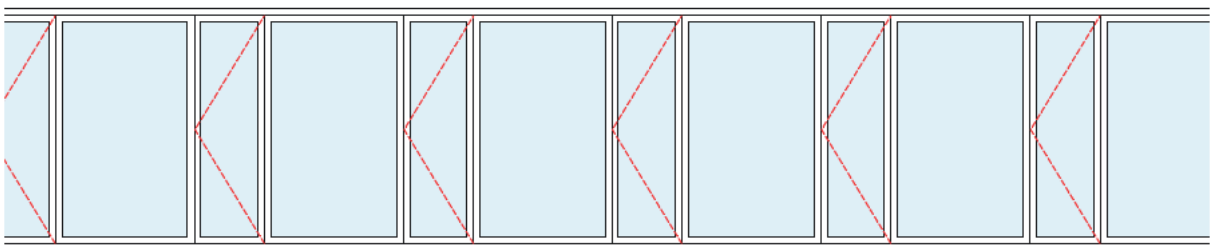
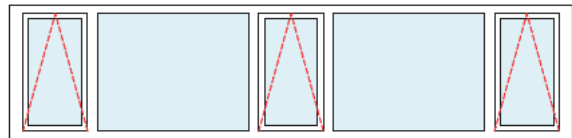
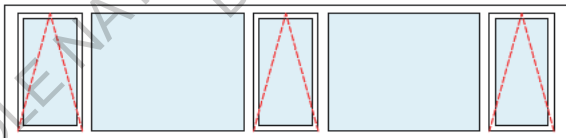
[178.] Menuiserie Façade Est - Health Center - S14.



[176.] Menuiserie Façade Nord - Secondary School - S22.



[179.] Menuiserie Façade Nord et Sud - Architects Office - S19.



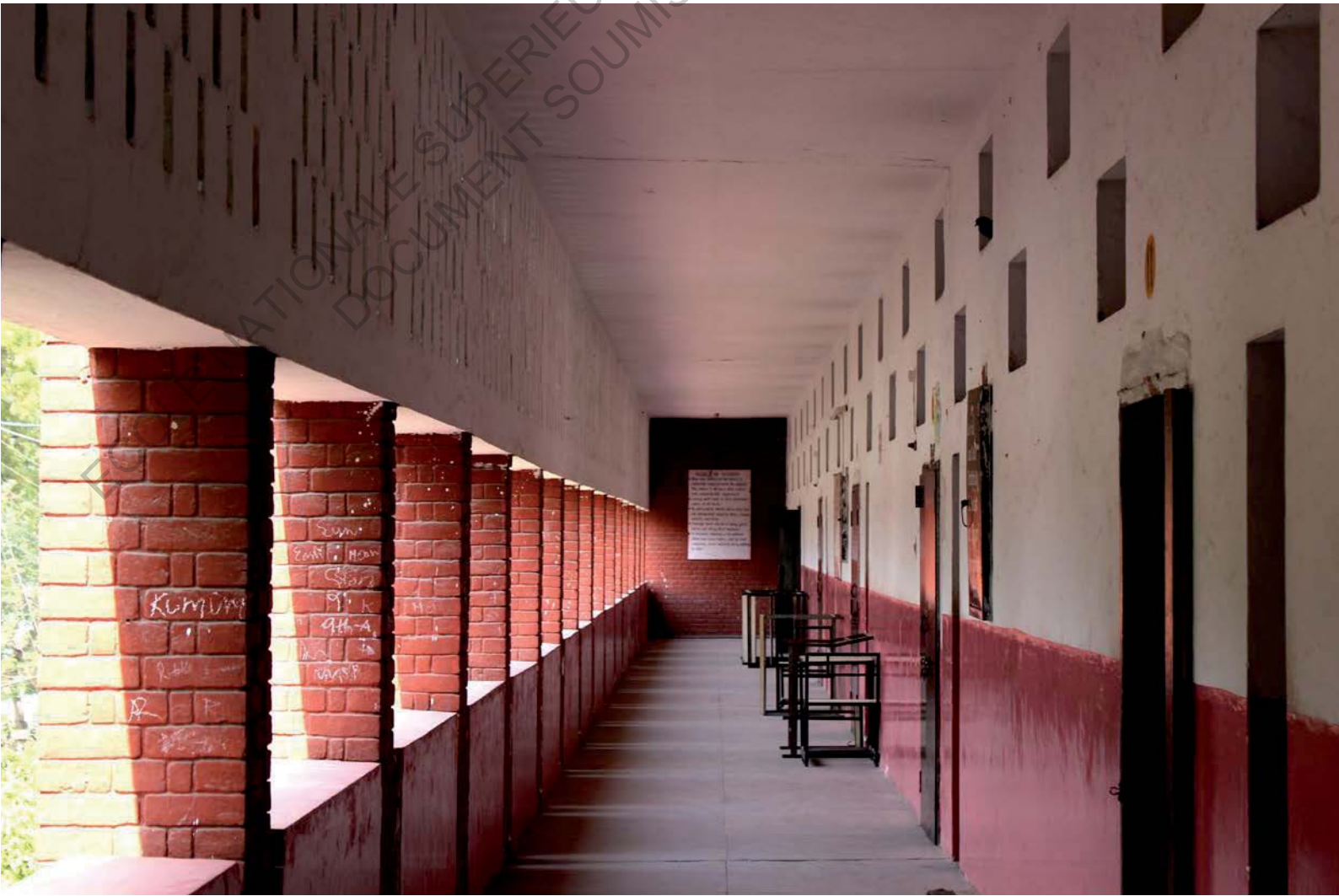
[180.] Menuiserie Façade Nord et Sud - Science College - S14.



[181.] Coursive et ouvertures en partie haute

Photographie de la Secondary School - S23.

[182.] Coursive avec claustra et ouvertures en partie haute - Photographie de la Secondary School - S10.



[183.] Volet d'aération sur coursive
Photographie de la Primary School - S15.



[184.] Système de menuiseries ouvrantes dans une salle de classe - Photographie de la Secondary School - S22.





[185.] Porte en toile de jute.

Photographie du bureau des Architectes - S19.

Dans le bureau des Architectes, secteur 19, on remarque un dispositif singulier. Il s'agit des portes de bureaux, ce sont des cadres bois, sur lesquels ont été tendues des toiles de jute. Aujourd'hui, elles sont peintes, mais lors du *Conservation of Cement Concrete and Modern Heritage in India*, les architectes qui présentaient le bâtiment ont émis une hypothèse tout-à-fait intéressante. Selon eux, la peinture ne serait qu'un ajout récent, auparavant la toile de jute était brute, laissant ainsi passer l'air aux travers des portes, même fermées. Ils rappelaient la coutume traditionnelle de disposer des stores ou tentures humides aux ouvertures, afin que l'air rentrant puisse être rafraîchi. Selon eux, Pierre Jeanneret aurait essayé de transposer ce dispositif traditionnel avec ses portes de jute poreuse.

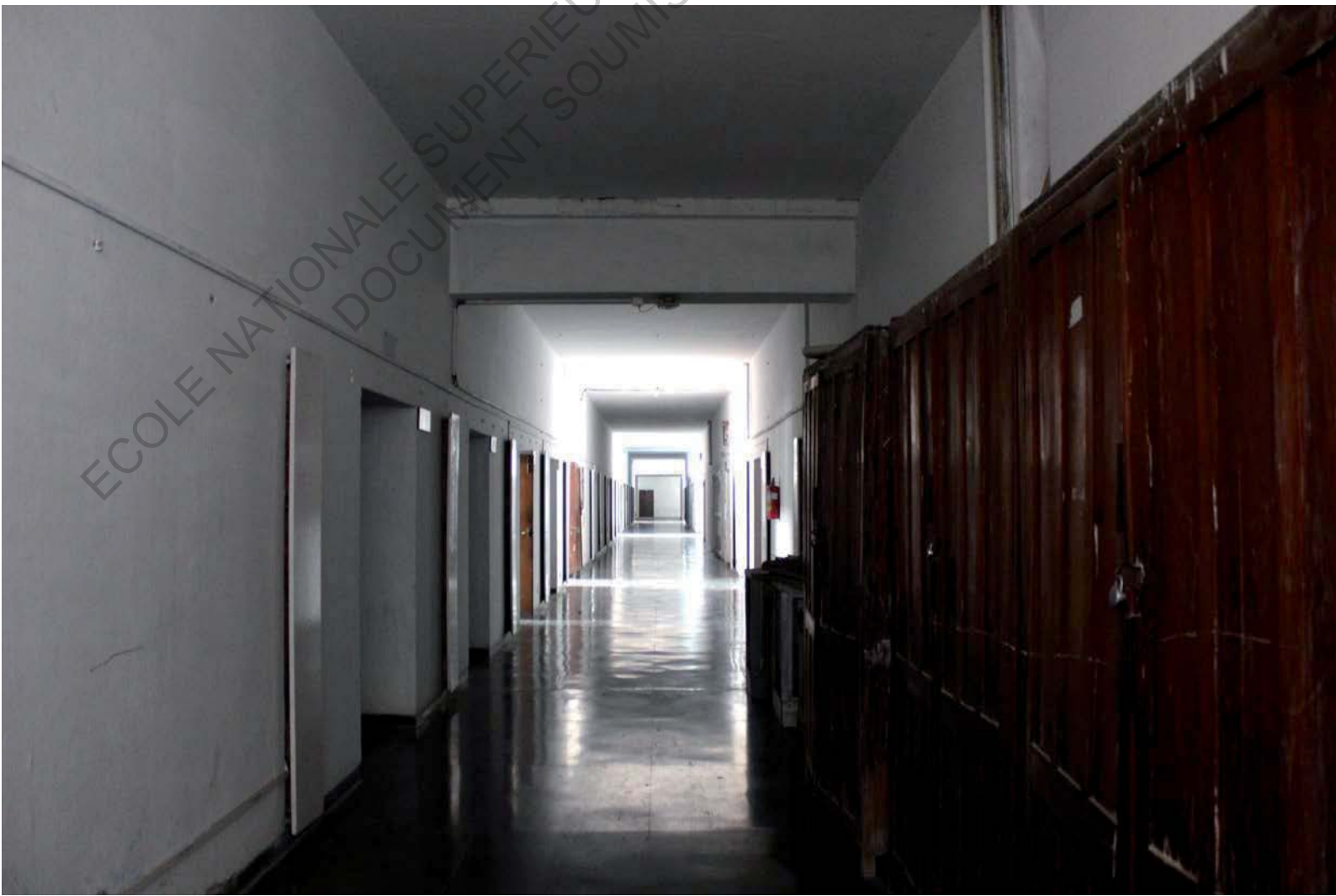
[186.] Système d'ouvrants dans mur rideau - Photographie de l'University Library - S14.



[187.] Grille d'aération sur couloir.
Photographie du Science College - S14.



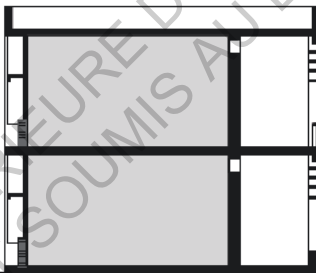
[188.] Système de grilles d'aération sur couloir - Photographie du Science College - S14.



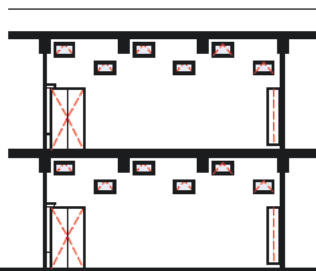
L'architecte développe ensuite ce principe sur deux façades opposées de l'espace habité: d'un côté la façade donnant sur l'extérieur; de l'autre la façade donnant sur l'espace distributif. D'une manière générale, il développe de larges ouvertures sur l'extérieur permettant ainsi d'éclairer l'espace; alors que sur la façade donnant sur la circulation, il adopte plus un travail de petites menuiseries en partie haute des murs, ou alors des panneaux pleins pouvant s'ouvrir afin de créer de la porosité au sein de la façade.



[189.] Facade Nord Intérieure - Secondary School - S16.



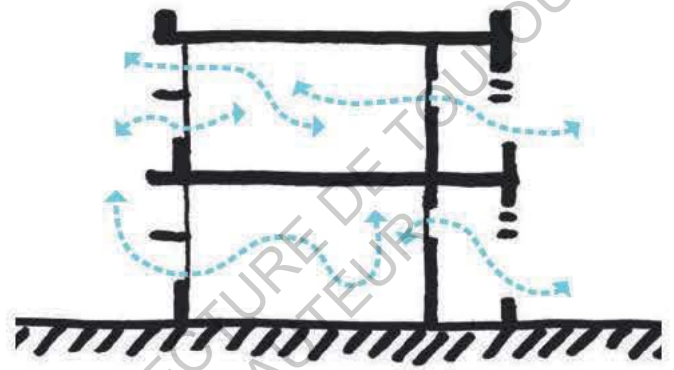
[190.] Coupe transversale - Secondary School - S16.



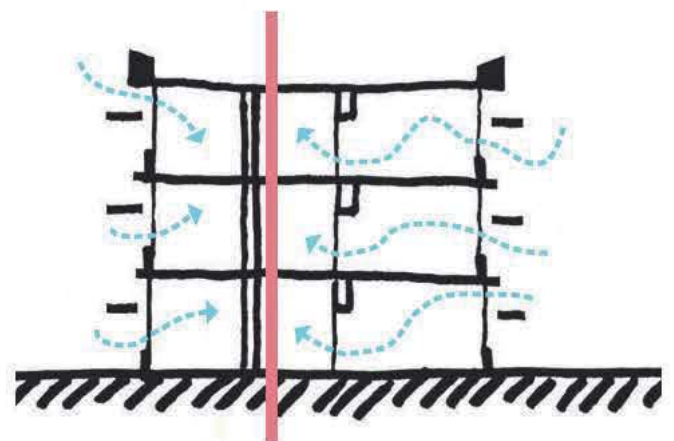
[191.] Facade Sud Intérieure - Secondary School - S16.

Cependant ce système traversant entre un espace habité et distributif est plus ou moins efficace selon les implantations. Tout d'abord, afin que l'air traverse le bâtiment, il faut que celui-ci soit correctement orienté durant la saison souhaitée, ce qui n'est pas toujours le cas comme nous avons pu l'étudier dans la partie d'analyse des orientations des bâtiments.¹¹⁶ Ensuite lorsque l'architecte développe ce travail de porosité de la façades et de menuiseries dans le contexte d'un plan traversant¹¹⁷, la circulation d'air est optimale puisque les deux façades travaillées se trouvent en contact direct avec l'extérieur, l'espace distributif se présentant sous la forme de coursive extérieure. Celle-ci est largement ouverte sur son plus grand côté, laissant librement passer l'air, tout en effectuant son rôle d'espace tampon.¹¹⁸ Le travail de ventilation traversante est donc efficace dans le cas des écoles primaires et secondaires, ainsi qu'à l'école polytechnique et le dispensaire qui adoptent le même plan type.

Au contraire, lorsque l'architecte instaure ce travail de porosité des façades extérieures et des façades intérieures donnant sur l'espace distributif, mais que celui-ci ne fait pas partie de la typologie de coursive extérieure, mais plutôt de couloir intérieur; la porosité des façades perd toute son efficacité. Dans le développement de plan scolaire plus rentable, l'architecte a développé, dans l'université d'art et des sciences, un principe de distribution par couloir, lui permettant de développer deux fois plus d'unités pédagogiques que dans les écoles secondaires par exemple. Mais dans ce soucis de rentabilité, l'espace distributif qui faisait office d'espace tampon, mais laissait passer l'air s'est retrouvé clos et non ventilé. Le schéma des circulations d'air devient alors beaucoup plus compliqué, ce qui rend le système inefficace. En effet, l'air doit passer un premier espace habité, puis le couloir, puis un second espace habité. Au regard de la faible force des vents, il n'existe pas assez de différences de pressions atmosphériques entre les façades pour que ces mouvements s'effectuent dans un système complexe.



[192.] Coupe de principe de ventilation traversante.



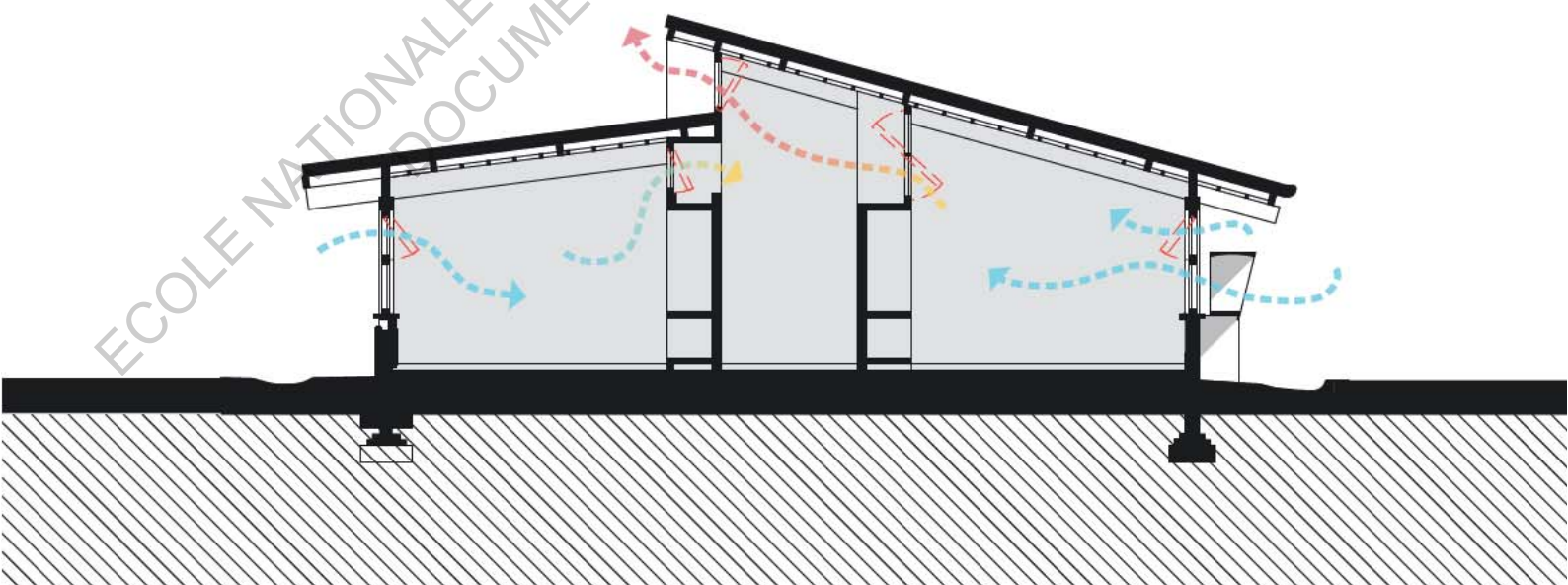
[193.] Coupe de principe d'un bâtiment avec couloir - Ventilation traversante inefficace.

116. Dispositif étudié aux pages X à X.

117. Dispositif étudié aux pages X à X.

118. Dispositif étudié aux pages X à X.

On peut néanmoins faire ressortir le travail effectué par l'architecte dans la coupe du bureau des architectes secteur 19, qui révèle un système de ventilation singulier à ce bâtiment. De la même manière qu'à l'université, l'architecte dessert des espaces habités par un couloir interne sur deux de ses côtés. Il met en place le même travail de menuiseries sur les façades extérieures et côté couloir de distribution. Mais cette fois-ci, le système se révèle efficace car la coupe du bâtiment est travaillée de manière à pouvoir capter de l'air en partie haute de toiture. Un schéma de toiture à pentes différentes fait émerger des sheds donnant sur le couloir, ce qui permet à ce dernier d'une part d'être éclairé, et d'autre part d'être ventilé. Evidemment ce principe de coupe n'est possible que parce qu'il s'agit d'un plan en plein pied et qu'il n'y a pas d'étages superposés. Cependant, ici, l'architecte a su sortir de la standardisation de conception qu'il effectuait afin de rendre le dispositif climatique de ventilation traversante efficace en rendant la coupe du bâtiment singulière.



[194.] Coupe transversale du bureau des Architectes - S19.



[195.] Façade Nord et shed - Photographie du bureau des Architectes - S19.



[196.] Couloir et ouvertures en partie haute - Photographie du bureau des Architectes - S19.

LE MUR ONDULATOIRE

«Le vitrages dits «ondulatoires» ont été inventés pour supprimer les dépenses de serrurerie des fenêtres ouvrantes. Du même coup se posait le problème actuel de la fenêtre: éclairer, aérer, ventiler.»¹¹⁹

Dans certains bâtiments publics proposant de larges façades non porteuses, l'architecte Pierre Jeanneret développe un mur rideau défini selon les principes du mur ondulateur de Le Corbusier. Ce mur de vitrages assure la fermeture de l'enveloppe des espaces habités, sans participer pour autant à la stabilité générale du bâtiment. Plutôt que de dessiner des ouvertures standard dans un mur maçonné, cette solution est grandement économique puisque l'on évite la construction de gros œuvre, et surtout la standardisation de l'ouverture permet de déployer de grandes surfaces de vitrages fixes. L'apport en terme d'éclairage est extrêmement qualitatif, et comme définis par Le Corbusier, il ne s'agit pas seulement d'éclairer, mais aussi d'aérer.

« Aérer : installer des aérateurs verticaux, du plancher au plafond, de 27 à 43 centimètre de largeur et pouvant s'ouvrir graduellement et à volonté sur toute leur hauteur, fournissant une transaération immense et naturelle en vertu des différences de gravité de l'air d'une façade à l'autre, selon la situation du soleil au cours de la journée. »¹²⁰

De la même manière que pour les dispositifs de ventilation traversante, l'architecte cherche à créer des mouvements de circulation d'air au sein de ces espaces habités, afin que les usagers puissent réguler leur température corporelle par transpiration et évaporation. Afin de pouvoir maîtriser l'apport de ventilation, ce dispositif doit être adaptable suivant la saison et le besoin des usagers. L'instauration d'un mur ondulateur permet la création de larges pans de vitrage, mais ceux-ci étant fixes, il était nécessaire de créer des ouvertures ponctuant le linéaire de façades. C'est ainsi que dans le rythme imposé par les

potelets bétons toutes hauteurs, l'architecte a placé des volets pivotants, permettant si besoin d'ouvrir et d'aérer l'espace. Cette standardisation de la menuiserie a permis de grandes économies financières, mais aussi en terme de temps, car sa mise en œuvre est très rapide d'exécution.¹²¹

Les avantages majeurs de ce dispositif sont donc d'offrir un grand apport lumineux, de larges possibilités de ventilation, et aussi une standardisation et rationalisation de la menuiserie source d'économie d'argent et de temps. Néanmoins, un des inconvénients que présente le mur ondulateur est le rythme très soutenu des montants béton toute hauteur qui ponctuent le linéaire de façades. En effet, ceux-ci se répètent très fréquemment, et de par leur épaisseur, ils ont le désavantage de créer des espaces pouvant être sombres malgré la surface vitrée. Aujourd'hui, pour se protéger de l'éblouissement, les usagers ont ajouté des rideaux qu'ils laissent la plupart du temps fermés, créant des espaces obscurs.

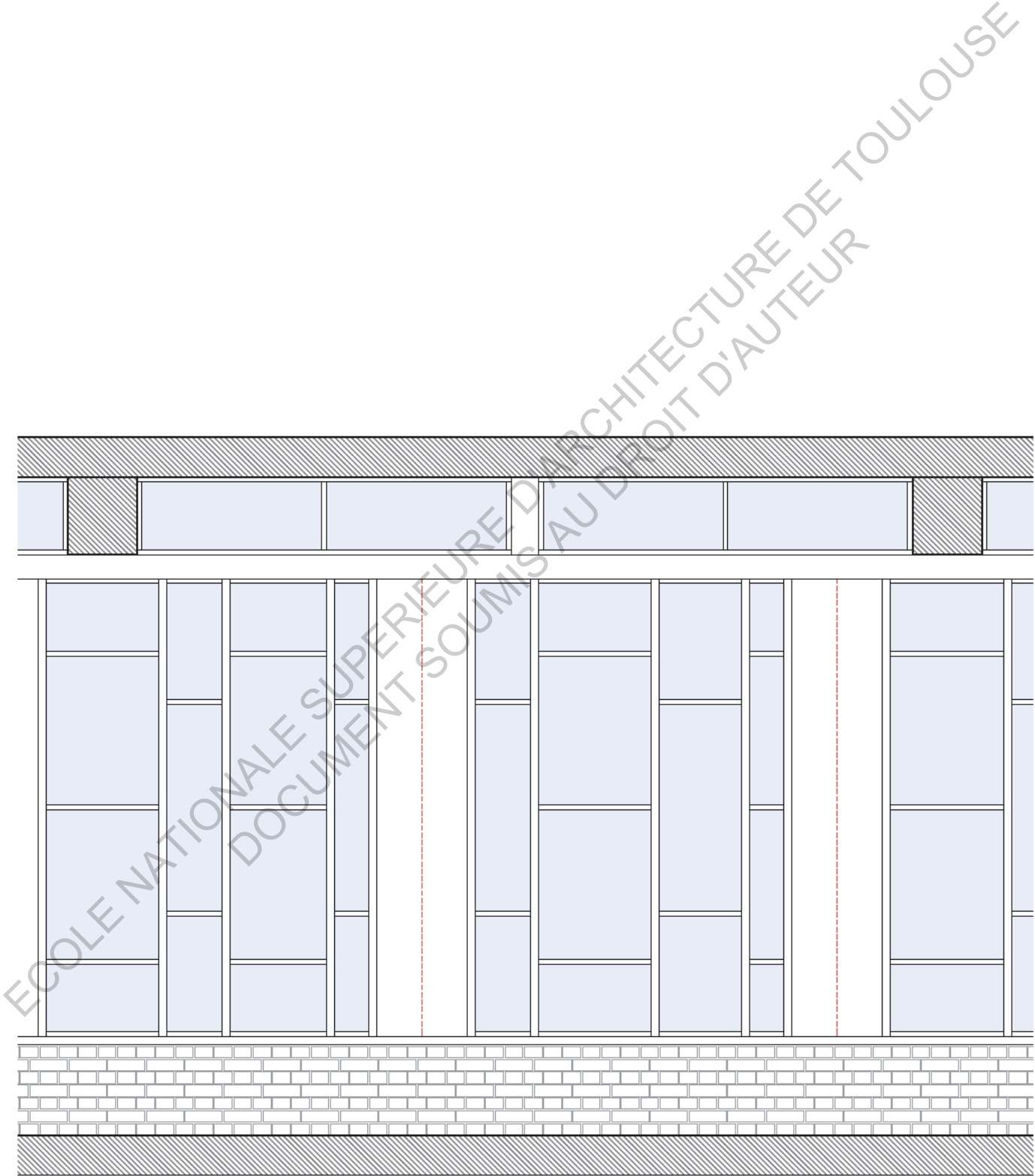
L'autre inconvénient de ces larges façades vitrées est également le manque de murs pleins pouvant accueillir des armoires de rangements, ceux-ci n'étant pas toujours dessinés d'origine. Dans le bâtiment administratif universitaire du secteur 14 ou l'hôtel de ville du secteur 17, les usagers ont eu un grand besoin de stockage de papiers et d'archives, ils ont donc investi les façades vitrées en y adossant des armoires, perdant tout l'apport lumineux et bloquant les volets pivotant qui permettaient la ventilation de l'espace.

En conclusion, lorsque le mur ondulateur est entretenu, nettoyé, que le voilage n'est pas systématique, et qu'il n'a pas été investi par du stockage anarchique, il reste très efficace, mais suivant l'appropriation des espaces, il peut aujourd'hui être désavantageux.

119. « Chandigarh. La naissance de la nouvelle capitale du Punjab (Indes) 1950 », *Oeuvre Complète (1957-1965) - Volume 7*, p. 100.

120. Ibid.

121. « Le secrétariat », Ibid., p.78.



[197.] Mur Ondulatoire - Coupe sur galerie - Town Hall - S17.

[198.] Mur Ondulatoire sur la galerie
Central State Libray- S17.



[199.] Bureau et mur ondulateur.
Arts College - S14.



[200.] Mur ondulatoire envahi par le rangement anarchique.

Town Hall - S17.



[201.] Mur ondulatoire envahi par le rangement anarchique et les rideaux.

Administration Building - S14.



[202.] Mur ondulatoire envahi par le rangement anarchique et les rideaux.

Administration Building - S14.





[203.] Ventilateur dans une salle de classe - Secpndary School - S21.

f) Les systèmes de ventilation mécanique

Face à l'amplitude thermique et le taux d'humidité imposés par le climat subtropical de la région de Chandigarh, l'architecte Pierre Jeanneret a cherché à adapter son architecture aux atouts du climat et du site, a développé de nombreux dispositifs urbains et architecturaux pour qu'un bâtiment soit performant et source de confort pour ses usagers par son espace brut. Néanmoins face à ces extrêmes, notamment en saison chaude, l'atténuation des caractéristiques climatiques par un travail uniquement sur les ressources naturelles et brutes ne fut pas suffisant pour les jours les plus chauds ou humides.

Face à cela, dès les premières années de construction, et même dans un contexte économique indien difficile, l'architecte a instauré des systèmes de ventilation dits mécaniques cette fois-ci, qui fonctionnent par l'usage de ressources énergétiques, tel que l'électricité.

LES VENTILATEURS

«Ventiler: aux heures très chaudes des tropiques. Il faut rectifier l'effet de la chaleur de l'air plus forte que la température du corps humain par un «Courant d'air» violent assuré par des ventilateurs disposés sur pied ou suspendus au plafond.»¹²²

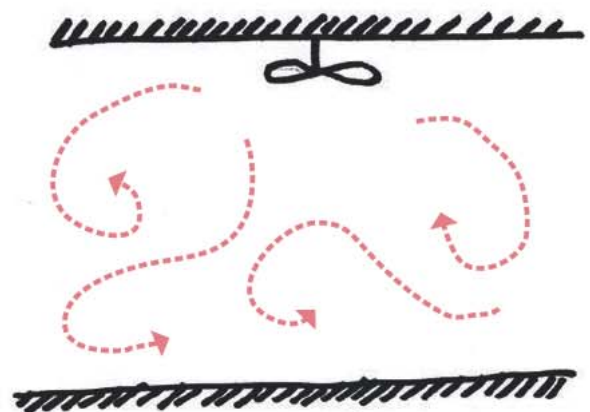
Comme dit précédemment, la ventilation naturelle et l'aération d'un espace n'est pas suffisante pour supporter des températures pouvant atteindre les 45°C certaines journées d'été. Dans ce cas, l'intervention mécanique fut nécessaire par l'installation de ventilateur fixe en plafond ou sur pied mobile. L'augmentation des températures et du taux d'humidité durant la saison estivale est source d'inconfort pour les usagers d'un bâtiment. Cette sensation de confort peut être régulée par le travail de la circulation d'air dans le bâtiment, soit naturellement comme présenté précédemment¹²³, soit artificiellement. En effet, le corps évacue son surplus de chaleur interne par la phénomène de sudation, qui est un système de climatisation à l'échelle du corps humain.

Face à l'augmentation des températures durant la saison estivale et au fort taux d'humidité, il faut réguler le confort des usagers par des mouvements d'air constant dans un espace habité, afin que le corps puisse évacuer sa chaleur corporelle par évaporation. Le ventilateur est le système mécanique le plus simple pour parvenir à cela.

Il s'agit d'un système, sur pied ou en plafonnier, actionné par de l'énergie électrique. Il est composé de pâles qui tournent autour d'un axe, leur orientation brasse l'air environnant et crée une circulation d'air dans tout l'espace.

Les vertus des ventilateurs sont que ce système de ventilation mécanique est un des plus faibles consommateurs d'énergie électrique, bien qu'il ne soit pas naturel. C'est également un investissement moindre, ce qui est très important vis-à-vis du budget de construction alloué aux architectes à l'époque.

Un des inconvénients reste qu'il n'est pas naturel et qu'ils consomment tout de même de l'énergie, et donc engendre un coup d'achat, mais aussi d'exploitation sur le long terme. C'est également une source de nuisances sonores, car les pâles du ventilateur tournent constamment créant un fond sonore qui peut être dérangent.



[204.] Schéma de principe d'un ventilateur.

122. « Chandigarh. La naissance de la nouvelle capitale du Punjab (Indes) 1950 », Ibid., p. 100

123. Voir p.144-158.

LE COOLER

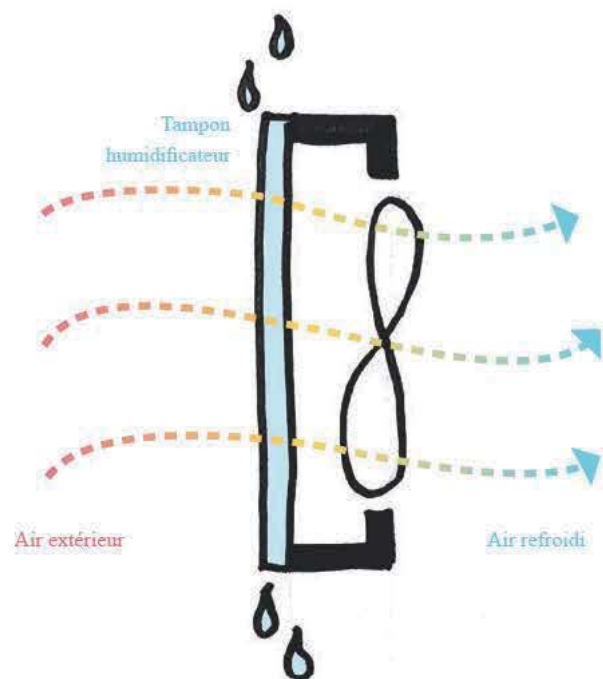
« Il existe aussi des systèmes très ingénieux constitués par des panneaux faits avec des herbes formant papier buvard, sur lesquels l'on jette de l'eau, et l'air qui passe au travers, grâce à l'évaporation par temps sec, produit de la fraîcheur.»¹²⁴

Le cooler, ou rafraîchisseur d'air en français, est un système de ventilation mécanique typiquement indien, qui associe le fait de créer des mouvements d'air, et le fait de le rafraîchir par l'eau. Le principe est assez simple, il repose sur le refroidissement par le changement d'état de l'eau qui passe de sa forme liquide à l'état de vapeur durant le phénomène d'évaporation, nommé plus scientifiquement: enthalpie de changement d'état en thermodynamique. C'est un processus naturel, l'air chaud et sec extérieur est propulsé par un ventilateur au travers d'un panneau, dit tampon, humidifié par de l'eau froide. Le phénomène de soufflerie provoque l'évaporation de l'eau, nécessitant une consommation d'énergie puisée dans l'air ambiant. La conséquence directe est donc le refroidissement général de la température de la pièce dans laquelle se situe le rafraîchisseur d'air. C'est une transcription mécanique du système traditionnel qui consistait à placer un linge humide face à un ventilateur. Un cooler est tout d'abord formé d'un ventilateur qui sert à faire circuler l'air rafraîchi dans l'espace habité. Il existe ensuite un réservoir d'eau qui doit être alimenté en permanence afin d'assurer l'efficacité du système mécanique. Tout cela forme une boîte dont les faces sont fermées par des panneaux tampons, de paille généralement, qui ont pour fonction de retenir l'humidité, mais de laisser passer l'air, et enfin ce système nécessite une pompe qui achemine l'eau sur ces panneaux de paille.

Ce système de refroidissement d'air a pour avantage de fonctionner à moindre coût, puisqu'il utilise la même quantité d'énergie qu'un ventilateur mécanique pur, toujours moins d'énergie qu'un climatiseur, un peu d'eau; mais il a pour conséquence d'atténuer la température ressentie dans une pièce et donc d'améliorer le confort des

usagers qui s'y trouvent. Au regard du contexte économique difficile en Inde, le cooler est un système mécanique que de plus en plus de familles indiennes ont les moyens de s'offrir. Le système est également entièrement mobile, ce qui permet de placer le dispositif dans la pièce utilisée, du temps qu'il peut être fourni en énergie électrique. Même en utilisant de l'électricité, le rafraîchisseur d'eau reste un appareil électroménager plus ou moins écologique, puisqu'il n'utilise pas de fluide frigorigène ou de gaz, réputés pour contribuer à l'effet de serre.

Néanmoins l'efficacité de ce système n'est possible que durant les saisons chaudes, mais sèches. En effet, durant la période de moussons, l'air est déjà saturé d'humidité et l'évaporation ne peut avoir lieu dans le refroidisseur, ce qui limite donc sa période d'utilisation. Ce dispositif mécanique, comme les autres, est tout de même source de nuisances sonores, mais peut également être une source infectieuse, s'il n'est pas correctement entretenu.^v



[205.] Schéma de principe d'un cooler.

124. «Incidences des techniques locales et du climat sur la construction à Chandigarh.», *L'architecture d'aujourd'hui*, oct. 1956, oct, n°67/68, p.178



[206.] Cooler - University Library - S14.

LES DÉBUTS DE LA CLIMATISATION

«[...] le ventilateur mécanique reste le système le plus efficace et le plus économique, mais je ne doute pas que lorsque l'Orient aura les moyens de créer des frigories artificielles, les progrès pourront être immenses.»¹²⁵

Face à ces deux premiers systèmes de ventilation mécanique qui représentent des investissements financiers initiaux assez limités, ainsi qu'un coût d'exploitation assez raisonnable, la climatisation se distingue pour un coût plus important, qui n'était pas possible pour tous les programmes d'équipements publics à l'époque. Dans le contexte économique de la conception de la ville à Chandigarh et du budget attribué aux architectes pour construire tout ce dont elle aurait besoin, le système de climatisation des espaces ne fut pas automatique, comme il pourrait l'être actuellement. L'Inde juste indépendante n'a, à l'époque, pas les moyens de s'offrir cette nouvelle technologie apparue depuis une cinquantaine d'années, mais au regard du programme de certains programmes de bâtiments publics, l'architecte semble initier les débuts du système de climatisation mécanique en Inde.

Tout comme les ventilateurs ou rafraîchisseurs d'air, la climatisation mécanique a pour but de corriger l'augmentation simultanée des températures et du taux d'humidité qui se produit durant la saison estivale, sèche mais aussi humide. Le principe est d'extraire mécaniquement l'air chaud et de pulser de l'air traité, c'est-à-dire refroidi, déshumidifié et aussi purifié.

Le choix de l'architecte de travailler avec ce système mécanique provient de la nature du programme du bâtiment, il s'agit donc de cas d'application très singulier. En effet, dans des fonds d'archive, on peut visualiser des cheminées de ventilation dans les coupes des bâtiments de l'hôpital PGI secteur 12, ou on a pu voir sur place des grilles de ventilation et bouches d'aération dans la bibliothèque universitaire du secteur 14. Dans ces deux cas, c'est le programme qui amène l'implantation de dispositif mécanique plus innovant. Dans le premier cas, il s'agit d'un hôpital, nécessitant une régulation précise des

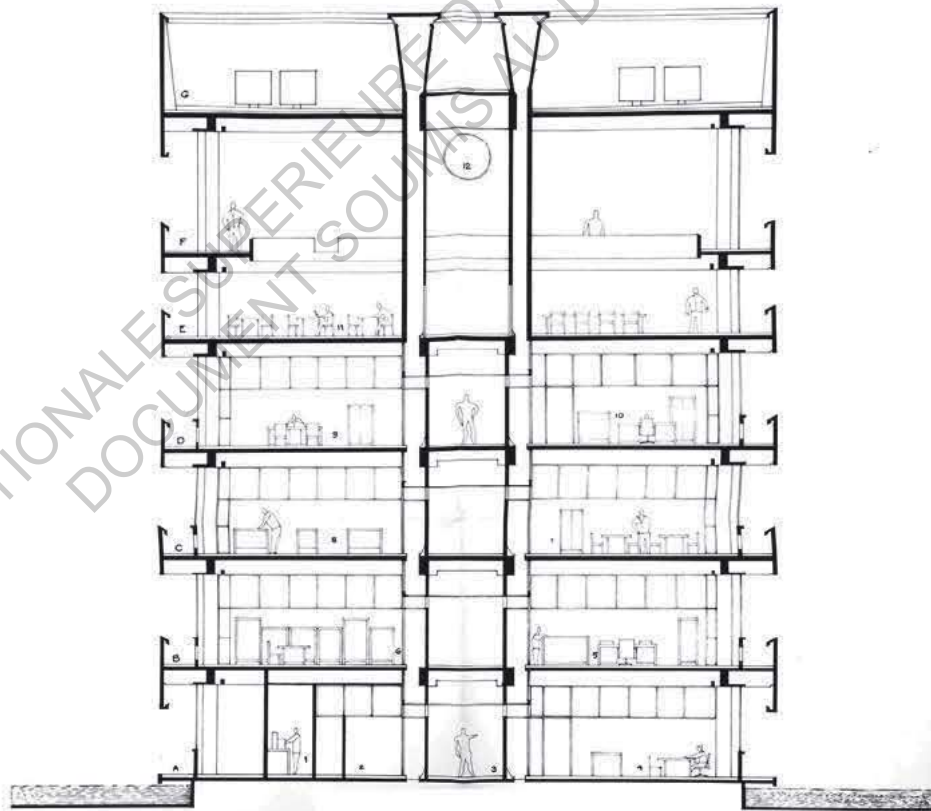
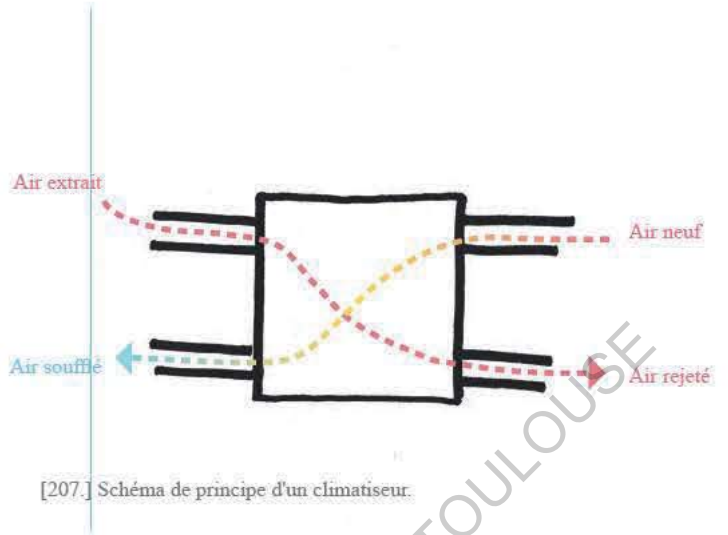
paramètres thermiques et hygrométriques internes, car les patients ont besoin d'un confort optimal étant malade ou en récupération. La climatisation, si elle est correctement entretenue est également un avantage en terme d'hygiène, car on peut laisser le bâtiment étanche, et donc rejeté à l'extérieur toutes bactéries ou infections. Dans le second cas, il ne s'agit pas tellement d'une mesure hygiéniste, mais plutôt de l'avantage de pouvoir maîtriser précisément et réguler les paramètres thermiques et surtout hygrométriques des différents espaces. En effet, une bibliothèque implique le stockage de nombreux ouvrages, qui sont très sensibles à cette dernière caractéristique. Le taux d'humidité peut engendrer des dégradations importantes sur des livres, il est donc nécessaire de pouvoir le contrôler dans ce cas-ci.

L'inconvénient majeur de ce dispositif est sa consommation en énergie. C'est un système qui nécessite un investissement financier de départ plutôt important, mais il implique également un coût d'exploitation sur le long terme non négligeable. Ce n'est pas non plus le dispositif le plus écologique, car ce sont des appareils fort consommateurs d'énergie, et ils utilisent également des fluides et gaz responsables de l'accroissement de l'effet de serre. A cela, on peut ajouter que l'efficacité générale du dispositif repose sur l'étanchéité de l'enveloppe du bâtiment. Si les ouvertures ne sont pas fermées, ou même les menuiseries étanches, il est difficile de pouvoir correctement contrôler le confort interne et surtout cela est source de surconsommation, impliquant coût et inconvénient écologique. Il est également nécessaire de bien entretenir un dispositif de climatisation, car un mauvais entretien pourrait entraîner le développement de bactéries ou autres infections dans le système, qui seraient donc diffusées partout dans le bâtiment. L'entretien est donc primordial pour conserver un niveau d'hygiène nécessaire.

Aujourd'hui, le contexte économique de l'Inde, et surtout de Chandigarh, ayant beaucoup évolué depuis les années de conception de la ville, de plus en plus de personnes en Inde ont les moyens d'investir dans des climatiseurs, notamment pour les bâtiments publics. On a donc vu apparaître l'implantation de nombreux «plug» en façades, parfois de manière anarchique et artisanale,

125. Ibid.

qui viennent aujourd'hui dénaturer le bâtiment dans son esthétique générale, mais aussi dans son fonctionnement climatique général. En effet, on clôt les ouvertures qui servaient à la ventilation naturelle, mais on produit de nouvelles ouvertures pour placer ces climatiseurs individuels, cela d'une manière tellement artisanale que l'enveloppe perd toute son étanchéité, ce que nous avons défini comme une donnée nécessaire pour le fonctionnement correct d'un climatiseur.



[208.] "Section through ducts", dessin issu du fond d'archives du CCA de Montréal - Medical Research Institute - S12.



[209.] Grille d'extraction - University Library - S14.



[210.] Grille d'aspiration - University Library - S14.

3. L'apport de Pierre Jeanneret en matière d'architecture bioclimatique

Maintenant que nous avons posé le contexte et les théories qui entouraient les recherches climatiques de Pierre Jeanneret, et que nous avons décrit ces dernières, il est temps d'évaluer les résultats que cette méthode de recherche nous a permis d'atteindre.

Tout d'abord, les travaux antérieurs réalisés sur Pierre Jeanneret portaient sur la réflexion climatique, mais uniquement au travers de la question domestique, et donc de l'appropriation. Dans ce mémoire, il s'agissait de poursuivre ces recherches en étudiant la seconde partie des bâtiments de l'architecte à Chandigarh: les bâtiments publics. Face à ce changement d'échelle de projet, l'architecte suit notamment les mêmes principes de protection solaire et de ventilation traversante, mais il multiplie les outils pour y parvenir. Nous avons été en capacité de recenser de nombreux dispositifs dans les bâtiments publics, comparé au logement, et dans des déclinaisons esthétiques beaucoup plus importantes. J'avance l'hypothèse que pour la production de ces ouvrages, l'architecte a dépassé l'utilisation de dispositifs standards en développant de nouvelles typologies, car il s'agissait de réflexions ponctuelles, dans des cas d'étude singuliers, à une échelle architecturale et programmatique bien différente et offrant certainement de nouvelles voies de solutions. De plus, alors que la question de l'habitat avait porté la standardisation, l'économie, la facilité et rapidité de mise en œuvre comme éléments fondamentaux, avec les bâtiments publics, on rentre dans des productions uniques, pour lesquelles un peu plus de moyens financiers et humains ont pu être alloués. L'échelle et l'économie du projet sont, pour moi, les raisons de l'innovation de Pierre Jeanneret en matière de variétés de dispositifs climatiques dans son architecture publique.

Bien que Pierre Jeanneret n'ait pas publié d'ouvrages ou de théories comme les autres membres de l'équipe de conception, il est indéniable que lui aussi portait la question climatique au cœur de sa réflexion architecturale pour les projets de Chandigarh. Sur les recherches et pensées

qui ont été conduites au travers de l'élaboration de cette ville nouvelle, il est quand même surprenant que les seniors architects n'aient pas cherché à mutualiser leurs acquis climatiques. Maxwell Fry et Jane Drew publient leurs recherches en 1956, seulement deux ans après leur départ de Chandigarh, et n'abordent pas leurs travaux indiens, et très peu ceux de Pierre Jeanneret et Le Corbusier, avec seulement deux photographies dans tout l'ouvrage. Ce dernier semble également ignorer les publications antérieures des architectes britanniques, mais cela est représentatif du caractère bien connu de Le Corbusier. Chaque membre de l'équipe de conception de Chandigarh semble donc établir respectivement des théories climatiques, développer des outils méthodologiques pour les mettre en place, mais une fois le dogme établi, ils sortent de cette rigidité de réflexion. Lorsqu'une pensée rationnelle est définie, les architectes ne pensent pas la conception d'un projet en suivant à la lettre leurs préceptes. Les théories deviennent acquis, et s'intègrent naturellement dans le processus de conception. Je trouve que les qualités d'un bon architecte se révèlent dans cette capacité d'intégration et de synthèse des différentes données qui lui sont allouées pour un projet, il doit agir comme généraliste.

Outre un article de Pierre Jeanneret dans le magazine *L'Architecture d'Aujourd'hui*¹²⁶, ainsi que ces correspondances, nous n'avons aucun écrit de l'architecte qui pourrait définir ses théories et sa pensée architecturale, par conséquent, toute définition de principes architecturaux n'est qu'hypothèse. Néanmoins, au travers de mon travail d'inventaires et d'analyses des dispositifs urbains et architecturaux qu'il met en place dans son architecture publique, on peut aisément identifier des outils climatiques communs aux différents acteurs de projet. La méthode de travail et les résultats apportés par l'architecte s'inscrivent donc dans une réflexion commune autour de la notion de confort dans un climat tropical complexe.

126. JEANNERET (P.), «Incidences des techniques locales et du climat sur la construction à Chandigarh.», *L'Architecture d'Aujourd'hui*, oct. 1956, oct, n°67/68, p.178/179

«Rapidement, j'ai compris qu'il fallait employer très peu de ciment, de fer, de bois, de verre, pour les habitations et les bâtiments publics ordinaires, afin de ne pas dépasser les premières estimations faites par des ingénieurs avant mon arrivée à Chandigarh.»¹²⁷

D'après moi, l'architecture de Pierre Jeanneret ne se définit pas uniquement par une prise en considération et une adaptation à un contexte local, tant sur les modes d'habiter que sur la question climatique, mais également par la thématique de la construction. Pierre Jeanneret est depuis toujours un bâtisseur, c'est ce qui le passionne¹²⁸, et lors de son arrivée en Inde, la question constructive se pose plus que jamais face à un contexte économique difficile.

«J'aurai souvent voulu faire des maisons économiques en argile, mais l'entretien aurait dépassé les budgets, car un paysan soigneux colmate lui-même deux fois par année sa maison: après la mousson et après les pluies d'hiver.»¹²⁹

Par ces citations, on saisit réellement l'intérêt que Pierre Jeanneret portait à la construction, mais également à sa pérennité dans le temps. Pour mener à bien cette étude des dispositifs climatiques de Pierre Jeanneret, il aurait également fallu développer autour des caractéristiques techniques des matériaux employés par l'architecte, c'est-à-dire, la brique, le béton, les pierres de rivière, les parements de grès, etc, afin de pouvoir étudier l'impact de la construction sur la thermique d'un bâtiment et donc le confort des usagers. Ici, il s'agit d'une limite dans mes recherches que je n'ai pas été en mesure d'aborder dans le cadre de ce travail de master.

Cependant, il est aujourd'hui nécessaire de nuancer l'architecture bioclimatique de Pierre Jeanneret à Chandigarh. Cinquante ans après, nous sommes en mesure d'avoir un recul nécessaire sur la production architecturale de l'époque, et il s'agit d'avoir un regard critique sur l'efficacité climatique des bâtiments.

Au cours de notre analyse, nous avons pu faire émerger plusieurs correctifs climatiques qui sont apparus avec le temps et l'usage: la fermeture d'espaces tampons, l'abandon de systèmes de ventilation naturelle, l'ajout de systèmes de ventilation et rafraîchissement mécaniques, l'ajout de protections solaires mobiles supplémentaires, etc. En faisant cette étude, mon but premier était d'établir la cadre des réflexions de Pierre Jeanneret, mais il fut compliqué de continuer cette étude sans prendre en compte l'évolution actuel des bâtiments.

Aujourd'hui, l'évolution économique de l'Inde, et plus particulièrement à Chandigarh, pose la question de la place des systèmes mécaniques et technologiques dans les bâtiments. A l'époque de conception, le gouvernement ne pouvait pas intégrer tous ces équipements dans la première phase de construction, c'est pourquoi les architectes se sont évertués à développer de nombreux dispositifs architecturaux servant le confort des usagers par la construction même du bâtiment. Aujourd'hui, la population est plus riche; ces équipements, qui se sont démocratisés, ont un coût moindre qu'auparavant, ce qui rend leur accès beaucoup plus aisé.

127. Ibid.

128. CAUQUIL (H.), *Pierre Jeanneret: la passion de construire*

129. «Incidences des techniques locales et du climat sur la construction à Chandigarh.», «L'Architecture d' Aujourd'hui», oct. 1956, oct, n°67/68, p.178

[211.] Fermeture d'une véranda avec du vitrage

Nursery School - S16.



[212.] Ajout de nombreux climatiseurs en façade, sur des supports sauvages.

Science College - S14.



[213.] Mur ondulatoire envahi par le rangement anarchique et les rideaux.

Administration Building - S14.



La question de l'appropriation actuelle des bâtiments et des espaces est donc une vaste question, à laquelle je me suis peu confrontée, et qui mériterait un élargissement pour pousser la recherche. Néanmoins, de mon point de vue de jeune étudiante en architecture, bientôt diplômée, il fut extrêmement enrichissant et formateur de pouvoir étudier, comprendre ses dispositifs modernes et les mettre en perspective face au contexte économique, climatique et social, et surtout dans une vision temporelle. Malgré quelques corrections climatiques apportées par les usagers, de mon point de vue, l'appropriation des usagers dans les bâtiments publics est bien moindre que dans les logements gouvernementaux, de ce que j'ai pu lire dans le travail de Natacha Barouillet. Par exemple aujourd'hui, les employés rajoutent des climatiseurs à leur guise, mais cela est en partie dû à des habitudes de vie.

Depuis que la situation économique du pays le permet, les habitants ont pris l'habitude de vivre en permanence dans des espaces climatisés pour la plupart, alors, lorsqu'ils ne disposent pas de ce système, ils se sentent immédiatement dans une situation d'inconfort. Dans un pays en plein développement économique, on peut également assimiler ce besoin de technologie à une envie de la population d'intégrer l'ère moderne en adoptant des habitudes de vie dites «occidentales». D'après moi, que ce soit en Inde, mais aussi plus largement en Occident, il y a certaines situations, où la climatisation apporte un confort évident, mais utilisée en continu, on en prend l'habitude, et il semble impossible de supporter d'autres conditions.

Pour moi, les bâtiments publics de Pierre Jeanneret présentent de nombreux avantages en terme d'aspect climatique, surtout si l'on remet leur conception dans une perspective temporelle et économique. Néanmoins, il faut prendre en compte les correctifs climatiques mis en place par les usagers car ils sont révélateurs de défaillance dans la pensée architecturale. Aujourd'hui, il serait nécessaire d'entamer des travaux de réhabilitation, pour remettre les dispositifs originaux en l'état, faire une analyse des situations d'inconfort, puis intégrer des nouvelles solutions, peut être technologiques, afin de corriger ces erreurs climatiques, mais cela doit être une initiative institutionnelle et globale, et non du cas par cas avec l'intervention de quelques usagers.



[214.] Pierre Jeanneret, photographie issue du fond d'archives du CCA de Montréal, photographe inconnu.

CONCLUSION

Pour conclure sur ces recherches de mémoire, je dirai que cet exercice fut très enrichissant, puisqu'il s'est inscrit dans la continuité de mon échange universitaire international et m'a ouvert un peu plus vers la culture indienne. J'ai ainsi pu découvrir par mes lectures et analyses toute une facette traditionnelle de l'architecture indienne, tout en me cultivant sur un projet d'architecture moderne dans un pays tropical. Ce mémoire m'a permis d'approcher une méthode de recherche, d'en comprendre son essence en essayant de la retranscrire dans un sujet, à mon échelle de réflexion.

En réalisant cette étude, mon hypothèse de départ était de pouvoir relever, de la manière la plus exhaustive possible, les différents dispositifs climatiques mis en place par l'architecte Pierre Jeanneret dans son architecture publique, mais surtout de comprendre leurs impacts sur le confort climatique des usagers, malgré un contexte environnemental très hostile comme nous avons pu le voir. Vis-à-vis de ma méthode de recherche, le fait de partir en échange après un semestre de séminaire en France permet évidemment d'éclaircir un choix de sujet, une problématique, un développement de réflexion, un corpus d'études, mais aussi de se cultiver sur le sujet, la ville de Chandigarh en l'occurrence. Néanmoins, six mois de recherches au préalable me semblent aujourd'hui disproportionnées vis-à-vis des quatre petits mois sur place, où nous devons nous acclimater à un nouveau pays, une nouvelle culture, un nouveau climat, tout en suivant des cours à l'université, et en développant nos recherches de mémoire et en réalisant nos relevés, ce qui nécessita une organisation stricte. Au retour, il s'agit de retranscrire les relevés, puis de tout remettre en perspective et d'analyser tout cela. Ce fut pour moi la phase la plus enrichissante, définir les typologies de dispositifs, trouver une hiérarchie et une organisation pour les étudier, les nommer, les décrire, comprendre leurs vertus, mais aussi leurs inconvénients, etc.

Après analyse, cette étude climatique sur les bâtiments publics de Pierre Jeanneret à Chandigarh m'amène à plusieurs constats. Premièrement, ces recherches attestent d'une certaine efficacité énergétique du bâtiment si l'on replace le projet dans son époque de construction, le contexte économique, et le temps de conception. Il me semble d'autant plus intéressant de mettre en avant l'intérêt qu'ont eu ces architectes européens pour la question climatique dans une époque où l'architecture vernaculaire, dite Kaccha, perdait en qualité, et où aucune préoccupation énergétique n'était encore réellement engagée dans une vision globale et pérenne pour la société¹³⁰. On peut donc saluer l'éventail de solutions apportées par l'architecte, qui sont bien plus vastes que celles qui avaient pu être répertoriées dans son œuvre domestique. Les raisons de cette recherche approfondie proviennent, selon moi, de l'échelle du bâtiment, d'une production unique et non en série, des moyens économiques et humains plus importants alloués au projet. Pour la production massive de logement, la règle était la standardisation, ainsi qu'une construction économique, rapide et aisée de mise en œuvre, afin que les constructeurs locaux puissent travailler, suivant des modes constructifs qui leur étaient familiers. Dans le bâtiment public, les architectes s'autorisent à sortir un peu de ces traditions locales, pour former une nouvelle génération, tant d'architectes que de constructeurs, à de nouveaux modes de construction, notamment le béton. Mon regret quant à l'aboutissement de mes recherches est de ne pas avoir investi la question de la construction et du matériau, notamment dans ses caractéristiques intrinsèques et leur impact sur le confort climatique d'un bâtiment.

130. C'est seulement en 1992 que le sommet de Rio officialise « la notion de développement durable et celle des trois piliers (économie/écologie/social) : un développement économiquement efficace, socialement équitable et écologiquement soutenable. » INSEE

Le deuxième constat réalisé au cours de cette étude est l'appropriation actuelle des bâtiments, notamment avec l'ajout de quelques correctifs climatiques par les usagers même d'un bâtiment. Les conclusions que je tire de cet investissement sont assez nuancées. D'une part, pour avoir vécu une période de températures extrêmes durant le mois de mai, il est tout-à-fait concevable que les usagers aient eu besoin d'ajouter des nouveaux dispositifs de protections solaires, et surtout des systèmes de rafraîchissement mécaniques.

« When Chandigarh started there were no coolers, no AC, and only a few cars. So people are asking for changes in the house's designs, they want big rooms well lit and technically advanced, and they want good quality of flooring, ceilings. They probably have much more money now. The ladies are working now also. The concept of living is changing with the time, and architecture changes with it. »¹³¹

Néanmoins, une implantation systématique et sans réflexion globale est pour moi plus défavorable qu'autre chose. A l'époque, les dispositifs technologiques tels que la climatisation n'étaient pas démocratisés et donc trop onéreux, surtout pour un pays en voie de développement comme l'Inde. Cependant aujourd'hui, le contexte économique s'est vu transformé, et le Penjab est dorénavant un des états les plus riches du pays. De ce fait, les institutions et les habitants ont pour la plupart, les moyens de s'offrir ces nouveaux systèmes, et y sont donc habitués quotidiennement. L'utilisation de ces dispositifs est devenue systématique pour eux dans la vie de tous les jours, ce qui a pour conséquence une installation anarchique au détriment du bon fonctionnement originel du bâtiment. Comme énoncé précédemment, une pensée globale suite à une analyse précise des dysfonctionnements climatiques serait de mise afin d'allier au mieux architecture originelle et technologie contemporaine.

Au regard de ces multiples dispositifs climatiques, de la qualité architecturale et constructive des bâtiments, ainsi que du détail de recherches pour offrir des espaces confortables, mon positionnement, en tant qu'étudiante et futur architecte, est qu'il est fondamental d'adopter une démarche adaptée au contexte et aux usages, afin d'offrir confort et qualité de vie dans un processus de pensée générale phénoménologique. Je trouve remarquable l'attention portée par les architectes à toutes les contraintes de site, de climat, aux modes d'habiter, aux techniques de construction locales. Pour moi, cette attitude généraliste et cet ancrage dans le territoire sont exemplaires. Ainsi, même si aujourd'hui, certains bâtiments semblent inadaptés avec l'évolution technologique et des pratiques, je trouve la réponse architecturale à l'échelle de la demande et des enjeux qui avaient été formulés aux architectes. Le climat, bien plus extrême que chez nous, avec ses trois facettes opposées, entraîne des concessions de la part des architectes, qui ne pouvaient tout résoudre en même temps avec des moyens économiques limités. Face à plusieurs situations climatiques antagonistes, le travail de l'architecte semble plus que jamais devoir être une vision globale, généraliste, intégrant de nombreux paramètres de réflexion.

131. Entretien avec SHARMA (S.) réalisé le 09 Mai 2016

«Concrete and steel tempted with their very modernity and with the shapes and spaces they could create (...) So the Indian elite followed a trend engendered in the USA, building concrete villas, thin-roofed, generously glazed, ignoring old-fashioned traditional features. The resultant building was exposed to the full heat of the sun, for which the design made no allowance (...) demanding the use of fans and cooling systems.»¹³²

Aujourd'hui, on peut regretter la perte de qualité dans la production architecturale en Inde, notamment par l'abandon de techniques de construction et de dispositifs vernaculaires. L'architecture *Kaccha* disparaît petit-à-petit pour laisser place à une architecture plus occidentale. Beaucoup de jeunes architectes indiens ont adopté des pensées britanniques suite à la colonisation, créant ainsi des bâtiments dont le bon fonctionnement est dépendant de la technique et la technologie. Actuellement, certains architectes effectuent néanmoins un retour vers l'exploitation de formes, de matériaux et techniques plus traditionnels, comme Laurie Baker¹³³. Mais on peut s'interroger bien plus largement face à ce phénomène de technicisation des bâtiments actuel, tant en Inde, que dans notre cas occidental.

Aujourd'hui, l'Architecture ne peut plus échapper aux considérations énergétiques au regard du contexte environnemental actuel, et ce vers quoi nous nous dirigeons si nous continuons de malmener notre environnement ainsi. Les notions bioclimatique, durable, de haute qualité environnementale sont en plein développement aujourd'hui dans le secteur de la construction, et donc de l'Architecture. On définit cette nouvelle manière d'aborder l'avenir par le terme de développement durable qui est «un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs.»¹³⁴ Cependant, aujourd'hui cette idéologie environnementale absolue nécessaire à notre avenir est en train de perdre de sa pertinence, selon moi, par l'accumulation de réglementations, générées par un certain nombre de lobbys. Lors de mes quelques expériences professionnelles, j'ai pu remarquer que les maîtrises d'ouvrage nous demandent des bâtiments toujours plus techniques, intégrant de nombreuses technologies coûteuses à la mise en œuvre. Outre l'investissement de départ qu'implique ces systèmes techniques, leur exploitation et maintenance génère un coût important pour les gérants; mais surtout, cette technologie engendre une consommation énergétique importante, ce qui est extrêmement antagoniste par rapport à la recherche initiale de limiter l'impact sur notre environnement. De plus, cette omniprésence de la technique et de la domotique nous a rendus complètement dépendants et presque démunis de toute initiative personnelle: les systèmes informatiques règlent nos écrans de protection, ferment les volets, etc. Le bon sens climatique a pratiquement disparu de nos habitudes, et cette aliénation est pour moi également une des sources premières de dysfonctionnements climatiques. Certains architectes prennent aujourd'hui le parti exactement opposé en excluant la technique du bâtiment. Ici, je tiens à saluer le travail effectué par Baumschlager Eberle Architekten à Lustenau en Autriche avec son bâtiment de bureaux 22/26 que j'ai eu l'occasion de visiter récemment. Le bâtiment ne dispose ni de chauffage, ni de ventilation mécanique, ni de système de rafraîchissement technique, seule l'architecture et la construction du bâtiment interviennent dans le confort des usagers. L'objectif était de démontrer que l'on pouvait rester dans une fourchette de température entre 22 et 26°C, et ce annuellement. Sans développer plus les moyens mis en place pour obtenir ce résultat, aujourd'hui, après trois ans de relevés, il semble que l'intention initiale soit plutôt

132. *Traditional Buildings of India*, p. 20

133. Ibid.

134. Commission mondiale sur l'environnement et le développement de l'ONU, *Rapport Brundtland*, 1987

bien atteinte. Je trouve personnellement cette attitude extrêmement intéressante, et elle me paraît fondamentale.

En mettant en perspective l'attitude moderne et avant-gardiste des architectes de Chandigarh, la demande de développement durable actuelle et certaines démarches contemporaines de retour à des architectures traditionnelles et dénuées de techniques, les recherches de ce mémoire m'ont donc mené à découvrir de nombreuses notions, mais surtout à m'interroger sur l'attitude que je souhaite adopter comme future actrice de la construction et de l'architecture. Comment peut-on aujourd'hui participer au confort des usagers d'un bâtiment, sans pour autant rendre ses derniers totalement dépendants à une technique et technologie omniprésente de nos jours? Mais aussi comment limiter l'impact d'une construction et de son exploitation sur notre environnement?

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

BIBLIOGRAPHIE

Sources directes

- Archives du CCA de Montréal : base graphique et photographique, témoin d'un état initial des bâtiments.
- Plan des bâtiments publics extraits du livre de KIRAN (J.) - *Documenting Chandigarh : The Indian Architecture of Pierre Jeanneret, Edwin Maxwell Fry, Jane Beverly Drew*

- Corpus de bâtiments : relevés et photographies effectués sur place
 - Nursery School - S7 / S16 / S22 / S23
 - Primary School - S15
 - Junior Secondary School - S10 / S16 / S19 / S21 / S22
 - Administration Building - S14
 - University Arts College - S14
 - University Science College - S14
 - University Library - S14
 - Gandhi Bhavan - S14
 - University Health Center - S14
 - Central State Library - S17
 - Town Hall - S17
 - Polytechnic for Men - S26
- Interview de Mr. Shivdatt SHARMA

Sources savantes

- ALPHAND (A.), *Les Promenades de Paris: histoire, description des embellissements, dépenses de création et d'entretien des Bois de Boulogne et de Vincennes, Champs-Élysées, parcs, squares, boulevards, places plantées, études sur l'art des jardins et arboretum*, Ed. J. Rothschild, Paris, 1867-1873.
- DREW (J.) - FRY (M), *Tropical Architecture in Dry and Humid Zone*, B.T. Batsford Limited, London, 1964, 264p.
- DREW (J.) - FRY (M), *Village Housing in the Tropics with Special Reference to West Africa*, Lund Humphries, London, 1947, 134p.
- HAUSSMANN (G.E.), *Mémoires*, Editions du seuil, lieu, 2000.
- KRISHAN (A.), *Climatically Responsive Energy Efficient Architecture - A Design Handbook - Volume II: Data Base - Indian Context*, Ed. CASA, School of Planning and Architecture, New Delhi, 1995, 410p.
- LE CORBUSIER - JEANNERET (P.), *Oeuvre Complète (1910-1965)*, Les Editions d'Architecture, Zurich.
- LE CORBUSIER, *Urbanisme*, Flammarion, Paris, 1994 (Première édition 1925 publié par éditions G. Grès et Cie, Paris), 284p.
- SESHADI (T.N.) - RAO (K.R.) - SHARMA (M.R.) - SARMA (G.N.) - SHARAFAT ALI, *Climatological and Solar data for India (To Design Buildings for thermal comfort)*, Centre Building Research Institute of Roorkee, Sarita Prakashan, Meerut, 1969, 166p.

Sources appliquées

- BAROUILLET (N.), *Pierre Jeanneret et les Énergies en Inde: la question climatique dans les logements de Pierre Jeanneret pour la classe moyenne à Chandigarh, de 1952 à 1965*, ENSA Toulouse (sous la direction de Rémi Papillault et Audrey Courbebaisse), 2014, 217p.
- CAUQUIL (H.), *Pierre Jeanneret: la passion de construire*, ENSA Toulouse, 1983
- JOSHI (K.), *Documenting Chandigarh : The Indian Architecture of Pierre Jeanneret*, Edwin Maxwell Fry, Jane Beverly Drew - Mapin Publishing Pvt Ltd., Ahmedabad, 1999 (first published), 286p.
- MENUAU (L.), *Pierre Jeanneret et Le Corbusier face à l'Inde: la question de la conception d'un logement pour les plus pauvres et de sa protection face au climat vue par Le Corbusier et Pierre Jeanneret pour la ville de Chandigarh (1951-1965)*, ENSA Toulouse (sous la direction de Rémi Papillault, Audrey Courbebaisse et Constance Ringon), 2013, 184p.
- PAPILLAULT (R.), *Chandigarh et Le Corbusier - Création d'une ville en Inde, 1950 - 1965*, Editions Poésis AERA Toulouse, Mercuès, 2011, 322p.
- PAPILLAULT (R.), «Portrait de ville», *Chandigarh*, Cité de l'architecture et du Patrimoine, Paris, 2007, 72p.
- PRAKASH (V.), *CHD - Chandigarh*, Bloomsbury Publishing India Pvt Ltd & Altrim Publishers, New Delhi, 2014, 243p.
- TOUCHALEAUME (E.) - MOREAU (G.), *Le Corbusier, Pierre Jeanneret, l'Aventure indienne*, Gourcuff-Gradenio, Paris, 2010, 600p.
- *L'Architecture d'Aujourd'hui*, oct. 1956, n°67/68
- *Marg Chandigarh*, décembre 1961, volume 15
- *DVD Le Corbusier Plans - Volume 11*, Fondation Le Corbusier, Echelle-1, Paris, 2006

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

Mémoire de séminaire : conditions de consultation

Ce document est protégé par le droit d'auteur (art. L. 112-1 du Code de la propriété intellectuelle).

L'auteur du document accorde les droits d'usages suivants :

	OUI	NON
Diffusion numérique limitée aux étudiants de l'ENSA Toulouse		
Diffusion numérique limitée au réseau Archirès		
Diffusion internet (Dumas)		
Exposition		