



HAL
open science

Naissance et évolution du Bioclimatique à l'ENSA de Toulouse (1974-1990)

Adrien Roux-Delagarde

► **To cite this version:**

Adrien Roux-Delagarde. Naissance et évolution du Bioclimatique à l'ENSA de Toulouse (1974-1990). Architecture, aménagement de l'espace. 2018. dumas-01887917

HAL Id: dumas-01887917

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01887917>

Submitted on 4 Oct 2018

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



**ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE
D'ARCHITECTURE
DE TOULOUSE**

S8 FAB – Fabrique Urbaine – 07/06/2018

Mémoire de Master – Initiation à la recherche

**Naissance et évolution du Bioclimatique
à l'ENSA de Toulouse (1974-1990)**

A l'attention de E. CHAPEL et C. RINGON

Adrien ROUX-DELAGARDE

Année universitaire 2017-2018

Remerciements

En tout premier lieu, je tiens à remercier M. Enrico CHAPEL pour m'avoir accompagné tout au long de cette année universitaire en tant que directeur de mémoire. Malgré nos divergences occasionnelles, nous sommes tous deux animés par la volonté de faire de ce travail une production de qualité. Je lui suis très reconnaissant pour les conseils qu'il m'a prodigués et j'ai la conviction que nous sommes parvenus à notre objectif.

Merci aussi à Mme. Constance RINGON, deuxième lectrice de ce mémoire, pour avoir été disponible à chaque séance de séminaire pour échanger sur mon sujet. C'est d'ailleurs grâce à une de ses interventions que j'ai réussi à déterminer mon sujet de mémoire.

Ma gratitude va aussi vers tout le reste de l'équipe enseignante du séminaire Fabrique Urbaine, et plus particulièrement à Mme. Johana BATICLE qui a toujours eu un regard très juste et critique envers mon sujet. Les quelques séances passées en sa compagnie m'ont permis de révéler et structurer mes idées imprécises.

Enfin, je tenais à exprimer mon plus profond respect aux bibliothécaires de l'école, qui m'ont toujours accueilli avec le sourire, m'ont facilité le travail avec bienveillance, et ont supporté les innombrables allers-retours à la réserve lorsque j'avais besoin de documents d'archives.

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

Table des matières

Introduction.....	1
Présentation du sujet	1
Constitution de la problématique et des hypothèses de recherche.....	3
Sur l'intérêt d'étudier les TPFE de l'ENSA de Toulouse	4
I) La naissance du bioclimatique : de l'échelle mondiale à celle de l'ENSA de Toulouse	6
I.1) L'histoire du bioclimatique : de la climatologie au HQE	6
I.1.1) L'apparition du bioclimatique dans contexte énergétique difficile	6
I.1.2) Le bioclimatique en filiation avec d'autres mouvement architecturaux contemporains	7
I.1.3) La situation du bioclimatique en France.....	7
I.1.4) Le déclin du bioclimatique à l'aube des années 90	8
I.2) La naissance du bioclimatique à l'ENSA de Toulouse	10
I.2.1) L'investissement des laboratoires	10
I.2.2) L'investissement des professeurs:	14
I.2.3) L'investissement des étudiants	19
II) Les TPFE, reflets de la sensibilité bioclimatique à l'ENSA de Toulouse	20
II.1) Approche du corpus d'analyse	20
II.1.1) Justification de la période d'observation	20
II.1.2) Objectifs de l'observation.....	20
II.1.3) Création et utilisation d'outils d'observation	21
II.2) Première approche statistique	23
II.2.1) Approche de l'ensemble des TPFE de l'école	23
II.2.2) Etude du corpus de TPFE bioclimatiques de 1974 à 1990.....	25
II.3) Le bioclimatique, ou l'adaptation des solutions architecturales selon le climat	27
II.3.1) Solaire et climat : des notions fondamentales	27
II.3.2) Le soleil au service de l'architecture : climats froids et tempérés	28
II.3.3) Une autre vision du bioclimatique : la protection solaire en climat aride	37
II.4) L'évolution des outils d'aide à la conception architecturale	42

II.4.1) La méthode de Mahoney.....	42
II.4.2) La méthode de Givoni.....	45
II.4.3) La vision critique du LAB et l'apparition de l'informatique	48
II.5) Une remise en cause des manières d'habiter	53
II.5.1) La remise en cause de la notion de « confort ».....	53
II.5.2) Passer d'habitant à acteur de son environnement	55
II.5.3) Un renouvellement des formes architecturales.....	57
Conclusion	60
Bibliographie	62
Table des annexes	64

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

Introduction

Présentation du sujet

Suite à un parcours initial en tant qu'ingénieur en Génie Civil à l'INSA de Toulouse, j'effectuais ma première année en tant qu'étudiant ENSA en septembre 2017. Ainsi, je n'avais que très peu de connaissances relatives à cette école et sa pédagogie.

L'intervention de Constance RINGON sur les ressources documentaires de l'école, ainsi que le lancement de la recherche nationale Hensa20 m'a poussé à m'intéresser à mon nouvel environnement. J'ai ainsi été très rapidement attiré par les Travaux Personnels de Fin d'Etude (TPFE) stockés en réserve de la bibliothèque de l'école.

La formule TPFE (effective jusqu'en 2007), permettait à l'étudiant de choisir son sujet et lieu de projet, pour le développer sur deux ans. Une telle entreprise ne pouvait être menée par l'étudiant que si celui-ci s'engageait pleinement dans ce travail et que le sujet choisi ait été en accord avec ses convictions personnelles.

J'ai eu ensuite l'idée de coupler cette exploitation des TPFE à une des composantes qui m'attire dans le métier d'architecte : le développement durable. Mon sujet de recherche a ainsi commencé à s'orienter vers l'étude des initiatives en développement durable des étudiants et des ateliers de l'ENSA, et ce à travers l'étude des TPFE.

Par la suite, j'ai pris conscience de la nécessité de préciser mon cadre de recherche. D'un côté, le mot « développement durable » renvoyait à champ bien trop vaste qu'il convenait de redéfinir. J'ai ainsi décidé de me focaliser sur les branches de l'écologie en architecture que je considère les plus importantes : le low-tech (dans son sens d'usage raisonné et maîtrisé de la technologie) et l'utilisation de techniques vernaculaires.

D'autre part, la quantité de TPFE archivés à l'ENSA de Toulouse nécessitait que je mette en œuvre un plan de sélection précis afin de pouvoir travailler de manière efficace. Cela m'a demandé par exemple d'affiner encore mon sujet de recherche et de parcourir le résumé des quelques 2200 TPFE stockés à l'école afin de me faire une idée de ce que ce fond d'archives renfermait.

Mon premier contact avec les TPFE archivés à l'ENSA s'est ainsi fait courant décembre. J'ai été très satisfait puisque l'idée que je me faisais du corpus s'est avérée être relativement proche de la réalité. Au fil des TPFE étudiés jusqu'à présent, j'ai pu observer une grande diversité d'approches en ce qui concerne le développement durable, que ce soit par des sujets plutôt orientés vers la recherche, l'application concrète de principes, etc. Certains travaux sont même explicitement en lien avec des événements organisés par l'école ou les laboratoires. Ce constat m'a conforté dans l'évolution de mes idées : non seulement l'ENSA de Toulouse possède réellement des sensibilités dans le développement durable, mais elles sont partagées et mises en lien par une multiplicité d'acteurs.

Le long de la période couverte par le format des TPFE, c'est dans les années 1970 à 1980 que j'ai rencontré le plus de profusion dans le domaine d'étude que j'avais ciblé. Par ailleurs, encore plus dans cette période que dans d'autres, le choix des sujets des TPFE résultait d'une volonté du corps enseignant de travailler autour de la question de la maîtrise de l'énergie, que ce soit par la gestion des apports « gratuits » et par la maîtrise des apports technologiques, ainsi qu'à la place des techniques de construction du passé par rapport à l'architecture moderne.

Je me suis rendu compte que les TPFE de cette période présentaient un sujet d'étude idéal pour mon mémoire, à condition de revoir encore une fois les termes principaux de mon sujet de recherche. Je me suis rendu compte que dans la période temporelle que je projetais d'étudier, les notions de « développement durable » ainsi que le « low-tech » n'étaient pas encore utilisées, mais que l'on parlait plutôt de « climatologie », « d'architecture solaire » et « d'autonomie d'énergie ». Ces changements de mots-clefs impliquaient donc une modification de mon approche, orientée finalement autour d'une thématique intégrant pleinement ces mots-clefs : le bioclimatique.

En effet, la période des premiers TPFE stockés à l'école (1974) correspond bien au début du bioclimatique. Au fur et à mesure des années 1970, la discipline se développe, notamment grâce à l'apport de laboratoires comme le LAB (ancêtre du LRA) à l'ENSA de Toulouse. Ces intentions d'indépendance, de maîtrise de l'énergie et de « méfiance » envers l'invasion de la technologie dans les bâtiments sont prolifiques en termes de création de situations, de formes architecturales, de modes de pensée.

Le courant bioclimatique se développe pendant deux décennies, mais souffre au début des années 1990. L'apparition du terme « Haute Qualité Environnementale » ou HQE, bientôt structuré sous un label, évalué par des critères stricts et technophiles, vient altérer ses intentions initiales, perdant ainsi quelque peu de sa force de proposition et de ses valeurs.

C'est ce « changement de cap » des années 1990, qui aura eu le mérite de démarginaliser et de labéliser ce courant, et qui aura préparé la voie à celui du « développement durable ». Mais à partir de ce moment-là, le bioclimatique son leadership dans le domaine de l'architecture « écologique » au profit de normes et autres labels qui n'ont parfois « d'écologique » que le discours...

Ainsi, c'est le début des années 1990, et donc le passage de témoin du bioclimatique au HQE, qui a été choisi pour clore la période de recherche de ce mémoire.

Constitution de la problématique et des hypothèses de recherche

Lors du premier rendu intermédiaire, j'avais illustré ma réflexion par une série des questions qui témoignaient du cheminement de pensée effectué jusqu'alors :

*« Quel était le statut du TPFE dans l'ancienne pédagogie de l'ENSA ?
Quelle époque et quels professeurs ont été les investigateurs de l'écologie à l'ENSA de Toulouse ?
Quelles sont les caractéristiques des TPFE traitant de l'écologie à l'école ? Sont-ils précurseurs de leur temps ou en réaction à leur production architecturale contemporaine ?
Quelles sont les traces à ce jour des TPFE dans les intentions des anciens étudiants une fois en exercice ? »*

Après avoir pris un peu de recul face à ce raisonnement, il m'était apparu que le terme « écologie » constituait un domaine bien trop large et trop imprécis pour servir de cadre à un travail de recherche. J'ai donc décidé de resserrer le sujet autour d'une discipline initiatrice de l'écologie et qui me semblait fondamentale : le développement durable.

J'avais aussi pleinement réalisé que la rédaction d'un mémoire nécessitait un effacement de soi devant les faits, et que le risque de tomber dans une interprétation des documents au lieu d'en tirer les éléments explicites et tangibles pourrait être préjudiciable à l'authenticité de la recherche. Ainsi, j'avais décidé de réorienter ma réflexion vers une problématique plus à même de m'aider dans l'observation pure des documents et non dans leur interprétation subjective de ma part.

La problématique avait ainsi évolué vers la formulation suivante :

« Quelle est la place historique des branches du développement durable à l'ENSA de Toulouse, notamment celles du low-tech et du régionalisme ? Peut-on retrouver les traces de ces sensibilités et de la pédagogie qu'elle engendre à travers l'étude des TPFE des étudiants de l'école ? »

Puis, comme expliqué dans la partie « Présentation du sujet », je me suis rendu compte que le thème « développement durable » n'était pas vraiment adapté à mon cadre d'étude : le corpus que j'avais identifié était plutôt intégré à la période initiatrice du développement durable, que l'on appelle la climatologie, ou le bioclimatique. Par ailleurs, on observe dans cette période non seulement l'apparition de ces sensibilités, mais aussi leur structuration à travers la recherche et le développement d'outils d'aide à la conception.

Ainsi, j'ai pu formuler la version définitive de la problématique :

« Comment le bioclimatique s'est-il développé à l'ENSA de Toulouse entre 1974 et 1990 ? Qui en ont été les acteurs au sein de l'école ? A travers le prisme des TPFE, quelles sont les caractéristiques de ce courant, à l'origine du concept contemporain de développement durable ? »

La formulation de cette problématique se base sur des hypothèses que j'ai formulées au cours de mes recherches. Celle-ci ne sont pas le fruit d'un choix arbitraire mais ont été mûrement

réfléchies, souvent remises en causes, parfois remaniées :

- Tout d'abord, mon sujet de mémoire se base sur l'hypothèse que l'ENSA de Toulouse possède une sensibilité dans le bioclimatique. Bien que cette sensibilité ne soit pas forcément l'aspect dominant de l'école, il semble qu'elle soit présente depuis de nombreuses années, avec des pics d'intensité pouvant émerger au cours du temps. Que ce soit par l'investissement des professeurs, l'orientation des ateliers de projet, l'organisation de manifestations ou de colloques, l'intérêt pour le bioclimatique prend des formes variées et semble d'ampleur suffisante pour être étudiée et pour pouvoir dégager des tendances collectives. Parmi ces sensibilités, on retrouve notamment l'intérêt pour le solaire, la maîtrise de l'énergie ainsi que des réflexions sur l'adaptation des dispositifs architecturaux face au climat.
- Par ailleurs, il semble qu'à travers le bioclimatique, les différentes entités de l'école soient entrées intimement en collaboration. Mieux encore, cette discipline semble marquer la naissance de la recherche à l'école.
- Ensuite, ces volontés bioclimatiques mettent en lien différents acteurs de l'école, les étudiants, les professeurs ou bien les laboratoires. Cette convergence semble se personnifier autour de professeurs/chercheurs/praticiens engagés, tels que Jean Soum, Jean-Pierre Cordier ou Alain Châtelet par exemple. Ceux-ci encadreront bon nombre de TPFE, mais même si un seul professeur est officiellement chargé de l'encadrement, tous vont travailler ensemble et mettre à profit leur complémentarité au service des élèves. La vision du bioclimatique de l'école semble donc bien être une vision collective et non pas une somme d'individualités.
- Enfin, la période temporelle d'étude choisie verra la discipline bioclimatique se structurer et se démocratiser grâce à des avancées techniques, que ce soit par l'intermédiaire de dispositifs applicables au bâtiment ou bien utilisables dans la phase de conception. Cette évolution peut s'illustrer à travers des exemples issus de l'exploitation des TPFE. D'autres axes d'exploitation des TPFE permettent de mettre en perspective l'évolution de la discipline.

Sur l'intérêt d'étudier les TPFE de l'ENSA de Toulouse

J'ai choisi d'exploiter un corpus constitué de TPFE, car ils présentent selon moi une synthèse très intéressante entre les intentions des étudiants, les travaux des professeurs (eux-mêmes impliqués dans des activités de recherche), et le contexte architectural.

De plus, les TPFE n'ont jusqu'à présent, ni été exploités dans un travail de recherche à l'école, ni bénéficié d'une grande visibilité pour les étudiants. Mon travail aurait ainsi la triple utilité de :

- D'un point de vue personnel, améliorer ma culture du projet en côtoyant des projets de qualité venant de différentes époques et traitant de sujets variés, ainsi qu'effectuer une « veille technologique » sur un domaine de l'architecture qui m'intéresse particulièrement et dans lequel j'aimerais baser ma future activité.
- Pour l'école d'architecture de Toulouse et pour le séminaire, extraire les informations des TPFE pour chercher des tendances collectives orientées autour d'un sujet à fort enjeu. Ce travail pourrait ainsi contribuer modestement au programme de recherche HEnsa20, qui tente de retracer l'historique des écoles d'architecture depuis 1968.
- Pour les étudiants de l'ENSA, permettre une meilleure connaissance des Travaux Personnels de Fin d'Étude de l'ENSA de Toulouse, encore à ce jour peu exploités, et valoriser le travail acharné de nos prédécesseurs.

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

I) La naissance du bioclimatique : de l'échelle mondiale à celle de l'ENSA de Toulouse

I.1) L'histoire du bioclimatique : de la climatologie au HQE

I.1.1) L'apparition du bioclimatique dans contexte énergétique difficile

Le bioclimatique en architecture fait son apparition en réaction aux chocs pétroliers des années 1973 et 1979. La prise en compte de l'environnement et de la finitude des ressources a nécessité de regarder la discipline d'un regard neuf, d'autant plus que l'inflation des prix du pétrole exigeaient de nouvelles alternatives économiquement viables.

Dans le secteur du bâtiment, grand consommateur d'énergie à l'échelle mondiale, de nombreuses expérimentations ont été mises en œuvre pour proposer des solutions innovantes dans l'économie et la gestion des ressources.

En parallèle, les anciennes méthodes de la conception de « bon sens » sont remises au goût du jour. Elles accordent notamment beaucoup d'importance à l'observation du climat et à l'intégration des contraintes et opportunités de celui-ci dans l'élaboration des ambiances architecturales.

Cette initiative est appelée **climatologie**. Cette discipline, dont les prémises apparaissent discrètement dès l'année 1963, prônent la prise en compte de paramètres environnementaux ainsi que des potentialités existantes du site, comme l'ensoleillement, les vents dominants, les ressources locales, le cycle des saisons, l'amplitude des températures selon différentes échelles temporelles, etc.

A l'époque, le bioclimatique est défini par son fondateur Victor Olgyay comme « (un) principe de conception architecturale visant à utiliser, au moyen de l'architecture elle-même, les éléments favorables du climat en vue de la satisfaction des exigences du confort thermique¹. » On observe que les préoccupations de l'époque se focalisaient plutôt sur l'intégration de l'environnement à son bâti que l'inverse.

A ce moment-là, on ne parle pas encore de développement durable, mais cette notion actuelle est bien en train de se constituer à travers le bioclimatique.



Figure 1 Evolution du prix du baril de pétrole : les deux crises de 1970

¹ OLGAY, Vicor. Design with climate. Bioclimatic approach to architectural Regionalism. Princeton, Princeton University Press, 1963

I.1.2) Le bioclimatique en filiation avec d'autres mouvement architecturaux contemporains

En réaction au mouvement high-tech, lui aussi issu des années 1970, apparaît une branche de l'architecture présentant des intentions parallèles à celle du bioclimatique : basée sur une utilisation raisonnée et maîtrisée de la technologie elle prône ainsi l'économie et la gestion des ressources, dans une volonté d'indépendance vis-à-vis de la technique, que ce soit dans les moyens de chauffage, mais aussi dans la possibilité de pouvoir rester « acteur » de son environnement.

En suivant, et en réaction aux influences architecturales contemporaines. Un mouvement initié par Liane Lefaivre et Alexander Tzonis², puis repris par Kenneth Frampton³, clame l'opposition ou mouvement post-moderne et donne naissance au régionalisme critique, « volonté de chercher une qualité environnementale basée sur les potentiels locaux et sur la tradition vernaculaire ». On retrouve ainsi des valeurs communes à celle de la climatologie, qui elle aussi se base sur les techniques architecturales domestiques anciennes, mise en œuvre essentiellement selon une vocation de confort thermique.



Figure 2 Alvar Aalto et la mairie de Säämätsalo, un exemple de régionalisme critique selon Lefaivre et Tzonis

Ainsi des années 1970 jusqu'à la fin des années 1980, de nombreux ouvrages, publications scientifiques et constructions emblématiques vont militer pour un retournement de la conception architecturale, et ce à travers le monde. A l'image du *Guide de la Maison Solaire*⁴, ce corpus d'éléments constituera la base de l'architecture bioclimatique et irrigueront leurs contemporains de leur influence.

I.1.3) La situation du bioclimatique en France

En France, l'intérêt pour le bioclimatique vogue au gré de l'instabilité de la situation pétrolière. A chaque crise, le bioclimatique (et notamment l'architecture solaire) se retrouve plus intensément incités

Néanmoins, L'architecture solaire ne possède pas forcément une grande côte de popularité auprès des

² LEFAIVRE, Liane et TZONIS, Alexander. *Critical Regionalism: Architecture and Identity in a Globalized World*. Prestel, 1978.

³ FRAMPTON, Kenneth. *Towards a Critical Regionalism : Six Points for an Architecture of Resistance*, in *The Anti-Aesthetic. Essays on Postmodern Culture*. Hal Foster, Bay Press, Port Townsen, 1983.

⁴ Mazria, Edward. *Le guide de la maison solaire*. Parenthèses, 1981.

habitants. Son prix et son manque d'esthétique sont ainsi souvent pointés du doigt (voir dessin ci-contre). Il est aussi dit à son sujet qu'elle ne laisse que peu de liberté à son utilisateur, au service de son bâtiment. Enfin, le confort d'été y serait inexistant du fait d'insupportables surchauffes⁵.

Entre les années 1974 et 1976, le CORDA (organisme de la direction de l'architecture) ira régulièrement dans le sens de l'architecture bioclimatique, en demandant une « réflexion d'ordre écologique, posant la question globale de l'intégration de l'architecture dans son milieu⁶ ». Ainsi, seront développés des outils techniques et scientifiques innovants à 'échelle nationale voire au-delà, mais un œil sur la tradition vernaculaire permettra aussi d'étudier les traditions constructives à l'échelle locale.

En 1975, un concours issu du Plan Construction se focalise sur l'étude de la thermique du bâtiment. Mais dès 1977-1978, un nouveau programme élargit à nouveau le champ d'investigation par l'étude du Climat, de l'Architecture et des Formes Urbaines (CAFU). Cet élargissement vers l'urbain est sans précédent et marque la volonté du solaire de s'intégrer à de plus fortes densités.

En 1980 et 1981 : des concours nationaux sont mis en œuvre afin de stimuler la commande. C'est notamment l'apparition des concours « 5000 Maisons Solaires » et « Ecoles économes en énergie ». Ceux-ci étaient organisés par l'état, qui s'engageait à compenser le surplus d'investissement relatif aux installations solaires, avec comme contrepartie la réalisation d'études thermiques et de consommation poussées permettant de mesurer concrètement l'amélioration apportée par l'architecture solaire.

Malheureusement, peu de bâtiments auront vu le jour, mais les concours ont au moins eu le mérite de dépolémiser l'image de l'architecture solaire auprès des professionnels et du grand public.

I.1.4) Le déclin du bioclimatique à l'aube des années 90

Néanmoins, après la fin des chocs pétrolier et la stabilisation du marché énergétique, l'attractivité de l'architecture solaire diminue peu-à-peu. Le bioclimatique retombe ainsi en désuétude à l'échelle nationale et laisse la place à d'autres concepts proches, même s'il reste



Figure 3 Dessin humoristique de Reiser

⁵ Châtelet, Alain. *Ambiances et écologie, la filiation historique dans la recherche architecturale Française. Cahiers de la Recherche Architecturale, Editions Parenthèses, N°42/43, 1998 (p117-126)*

⁶ Châtelet, Alain. *Ambiances et écologie, la filiation historique dans la recherche architecturale Française. Cahiers de la Recherche Architecturale, Editions Parenthèses, N°42/43, 1998 (p117-126)*

très présent au sein de l'ENSA de Toulouse.

En 1987, le rapport Brundtland est le premier à énoncer la notion de développement durable : « un mode de développement qui répond aux besoins des générations présentes sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs. Deux concepts sont inhérents à cette notion :

- Le concept de « besoins », et plus particulièrement des besoins essentiels des plus démunis, à qui il convient d'accorder la plus grande priorité.
- L'idée des limitations que l'état de nos techniques et de notre organisation sociale impose sur la capacité de l'environnement à répondre aux besoins actuels et à venir.⁷ »

Quelques années plus tard, la Haute Qualité Environnementale fait son apparition et supprime les intentions bioclimatiques, toujours en marge et mal considérée. C'est en 1993 que les premiers « BHQE » sont construits, et de plus en plus de normes et de labels imposent une qualité environnementale obligatoire aux bâtiments. De manière opposée au bioclimatique, l'intégration en quantité de plus en plus importante de la technologie fait son apparition dans les bâtiments. Les préoccupations sur l'efficacité énergétique sont seulement prises en compte en phase d'exploitation, mais plus en phase de construction ni de démantèlement, phases que le bioclimatique avait l'habitude de prendre en compte.

Ainsi, les réglementations thermiques successives imposées à l'échelle nationale ont été à l'origine de la baisse de la consommation énergétique du bâtiment, mais ont été accusées d'engendrer une « perte de qualité architecturale ».



Figure 5 Couverture du rapport Brundtland en 1987



Figure 4 Le lycée Maximilien-Perret à Alfortville, premier bâtiment HQE de France

⁷ https://www.diplomatie.gouv.fr/sites/odysee-developpement-durable/files/5/rapport_brundtland.pdf

I.2) La naissance du bioclimatique à l'ENSA de Toulouse

Parmi cette profusion d'intentions bioclimatiques au sein de l'architecture, l'ENSA de Toulouse a joué un rôle non négligeable. Que ce soit par l'intermédiaire de ses professeurs ou de ses élèves, des initiatives visant à faire évoluer les modes de conception architecturale ont vu le jour. Les travaux des laboratoires de l'école GRECAU s'axent autour de la recherche en bioclimatique à l'échelle architecturale mais aussi d'un point de vue urbain. Des manifestations traitant des problématiques énergétiques sont organisées. Enfin, beaucoup de TPFE traiteront du sujet du bioclimatique au fil des années. Ces travaux étudiants seront encadrés par des professeurs menant des recherches dans le cadre de laboratoires de l'école ou engagés dans l'exercice de leur profession.

A travers tous ces acteurs, de nombreuses sources scientifiques ou directes sont disponibles et sont le témoin de la volonté de l'ENSA de Toulouse d'évoluer dans le cadre de la transition écologique. Il semble par ailleurs que ces différentes sources présentent régulièrement des points de rencontre.

Ainsi, le laboratoire de l'école a publié des articles de recherche et thèses sur le bioclimatique, ainsi que des ouvrages sur l'intégration des contraintes environnementales lors de la conception de projet en architecture⁸

Parmi les chercheurs de ce laboratoire, certains se sont aussi impliqués dans l'enseignement à l'ENSA et y sont des figures emblématiques du développement durable : ils constituent un témoignage précieux au vu de leurs productions architecturales et surtout de leur investissement dans les ateliers de l'école.

Enfin, les Travaux Personnels de Fin d'Étude, même s'ils représentent des sources directes, restent des formidables témoins de leur époque et des intentions durables portées par les étudiants. Ceux-ci, futurs acteurs du paysage architectural, se trouvent tiraillés entre deux pôles : la nouvelle architecture de l'ère moderne internationale et le retour à la conception raisonnée selon les potentiels locaux. Sous l'influence des professeurs, laboratoires et manifestations, une volonté de synthèse tente ainsi de se mettre en œuvre.

I.2.1) L'investissement des laboratoires

I.2.1.1) Du LAB au LRA

L'ENSA de Toulouse possède son propre laboratoire : le LRA (Laboratoire de Recherche Architecturale). Celui-ci perpétue une tradition de recherche implantée dans l'école depuis plus de 35 ans.

La première structure de recherche de l'école a été fondée en 1982 par cinq enseignants : Jean-Pierre Cordier et de Michel Gerber (architectes), Jean Soum (physicien), Alain Châtelet (écologue) et Jerzy Czerczuk (thermicien). Cette équipe pluridisciplinaire fondera le LAB (Laboratoire d'Architecture Bioclimatique). Le premier axe de recherche est basé sur la gestion

⁸ Fernandez, Pierre. Stratégie d'intégration de la composante énergétique dans la pédagogie du projet d'architecture, Thèse. Paris, Ecole des Mines, Déc 1996.

de l'énergie, et notamment sur celle de l'apport solaire. Cette équipe participera au 2ème « Colloque de Maisons Solaires » de Midi-Pyrénées, organisé en juin 1982 et qui sera l'occasion de constituer un retour d'expérience d'usagers de maisons solaires, constituer un inventaire de l'existant et nouer des contacts avec des acteurs du secteur pour se constituer des bases techniques sur le sujet.

Néanmoins, l'intérêt de ces cinq personnes pour la recherche sur l'énergie prend sa source à une période encore antérieure, initialement sans rapport direct avec l'ENSA.

Les travaux ont commencé par la découverte des habitats en auto construction aux Etats-Unis de années 1960, que Jean Soum visite lors d'un voyage effectué en 1974. Parallèlement, de nombreux chercheurs du CNES cherchent une reconversion après que la France ait réduit son activité spatiale. C'est ainsi qu'est né le G2H (Groupement de recherche héliothermique et habitat, porté par Alain Cordier, le père de Jean-Pierre Cordier, et par la futur équipe du LAB. Le travail consistait à l'étude de l'intégration des panneaux solaires des satellites au monde de l'habitat, ainsi qu'à la modélisation thermique des bâtiments.

Pour l'équipe de recherche du LAB, le travail sur question de l'économie d'énergie passait par plusieurs missions à mener :

- Réaliser un inventaire des constructions solaires déjà existantes pour en relever les techniques et modes de fonctionnement.
- Militer pour une intégration des contraintes dès la phase de conception d'un projet architectural, à une période où la prise de conscience écologique n'en est qu'à ses débuts
- Participer à la formation des architectes de demain en s'impliquant par l'intermédiaire des équipes pédagogiques.

Les recherches du LAB ont continué pendant près de 20 ans. Après l'intégration de nouveaux membres à l'équipe, les sujets de recherches ont commencé à présenter une échelle plus large et commencent à aborder le domaine de l'urbain, notamment sur l'intégration des systèmes bâtis dans leur environnement.

De nombreuses publications⁹ viennent appuyer ce désir d'intégration du bioclimatique dans la conception architecturale.

Au début des années 1990, la notion de Haute Qualité Environnementale (HQE) fait son apparition. Elle est tout de suite abordée par le laboratoire.

⁹ Voir bibliographie à la partie « Publications des équipes de recherche de l'ENSA de Toulouse »

Celui-ci sera amené à changer de nom plusieurs fois entre 1994 et 2006, où il passera de LAB à GRECO (Groupement de Recherche Environnement COncption) puis GRECAU (Groupement de Recherche Environnement Conception Architecture et Urbanisme), qui vient marquer l'élargissement des problématiques citées précédemment.

Entre temps, le laboratoire aura eu le temps de constituer une formation en post-cursus aux études d'architecte, CEAA AAE (Certificat d'Etudes Approfondies en Architecture, Architecture Ambiance Energie), qui sera réalisé en partenariat avec l'école d'architecture de Marseille. Cette formation remplacée en 1995 par le Master européen en architecture et développement durable, sera partagée par de nombreuses écoles en Europe ou ailleurs.

L'intérêt pour la pédagogie dépasse le seuil de l'école puisqu'en 2002 est proposée la formation continue « l'architecte et la haute qualité environnementale » destinée à tous les professionnels désireux de se mettre à la page en matière de HQE.

Depuis 2008, le GRECAU est intégré au LRA, laboratoire de l'ENSA de Toulouse regroupant différentes « sensibilités » de recherche, certaines intègrent encore l'héritage de cette sensibilité portée par le LAB et ses évolutions.

1.2.1.2) L'implication dans des évènements régionaux ou internationaux

Comme expliqué plus haut, l'organisation du LAB en 1982 ne s'est pas faite innocemment cette année-là. Elle est consécutive au déroulement du 2ème Colloque Solaire en Midi-Pyrénées, qui s'est déroulé du 19 au 20 juin 1982 à l'école du SUPAERO mais où beaucoup de professeurs et d'étudiants de l'école ont pris part.

Cette manifestation, organisée notamment par JP Cordier ainsi que par les étudiants d'un des ateliers de l'école, présentait pas moins de 163 maisons solaires du grand sud-ouest de la France et proposait de nombreuses tables rondes avec les habitants de ces maisons, ses architectes, ses constructeurs, ou bien n'importe quel professionnel des bâtiments solaires.

Cet évènement fut donc l'occasion de faire un relevé très précis de l'existant concernant les maisons solaires d'un point de vue technique mais aussi selon l'appréciation sensible qu'avaient les usagers à l'égard de leur habitat :

"Son but est d'abord de recueillir les expériences vécues par les habitants de maisons solaires, plus de deux cents et parfois déjà anciennes dans nos régions.

Il est aussi par l'analyse de ses résultats, de constituer un outil de recherche et d'évaluation à l'usage des

professionnels, des chercheurs, et des responsables administratifs.

Il est enfin, par une large diffusion de ses conclusions, de contribuer à une meilleure connaissance de ce type d'habitat que les contraintes économiques portent de plus en plus à l'attention du grand public ¹⁰ »

La volonté de recherche en maîtrise de l'énergie ne se cantonne donc pas seulement à l'aspect théorique, et surtout accorde une part belle au « ressenti » de l'utilisateur. Cette notion de confort thermique et de rapport avec l'extérieur sera grandement explorée par l'équipe du LAB dans les années suivantes, en parallèle avec d'autres chercheurs du monde entier¹¹.

1.2.1.3) La publication de nombreux documents scientifiques

Une fois la « veille technologique » du 2^{ème} Colloques Solaire effectuée, le Laboratoire d'Architecture Bioclimatique a commencé à publier des ouvrages avec le concours de l'école d'architecture de Toulouse.

Dans la lignée du travail mené par différents chercheurs, un des premiers ouvrages ¹² a notamment consisté à chercher une manière de rationaliser le climat à travers des outils appréhendables de manière scientifique. Celui-ci, à l'inverse de certaines tentatives contemporaines focalisées sur un seul type de climat, propose une approche basée sur la diversité des climats que l'on peut rencontrer sur terre. Le travail mené par le LAB vise donc à aller au-delà de ce qui a été jusqu'à présent proposé, notamment les travaux de Givoni et de son diagramme bioclimatique qui font référence en la matière¹³.

Tout au long des années 1980, une série de publications regroupées sous le nom de « Dimension climatique de l'architecture¹⁴ » viendra développer un thème initialement porté par Jean-Pierre Cordier : le coût global.

Ces publications vont permettre de prendre non seulement en compte l'impact financier d'un projet mais aussi d'intégrer la composante environnementale. La notion de coût revêt ainsi une signification bien plus large que celle que nous avons généralement l'habitude de donner, et permet aussi d'avoir une vision au moyen, voire du long-terme, puisque la phase d'exploitation et de recyclage y sont aussi pris en compte.

Parmi ces publications, une attention toute particulière est accordée au logement social et HLM, fournisseur important de logements à l'échelle de la ville et dont la notion de coût est

¹⁰ Présentation du colloque et du catalogue des fiches d'études des maisons visitées à cette occasion

¹¹ Givoni, Baruch. L'Homme, l'Architecture et le Climat. Editions du Moniteur, 1978.

¹² Laboratoire d'architecture bioclimatique (LAB). Recherche pour la constitution d'un atlas bioclimatique régional. Toulouse, Ecole d'architecture de Toulouse, 1984.

¹³ Pour plus d'informations, se référer à la partie « L'évolution des outils de conception architecturale »

¹⁴ Voir Bibliographie

cruciale ¹⁵. L'objectif de travailler sur de tels programmes est de tenter de leur apporter un surplus de qualité architecturale, ainsi que de maîtriser le cout financier à la charge du maître d'ouvrage et des locataires.

A ces publications d'ajoutent d'ailleurs le développement de logiciels de conception, notamment le programme « Cout global PLA, logiciel d'optimisation de la forme architecturale pour les opérations de logements locatifs aidés¹⁶ ». Avec les progrès de l'informatique, la possibilité d'offrir à l'architecte des outils de conception de qualité se multiplient et ne se réduisent plus à de simples documents écrits.

1.2.2) L'investissement des professeurs.

1.2.2.1) Châtelet, Cordier, Gerber, Châtelet : les figures emblématiques de la climatologie à l'école

Comme vu plus haut, un des objectifs du LAB était de participer à la formation des étudiants en école d'architecture. Conformément à ces volontés, le laboratoire va placer bon nombre de chercheurs dans l'équipe pédagogique de l'ENSA de Toulouse, et ce dès sa création.

Pour preuve, parmi les premiers TPFÉ stockés à l'ENSA à en 1974-1975, bon nombre d'entre eux mentionnent Jean-Pierre Cordier comme directeur du diplôme. L'un des cinq fondateurs du LAB sera ensuite rejoint par ses collègues dans la direction des TPFÉ : par Michel Gerber en 1976, Jean Soum en 1978, Jerzy Czerczuk en 1979 et enfin Alain Châtelet en 1981.

Les équipes pédagogiques se structurent entre deux ateliers, coordonnés par Jean-Pierre Cordier et Michel Gerber. Le Module Groupe Héliotechnique et Habitat est né. La multidisciplinarité de cette équipe permet de maîtriser bon nombre de compétences utiles à l'étudiant-architecte.

Preuve de leur engagement envers l'école et les étudiants, ils vont encadrer à eux seuls plus d'une centaine de TPFÉ lors de la période 1974-1990¹⁷.

1.2.2.2) Un engagement mis en pratique dans la vie professionnelle.

Certains de ces professeurs emblématiques du courant du bioclimatique à l'école vont avoir l'occasion d'exercer en tant qu'architecte. D'autres, même sans être architectes, auront l'occasion de prendre part à des projets architecturaux concrets. Dans tous les cas, les engagements portés au sein de l'équipe de recherche du LAB étaient mis en pratique par leurs productions architecturales.

¹⁵ Laboratoire d'architecture bioclimatique (LAB). Dimension climatique de l'architecture : application du coût global aux logements locatifs aidés par l'Etat. Toulouse, Ecole d'architecture de Toulouse, 1989.

¹⁶ Idem

¹⁷ Voir partie II.2 « Première approche statistique »

1.2.2.2.1) Michel Gerber, le pionnier

Originaire de Suisse, Michel Gerber a travaillé dans les années 1960 dans l'agence de Mies Van Der Rohe à Chicago, avant de rejoindre l'Illinois Institute of Technology.

De retour en France en 1974, il est considéré comme le premier à avoir réalisé une maison dite « solaire » en France, dans la région du Languedoc-Roussillon.

Sa vision de l'architecture était profondément humaniste et engagée, au service de l'habitant et dans l'économie de ressources. Ainsi il disait en 1979, « j'ai horreur du chef d'œuvre architectural, du beau parti « bien baisant ». Une habitation n'est pas un monument, c'est un endroit où l'on va vivre ».

Travaillant essentiellement de manière locale, il a surtout réalisé des maisons solaires individuelles, même s'il a conçu des bâtiments de plus grande ampleur, comme une école primaire à Perpignan.

Ses différents projets montrent un grand souci du respect des matériaux, notamment lors de ses multiples rénovations, ainsi que l'omniprésence de larges serres faisant largement entrer le soleil à des endroits stratégiques.

La mise en valeur de la pierre, ainsi que son utilisation dans l'inertie des bâtiments, marquent un attachement à la tradition bâtie locale.

Considéré comme un des pères français du bioclimatique, Michel Gerber est décédé en septembre 2017.



Figure 6 Maison solaire, Languedoc-Roussillon, 1974.



Figure 7 Maison individuelle, 1981



Figure 8 Maison individuelle dans l'Aude, 1989



Figure 9 Ecole construite par gerbe à Perpignan

1.2.2.2) Jean-Pierre Cordier, l'emblématique

Jean-Pierre Cordier est né en 1937, et effectue ses études aux Beaux-Arts de Paris. Fils de deux architectes, il débute au sein du cercle familial. Dès ses débuts, il accorde beaucoup d'importance à l'héritage architectural régional, notamment la brique.

Il n'hésite pas à jouer avec les matériaux traditionnels toulousains tout en revisitant leurs usages. Par exemple pour le siège de la société Trindel qu'il a réalisé en 1969, les briques sont appareillées verticalement et ne jouent donc pas de rôle structurel. Cette revisite du matériau local, accompagné de la vision plutôt critique de Cordier vis-à-vis de l'architecture moderne, indiquent une tendance régionaliste dans son architecture, que l'intéressé préfère qualifier de « couleur locale ».

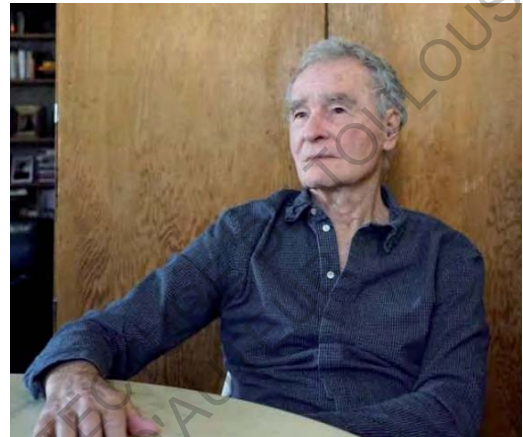


Figure 10 Jean-Pierre Cordier en 2016

Ses préoccupations énergétiques s'affirment quant à elles au début des années 1970. Il construit d'ailleurs sa première maison solaire en 1975, à Muret.

Pour lui, la conception bioclimatique passe avant tout par la gestion du confort thermique au service de l'utilisateur, tout en gardant une maîtrise dans l'utilisation de matériaux.

En 1981, il participe au concours « 5000 maisons solaires ». Son modèle de maison solaire, appelé Marjolaine, est adapté au climat toulousain et anticipe des potentiels d'extension. Il se voit récompensé par le concours, en faisant partie des 29 projets agréés par le jury parmi plus de 300 projets. Sa réussite au concours lui offre la possibilité de réaliser 11 maisons individuelles (modèles Garance, Clémence, Quatre saisons, et bien sûr Marjolaine) dans le quartier des Pradettes à Toulouse.

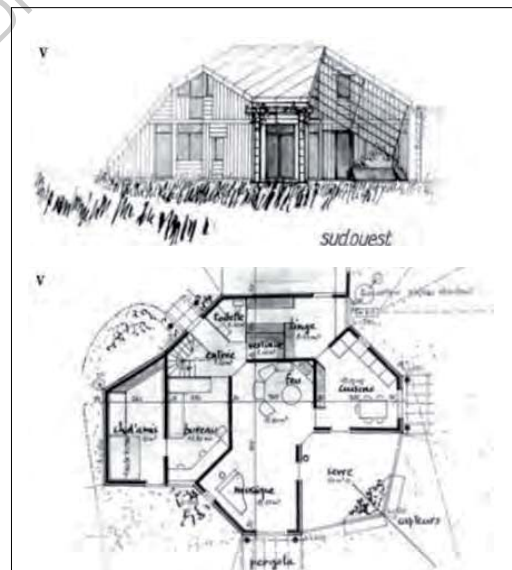


Figure 11 Plans et élévations de la Maison M à Muret, 1975

Les productions de Jean-Pierre Cordier sont toujours très appréciées 35 ans plus tard, et sont saluées pour leur capacité de synthèse entre le plaisir individuel d'habiter et les enjeux sociétaux, notamment énergétiques

En effet, l'architecture proposée par Cordier est assez atypique. De larges ouvertures au sud, des protections solaires ainsi que des espaces de transition entre l'intérieur et l'extérieur comme la serre, ouvrent largement le bâtiment aux phénomènes extérieurs, notamment dans le rapport étroit avec le soleil. La forme relativement sphérique du plan, centrée autour d'une pièce équipée d'une cheminée et articulant les autres pièces de la maison sans aucune circulation, bouleverse les codes contemporains de l'habitat. Ses projets réalisés aux Pradettes continuent d'attiser curiosité et intérêt, en témoigne les visites organisées lors des journées du patrimoine en 2016¹⁸.

Son succès au concours « 5000 maisons solaires » fait de ses productions architecturales des ambassadrices du bioclimatique à l'échelle nationale.

Aujourd'hui retraité, Jean-Pierre Cordier continue néanmoins d'intervenir ponctuellement à l'ENSA de Toulouse, ainsi que de former chaque année un petit nombre d'architectes toulousains.

Parmi ses autres constructions encore intactes, l'ensemble des résidences des côteaux de Ramonville, ainsi que l'établissement pour enfants épileptiques, sont visibles dans les abords toulousains.

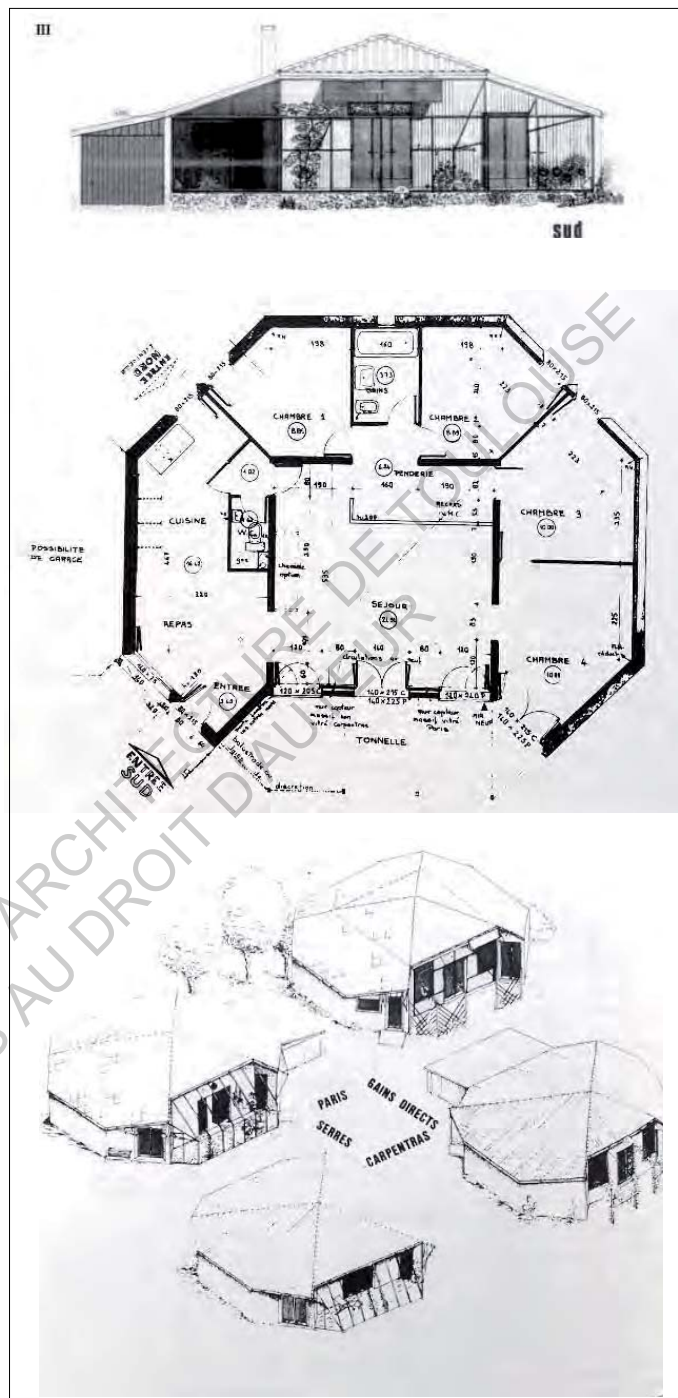


Figure 12 Elevation, plan et axonométrie de la maison Marjolaine, construite en 1982

¹⁸ <https://www.ladepeche.fr/article/2016/09/17/2420673-pradettes-30-ans-apres-maison-solaire-reste-tres-actuelle.html>

1.2.2.2.3) Jean Soum, l'auto constructeur

Membre fondateur du LAB, Jean Soum n'est pas pour autant architecte. Physicien de formation, il prend part au mouvement écologiste à la fin des années 60. Au début des années 70, il part pour les Etats-Unis, plus particulièrement le Nouveau-Mexique et une communauté bouddhiste reculée. Celle-ci habite dans une forme d'habitat particulier : les Zomes, sortes de cabanes rondes et légères à structure géométrique autoportante, pouvant être réalisées en auto construction.

En 1975, Jean Soum retourne en France et décide alors de réaliser ses propres Zomes. Avec un matériel tout d'abord sommaire, il met au point les pièces de son tout premier zome dans son appartement, qu'il installera en Ariège en 1977.

Son bagage de physicien lui permet ensuite de développer une méthode de calcul structurel pour les Zomes. Il est à l'origine de près d'un tiers des 200 zomes construits à travers la France.

Jean Soum a passé plusieurs années à vivre dans différents zomes dans les montagnes. Même s'il n'habite plus dans ce genre de structure, il continue à animer et encadrer des chantiers de zomes à travers la France. Actuellement, il a pour projet de réaliser en Champagne le plus grand Zome au monde.

Pour lui rendre hommage, un festival a été organisé en 2015 non loin de son premier Zome, dans la station d'hiver ariégeoise de Guzet.



Figure 13 Jean Soum en 2015



Figure 14 Le premier Zome de Jean Soum, réalisé en 1977



Figure 15 Un ensemble de Zomes dans l'Aude, réalisés en 1988



Figure 16 L'intérieur d'un de ces zomes, restauré en 2007

I.2.3) L'investissement des étudiants

A l'ENSA de Toulouse, professeurs et laboratoires ne sont pas les seuls participants au mouvement bioclimatique. L'ampleur de ce mouvement à l'école n'aurait pu être aussi important sans l'implication des étudiants.

Mieux encore, leur forte participation est un exemple fort de la qualité des intentions bioclimatiques de l'école. L'étude des archives de l'école, où sont stockés les Travaux Personnels de Fin d'Etude, en est un bel exemple.

. Les TPFE étaient la dernière étape avant l'obtention du diplôme d'architecte de 1974 jusqu'en 2007. Ce travail, libre dans le choix du sujet par l'étudiant, se développait durant deux ans, et voyait l'étudiant construire ses convictions personnelles dans un contexte de grande autonomie.

De 1974 à 1990, de nombreux TPFE réalisés par les étudiants traitaient du bioclimatique. Certains travaux l'évoquent partiellement, d'autres en font la partie centrale de leur étude.

Le sujet du bioclimatique est abordé différemment selon les étudiants, mais les travaux vont souvent dans le sens des recherches menées par les directeurs de diplôme, membres du LAB. Très souvent, les sujets portés par les étudiants présentent aussi des problématiques personnelles souvent associées à leurs lieux d'origine.

On peut considérer que le corpus de TPFE porte en lui les grands axes principaux du bioclimatique, qui seront développés dans la partie suivante.

Enfin, l'évolution des différentes manières de traiter les sujets des TPFE au cours du temps nous permet de retracer la naissance et la structuration du bioclimatique au fil des années et des avancées technologiques.

II) Les TPFE, reflets de la sensibilité bioclimatique à l'ENSA de Toulouse

II.1) Approche du corpus d'analyse

II.1.1) Justification de la période d'observation

Le choix de la période d'observation pour ce travail de recherche n'est pas dû au hasard. En effet, la période des premiers TPFE stockés à l'école (1974) correspond en parallèle au début de la discipline de l'architecture solaire et de la climatologie. Au fur et à mesure des années la discipline se développe, notamment grâce à l'apport de laboratoires comme le LAB (ancêtre du LRA) à l'ENSA de Toulouse. Ces intentions d'indépendance, de maîtrise de l'énergie et de « méfiance » envers l'invasion de la technologie dans nos bâtiments sont prolifiques en termes de création de situations, de formes architecturales, de modes de pensée.

Comme expliqué précédemment, l'apparition du label « Haute Qualité Environnementale » force le bioclimatique à essayer de rentrer dans le cadre normatif. Cela a pour conséquence d'entraîner l'altération des intentions initiales du courant bioclimatique, perdant ici quelque peu de sa force de proposition et de ses valeurs initiales.

Ainsi, au début des années 1990, le nombre de TPFE traitant du bioclimatique diminue au profit de ce nouveau label, entraînant un changement dans la manière avec lesquelles les intentions environnementales des étudiants sont traitées. C'est ce changement qui est utilisé pour clore la période d'étude de ce travail de recherche.

II.1.2) Objectifs de l'observation

Lors de l'exploitation du corpus constitué de TPFE, l'objectif sera de faire sortir les composantes principales du bioclimatique et de les présenter en illustrant les observations par des productions issues des TPFE. Il sera intéressant de mettre en lien le travail contenu dans les TPFE avec celui des professeurs ou avec des références contemporaines du bioclimatique extérieures à l'école.

Même si le corpus choisi comporte des TPFE encadrés par des enseignants différents, le but n'est pas de les comparer entre eux, mais de prouver une homogénéité de pensée ainsi qu'une évolution continue dans le temps. Par ailleurs, il est très difficile de comparer les méthodes de pédagogie des différents professeurs encadrants emblématiques du LAB, puisque la plupart d'entre eux avaient des connaissances complémentaires et partageaient leurs savoirs avec un maximum d'étudiants de telle manière à leur mettre un maximum d'outils à leur disposition. Il est donc très difficile de connaître l'origine d'une influence, le travail

d'encadrement était considéré comme collectif, réduit à une seule individualité sur le papier pour des raisons administratives.

II.1.3) Création et utilisation d'outils d'observation

Lors de mon premier contact avec mon corpus, je me suis rendu compte de la variabilité de la forme que pouvait prendre un TPFE. D'un document à l'autre, le domaine étudié était complètement différent, les pièces fournies aussi (textes, plans, feuilles de calcul, etc.).

Etant donné qu'il fallait que je mette dans une posture « d'inventaire », il fallait que je mette au point des outils censés me permettre de décomposer les projets selon différentes thématiques permettant de rationaliser l'analyse et de rendre possible les comparaisons entre différents documents¹⁹.

Pour l'analyse de mes TPFE, j'ai ainsi réalisé une grille de lecture censée décomposer les documents selon différents aspects²⁰ :

- **Les mots-clefs utilisés.**

Le registre lexical utilisé permet de comprendre les priorités de l'étudiant, ainsi que d'avoir des indices sur l'apparition de certains termes en architecture.

- **Intentionnel.**

Quelles sont les idées que veut développer l'étudiant ? Quelle est la position de l'étudiant par rapport à son tuteur ?

- **Climatique.**

Quel est le climat dans lequel s'inscrit le projet ? Quel est la saison de l'année la plus défavorable ? Comment sont gérés les apports solaires ? Quels sont les moyens mis en œuvre pour le confort thermique ? De quoi se compose l'enveloppe ?

- **Technique.**

Quelles sont les techniques utilisées dans le bâtiment ? Quelle y est la place de la technologie ? Quelle est la dépendance de l'utilisateur par rapport à ce système ? Nécessite-t-elle un changement dans l'usage du bâti ?

- **Architectural.**

Comment s'implante le bâtiment ? Quelle est sa forme ? Quel est le rapport au moderne, au vernaculaire ? Comment sont intégrés les éléments techniques à l'architecture ? Les intentions climatologiques sont-elles explicites dans l'architecture ?

- **Utilisation.**

Le projet remet-il en cause la manière d'évoluer dans le projet ? Quelles sont les manipulations à la responsabilité de l'utilisateur du fait de la conception bioclimatique ?

¹⁹ Voir annexe

²⁰ La fiche de lecture vierge ainsi que des exemples de fiches remplies sont disponibles en Annexe

Enfin, j'ai accordé beaucoup d'importance à la constitution de la bibliographie, constituée essentiellement d'ouvrages publiés par le LAB.

Ces ouvrages, conformément aux intentions des différents laboratoires de l'école, constituent un guide d'intégration des contraintes climatiques dès la conception architecturale. D'autres donnent des informations sur les phénomènes thermiques et climatiques, sur la notion de confort, sur les équipements à disposition. Dans tous les cas, ils proposent une application directe pour des étudiants souhaitant monter un projet bioclimatique dans le cadre de leur TPF.

Ces ouvrages étaient donc autant d'outils supplémentaires à la compréhension des TPF étudiants.

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

II.2) Première approche statistique

II.2.1) Approche de l'ensemble des TPFE de l'école

L'ENSA de Toulouse possède non moins de 2200 Travaux Personnels de Fin d'Etude (TPFE) stockés dans les archives de la bibliothèque. Le nombre important de documents, associé à l'incertitude sur l'orientation de mon sujet en début de recherche, a tout d'abord soulevé la nécessité d'aborder le corpus de TPFE de manière statistique.

Chaque TPFE possédant un résumé et une description par mots-clefs, il a été possible de lancer une analyse de mots-clefs afin de cerner les différentes thématiques.

Comme expliqué précédemment, le cadre d'étude s'est focalisé sur la période 1974 à 1990, essayant de saisir les différentes thématiques dynamiques de l'école.

La Figure 17 ci-contre présente les différents mots-clefs utilisés dans les résumés des TPFE de 1974 à 1990. Plus le mot utilisé est employé dans les résumés, plus il apparaît en gros dans le diagramme.

A première vue, la place du bioclimatique est peu évidente à décélérer. Seule la notion de « climatologie » est directement visible dans le nuage.

En revanche, si l'on prend les résumés de chaque TPFE individuellement et que l'on calcule la proportion d'entre eux qui porte sur le bioclimatique, le résultat est très instructif et bien plus révélateur (figure 18).

En effet, le nombre de TPFE traitant du bioclimatique entre 1974 et 1990 est relativement important : une dizaine en moyenne chaque année. Selon les années, des pics pouvant atteindre la vingtaine de TPFE ont été approchés.

Indépendamment du nombre en soi, ces valeurs sont encore plus éloquentes lorsque l'on ramène le nombre de TPFE traitant du bioclimatique au reste des TPFE (figure 19). On peut ainsi constater la proportion de TPFE traitant du bioclimatique et mieux mesurer l'ampleur du mouvement à l'école.



Figure 17 Nuage de mots-clefs issues du résumé des TPFE de 1974 à 1990

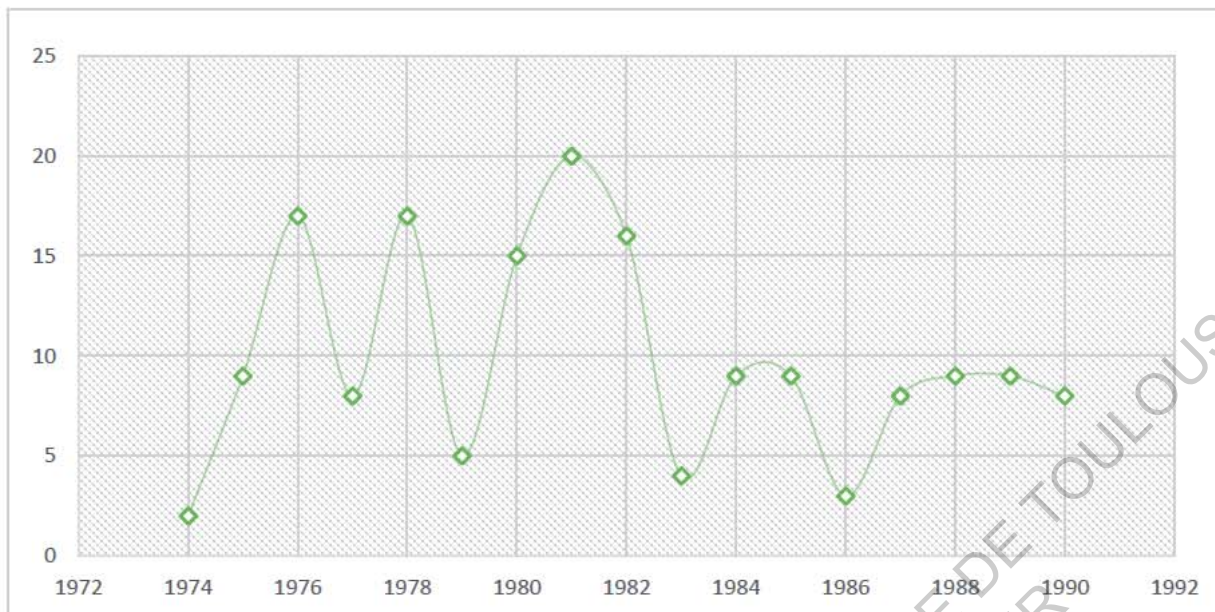


Figure 18 Nombre de TPF traitant du bioclimatique à partir des années 1974 jusqu' à 1990

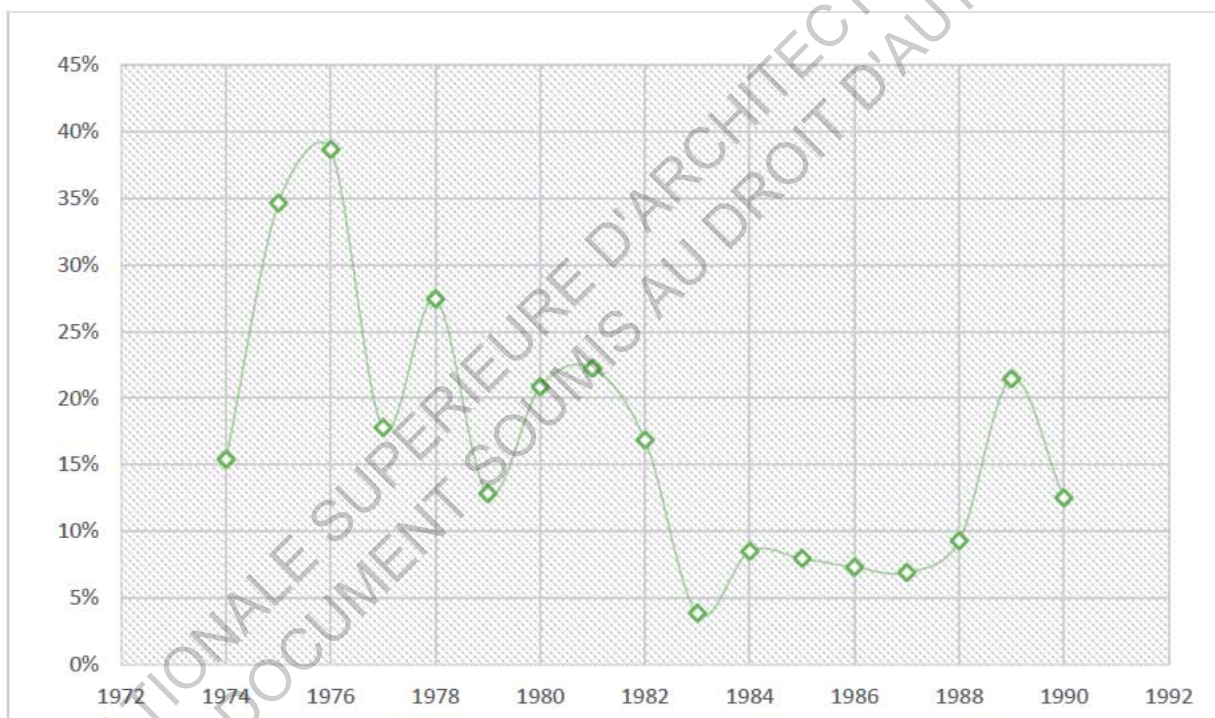


Figure 19 Pourcentage de TPF traitant du bioclimatique à partir des années 1974 jusqu'à 1990

Au-delà de la moyenne d'une dizaine de TPF par an, le bioclimatique occupe généralement près de 20% des sujets de TPF à l'école à cette époque, ce qui indique une vraie tendance dans cette discipline.

Il y a néanmoins beaucoup de fluctuations d'une année à l'autre. Cela peut s'expliquer par le fait que, comme dans toute la société française, l'intérêt pour le bioclimatique allait et venait au fil des évènements nationaux ou mondiaux, notamment sur le plan énergétique :

Le fort taux de TPF traitant du bioclimatique au début des années 1970 suit l'explosion du prix du pétrole, qui à l'époque déclenche une prise de conscience sur les alternatives énergétiques à trouver et sur les économies de ressources à mettre en œuvre.

relativement universel permettant de jouer de rôle d'alternative au pétrole, affaibli lors des crises successives des années 1970. Ainsi, beaucoup de dispositifs intégrés architecturalement vont être mis en œuvre pour capter, ou bien limiter les apports solaires. Néanmoins, l'intégration de l'énergie solaire au projet architectural se fera de manière différente selon la localisation géographique et sur le climat environnant.

Les préoccupations énergétiques se retrouvent aussi lors de la phase de conception, notamment sur le choix des matériaux à utiliser.

- **Habitat - Logement – Urbain.** Du fait de l'utilisation de l'énergie solaire, l'architecture bioclimatique est particulièrement adaptée aux logements individuels et isolés. Elle cherche néanmoins à prendre part aux défis urbains en recherchant à s'implanter en ville, du moins en proposant l'intégration du solaire dans des densités plus élevées que celles des zones pavillonnaires. Mais cette intégration est difficile, du fait des problèmes d'orientation défavorables de certains logements, de masques solaires. Elle tente donc de proposer un nouveau modèle de logement collectif, dont la forme est adaptée au captage solaire.
- **Usage.** Si l'architecture bioclimatique a été quelque peu marginalisée dans les années 1970, c'est qu'elle propose une manière différente d'habiter de celle que nous connaissons aujourd'hui. L'affranchissement de la technologie rend à nouveau possible l'intervention humaine sur son bâti, que ce soit à l'échelle des saisons, ou bien de la journée. L'architecture bioclimatique demande un surplus d'implication à son utilisateur. Les espaces de vie sont aussi distribués différemment. Par ailleurs, la notion d'auto construction, remise au goût du jour avec le bioclimatique, propose d'aller au-delà du simple usage et de devenir un acteur de son environnement, changeant ainsi toute la perception de l'art de construire et de celui d'habiter.
- **Technologie.** Même si ce mot-clef ne revient pas dans l'analyse, cette notion sous-jacente est très importante dans la compréhension de l'histoire du bioclimatique. Le courant tient une double position vis-à-vis de la technologie. A la fois défiant lorsqu'il s'agit de l'intégrer au projet en lui-même, il profite en même temps du développement de l'informatique et du traitement des données pour affiner les études climatologiques, modéliser les phénomènes thermiques et optimiser les formes architecturales. Le bioclimatique est ainsi relativement fermé à la technologie dans l'usage du projet, mais s'ouvre largement à celle-ci dans le cadre de la conception. Par ailleurs, les années 1970-1980 vont voir d'énormes progrès dans les techniques de conception, notamment grâce à l'informatique.

Etant donné le nombre toujours très important des TPFÉ traitant du bioclimatique de 1974 à 1990, il a été nécessaire de réduire le cadre d'étude à un corpus limité. Au total, une vingtaine de TPFÉ ont été abordés, choisis pour leur représentativité vis à vis de l'ensemble des TPFÉ bioclimatiques de l'époque. Cette sélection couvre l'ensemble de la période temporelle étudiée, est exclusivement encadrée par Jean-Pierre Cordier, Michel Gerbe, Jean Soum et Alain Châtelet, et traite de sujets représentatifs du corpus, abordant les thématiques décrites précédemment²¹.

²¹ La liste de tous les TPFÉ utilisés pour l'analyse est disponible en Annexe.

II.3) Le bioclimatique, ou l'adaptation des solutions architecturales selon le climat

II.3.1) Solaire et climat : des notions fondamentales

Le corpus de TPFE étudiés, tout comme l'architecture bioclimatique en général, accorde beaucoup d'importance à l'environnement dans lequel s'implante le projet. Ainsi, la topographie, la présence de végétal pré existant sont très régulièrement pris au sérieux comme une composante fondamentale du projet architectural. C'est néanmoins l'influence du climat qui est le plus important dans l'analyse des TPFE, ce qui permet de situer un projet dans son contexte géographique.

L'analyse du climat permet ainsi de connaître les caractéristiques du soleil, du vent ainsi que des précipitations au cours de l'année. La connaissance de ces éléments-là rend possible la mise en place des stratégies de conception architecturale adaptées afin de réguler les ambiances intérieures et d'offrir un cadre de vie agréable.

Si l'architecture bioclimatique « contient » la discipline de l'architecture solaire, ces deux notions sont très souvent confondues comme une seule et même discipline. Cela est dû au rôle prépondérant que prend le soleil dans la conception architecturale bioclimatique.

Le solaire est plébiscité dans le bioclimatique d'une part par la possibilité de bénéficier de ses apports énergétiques gratuits, d'une autre part car le rapport au soleil dans un environnement habité intègre des composantes naturelles dans l'espace et contribue ainsi à améliorer la qualité de vie.

Même si le rapport au soleil est très important, il ne se fait pas de la même manière selon les latitudes et les climats. De plus, l'intégration des apports solaires dans un projet architectural ne se fait sans connaissances, sous peine de créer un environnement insupportable à vivre.

Au sein des TPFE de l'ENSA de Toulouse, on retrouve ainsi différentes stratégies solaires, chacune adaptées selon l'orientation de la parcelle, la trajectoire du soleil ou bien les différences de température d'une saison à l'autre, du jour par rapport à la nuit.

Si la question du climat est abordée dans le bioclimatique, le LAB de Toulouse a publié de précieux documents explicitant la stratégie de conception à mettre en place selon l'environnement. Dans une volonté de proposer un potentiel de conception applicable à l'ensemble des différents climats, le laboratoire propose un découpage climatique selon 4 grandes familles²² :

- Les climats froids, tels qu'en hiver, la température extérieure est bien en dessous de la température de confort d'un habitant.

²² Chatelet Alain, Fernandez Pierre, Lavigne Pierre. Architecture climatique : une contribution au développement durable. Tome II : "Concepts et dispositifs". Edisud, 1998.

- Les climats chauds, tels qu'en été, la température extérieure est bien au-dessus de la température de confort d'un habitant.
- Les climats de confort extérieur à l'ombre permanent, où la température à l'ombre est presque uniquement située dans la zone de confort
- Les climats contrastés annuellement qui sont à la fois en dessous de la limite de confort en hiver et au-dessus en été.

II.3.2) Le soleil au service de l'architecture : climats froids et tempérés

Dans chaque famille de climat, la stratégie de mise en œuvre et d'utilisation des dispositifs évolue grandement. Il faut également souligner que ces dispositifs n'ont pas pour vocation à être intégrés comme des installations technologiques mais plutôt comme des éléments architecturaux à part entière.

« Si l'on veut procéder à une intégration cohérente de la composante énergétique, il est donc essentiel de considérer celle-ci dans le rapport qu'elle entretient avec les divers paramètres de conception. Le dialogue entre ces paramètres sensibles et leur composante énergétique va générer des dispositifs architecturaux qui trouveront leur pertinence dans le juste équilibre entre leur performance et leur participation à la conception ²³ »

De ce point de vue, le mouvement bioclimatique initie une prise de position qui sera reprise quelques années plus tard par le courant low-tech.

Il existe différents dispositifs architecturaux pour capter ou se protéger du rayonnement solaire, chacun étant plus ou moins discrets dans leur intégration au projet. Au sein des TPFE, on observe ainsi grand nombre d'entre eux, seuls ou bien combinés ensemble.

II.3.2.1) La question des apports solaires directs

Le soleil propose, par l'intermédiaire de son rayonnement, une énergie propre, gratuite et illimitée. Au-delà de son exploitation mondiale afin de produire de l'électricité par le biais de panneaux photovoltaïques, elle est aussi utilisée directement dans le bâtiment, au

²³ Chatelet Alain, Fernandez Pierre, Lavigne Pierre. Architecture climatique : une contribution au développement durable. Tome II : "Concepts et dispositifs". Edisud, 1998.

sein de nombreuses régions sur le globe. L'intérêt de capter l'énergie solaire est surtout d'augmenter la température intérieure d'un local afin de garantir le confort de ses habitants.

Cette stratégie se met en place notamment dans les régions froides où bien celles contrastées annuellement (période d'hiver froid et d'été chaud).

Cette stratégie nécessite que l'enveloppe du bâtiment puisse pouvoir laisser passer le rayonnement solaire. De ce fait, un maximum d'ouvertures doit pouvoir laisser passer le rayonnement les plus longtemps possible au cours de la journée.

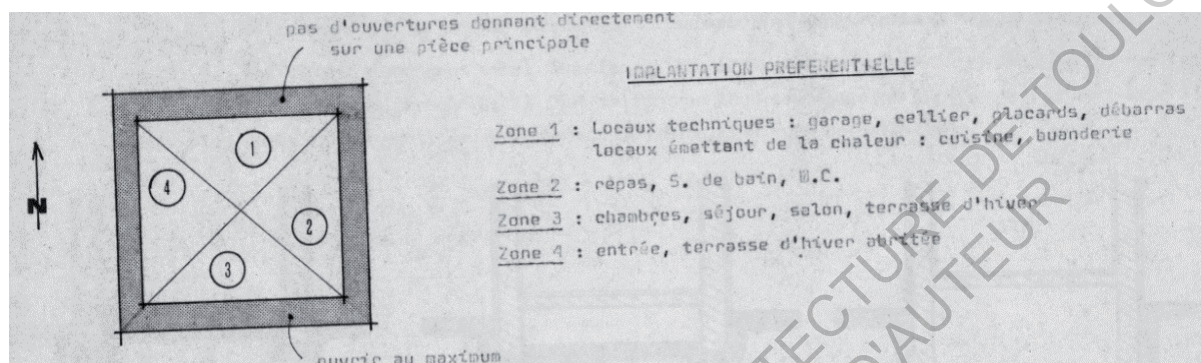


Figure 22 Schéma de répartition des ouvertures vitrées, Alain MARIOTTO, Habitat Bioclimatique, 1978.

Le schéma ci-dessus est tiré d'un projet implanté dans le climat froid des montagnes pyrénéennes²⁴, il mise sur les apports solaires afin de réchauffer l'atmosphère intérieure. La disposition des vitrages est donc stratégique. On voit bien ici que le parti pris par l'étudiant est d'implanter les vitrages côté Sud, direction où les apports solaires sont les plus conséquents dans l'hémisphère Nord. Selon les autres directions, il est ainsi recommandé d'effectuer le minimum d'ouvertures, voire aucune du côté Nord.

La quantité de rayonnement solaire capté ne se limite donc pas seulement à la quantité de vitrage proposée, mais aussi à son orientation. Une orientation mal pensée (comme au nord) engendrera plus de pertes thermiques que de gains, ce qui va à l'encontre de l'intention initiale.

²⁴ MARIOTTO, Alain (dir. J-P Cordier). Habitat bioclimatique. ENSA Toulouse, 1978.

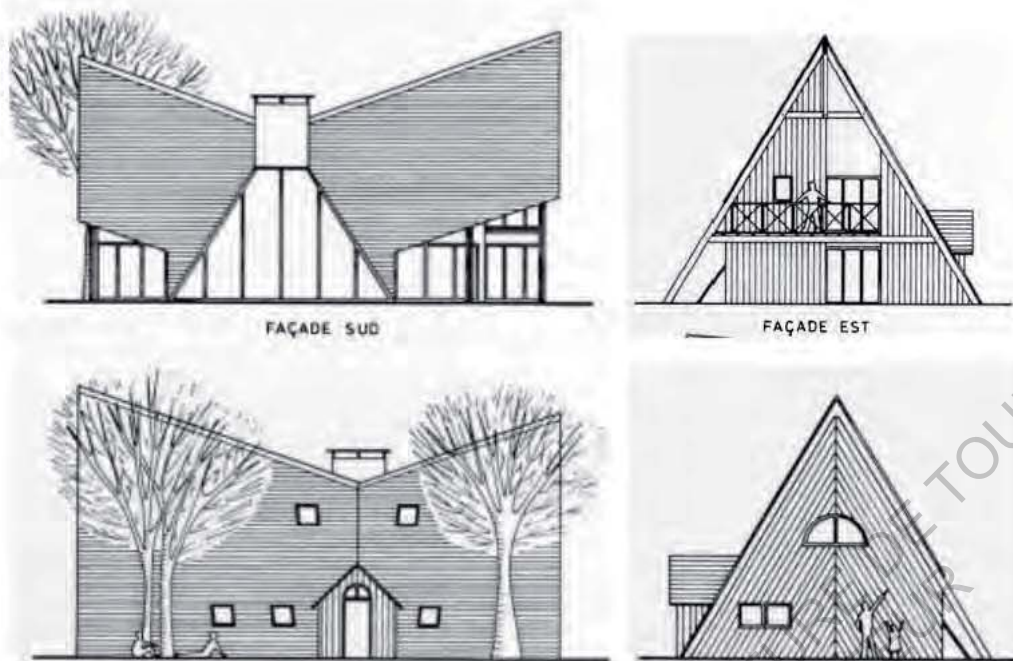
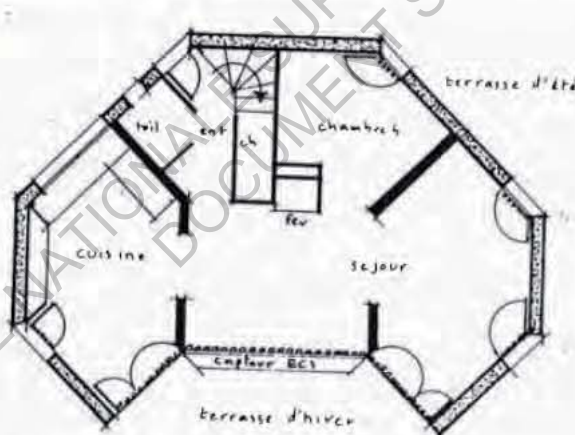


Figure 23 Elévations d'une unité d'habitation d'un centre communautaire – Centre d'accueil à bas profil énergétique. Pierre-Olivier ABELOOS, 1987.

Dans l'exemple du TPE ci-dessus²⁵, l'orientation des vitrages est typiquement favorisée côté sud et très restreinte côté Nord, là où les déperditions se font le plus ressentir. Une surface importante de vitrage est elle aussi présente à l'Est, de manière à capter l'énergie solaire dès le matin et ainsi reprendre un cycle de chauffage naturel dès la fin de la nuit. Par ailleurs, une recherche sur la compacité du bâtiment et sur la protection aux vents a poussé l'étudiant à s'affranchir de murs « classiques » pour développer une toiture sur toute la hauteur du bâtiment. Les vents froids seront ainsi déviés par l'enveloppe, les surfaces de déperdition vers l'extérieur sont limitées.



MAISON A MURET
ARCHITECTE CORDIER



MAISON A TARDES
ARCHITECTE PAGNOUX

Figure 24 Comparaison dans un TPE de la compacité d'un plan de JP Cordier, architecte engagé dans une démarche bioclimatique, et un autre projet à la compacité beaucoup moins évidente. (CANET, Paul, VAISSE, Michel et TILLOUS, Marc. Quelle architecture solaire ? 1983)

²⁵ ABELOOS, Pierre-Olivier (dir. A. CHATELET). Centre d'accueil communautaire à bas profil énergétique. ENSA Toulouse, 1987. (Planche de présentation)

Parmi d'autres exemples sur la recherche de compacité du bâti, CANET, VAISSE et TILLOUS²⁶ reprennent un inventaire des maisons présentées lors du Colloque « Habitants de maisons solaires » de 1982 et s'attachent à comparer les différences de conception entre une maison dite « solaire » et des habitations classiques. Pour ce faire, ils prennent même en référence les professeurs-chercheurs du LAB (Figure 24).

La compacité d'un bâtiment est jugée être un bon moyen pour limiter les déperditions vers l'extérieur et donc d'économiser de l'énergie. En revanche, le ménagement d'ouvertures dans les parois se trouve être plus compliqué. La quantité d'énergie passant par les ouvertures est donc cruciale.

Heureusement, pour une surface de vitrage donnée, il est encore possible d'optimiser l'énergie solaire captée. Au lieu de disposer les vitrages de manière verticale, l'inclinaison de ceux-ci permet de récupérer plus d'énergie car l'angle du vitrage avec celui des rayons solaires se rapproche de 90°. C'est cette stratégie qui est par exemple utilisée dans les TPE menés par MARIOTTO ou bien CANET, VAISSE et TILLOUS²⁷.

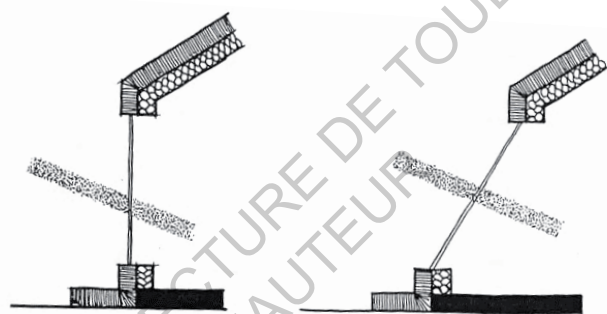


Figure 25. Le rendement de l'apport solaire est plus important sur l'image de droite car l'angle d'attaque des rayons sur le vitrage est proche de 90° (CANET, Paul, VAISSE, Michel et TILLOUS, Marc. Quelle architecture solaire ? 1983)

Beaucoup de TPE du corpus ont ainsi fait référence à l'inclinaison des vitrages comme moyen d'amplifier les apports solaires. Parmi ceux-ci, certains ont en revanche décidé de mettre en œuvre les vitrages de manière traditionnelle afin d'une part, de faciliter la manipulation sur chantier et l'étanchéité à l'eau, et d'autre part, pour se protéger plus facilement des rayons du soleil lors de la saison estivale.

Les vitrages orientés selon la course du soleil sont ainsi une bonne solution pour faire rentrer l'énergie. Mais cette disposition n'est pas suffisante pour garantir le confort intérieur. En effet, les apports dits "directs" c'est-à-dire sans aucun autre filtre que celui du vitrage, vont chauffer l'ambiance intérieure de manière immédiate. Il y a donc un risque important de surchauffe au cours de la journée, ainsi que l'inefficacité du système lors de mauvais ensoleillement, et surtout lors de la nuit.

En utilisant seulement la technique des apports directs, la température intérieure sera très ample, oscillant entre des hautes températures en journée et froides lors de la nuit. Le confort intérieur n'est donc pas du tout assuré.

²⁶CANET, Paul, VAISSE, Michel et TILLOUS, Marc (dir. J-P CORDIER). Quelle architecture solaire ? ENSA Toulouse, 1983 (page 14)

²⁷ CANET, Paul, VAISSE, Michel et TILLOUS, Marc (dir. J-P CORDIER). Quelle architecture solaire ? ENSA Toulouse, 1983 (page 34) et MARIOTTO, Alain (dir. J-P Cordier). Habitat bioclimatique. ENSA Toulouse, 1978. (Planche 2)

Afin de pallier à cela, des solutions architecturales ont été développées par l'architecture bioclimatique pour « différer » la distribution de l'énergie solaire captée tout au long de la journée. Les dispositifs permettant cette performance sont appelés dispositifs d'apport indirects puisqu'à l'inverse de systèmes de chauffage classique, ils ne produisent pas de chaleur mais la libèrent seulement à partir de l'énergie solaire.

II.3.2.2) La serre, dispositif d'apport solaire indirect

La serre est un élément architectural largement développé. En faisant le lien entre l'intérieur et l'extérieur ou en abritant des plantes par exemple, elle contribue à l'amélioration du cadre de vie d'un bâtiment.

En outre, elle possède des qualités thermiques indéniables. La serre possède la capacité d'absorber le rayonnement solaire entrant et de l'enfermer en son sein de manière plutôt efficace, ce qui a pour effet de chauffer l'ambiance intérieure : c'est d'ailleurs ce que l'on nomme « l'effet de serre ».

Selon le Guide de la Maison Solaire par ailleurs largement utilisé par les étudiants des TPE²⁸, la serre fait moins profiter de l'énergie solaire au bâtiment qu'une surface équivalente de vitrage classique : alors que les apports solaires directs laissent passer 75% de l'énergie solaire, les serres n'en transmettraient que 15 à 30%²⁹ du fait des déperditions accrues dues à l'importante surface de vitrage ainsi qu'au « gaspillage » de l'énergie qui chauffe directement le volume de la serre et non pas ce qu'il y a derrière.

Cette plus faible efficacité reste néanmoins à relativiser. La serre, agissant en espace tampon, protège le mur attenant des déperditions thermiques. Par ailleurs, beaucoup de TPE proposent de capter l'air

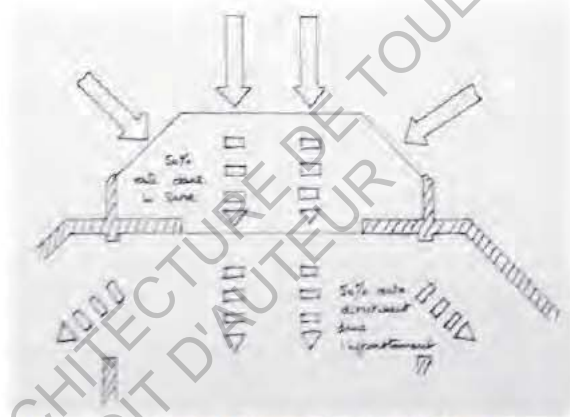


Figure 26 Schéma d'efficacité de la serre (CONINCK, Serge, Collectifs solaires à Billères, 1981)

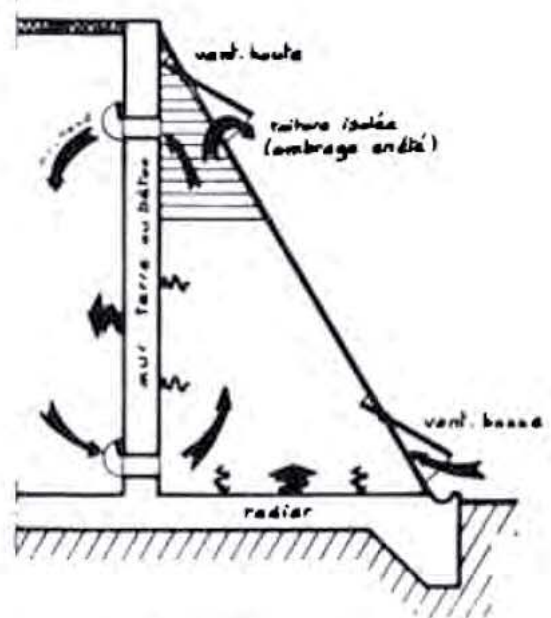


Figure 27 Coupe d'une serre avec mur capteur utilisant l'air chaud de la serre. (Centre d'accueil à bas profil énergétique. Pierre-Olivier ABELOOS, 1987).

²⁸ CANET, Paul, VAISSE, Michel et TILLOUS, Marc (dir. J-P CORDIER). Quelle architecture solaire ? ENSA Toulouse, 1983.

²⁹ Mazria, Edward. Le guide de la maison solaire. Parenthèses, 1981. (Page 174)

réchauffé dans la serre et de le réinjecter dans des espaces plus froids afin d'utiliser un maximum des apports solaires.

Si l'on se réfère au TPF de Serge CONINCK³⁰, cela permettra d'arriver à près de 50% d'apports solaires réellement transmis à l'intérieur du bâtiment. Selon lui :

- 50% de l'énergie solaire reste dans la serre. Or, 20% de l'énergie est réfléchi, puis 60% de l'énergie à l'intérieur de la serre s'échappe. Ce qui fait 16% d'apports réels utiles à l'intérieur de la serre.
- Les 50% restants allant vers les pièces intérieures, seulement 70% de cette portion ne sont pas réfléchis par les vitrages. Il en résulte ensuite une perte de 5%. Ce qui fait 33% d'apports utiles ayant traversé la serre.

Le cumul des deux approches donc bien les 50% d'efficacité si on utilise l'air chaud à l'intérieur de la serre pour chauffer les autres pièces.

Ainsi, la capacité de captage solaire de la serre ainsi que ses atouts qualitatifs non négligeables font que ce dispositif est très souvent utilisé dans l'architecture bioclimatique, si ce n'est quasi systématiquement. Pour preuve, la grande majorité des TPF du corpus d'étude l'intègrent dans leur conception.

Dans l'exemple ci-contre³¹, la serre attenante au sud joue bien-sûr le rôle de capteur d'énergie solaire. C'est un espace fédérateur entre les chambres de l'étage, mais aussi lieu de transition entre l'intérieur et extérieur.

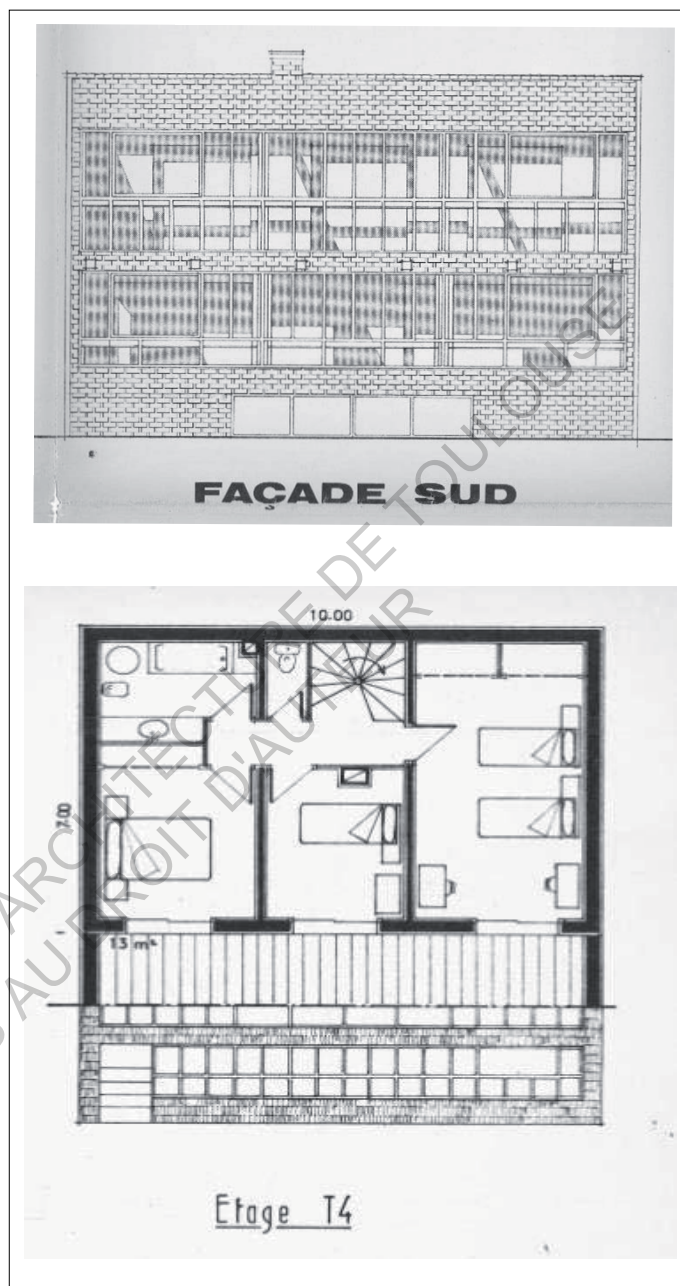


Figure 28 Façade sud et plan d'une unité d'habitation attenante à une serre capteur. Alain MARIOTTO, Habitat Bioclimatique, 1978

³⁰ CONINCK, Serge (dir. J. SOUM). Collectifs solaires à Billère. ENSA Toulouse, 1981. (document non paginé)

³¹ MARIOTTO, Alain (dir. J-P Cordier). Habitat bioclimatique. ENSA Toulouse, 1978. (Planche 2)

L'extrait de plan à la page suivante³² montre un cas extrême dans l'usage de la serre comme enveloppe englobante le projet telle un dôme. Dans les climats continentaux froids abordés par ce TPFE, la serre crée une ambiance hybride entre l'intérieur et l'extérieur aux températures difficiles, ce qui permet de faciliter la transition et de réunir des conditions favorables à l'agriculture et l'élevage.

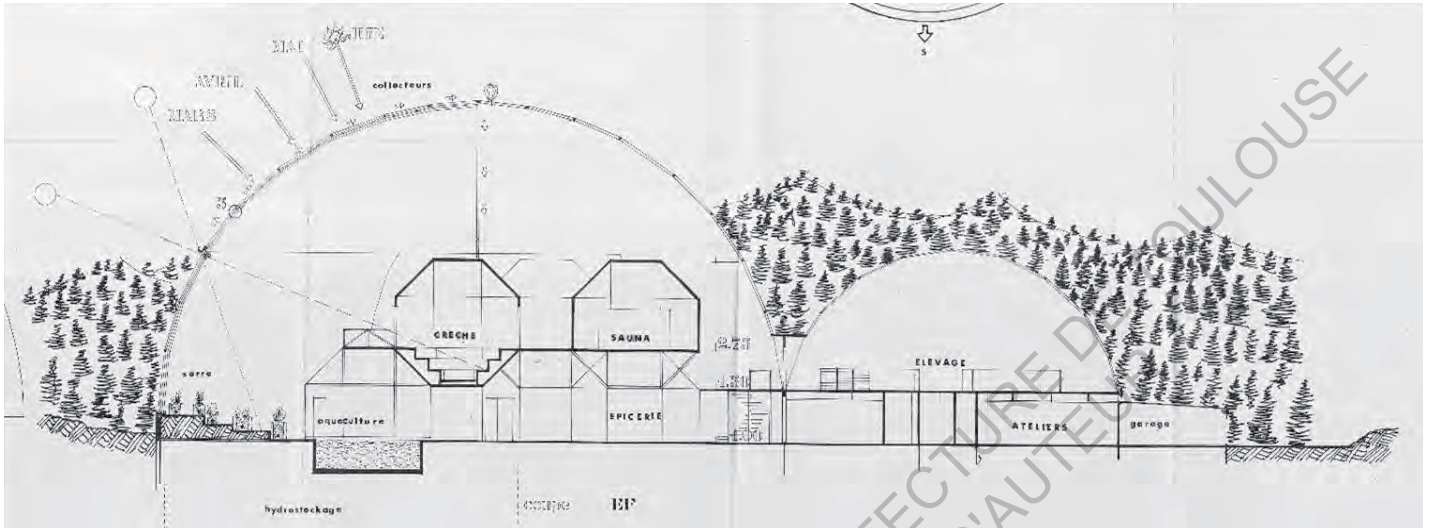


Figure 29 La serre permet de cultiver des plantes (à gauche) et d'élever des animaux (à droite) tout en apportant une protection thermique supplémentaire aux autres programmes. (FALTREP et MEUNIOT. Proposition d'habitat écologique en climat continental, 1976)

II.3.2.3) Le captage de l'énergie solaire par inertie : mur Trombe et autres dispositifs

Comme vu précédemment, il est important de retenir une partie de l'énergie captée pendant la journée pour pouvoir la redistribuer plus tard, notamment la nuit lorsque la température baisse. Le mur à l'arrière d'une serre permet de jouer ce rôle, mais il y a néanmoins d'autres dispositifs plus efficaces.

Si l'on se réfère encore au Guide de la Maison Solaire ; le mur capteur, où mur « Trombe », du nom de son inventeur, présente une transmission d'énergie solaire 50% plus importante qu'une serre³³. Ces murs sont réalisés dans un matériau à forte inertie, que ce soit la terre, la brique, le béton, ou même des bidons d'eau ! Très souvent de couleur sombre pour absorber un maximum d'énergie, leur épaisseur est cruciale dans la gestion du « volant thermique », intervalle de temps entre lequel l'énergie solaire est captée par le mur et où elle est rediffusée.

³² FALTREP et MEUNIOT (dir. J-P CORDIER). Proposition d'habitat écologique en climat continental. ENSA Toulouse, 1976. (Planche 1)

³³ Mazria, Edward. Le guide de la maison solaire. Parenthèses, 1981. (p174)

Dans la plupart des projets, le volant thermique recherché se situe entre 8 et 10 heures, pour que l'énergie captée par les murs lors de la journée puisse se diffuser lors de la nuit. Ainsi, les fluctuations de températures sont moins importantes ce qui permet d'améliorer la sensation de confort³⁴.

Le mur trombe est aussi utilisé pour sa capacité de créer un « thermosiphon », permettant d'absorber l'air froid du local adjacent, le chauffer entre son mur et son vitrage, pour enfin le rejeter en partie haute. (Figure 31).

Il peut même être réversible, c'est-à-dire être utilisé en été comme moyen de se protéger des rayons du soleil.

Dans des configurations de haute densité où les vis-à-vis empêchent l'installation d'une serre, le mur Trombe est idéal pour assurer quand même le captage solaire ou assurer un tampon acoustique³⁵. En revanche, son côté peu esthétique est un frein à son développement. Pour preuve, très peu de TPFE en font mention.

Heureusement, d'autres moyens d'inertie plus qualitatifs sont utilisables et utilisés par les étudiants dans leurs TPFE.

Comme les murs en fond de serre censés capter de l'énergie, des dispositifs à forte inertie peuvent être répartis au sein du bâtiment afin de capter le surplus de chaleur et de le restituer en temps voulu³⁶.

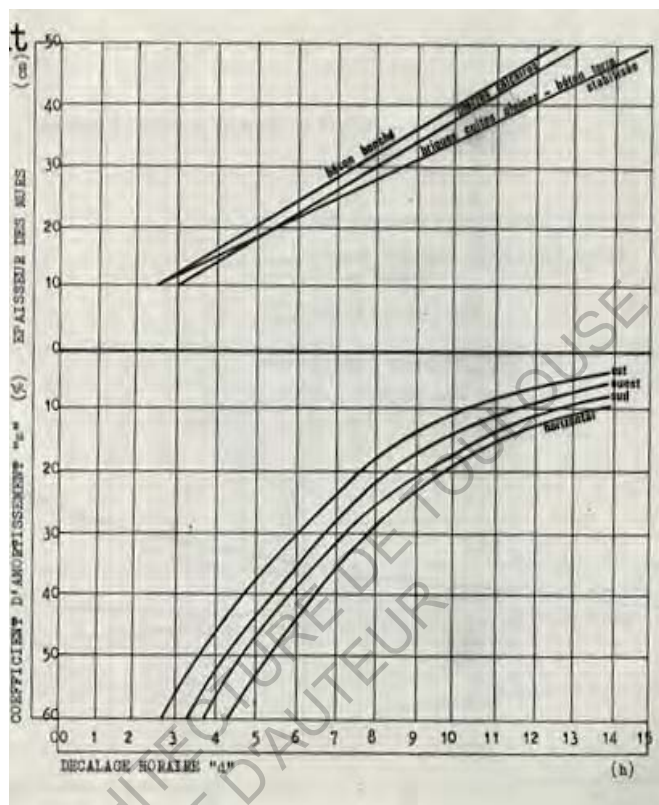


Figure 30 Diagramme représentant la durée de déphasage entre l'absorption et la restitution de l'énergie stockée dans un mur par rapport à sa nature et son épaisseur. (Evelyne COUEILLES, Matériaux traditionnels pour un habitat à bas profil énergétique, 1980).



Figure 31 Coupe de principe du mur Trombe. (CANET, VAISSE et TILLOUS, Quelle Architecture Solaire ? 1983)

³⁴ COUEILLES, Evelyne (dir. M. GERBER). Matériaux traditionnels pour un habitat à bas profil énergétique. ENSA Toulouse, 1980. (page 31)

³⁵ CANET, Paul, VAISSE, Michel et TILLOUS, Marc (dir. J-P CORDIER). Quelle architecture solaire ? ENSA Toulouse, 1983. (p83)

³⁶ BARRUEL, Jean et RAYMOND, Claude (dir. M. GERBER). Proposition d'un équipement d'habitation à conservation d'énergie. ENSA Toulouse, 1976. (page 15)

Pour cela, il faut néanmoins que l'énergie solaire arrive jusqu'à eux. Ainsi, il est jugé judicieux que toutes les surfaces non captantes soient de couleur claire, pour réfléchir la lumière jusqu'à ces capteurs à inertie, préférablement de couleur sombre.

D'autres TPFE présentent des natures de matériaux pour mur capteur assez originaux, comme sur la Figure 33 où de la paraffine est intercalée entre deux lames de verre. Sur la même pièce graphique, il est aussi possible d'observer le souci d'adaptabilité saisonnière, puisque l'on voit bien que l'on cherche à capter un maximum d'énergie solaire en décembre quand on veut en recevoir un minimum lors de la période estivale³⁷.

Dans d'autres TPFE, le rechargement des volumes à forte inertie peut se faire autrement que par exposition directe. C'est notamment le cas dans le projets³⁸ où l'inertie n'est pas constituée par les murs ou les planchers, mais par une chappe de galets disposée sous le bâtiment. Un système de flux d'air vient capter l'air chaud de la serre incorporée au projet et vient l'injecter dans la couche de galets, qui se charge ainsi en chaleur et la rediffuse lors de périodes plus froides (Figure 35).

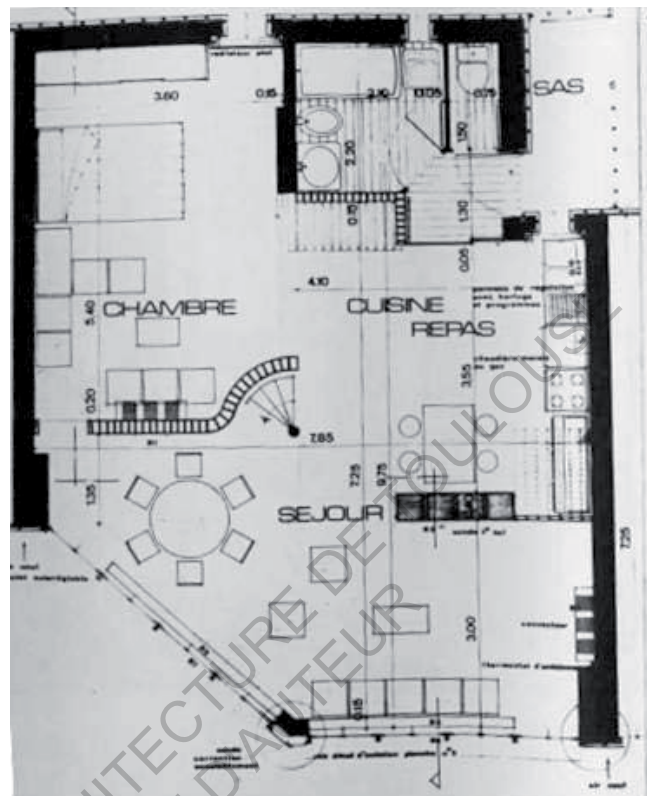


Figure 32 Mur d'eau à l'intérieur du bâtiment, contre l'escalier. Le mur présente une forte inertie et est chauffé par les rayons de la serre. Sa position centrale permet de transmettre de la chaleur aux espaces les moins bien exposés. (Jean BARRUEL et Claude RAYMOND, Proposition d'un équipement d'habitation à basse consommation d'énergie, 1976.)

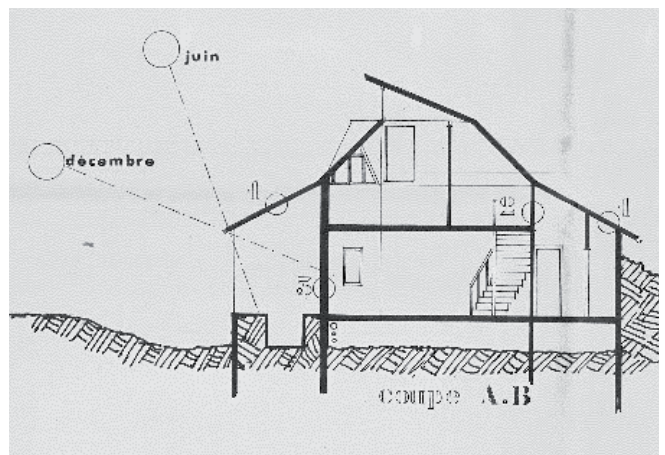


Figure 33 Sur le détail (3), le mur capteur est composé de paraffine et de lames de verres. (FALTREP et MEUNIOU, Proposition d'habitat écologique en climat continental, 1976.)

³⁷ FALTREP et MEUNIOU (dir. J-P CORDIER). Proposition d'habitat écologique en climat continental. ENSA Toulouse, 1976. (Planche 3)

³⁸ BOURDET, François (dir. J-P CORDIER). Centre médical de groupe à bas profil énergétique. ENSA Toulouse, 1985 et ABELOOS, Pierre-Olivier (dir. A. CHATELET). Centre d'accueil communautaire à bas profil énergétique. ENSA Toulouse, 1987. (Planche 4) BARRUEL, Jean et RAYMOND, Claude (dir. M. GERBER). Proposition d'un équipement d'habitation à conservation d'énergie. ENSA Toulouse, 1976. (Page 5)

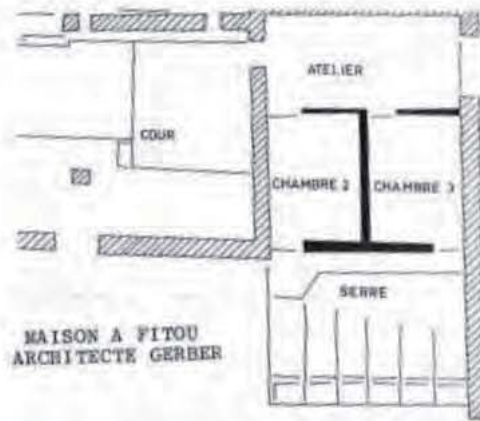


Figure 34 Projet de Michel Gerber. On observe ici un mur de forte inertie venant capter en fond de serre et conduire l'énergie solaire vers l'intérieur de logement pour mieux la diffuser dans des espaces moins bien exposés

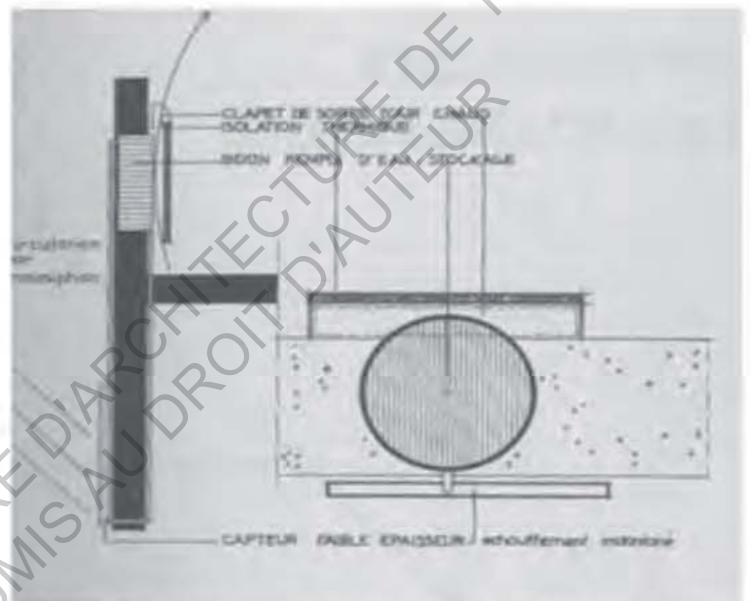
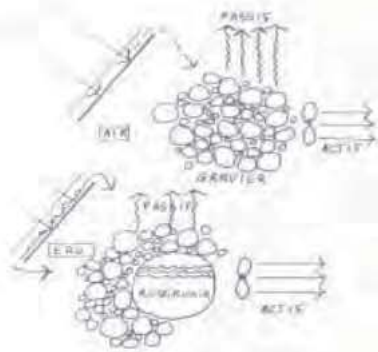


Figure 35 Exemples de stockage de l'énergie solaire. A gauche, le schéma illustre le principe du stockage par un lit de galets sous le plancher du RDC. A droite, une coupe sur le système de capteur solaire à eau qui permet d'apporter de l'énergie à des locaux mal exposés par circulation d'eau réchauffée par le soleil. (Jean BARRUEL et Claude RAYMOND, proposition d'un équipement d'habitation à conservation d'énergie. ENSA Toulouse, 1976)

II.3.3) Une autre vision du bioclimatique : la protection solaire en climat aride

Même si l'énergie solaire est gratuite et illimitée, certains climats très chauds cherchent à se protéger au maximum du rayonnement pour conserver une ambiance confortable au sein des espaces intérieurs. C'est notamment la problématique du continent africain, que bon nombre d'étudiants de l'ENSA de Toulouse ont décidé d'aborder dans leurs TPFE.

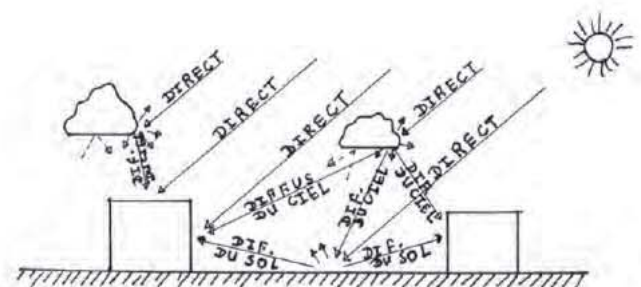


Figure 36 Les différents phénomènes à l'origine des apports solaires. (Azara DRABO. Un habitat collectif à Ouagadougou, 1988)

Ainsi, dans les régions où la température extérieure est trop importante vis-à-vis de la température de confort, on cherche à limiter les apports et à rafraîchir l'ambiance intérieure.

Les solutions proposées au fil des TPE sont nombreuses et variées. Elle se mettent en place à l'échelle architecturale, mais passent aussi par la grande échelle urbaine jusqu'à la petite échelle des détails de matériaux.

Si Jean-Pierre Cordier a notamment étudié le phénomène d'« auto climatisation », des étudiants tels que Juan SAENZ DE TEJADA³⁹ en 1982 se sont inspirés de ses travaux au sein de leurs TPE afin d'étudier les aptitudes au refroidissement et au réchauffement d'une ambiance intérieure selon la nature de l'enveloppe du bâtiment. Ces études prennent place dans le cadre d'une échelle d'observation relativement restreinte (le matériau).

Intuitivement, les apports solaires seraient essentiellement contrôlés par la taille et la position des vitrages. Mais le document ci-contre rappelle bien l'importance cruciale de la stratégie relative à l'« épiderme » d'un bâtiment, qui présente une grande surface exposée aux rayons solaires et donc lui aussi susceptible de transmettre de l'énergie.

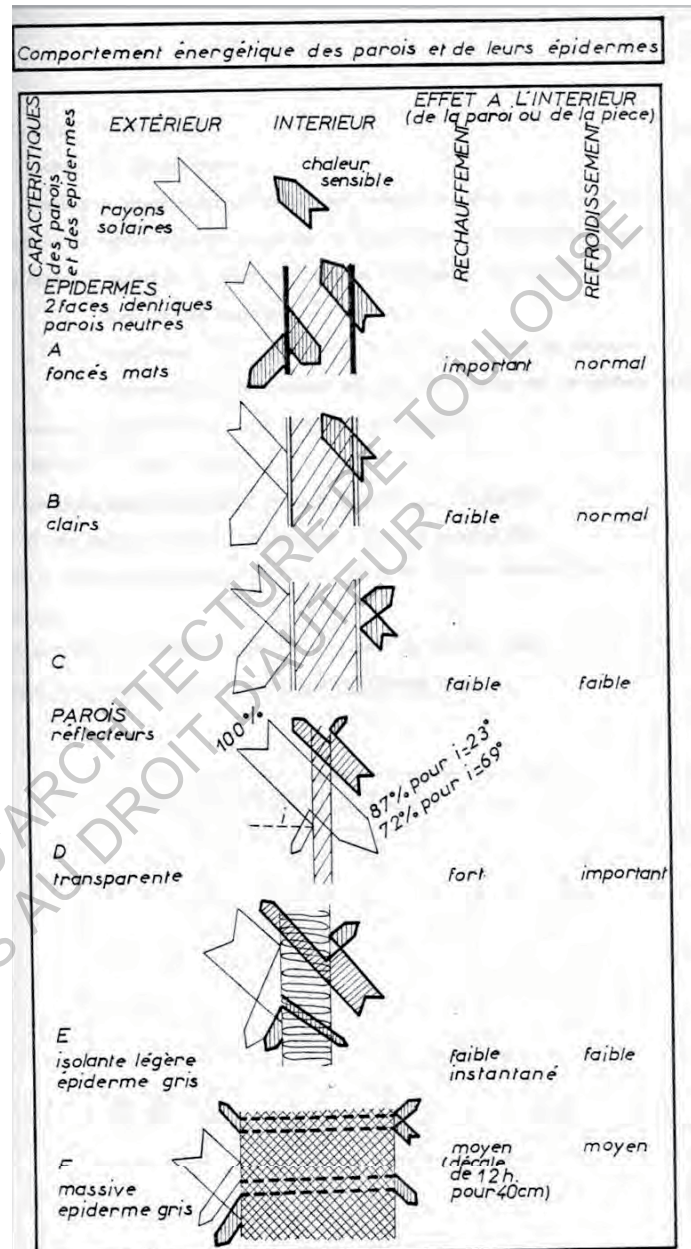


Figure 37 Comportement énergétique des parois et de leurs épidermes (Juan SAENZ DE TEJADA, Proposition d'un habitat économique à base d'énergies nouvelles, 1982)

Suite à l'étude de différentes natures et utilisation des matériaux, Juan SAENZ DE TEJADA propose une solution basée sur les potentiels locaux de son site et sur sa tradition espagnole : la mise en œuvre d'une paroi en double peau (Figure 38).

³⁹ SAENZ DE TEJADA, Juan (dir. J. SOUM). Proposition d'un habitat économique à base d'énergies nouvelles. ENSA Toulouse, 1982. (Page 68)

Côté intérieur, la peau est constituée de pierre de taille de forte épaisseur. Cette disposition permet de présenter une forte inertie à l'intérieur, ainsi qu'une surface fraîche permettant de limiter les échanges par rayonnement.

L'autre, côté extérieur, consiste en une fine couche de brique enduite à la chaux. Son rôle est avant tout de protéger la surface de pierre intérieure en réfléchissant les rayons du soleil par l'intermédiaire de la chaux, largement répandue dans la région.

Entre les deux, une lame d'air permet de constituer une troisième barrière isolante, renforçant ainsi le pouvoir protecteur face au soleil.

A l'échelle architecturale, la mise en place de dispositifs de ventilation naturelle est très efficace pour décharger l'énergie solaire et créer des ambiances agréables. Dans le cas du projet à Ougadougou de Hazara DRABO en 1988⁴⁰, cette notion est toute particulièrement étudiée, notamment dans son interaction avec d'autres dispositifs de limitation des apports solaires, tels que les brise soleils.

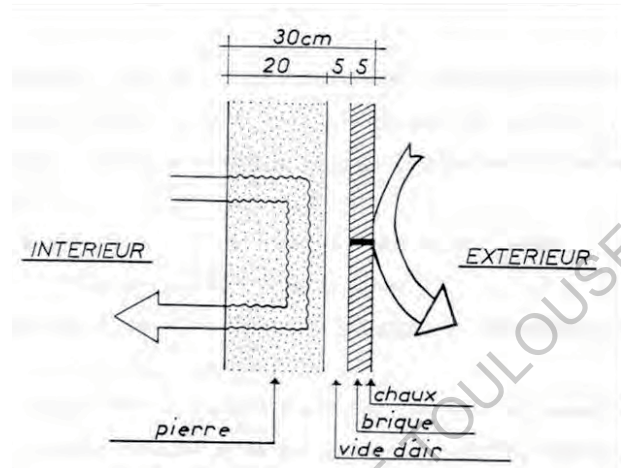
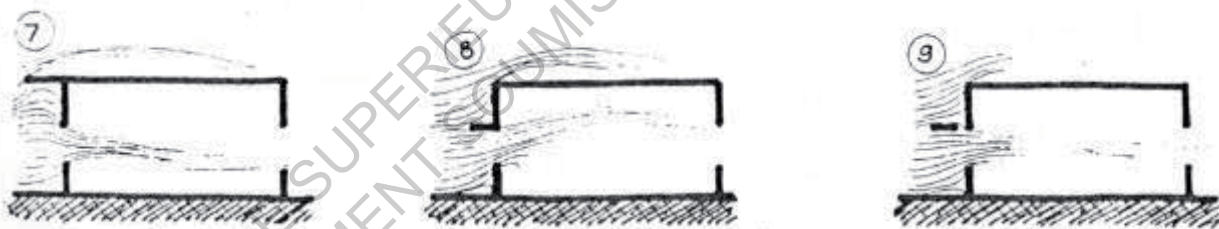


Figure 38 Coupe du mur en double peau (Juan SAENZ DE TEJADA, Proposition d'un habitat économique à base d'énergies nouvelles, 1982)



⑦, ⑧ et ⑨ les avancées de toiture et pare-soleil modifient l'importance et la direction du mouvement d'air. Une avancée assez haute augmente le flux sans modifier sa direction (7). Un pare-soleil horizontal juste au dessus de la fenêtre dirige le flux vers le plafond et diminue l'efficacité de la ventilation (8). Un passage pour l'air entre le mur et le pare-soleil permet de compenser cet effet négatif (9).

Figure 39 Etude de la ventilation dans un local avec brise-soleil. (Azara DRABO, Habitat collectif à Ouagadougou, 1988).

Stratégiquement, la ventilation peut être mise en place lors de la nuit pour « décharger » l'énergie contenue dans les mur et absorbée durant la journée. Ceux-ci peuvent ainsi continuer à emprisonner de l'énergie solaire au cours de la journée suivante et ainsi éviter les surchauffes intérieurs.

⁴⁰ DRABO, Azara (dir J-P CORDIER). Un Habitat collectif à Ouagadougou. ENSA Toulouse, 1988. (Page 68)

Une autre méthode est aussi la mise en place d'un couplage avec un système de rafraîchissement d'air par évaporation d'eau. Souvent situé au milieu d'une cour ombragée au centre du bâtiment, la fontaine ou le plan d'eau permet de diminuer la température, notamment si un courant d'air passe à proximité. Ce dispositif est souvent utilisé dans les grandes villes du Maroc.

D'autres méthodes de ventilation plus originales sont présentées au fil des TPFE. La ventilation est exploitée de différentes manières : cela peut être manière indirecte en passant par un toit en « double peau » permettant de décharger l'intérieur en énergie tout en dissipant l'impact des rayons solaires incidents sur la toiture, comme sur l'image de gauche de la figure 40⁴¹. Sur l'image de droite⁴², on observe un dispositif de rafraîchissement classique qu'est la double hauteur, permettant de faire monter l'air chaud vers le haut et l'évacuer tout en conservant l'air frais au niveau du sol. A ce dispositif vernaculaire est ajouté une cheminée de ventilation tout à droite du dessin, permettant de créer un appel d'air venant ventiler les pièces adjacentes et évacuer la chaleur à la sortie du conduit, tout en haut du bâtiment.

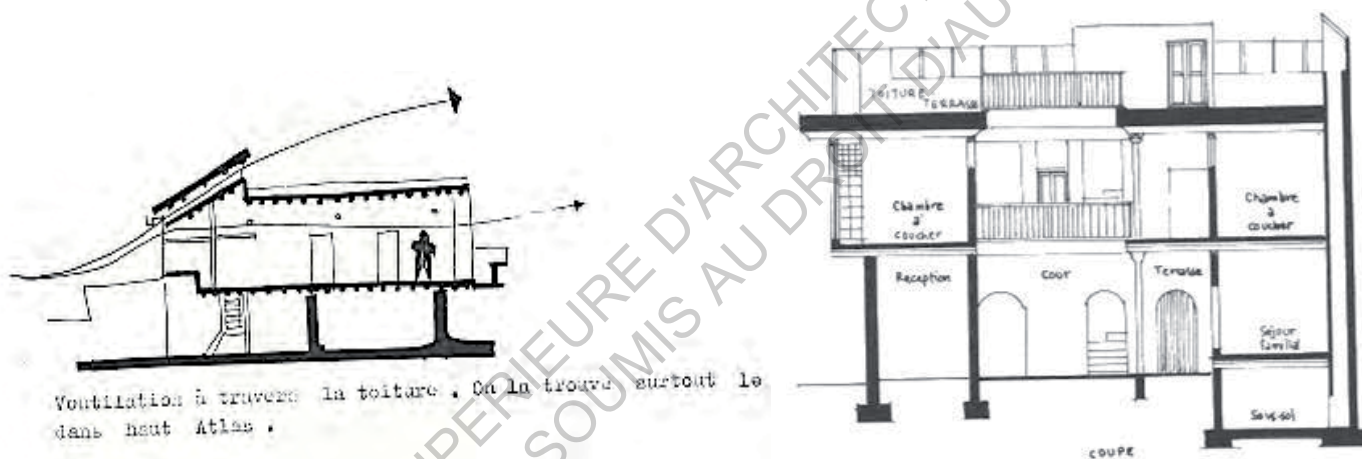


Figure 40 Différentes alternatives de ventilation : le toit double peau et la cheminée de ventilation (Mohamed BERRADA-GOUZI. Approche de l'habitat traditionnel marocain, 1977)

Enfin à l'échelle urbaine, ce sont des principes vernaculaires très simples qui sont utilisés. Par exemple, sur la figure 41, le projet reprend les gabarits et les dimensions des espaces semi-ouverts de la vieille ville de Fès pour créer des masques solaires et ainsi garantir des espaces de circulation ou de repos à l'abri du soleil⁴³. Ces propositions urbaines se font souvent suite au constat de l'échec de l'adaptation du mode de construire occidental à des latitudes plus chaudes, créant des problèmes d'ambiance allant bien au-delà de l'échelle architecturale mais impactant la ville entière⁴⁴.

⁴¹ BERRADA-GOUZI, Mohamed (dir. M. GERBER). Approche de l'habitat traditionnel marocain. ENSA Toulouse, 1977. (Page 31)

⁴² BERRADA-GOUZI, Mohamed (dir. M. GERBER). Approche de l'habitat traditionnel marocain. ENSA Toulouse, 1977. (Page 33)

⁴³ BERRADA-GOUZI, Mohamed (dir. M. GERBER). Approche de l'habitat traditionnel marocain. ENSA Toulouse, 1977. (Page 37)

⁴⁴ Voir partie : Une remise en cause des manières d'habiter

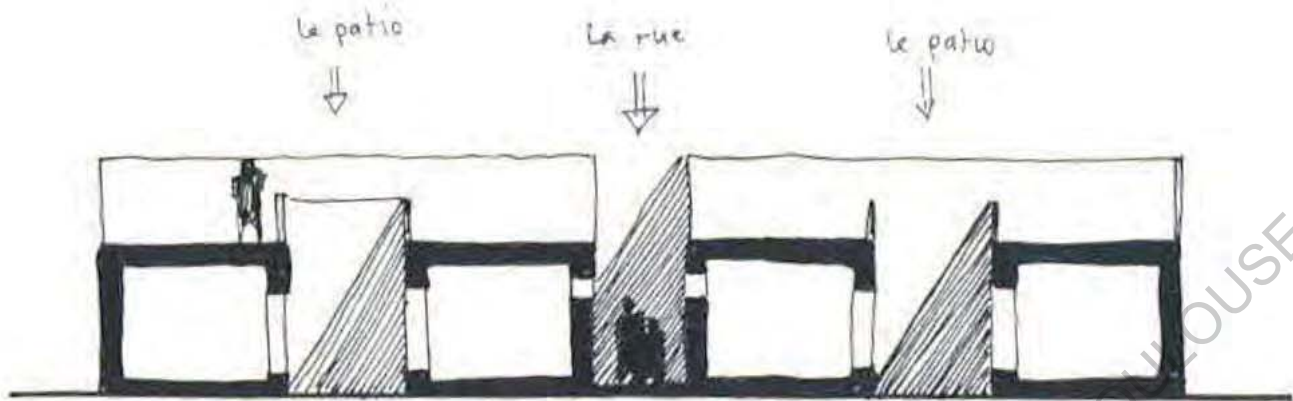


Figure 41 La protection solaire peut aussi se mettre en place à l'échelle urbaine en jouant sur l'ombre portée du bâti sur les espaces de circulation ou dans les cours intérieures. (Mohamed BERRADA-GOUZI. Approche de l'habitat traditionnel marocain, 1977)

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

II.4) L'évolution des outils d'aide à la conception architecturale

Au début de l'aventure du bioclimatique, et comme le déplorait les membres fondateurs du LAB, il y avait peu de moyens techniques mis à disposition des concepteurs. A travers l'évolution dans les outils d'aide à la conception utilisés par les TPFE, on peut se rendre compte que les nouvelles techniques à disposition des architectes se perfectionnent, notamment grâce à des travaux de recherches dont le LAB a apporté sa pierre à l'édifice.

II.4.1) La méthode de Mahoney

La méthode de Mahoney est apparue en 1969. Créée par les architectes Carl Mahoney, John Martin Evans et Otto Königsberger, elle se base sur l'étude des facteurs climatiques du projet, traités à travers l'utilisation de six tables (température de l'air, humidité, précipitation et vent, diagnostic, indications, recommandations ayant trait à l'esquisse, recommandations relatives au détail des ouvrages).

En prenant les conditions climatiques du projet (température et humidité) comme données d'entrée, la méthode propose des lignes directrices et les détails constructifs à suivre lors de la phase conception afin de garantir le confort intérieur du projet.

Cette méthode a notamment été utilisée dans le TPFE Habitat bioclimatique dans la région de Fès de Ahmed CHAMI en 1978⁴⁵. Le développement de cette méthode dans ce TPFE est tout particulièrement intéressant et bien assimilé.

- La méthode commence avec le tableau ci-dessous, issu des tables de Mahoney, dresse les températures limites de confort selon l'humidité (GH) et la température moyenne de confort du site (TAM). Si la température moyenne est comprise dans l'intervalle proposé par le tableau, nous sommes en zone de confort (C). Si elle est en dessous, nous sommes en situation trop chaude (T). Enfin, si elle se situe en dessous de la limite, nous sommes en situation trop froide (F).

HR	GH	TAM supérieur à 20°		TAM 15 - 20°		TAM inférieur à 15° C		GH
		JOUR	NUIT	JOUR	NUIT	JOUR	NUIT	
0 - 30	1	26 - 34	17 - 25	23 - 32	14 - 23	21 - 30	12 - 21	1
30 - 50	2	25 - 31	17 - 24	22 - 30	14 - 22	20 - 27	12 - 20	2
50 - 70	3	23 - 29	17 - 23	21 - 28	14 - 21	19 - 26	12 - 19	3
70 - 100	4	22 - 27	17 - 21	20 - 25	14 - 20	18 - 24	12 - 18	4

Figure 42 Table de confort de Mahoney. (Ahmed CHAMI. Habitat bioclimatique dans la région de Fès, 1978)

⁴⁵ CHAMI, Ahmed (dir. J-P CORDIER). Habitat bioclimatique dans la région de Fès. ENSA Toulouse, 1978. (Pages 68 à 78)

- Ensuite, on appose au tableau les températures et humidités moyennes extérieures mensuelles de la zone sur laquelle est implantée le projet.

On peut ainsi savoir, selon les mois, comment se situent les conditions nocturnes et diurnes par rapport aux seuils de confort. Ainsi, on répertorie la situation de chaque mois, en situation jour comme de nuit, en bas du tableau

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Groupe hyrométrique	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3
Température (0°C)												
Moyenne mensuelle des températures maximales	15,5	17	19	19,5	24	28	33,5	33,5	29	24,5	19	16
confort diurne: maximal	25	25	25	25	25	28	28	28	28	28	28	28
confort diurne: minimal	20	20	20	20	20	21	21	21	21	21	21	21
Moyenne mensuelle des temp. minimales	5	5	6	7,5	11	13,5	16,5	17,5	15,5	12	7,5	4,5
Confort nocturne maximal	20	20	20	20	20	21	21	21	21	21	21	21
Confort nocturne minimal	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
Stress thermique												
Jour	F	F	F	F	C	C	T	T	T	C	F	F
Nuit	F	F	F	F	F	C	C	C	F	F	F	F

Figure 43 Table de Mahoney numéro 3 (Ahmed CHAMI. Habitat bioclimatique dans la région de Fès, 1978)

- Selon les conditions mensuelles, on peut définir si le climat est plutôt Aride (niveau 1 à 3) ou Humide (Niveau 1 à 3), sachant qu'un mois peut être retrouvé dans deux climats à la fois. On garde trace des différents climats rencontrés ainsi que de leur fréquence. Ainsi, dans l'exemple du TPE étudié, le climat a une tendance aride, allant du niveau 1 à 3 selon que l'on soit en saison hivernale ou estivale.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
Climat humide													
H1													0
H2				X									1
H3													0
Climat aride													
A1						X	X	X	X	X	X	X	7
A2													0
A3	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X	10

Figure 44 Table de Mahoney numéro 4 (Ahmed CHAMI. Habitat bioclimatique dans la région de Fès, 1978)

- Une fois cette phase de qualification du climat réalisée, il est possible d'obtenir des préconisations afin d'aller dans le sens du confort des usagers. Pour ce faire, il suffit de se reporter aux 2 derniers panneaux de tables de Mahoney, et de regarder toutes les dispositions recommandées pour la proportion de climats arides et humides qui ont été obtenus (figure 45).

Table 5. — Recommandations ayant trait à l'esquisse

Totaux indicateurs repris du tableau n° 4						Recommandations
Humide			Aride			
H1	H2	H3	A1	A2	A3	
0	1	0	7	0	10	
			0-10			
			11 ou 12		5-12	X
					0-4	
						Plan masse
						1. Bâtiments orientés suivant un axe longitudinal est-ouest afin de diminuer l'exposition au soleil
						2. Plans compacts avec cours intérieures
						Espacements
11 ou 12						3. Grands espacements pour favoriser la pénétration du vent
2-10						4. Comme 3, mais avec protection contre le vent froid/chaud
0 ou 1						X 5. Plans compacts
						Circulation d'air
3-12						6. Bâtiments à simple orientation. Dispositions permettant une circulation d'air permanente
1 ou 2			0-5			
			6-12			
0	2-12					X 7. Bâtiments à double orientation permettant une circulation d'air intermittente
	0 ou 1					X 8. Circulation d'air inutile
						Ouvertures
			0 ou 1		0	9. Grandes ouvertures, 40 à 80% des façades N et S
			11 ou 12		0 ou 1	10. Très petites ouvertures, 10 à 20%
			† Toutes autres conditions			X 11. Ouvertures moyennes, 30 à 40%
			0-2			Murs
			3-12			12. Murs de construction légère, décalage horaire de faible durée
						X 13. Murs extérieurs et intérieurs massifs
						Toitures
			0-5			14. Toitures légères et isolantes
			6-12			X 15. Toitures lourdes, décalage horaire supérieur à 8 heures
						Sommeil en plein air
				2-12		16. Nécessité d'un emplacement pour le sommeil en plein air

Table 6. — Recommandations relatives au détail des ouvrages

Totaux indicateurs repris du tableau n° 4						Recommandations
Humide			Aride			
H1	H2	H3	A1	A2	A3	
0	1	0	7	0	10	
			0 ou 1		0	
			2-5		1-12	
			6-10			X
			11 ou 12		0-1	
					4-12	
						Dimensions des ouvertures
						1. Grandes, 40 à 80% des façades N et S
						2. Moyennes, 25 à 40% de la surface des murs
						3. Intermédiaires, 20 à 35% de la surface des murs
						4. Petites, 15 à 25% de la surface des murs
						5. Moyennes, 25 à 40% de la surface des murs
						Position des ouvertures
3-12						6. Ouvertures dans les murs N et S, hauteur d'homme du côté exposé au vent
1-2			0-5			
			6-12			
0	2-12					X 7. Comme ci-dessus, mais y compris ouvertures pratiquées dans les murs intérieurs
						Protection des ouvertures
					0-2	8. Se protéger de l'ensoleillement direct
		2-12				9. Prévoir une protection contre la pluie
						Murs et planchers
			0-2			10. Constructions légères, faible inertie thermique
			3-12			X 11. Construction massive : décalage horaire supérieur à 8 heures
						Toitures
			0-2			12. Construction légère, couverture à revêtement réfléchissant et vide d'air
10-12			4-12			13. Légère et bien isolée
			0-5			
0-9			6-12			X 14. Construction massive : décalage horaire supérieur à 8 heures
						Disposition et utilisation des espaces extérieurs
				1-12		15. Emplacement pour le sommeil en plein air
		1-12				16. Drainage approprié des eaux de pluie

Figure 45 Tables 5 et 6 de Mahoney (Ahmed CHAMI. Habitat bioclimatique dans la région de Fès, 1978)

Ainsi, pour le projet de ce TPFE, l'étude des tables de Mahoney donne les préconisations suivantes :

- Le projet sera compact et massif pour limiter la surface d'échange avec l'extérieur
- L'orientation se fera selon la direction est-ouest afin de limiter les apports solaires
- Le projet comportera des ouvertures moyennes
- Il n'est pas nécessaire de mettre en place une ventilation naturelle

Quand on observe d'un peu plus près les préconisations données par la méthode de Mahoney, on remarque qu'elles sont relativement vagues et facilement assimilables en phase esquisse. Les préconisations sont ainsi peu contraignantes mais n'apportent que peu de précision dans le dimensionnement du projet. En ce qui concerne les éléments architecturaux, elles se limitent aux dimensions des ouvertures, épaisseurs des murs et volumétrie.

Par ailleurs, les étudiants posent déjà un regard critique vis-à-vis de cette méthode. Dans le TPFE que nous venons d'aborder, l'auteur « *pense qu'il ne faut pas prendre à la lettre toutes les indications* », même si ces tables donnent « *des indications très intéressantes à partir du climat dans une région donnée*⁴⁶ ».

Par ailleurs, le traitement des données sur le climat est assez sommaire et quelque peu arbitraire, puisque les couples température moyenne / humidité moyenne mensuels ne sont pas pris individuellement pour les préconisations.

Enfin, comme d'autres étudiants l'ont fait remarquer, on peut aussi remettre en cause la fiabilité de ces tables à des latitudes où le climat n'est ni humide, ni aride.

II.4.2) La méthode de Givoni

Mise au point par l'architecte Baruch Givoni dans son ouvrage *L'Homme, l'Architecture et le Climat*⁴⁷ en 1976 puis apparu en France dès 1978, cette méthode se développe dans la continuité de celle de Mahoney.

Elle fait néanmoins appel à plus d'outils scientifiques, notamment par l'utilisation du diagramme bioclimatique. Par ailleurs, elle reprend et développe les travaux menés par les frères Olgyay quelques années auparavant⁴⁸. Tout comme la méthode de Mahoney, elle propose des axes à prendre en compte lors de la conception afin de garantir le confort des habitants sans forcément avoir besoin d'investir dans un système de chauffage ou de climatisation.

Elle est utilisée par plusieurs TPFE du corpus, notamment par Juan SAENZ DE TEJADA en 1982⁴⁹.

⁴⁶ CHAMI, Ahmed (dir. J-P CORDIER). *Habitat bioclimatique dans la région de Fès*. ENSA Toulouse, 1978. (Page 68)

⁴⁷ GIVONI, Baruch. *L'Homme, l'Architecture et le Climat*. Editions du Moniteur, 1978.

⁴⁸ OLGAY, Victor. *Design With Climate*. Princeton University Press, N.J, 1963.

⁴⁹ SAENZ DE TEJADA, Juan (dir. J. SOUM). *Proposition d'un habitat économique à base d'énergies nouvelles*. ENSA Toulouse, 1982. (page 40)

A défaut d'utiliser une succession de tables, la méthode de Givoni étudie ce qu'on appelle le diagramme bioclimatique. Celui-ci, initialement basé sur le diagramme psychrométrique⁵⁰, est un graphe en deux dimensions et les paramètres sont la température (axe horizontal) ainsi que l'humidité (axe vertical). Grâce à des expériences et des calculs mathématiques, Givoni a été en mesure de tracer des zones dans ce diagramme, chacune correspondant au domaine de confort d'une situation particulière (Figure 46).

- La zone C correspond à la zone de confort en air calme.
- La zone V correspond à la zone de confort avec une certaine vitesse d'air, c'est-à-dire la mise en place d'une ventilation.
- La zone I-I' correspond à l'intervalle de confort d'un espace intérieur possédant une inertie importante permettant de capter de l'énergie le jour et de la restituer la nuit
- La zone IVN correspond à la zone de confort si l'on met en place une ventilation nocturne pour décharger la chaleur accumulée la journée par les volumes à forte inertie
- La zone RE est l'intervalle de température et d'humidité acceptable lorsque l'on met en place un mécanisme de refroidissement de l'air par évaporation d'eau à l'intérieur du bâtiment.
- La zone AS est la zone de confort qui peut être gagnée en mettant en place des apports solaires afin de réchauffer l'ambiance.
- Le dernier diagramme dresse les conditions dans lesquelles l'apport de la technologie est nécessaire en vue d'apporter le confort : DH pour le déshumidificateur d'air, AC pour la climatisation et H pour le chauffage. Autrement dit, si l'on se situe partout en dehors de cette zone, il est possible de garantir le confort d'un bâtiment sans avoir recours à des machines technologiques.

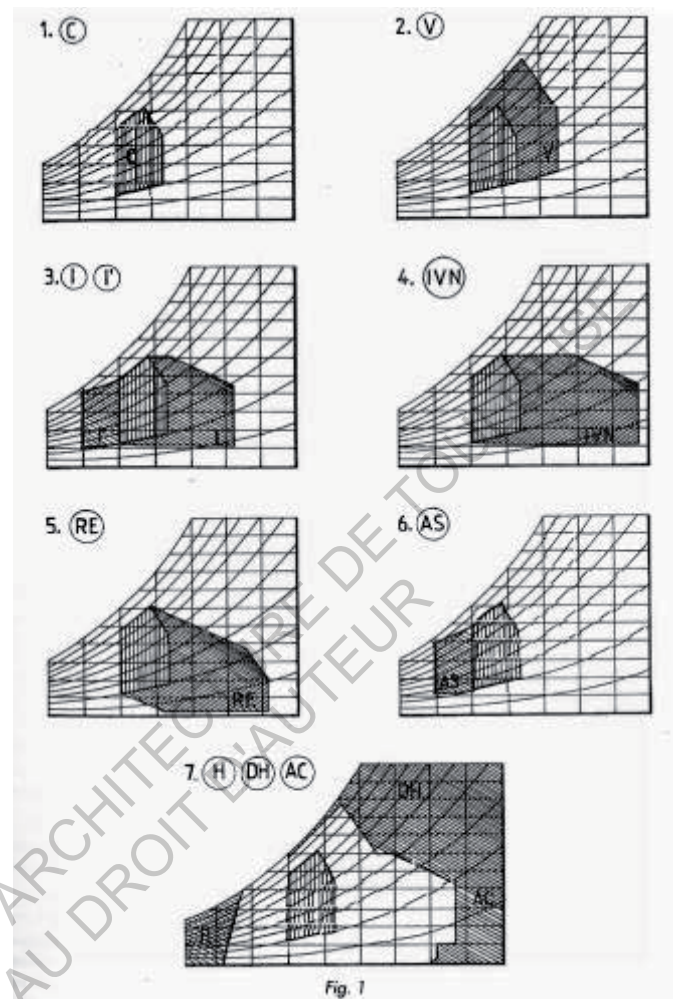


Figure 46 Diagrammes de Givoni (Chatelet Alain, Fernandez Pierre, Lavigne Pierre. Architecture climatique : une contribution au développement durable. Tome II : "Concepts et dispositifs". Edisud, 1998, page 20)

⁵⁰ Diagramme disponible en annexe

Tout comme la méthode de Mahoney, la méthode de Givoni se base tout d'abord sur le couple température/humidité mensuel à la différence que ce sont les couples extrêmes (les plus froids et secs et les plus chauds et humides) qui sont pris en compte et non plus les moyennes comme chez Mahoney. Ainsi, on trace ces couples sur le diagramme et on observe les zones dans lesquelles elles sont contenues.

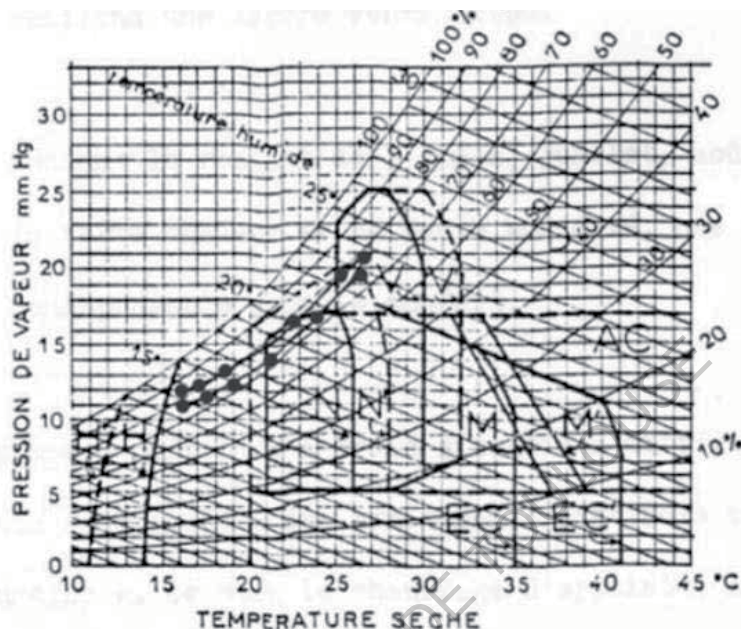


Figure 47 Diagramme bioclimatique de projet – Juan SAENZ DE TEJADA, Proposition d'un habitat économique à base d'énergies nouvelles, 1982.

Dans le cas de ce TPFE, les points sont tous en dehors des zones de chauffage, climatisation et déshumidification (milieu espagnol tempéré chaud). Il y a donc la possibilité d'assurer le confort sans l'aide de la technologie, en mettant en place des stratégies efficaces que sont la ventilation journalière en été et l'utilisation de l'inertie en hiver⁵¹.

Au-delà de préconiser des stratégies à mettre en place en phase de conception, Givoni rentre aussi dans le dimensionnement des enveloppes du bâti. En fonction de la température de base de la région du projet, il dresse les performances thermiques minimales ainsi que conseillées pour les murs et les toitures (résistivité, inertie, etc.). La méthode propose aussi une bibliothèque de matériaux et de leurs propriétés selon leur épaisseur et leur mise en œuvre⁵².

MATERIAUX	Conduc- tivité W/m °C	Poids Spéci- fique Kg/m ³	Chaleur Spéci- fique Wh/Kg °C	Diffu- sivité m ² /h	Capacité Calorifique Volumique Kcal/m ³ °C
PIERRE LOURDE.....	0,85	2800	0,23		560
BRIQUE PLEINE.....	0,8	1800	0,25	1,8.10 ⁻³	360
BRIQUE CREUSE.....	0,58	1200	0,25	1,9.10 ⁻³	174
TUILLES (romaines).	0,7	1900	0,25	1,8.10 ⁻³	350
BOIS.....	0,13 0,2	500 800	0,4 0,4	6,5.10 ⁻⁴ 5,5.10 ⁻⁴	26 64
LOZE de TARIFA....	0,85	2800	0,23		560
VERRE.....	0,70	2700	0,23	1,1.10 ⁻³	540
CHAUX.....				REFLEXION 85 %	
LIEGE.....	0,041	128	0,42	9,38.10 ⁻⁴	1,8
POLYSTYRENE-Ex....	0,035	50	0,46	1,5.10 ⁻³	0,6
PLATRE.....	0,96	1450	0,36	1,6.10 ⁻³	450

Figure 48 Propriétés physiques des matériaux – Juan SAENZ DE TEJADA, Proposition d'un habitat économique à base d'énergies nouvelles, 1982.

⁵¹ SAENZ DE TEJADA, Juan (dir. J. SOUM). Proposition d'un habitat économique à base d'énergies nouvelles. ENSA Toulouse, 1982. (page 40)

⁵² SAENZ DE TEJADA, Juan (dir. J. SOUM). Proposition d'un habitat économique à base d'énergies nouvelles. ENSA Toulouse, 1982. (page 62)

Il dresse aussi un bon nombre de solutions de régulation de la température sans appel à la climatisation et au chauffage, à travers des solutions basées sur l'inertie des matériaux. C'est par exemple le cas de systèmes de stockage des calories de type « gravier » ou « eau-gravier » (Figure 49), seulement supplées par de petits ventilateurs : solution technique mais peu technologique⁵³.

La gestion des ambiances sans faire appel à la technologie peut aussi se faire dans le sens du refroidissement. Comme dans les TPFÉ BERRADA-GOUZI 1977, le déchargement de l'air peut se faire par évaporation d'un bassin d'eau situé en partie centrale du bâtiment.

Cependant, il est important de souligner que ces solutions ne sont pas l'apanage de Givoni, mais que celles-ci sont bien tirées d'un savoir vernaculaire basé sur l'expérience et le bon sens.

Malheureusement pour l'étude, les TPFÉ utilisant les outils de conception présentés ci-dessus ne présentent pas de réalisation architecturale à proprement parler, mais constituent plutôt des études climatiques sur une certaine zone en particulier, débouchant au mieux sur des préconisations programmatiques.

II.4.3) La vision critique du LAB et l'apparition de l'informatique

Le LAB a commencé ses travaux de recherches à l'ENSA à partir de 1982, mais l'étude de la thermique d'un bâtiment avaient commencé dès le début de l'aventure du G2H avec les chercheurs du CNES (voir partie « Du LAB au LRA »).

Dans cette volonté d'intégration des contraintes climatiques dès la phase de conception du projet architectural, les enseignants-chercheurs ont été amenés à prendre position vis-à-vis des différents outils de conception contemporains qui se sont succédés au fil des années.

Si la méthode de Givoni a rapidement pris le pas sur celle de Mahoney, les membres du LAB ont une vision assez critique de celle-ci :

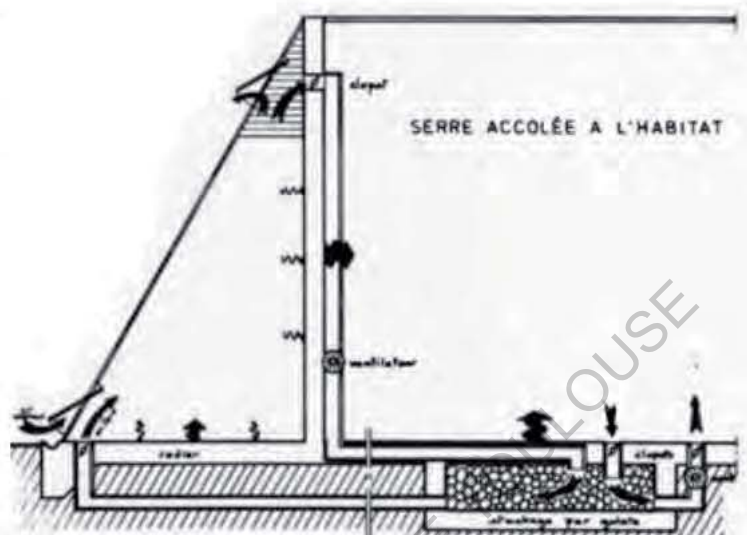


Figure 49 Coupe sur une serre. On retrouve ici une des préconisations formulées par Givoni pour le stockage longue durée de la chaleur excédentaire d'une serre (Pierre-Olivier ABELOOS, Centre d'accueil communautaire à bas profil énergétique, 1987)

⁵³ ABELOOS, Pierre-Olivier (dir. A. CHATELET). Centre d'accueil communautaire à bas profil énergétique. ENSA Toulouse, 1987. (Planche 1)

« Le diagramme bioclimatique constitue encore pour beaucoup de personnes une représentation et un vocabulaire communs et qu'il est pratique pour une première interprétation qualitative. Mais, sans vouloir critiquer les précurseurs dont le travail doit être situé dans son contexte, nous pouvons observer les limites de ce diagramme :

- Les contours des zones sont quantitativement discutables,
- Les zones n'ont de sens que sous certaines conditions climatiques que le diagramme ne fait pas apparaître,
- Une hypothèse sur les apports solaires nuls, alors qu'ils peuvent être déterminants, élimine du diagramme un paramètre essentiel du climat,
- (...) le diagramme n'est en fait vraiment utilisable quantitativement que pour des climats bien spécifiques et connus où l'architecture y est déjà bien étudiée, par exemple les climats méditerranéens⁵⁴. »

Le LAB cherche donc à proposer des outils de conception applicables à tous les climats. A travers les différents ouvrages publiés au fil des années, le LAB s'attache à étudier les climats de manière générale, en les classant par catégories. A partir de cette classification, sont proposés des outils de conception pour les dispositifs architecturaux de gestion des apports solaires. Les phénomènes climatiques, tels que les perturbations dues au vents, sont aussi abordés tant dans leurs contextes d'apparition que dans les moyens de les résoudre.

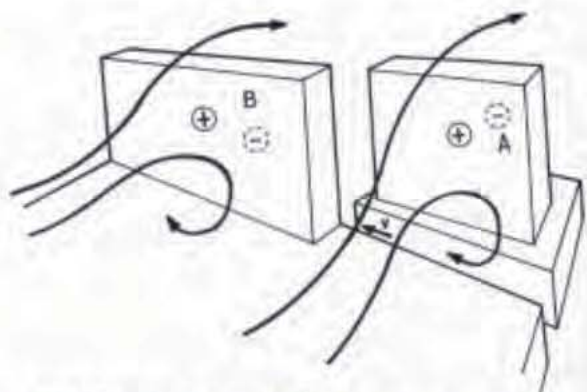


Figure 50 Schéma expliquant la formation des courants d'air. Chatelet Alain, Fernandez Pierre, Lavigne Pierre. Architecture climatique : une contribution au développement durable. Tome II : "Concepts et dispositifs" (page 48)

⁵⁴ Chatelet Alain, Fernandez Pierre, Lavigne Pierre. Architecture climatique : une contribution au développement durable. Tome II : "Concepts et dispositifs". Edisud, 1998. Page 24.

Parmi les outils d'aide à la conception, des aides déjà présentes chez Givoni se voient être perfectionnées, notamment les outils de calculs pour les masques solaires d'éléments architecturaux tels que les brise-soleil ou les loggias⁵⁵.

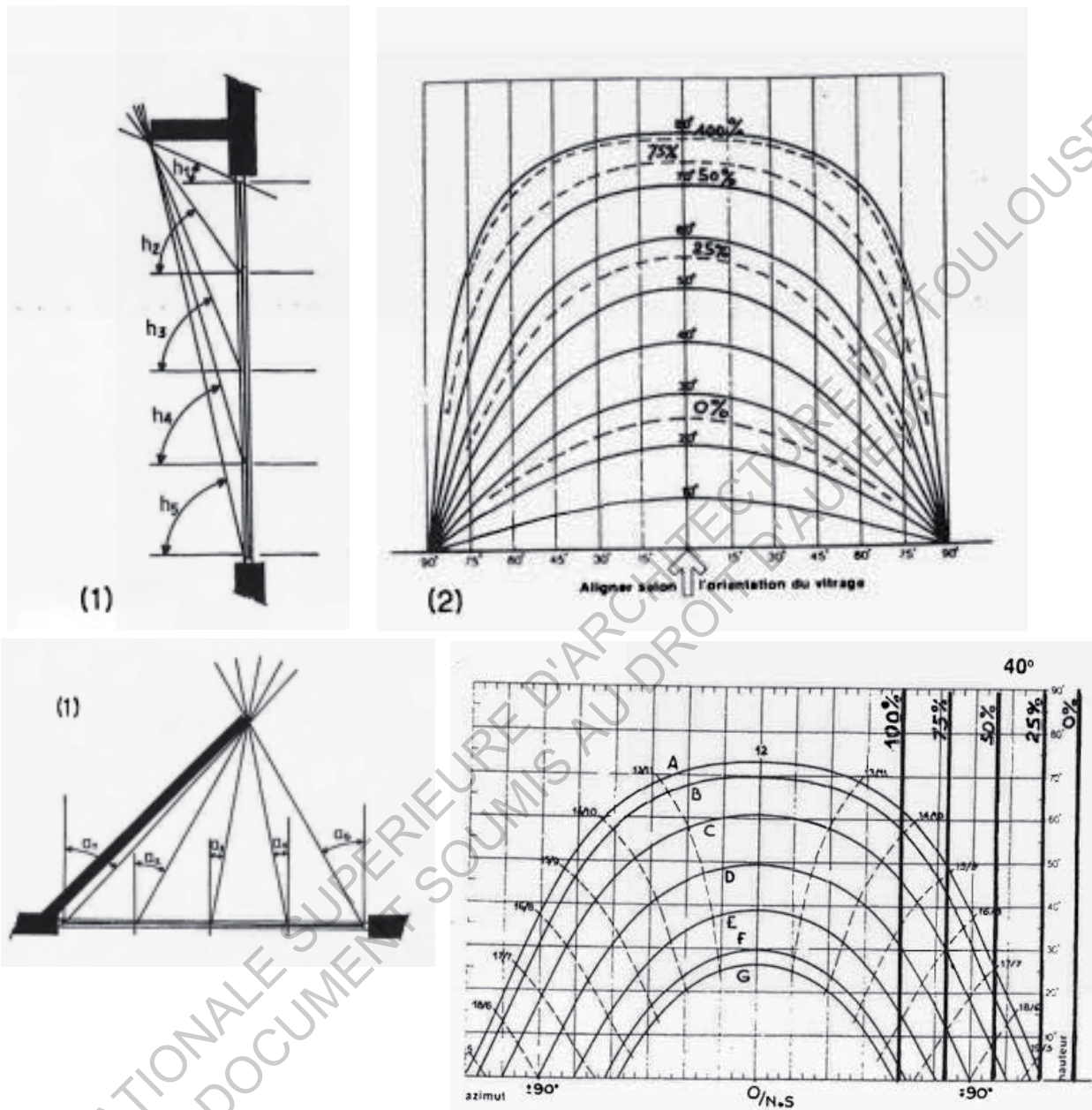


Figure 51 Diagrammes d'occultation solaire mis au point par le LAB pour brise soleil et murs verticaux. (Chatelet Alain, Fernandez Pierre, Lavigne Pierre. Architecture climatique : une contribution au développement durable. Tome II : "Concepts et dispositifs, page 40)

Ces diagrammes d'étude du masque solaire permettent, quel que soit la position du soleil ou bien l'orientation du vitrage, de déterminer le pourcentage de vitrage exposé au rayons solaire. Cette méthode, d'abord uniquement réalisable « à la main », se verra gagner en rapidité avec les progrès de l'informatique.

⁵⁵ Chatelet Alain, Fernandez Pierre, Lavigne Pierre. Architecture climatique : une contribution au développement durable. Tome II : "Concepts et dispositifs". Page 40

L'apparition progressive de l'outil informatique dans le processus de conception permet par ailleurs de s'affranchir des méthodes empiriques telles que Mahoney et d'aller plus loin que ce que peut proposer Givoni. Ces nouveaux outils, utilisables sous forme de logiciels, sont néanmoins assez contraignants à mettre en œuvre. Les méthodes présentées précédemment, notamment celle de Givoni, voient leur utilisation perdurer, notamment lors de phases assez en amont de la conception, même si eux-aussi peuvent être utilisés automatiquement par l'intégration informatique.

Néanmoins, peu de TPFE font état de l'utilisation de logiciels informatiques comme outils d'aide à la conception architecturale. Les premiers TPFE à en faire usage apparaissent à la fin des années 80.

Par exemple, le travail mené par Ouarda DJEBROUNI en 1989 a constitué à l'élaboration d'un logiciel en collaboration avec la société HLM Promologis⁵⁶ et dans le cadre de la recherche sur le « coût global » menée par Jean-Pierre CORDIER⁵⁷. Ces recherches visent à prendre en compte les coûts du bâtiment de sa conception à son démantèlement, et plus seulement à sa construction. Evidemment, la prise en compte du climat est indispensable afin d'estimer les apports solaires et donc chiffrer les coûts d'exploitation, relatifs notamment au chauffage, l'éclairage ou l'entretien.

Cet outil est utilisé comme une aide à la décision entre architecte et bailleurs sociaux, afin d'équilibrer les compromis entre forme architectural, coût de construction pour le bailleur et charges d'exploitation pour le locataire.



Figure 52 Elévation du projet 1 en deux bandes (Ouarda DJEBROUNI. Création d'un logiciel, 1989)



Figure 53 Elévation du projet 2 mono-bande (Ouarda DJEBROUNI. Création d'un logiciel, 1989)

⁵⁶ DJEBROUNI, Ouarda (dir. J-P CORDIER). Création d'un logiciel. Optimisation architecturale des logements locatifs aides. ENSA Toulouse, 1989. (Non paginé)

⁵⁷ Laboratoire d'architecture bioclimatique (LAB). Dimension climatique de l'architecture : le coût global, approche théorique. Toulouse, Ecole d'architecture de Toulouse, 1984.

Le sujet de ce projet était la comparaison à l'aide de ce logiciel de trois solutions architecturales, chacune présentant des caractéristiques différentes.

- Le projet 1 est un compromis entre qualité architecturale et prix pour le promoteur.
- Le projet 2 mise sur l'uniformité pour faire baisser le prix pour le promoteur.
- Le projet 3 insiste sur la qualité architecturale et sur la réduction des charges locatives.

Grâce à l'outil développé dans ce TPFE, le moyens de comparaison vont au-delà du simple critère esthétique ou financier, ils permettent d'envisager la pérennité d'un projet à long terme et de pouvoir « mesurer » l'impact d'une intention architecturale dans le bilan financier.



Figure 54 Elévation du projet 3 "en rue" (Ouarda DJEBROUNI. Création d'un logiciel, 1989)

COUT GLOBAL P.L.A. logiciel d'optimisation architecturale RESULTATS GLOBAUX COMPARES							
Maitre de l'ouvrage	PROMOLOGIS SAMAI						
nom de l'opération	L'HERS, logements PLA très économique à Toulouse						
adresse	chemin du Château de l'Hers, 31000 Toulouse						
architecte	Ecole Architecture Toulouse, LAB Cordier responsable projet						
bureau d'étude	O.T.H. à Toulouse						
bureau de contrôle	C.E.P. à Toulouse						
PARTICULARITES DE CHAQUE OPTION				Sigles			
2 bandes en collectif : 25 logements collectifs (BEKKOUCHA + ARCANGELI)				PROJET 1			
1 bande mixte : 13 individuels + 11 collectifs (BENTZ + LEMARC)				PROJET 2			
2 bandes mixtes : 16 individuels + 6 collectifs (LANNES)				PROJET 3			
Evaluations le : 26/6/89							
		OPTIONS					
		PROJET 1	PROJET 2	PROJET 3	unités		
moyenne des charges par LOCATAIRE	loyers logements et annexes, droits	1636	1639	1393	F/mois		
	entretien, nettoyage	333	145	386	F/mois		
	chauffage, eau chaude, sanitaires	109	112	122	F/mois		
	- CHARGES TOTALES	1 978	1 894	1 701	F/mois		
	- taux d'effort global	32,97	28,27	27,19	%/ann		
bilan pour le MAITRE DE L'OUVRAGE	- dépenses loy. plat. sur durée emprunt	502 894	533 180	1 157 325	F ttc		
	+ prix de revient et honoraires	8 994 366	8 788 156	9 400 791	F ttc		
	- charge foncière	923 204	916 992	914 525	F ttc		
	- maintenance sur durée emprunt	1 279 863	1 183 830	1 142 066	F ttc		
	- COUT GLOBAL	11 700 299	11 427 169	12 623 506	F ttc		
BATIS		PRIN REVIENT bêt. et honoraires /PRIN REFERENCE bêt.	97	101	128	%	
	/surface habitable	4838	4391	5518	Ftts/m2		
LOYER logements et droits	/loyers platondé	73	73	62	%		
	/surface corrigée	65	67	74	Ftts / m2		
SURFACE HABITABLE totales	/Surf HoraOuvre Nettes	86	93	75	%		
	/surf habitable mini	103	102	87	%		
	/ surf corrigée totale	61	67	63	%		
surf. ENVELOPPE logements	/surface habitable	141	154	211	%		
surface VITREE logements	/surface habitable	16	5	15	%		
CONTRIBUTION SOLAIRE sans consommations		9	3	11	%		
	VOIE et parkings	27	32	27	m2 / logt		
QUANTITES		nombre	LOGEMENTS	- TOTAL			
			dont : - collectifs	25	24	22	U
			- individuelle	0	13	16	U
			garages privés	6	0	8	U
	surfaces		habitées	1548	1642	1196	m2
			Horz Ouvre Nettes	1791	1771	1597	m2
			espaces verts collectifs	592	500	719	m2
			jardins privés	264	400	302	m2
			voies automobile	623	770	603	m2
	coefficients P.O.S.		occupation du sol	0,8	0,73	0,60	m2/tt
	(valeurs limites indiquées à gauche)		emprise bâtiments	0,27	0,29	0,24	m2/tt
			espaces verts	0,22	0,21	0,22	coeft
			1 place stationnement pour	60	59	57	m2 / HOM

Figure 55 Tableau comparatif des trois différents projets : un nouvel outil d'aide à la prise de décision (Ouarda DJEBROUNI. Création d'un logiciel, 1989)

II.5) Une remise en cause des manières d'habiter

Si l'architecture bioclimatique a longtemps été considérée comme marginale dans le paysage du bâtiment français, c'est parce qu'elle prônait une toute autre manière d'habiter que celle que nous avons l'habitude de pratiquer. Ces nouvelles valeurs apportées par le bioclimatique apportent à la fois une réflexion sur l'environnement comme nous avons pu le voir lors des parties précédentes, mais aussi sur l'aspect technologique et social, à contre-courant de ce qui est proposé par l'architecture moderne.

II.5.1) La remise en cause de la notion de « confort »

Beaucoup de TPFE issus du corpus accordent une grande importance aux phénomènes physiologiques et thermiques à l'origine de la notion de confort. Ce faisant, ils développent une vision plutôt critique du mode traditionnel d'habiter, basé sur le confort permanent et la température constante quelle que soit la saison.

Pour eux, la fluctuation de températures au sein d'un bâtiment est normale et doit être acceptée comme telle. Le recours aux mécanismes de traitement d'air, notamment la climatisation, est ainsi vivement critiquée.

Il est aussi considéré comme acceptable que les conditions intérieures d'un bâtiment puissent être ponctuellement inconfortables durant quelques jours, au plus fort des saisons chaudes comme froides.

« Accepter de vivre dans un tel habitat (bioclimatique) consiste en un choix délibéré. (...) L'utilisateur doit accepter les rythmes saisonniers, les excès du climat et composer avec. (...) De ce fait, ce type d'habitat implique une discipline de vie, une attention particulière à l'environnement que l'occupant m'assume plus dans les habitations actuelles⁵⁸. »

Ici, c'est le mode de vie contemporain qui est clairement visé. L'architecture bioclimatique pousse à trouver des solutions pour devenir acteur actif de son confort (en mettant des vêtements plus chauds lors des périodes de grand froid par exemple) et pour s'affranchir des systèmes de gestion des ambiances consommateur de ressources dont nous pourrions nous passer.

« L'Espagne reste un pays privilégié par son implantation : les heures d'ensoleillement y sont nombreuses, il y a peu ou pas besoin de chauffage et une bonne isolation à l'habitat peut éviter d'avoir recours à la climatisation.

⁵⁸ COUEILLES, Evelyne. Matériaux traditionnels pour un habitat à bas profil énergétique. 1980. Page 122.

Mais, le retour aux énergies naturelles (...) demande un changement profond des mentalités. L'industrialisation et la croissance accélérée (...) ont contribué à une surconsommation énergétique⁵⁹. »

Par ailleurs, même si l'on accepte que le passage à l'architecture bioclimatique engendre parfois des périodes d'inconfort en période très chaude ou très froide, les critiques par rapport au confort censé être apporté par l'architecture moderne ne sont pas en reste :

« Basé sur la Charte d'Athènes, le plan d'urbanisme reflète bien ses grands principes. (...) Cette dispersion de l'habitat mène à un écoulement très anarchique des vents qui soufflent souvent dans cette région selon des directions bien précises (...)

L'observation du tissu ancien permet de tirer des informations qui s'appuient sur l'expérience. (...) Les maisons traditionnelles passent d'un étage à deux étages ce qui permet, tout en utilisant le relief du terrain, d'accéder à des hauteurs un peu plus importantes sans offrir de prise supérieure au vent (...) ce dont les planificateurs de la ville nouvelle n'ont pas tenu compte⁶⁰. »

« (Au sujet des ambiances intérieures au Maroc) Au niveau des matériaux, ce qui est évident, c'est que les maisons modernes construites en béton ou en parpaings sont plus chaudes et on un écart qui ne correspondent pas aux données climatiques. On ne peut pas proposer du béton pour des habitations qui doivent supporter un tel climat. Il faut que le matériau ait des qualités thermiques correspondantes aux données climatiques⁶¹. »

Au fil de ces témoignages extraits des TPFE de l'ENSA de Toulouse, on observe qu'une partie des étudiants se constitue une vision critique de la modernité et cherche à s'affranchir de sa production. Les intentions présentées ici trouvent ainsi écho aux principes de l'architecture bioclimatique, dans laquelle ils ont la possibilité d'exploiter ces intentions d'indépendance.

En revanche, si cette volonté de couper au modernisme est un acte essentiel du bioclimatique, c'est aussi elle qui l'a contraint à se marginaliser auprès du grand public.

⁵⁹ SAENZ, Jean. Proposition d'un habitat économique à base d'énergies nouvelles. 1982. Page 113.

⁶⁰ COUEILLES, Evelyne. Matériaux traditionnels pour un habitat à bas profil énergétique. 1980. Page 112.

⁶¹ BERRADA-GOUZI, Mohamed. Approche de l'habitat traditionnel marocain. 1977. Page 36.

II.5.2) Passer d'habitant à « acteur » de son environnement

L'affranchissement envers la technologie pour lequel milite le mouvement bioclimatique nécessite en même temps un recentrage de l'Homme dans son environnement bâti. En l'espace de quelques décennies, les machines de traitement des ambiances ont réduit l'Homme à un simple spectateur des espaces. Le bioclimatique prône un retour de l'utilisateur acteur sur son bâti, comme c'était le cas au temps de l'architecture vernaculaire.

Sans les machines, le confort thermique est assuré par des dispositifs architecturaux dont le fonctionnement peut varier d'une période à l'autre, que ce soit à l'échelle de l'année ou bien même de la journée. Cette stratégie évolutive des installations nécessite une implication de l'habitant. Celui-ci doit savoir maîtriser les dispositifs qui l'aident à maintenir une ambiance intérieure confortable, mais aussi être à l'écoute des conditions climatiques extérieures et pouvoir agir en conséquence. Ce retour aux sources de l'action sur notre environnement proche est un pas difficile et nécessite un engagement total de l'utilisateur, car de légers manquements peuvent entraîner plusieurs jours d'inconfort.

Ainsi, la ventilation, les différentes configurations des murs trombes, les protections solaires mobiles ou nocturnes nécessitent une implication jugée naturelle il y a quelques années mais qui a perdu de son sens avec l'automatisation des systèmes intérieurs. Au-delà de l'implication de l'habitant envers les dispositifs architecturaux de gestion du confort, la nature fixée des espaces est elle aussi remise en cause. Comme expliqué par BERRADA-GOUZI⁶², la « polyvalence saisonnière », ainsi que la « polyvalence quotidienne » est l'art de redéfinir les usages dans une pièce selon l'évolution des conditions climatiques au fil d'une temporalité donnée. Par exemple, utiliser les étages inférieurs voire tous-terrains lors de périodes de forte chaleur, ou évoluer dans des pièces à l'Est le matin et à l'Ouest le soir en période d'hiver.

Le TPE de Jean BARRUEL⁶³ milite lui-aussi pour la variabilité des usages selon les saisons, par la translation nord-sud des activités selon que l'on se cache (orientation Nord, été) ou que l'on cherche les apports solaires (orientation Sud, hiver).

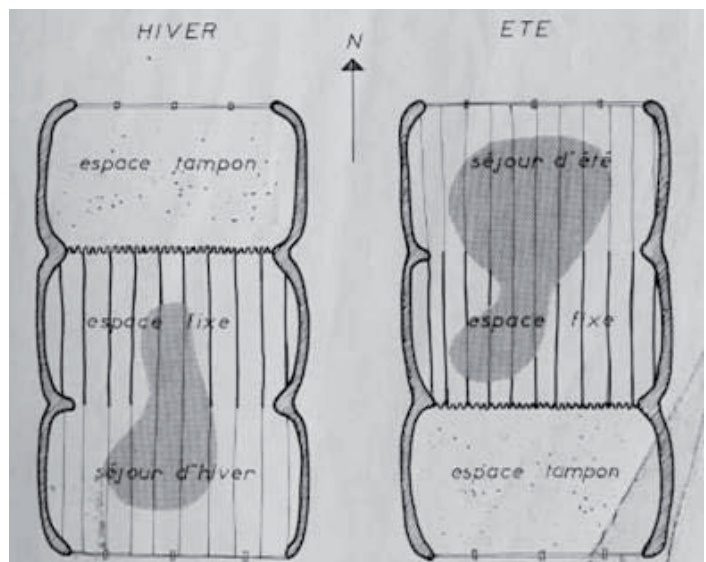


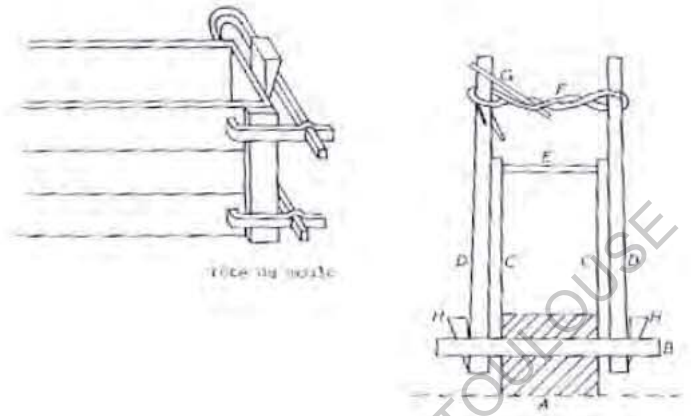
Figure 56 Variation de l'usage des pièces selon la saison (Jean BARRUEL et Claude RAYMOND. Proposition d'un équipement d'habitation à conservation d'énergie, 1976)

⁶² BERRADA-GOUZI, Mohamed. Approche de l'habitat traditionnel marocain. 1977. Page 34.

⁶³ BARRUEL, Jean et RAYMOND, Claude. Proposition d'un équipement d'habitations à conservation d'énergie. 1976. Page 42.

La phase « d'exploitation » d'un bâtiment n'est pas la seule que les partisans du bioclimatique cherchent à reconquérir. La tendance de l'auto construction y est aussi très développée et valorisée, même si cela s'applique quasi exclusivement à des petits projets.

En tout cas, les étudiants de l'école expérimentent cette autre façon de réaliser un projet architectural, où s'en approchent fortement ⁶⁴.



- F. Corda qui lie les poteaux par le haut.
- G. Petit bâton qui brida la corde à volonté et qui vient s'arrêter contre le poteau.
- H. Coins qui entrent dans les mortaises de la clef et qui servent à pousser contre le mur.

Figure 58 Détail de moule à pisé. BENAZERAF et BENSLIMANE, Ecole d'architecture au Maroc, 1978



Figure 57 Page du TPFE Manuel d'Architecture, réalisé par Daniel Hermet en 1978. Ce passage, réalisé sous forme de bande dessinée, retrace les étapes de construction d'un zome par ses habitants, peut-être l'étudiant lui-même.

⁶⁴ HERMET, Daniel. Manuel d'architecture. 1978. Page 49.

BENAZERAF A. et BENSLIMANE Kh. Ecole d'architecture au Maroc. 1978. Page 97.

II.5.3) Un renouvellement des formes architecturales

Comme expliqué précédemment, le mouvement bioclimatique s'est constitué en réaction au mouvement moderne, sur la position par rapport aux énergies, mais aussi du point de vue des formes architecturales.

Alors que l'architecture moderne introduit de nouvelles techniques, tels que les toits plats, certains exemples tirés du bioclimatique vont complètement à l'encontre de cet effacement du toit en le faisant courir jusqu'au sol⁶⁵.

De même, alors que le mouvement moderne tente de s'affranchir du terrain en mettant en œuvre des pilotis, le mouvement bioclimatique accorde une profonde importance à l'insertion du bâtiment dans la tectonique du site. Ainsi, certains projets proposent d'enterrer partiellement le bâtiment.

Ces nouvelles manières de concevoir la constitution et l'implantation d'un bâtiment trouvent par ailleurs leur justification par les problématiques liées à la vulnérabilité aux vents, ainsi qu'à la performance thermique de l'enveloppe. Néanmoins, ces expérimentations ne constituent qu'un retour aux sources vers le savoir-construire vernaculaire.

En revanche, l'intégration de dispositifs de gestion du confort thermique à l'architecture elle-même entraîne un renouvellement rafraichissant des formes architecturales et de l'organisation en plan⁶⁶.

Ainsi, des tentatives d'appropriation de formes nouvelles apparaissent comme le zome⁶⁷, apparu au cours des années 60 dans des communautés marginales américaines et le dôme géodésique⁶⁸, popularisé par Buckminster Fuller lors de la seconde moitié des années 60.

L'aménagement autour d'un espace proche de la sphère trouve son intérêt dans sa forte compacité, ainsi que par sa solidité structurelle accrue.

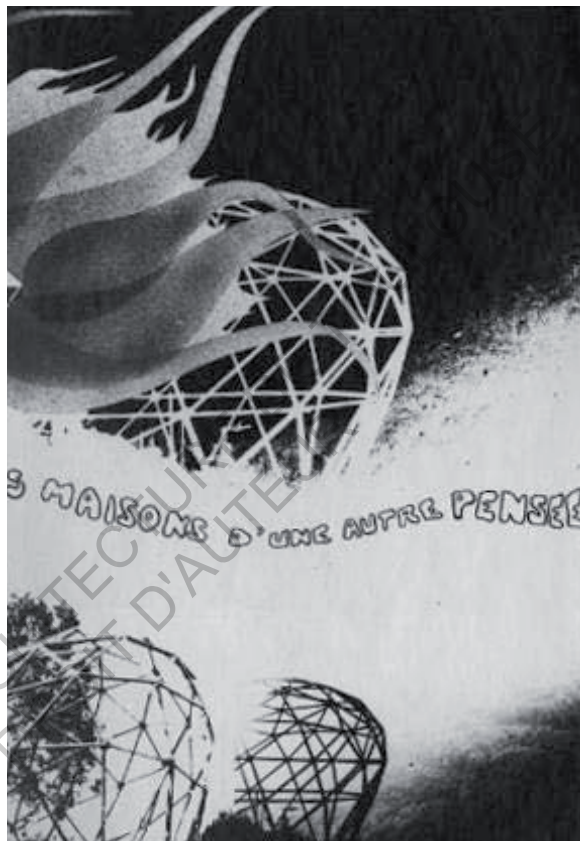


Figure 59 Illustration du zome et de sa forme particulière. Par ailleurs, le directeur de ce mémoire n'est autre que Jean SOUM, le père du Zome en France (Daniel HERMET. Manuel d'Architecture, 1978)

⁶⁵ ABELOOS, Pierre-Olivier. Centre d'accueil communautaire à bas profil énergétique. 1987. Planche numéro 3.

⁶⁶ HERMET, Daniel (dir. J. SOUM). Manuel d'architecture. ENSA Toulouse, 1978. (Page 36)

⁶⁷ ABELOOS, Pierre-Olivier. Centre d'accueil communautaire à bas profil énergétique, 1987 (Planche numéro 2) HERMET, Daniel. Manuel d'architecture. 1978

⁶⁸ FALTREP et MEUNOT. Proposition d'habitat écologique en climat continental. 1976 (Planche numéro 1)

Dans la plupart des projets, les différentes fonctions de la maison s'articulent tout autour d'un espace central, généralement le séjour⁶⁹. Celui-ci joue le rôle d'un lieu de vie, mais aussi d'un espace de distribution, limitant ainsi au maximum les circulations horizontales. Par ailleurs, les limitations entre les pièces se font parfois de manière légère, dans une recherche de décloisonnement de l'espace

Dans ces espaces, on retrouve souvent les dispositifs de type murs capteurs à forte inertie, valorisés dans le plan intérieur des bâtiments et occupant une place souvent centrale au sein de l'espace de séjour.

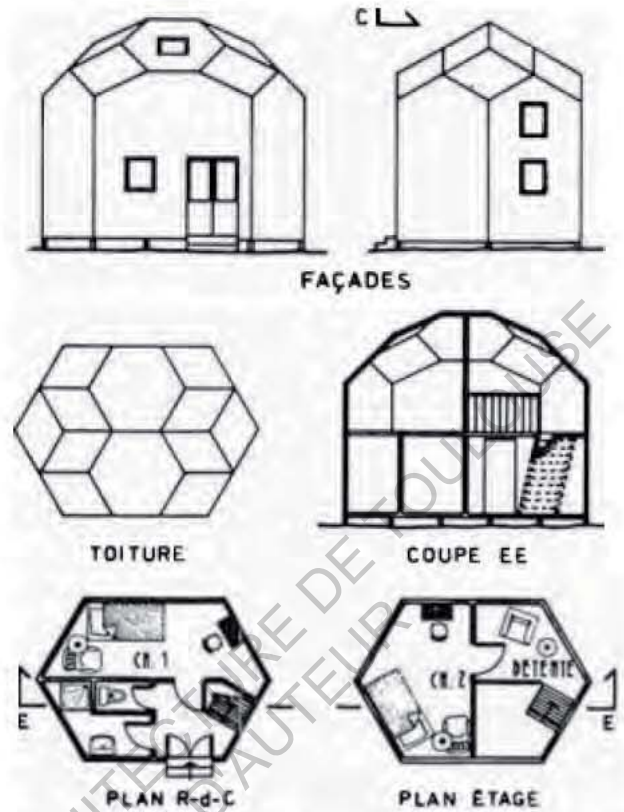


Figure 60 Zones pour habitation temporaire inspirés du travail de Jean SOUM (Pierre-Olivier ABELOOS. Centre d'accueil communautaire à bas profil énergétique, 1987



Figure 61 Aménagement d'unités d'habitations dans un volume sphérique (FALTREP et MEUNYOT. Proposition d'habitat écologique en climat continental, 1976)

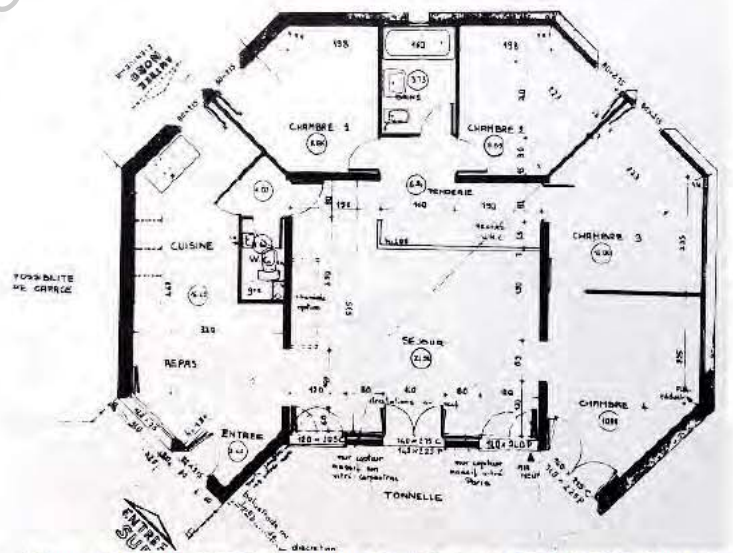


Figure 62 Plan de RDC de la maison Marjolaine de J-P CORDIER. Ministère de l'Urbanisme et du Logement, Agence Français pour la maîtrise de l'énergie. 5000 Maisons solaires, 1983

⁶⁹ Ministère de l'Urbanisme et du Logement, Agence Français pour la maîtrise de l'énergie. 5000 Maisons solaires. Editions du Moniteur, Paris, 1983. (Page 182)

Les dispositifs architecturaux tels que les serres influent aussi largement sur la composition des façades ainsi que sur l'espace intérieur. Généralement adossé à la pièce de vie centrale, les serres sont à mi-chemin entre l'intérieur et l'extérieur, créant des transitions et des interpénétrations entre les ambiances⁷⁰. Ce rôle justifie ainsi une fonction esthétique en plus de l'utilité technique présenté précédemment.



Figure 62 Michel Gerber, Maison Sidler à Félines



Figure 614 Perspective d'ambiance à l'intérieur de la serre : interaction intérieur/extérieur (FALTREP et MEUNOT. Proposition d'habitat écologique en climat continental, 1976)

⁷⁰ FALTREP et MEUNOT (dir. J-P CORDIER). Proposition d'habitat écologique en climat continental. ENSA Toulouse, 1976. (Planche numéro 3)

Conclusion

Parmi les disciplines ayant été enseignées à l'ENSA de Toulouse, le bioclimatique n'est pas vraiment la plus représentative où celle qui serait citée en premier.

Cependant, nous avons vu à travers ce travail de recherche que le bioclimatique et l'ENSA de Toulouse ont pu nouer des relations privilégiées lors de périodes plus anciennes, notamment dans les années 70 et 80.

La création de l'ENSA de Toulouse est allée de pair avec l'apparition du bioclimatique. Par l'intermédiaire de professeurs emblématiques de l'école tels que CORDIER, GERBER, SOUM ou CHATELET, une structuration s'est mise en place. L'ENSA Toulouse profite de l'engouement de ces professeurs pour le bioclimatique et se voit dotée du premier laboratoire de son histoire en 1982. Le Laboratoire d'Architecture Bioclimatique a ainsi pris part aux recherches sur la climatologie, les comportements thermiques, etc. Grâce au travail de ces enseignants-chercheurs et par la publication d'ouvrages d'aide à la conception architecturale, la discipline du bioclimatique s'est elle aussi développée à travers les années 1980.

Ceux-ci vont aussi coordonner des ateliers de projet à l'ENSA, voire superviser les Travaux Personnels de Fin d'Etudes (TPFE) de bon nombre d'étudiants. A travers la convergence des différents acteurs de l'école autour des TPFE et selon une volonté d'échange mutuel, les idées bioclimatiques ont pu s'exprimer très visiblement par les étudiants.

Les problématiques posées par ces derniers dépasseront largement le cadre de la région toulousaine, et viendront questionner l'adaptabilité de l'architecture face au climat, ainsi que l'intégration des techniques de gestion des ambiances à l'architecture.

Dans une position contraire à celle tenue par le modernisme, une recherche d'indépendance vis à vis de la technologie et de l'énergie se met en place. Le positionnement est double : si la technologie est rejetée au sein d'un bâtiment au profit de systèmes intégrés architecturalement, elle prend de plus en plus de place en phase de conception où l'observation du climat et la modélisation de certains phénomènes thermiques demandent une approche de plus en plus pointue. Ainsi, les TPFE étudiants sont le reflet de cette double position, ainsi que de la structuration des outils d'aide à la conception, grande intention de base portée par le LAB.

A travers le bioclimatique, les TPFE des étudiants auront aussi eu le mérite de proposer un renouvellement des formes, des matériaux et des usages, le tout dans une démarche très appliquée, allant parfois jusqu'à des expériences d'auto-construction.

Très orienté sur le logement, on peut regretter que le bioclimatique n'ait pas forcément réussi à se développer dans d'autres types de programmes, mais on ne peut que louer l'effort fait par les étudiants d'intégrer les bâtiments bioclimatiques au contexte urbain, là où les apports solaires sont plus difficiles mais où les enjeux sont les plus importants.

Dans une position plutôt marginale au jusqu'à la moitié des années 1980, le bioclimatique a ensuite réussi à se démocratiser et à s'ouvrir à un plus large public. Malheureusement, c'est

aussi à ce moment que commence son déclin : la notion de développement durable et surtout l'apparition du label HQE apportent normalisation, intégration d'outils techniques et prennent le pas sur le bioclimatique, dont les valeurs d'indépendance, d'expérimentation et de non-conformisme peinent à survivre dans le nouveau cadre légal.

Si le bioclimatique a perdu de son influence aujourd'hui, les archives de l'ENSA de Toulouse ont collecté une bonne partie de son histoire au travers des TPFE. Ce que j'ai cherché à illustrer à travers ce travail de recherche, c'est le dynamisme de ce courant ainsi que la justesse des travaux des étudiants. Cette tentative de valorisation de leur travail est très importante à mes yeux car je suis convaincu qu'à l'aube des nouveaux défis que les étudiants architectes d'aujourd'hui auront bientôt à réaliser, nous avons la possibilité de nous inspirer du bioclimatique ainsi que du travail acharné de nos prédécesseurs.

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

Bibliographie

Par thèmes

Puis par ordre chronologique

Développement durable et bioclimatique

En Architecture

BANHAM, Reyner. The architecture of the Well-tempered Environment. Architectural Press, Londres, 1969.

GIVONI, Baruch. L'Homme, l'Architecture et le Climat. Editions du Moniteur, 1978.

LEFAIVRE, Liane et TZONIS, Alexander. Critical Regionalism: Architecture and Identity in a Globalized World. Prestel, 1978.

MAZRIA, Edward. Le guide de la maison solaire. Parenthèses, 1981.

CAMOUS, Roger. L'habitat bioclimatique. Services Complets d'Edition Inc, Montréal , 1983.

Ministère de l'Urbanisme et du Logement, Agence Française pour la maîtrise de l'énergie. 5000 Maisons solaires. Editions du Moniteur, Paris, 1983.

LIEBARD, Alain. Guide de l'architecture bioclimatique : haute qualité et développement durable. Comité d'action pour le solaire, 1996.

VIGATO, Jean-Claude. Régionalisme. Editions de La Villette, Paris, 2008.

Publications des équipes de recherche de l'ENSA de Toulouse

Laboratoire d'architecture bioclimatique (LAB). 2ème colloque « habitants de maisons solaires » : rapport de synthèse. Toulouse, Ecole d'architecture de Toulouse, 1982.

Laboratoire d'architecture bioclimatique (LAB). Recherche pour la constitution d'un atlas bioclimatique régional. Toulouse, Ecole d'architecture de Toulouse, 1984.

Laboratoire d'architecture bioclimatique (LAB). Dimension climatique de l'architecture : le coût global, approche théorique. Toulouse, Ecole d'architecture de Toulouse, 1984.

Laboratoire d'architecture bioclimatique (LAB). Dimension climatique de l'architecture : suivi d'application du coût global. Toulouse, Ecole d'architecture de Toulouse, 1987.

Laboratoire d'architecture bioclimatique (LAB). Dimension climatique de l'architecture : application du coût global aux logements locatifs aidés par l'Etat. Toulouse, Ecole d'architecture de Toulouse, 1989.

SOUM, Jean. De la géométrie et de la réalité des zones. Laboratoire GRECAU, Toulouse, 1989.

FERNANDEZ, Pierre. Stratégie d'intégration de la composante énergétique dans la pédagogie du projet d'architecture, Thèse. Paris, Ecole des Mines, Déc 1996.

SOUM, Jean. De la thermique d'un zome. Laboratoire GRECAU, Toulouse, 1997.

LASSANCE, GUILHERME. « Les configurations référentielles : instrument conceptuel du projet d'ambiance ». Cahiers de la Recherche en Architecture n°41, Ed. Parenthèses, février 1998.

CHATELET Alain, FERNANDEZ Pierre, LAVIGNE Pierre. Architecture climatique : une contribution au développement durable. Tome II : "Concepts et dispositifs". Edisud, 1998.

CHATELET, Alain. Ambiances et écologie, la filiation historique dans la recherche architecturale française. Cahiers de la Recherche Architecturale, Editions Parenthèses, N°42/43, 1998 (p117-126)

SOUM, Jean. Le Zome, vivre sous une belle étoile. Autoédition, Toulouse, 2010

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

Table des annexes

Annexe 1 : Table des documents dépouillés

Annexe 2 : Grille d'analyse du corpus de TPFE

Annexe 3 : Exemple de grilles d'analyse remplies

Annexe 4 : Diagramme Psychrométrique

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

Annexe 1 : Table des documents dépouillés

Tous les documents suivants sont stockés aux archives de la bibliothèque de l'ENSA de TOULOUSE.

FRANQUES, A et ROUSSEAU, D (dir. J-P CORDIER). Vers un habitat économique. ENSA Toulouse, 1975. (EA 23/75/26)

CLAUZADE, C et GUIMBAL, J-P (dir. J-P CORDIER). Confort thermique et économie d'énergie. ENSA Toulouse, 1975. (EA 23/75/15)

FALTREP et MEUNOT (dir. J-P CORDIER). Proposition d'habitat écologique en climat continental. ENSA Toulouse, 1976. (EA 23/76/44)

BARRUEL, Jean et RAYMOND, Claude (dir. M. GERBER). Proposition d'un équipement d'habitation à conservation d'énergie. ENSA Toulouse, 1976. (EA 23/76/27)

BERRADA-GOUZI, Mohamed (dir. M. GERBER). Approche de l'habitat traditionnel marocain. ENSA Toulouse, 1977. (EA 23/77/01)

BENZERAF, A et BENSLIMANE, Kh (dir. J-P Cordier). Ecole d'architecture au Maroc. ENSA Toulouse, 1978. (EA 23/78/54)

MARIOTTO, Alain (dir. J-P Cordier). Habitat bioclimatique. ENSA Toulouse, 1978. (EA 23/78/06)

CHAMI, Ahmed (dir. J-P CORDIER). Habitat bioclimatique dans la région de Fès. ENSA Toulouse, 1978. (EA 23/78/39)

HERMET, Daniel (dir. J. SOUM). Manuel d'architecture. ENSA Toulouse, 1978. (EA 23/78/30)

MAHMOUN, Mohamed (dir. J-P CORDIER). Centre de santé médico-social et hospitalier. ENSA Toulouse, 1979. (EA 23/79/32)

COUEILLES, Evelyne (dir. M. GERBER). Matériaux traditionnels pour un habitat à bas profil énergétique. ENSA Toulouse, 1980. (EA 23/80/304)

MOTREFF, Gérard et SCHNEIDER, Franz (dir. M. GERBER). Espaces serres. ENSA Toulouse, 1980. (EA 23/80/303)

DUBOURDIEU, J (dir. M. GERBER). Bioclimatique autogéré. ENSA Toulouse, 1980. (EA 23/80/327)

CONINCK, Serge (dir. J. SOUM). Collectifs solaires à Billères. ENSA Toulouse, 1981. (EA 23/81/396)

MAYMARD, Philippe (dir. J-P CORDIER). Energie solaire en construction dense. ENSA Toulouse, 1981. (EA 23/81/418)

IBOS, Paul (dir. M. GERBER). Urbanisme et soleil. ENSA Toulouse, 1981. (EA 23/81/430)

GRENAILLE, Marie-Claude (dir. J. SOUM). Le Végétal et la ville. ENSA Toulouse, 1982. (EA 23/82/469)

SAENZ DE TEJADA, Juan (dir. J. SOUM). Proposition d'un habitat économique à base d'énergies nouvelles. ENSA Toulouse, 1982. (EA 23/82/511)

CANET, Paul, VAISSE, Michel et TILLOUS, Marc (dir. J-P CORDIER). Quelle architecture solaire ? ENSA Toulouse, 1983. (EA 23/83/613)

BOURDET, François (dir. J-P CORDIER). Centre médical de groupe à bas profil énergétique. ENSA Toulouse, 1985. (EA 23/85/0760)

AGRO, Eric (dir. A. CHATELET). Analyse bioclimatique assistée. ENSA Toulouse, 1985. (EA 23/85/0781)

ABELOOS, Pierre-Olivier (dir. A. CHATELET). Centre d'accueil communautaire à bas profil énergétique. ENSA Toulouse, 1987. (EA 23/87/0941)

BOUTARIC, Jean-Luc et MOUYEM, Akim (dir. M. GERBER). Projection d'un centre hospitalier en terre dans le milieu rural marocain. ENSA Toulouse, 1988. (EA 23/88/76)

DRABO, Azara (dir J-P CORDIER). Un Habitat collectif à Ouagadougou. ENSA Toulouse, 1988. (EA 23/88/44)

DJEBROUNI, Ouarda (dir. J-P CORDIER). Création d'un logiciel. Optimisation architecturale des logements locatifs aides. ENSA Toulouse, 1989. (EA 23/89/1131)

Annexe 2 : Grille d'analyse du corpus de TPFE

Nom du document :	
Référence :	Année :
Etudiant :	Encadrant :

Domaine	Critère	description
Lexical	mots-clefs employés Entrées dans mémoire	
Intentionnel	Volontés principales Entrée dans le sujet mémoire Position de l'étudiant / encadrant	
Climatique	Climat Apports solaires Protection aux vents Confort thermique Enveloppe	
Technique	Techniques utilisées Rôle Intégration Dépendance à la technique	
Architectural	Implantation Forme Rapport au vernaculaire Rapport au moderne Intégration des dispositifs Visibilité des intentions	
Autre		

Annexe 3 : Exemple de grilles d'analyse remplies

Nom du document : Habitat Bioclimatique		
Référence : EA 23/78/06		Année : 1978
Etudiant : Alain MARIOTTO		Encadrant : JP CORDIER
Domaine	Critère	description
Lexical	mots-clés employés bioclim, région, syst passif, autonome	Entrées dans mémoire Etude de la typologie régionale, adaptation clim.
Intentionnel	Volontés principales Proposer un ensemble de logements bioclim. de - caractères inspirés de l'étude de l'habitat vernaculaire.	Entrée dans le sujet mémoire Etude de l'habitat traditionnel de montagne et son adaptation par l'architecture moderne. Appartir par énergie solaire. Récup passive des calories
Climatique	Position de l'étudiant / encadrant	Climat Nuit très froide et peu de vent - 2100H Apports solaires Baies vitrées inclinées Etude de l'optimum de l'inclinaison des vitrages avec logiciel informatique Sécher côté sud, vitrages inclinés sur de 30° par à la dépendance. Captage via ardoise Protection aux vents Vitrages // aux vents dominants (la vitre n'est pas un barrière). (côté nord affaibli par l'orientation des échafauds) Confort thermique Construction massive. Diffusion des pertes vers des surfaces sombres à forte inertie Enveloppe Isolation à l'extérieur. Protection plancher (sur terre, VS non utilisé). Béton lissé ou pierre de pays
Technique	Techniques utilisées gaz au complet. Stucs intérieurs auto-antiseptiques CF aérothermique. VMC. Isolations Rôle Récup air chaud de chauffage. Product' ECS.	Intégration Dépendance à la technique
Architectural	Implantation Orienté - E-O. Implanté en décaissé sur un versant du - versant	Forme Cubique. Espaces pour nord Rapport au vernaculaire SAS. Syst de chauffage au centre de la pièce. Ardoise pour le corps noir. Volumes bas, par évier stratifié Rapport au moderne Façade atypique. Vitrages en. Chauffage bois Intégration des dispositifs Diodes Visibilité des intentions Visibilité : - partielle, notamment par la présence de bords de vitres
Autre	Moitié de l'ouvrage : confort, besoins, etc	Etude de l'habitat traditionnel. Texte + plans

Nom du document : Centre d'accueil communautaire à bas profil énergétique	
Référence : EA 23 23/87/0941	Année : 1987
Etudiant : Pierre Olivier ABELOAS	Encadrant : Alain CHATELET

Domaine	Critère	Description
Lexical	mots-clefs employés	autonomie, collectif, liberté, bioclimatique Entrées dans mémoire autonomie d'énergie
Intentionnel	Volontés principales	Centre d'accueil, autonome en énergie et par rapport à l'activité économique, construction artisanale. Proposer un schéma d'habitat alternatif Accueil pour du travail, soins, vacanciers, dans un cadre champêtre Entrée dans le sujet mémoire
	Position de l'étudiant / encadrant	
Climatique	Climat	A-plitude annuelle faible. 2000h d'insolation/an. Vent O et SE (courant) Apports solaires Protect solaire à l'ouest par arbres Serre au sud + mur capteur à récup active d'énergie. Toiture isolée au dessus par protéger au été (is vitres inclinés). Pas d'isolation vitres côté N.
	Protection aux vents	Bosquets côté Ouest → vent pluvieux d'atlantique. Toiture allée jusqu'au sol + appenti = protection et réduction de la façade N. // vent dominant
	Confort thermique	Inertie par le sol - Ventilateurs bi-places (bas pour le froid, ht pour le chaud). Inertie des murs en terre ou béton. Rangement, chaudière, soubassement au N → sup t-pas. Chauffage central au centre
	Enveloppe	Pierre, brique, ardoise, laine de roche, terre toit: bois, terre, Ossature bois avec inertie béton au terre adjacent à la terre
Technique	Techniques utilisées	Récupération active d'énergie par eau de mur capteur. Rideau isolant mobile Stockage de la chaleur du sud, par galets en été.
	Rôle	Limiter les apports solaires, "charger" le sol en énergie.
	Intégration	Discrète
	Dépendance à la technique	légère.
Architectural	Implantation	Fontenilles, H ^m Garonne. Terrain bordé de bois N-E-O. Vue sur les champs au S. Villages avec petite courbe. Implantation en cercles. Orient S // aux vents dominants
	Forme	En décalage [diagramme] → mur E-O au été? Forme compacte → si décalage du bât d'accueil par la surface d'écoulement
	Rapport au vernaculaire	Utilisation de matériaux anciens et locaux. Rapport à la forêt Evanescent Prone une salle utilis. de son habitat.
	Rapport au moderne	
	Intégration des dispositifs	Intégrat. comme élément architectural à part entière.
	Visibilité des intentions	
Autre	Texte + plans	Etude de 4 habitats communautaires, ville de Fontenilles et de la forêt Etude financière par estimation le nombre de "séjours". Pas de "technique" de dimensionnement

Nom du document : Matériaux Traditionnels pour un habitat à bas profil énergétique	
Référence : EA 23 73/80/304	Année : 1980
Etudiant : Evelyne COUEILLES	Encadrant : Michel GERBER

Domaine	Critère	description
Lexical	mots-clés employés	énergie, thermique, climatique, enveloppe, matériaux tradi. Entrées dans mémoire efficacité énergétique, matériaux anciens, pb du bioclim en tissu urbain
Intentionnel	Volontés principales	Etudier les matériaux traditionnels et questionner leur utilisation dans le ctex moderne. Etudier la faisabilité ds une expérimentation urbaine. Approche scientifique
	Entrée dans le sujet mémoire	Intégration des matériaux traditionnels ds le ctex récent et dans un tissu urbain traditionnellement difficile pour le bioclimatique
	Position de l'étudiant / encadrant	△ Climat par proprio sur appuis → protect. d'été
Climatique	Climat	Tempéré. Amplitude thermique faible. Nébulosité et pluies. Influence du climat urbain sur le climat naturel
	Apports solaires	permet de limiter la quantité de chauffage. Ici peu favorable: focalisation sur la limitation des apports pour le confort d'été. Serre
	Protection aux vents	Tracé de la ville selon la charc d'alignés → bcp d'ap → bcp de vent. Protect. du vent dominant
	Confort thermique	Remplacement du béton par d'autres matériaux. Murs à inerte variable. Mur Co-pacifié, Réduct. des façades.
	Enveloppe	Identification des constitutions idéales de chaque mur. Mur N isolé. Briques et joint coloré. Plancher BT. Plâtre. Murs bruts pour le confort thermique
Technique	Techniques utilisées	(Terre crue, cuite, pisé, galets roulés.) Utilisation du terre-riche et "tension de vapeur"
	Rôle	L'habitant doit accepter de changer sa manière de vivre
	Intégration	
	Dépendance à la technique	
Architectural	Implantation	Ther-Bugnic Colomiers. Terrain plat ss végét. → aucun masque. Cote ville satellite de Toulouse
	Forme	Murs très épais
	Rapport au vernaculaire	Terre crue, cuite, pisé, galets roulés. Méthodes de construction vernaculaire. Observat. du tissu ancien pr critiquer la ville nouvelle. Changement de mode de vie.
	Rapport au moderne	Ch
	Intégration des dispositifs	Murs épais et bruts. Finition non conventionnelle. Poussoir + Terre estime par le pt utilisé par murs de refend
	Visibilité des intentions	
Autre		L'habitant doit accepter de devoir changer sa manière de vivre. Pas de plans.

Nom du document : Quelle architecture solaire ?	
Référence : EA 231831613	Année : 1983
Etudiant : Marc TILLOUS	Encadrant : JP CORDIER

Paul CANET / Michel VASSE

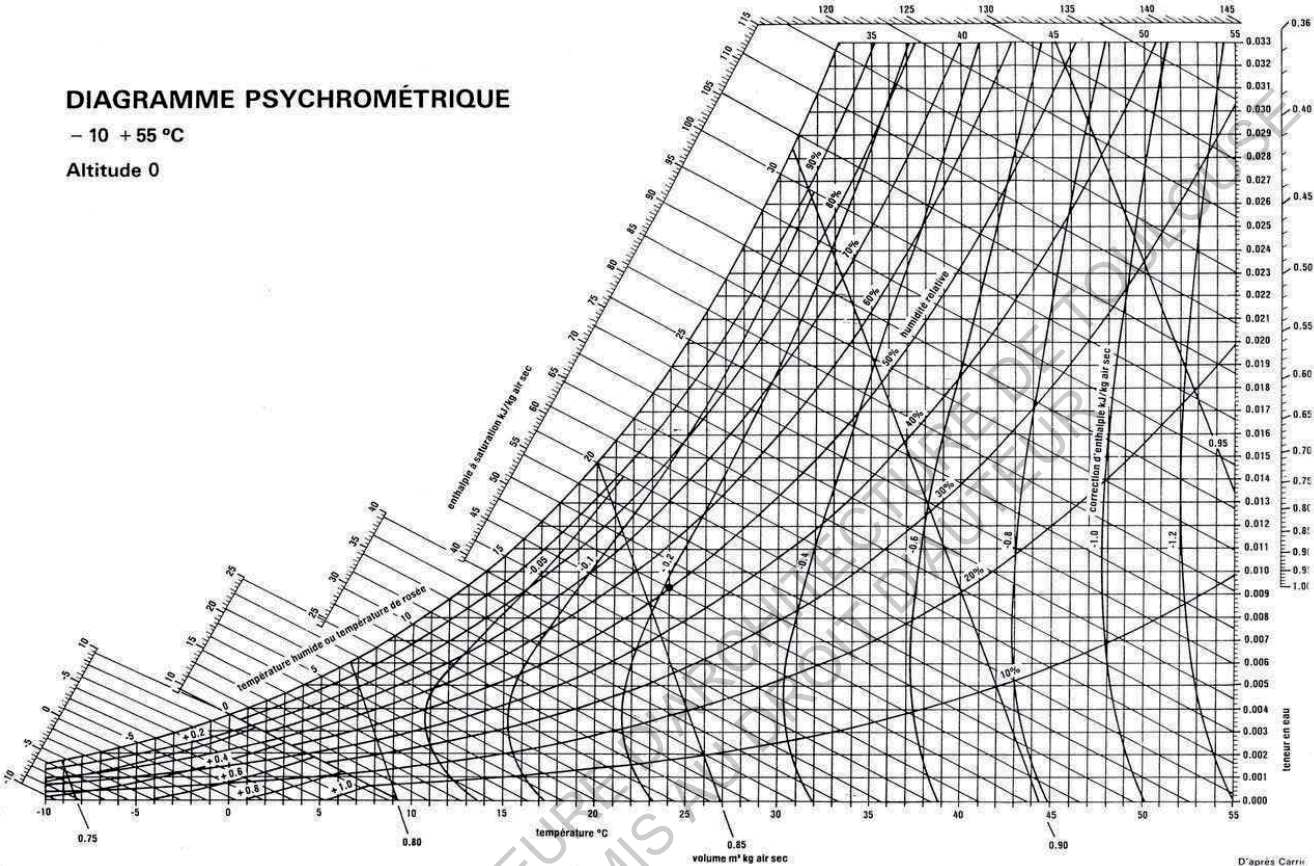
Domaine	Critère	description
Lexical	mots-clefs employés	Bioclim, maison solaire. Entrées dans mémoire Solaire. Colloque solaire 82
Intentionnel	Volontés principales Prise en compte du Solaire ds un projet urba.	Analyse des techniques solaires. Retour sur le lieu de habit-t. Présence de techniques solaires, retour sur les impressions des habit-t. Position de l'étudiant / encadrant
Climatique	Climat Apports solaires Utilisation de la végétation pour gérer les apports. Protection aux vents Confort thermique Enveloppe	Images issues du guide de la maison solaire, Mazine. Dépend de l'orient, inclin, surf. Vitrages inclinés (à l'abri et occult.), mais vitres partielles eco--ondes Mur treilles Protection aux vents Utilisent de la végét. côté E et O. Inertie (isolat murs sud), réfléchir les surf à faible inertie vers inertie forte de couleur sombre. Evite "éclairage direct" de surf captentes. Impact de l'inertie parfois sollicitée! Stockage de l'énergie de la nuit : mur arrière, lit de sable - Jeu de déphasage jour / nuit.
Technique	Techniques utilisées Rôle Intégration Dépendance à la technique	Circulation d'air chauffé dans les pièces à l'arrière. Bead wall (polyjet dans parois vitrées la nuit). Capteur à air. Rôle Réchauffer espaces non éclairés, isoler la nuit. Légère.
Architectural	Implantation Forme Rapport au vernaculaire Rapport au moderne Intégration des dispositifs Visibilité des intentions	Orientation axe E-O, expo, SE, côté nord enterré. Plutôt SE, sauf si brouillard matinal = SO. Compacité ++. Sphérique meilleure solut (utilisée en froid ++ ou chaud ++). Plan linéaire selon Sud. OU éclairage sheds par la toiture (-) A vouloir copier le régionalisme et ses éléments, le facteur de forme ? Références archi : souren et cordier, gerber. Rejet de la volumétrie éclatée pour une forme qui est le facteur de forme (plan libre) Ouverture vers l'extérieur Dispositifs "architecturaux" (vitr, murs). Pas de surcoût matériel. Besoin d'implication de Musyger.
Autre	Ce colloque = début de la recherche éco à l'ENSAT Images issues du guide de la maison solaire de Mazine	À pas un projet, mais un "catalogue" Besoin d'"investir" des usages, plus x par jour. Raison du pt maison solaire p116

Annexe 4 : Diagramme Psychrométrique

DIAGRAMME PSYCHROMÉTRIQUE

- 10 + 55 °C

Altitude 0



ECOLE NATIONALE SUPERIEURE
DOCUMENT SOUMIS

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		