



# Typologies architecturales et morphologies urbaines adaptées au climat méditerranéen

Marjan Sansen

## ► To cite this version:

Marjan Sansen. Typologies architecturales et morphologies urbaines adaptées au climat méditerranéen. Sciences de l'environnement. Université de Montpellier, 2022. Français. ⟨NNT : 2022UMONS052⟩. ⟨tel-04015624v2⟩

**HAL Id: tel-04015624**

**<https://hal.science/tel-04015624v2>**

Submitted on 3 Jun 2024

**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.



HAL Authorization

# THÈSE POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE MONTPELLIER

En Mécanique, Génie Civil et Architecture

École doctorale : I2S

Unité de recherche LIFAM – ENSA de Montpellier

## Typologies architecturales et morphologies urbaines adaptées au climat méditerranéen

Présentée par Marjan SANSEN

Le 11 juillet 2022

Sous la direction de Philippe DEVILLERS  
et de co-encadrant Andrés MARTINEZ

Devant le jury composé de

Bernard MAURIN, Professeur, Université de Montpellier

Denis BRUNEAU, Professeur, ENSAP de Bordeaux

Béatrice MARIOLLE, Professeure, ENSAP de Lille

Fazia ALI-TOUDERT, Professeure, ENSA de Paris-Val de Seine

Pascale BARTOLI, Architecte et Docteure, Architecture 54

Philippe DEVILLERS, Professeur, ENSA de Montpellier

Andrés MARTINEZ, Maître de Conférences, ENSA de Montpellier

Président du jury

Rapporteur

Rapporteuse

Examinatrice

Examinatrice

Directeur de thèse

Co-encadrant de thèse



Laboratoire Innovation  
Formes Architectures  
Milieux



UNIVERSITÉ  
DE MONTPELLIER



École nationale  
supérieure d'architecture  
Montpellier | La Réunion

Note : Cette thèse est mise en page en double page.  
En version numérique, il est recommandé de la lire avec deux pages vis-à-vis. Par exemple en Acrobat :  
Affichage de Page / Afficher la page de couverture en mode Deux Pages

*Voor mama.  
Pour José.*





---

## Remerciements

---

*J'aimerais remercier tout le monde qui m'a soutenu pendant cette aventure de thèse.*

*Je voudrais tout d'abord remercier mes encadrants pour la confiance, la liberté, ainsi que l'aide précise et précieuse qu'ils m'ont accordées ces trois dernières années. Merci à mon directeur de thèse, Philippe DEVILLERS, pour ses questions et ses « je ne comprends pas », qui m'ont toujours poussées plus loin, ainsi que pour la relecture pointilleuse. Merci de m'avoir ouvert la porte vers la recherche en ingénierie. Merci Andrés MARTINEZ, qui a été mon co-encadrant, de m'avoir sorti d'une impasse (presque) sans issue. Merci de m'avoir ouvert la porte vers la recherche en architecture.*

*Ce travail de thèse n'aurait pas été possible sans le financement du projet OEHM - Optimisation Énergétique de l'Habitat Méditerranéen du FEDER – Région Occitanie, sous la coordination de André CHRYSOCHOOS. J'aimerais également remercier le Labo LIFAM et l'Ecole d'Architecture ENSA de Montpellier. Je tiens à tous les remercier de m'avoir donné les moyens d'explorer le monde de la recherche.*

*Je tiens à remercier les rapporteurs, Béatrice MARIOLLE et Denis BRUNEAU, ainsi que les membres du jury, Fazia ALI-TOUDERT, Pascale BARTOLI et Bernard MAURIN de s'intéresser à mon travail et d'avoir accepté de le rapporter ou de l'examiner.*

*Je souhaite remercier également Mme. et M. Martin et M. Pons-Moureu de m'avoir permis de faire les mesures in situ au Merlier et au Village Grec. Merci pour votre ouverture d'esprit et votre flexibilité. Je tiens à remercier Mme. Valérie Cros de la Mairie de Leucate et M. Moulines de l'archive à l'ASL Gaou Bénat de m'avoir donné la possibilité d'accéder aux archives.*

*Merci Pascal pour la relecture, les rires et l'écoute. Merci Angélique pour le pdf. Merci Hassan pour les cafés et la bonne humeur. Thank you Hamed, my partner in crime in Phd life. Merci à Thomas, Théodore et Arthur, (post-)doctorants au LIFAM, pour les discussions. Merci à Akim et Jaafar, stagiaires, et à Pierre pour l'aide avec les mesures in situ. Merci David, pour la flexibilité. Merci aux copines pour le soutien sans bornes. Danku mama, voor uw en mijn nieuwsgierige aard. Danku papa voor de discussies en het inzicht "everything is emptiness". Danku Sara en Katrien, voor de assistentie in de Merlier en voor de zussensteun. Danku Horace en Max, mijn lieve zonen, voor alles.*

*A Montpellier, le 12 mai 2022.*



---

## Résumé

---

### Typologies architecturales et morphologies urbaines adaptées au climat méditerranéen

---

La « *méditerranéisation* » du climat français a été signalée, sous la forme d'un étalement méditerranéen vers le nord et vers l'arrière-pays. De plus, dans le monde entier le changement climatique attire l'attention sur les chaleurs d'été et la crise énergétique prend son envol. Plus que jamais il est important de trouver un langage passif architectural et urbain qui peut affronter les aléas du climat sans davantage avoir besoin d'un apport en énergie. En même temps, il y a toujours une forte demande de maisons individuelles en lotissement. Ce travail recherche une alternative à la maison individuelle : comment construire des quartiers de logements individuels groupés adaptés au climat méditerranéen tempéré ? L'objectif est de fournir des conseils de conception pour les architectes, les paysagistes et les urbanistes.

L'étude se base sur trois études de cas. Dans l'idée « d'étudier le passé pour faire le futur », il s'agit de villages de vacances au sud de la France, construits pendant les Trente Glorieuses (1946-75) : le Village Grec, le Gaou Bénat et le Merlier. Le travail alterne des méthodes de recherche en architecture et en ingénierie : une analyse typo-morphologique et environnementale et des mesures in situ au niveau de la rue, de la cour, des espaces intérieurs attenants et du lien entre les trois (« le réseau des vides »).

Les mesures sont interprétées tout d'abord suivant le diagramme de confort de Givoni. Au niveau de la rue la stratégie principale de la gestion de la chaleur est la ventilation et l'accessibilité au vent. Les rues sont majoritairement confortables (>50%), alors qu'au niveau de la maison, les cours ouvertes sont très inconfortables (<5%). La cour couverte, avec un confort entre 22 et 80% rafraîchit plus que la cour ventilée et végétalisée, qui a un confort limité (<10%). Concernant les espaces intérieurs : le plan éclaté avec des murs communs au fond de parcelle qui priorise la ventilation n'est pas du tout confortable (0%) ; celui des murs enterrés qui priorise l'inertie du sol n'est que moyennement confortable malgré sa fraîcheur, à cause de l'humidité (< 50%). En revanche, selon l'interprétation du confort adaptatif de la norme européenne, les deux sont confortables pour 90% des gens. L'interprétation des résultats change considérablement en fonction de l'approche de confort. Au niveau du « réseau des vides » aucun lien clair n'a été observé de manière convaincante entre la rue et la cour. En revanche, un lien a été confirmé entre la cour et les espaces intérieurs.

Les conseils sont portés par le triptyque AIR-TERRE-VERT et l'idée d'aller chercher la fraîcheur sur le site, là où elle se trouve. Le travail propose deux images de quartiers additifs (le quartier compact et la palmeraie), suivi par des conseils de conception pour la maison à cour et l'assemblage.

Mots clés :

Confort d'été, stratégies passives de conception, cour, Trente Glorieuses, Méditerranée, typo-morphologie.



---

## Abstract

---

### Architectural typologies and urban morphologies adapted to Mediterranean climate

---

The “*Mediterraneanization*” of the French climate has been observed, with the spreading of the Mediterranean area towards the North and the hinterland. In addition, worldwide climate change is drawing attention to summer heat and at the same time, another energy crisis is taking off. More than ever it seems important to find a passive architectural and urban language that can face the whims of climate without an external energy supply. In the meanwhile, suburban individual housing is still very much in demand. This study explores an alternative to individual housing : how to design grouped individual housing that is adapted to moderate Mediterranean climate in a passive way? The goal is to provide design guidelines for architects, landscape architects and urban planners.

The research is based on three case studies. Within the idea “to study the past to think the future”, they’re holiday villages in the South of France, built during the post-war boom period (1946-75): Village Grec, Gaou Bénat and Merlier. Research methods stem from the fields of architecture and engineering: a typomorphological and environmental analysis followed by in situ measurements of the street, the courtyard, the adjoining interior spaces and the link between the three (the “network of voids”).

In the first place, the measurements are interpreted according to Givoni’s comfort diagram. On street level, the main heat management strategy is ventilation and wind accessibility. The streets are mostly comfortable (>50%), while the courtyards are very uncomfortable (<5%). The covered courtyard, with a comfort range between 22 and 80%, cools more than the ventilated and planted courtyard, which comfort stays low (<10%). Regarding the interior spaces: the house with the irregular plan with common walls in the back, that prioritizes ventilation, is not at all comfortable (0%); the one with buried walls that prioritizes earth inertia is only moderately comfortable despite its freshness, because of a high humidity (< 50%). However, through the adaptive comfort interpretation of the European standard, both are comfortable for 90% of the people. Depending on the comfort approach, the interpretation of the results is very different. On the “network of voids” level, no clear link has been observed between the street and the courtyard. Nevertheless, a link has been confirmed between the courtyard and the interior spaces.

The guidelines are based on the trio AIR-EARTH-GREEN and the idea is to look for coolness on the site, there where it is available, and to reveal and reinforce it. The study proposes two images of additive neighborhoods (the compact neighborhood and the palm grove), followed by design guidelines concerning the courtyard house and their assembly.

#### Keywords:

Summer comfort, passive design strategies, courtyard, Glorious Thirty, Mediterranean, typomorphology.

---

## Table des matières

---

Remerciements

Résumé

Abstract

Table des matières

Introduction..... 13

**1 L'architecture d'été en méditerranée ..... 17**

1.1	Le climat méditerranéen .....	17
1.2	Les archétypes méditerranéens .....	21
1.2.1	La maison troglodyte .....	21
1.2.2	La tour ou trullo ou safatin égyptien .....	23
1.2.3	La maison cubique et le mégaron .....	25
1.2.4	La maison à cour .....	31
1.2.5	Récapitulatif : Les éléments de conception passifs .....	35
1.3	Morphologies urbaines méditerranéennes traditionnelles .....	37
1.3.1	Les ruelles étroites .....	37
1.3.2	L'orientation et la ventilation des rues .....	39
1.3.3	L'implantation perchée .....	39
1.4	L'analyse typo-morphologique .....	41
1.5	Les paramètres de l'analyse environnementale .....	44
1.5.1	Un paramètre de surface (l'albédo) .....	44
1.5.2	Les paramètres des morphologies .....	44
1.5.3	L'espace intermédiaire : la cour / le patio .....	53
1.6	Le confort thermique .....	57
1.7	Conclusion .....	64

<b>2</b>	<b>Les études de cas : des logements individuels groupés construits pour l'été..</b>	<b>65</b>
2.1	Présentation – trois études de cas des Trente Glorieuses.....	65
2.1.1	Le Village Grec à Port Leucate, 1969, P. Gardia et M. Zavagno (et G. Candilis ?) .....	71
2.1.2	Le Gaou Bénat à Bormes-les-Mimosas, 1958, J. Aubert et A. Lefèvre-Devaux.....	77
2.1.3	Le Merlier à Ramatuelle, 1958-1965, Atelier de Montrouge (ATM).....	85
2.2	Inspirations.....	91
2.2.1	Inspirés par Le Corbusier et le Modernisme .....	91
2.2.2	Inspirés par l'ATBAT Afrique .....	93
2.2.3	Inspirés par l'existant et le site .....	97
2.2.4	Inspirés par la peur de la standardisation et de la monotonie .....	99
2.2.5	Inspirés par les villes et villages traditionnels.....	99
2.2.6	Inspirés par le climat, mais de manière indirecte .....	101
2.3	Une certaine continuité des morphologies et typologies traditionnelles .....	105
2.3.1	Analyse typo-morphologique.....	105
2.3.2	Analyse environnementale .....	120
2.4	Conclusion .....	123
<b>3</b>	<b>Le réseau des vides à l'échelle de la rue.....</b>	<b>125</b>
3.1	Le dispositif expérimental .....	127
3.2	Sélection d'une rue : la balade thermique.....	127
3.3	Les profils thermiques des rues .....	131
3.3.1	Le Village Grec.....	133
3.3.2	Le Gaou Bénat.....	139
3.3.3	Le Merlier .....	145
3.4	Comparaison des FVC avec des morphologies traditionnelles .....	149
3.5	Le confort thermique suivant Givoni .....	153
3.6	D'autres interprétations du confort thermique.....	155
3.7	Les fonctionnements thermiques .....	158
3.8	Conclusion .....	159
<b>4</b>	<b>Le réseau des vides à l'échelle de la maison.....</b>	<b>161</b>
4.1	Le dispositif expérimental et la méthode .....	161
4.2	Les espaces intermédiaires extérieurs.....	167
4.2.1	Le patio ouvert .....	167
4.2.2	Le patio couvert .....	174
4.3	Les espaces intérieurs .....	177
4.4	L'(in)confort thermique suivant Givoni.....	185
4.4.1	Les espaces intermédiaires extérieurs.....	185
4.4.2	Les espaces intérieurs .....	187
4.5	Le réseau des vides : le lien entre la rue, les espaces intermédiaires et les espaces intérieurs..	191
4.6	Les fonctionnements thermiques .....	193
4.7	Conclusion .....	194



<b>5</b>	<b>Les recommandations pour la conception d'un quartier de logements individuels groupés adapté au climat méditerranéen tempéré en été.....</b>	<b>197</b>
5.1	Les éléments de conception .....	199
5.1.1	AIR .....	199
5.1.2	TERRE .....	200
5.1.3	VERT .....	201
5.2	La maison à patio .....	203
5.3	Les morphologies périurbaines additives : l'assemblage.....	207
5.3.1	La direction des rues .....	209
5.3.2	Un grand geste comme couloir de ventilation.....	211
5.3.3	La ventilation nocturne .....	211
5.3.4	L'équilibre entre la compacité et l'accessibilité au vent.....	211
5.3.5	Les cheminements piétons .....	216
5.3.6	L'équilibre entre la profondeur des rues et l'accessibilité au vent.....	217
5.3.7	La place de la végétation.....	219
5.4	Conclusion .....	220
	<b>Conclusion .....</b>	<b>221</b>
	<b>Bibliographie.....</b>	<b>225</b>
	<b>Annexes .....</b>	<b>233</b>
	Les plans originaux du Village Grec.....	234
	Les plans originaux du Gaou Bénat.....	240
	Les plans originaux du Merlier .....	242

---

## Introduction

---

Le secteur du bâtiment présente plus de 41% de la consommation d'énergie finale en France (négaWatt, 2022). La crise énergétique, qui était sous-jacente et émergente depuis plusieurs années, prend son envol avec la guerre en Ukraine. Plus que jamais il est important de trouver un langage passif architectural et urbain qui peut affronter les aléas du climat sans davantage avoir besoin d'un apport en énergie.

Dans le monde entier, le changement climatique a un impact grandissant sur les températures estivales. D'une part, le bassin méditerranéen s'avère être un hot-spot du réchauffement climatique, et plus encore pendant les mois d'été (Cramer et al., 2018). Les prévisions font mention de canicules de plus en plus nombreuses et de plus en plus longues pour les décennies à venir (Moussa *et al.*, 2020).

D'autre part, le phénomène de la « *méditerranéisation* » du climat français a été signalé, dans la forme d'un étalement méditerranéen vers le nord et vers l'arrière-pays (DRIAS, 2020). Pour autant, en cherchant sur le mot-clé « Méditerranéen », la plupart des études trouvées se focalisent sur les zones au sud de la mer Méditerranée, avec un climat méditerranéen chaud et une architecture islamique. La stratégie prioritaire de gestion de la chaleur y est définie comme la gestion de l'ombre : des ruelles étroites qui se trouvent à l'ombre le plus longtemps possible, des bâtiments à cour avec des murs épais avec une grande inertie thermique. La France a un climat méditerranéen plus modéré et une architecture qui a été moins étudiée. Quelles sont les stratégies qui arment les bâtiments et les quartiers contre la chaleur dans ces régions ?

Les premières victimes des chaleurs estivales sont les villes. Les effets y sont fortement ressentis, les causes et remèdes des Ilots de Chaleur Urbains y sont sujets à de multiples recherches. Les zones périurbaines en revanche sont par définition moins chaudes en été que les villes, et actuellement moins sujettes à des recherches climatiques. Ces zones sont pourtant recherchées pour l'habitat en raison de leur faible densité et leur proximité du paysage rural comme du centre urbain, peut-être encore plus ces dernières années depuis les confinements à répétition de la pandémie du Covid. Il y a toujours une forte demande de maison individuelle (Brès, Beaucire and Mariolle, 2017). Tout sauf économe, ce type de logement consomme de

l'espace et augmente les coûts publics (CAUE de l'Hérault, 2008). Dans le cadre des objectifs « zéro artificialisation net » et « zéro déforestation » les villages périurbains cherchent des alternatives à l'habitat individuel et au lotissement. Cette étude se tourne vers des méthodes de recherche habituellement urbaines (de la ville) utilisées dans un contexte périurbain (des quartiers). Elle pose la question à savoir comment faire des quartiers de logements individuels groupés adaptés à la chaleur estivale méditerranéenne dans les zones périurbaines, dans l'objectif de fournir des conseils de conception pour les architectes, paysagistes et urbanistes.

La question est étudiée à travers trois études de cas. Dans l'idée d'étudier le passé pour faire le futur, je me suis penchée sur des villages de vacances en France méditerranéenne, villages construits pendant les Trente Glorieuses (1946-75). Ils ont en effet été conçus pour l'été et sont considérés comme des prémices de l'architecture (bio)climatique (Bartoli, 2020).

Deux des études de cas ont fait l'objet de recherches précédentes, sous l'angle culturel et historique (le Gaou Bénat et le Merlier). Ici, j'apporte de la connaissance sur la troisième<sup>1</sup> (le Village Grec) et j'aborde les trois sous l'angle climatique. En quoi ces quartiers des années 60 avaient une approche climatique, dans quelle mesure est-elle efficace, et que peut-on apprendre pour les quartiers du futur ?

L'étude est menée en alternant des méthodes de recherche en architecture et en ingénierie. Les premières vont du re-dessin des plans aux fouilles d'archives, en passant par l'analyse typo-morphologique. Elles apportent une approche à plusieurs échelles, oscillant d'une morphologie entière à l'inertie d'une pièce, en passant par la rue, le patio et la maison ; elles apportent une vision holistique ou systémique qui prend en compte un ensemble de stratégies qui fonctionnent ensemble, comme ferait un architecte sur un chantier en faisant le lien entre les différents corps d'état ; elles apportent la beauté d'étudier le vide. Les méthodes fondées sur l'ingénierie, à travers la volonté de vérifier et de quantifier les notions déduites, consistent en une analyse environnementale et des mesures in situ de la température, de l'humidité relative et du déplacement d'air. Beaucoup de recherches dans le domaine se concentrent sur des simulations numériques, car c'est une méthode efficace avec une logistique légère, comparée à celle des mesures in situ. En revanche, les mesures enregistrent la réalité dans son ensemble. Elles sont complémentaires aux simulations et nécessaires pour les confronter à la réalité. Les méthodes d'ingénieurs apportent la volonté de comprendre et d'expliquer des phénomènes et d'avoir des résultats et des réponses précises ; elles apportent la beauté de quantifier le vide.

---

<sup>1</sup> Les plans originaux des permis n'avaient pas été étudiés jusqu'alors : les élastiques des années 60 étaient encore en place.

Le premier chapitre sera consacré aux définitions du climat méditerranéen, des archétypes méditerranéens existants et à leurs stratégies pour affronter les chaleurs d'été. Le cadre théorique des méthodes et paramètres utilisés par la suite sera posé : l'analyse typo-morphologique, l'analyse environnementale et le confort thermique. J'y présente un élément clé, « le réseau des vides », qui lie les différents vides à différentes échelles.

Dans le second chapitre, les études de cas seront présentées et situées historiquement. Les trois villages de vacances seront examinés à la loupe en questionnant les inspirations des architectes : dans quelle mesure leur approche comportait-elle une intention climatique ? Ensuite, elles seront caractérisées par rapport aux archétypes de l'architecture traditionnelle. Les ressemblances et les différences seront recherchées par l'analyse typo-morphologique et environnementale. Les paramètres étudiés dans l'analyse environnementale sont la rugosité absolue, la compacité, la densité, la minéralisation, le Facteur de Vue du Ciel (FVC) et le rapport H/L. Cette étape permettra d'identifier les stratégies de gestion de la chaleur, particulières aux quartiers de logements individuels groupés.

Les chapitres suivants procéderont à la vérification, la quantification et l'explication des stratégies identifiées avant, d'abord à l'échelle de la rue (chapitre 3) et ensuite à l'échelle de la maison (chapitre 4). Différentes interprétations du confort seront appliquées et expliquées : Givoni et le confort adaptatif de la norme Européenne. Quelles stratégies fonctionnent et pourquoi, et dans quelle mesure le « réseau des vides » lie-t-il les différentes échelles ? Des fonctionnements thermiques seront définis à l'échelle de la rue et à celle de la maison.

Enfin, le dernier chapitre donnera des conseils de conception pour les architectes, paysagistes et urbanistes, concernant la maison à patio<sup>2</sup> et l'assemblage pour faire des quartiers adaptés au climat méditerranéen tempéré. En synthèse, comment peut-on aujourd'hui, armés des enseignements issus de la réflexion d'hier, envisager la conception de demain ?

---

<sup>2</sup> Il faut noter que le mot « cour » est utilisé dans la première partie de la thèse (chapitres 1 et 2). A partir du moment où les études de cas seront présentées, le mot « patio » prend le dessus, car c'est le mot utilisé dans les permis de construire, les écrits et les dessins des architectes des études de cas.



---

# 1 L'architecture d'été en méditerranée

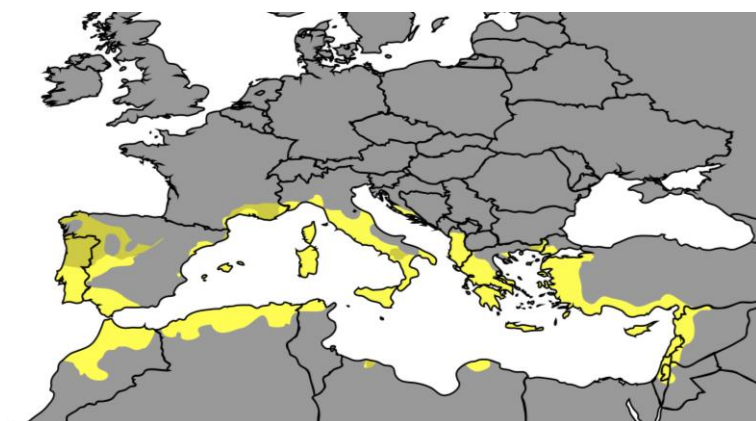
---

La première partie du chapitre décrit le climat méditerranéen à l'échelle mondiale, à l'échelle du bassin méditerranéen et en France. Elle est suivie par une description des archétypes méditerranéens et des morphologies traditionnelles retrouvés dans la littérature, en essayant de répondre au questionnement suivant : *Est-ce qu'il y a une architecture méditerranéenne ? Quelle est son origine ? Comment est-ce qu'elle protégeait l'homme contre les conditions climatiques en été ?* Enfin, les dernières parties du chapitre traitent d'abord les paramètres utilisés pour étudier les morphologies du point de vue climatique, puis le confort thermique.

## 1.1 Le climat méditerranéen

Parmi plusieurs classifications climatiques, celle de Köppen-Geiger paraît la plus répandue. Elle a été réalisée en 1884 et se base sur les précipitations et la température pour définir cinq climats : climat tropical (A) – climat sec (B) – climat tempéré (C – dont le climat méditerranéen) – climat continental (D) – climat polaire (E). Elle a été mise à jour en 1961 par Geiger et en 2007 par Peel (Peel et al., 2007) (Figure 1-1). Le climat méditerranéen y est caractérisé par les lettres Csa, Csb et Csc. La deuxième lettre « s » indique les précipitations : saison sèche en été. Et la troisième lettre indique les variations de température : « a » pour un été chaud ; « b » pour un été tempéré et « c » pour un été frais. Or, le climat Csc ne figure plus dans la mise à jour. Le climat méditerranéen est donc marqué par des étés secs et chauds, et des hivers humides et doux, voire frais. Les étés sont marqués par un rayonnement solaire intense, pouvant mener à des étés « *torrides* » (Givoni, 1978, p. 364). Il y a une grande amplitude de température entre l'été et l'hiver (plus de 17°C entre juillet et janvier), et un grand ratio entre les précipitations d'automne et d'été, avec six fois plus de pluie en automne, tombant sur un faible nombre de jours (Joly et al., 2010).

Le nom « *méditerranéen* » vient bien sûr de la localisation autour de la mer méditerranéenne, mais on retrouve le même climat dans d'autres régions du monde, entre 30 et 45° de latitude : en Californie, au centre du Chili, au Cap en Afrique du Sud ainsi qu'au sud et à l'ouest de l'Australie. La zone géographique concernée par cette recherche étant la France, nous avons besoin d'une description un peu plus précise à l'échelle du pays. Une étude basée sur les données de Météo-France décrit une bande autour de la mer Méditerranée,



■ Csa :  
climat méditerranéen avec un été chaud

■ Csb :  
climat méditerranéen avec un été tempéré

Figure 1-1 :

Le climat méditerranéen suivant Köppen-Geiger, mis à jour en 2007 par Peel.

Source : (Peel et al., 2007), vectorisation de Ali Zifan

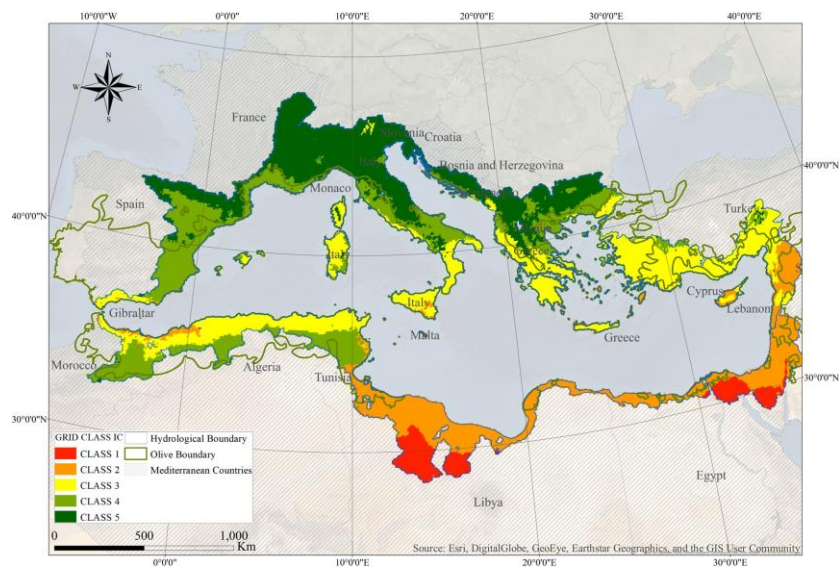


Figure 1-2 :

Le bassin méditerranéen : Class2, 3 et 4 correspondent à Csa. Class1 et 5 n'appartiennent pas au climat méditerranéen.

Source : (Moussa et al., 2020, p. 4513)

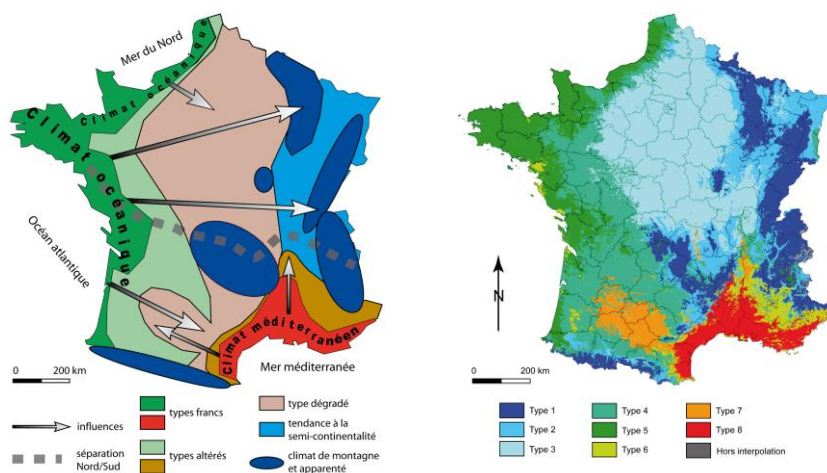


Figure 1-3 :

Les types de climats en France. Type 8 = le climat méditerranéen. Source : (Joly et al., 2010)

qui s'élargit en Camargue et remonte dans la vallée du Rhône jusque dans la Drome et l'Ardèche, puis se rétrécit ou disparaît complètement au niveau des Pyrénées (à l'ouest) et des Alpes (à l'est) (Figure 1-3).

Dans le contexte actuel du changement climatique, des simulations montrent un climat méditerranéen qui s'étend vers le nord (sur la côte atlantique en France, et même jusqu'en Belgique) et dans l'arrière-pays (par exemple en Californie) (Rubel & Kottek, 2010). Le portail DRIAL<sup>3</sup> avance même le mot « *méditerranéisation* » du climat en France (DRIAS, 2020). Les effets du réchauffement climatique sont encore plus marqués dans le bassin méditerranéen que globalement, et surtout en été (Cramer et al., 2018 ; Giorgi, 2006). Une étude sur la période entre 2031 et 2060 mentionne des périodes chaudes de plus en plus longues et des canicules de plus en plus présentes (DRIAS, 2020 ; Moussa et al., 2020). Si, aujourd'hui, il y a encore une grande demande d'énergie pour chauffer les maisons en hiver, le réchauffement semble déjà annoncer une augmentation substantielle de demande d'énergie pour rafraîchir en été. Il est donc important d'étudier également des exemples du climat très chaud et sec dans ce chapitre. La classification de Koppen-Geiger les nomme BSh et BWh, « climat de steppe et désertique chaud », avec le « B » pour climat aride, le « S » et le « W » pour le caractère de steppe et désertique avec peu de précipitations, et le « h » pour des températures chaudes-arides.

Le climat méditerranéen et la région correspondante ne sont pas une entité homogène, mais elles sont constituées de plusieurs parties distinctes. Givoni propose trois sous-types, notamment les climats méditerranéens continental, maritime et montagneux (Givoni, 1978, p. 364). De manière intuitive, Ho en propose deux : au nord un climat plus tempéré, et au sud un climat steppique et plus chaud (Ho, 1984, p. 21). Cette intuition est confirmée dans l'analyse détaillée de Moussa (Moussa et al., 2020) (Figure 1-2). Les Classes 2, 3 et 4 correspondent au Csa de Koppen-Geiger, exceptés pour le nord de l'Égypte et de la Libye, où les deux approches ne se chevauchent pas. Les Classes 1 et 5 n'appartiennent pas au climat méditerranéen et se retrouvent en dehors de Csa et Csb.

Le diptyque climatique nord-sud est bien visible, mais il n'existe pas qu'au niveau climatique. Il se manifeste également au niveau géographique, historique et culturel (Ecole d'architecture du Languedoc-Roussillon, 1995 ; Ho, 1984). Il est la manifestation de la succession des empires et des mondes religieux qui se sont enchaînés depuis les premières origines en Mésopotamie entre le V<sup>ème</sup> et III<sup>ème</sup> millénaire. « *D'une part la région sud et orientale de la Méditerranée, correspondant à la zone d'influence arabo-musulmane, judaïque et turque, et d'autre part la région nord et ouest, correspondant à l'arc latin, les pays balkaniques et la Grèce.* » (Ecole d'Avignon, 2002, p. 48). Certains découpent en deux la partie au nord de la Méditerranée, décrivant ainsi les trois grandes vagues de civilisations et leur influence jusqu'aujourd'hui : Rome et l'univers latin et chrétien dans le nord-ouest ; le monde orthodoxe et l'univers grec au nord-est ; et l'islam et l'univers arabo-musulman au sud (Ecole d'Avignon, 2002, p. 28).

<sup>3</sup> DRIAS est un portail du Ministère de la Transition Ecologique qui met à disposition des projections climatiques régionalisées, en collaboration avec Météo-France



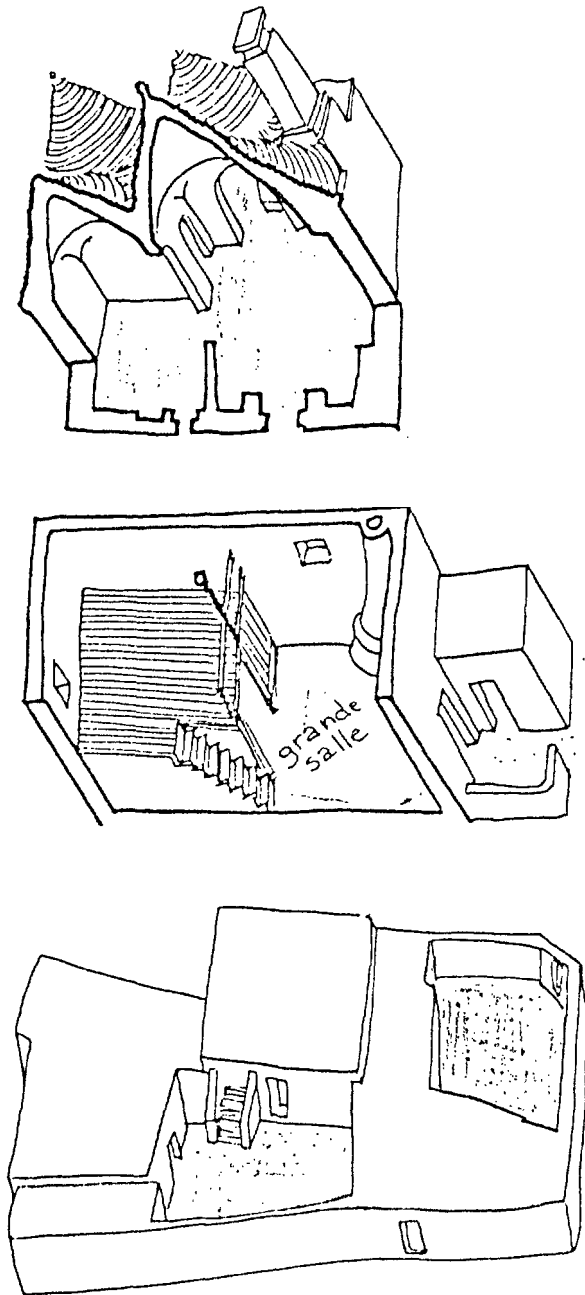


Figure 1-4 :  
Trois des archétypes de l'habitat méditerranéen, suivant Ho :  
la maison circulaire en haut, la maison cubique au milieu et la maison à cour en bas.  
Source : (Ho, 1984, p. 121)

## 1.2 Les archétypes méditerranéens

Comment définir « *l'architecture traditionnelle* » ? Je me base sur la définition de RehabiMed, qui paraît complète et claire : « *L'architecture courante, vivante parce qu'habitée, essentiellement civile et domestique et de construction préindustrielle. Il s'agit d'une architecture qui a été réalisée avec des ressources locales, aussi bien en ce qui concerne les matériaux, les techniques que les compétences de ses constructeurs. Elle est ainsi l'expression fondamentale de la culture des différentes communautés et de leur rapport avec la nature et le paysage* » (Ecole d'Avignon, 2002, p. 28).

Inhérente à l'architecture traditionnelle, il y a donc la notion que l'homme a peaufiné et perfectionné pendant des siècles et des siècles son habitat. En utilisant les matériaux et les techniques accessibles sur place, il a construit des abris, en lien avec la nature et le paysage, mais également pour se protéger de cette même nature et du même paysage : de la pluie, du froid et de la chaleur. Il est donc évident qu'il y a un lien entre la forme des habitats traditionnels et le climat. Il suffit de penser aux constructions légères des climats chauds et humides, par rapport aux constructions lourdes des climats chauds et secs.

Les deux grands espaces méditerranéens mentionnés ci-dessus, au nord et au sud de la mer, avec chacun leurs particularités et spécificités historiques, culturelles et climatiques, ont développé et peaufiné leur propre archétype architectural (Ho, 1984, p. 143) (Figure 1-4). Chacun des archétypes est en lien et majoritairement présent dans un des deux espaces. Le premier est l'archétype de la maison cubique, aussi appelé « *la maison à corps unique ou bloc en hauteur* » (Sournia, 1991) et se trouve typiquement au nord de la mer. Le deuxième est l'archétype de la maison à cour, aussi appelé « *la maison à cour distributive* », et il se trouve typiquement au sud de la mer. S'y rajoutent deux archétypes supplémentaires : la maison troglodyte à l'aube de tout habitat humain, et la maison circulaire ou le trulli. Ceux-ci sont moins répandus et ils ne sont pas liés à l'un des deux espaces.

### 1.2.1 La maison troglodyte

Il s'agit d'habitats qui se trouvent sous le sol ou dans des rochers creusés ou naturels. L'homme y a trouvé refuge afin de se protéger contre les aléas du climat ou dans des situations de guerre et de persécution. Des villages entiers ont pris forme ainsi, dont les plus connus sont à Cappadoce en Turquie, à Matera en Italie ou à Matmata en Tunisie (Figure 1-6). Il y a beaucoup d'habitats troglodytiques en région méditerranéenne, mais aussi ailleurs en France : par exemple dans le Puy-de-Dôme, en Touraine, en Picardie, dans la région des Baux de Provence et dans le Soissonnais (De Herde & Liébard, 1996).

On distingue des habitats troglodytiques horizontaux (ou latéraux) et verticaux. Les horizontaux se nichent dans des irrégularités du terrain, dans des falaises, des collines ou des rochers (Figure 1-5) (Rewerski, 1999). Le troglodytisme vertical se niche dans le sol, par manque d'irrégularité de terrain (Figure 1-6). En général, il y a un puits central autour duquel les pièces sont organisées. Le puits amène de l'air et de la lumière dans les pièces autour, et crée de l'ombre.

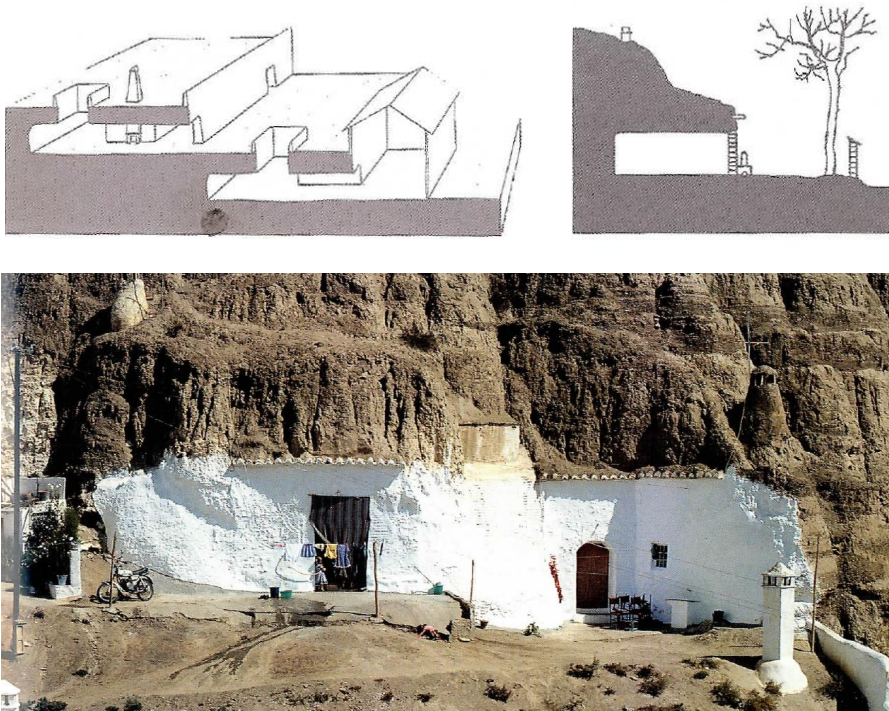


Figure 1-5 :  
 Coupes : Troglodytisme horizontal (latéral) à Paterna, Espagne (gauche) et à Xi'an, Chine (droite).  
 Photo : Troglodytisme horizontal (latéral) à Guadix, Espagne  
 Source : (Rewerski, 1999, p. 111)

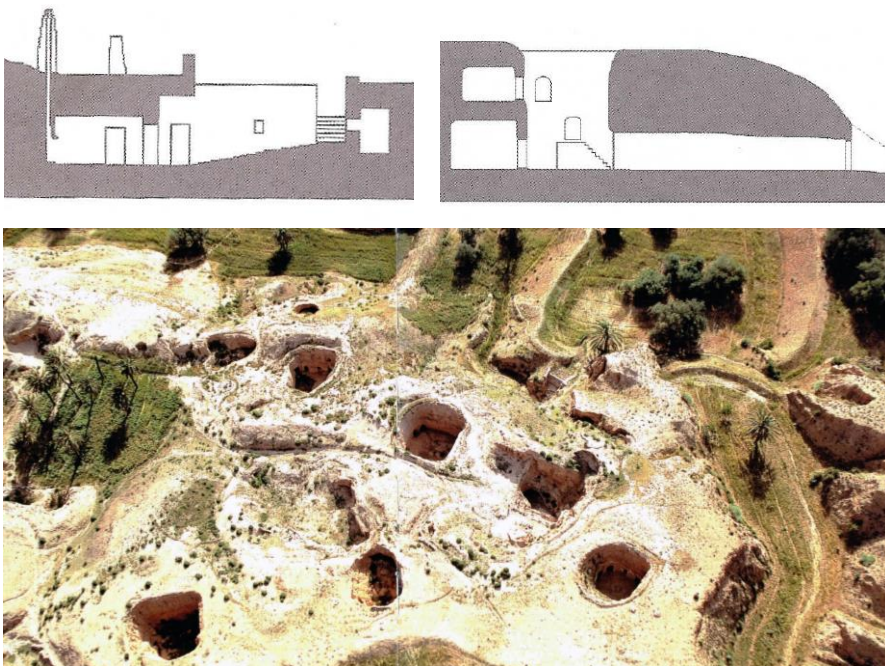


Figure 1-6 :  
 Coupes : Troglodytisme vertical avec puits dans la région de la Manche, France (gauche) et  
 Matmata, Tunisie (droite). L'exemple à droite a un tunnel d'accès latéral.  
 Photo : à Matmata, Tunisie. Vu sur la terrasse et les maisons.  
 Source : (Rewerski, 1999, p. 106)

Au niveau thermique, la particularité consiste en l'absence partielle ou totale de murs extérieurs. Le logement troglodytique n'est donc pas soumis directement aux conditions climatiques. Plus c'est profond, plus la température du sol s'approche de la température permanente. A partir d'une certaine profondeur, les changements journaliers de température ne se sentent plus, sans cependant être totalement constants. Il y a un rythme de changement thermique annuel qui se met en place, déphasé par rapport aux saisons, le temps que les rochers ou la terre réagissent. « *Il faudrait une profondeur de -4m pour obtenir un déphasage de l'ordre de trois mois, ou un déphasage « saisonnier »* » (Izard, 1993). Bertholon et Huet confirment le même effet autour de 5m (Bertholon & Huet, 2005).

### 1.2.2 La tour ou trullo ou safatin égyptien

Les premiers trullis datent de 4050 avant J.C. et les plus anciennes traces sont retrouvées à Jéricho (Palestine). « *On les considère comme la forme la plus ancienne de la maison* » (Godivier, 1978, p. 85). A l'origine, les trulli avaient un plan circulaire à l'extérieur et rectangulaire à l'intérieur (Figure 1-7 et 1-8). A partir du XIX<sup>ème</sup> siècle, l'extérieur et l'intérieur étaient rectangulaires (Frey, 2010). Certains écrits considèrent le trullo comme un exemple de la maison cubique (Carlos et al., 2014). Les ouvertures sont rares, ou même limitées à une unique porte, empêchant le soleil de rentrer. De plus, certains murs sont semi-enterrés, profitant ainsi d'une hyper-inertie de la terre. Les toitures sont en pierre et de forme conique, construites en encorbellement. Des modules peuvent y être rajoutés en fonction des besoins par rapport à l'activité agricole ou d'habitat. Les maisons sont donc plutôt groupées, et rarement isolées (Dipasquale, 2014).

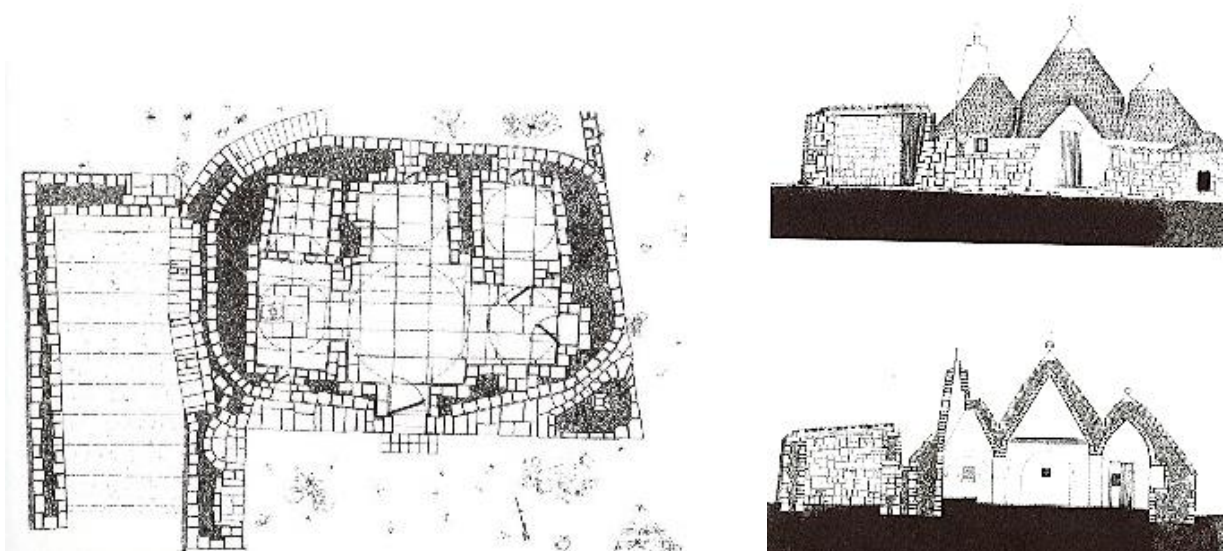


Figure 1-7 :  
Trulli à Alberobello, Italie.  
Source : Plan, façade et coupe : (Frey, 2010, p. 116)





Figure 1-8 :  
Trulli à Alberobello, Italie. Source : (Dipasquale, 2014, p. 179)

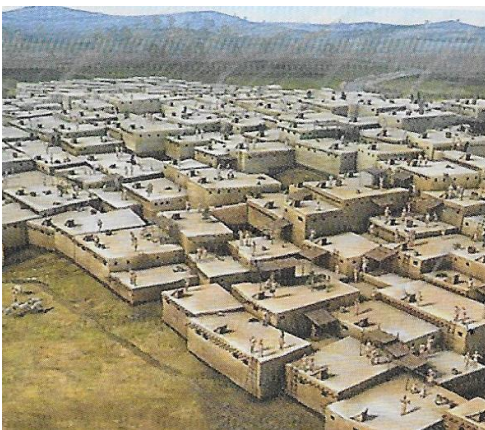


Figure 1-9 :  
Çatal Höyük (Turquie) : Un des premiers groupements de maisons cubiques retrouvés  
Source : Dessin de Dan Lewandowski (Dipasquale, 2014, p. 101)

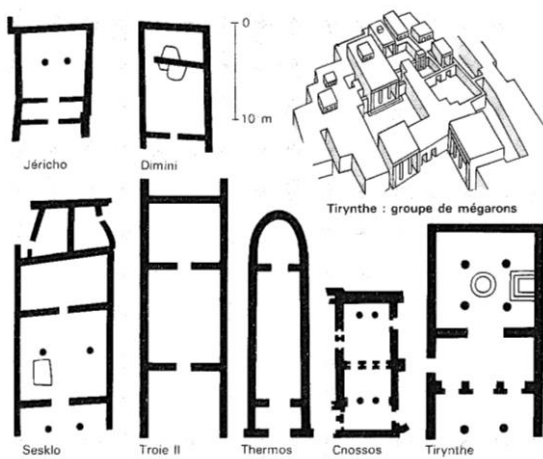


Figure 1-10 :  
Des mégarons et un groupement de mégarons. Source : (Godivier, 1978, p. 134)

Les murs ont une épaisseur comprise entre 1 et 3 m ; les murs sont doubles, constitués d'une pierre locale calcaire, et l'intervalle entre les deux est remplis de cailloux. L'épaisseur crée une grande inertie thermique, absorbant la chaleur pendant la journée et la restituant pendant la nuit. L'épaisseur des murs et le grand volume d'air intérieur sous les toitures coniques, contribuent aux qualités du confort (Frey, 2010). L'inertie est telle que la température intérieure est quasi-constante (entre 24 et 28°C) d'avril à novembre, même avec des températures extérieures pouvant atteindre 40°C en été (Cardinale et al., 2013). L'exemple le plus connu aujourd'hui se trouve au sud de l'Italie, dans les Pouilles, à Alberobello.

### 1.2.3 La maison cubique et le mégaron

Les premières traces des maisons cubiques datent de 4050 avant J.C., à Jéricho (Palestine) et Çatal Höyük (Turquie) (Figure 1-9) (Godivier, 1978). Elles sont caractérisées par un plan rectangulaire et des murs droits en maçonnerie. La forme cubique est plus facile à combiner que la forme circulaire et elle est plus pratique dans la construction. Les toits étaient probablement plats et accessibles, comme à Çatal Höyük, qui se trouve dans une zone inondable. Les accès s'y faisaient vraisemblablement par la toiture.

Le mégaron est une maison cubique qui date de la période de 1600 – 1150 avant J.C. (Figure 1-10). Le mot « mégaron » en soi fait référence à la pièce principale. Elle se trouve souvent en enfilade avec les pièces secondaires et avec les accès alignés au centre. En général, à l'entrée, il y a un vestibule avec des colonnes ou des statues. Parfois les salles sont suivies d'une cour de service extérieure, derrière la maison. Ce dernier élément se trouve en fond de parcelle. Même si sa présence n'est pas systématique, cette cour est très importante : elle n'a pas de fonction distributive, mais elle amène de l'air et de la lumière.

Selon Ho (Ho, 1984), le mégaron, avec son aspect cubique, est à la base de l'habitat occidental de l'Europe du Nord et de l'espace méditerranéen. Il est convaincu que le « *l'habitat cubique méditerranéen doit son origine au mégaron* ». Il estime donc que les typologies de l'habitat traditionnel urbain et méditerranéen, telles qu'on peut les voir aujourd'hui dans les centres-villes, en sont une évolution. Il illustre son propos avec les exemples de Marseille et de Gênes. De la même manière, le plan de la maison cubique qui se trouve au 5, rue Saint-Ravy au centre-ville traditionnel de Montpellier, daté du Moyen Âge (XIII-XIV<sup>ème</sup> siècle), montre une ressemblance avec le mégaron (Figure 1-11). Malgré le fait qu'il s'agisse d'une maison en angle de rue et qu'il y ait des fenêtres dans un mur latéral, l'idée du mégaron est bien présente : c'est une maison cubique avec des pièces en enfilade. Le mur du fond est fermé aussi.

Le fonctionnement thermique de la maison cubique est basé sur des murs épais en pierre pour l'inertie et des façades quasi-aveugles avec des percements hauts pour ventiler l'air chaud (Ho, 1984).

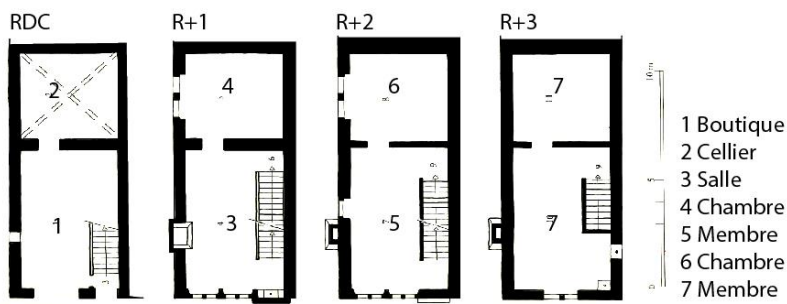


Figure 1-11 :  
Maison : 5 rue Saint-Ravy à Montpellier, Moyen Age XIII-XIV<sup>ème</sup> siècle  
Source : plan retravaillé de (Sournia, 1991, p. 55)

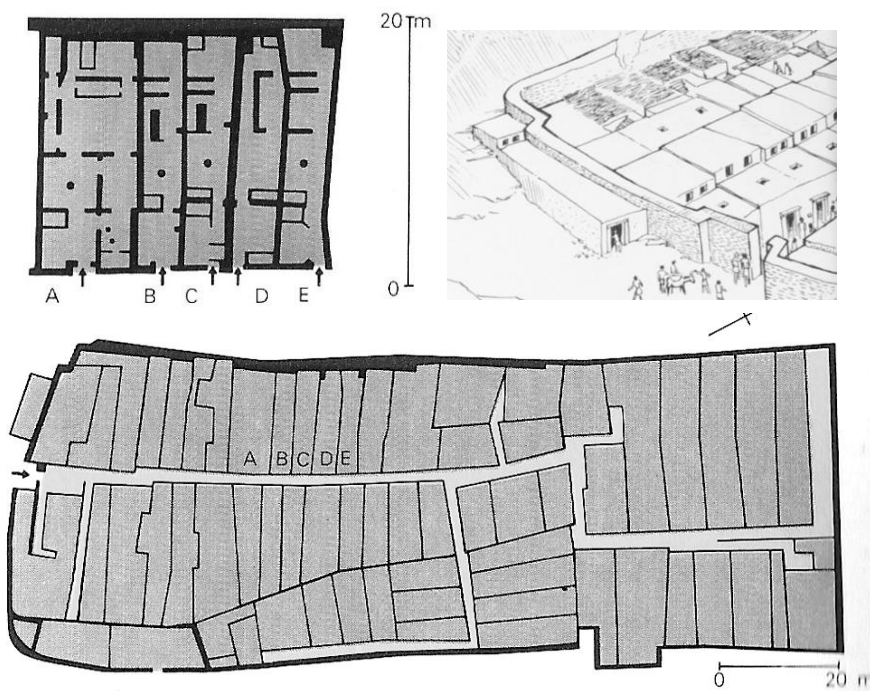


Figure 1-12 :  
Deir-el-Medineh à côté de Louxor en Egypte, 1550-1070 avant J.C.  
Source : plans : (Godivier, 1978, p. 110) ; dessin : (Koenig, 1984)

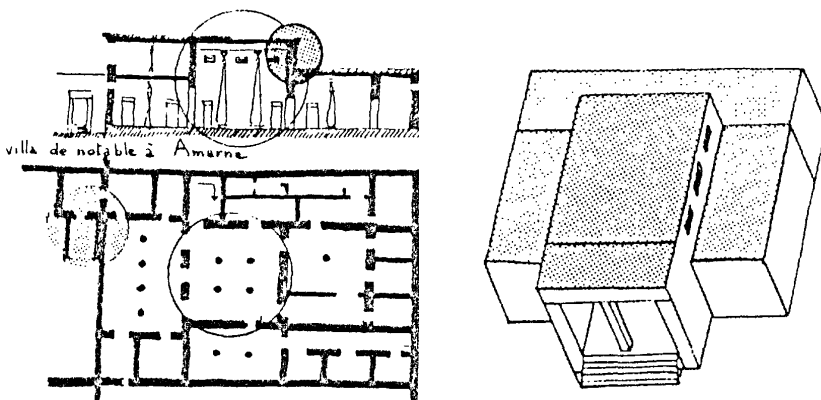


Figure 1-13 :  
Variante du mégaron : Grande salle – salle basse. Source : (Ho, 1984, p. 122)

La maison cubique s'organise facilement en groupe, grâce aux murs latéraux aveugles. Un des premiers quartiers découverts se trouve à Deir-el-Medineh, en Egypte (Figure 1-12). Les fouilles datent de 1550 – 1070 av JC. Pendant près de cinq siècles ces logements ont été habités par des ouvriers des tombes de la vallée des Rois. « *Les pièces s'alignent dans l'enfilade les unes des autres en trois ou quatre zones, les cuisines et offices étant situés au bout. Aération et éclairage sont parcimonieux mais, sous un tel climat, où le rayonnement solaire est plutôt une nuisance, les quelques fenêtres situées en hauteur ou les lucarnes dans les toits terrasses suffisent.* » (Godivier, 1978, p. 111).

Ci-dessous, quelques variantes retrouvées dans la littérature.

**VARIANTE 1 : « Habitat cubique à soupente »** (Ho, 1984, p. 122)

Une soupente est un espace en haut d'une pièce recoupée par un plancher. Ho utilise le mot aussi bien dans un contexte de toit en pente que dans un contexte de toit terrasse. Il s'agit donc de l'espace sous le toit, sans prendre en compte sa forme. En revanche, de manière générale, il est stipulé qu'on retrouve la coupole et le toit terrasse au Maghreb, et la toiture en pente avec des tuiles rondes en France et, plus généralement, dans la culture occidentale (*CORPUS – Euromed Heritage*, 2019 ; Ho, 1984). Suivant Guillaud, il y a un lien entre le site d'un habitat rural et la forme de son toit (Guillaud, 2014). En France par exemple, il mentionne une distinction entre le nord et le sud, avec une séparation au niveau de la ligne de l'estuaire de la Loire et le Jura. Au nord, on retrouve des toitures à pente raide, orientées nord. Au sud, il y a surtout des toitures à faible pente, orientées sud. Sournia retrouve également la faible pente au centre-ville de Montpellier, l'estimant à 15° (Sournia, 1991). La typologie Corpus, un inventaire international sur le logement méditerranéen traditionnel, a étudié des études de cas à la campagne comme en ville, et arrive à la conclusion que la toiture traditionnelle méditerranéenne en France est une toiture en pente, en bois, à deux ou quatre pans, couverte de deux couches de tuiles romaines (*CORPUS – Euromed Heritage*, 2019). L'espace de la soupente est utilisable et utilisé. Plusieurs fonctions sont possibles, comme espace habitable ou espace de stockage. Thermiquement, la soupente a la fonction de zone tampon contre la chaleur et le froid.

**VARIANTE 2 : « Grande salle – salle basse »** (Godivier, 1978, p. 111 ; Ho, 1984, p. 122)

C'est une variante du mégaron. La salle centrale est plus haute que les pièces qui l'entourent (Figure 1-13). Dans la différence de hauteur, il peut y avoir des fenêtres, qui fournissent de l'air et de la lumière, et favorisent la ventilation. L'entrée est protégée du soleil. Ce type revient souvent dans les temples grecs. Mais il est intéressant de remarquer que cette configuration est aussi visible dans des bâtiments plus récents, comme par exemple aux Carrats à Port-Leucate, construit par Georges Candilis dans les années 60 : les salles de bain se trouvent au centre et dépassent les pièces qui se trouvent autour, et il y a des fenêtres dans la différence de hauteur.



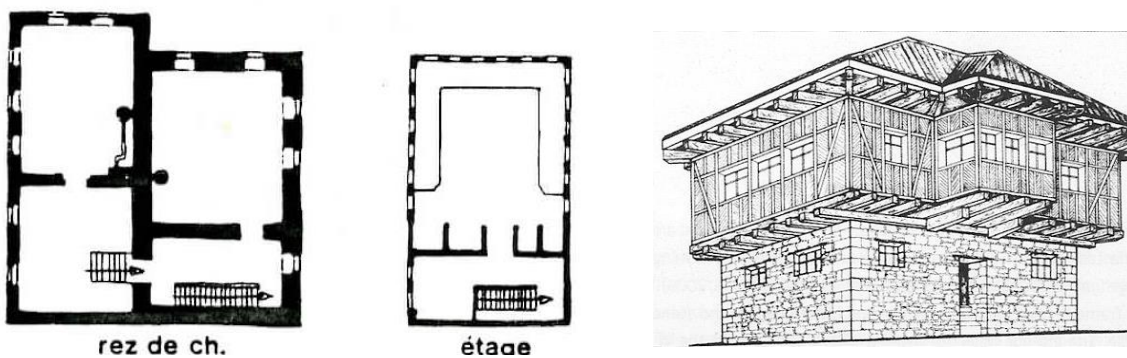


Figure 1-14 :

Variante de la maison cubique :

cube lourd en pierre au RDC + cube léger en bois ou torchis à l'étage.

Source : plan à gauche : (Abdulak & Pinon, 1973, p. 8) ; dessin à droite : (Dipasquale, 2014, p. 237)

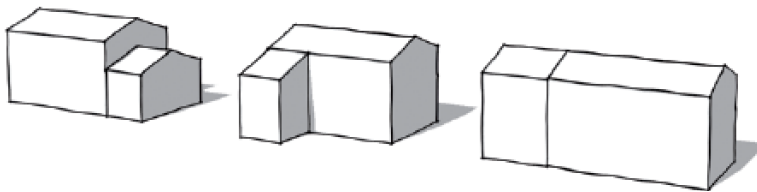


Figure 1-15 :

Variante de la maison cubique : maison compacte isolée

Source : (CAUE de l'Hérault, 2013, p. 24)

**VARIANTE 3 : Cube léger + cube lourd**

A plusieurs reprises, la littérature mentionne des types qui sont constitués d'un cube lourd au rez-de-chaussée, la plupart du temps en pierre, et un cube léger à l'étage (Figure 1-14). Le cube léger peut être en bois ou en torchis. Suivant Ho, ce type se retrouve surtout en Turquie occidentale, en Grèce du Nord et en France (Ho, 1984). Pinon y rajoute qu'ils sont généralement localisés dans les régions aux hivers plus froids (Abdulak & Pinon, 1973). De nouveau, il est intéressant de remarquer que cette configuration est aussi visible dans des bâtiments plus récents, comme par exemple plusieurs maisons de Perris. Perris Architectes construites à Roquefort-des-Corbières : le rez-de-chaussée est en maçonnerie avec un habillage de pierre, l'étage en structure bois.

**VARIANTE 4 : « Maison compacte » isolée (Ecole d'Avignon, 2002)**

Dans l'espace Méditerranéen, 80% des typologies d'habitat se trouvent regroupés dans des villes, des villages ou des hameaux. Les 20% restants sont des typologies isolées, mais pas très éloignées d'un groupement (Ecole d'Avignon, 2002). L'intitulé « compact » fait référence à un espace homogène, unique (Carlos et al., 2014). La cuisine ou le foyer avec le feu, « l'opposé du patio », prend une position centrale. Afin de faciliter la distribution de la chaleur dans la pièce, il y a très peu de compartiments dans les maisons compactes traditionnelles. Elles sont décrites avec des façades opaques, percées de petites ouvertures, un usage de matériaux bruts, comme de la pierre, et des toitures massives contre le froid, le soleil et la pluie. La façade sud affiche des ouvertures plus grandes, la façade nord des petites, et les façades est et ouest n'en comportent pas (CAUE de l'Hérault, 2013 ; Ferrier et al., 1983). En France, ce type de fermes ou de mas d'exploitation agricole est courant depuis le XVI<sup>ème</sup> siècle, mais beaucoup ont été construits au XIX<sup>ème</sup> siècle, et ils ont évolué dans le temps. En général, il y a une maison principale, plus haute que les annexes accolées (Figure 1-15), qui loge de manière multigénérationnelle la famille du fermier. La fonctionnalité des annexes dépend de l'exploitation : chai viticole, cave, bergerie, hangar... (CORPUS – Euromed Heritage, 2019). Les logements sont en général plus compartimentés et ne forment plus un espace unique.

**VARIANTE 5 : Semi-enterré – sans sous-sol**

De manière générale, l'habitat méditerranéen n'a pas de sous-sol (CORPUS – Euromed Heritage, 2019). Plus fréquemment, on retrouve un niveau semi-enterré, c'est-à-dire avec un mur apparent et plusieurs murs enterrés (Ecole d'Avignon, 2002).



Figure 1-16 :

Gauche : La première maison à cour retrouvée à Ur. Les pièces s'ouvrent sur la cour centrale.

Source : (Godivier, 1978, p. 88)

Droite : Babylon, Mésopotamie, 605-561 avant J.C. Assemblage de maisons à cour : les murs aveugles sont avoisinés.

Source : (Kirschenmann & Muschalek, 1980, p. 9)

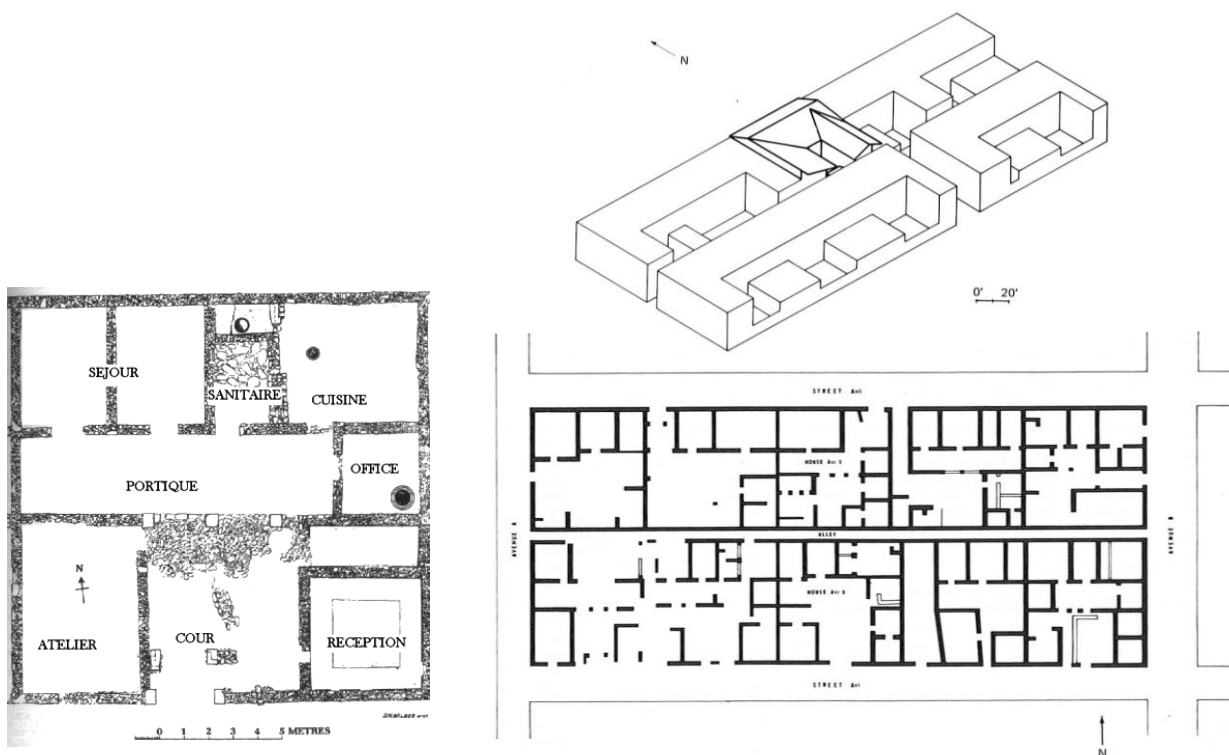


Figure 1-17 :

Gauche : Olynthos, Grèce, construit 432 avant J.C. L'axonométrie montre une maison avec une reconstitution de la toiture en pente. Source : (Knowles, 1974, pp. 112-113).

Droite : zoom sur une maison à cour grecque à Olynthos (Olympos, 2005).

## 1.2.4 La maison à cour

Zhang (Zhang, 2020) étudie différentes maisons à cour dans différentes cultures, dont les maisons à cour islamiques et gréco-romaines. Les premières maisons à cour ont été retrouvées vers 2000 avant J.C. à Ur, en Mésopotamie (actuellement Irak). Il s'agit donc de maisons à cour, représentatives de ce que nous appelons aujourd'hui « le type islamiques », même si ce terme n'apparaîtra lui-même que des siècles plus tard. Elles sont considérées comme l'adaptation des fermes rurales à l'environnement urbain (Godivier, 1978, p. 89). Les logements se ferment sur l'extérieur, sur la rue, et s'ouvrent sur l'intérieur, plus spécifiquement sur une ou plusieurs cours (Figure 1-16 – gauche). Les pièces sont organisées autour de ces cours, qui deviennent alors les seules sources d'air et de lumière. En général, il n'y a que la porte d'entrée qui communique avec la rue. De cette manière il est facile de grouper plusieurs maisons, en avoisinant les murs aveugles, comme par exemple à Babylone, également en Mésopotamie (605-561 avant J.C.) (Figure 1-16 – droite). Les logements sont de tailles différentes, mais ils ont tous des pièces orientées autour d'une ou plusieurs cours centrales.

La maison à cour islamique traditionnelle est un sujet très analysé dans la littérature (Figure 1-18). La cour centrale crée une intimité et protège les habitants des vues extérieures. Elle est au centre dans la maison, aussi bien dans l'organisation physique, que dans l'organisation sociale et fonctionnelle. C'est à vrai dire le cœur battant de la maison. Pour cette raison, on l'appelle le *wast ed-dar* en Arabe (Dipasquale et al., 2014, p. 154), ce qui se traduit par *cœur de maison*. La cour centrale et ses analyses et descriptions, baignent dans une ambiance sensible, poétique, liée à l'exotisme de la culture islamique. On sent une fascination pour cette culture et sa traduction spatiale. Mais quid des cours françaises ? Elles sont moins exotiques, moins colorées dans la description, beaucoup moins présentes dans le tissu urbain et donc également dans les écrits.

Un exemple d'une maison à cour de l'époque gréco-romaine est une maison d'Olynthos en Grèce, construite à partir de 432 avant J.C. (Figure 1-17). Ce plan remarquable regroupe des maisons à cour de manière régulière : les maisons sont presque rectangulaires et les rues sont orientées nord-sud et est-ouest. L'ensemble est aligné. Les cours sont pour la plupart orientées sud, et entourées de trois côtés par des pièces. L'accès aux maisons se fait par la cour, et donc soit par la rue, soit par la ruelle de service.

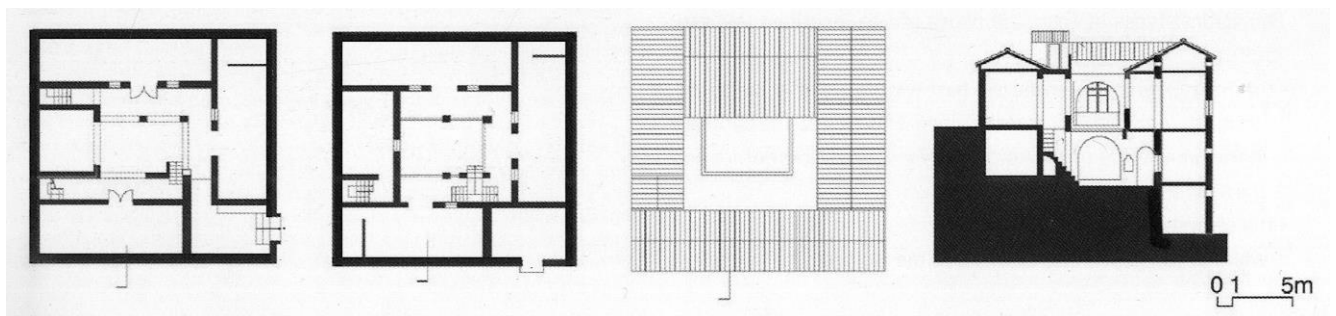


Figure 1-18 :  
La maison à cour islamique traditionnelle, typique à Cherfchaouen, Maroc. Source : (Dipasquale et al., 2014, p. 152)

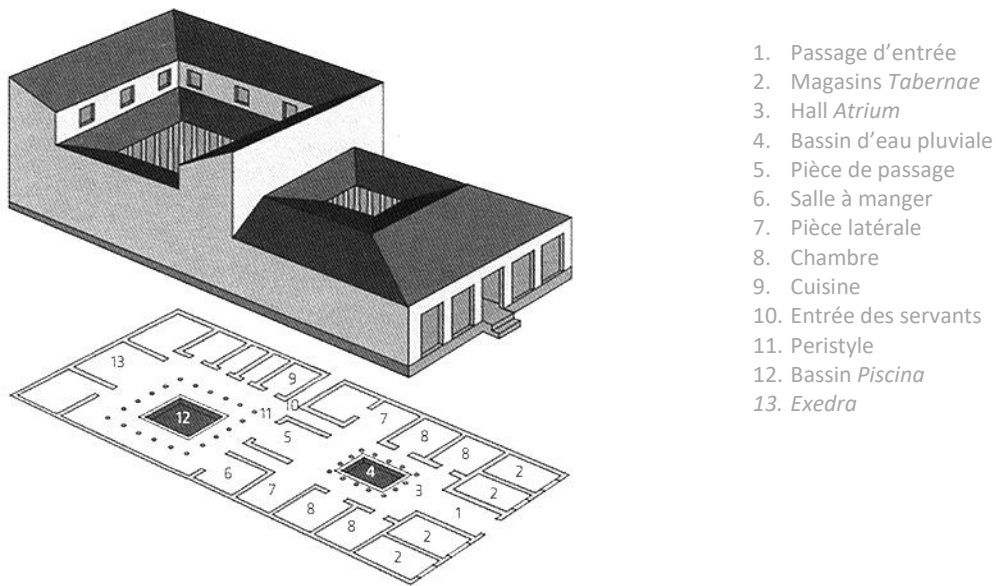


Figure 1-19 :  
La domus romaine avec deux cours  
Source : (Dipasquale et al., 2014, p. 152)

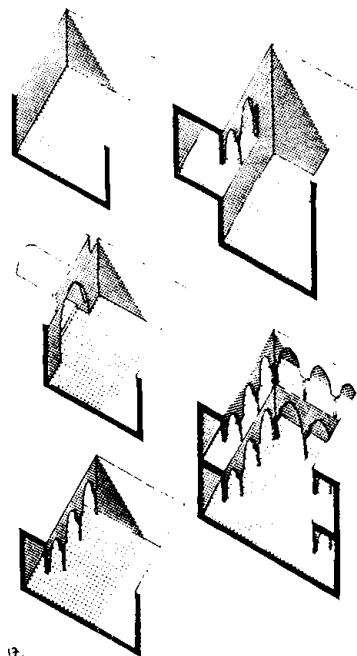
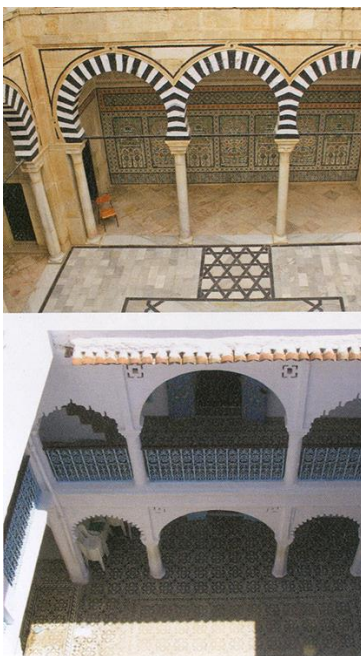


Figure 1-20 :  
La cour et ses espaces attenants : un système spatial, « l'architecture de l'ombre »  
Photos : Source : (Dipasquale et al., 2014, p. 153)  
Coupes schématiques : Source : (Abdulak & Pinon, 1973, p. 9). Citation : Source : (Ecole d'Avignon, 2002)

Un autre exemple est la *domus* romaine (Figure 1-19). Il s'agit d'une maison à deux cours l'une derrière l'autre : l'*atrium* ou la cour publique et le *péristyle* ou la cour privée (Figure 1-19). L'accès se trouve sur le même axe des cours, bien visible de la rue.

Souvent, la cour est décrite non pas comme un élément indépendant, mais comme un système spatial, où plusieurs éléments sont en lien. Il y a la cour elle-même, à ciel ouvert, et plusieurs éléments attenants, couverts : le passage d'entrée ; la galerie ; la loggia, loge ou porche couvert ; et l'*iwan* (Figure 1-20). Les hommes de différentes cultures et régions ont développé différents espaces, qui répondent à différents besoins culturels et différents climats. Ce système d'espaces liés est appelé de manière poétique « *l'architecture de l'ombre* » (Ecole d'Avignon, 2002). La galerie est un élément qui borde la cour ; elle a une fonction de circulation et non pas vraiment de séjour, à cause de sa faible profondeur. Elle peut se trouver sur un ou deux étages, et sur un, deux, trois ou quatre cotés. S'il n'y a qu'un côté, elle est généralement orientée au nord. On les retrouve surtout en Andalousie et dans les régions du Maghreb qui ont un climat plus pluvieux (Abdulak & Pinon, 1973, p. 9). La loggia, ou encore loge, porche couvert ou portique, est un espace plus profond que la galerie, créant ainsi un lieu de séjour. Parfois le sol de la loggia est légèrement plus haut que le sol de la cour. Sournia met en lien le porche couvert (= loge) avec le porche découvert (= cour) et précise qu'il y a une vingtaine de loges à Montpellier (Sournia, 1991, p. 63). Ceci n'est pas beaucoup sur toute une ville. L'*iwan* est quant à lui « *une sorte de pièce de grandes dimensions et de plan carré, qui s'ouvre d'un côté sur la cour. Il est couvert par une voûte ou une terrasse de troncs de bois* » (Abdulak & Pinon, 1973). L'*iwan* est toujours orienté au nord et est un lieu de séjour, de réunion et de réception. Il est originaire de Mésopotamie. On en trouve au Liban et en Turquie, ou encore à Fes, Tunis ou au Caire.

La maison à cour, comme la *domus romaine* ou la *maison à cour islamique*, est considérée comme la maison éminemment méditerranéenne (Dipasquale et al., 2014 ; Garcia, 2018 ; Ho, 1984). Garcia décrit son fonctionnement thermique : « *Massique avec une protection solaire principalement par retournement des ouvertures extérieures vers la cour intérieure, fraîche et naturellement ombragée. La ventilation transversale permet à l'air frais de la cour de refroidir les espaces intérieurs. Les espaces extérieurs permettent de faire un nomadisme journalier entre l'intérieur protégé et l'extérieur frais le matin et la nuit.* » (Garcia, 2018, p. 175). Les cours sont connues pour leurs qualités de rafraîchissement, de véritables « *systèmes de rafraîchissement naturel* » selon Dipasquale (Dipasquale et al., 2014). La présence de végétation et de fontaines à eau au centre de la cour favorise encore cet effet. Le nomadisme concerne le déplacement vers d'autres pièces la maison, à la recherche de fraîcheur. Ce nomadisme peut être saisonnier quand certaines pièces ne sont habitées qu'une partie de l'année, ou journalier, quand les changements se font dans une journée. Quand le rez-de-chaussée et la cave reçoivent moins de soleil et sont donc plus frais en été, il s'agit d'un nomadisme vertical. Quand les pièces d'hiver (orientées sud) et d'été (orientées nord) se trouvent sur le même étage, il s'agit d'un nomadisme horizontal.



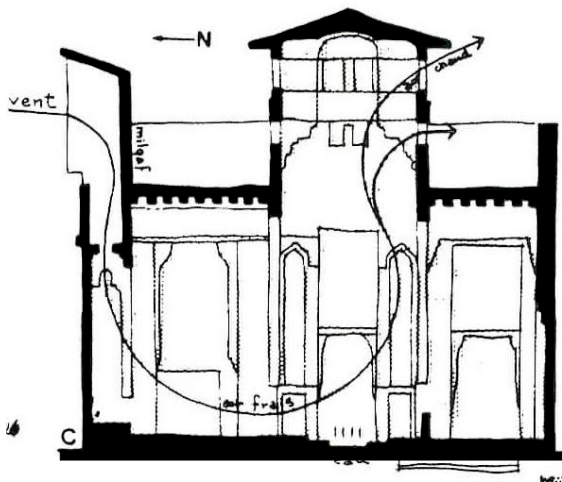


Figure 1-21 :  
Variante de la maison à cour : Maison à tour à vent à Le Caire :  
l'air frais rentre par la tour et circule dans la maison  
Source : (Abdulak & Pinon, 1973, p. 13)



Figure 1-22 :  
Variante de la maison à cour : Maisons à cour commune : Casali Procida en Italie.  
Source : (Dipasquale et al., 2014, p. 161)

**VARIANTE 1 : La maison à cour avec tour**

Les tours à vent (Figure 1-21), par exemple les malkef ou bagdir qui se trouvent en Iran, captent le vent pour ventiler la maison. C'est une « *tour avec des ouvertures face aux quatre directions. Elle permet une entrée d'air non seulement grâce au vent mais aussi grâce à la différence de température (extérieur, intérieur). En effet, lorsque les températures de l'air intérieur sont inférieures aux températures de l'air extérieur, la pression s'oppose à la pénétration du vent.* » (Mansouri, 2003, p. 47). Parfois des jarres remplies d'eau en bas de la tour rafraichissent davantage l'air passant. Les tours peuvent être au milieu ou désaxées, uni- ou multidirectionnelles (Izard & Guyot, 1979).

**VARIANTE 2 : La maison à cour décalée**

Parfois la cour n'est pas centrale, entourée des pièces, mais une cour qui donne sur un ou plusieurs murs ou clôtures. Elle est donc décalée. L'Ecole d'Avignon les définit en fonction de l'emplacement de la cour (Ecole d'Avignon, 2002). Le mot « *patio* » est un mot Espagnol qui est apparu au XV<sup>ème</sup> siècle. Il est utilisé pour nommer les cours en France, qui typiquement sont entourées de trois ou quatre côtés par des pièces du bâtiment. La « *cour* » est « *un espace plus ou moins généré par le bâti, plus ou moins tracé par la clôture. ... plus souvent limitée par des murs que par des bâtiments* ». Dans certains cas, le terme utilisé mentionne également la présence d'une activité agricole ou animale dans la cour. Le « *jardin* » à son tour est défini comme : « *Si dans le patio, complètement, ou dans la cour, partiellement, l'espace était confiné par le bâti, dans le jardin ce n'est plus le cas. Jardin et maison sont juxtaposés, s'additionnent, chacun pouvant théoriquement exister par lui-même.* »

**VARIANTE 3 : Cours multifamiliale**

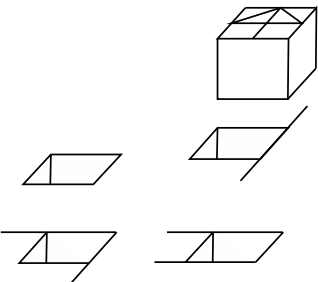
Il s'agit d'un groupement de plusieurs logements autour d'une grande cour commune. Par exemple les Casali Procida en Italie (Figure 1-22) (Dipasquale, 2014).

**1.2.5 Récapitulatif : Les éléments de conception passifs**

Les exemples et les archétypes présentés ci-dessus, illustrant l'architecture d'été traditionnelle, ont des stratégies ou des éléments architecturaux qui aident à s'armer contre les conditions estivales. Il s'agit de « *stratégies qui n'exigent pas de l'énergie externe pour améliorer la performance du bâtiment* », ou de « *stratégies passives de projet* » (Rodriguez-Ubinas et al., 2014). Certains les appellent les « *paramètres de conception* » (Izard, 1993). D'autres appellent ces stratégies des « *actions architecturales* » (Garcia, 2018).



Tableau 1-1 : Récapitulatif des éléments de conception passifs en été, complété avec des éléments de la littérature (Garcia, 2018 ; Izard, 1993 ; Lechner, 2014 ; Rodriguez-Ubinas et al., 2014)

ELEMENTS DE CONCEPTION	
	<b>ENVELOPPE DU BÂTIMENT</b> inertie des matériaux isolation étanchéité à l'air murs ou toit ventilés
	<b>ORIENTATION ET AMENAGEMENT (INT ET EXT)</b> orientation nord-sud zones tampons intérieures sas d'entrée végétation patio: bâtiment sur quatre côtés bâtiment sur trois côtés cour: bâtiment sur deux côtés + murs bâtiment sur 1 côté + murs
	<b>GEOMETRIE</b> compacité petites fenêtres
	<b>PROTECTION SOLAIRE ET COULEURS LEGERES</b> espaces attachés extérieurs: auvent: auvent débord de toiture / de terrasse brise-soleil horizontal porte-à-faux passage couvert pergola flanc : décrochement de façade saillie de refends loggia protection des toitures: parasol combles toit végétalisé protections solaires mobiles couleur blanche
	<b>RAFRAICHISSEMENT PASSIF</b> par ventilation : ventilation transversale (jour et nocturne) effet de cheminée (entre pièces de niveaux différents) capteurs de vent expositions de façade variées: plan éclaté mur perméable à l'air: claustras/moucharabiehs/fentes si plan compact: absence de cloisonnement par radiation de la toiture (la nuit) par évaporation: bassin / évaporation d'eau par la terre: locaux (partiellement) enterrés : hyper-inertie cave ou citerne enterrée fraîche
	<b>COMPORTEMENT</b> nomadisme quotidien/saisonnier (horizontal/vertical)

Le tableau 1-1 est un récapitulatif des éléments de conception passifs des bâtiments traditionnels adaptés au climat chaud et sec et au climat méditerranéen, mentionnés dans la partie précédente. Il a été complété avec des éléments de la littérature (Garcia, 2018 ; Izard, 1993 ; Lechner, 2014) et l'analyse des propositions du Solar Decathlon à Madrid en 2012 (Rodriguez-Ubinas et al., 2014). Izard précise que le flanc, en tant que protection solaire, n'est pas très efficace en été ; et que les auvents et loggias orientés au sud ont une efficacité maximale en été.

### 1.3 Morphologies urbaines méditerranéennes traditionnelles

Guez (Guez, 1998) recherche des éléments communs dans trois villes méditerranéennes : Barcelone (Cerdà), Montpellier (centre-ville traditionnel) et Tunis (centre-ville traditionnel). Il est intéressant de noter qu'il s'agit de villes au nord et au sud de la mer méditerranéenne. Il arrive à la conclusion que les trois tissus ont des éléments communs. Il en nomme trois. Le premier est l'intégration des fonctions, comme par exemple des écoles, des églises, des hôpitaux, des ateliers artisanaux, au milieu des îlots urbains. Ces fonctions sont donc entourées par des logements. Il mentionne ce mélange de fonctions ou la poly-fonctionnalité comme élément typiquement méditerranéen. Mais encore plus frappant que l'analyse de la poly-fonctionnalité, cet aspect fait référence au caractère clos et dense des îlots, car même les centres des îlots sont construits, et non pas ouverts. Il parle « *d'îlots pleins, c'est-à-dire saturés, percés de puits de lumière* » (Guez, 1998, p. 87) (Figure 1-23).

Le deuxième élément que ces trois villes ont en commun est l'îlot fermé et l'aspect secret des logements. L'accent des villes méditerranéennes ne se trouve selon lui pas sur la rue. La fenêtre sert à faire passer l'air et la lumière et non pas à s'ouvrir sur la rue.

Le troisième élément commun est la présence d'éléments méditerranéens, comme le porche, l'encorbellement, l'auvent, le balcon, la loggia.

Vu la grande taille du bassin méditerranéen et la diversité culturelle inhérente au territoire, trouver des éléments urbains communs « méditerranéens » est délicat. Ci-dessous je mentionne cependant quelques éléments récurrents dans la littérature.

#### 1.3.1 Les ruelles étroites

Les tissus traditionnels méditerranéens ont tendance à être denses et compacts, traversés par des ruelles étroites et des impasses (Figure 1-23 et 1-24). De manière générale, les bâtiments sont rapprochés pour faire de l'ombre entre eux (ADEME, 2021 ; CORPUS – Euromed Heritage, 2019 ; Guez, 1998 ; Izard & Guyot, 1979).

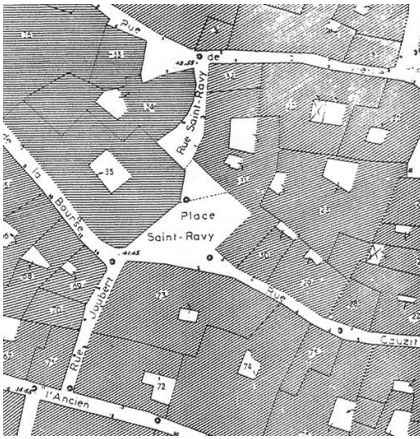


Figure 1-23 (gauche) :

Gauche : Plan cadastral de Montpellier : Un tissu urbain majoritairement composé de maisons cubiques et quelques maisons à cour : le caractère dense des îlots pleins, percés de puits de lumière. Source : (Guez, 1998, p. 105)

Droite : Maquette de Ghardaia en Algérie : Il s'agit d'un tissu urbain composé de maisons à cour : Les ruelles étroites font de l'ombre sur les façades. Source : (Dipasquale et al., 2014, p. 153)

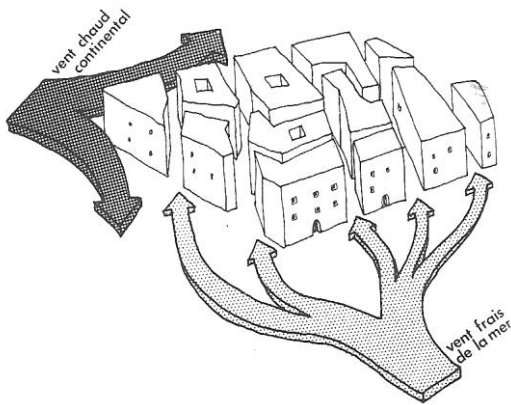


Figure 1-24 :

L'orientation des rues par rapport aux vents dominants. Source : (Izard & Guyot, 1979, p. 104)

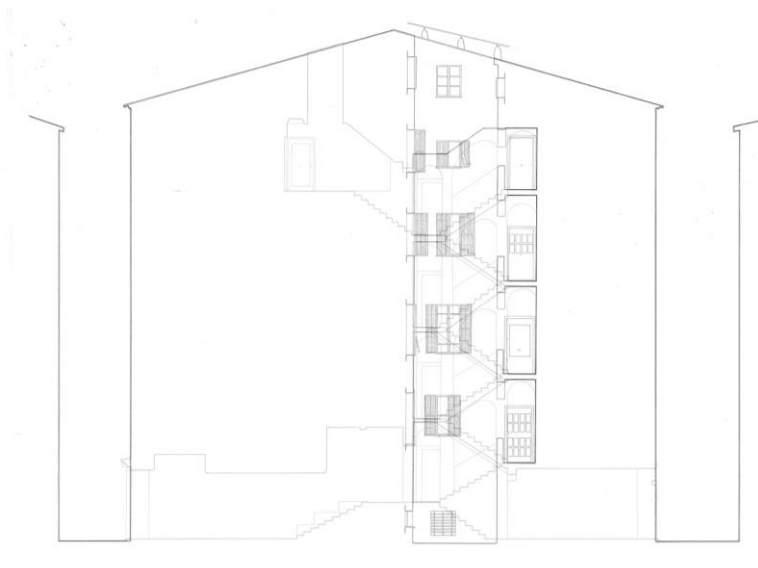


Figure 1-25 :

Une coupe sur une maison du Vieux-Nice : le clairioir ou l'ouverture au-dessus des portes d'entrée fait le lien entre la rue, le passage et le patio et crée un tirage thermique

Source : dessin de Jaafar Fanchi, stagiaire au laboratoire LIFAM. Maison du Vieux-Nice, 11 rue Colona d'Istria

Les ruelles sont donc « *profondes et sinueuses, amenuisant ainsi les temps d'ensoleillement des façades et empêchant le vent de chasser l'air frais accumulé la nuit.* » (Abdulak & Pinon, 1973). Les rues varient en largeur, créant une hiérarchie entre les rues principales traversantes et les impasses où se trouvent les entrées de maisons (Dipasquale, 2014) (Figure 1-23).

### 1.3.2 L'orientation et la ventilation des rues

De manière générale, les rues ne sont pas orientées dans la direction des vents dominants, afin d'y améliorer le confort. Dans les régions cotières par exemple, les rues s'ouvrent sur les brises fraîches de la mer (tirage thermique quotidien), et se ferment au contraire aux vents chauds chargés de poussière (Figure 1-24). Cette notion était déjà mentionnée par Vitruve dans son ouvrage « *Les dix livres d'architecture* ». Il conseillait d'éviter une orientation de rue dans la direction des vents dominants, pour éviter la nuisance du froid et de l'humidité (Vitruvius, 1960, p. 24).

Un bel exemple est le Vieux-Nice en France. L'analyse de ce quartier montre qu'il y a un microclimat à effet positif en été (Adolphe, 1998, p. 134). Le vent dominant est nord-ouest. Les larges rues est-ouest mènent vers la colline rocheuse, qui se trouve au soleil l'après-midi, créant une différence de température et un tirage thermique, attirant ainsi l'air dans les rues. Les rues nord-sud sont très étroites et orientées vers la mer, et ne sont exposées au soleil que moins d'une demi-heure en été. Les immeubles sont hauts (20 à 25 m) et font de l'ombre, les ruelles étroites gardent l'air frais pendant la journée. Les Niçois parlent d'un léger sentiment de fraîcheur continue, d'une « *ventilation régulière d'une rue à l'autre* ». Il y a des ouvertures au-dessus des portes d'entrée – des clairoirs – qui donnent sur le patio interne où se trouvent les cages d'escalier avec des ouvertures en partie haute (Figure 1-25). Le réchauffement des toitures et la différence de température avec les rues, créent un tirage thermique (appelé l'effet de cheminée). La séquence rue – clairoir – passage couvert – patio favorise le déplacement de l'air, tandis que le patio crée un effet de cheminée à l'intérieur des immeubles (Cadoni, 2015, p. 70). En complément, un alignement de bâtiments côté mer protège du mistral quand il souffle trop fort.

### 1.3.3 L'implantation perchée

Un élément qui revient régulièrement dans la littérature est l'implantation perchée des villages traditionnels méditerranéens (en France). « *La plupart du temps les villages traditionnels en Provence sont situés sur un adret (exposition sud), adossés sur la colline. L'une des motivations de cette implantation en est la protection du Mistral<sup>4</sup>* » (Izard & Guyot, 1979, p. 30). En plus de la protection des vents forts, les raisons d'une telle implantation sont multiples : éviter l'humidité et les inondations, se défendre ou démontrer son pouvoir ou encore laisser passer les brises rafraichissantes en été (Ferrier et al., 1983, p. 222 ; Vitruvius, 1960, p. 17).

<sup>4</sup> Le mistral est un vent froid venant du nord - nord-ouest.

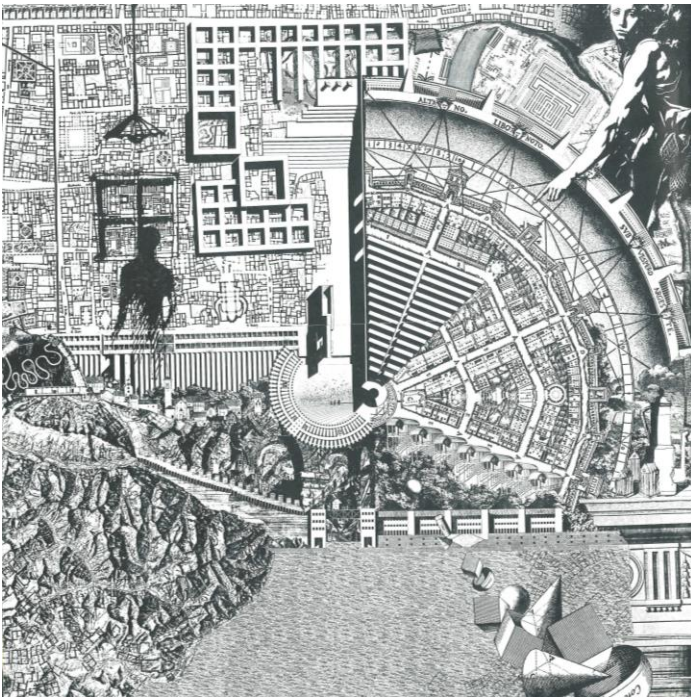


Figure 1-26 :  
« La ville analogue » collage/dessin collectif de C. Consolascio, B. Reichlin, F. Reinhart et A. Rossi ;  
Les aspects inter-scalaires et inter-temporels d'une morphologie urbaine. Source : (Rossi, 1976, p. 4)

### 1.4 L'analyse typo-morphologique

Examinons maintenant comment les éléments mentionnés dans la première partie peuvent être étudiés du point de vue typo-morphologique. Je décrirai le cadre théorique de l'analyse typo-morphologique et les différentes écoles, pour finir avec les niveaux d'analyse et le « réseau des vides ».

En architecture, l'analyse typo-morphologique est une méthode de recherche qui étudie les formes urbaines, en se basant sur les bâtiments, les parcelles et les rues. On peut même dire qu'il s'agit d'un domaine de recherche tout entier, domaine incarné depuis 1994 par l'International Seminar on Urban Form (ISUF) et son Journal « Urban Morphology ». Elle s'est répandue dans le monde des architectes et des urbanistes suite aux écrits de l'école Italienne des années 60, de Rossi et Muratori (Rossi, 2001), qui y voyaient une alternative au zoning et au planning top-down. Leurs bases théoriques ont évoluées avec l'école française de Versailles dans les années 80-90 (Panerai & Castex, 1997). Une seconde école, dite anglaise, est fondée sur l'œuvre de référence de Conzen des années 60 (Conzen, 2021). Sans rentrer dans les détails, ces deux approches étudient les formes urbaines, elles diffèrent surtout sur les définitions et les précisions des différents niveaux étudiés. En revanche, elles s'accordent sur les points suivants : l'aspect inter-scalaire d'une analyse à l'échelle urbaine et du bâtiment, et l'aspect inter-temporel qui permet une analyse de morphologies d'époques différentes.

L'aspect inter-scalaire, ou sans échelle, représente les aller-retours entre l'échelle de l'architecture et celle de la ville. C'est un binôme indissociable (Rossi, 2001). La ville n'est pas un assemblage de zones définies administrativement dans un bureau, mais de fragments urbains, qui sont définis à leur tour par une architecture propre et une forme propre. Les architectures des bâtiments créent différents fragments de la ville. Les fragments créent à leur tour l'architecture des bâtiments. Cette notion est illustrée dans le collage « la ville analogue » (Rossi, 1976) (Figure 1-26).

L'aspect inter-temporel ou « *an-historique* » ou encore « *supra-historique* » permet d'étudier et de comparer des formes issues de périodes historiques différentes (Grassi, 1983).

La méthode typo-morphologique peut être critiquée pour son approche formelle, qui ne prend pas assez en compte les impacts des contextes sociaux-environnementaux, malgré l'attention portée à ce sujet par Rossi dès son origine (Rossi, 2001). En effet, l'étude des formes en soi n'est pas suffisante pour expliquer les phénomènes. Certaines études y répondent explicitement avec une analyse contextuelle historique, voire sociale, qui dépasse largement la simple étude de formes de périodes historiques différentes (Bürklin & Peterek, 2007 ; Panerai & Castex, 1997).

Les portes d'entrée de l'analyse typo-morphologique sont les bâtiments, leurs parcelles et la manière dont elles sont regroupées par rapport aux rues. Dépendant des écrits et des auteurs, les étapes hiérarchiques et les nominations des portes d'entrée sont légèrement différentes. Kropf fait une étude comparative détaillée entre l'approche italienne de Caniggia et Maffei (1979), et l'approche anglaise de Conzen (1960) (Kropf, 2014). Il identifie des éléments en commun et des ambiguïtés, et par la suite il propose un cadre hiérarchique

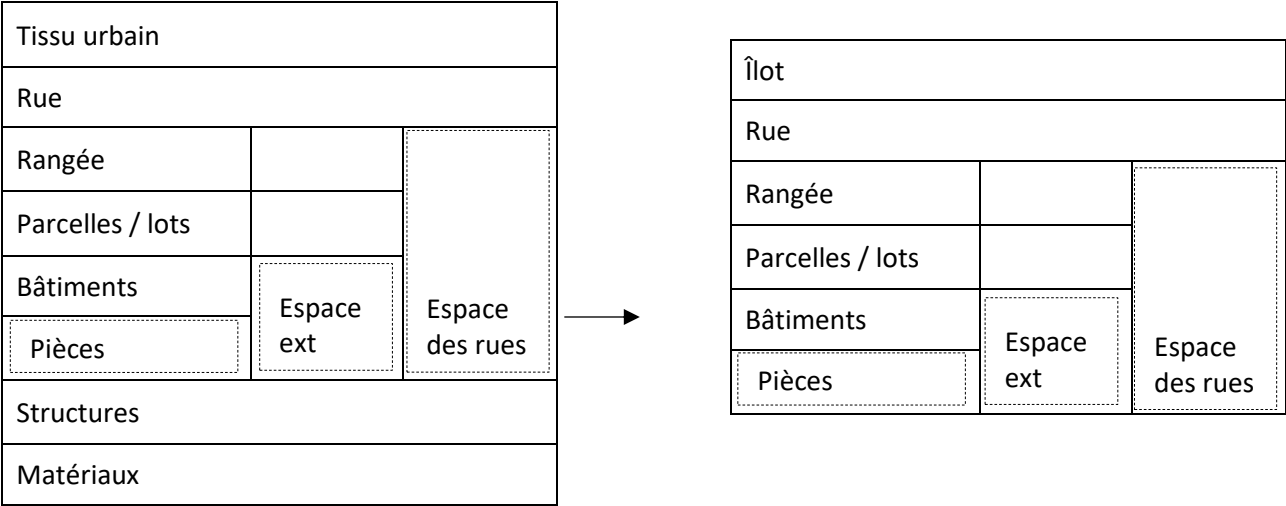


Figure 1-27 :  
Gauche : le cadre de comparaison italo-anglais de Kropf, traduit en Français. En pointillés : le « réseau des vides »  
Droite : adaptation du cadre de comparaison. Sources : gauche : (Kropf, 2014) ; droite : dessin personnel

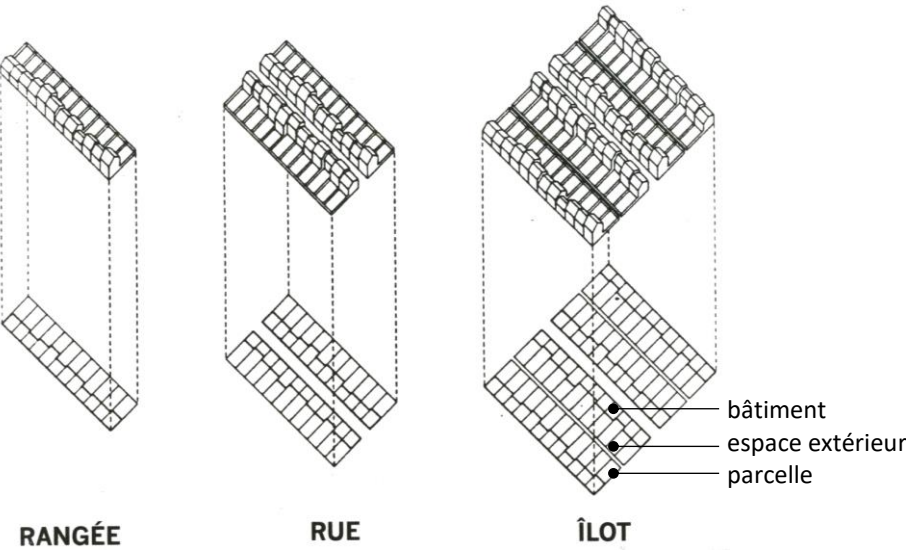


Figure 1-28 :  
Représentation visuelle des différents niveaux d'analyse : Rangée, rue, îlot  
Source : adaptation de (Mangin & Panerai, 1999, p. 101)

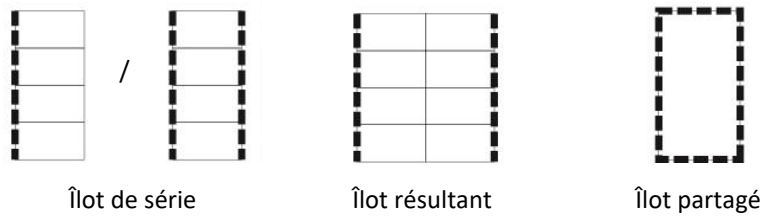


Figure 1-29 :  
Kropf décrit trois façons de générer des îlots (Kropf, 2014).

italo-anglais pour la comparaison des différents aspects de la forme urbaine (Figure 1-27 à gauche). Le cadre est multi-scalaire, allant du matériau au tissu urbain. L'unité centrale où se trouve l'accent de l'approche est la rangée (« plot series » en Anglais) (Figure 1-28). L'approche française considère également la rangée, mais l'accent se trouve plutôt sur l'*îlot*, un niveau intermédiaire entre *la rue* et *le tissu urbain*, qui est absent sur la Figure 1-27 (Bürklin & Peterek, 2007 ; Mangin & Panerai, 1999 ; Panerai & Castex, 1997).

Plusieurs essais d'analyse des études de cas, partant à la fois de la rangée et de l'*îlot*, m'ont convaincue de la clarté de l'approche de l'*îlot*. J'analyserai donc les études de cas selon le cadre italo-anglais de Kropf, mais avec une touche française de Panerai. Mon analyse démarre au niveau des espaces extérieurs et des bâtiments (Figure 1-27 à droite), et finit au niveau de l'*îlot*. Les pointillés sont le « *réseau des vides* », selon les mots de Kropf. Il s'agit de l'enchaînement de « *trois types de vide* » : le vide intérieur privé (l'ensemble des pièces), le vide extérieur privé/semi-privé et le vide de l'espace public (dont la rue). « *Ensemble, les trois types forment un réseau contigu d'espaces avec des frontières distinctes entre les différents types* » (Kropf, 2014). Les espaces extérieurs privés/semi-privés peuvent se trouver devant ou derrière le bâtiment.

Mangin et Panerai dissocient la *parcelle* du *lot* (Mangin & Panerai, 1999, p. 19). Ils définissent une *parcelle* comme une « *unité d'usage individuel (maison) ou collectif (immeuble)* », et le *lot* comme une « *unité opératoire dont les dimensions dépendent de contraintes technique ou programmatiques* ». Je l'interprète comme deux échelles différentes, où une première échelle urbaine définit des lots, et une deuxième échelle dessine les parcelles, les rues et les bâtiments qui se trouvent dans les lots.

L'*îlot* existe suite au regroupement de rues. Kropf décrit trois façons de générer des îlots (Kropf, 2014) (Figure 1-29). Le premier est un îlot de série, par simple multiplication de rues. Dans ce tissu, la profondeur des blocs est définie par la profondeur d'une parcelle (tissu en série). La deuxième façon de générer des îlots est un îlot résultant. De cette façon, la profondeur de l'*îlot* est définie par la profondeur de deux parcelles. Le centre de l'*îlot*, là où les parcelles se touchent, peut être défini par une simple ligne parcellaire ou par une allée de service. La troisième façon de générer des îlots est un îlot partagé et imbriqué, ce qui signifie que l'*îlot* ne comprend qu'une seule parcelle. Les accès à l'*îlot* peuvent se faire par des rues différentes, et « *les parcelles ne peuvent pas être associées sans ambiguïté à une même rue* ». Ce dernier type d'*îlot* est typique pour les îlots modernes.

Le Modernisme a créé des morphologies très différentes des tissus traditionnels urbains (Borie Alain, 1987 ; Kropf, 2014 ; Panerai & Castex, 1997 ; Salat et al., 2011a). La littérature décrit la différence d'échelle et de grain, le manque de dessin des espaces extérieurs, laissant des grands « vides ». La particularité du Modernisme est que les rues ne sont plus définies par les bâtiments. Les façades des bâtiments se sont éloignées des rues. La relation entre le bâtiment et la rue change radicalement. A la base, ce changement



n'est pas propre au Modernisme, mais trouve son origine dans le mouvement hygiénique de la deuxième moitié du 19<sup>ème</sup> siècle en Europe de l'ouest. L'urbanisme et l'architecture étaient pensées afin d'offrir de l'air et du soleil à chaque logement. Le Modernisme s'est construit sur cette approche, l'a généralisée et accélérée (Bürklin & Peterek, 2007 ; Mangin & Panerai, 1999). Cette scission a été largement documentée et ce tissu moderniste discontinu est bien visible dans de nombreuses villes.

### 1.5 Les paramètres de l'analyse environnementale

Nous étudierons ici comment les éléments mentionnés dans la première partie peuvent être quantifiés, afin de les étudier. Y sont décrits des paramètres qui sont généralement utilisés pour étudier les morphologies et les microclimats. Je me concentre sur les paramètres en lien avec la surface extérieure, avec la géométrie et la morphologie, et finalement avec les patios.

#### 1.5.1 Un paramètre de surface (l'albédo)

« *L'albédo est le rapport de la lumière réfléchie à la lumière reçue (ou incidente).* » (Wright, 1978, p. 87). Cette valeur varie entre 0 et 1. Elle correspond à 0 quand il s'agit d'un matériau noir qui absorbe toute l'énergie solaire reçue. On pense par exemple à la rue en goudron noir, dont l'albédo s'approche de 0 (Tableau 1-2). Elle correspond à 1 quand il s'agit d'un matériau blanc, qui réfléchit toute cette énergie (murs blancs d'une architecture traditionnelle méditerranéenne). L'albédo dépend de la couleur, mais aussi de la texture et de la porosité (APUR, 2017 ; Lechner, 2014).

Tableau 1-2 : Les valeurs d'albédo de matériaux utilisés en ville.  
Source : traduction de (Lechner, 2014, p. 490)

SURFACE	% ALBEDO
Peinture blanche	50 – 90
Peinture colorée	10 – 40
Briques et pierre	10 – 40
Béton	10 – 40
Toiture en tuiles rouges/marrons	10 – 40
Herbe	20 – 30
Arbres	10 – 20
Toiture avec goudron et gravier	5 – 20
Asphalte	5 – 20

#### 1.5.2 Les paramètres des morphologies

Des paramètres et indicateurs sont utilisés afin d'étudier le lien entre les morphologies (les géométries urbaines) et le confort thermique estival en extérieur. Certains sont en lien avec les bâtiments, d'autres avec les espaces vides entre les bâtiments. Certaines recherches utilisent seulement les paramètres relatifs à ces

espaces vides (Taleghani et al., 2015) et d'autres ont une approche qui couvre les paramètres du bâtiment (comme par exemple la compacité) et du vide entre eux (Jamei et al., 2016 ; Ratti et al., 2003). Ce paragraphe décrit plusieurs paramètres clés qui reviennent souvent dans la littérature, en lien avec la géométrie et la morphologie.

### La rugosité et la rugosité absolue

La rugosité, la rugosité absolue et la porosité sont trois paramètres souvent utilisés pour étudier les phénomènes de déplacement d'air.

La rugosité décrit comment les obstacles d'un paysage ou d'un environnement ont une influence sur le vent. Plus il y a d'obstacles, plus la rugosité est élevée, et plus la vitesse de l'air est basse (Adolphe, 2001). Il y a différentes catégories de rugosité de terrain selon la norme européenne et française (Tableau 1-3) (EN 1991-1-4 :2005, 2005). Quelques valeurs marquantes sont la mer, sans obstacle (rugosité 0) ; les villages et les zones suburbaines (0,3) ; la ville (1). Les vitesses de vent sont donc très réduites en centre-ville.

Tableau 1-3 : Les catégories et paramètres de rugosité de terrain.

Source : (EN 1991-1-4 :2005, 2005, p. 19)

CATEGORIE DE TERRAIN	$z_0$ (m)
0 Mer ou zone côtière exposée aux vents de mer	0,003
I Lacs ou zone plate et horizontale à végétation négligeable et libre de tous obstacles	0,01
II Zone à végétation basse telle que de l'herbe, avec ou non quelques obstacles isolés (arbre, bâtiments) séparés les uns des autres d'au moins 20 fois leur hauteur	0,05
III Zone avec une couverture végétale régulière ou des bâtiments, ou avec des obstacles isolés séparés d'au plus 20 fois leur hauteur (par exemple des villages, des zones suburbaines, des forêts permanentes)	0,3
IV Zone dont au moins 15% de la surface sont recouverts de bâtiments dont la hauteur moyenne est supérieure à 15 m	1,0

Il y a deux phénomènes de déplacement d'air dans les morphologies : les effets du vent et le tirage thermique. Ce dernier est causé par une différence de la densité de l'air suite à une différence de température (Mansouri, 2003). L'air froid est plus dense et lourd que l'air chaud, donc l'air chaud monte et le déplacement d'air se fait du froid au chaud (pour rééquilibrer les variations de densité).

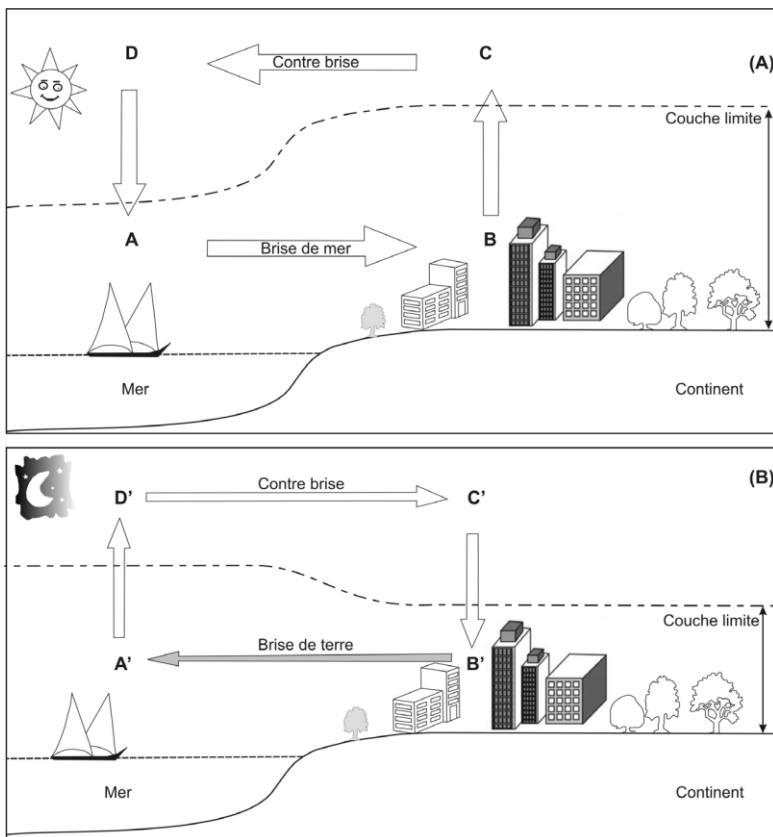


Figure 1-30 :  
Les brises littorales. La terre chauffe et refroidit plus rapidement que la masse d'eau de la mer, créant des brises de mer la journée et des brises de terre la nuit.  
Source : (Beltrando et al., 2008, p. 50)

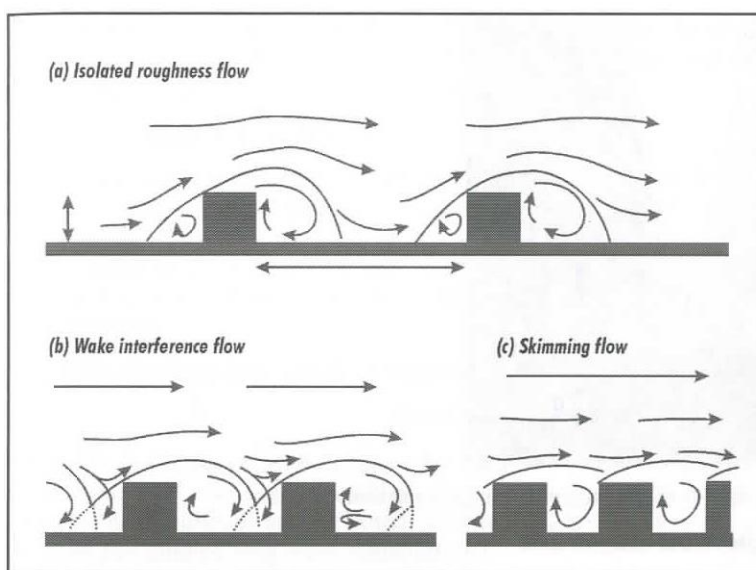


Figure 1-31 :  
Circulation de l'air par rapport à la distance entre les bâtiments  
Source : (Santamouris et al., 2004, p. 67)

Les zones côtières au bord de l'eau sont soumises au phénomène particulier du « *vent alternant journalier* » des brises littorales (Beltrando et al., 2008) (Figure 1-30). La grande masse d'eau de la mer absorbe une grande partie du rayonnement solaire pendant la journée, mais sa température varie peu. La terre en revanche, chauffe plus rapidement que l'eau. La brise de mer souffle donc de la mer vers la terre. La nuit la terre se refroidit plus vite que la masse d'eau. La brise de terre souffle donc de la terre vers la mer encore chaude, afin de rééquilibrer les variations de densité.

L'effet du bâtiment sur les déplacements d'air est multiple (Figure 1-31). Quand les bâtiments sont assez éloignés, le vent redescend dans l'espace entre eux. Quand ils sont plus rapprochés, l'accès à cet espace est diminué. D'autres effets du bâtiment sur l'air sont décrits par Iazard et Guyot (1979) : l'effet de coin est l'accélération du vent à l'angle d'un bâtiment haut ; l'effet de Venturi est l'accélération du vent au sol entre deux bâtiments implantés de façon à créer un couloir ; l'effet de pilotis décrit l'accélération du vent par-dessous le bâtiment (en aval) ; et l'effet de rouleau représente la création d'une turbulence à axe horizontal en bas du bâtiment (du côté du vent).

La rugosité absolue  $R$  correspond à la hauteur moyenne de la canopée urbaine, y compris les espaces construits et non-construits (Adolphe, 2001). Elle s'écrit avec l'équation (1.1). Elle indique l'impact de la morphologie sur la vitesse de vent.

$$R = \frac{V_b}{A_t} \quad (1.1)$$

- $A_t$  Surface Totale du site ( $m^2$ )
- $V_b$  Volume Total de la zone bâtie ( $m^3$ )

### La porosité

La porosité urbaine est un terme qui parle à l'imaginaire des architectes. Il parle de vide et de plein en même temps, d'accessibilité de personnes et de ventilation d'air. En revanche, pour l'étudier, il semble difficile de le quantifier de manière cohérente. Une définition théorique peut être le ratio du volume vide au volume construit (Adolphe, 2001 ; Tadi et al., 2017). La porosité est exprimée en %. Comme valeurs de référence, Tsoka mentionne entre 5 et 50% avec 35% comme valeur moyenne (Tsoka, 2011, p. 34). Elle précise que les centres historiques ont une petite porosité (<10%) et les quartiers récents et les villes coloniales une grande porosité (>35%). Le vide est l'espace ouvert, composé des rues et boulevards, mais également des espaces ouverts intermédiaires, comme des cours et des jardins. Si ces derniers sont bien présents dans la définition du vide d'Adolphe (Adolphe, 2001), ils sont négligés dans la quantification. En sachant que le déplacement d'air se fait également par tirage thermique suite à une différence de température, en reprenant l'exemple du Vieux-Nice mentionné précédemment, ces espaces-là ont forcément un impact sur la ventilation et le confort thermique. Une grande porosité disperse la chaleur et crée un rafraîchissement en été, mais trop d'air crée un inconfort (Oke, 1988). Ce paramètre est donc en lien avec l'orientation des rues et des vents dominants.

### Le ratio de compacité

Le ratio de compacité  $C_f$  est l'indicateur qui représente dans quelle mesure l'enveloppe est exposée au climat par rapport au volume construit (Figure 1-32). Il s'écrit avec l'équation (1.2) (De Herde & Liébard, 1996 ; Ratti et al., 2003). C'est un indicateur de l'échange énergétique potentiel entre le bâtiment et l'environnement extérieur. Plus il est petit, moins il y a de chaleur perdue (en hiver) ou gagnée (en été). De manière générale, il est donc considéré qu'en conditions d'été il est préférable d'avoir un petit ratio de compacité (peu d'enveloppe extérieure exposé à l'environnement) (Ratti et al., 2003). La forme du bâtiment, sa taille et l'assemblage des bâtiments ont un impact sur le ratio de compacité (Figure 1-32). Les murs communs entre les bâtiments ne sont en effet pas soumis aux variations du climat.

$$C_f = \frac{1}{V_b} \sum_{i=1}^n S_{ei} \quad (1.2)$$

- $V_b$  Volume Total de la zone bâtie ( $m^3$ )
- $S_{ei}$  Surface de l'Enveloppe du bâtiment  $i$  ( $m^2$ ) : les façades et les toitures, sans murs enterrés et communs

Le ratio de compacité a une valeur entre 0 et 1. Comme valeurs de référence, Ratti et. al obtiennent 0,584 pour un tissu traditionnel avec des maisons à cour, comme par exemple Marrakech, avec des rues piétonnes, des bâtiments à trois étages et une hauteur de 9m (Figure 1-33). Une morphologie pavillonnaire avec des rues piétonnes, des bâtiments à trois étages et une hauteur de 9m a un ratio de compacité de 0,404. Et finalement 0,265 pour une morphologie pavillonnaire avec des rues véhiculées et des bâtiments à six étages (Ratti et al., 2003).

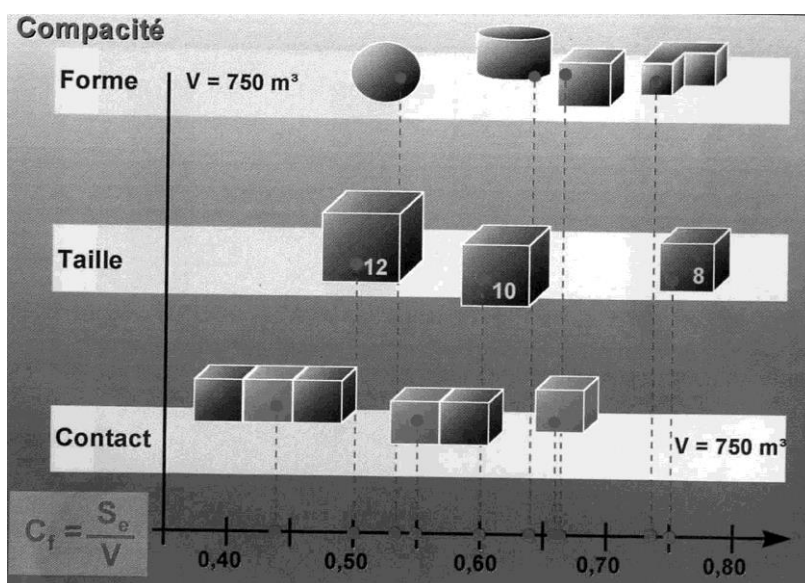


Figure 1-32 :

La forme, la taille et l'assemblage (le contact) ont un impact sur le ratio de compacité.

Source : (De Herde & Liébard, 1996, p. 83)

De manière générale, la littérature stipule qu'un bâtiment compact montre moins de contact avec l'environnement, que son enveloppe est moins sujette au changement de température, et donc qu'il est moins consommateur d'énergie (Ratti et al., 2003).

Mais est-ce bien toujours le cas ?

En fait, un ratio de compacité plus haut représente également plus de masse de murs extérieurs. En climat chaud, avec des murs épais composés de matériaux ayant une forte inertie thermique et des amplitudes diurnes importantes (de grandes différences de température entre le jour et la nuit), un ratio de compacité élevé peut avoir un effet positif, selon l'étude de Ratti et al. Les murs fonctionnent comme un dissipateur de chaleur. Les avantages de la cour, c'est-à-dire l'apport de lumière et la création de l'ombre dans les ruelles étroites, sont estimés importants. Les logements avec cour centrale traditionnelle sont donc considérés plus adaptés au climat chaud, malgré le ratio de compacité plus grand que les deux autres morphologies (Ratti et al., 2003 ; Salat et al., 2011b).

Garcia démontre également que tant que la nuit il refroidit bien, un bâtiment moins compact est énergétiquement plus économique en termes de climatisation, car une enveloppe exposée à l'environnement permet une meilleure charge / décharge thermique, et une ventilation plus prononcée (Garcia, 2018, p. 211). Izard le confirme, en montrant le plan éclaté de la maison Domerc (architecte Romand Simounet – construite en 1975-77) dont la légende indique « *Un plan très éclaté et offrant donc des expositions de façade très variées est très favorable à une bonne ventilation naturelle des locaux* » (Izard, 1993, p. 61). Ceci est encore confirmé par Diz-Mellado et al. (2021). En synthèse, un plan moins compact favorise une ventilation naturelle plus prononcée. Ceci est frappant, car opposé diamétralement au logement thermos hyper-compact prôné par les réglementations thermiques à partir de la RT2012. On peut donc questionner l'importance d'un petit ratio de compacité dans des logements qui ne sont pas climatisés.

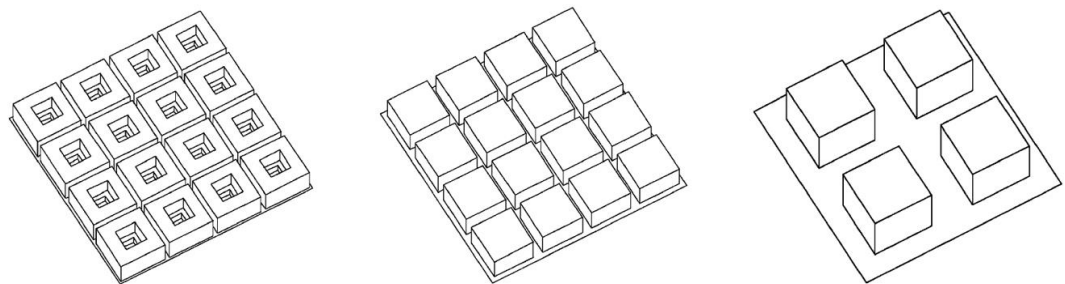


Figure 1-33 :  
Trois morphologies :  
une morphologie traditionnelle avec des maisons à cour de trois étages (gauche),  
une morphologie pavillonnaire avec des rues piétonnes et trois étages (milieu),  
une morphologie pavillonnaire avec des rues à voitures et six étages (droite).  
Source : (Ratti et al., 2003, p. 55)

### La densité

La densité construite DC est définie par Adolphe comme la surface de l'empreinte des bâtiments par rapport à la surface totale du site (Adolphe, 2001 ; Tadi et al., 2017). Ils la décrivent avec l'équation (1.3). Le paramètre exprime la surface de toitures exposées au rayonnement solaire. En combinaison avec la surface minérale ou végétale, il donne une idée sur l'étalement de la morphologie.

$$DC = \frac{A_b}{A_t} \quad (1.3)$$

- $A_b$  Surface totale de l'empreinte des bâtiments ( $m^2$ )
- $A_t$  Surface totale du site ( $m^2$ )

### La minéralisation

Les surfaces minéralisées d'une morphologie ont un impact sur le confort thermique, entre autres à cause d'un albédo élevé. La chaleur absorbée pendant la journée est restituée la nuit.

Adolphe propose le paramètre de minéralisation M, qui correspond à la surface minéralisée par rapport à la surface totale de la morphologie. Elle est décrite avec l'équation (1.4). La surface minéralisée est la surface construite, c'est-à-dire sans la surface verte (des végétaux) et bleue (de l'eau). Le vert prend en compte les gazons, les haies et les arbres. Une valeur de référence d'une morphologies de centre-ville sans végétation est 100%, pour un quartier péri-urbain 30% (Tsoka, 2011).

$$M = \frac{1}{A_t} (A_t - \sum A_u) \quad (1.4)$$

- $A_t$  Surface totale du site ( $m^2$ )
- $A_u$  Surface végétalisée et de l'eau ( $m^2$ )

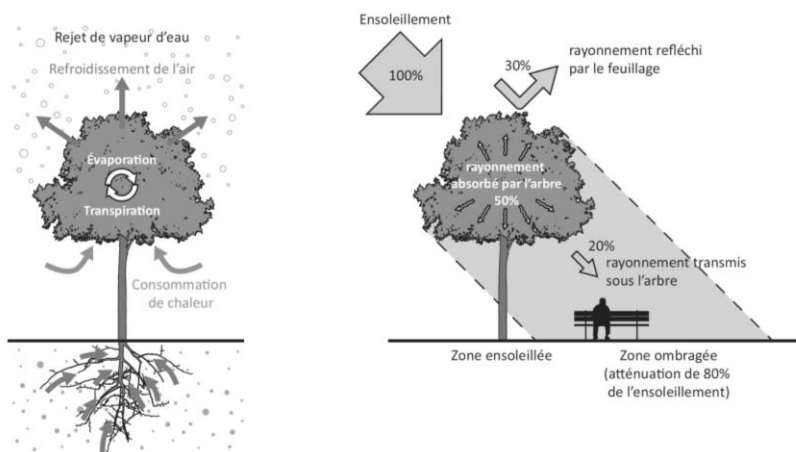


Figure 1-34 :  
L'effet rafraîchissant de la végétation est double : l'évapotranspiration (gauche) et l'ombre (droite).  
Source : (APUR, 2012, p. 14)

Les surfaces végétalisées ont un impact rafraîchissant sur le confort thermique. De manière générale, cet effet est plus grand et va plus loin si le parc est plus grand (Dimoudi & Nikolopoulou, 2003). Un parc de forme régulière aura également plus d'effet qu'un parc de forme irrégulière (ADEME, 2021). Izard (Izard, 1993) a observé une différence de température de 3,5°C entre la ville et le parc.

L'effet rafraîchissant de la végétation est double (Figure 1-34). D'une part, il y a l'évapotranspiration par le feuillage des végétaux, qui dépend de l'eau disponible pour les végétaux. S'il y a un arrosage, il y a bien évidemment plus d'eau disponible pour la vaporisation. D'autre part, les ombres de la végétation ont un effet rafraîchissant. La protection de la radiation solaire directe se sent fortement. (Adolphe, 2001 and Jamei et al., 2016). La littérature stipule que l'effet de l'ombre est plus important que l'effet de l'évapotranspiration (Ali-Toudert & Mayer, 2007), et la différence entre un gazon et un arbre devient donc assez significative.

Ainsi, bien que le paramètre de la minéralisation donne une bonne base pour pouvoir comparer des morphologies, celui-ci ne prend pas en compte le type et les espèces végétales qui sont sur place, leur ombre et leur capacité d'évapotranspiration. Afin de remédier à ceci, Adolphe propose de compter le nombre d'arbres et de prendre en compte le diamètre de leur tronc, qui selon lui donne de l'information sur leur âge et leur espèce (Adolphe, 2001).

### Le facteur de vue du ciel (FVC) – le ratio hauteur / largeur (H/L)

La géométrie urbaine est étudiée à travers plusieurs paramètres, dont les plus importants sont le Facteur de Vue du Ciel (FVC) (le « Sky View Factor – SVF » en Anglais), le ratio Hauteur/Largeur (H/L) et l'orientation.

Le FVC est un paramètre sans unité qui exprime la visibilité du ciel dans une rue ou dans une cour (Figure 1-35). Il montre l'obstruction due aux bâtiments autour, et dans quelle mesure les murs réchauffent à cause de la radiation solaire pendant la journée, et refroidissent pendant la nuit. Même si le principe est déjà mentionné par Olgyay au début des années 60 (Olgyay, 1973), le FVC prend de l'ampleur et de l'importance avec l'étude de Oke (Oke, 1988). Le facteur varie entre 0 (rue fermée) et 1 (surface horizontale complètement en contact avec le ciel).

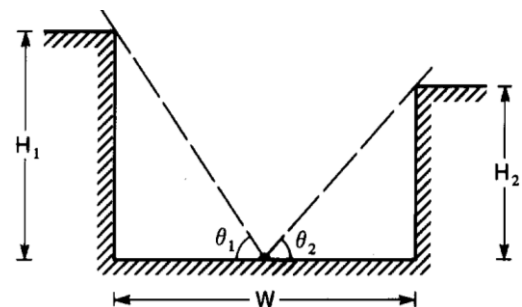


Figure 1-35 :  
Le paramètre FVC (Facteur de Vue du Ciel) avec l'angle de vue vers le ciel et le rapport H/L (Hauteur/Largeur) ou H/W en Anglais. Source : (Oke, 1988)



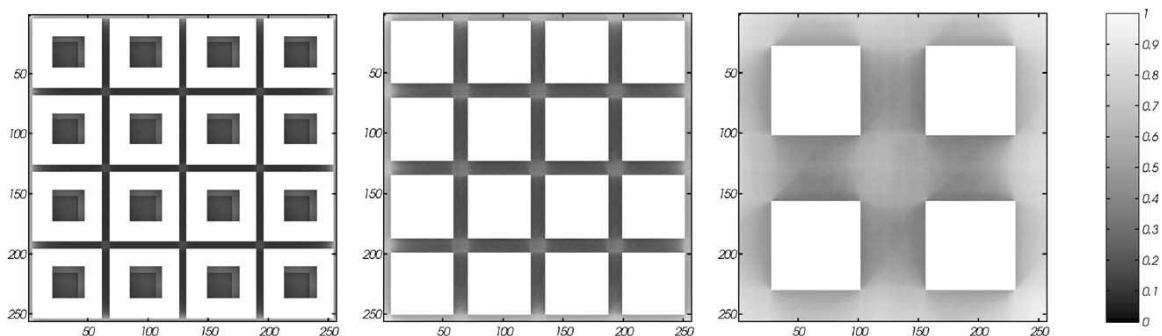


Figure 1-36 :

Simulation numérique du FVC des trois morphologies de la Figure 1-33 :

0,13 pour une morphologie traditionnelle avec des maisons à cour de trois étages (gauche) ;

0,23 pour une morphologie pavillonnaire avec des rues piétonnes et trois étages (milieu),

0,48 pour une morphologie pavillonnaire avec des rues à voitures et six étages (droite).

Source : (Ratti et al., 2003, p. 55)

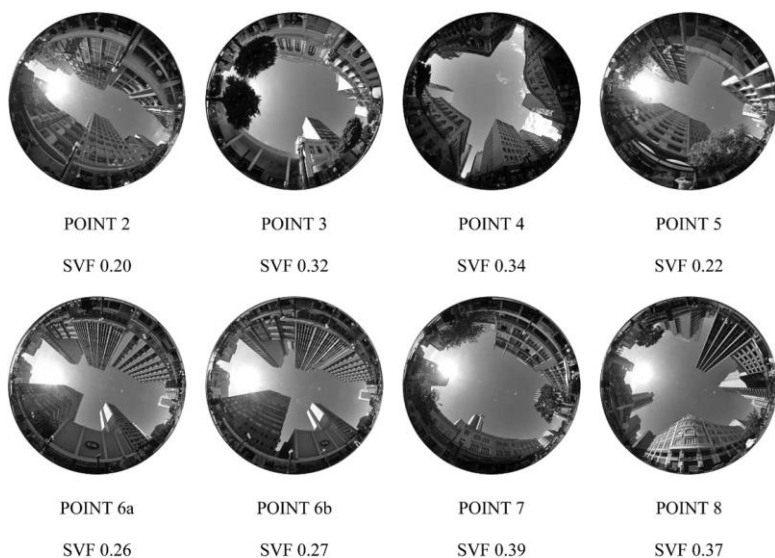


Figure 1-37 :

Des photos d'objectif fish-eye, pour calculer le FVC avec le logiciel Rayman.

Source : (Krüger et al., 2011)

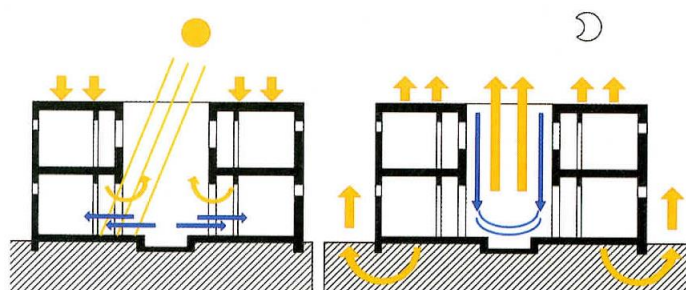


Figure 1-38 :

La cour, un système de rafraîchissement naturel

Jour : vers midi le soleil rentre dans le patio et chauffe l'air petit à petit.

L'air chaud qui est moins dense que l'air frais, monte et attire l'air frais dans les pièces

Nuit : l'air frais remplace l'air chaud dans le patio

Source : (Dipasquale et al., 2014, p. 156)

Le FVC peut être mesuré avec des méthodes d'image Street View, avec des simulations numériques, ou avec la méthode des photos avec un objectif Fisheye (Miao et al., 2020) (Figure 1-37). L'étude de simulation de Ratti trouve des valeurs de référence de 0,13 au niveau du sol pour la morphologie traditionnelle de maisons à cour à trois étages et rues piétonnes ; 0,23 pour la morphologie pavillonnaire à trois étages avec rues piétonnes ; et 0,48 pour la morphologie à six étages avec des rues véhiculées (Figures 1-33 et 1-36).

Plus le FVC est petit, plus les rues sont étroites, et plus elles sont protégées contre la chaleur d'été (Jamei et al., 2016 ; Ratti et al., 2003) : le soleil tarde à rentrer et les rues étroites gardent leur fraîcheur pendant plus longtemps. En revanche, avec un FVC plus grand, la chaleur des rues se dissipera plus facilement pendant la nuit (Ali-Toudert & Mayer, 2007). Plus près du sol, l'air refroidit quatre fois moins vite que plus haut (Oke, 1988). Pour des climats avec de grandes amplitudes thermiques entre le jour et la nuit, un petit FVC est considéré meilleur pour le confort thermique en été.

De plus, une végétation dense empêche la restitution de chaleur la nuit, et ralentit le rafraîchissement nocturne (ADEME, 2021 ; Ali-Toudert & Mayer, 2007). La présence de végétation diminue le FVC.

Le FVC et le ratio H/L sont inversement corrélés (Oke, 1988). Un grand ratio H/L est donc considéré plus adapté au confort thermique en été (Ali-Toudert & Mayer, 2006 ; Jamei et al., 2016).

### **L'orientation**

Le soleil se lève à l'est, passe par le sud et se couche à l'ouest. Objectivement, une rue orientée est-ouest est donc exposée au soleil plus longtemps qu'une rue orientée nord-sud. Ceci est confirmé par les simulations thermiques qui trouvent que les rues est-ouest sont plus chaudes et moins confortables (Ali-Toudert & Mayer, 2007). Les rues nord-est – sud-ouest sont légèrement plus chaudes que les rues nord-ouest – sud-est. Les rues nord-sud sont les plus fraîches.

#### **1.5.3 L'espace intermédiaire : la cour / le patio**

Les cours islamiques ont un fonctionnement thermique particulier, agissant comme un système de rafraîchissement naturel (Dipasquale et al., 2014 ; Izard & Guyot, 1979, p. 101). Elles se trouvent au centre du bâtiment et sont entourées de trois ou quatre côtés par des pièces, offrant de l'ombre aux ouvertures et une ventilation thermique particulière. Suivant Dipasquale (Figure 1-38) le soleil rentre dans la cour vers midi, chauffant l'air petit-à-petit. Comme l'air chaud est moins dense que l'air frais, il monte, attirant l'air frais dans les pièces. La nuit en revanche, l'air frais remplace l'air chaud dans la cour. La présence de la végétation et de l'eau accentue cet effet.

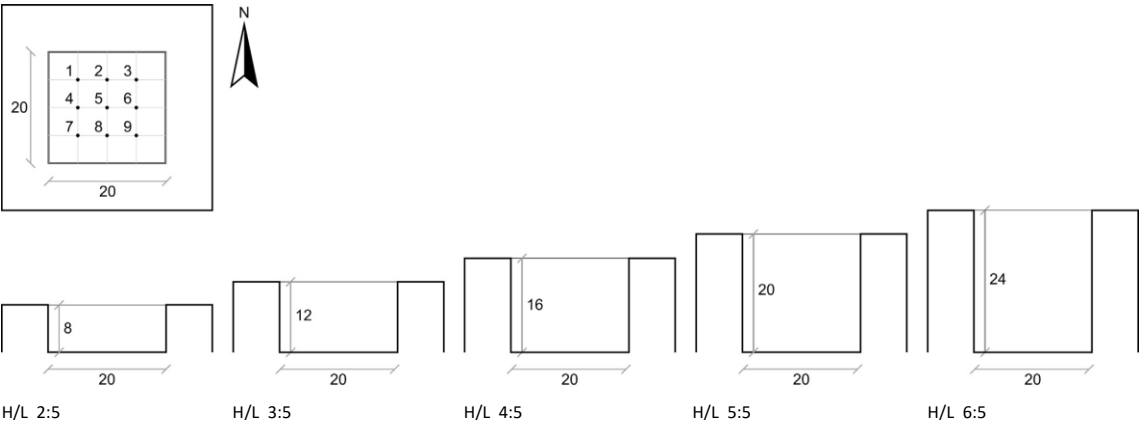


Figure 1-39 :  
Suite à des simulations annuelles, les proportions (H/L) de 4 :5 et 5 :5 sont conseillés pour des climats chauds (comme à Lecce au sud de l'Italie avec un climat Cs).  
Source : (Martinelli & Matzarakis, 2017, p. 101)

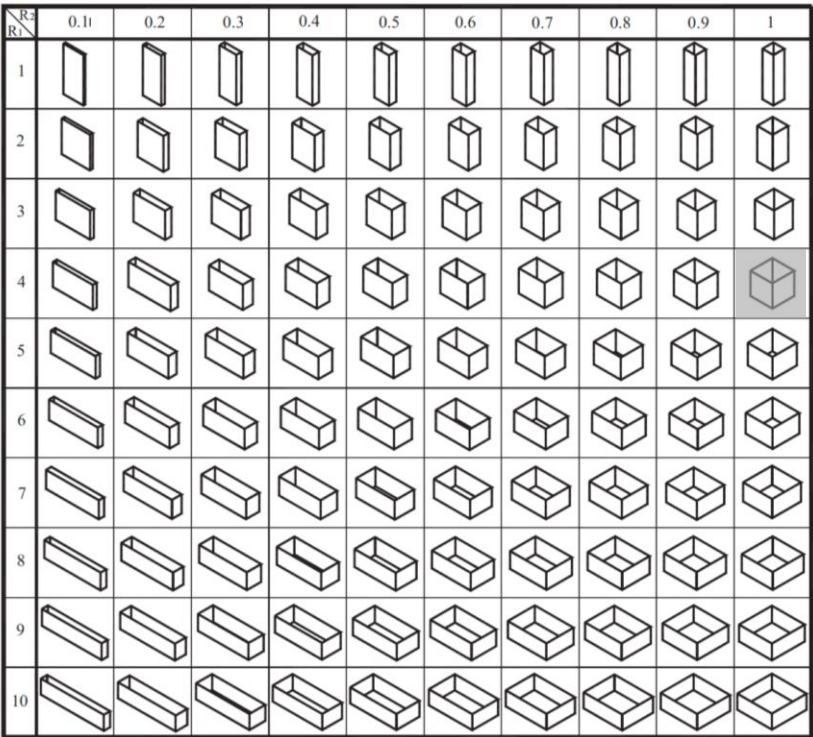


Figure 1-40 :  
Une étude de la radiation directe en hiver et en été : en gris la proportion 5 :5  
L'indicateur pour la hauteur R1 (=périmètre/H) est optimale de 5 à 10 pour un climat tempéré (Rome)  
L'indicateur pour la proportion ou la forme du patio est R2 (=W/L) ; dans un climat chaud et sec (Le Caire) et tempéré (Rome) la forme du patio R2 n'a pas grand effet. Source : (Muhaisen, 2006, p. 1733)

Les conditions de vie et les exigences de confort ont changé depuis l'époque des architectures traditionnelles, et ce fonctionnement traditionnel est « dérangé » par la présence de fenêtres et de volets (Cadoni, 2015). Par volonté d'empêcher la chaleur de rentrer, on ferme les fenêtres pendant la journée, et on les ouvre la nuit si possible pour permettre la surventilation nocturne (Garcia, 2018).

Quid sur les dimensions d'un patio ? Les paramètres souvent étudiés sont la hauteur, la forme et l'orientation. Beaucoup d'études recherchent ces paramètres avec des simulations annuelles : un équilibre est recherché entre le besoin de soleil en hiver, et le besoin de s'en protéger en été. Je mentionne quelques exemples ici, même si cette recherche se concentre sur le confort d'été.

Concernant la hauteur, Moretti différencie deux groupes de maisons à cour dans (Dipasquale et al., 2014). Le premier sont les maisons plus hautes que larges. Ce type se trouve dans des contextes urbains du climat chaud : de l'Afrique du Nord au sud de l'Espagne et au Moyen Orient. Le deuxième groupe est constitué des maisons plus basses que larges. Le soleil rentre plus facilement et plus souvent dans la cour. Ce type se trouve dans les contextes urbains et ruraux, dans les régions méditerranéennes du nord. Les murs hauts empêchent le soleil de rentrer et créent l'ombre bien recherchée dans des climats chauds. Dans des climats plus froids par contre, l'ensoleillement est le bienvenu. Le point de bascule est un patio avec une hauteur (H) égale à la largeur (L), ou  $H/L = 1$ . Ceci est confirmé et détaillé par Martinelli et Rojas-Fernandez de manière quantitative (Martinelli & Matzarakis, 2017 ; Rojas-Fernandez et al., 2017).

Martinelli étudie l'effet patio à travers des simulations annuelles dans des climats différents en Italie (Figure 1-39). Les proportions (H/L) de 4 :5 et 5 :5 (= 1) sont conseillées pour des climats chauds (par exemple à Lecce au sud avec un climat Cs de Koppen-Geiger). Martinelli démontre que la proportion plus élevée de 6 :5 n'offre qu'une très légère amélioration en hiver et en été. Les dimensions 3 :5 et 4 :5 sont conseillées pour les climats plus froids (par exemple à Milan au nord avec un climat Cf de Koppen-Geiger). Les murs plus hauts empêchent le soleil de rentrer directement, créant de l'ombre en été. Muhaisen étudie les différentes dimensions des patios, dans quatre climats différents, en ne prenant en compte que la radiation directe qui tombe sur les murs du patio. La forme optimale combine un maximum de soleil en hiver, avec un minimum de soleil en été. L'indicateur qui prend en compte la hauteur est  $R1 = \text{Périmètre} / \text{Hauteur}$  (Figure 1-40). L'indicateur pour la proportion ou la forme du patio est  $R2 = W/L$  (avec W = largeur et L = longueur). Comme référence, le point de bascule 5 :5 (=1) de la figure 39 se trouve en gris dans la grille de la Figure 1-40. L'étude conclut que le R1 optimal pour un climat tempéré à Rome (climat Csa) est de 5 à 10 ; pour le climat chaud et sec au Caire (climat BWh) il s'agit des formes avec un R1 entre 4 et 8.

Concernant la forme du patio (rectangulaire ou carrée), Muhaisen trouve que dans les climats chauds et secs (comme Le Caire), et des climats tempérés (comme à Rome), les changements de la forme du patio (R2) n'ont pas grand effet (Muhaisen, 2006).

L'orientation optimale est celle qui offre le plus d'ombre en été, et le plus de soleil en hiver (Figure 1-41). De manière générale, pour tous les climats, la situation la moins ombragée est l'orientation est-ouest, comme pour les rues. L'orientation la plus ombragée est à 60° pour Le Caire (climat chaud et sec) et à 70° pour Rome (climat tempéré). Ceci correspond à la direction nord-nord-est. En hiver, l'orientation la plus ensoleillée est la même que la situation la plus ombragée en été : 60° pour Le Caire et 70° pour Rome (Muhaisen, 2006).

Les patios sont considérés avoir un effet stabilisant, comme un espace tampon, qui réduit les pics thermiques en été comme en hiver. L'effet est d'ailleurs plus marqué en été qu'en hiver, et plus il fait chaud dehors, plus le patio aura un potentiel temporisant : les gains énergétiques sont donc considérés plus grands en été qu'en hiver (Diz-Mellado et al., 2021 ; Martinelli & Matzarakis, 2017). L'étude de Diz-Mellado (Diz-Mellado et al., 2021) se concentre sur le confort d'été, et recherche le fonctionnement thermique de deux patios à Cordoue en Espagne (climat Csa), à travers des mesures in situ pendant deux semaines. Les proportions du premier patio étudié sont comparables au 4 :5 de la figure 1-39, le deuxième s'approche de 7,5 :5 dans une direction, et de 9 :5 dans l'autre direction. Il est donc plus haut que le plus à droite de la figure 1-39. Ils quantifient l'effet tampon avec l'Ecart Thermique ET entre la température maximale extérieure (sur le toit) et la température dans le patio. Ils mesurent un ET de 2,5 à 8,4°C avec une température extérieure de 37°C, et de 9,8 à 13,9°C avec une température extérieure caniculaire de 44°C (les valeurs les plus élevées correspondent au deuxième patio). Après la couverture du deuxième patio avec un textile afin de faire de l'ombre, cette dernière est encore plus importante de 1,5°C. L'étude de Rojas-Fernandez utilise également des mesures in situ en été à Cordoue, dans un patio avec une proportion de H/L comparable au 4,5 :5 de la figure 1-39. Elle constate un effet stabilisant de 6,7°C dans le patio autour de 19h. Les températures sont également mesurées sur la toiture et dans le patio (Rojas-Fernandez et al., 2017).

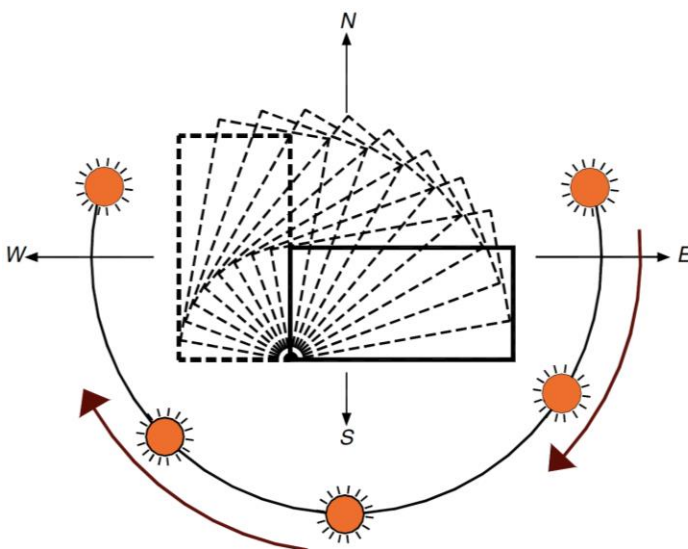


Figure 1-41 :  
Orientation du patio : de 0° à 90°  
Source : (Muhaisen, 2006, p. 1738)

## 1.6 Le confort thermique

Le confort est une notion complexe et culturelle qui évolue dans le temps. Il touche à beaucoup de domaines, car le confort se décompose en confort thermique, d'éclairage, acoustique et de la qualité de l'air intérieur (Redline EN NF 16798-1, 2019). Le confort thermique est donc un composant, défini comme « *la satisfaction exprimée quant à l'ambiance thermique* » par la norme Européenne sur « l'Ergonomie des ambiances thermiques » (ISO 7730, 2006). Cette définition mentionne clairement le binôme dans le confort thermique : l'environnement et le corps humain. D'un côté, il y a l'ambiance thermique en lien avec des éléments climatiques, et de l'autre côté la satisfaction humaine, qui exprime une notion personnelle et plus difficile à quantifier et à décrire. Le confort est différent pour chacun, et devrait même prendre en compte les « *différences ethniques, nationales et géographiques, lorsqu'on considère les espaces non climatisés.* » (ISO 7730, 2006). La question du confort anime donc la recherche depuis des décennies.

Tout commence par la volonté du corps humain d'avoir une température intérieure constante autour de 37°C. Un système de thermorégulation se met en marche quand les conditions environnantes changent et essaient de modifier cette température constante. Le corps humain essaie donc de garder une température constante, et se thermo-régule en fonction des conditions environnantes. Quand nous nous retrouvons dans un environnement froid, on frissonne pour augmenter la production de chaleur. Quand nous nous retrouvons dans un environnement chaud, il y a une augmentation de la sudation, car « *l'évaporation de la sueur absorbe de la chaleur* » avec les mots d'Izard (Izard, 1993). La situation est considérée confortable quand la thermorégulation n'a pas besoin de trop intervenir. Les échanges de chaleur entre la peau et l'environnement se font selon trois mécanismes (Figure 1-42) : la convection avec l'air entourant, le rayonnement avec l'environnement (les parois, le soleil) et l'évaporation de la sueur. On peut y rajouter la conduction (par le contact entre la peau et un élément solide).

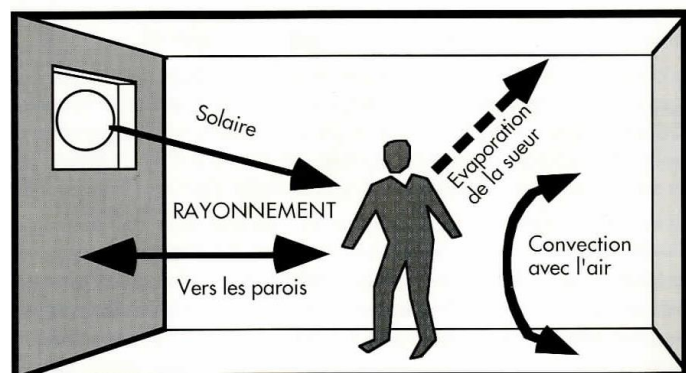


Figure 1-42 :  
Les trois mécanismes d'échange thermique entre la peau et l'environnement :  
la convection, le rayonnement et l'évaporation  
Source : (Izard, 1993, p. 7)

Victor Olgyay et Baruch Givoni ont été les premiers à se pencher sur le sujet du confort thermique à l'intérieur et à poser les mots sur ce lien entre des conditions climatiques et les exigences humaines (Givoni, 1978 ; Olgyay, 1973). Les premières éditions de leurs livres sont sorties respectivement en 1963 en Europe et en 1969 en Israël. Ils ont initialisé et généralisé les paramètres de confort à l'intérieur, qui ont été traduits dans les normes thermiques américaines (ASHRAE Standard 55) et européennes (ISO EN 16789-1). Ils se basent sur six paramètres pour décrire le confort thermique à l'intérieur. Il y a quatre paramètres physiques de l'environnement : la température de l'air, la température moyenne radiante, la vitesse de l'air et l'humidité de l'air. Et il y a deux paramètres en lien avec l'individu : les habits et l'activité (ISO 7730, 2006).

« La Température Moyenne Radiante est la température moyenne des surfaces entourant l'espace » (Givoni, 1978, p. 43). La vitesse de l'air a un impact sur le rafraîchissement du corps humain. Elle ne descend pas la température, mais elle donne une impression de fraîcheur suite à une perte de chaleur par convection, et suite à une augmentation de l'évaporation de la sueur du corps. En revanche, quand la vitesse de vent augmente trop, ceci devient inconfortable (Olgyay, 1973). L'humidité de l'air est donnée par l'humidité relative, l'humidité absolue ou l'humidité spécifique ou la tension de vapeur d'eau. La tension de vapeur d'eau est liée à l'évaporation potentielle du corps.

Nos habits forment une couche d'isolation entre notre peau et l'environnement, et ils ont donc un impact sur l'échange de chaleur entre les deux. Ils temporisent les changements de température et de vitesse d'air. Le taux d'isolation des habits est exprimé en « clo » (Figure 1-43). Avec beaucoup de détails, la norme ISO donne les « clo » pour des combinaisons vestimentaires : 0 pour l'absence d'habits, 2 pour « *Sous-vêtements à manches et jambes courtes, chemise, pantalon, veste, veste et pantalon isolants, chaussettes, chaussures* » (ISO 7730, 2006, p. 20).

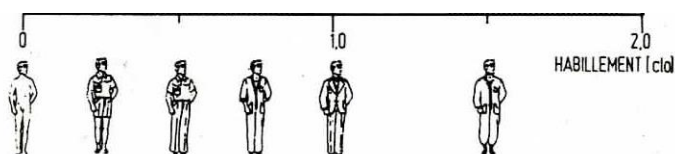


Figure 1-43 :

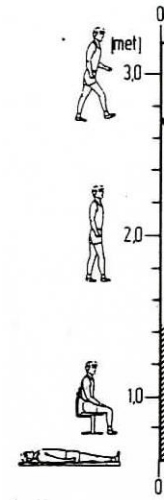
Le paramètre des habits, exprimé en « clo »

Source : norme ISO 7730 dans (Izard, 1993, p. 9)



L'activité humaine aussi a un impact sur le sentiment de confort. Le corps humain produit de l'énergie pour le fonctionnement du corps, avec les apports de nourriture et de l'oxygène. Plus on fait de l'activité physique, plus il y a de la production de chaleur métabolique (Givoni, 1978, p. 88), exprimée en « met » (Figure 1-44) ou en W ou  $W/m^2$ . Une activité au repos ou assis correspond à 1 met, et a une valeur de  $58 W/m^2$ . Une activité « moyenne, debout (vendeur, travail ménager, travail sur machine » correspond à 2 met (ISO 7730, 2006, p. 19).

Figure 1-44 :  
Le paramètre de l'activité, exprimé en « met »  
Source : norme ISO 7730 dans (Izard, 1993, p. 9)

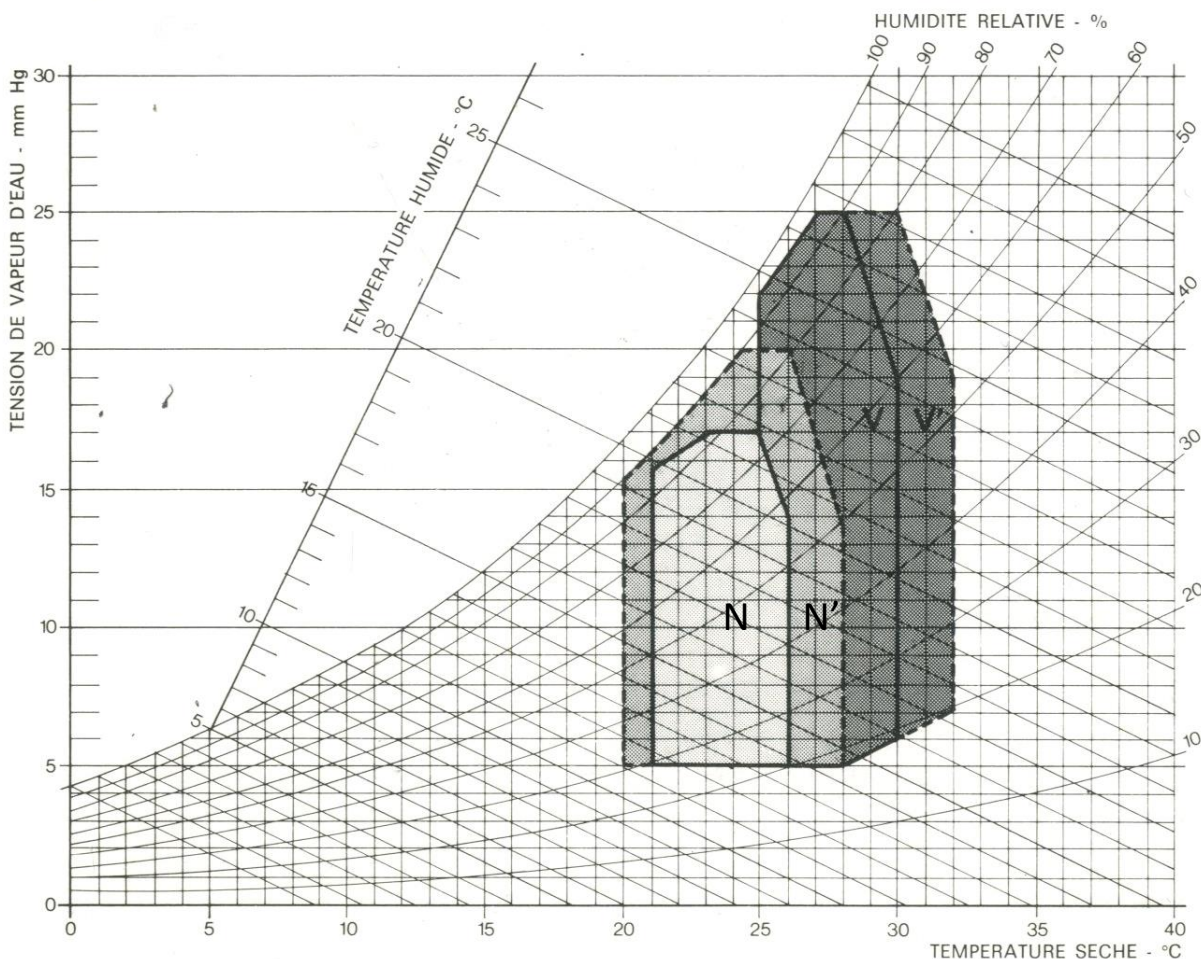


Olgyay est le premier à parler d'une zone de confort, qui se trouve entre des situations de non-confort, comme par exemple étouffant, trop humide, trop sec ou irritant. Elle est représentée sur un « *diagramme bioclimatique* », qui permet de faire le lien entre les conditions climatiques et une zone de confort définie. Givoni fait évoluer ce diagramme jusque dans sa forme actuelle, le « *diagramme psychrométrique* », qui jusqu'aujourd'hui est reconnu dans le contexte du confort thermique (Figure 1-45). Il montre une zone de confort prédéfinie dans un certain climat (les données météorologiques sont une entrée du diagramme). Afin de créer des bâtiments avec des ambiances intérieures dans la zone de confort, le diagramme indique quelles sont les solutions de l'enveloppe et de la structure à adopter dans le climat en question. Les solutions proposées sont en lien avec les données du climat. Il s'agit de types de solution (par exemple l'inertie des matériaux ou non) et non pas d'indications quantitatives (quelle épaisseur, quelle masse...) (Izard, 1993). On peut voir « *le confort d'été ou la zone neutre, pour des sujets acclimatés au repos ou engagés dans une activité sédentaire (aire limitée par N), et la lisière des conditions supportables (aire limitée par N')* » et avec « *une tenue vestimentaire légère d'été* ». Les températures aux limites supérieures des zones neutres et supportables sont de 26 et 28°C (Givoni, 1978 ; Izard & Guyot, 1979, p. 12). Il est intéressant de comparer ceci à la dernière norme EN NF 16798. Celle-ci met la limite supérieure de la zone de confort d'été à 25,5°C



(catégorie I<sup>5</sup>) et à 28° C (catégorie IV<sup>6</sup>). C'est la température où la climatisation s'allume dans des bâtiments résidentiels avec un système de refroidissement mécanique. Ceci correspond presque aux valeurs de Givoni. La figure 1-45 montre également l'agrandissement de la zone de confort quand il y a de la ventilation (V pour la zone neutre, V' pour la zone supportable). La ventilation favorise le confort thermique, car il y a une perte de chaleur par convection, et une augmentation de l'évaporation de la sueur du corps. La zone s'étend donc vers une température et une humidité plus haute. Frayssinet (Frayssinet et al., 2020) a redessiné le diagramme de Givoni, le rendant plus lisible, surtout au niveau de l'impact de la ventilation et des vitesses de l'air (Figure 1-46). Le Costic et l'Ashrae 55 (la norme américaine) définissent d'autres zones de confort, qui ne sont pas traités en détail ici.

Il est intéressant de noter que les normes ne mentionnent que le confort intérieur. Au six paramètres pour le confort intérieur, se rajoutent quelques paramètres pour le confort extérieur : les apports solaires (direct, indirect et diffus), la température de la voûte céleste, les phénomènes naturels comme la pluie, la grêle et la neige (Benamouma, 2018).



<sup>5</sup> La catégorie I veut dire que moins de 6% de gens sont insatisfaits par rapport à l'ambiance intérieure (beaucoup sont satisfaits). La catégorie IV veut dire que moins de 25% des gens, ou une personne sur quatre, seront insatisfaits.

<sup>6</sup> avec les suppositions suivantes : 0,5 clo et 1,2 met, 50% d'humidité relative et faibles niveaux de vitesse d'air < 0,1 m/s.

Figure 1-45 :

Le diagramme psychrométrique de Givoni :

zone de confort neutre (N) et avec ventilation (V) ; zone de confort supportable (N') et avec ventilation (V')

Source : (Izard & Guyot, 1979, p. 48)

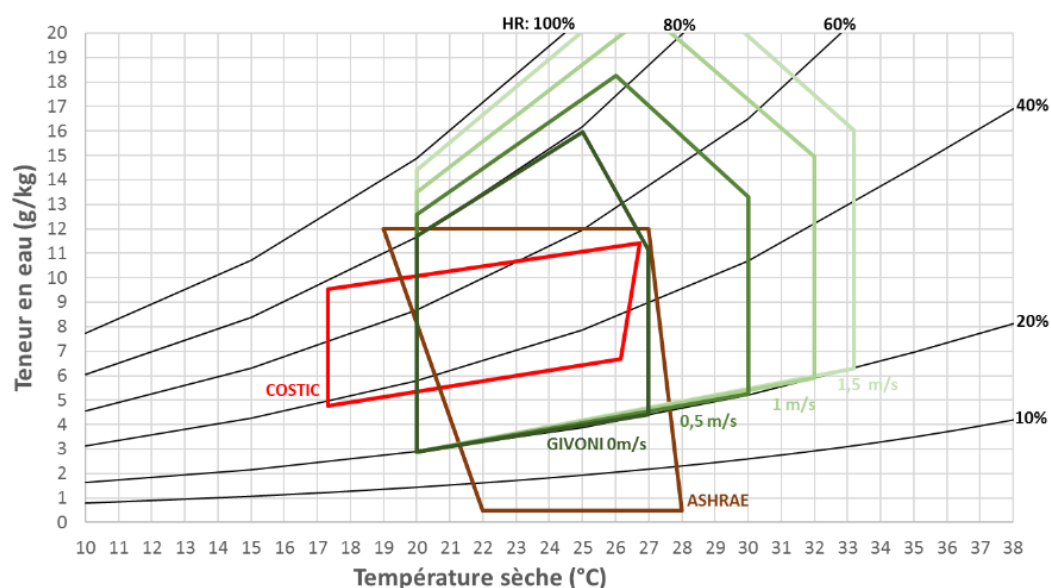


Figure 1-46 : Différentes zones de confort sur le diagramme psychrométrique, avec les vitesses de l'air

Source : (Frayssinet et al., 2020, p. 13)

La question se pose de savoir comment évaluer cette notion complexe de confort thermique. La norme européenne a mis en place deux indices pour l'évaluer : le Vote Moyen Prévisible (PMV) pour « Predicted Mean Vote » et le Pourcentage Prévisible d'Insatisfaits (PPD) pour « Predicted Percentage Dissatisfied ». « *Le PMV est un indice qui donne la valeur moyenne des votes d'un groupe important de personnes exprimant leur sensation thermique sur une échelle à 7 niveaux.* » (Tableau 1-4). Il peut être déterminé à partir de l'équation avec les variables des six paramètres définis plus haut (ou avec le logiciel Rayman) ; à partir de l'annexe E de la norme qui prédéfinit des valeurs PMV pour différentes combinaisons de paramètres ; par mesure directe (avec un capteur).

Tableau 1-4 : Le PMV : l'échelle de sensation thermique à sept niveaux.

Source : (ISO 7730, 2006, p. 2)

PMV	
+3	Chaud
+2	Tiède
+1	Légèrement tiède
0	Neutre
-1	Légèrement frais
-2	Frais
-3	Froid

L'indice PPD est le Pourcentage Prévisible d'Insatisfaits, et il « *établit une prévision quantitative du pourcentage de personnes insatisfaites thermiquement, susceptibles d'avoir trop chaud ou trop froid.* » (ISO 7730, 2006, p. 5). A cause de l'aspect personnel de la notion de confort, il est en général très improbable de satisfaire 100% des gens.

L'indice le plus utilisé pour l'évaluation du confort dans les espaces extérieurs, est la Température Physiologique Equivalente (PET) pour « *Physiologically Equivalent Temperature* » (Tableau 1-5). Il est exprimé en °C et donc plus facile à interpréter que le PMV.

Le PET a été développé par Matzarakis (Matzarakis et al., 1999) et correspond à « *la température de l'air (intérieur ou extérieur) dans un local typique intérieur, sans vent et rayonnement solaire.* » (Benamouma, 2018). Le PET peut être calculé également avec le logiciel Rayman. Le tableau 1-5 montre le PET pour un individu avec un métabolisme de travail de 80 W (activité légère) et une résistance de transfert thermique de vêtements de 0,9 clo. L'indice pour évaluer le confort dans les espaces intermédiaires, comme les cours et patios, n'existe pas encore selon Diz-Mellado (Diz-Mellado et al., 2021).

Tableau 1-5 :  
PET pour un individu avec activité légère de 80 W et des habits de 0,9 clo.  
Source : traduction de (Matzarakis et al., 1999)

PMV	PET (°C)	Perception thermique
- 3,5	4	Très froid
- 2,5	8	Froid
- 1,5	13	Frais
- 0,5	18	Légèrement frais
0,5	23	Confortable
1,5	29	Légèrement chaud
2,5	35	Chaud
3,5	41	Très chaud
		Extrêmement chaud

Il y a deux approches différentes sur le confort thermique : l'approche du bilan thermique ou « *heat balance* » en Anglais, et le modèle d'Adaptation (Halawa & van Hoof, 2012). Le premier correspond à l'approche décrite ci-dessus et prend en compte les six paramètres (quatre paramètres sur les conditions climatiques et deux paramètres personnels des habits et de l'activité). Elle part du principe que le confort thermique est obtenu lorsqu'il y a un effort minimal de thermorégulation du corps humain. La zone de confort est assez limitée,

comme par exemple la zone définie par Givoni (Figure 1-45). Pendant des années, cette approche était dominante, à la base des normes. Récemment, la deuxième approche de l'Adaptation a pris plus d'ampleur. Elle a même été partiellement intégrée dans les dernières versions des normes ISO (depuis 2019) et ASHRAE standard 55 (depuis 2004), pour des bâtiments qui fonctionnent avec une ventilation naturelle, ou des « *bâtiments sans systèmes de refroidissements mécaniques* » (Redline EN NF 16798-1, 2019). On les appelle des bâtiments en condition libre, ou « *free-running buildings* ». Elle a été étudiée depuis les années 70 par Fanger (Halawa & van Hoof, 2012) et elle part du principe que les usagers des bâtiments de ventilation naturelle peuvent s'adapter pour obtenir du confort : ils peuvent par exemple ouvrir les fenêtres si besoin ou enlever ou rajouter des habits. Les usagers ont une part de responsabilité dans l'obtention de confort. L'utilisateur peut s'adapter de manière physiologique (l'acclimatation), psychologique (les attentes) ou comportementale (les habits, les fenêtres, les ventilateurs) (Redline EN NF 16798-1, 2019 ; Halawa & van Hoof, 2012). Par exemple quand il fait très chaud dehors en été, l'être humain le sait et il a tendance à se sentir bien à une température plus élevée qu'en hiver.

L'approche d'Adaptation ne prend donc pas en compte les six paramètres décrits plus haut pour décrire la température de confort intérieur, mais seulement « *la température extérieure moyenne glissante* ». Cette dernière est fonction de la température de l'air extérieur moyenne journalière et d'une constante (Figure 1-47). Les différents traits représentent différentes catégories en fonction du PMV-PPD. La catégorie I par exemple a un PPD (Pourcentage Prévisible d'Insatisfaits) < 6%, ce qui veut dire que très peu de gens auront un sentiment d'insatisfaction par rapport à l'ambiance intérieure (ou que beaucoup de gens seront satisfaits).

#### Légende

$\theta_o$  = température de fonctionnement intérieure, °C

$\theta_{rm}$  = température extérieure moyenne glissante, °C

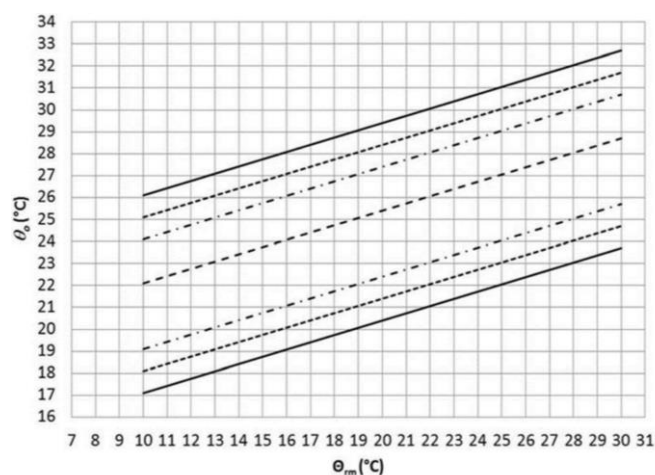


Figure 1-47 :  
 L'approche Adaptative du confort thermique  
 Trait plein : limite supérieure et inférieure pour la catégorie III  
 Pointillé : limite supérieure et inférieure pour la catégorie II  
 Trait-point : limite supérieure et inférieure pour la catégorie I  
 Ligne centrale : Température de confort (ou la température de fonctionnement optimale)  
 Source : (Redline EN NF 16798-1, 2019, p. 71)

En revanche, la catégorie IV a un pourcentage <25%, ce qui veut dire que jusqu'à une personne sur quatre aura un sentiment d'insatisfaction. L'approche adaptative mène vers une zone de confort plus large que l'approche du bilan thermique. Plutôt qu'une température optimale de confort, ou la température qui déclenche la climatisation, la nouvelle norme EN NF 16798-1 définit une plage de températures, afin de prendre en compte « *par exemple, l'habitude locale ou le désir d'économiser l'énergie* », tant que la température se trouve dans la plage donnée, et tant que « *les occupants ont le temps et l'opportunité de s'adapter à la température modifiée* ». La plage varie de 23,5 à 25,5° (catégorie I), et de 21°C à 28°C (catégorie IV) dans des bâtiments résidentiels<sup>7</sup> (Redline EN NF 16798-1, 2019).

Pour conclure, on peut dire qu'un bâtiment avec climatisation est un environnement fermé et entièrement contrôlé, et que le confort thermique intérieur est donc défini par les équipements du bâtiment et leur gestion (Diz-Mellado et al., 2021). Dans un bâtiment en condition libre en revanche, il y a une relation entre le confort thermique intérieur et la température extérieure. Logiquement, la ventilation prend plus d'importance pour la sensation de confort.

## 1.7 Conclusion

Ce premier chapitre décrit le climat méditerranéen et les différentes zones du bassin méditerranéen. Ensuite, il donne un récapitulatif des types existants de l'architecture traditionnelle méditerranéenne, en cherchant comment ils forment des morphologies en les regroupant, et comment ils sont armés contre les conditions extrêmes de l'été. Quelles stratégies de conception passives emploient-ils contre la chaleur ? La région visée est la France méditerranéenne, le sujet visé est le confort d'été. Les exemples concernent pourtant également des climats chauds et secs en dehors de la France, afin de prendre en compte le réchauffement climatique et les canicules de plus en plus longues et présentes. Il ressort de cette analyse que la cour dans toutes ses formes joue un rôle principal dans la gestion de la chaleur d'été au même titre que la notion de compacité.

Ensuite, le chapitre donne des paramètres et indicateurs qui permettent de quantifier et de rechercher les éléments morphologiques évoqués dans la première partie. Le dernier élément traité est le confort thermique, vu sous les angles de l'approche du Bilan Thermique et de l'approche de l'Adaptation, avec leurs paramètres et indicateurs utilisés dans la recherche.

L'étude des archétypes méditerranéens va permettre de positionner les études de cas propres à notre région du prochain chapitre d'un point de vue du contexte climatique et historique et de l'analyse typomorphologique. Les différentes notions de confort seront utilisées dans les chapitres 3 et 4 afin d'interpréter les résultats des mesures in situ.

---

<sup>7</sup> avec les suppositions suivantes : 0,5 clo et 1,2 met, 40/60% d'humidité relative et faibles niveaux de vitesse d'air de < 0,1 m/s.

---

## 2 Les études de cas : des logements individuels groupés construits pour l'été

---

L'objet de ce chapitre est de présenter les études de cas et de les situer par rapport aux archétypes de l'architecture traditionnelle du premier chapitre. Elles sont présentées à travers le choix, leur contexte historique et leurs inspirations. Afin de les situer par rapport aux archétypes, premièrement, les ressemblances et les différences sont identifiées sur le plan typo-morphologique, ensuite sur le plan climatique avec une analyse environnementale à travers les paramètres identifiés au premier chapitre.

Comme les études de cas sont des villages de vacances d'été, constitués de logements individuels groupés, et construits pendant les Trente Glorieuses, ces analyses vont explorer en quoi elles se trouvent dans la continuité ou dans une rupture avec l'architecture méditerranéenne traditionnelle ; et en quoi ces architectures des années 60 ont une approche climatique. L'hypothèse est que ces morphologies de logements individuels groupés sont inspirées des archétypes et des morphologies méditerranéennes traditionnelles, malgré la scission du Mouvement Moderne.

### 2.1 Présentation – trois études de cas des Trente Glorieuses

La période des Trente Glorieuses (1946-75) est marquée par la reconstruction après-guerre. Le Mouvement Moderne donne une solution au problème de la reconstruction avec des logements aux standards rationalisant la construction et les surfaces minimum (Duport, 2015). La doctrine Moderne propose des solutions universalistes et se concentre sur des constructions de grands ensembles. Un mouvement parallèle d'architectes d'avant-garde, dont certains affiliés au TEAM X, réfléchit sur l'alternative des « *ensembles de logements individuels* » (Lecoin & Racine, 1974). En même temps, la mise en place des vacances pour tous en 1936 pousse à une réflexion sur un nouveau programme : les loisirs et le tourisme. La question de comment créer des environnements construits qui stimulent le dépaysement et la détente, devient un nouveau sujet de discussion. Une discussion qui ouvre une porte vers de nouvelles possibilités et de nouvelles idées. Le programme des logements de vacances sur la côte méditerranéenne se prête extrêmement bien à cette réflexion, et devient un terrain de jeu pour ces architectes qui réagissent contre l'aspect universaliste du Modernisme. Ils souhaitent intégrer leur architecture dans le site, sans le dénaturer. Après tout, la plupart

du temps, le site est ce qui attire les vacanciers à un certain endroit. Les architectes ont l'intention de combiner une architecture minimaliste rationnelle et standardisée, avec une prise en compte du site et de l'environnement (soleil, vent, nature). Leurs architectures peuvent être considérées comme des prémices de l'architecture climatique (Bartoli, 2020).

Chronologiquement, ces architectures et ces réflexions se trouvent en amont des premières tentatives de quantification d'une architecture solaire et bioclimatique à travers les sciences physiques. Le livre « Design with climate » de Victor Olgyay par exemple est sorti en 1963 aux Etats-Unis. Il menait des recherches dans ce domaine où se chevauchent le climat, le confort thermique et l'architecture. Il est considéré comme un des pionniers avec Baruch Givoni, qui faisait des recherches en Israël (sortie du livre « L'homme, l'architecture et le climat » en 1969). David Wright s'approprie les mêmes notions et les traduit en un manuel de conception compréhensible, où les dessins parlent pour eux (Wright, 1978). En 1980, Alain De Herde fonde l'équipe de recherche « Architecture et Climat » à Louvain-La-Neuve. Lui aussi est connu comme pionnier dans le domaine. Ils ont en commun une approche scientifique, une volonté d'étudier et d'écrire le fonctionnement thermique de constructions à travers les sciences physiques. L'observation de phénomènes a permis de créer des modèles et des graphiques qui permettent de donner des conseils de conception.

En parallèle, pendant la même période, une approche plus intuitive recherche ce même domaine, où se chevauchent le climat, le confort thermique et l'architecture. Pour nommer un exemple, André Ravereau est nommé architecte en chef des Monuments historiques en Algérie entre 1965 et 1971 et sort son livre « le M'Zab, une leçon d'architecture » en 1981. La manière de vivre et la culture islamique prennent une position centrale dans ses recherches, avec le climat et la manière dont l'architecture abrite l'homme. Son support de recherche n'est pas la science physique, mais la culture Mozabite et leur connaissance vernaculaire des matériaux et des procédés de construction. Avec Bernard Rudofsky et son exposition « Architecture without architects » au Moma de New York en 1964-65, ils sont considérés comme les pionniers d'une attention et d'une importance portée à l'architecture vernaculaire et sa manière de tenir compte du site et du climat. Cette approche est toujours très présente dans la recherche d'aujourd'hui. Sous la pression du réchauffement climatique et un besoin de plus en plus pressant d'agir et d'adapter l'architecture à cette situation, et au climat tout court, nombreuses sont les recherches sur le caractère durable de constructions traditionnelles et vernaculaires. Elles attribuent à l'architecture traditionnelle une connaissance intuitive et obtenue après des années d'essais empiriques, sur comment se protéger et comment profiter du climat (Cardinale et al., 2013 ; Dipasquale, 2014 ; Diz-Mellado et al., 2021 ; Ratti et al., 2003 ; Salat et al., 2011a). J'avance l'hypothèse que les études de cas, et leurs architectes, se situent plutôt dans la deuxième approche, la plus intuitive, qu'ils s'intéressaient au climat et qu'ils intégraient des notions dans leur projets, sans pour autant se baser sur les sciences physiques.

Les études de cas choisies sont des villages de vacances de la période des Trente Glorieuses, construits sur la côte méditerranéenne de la France. Ce sont des logements individuels groupés, comme alternatives au logement individuel, et ils sont pensés entièrement pour l'été. Comme mentionné avant, il s'agit d'une période post-guerre *glorieuse*, où la reconstruction propulsait le pays dans un boom économique, et où les vacances pour tous lançait un développement de villages de vacances. Le nouveau programme créait une ouverture pour l'expérimentation de nouvelles idées. En même temps, il y avait une avant-garde moderne qui portait une attention certaine sur le site (soleil, vent, nature). Les études de cas sont donc soupçonnées donner des solutions intuitives et expérimentales au confort d'été, tenant compte du site et du climat, et d'avoir donc un minimum d'intention climatique. Afin de couvrir plusieurs situations, les études de cas se trouvent sur différents sites : sur un terrain plat et sableux et sur un terrain rocheux en pente. Finalement, les trois études de cas ont le label du « Patrimoine du XX<sup>ème</sup> siècle »<sup>8</sup>, ce qui démontre une certaine représentativité de leur époque de construction, et une appréciation culturelle et architecturale.

La côte du Languedoc-Roussillon des années 60, aujourd'hui l'Occitanie (Figure 2-1), était connue pour son vent fouettant et ses moustiques : une côte sableuse très peu végétalisée, chaque année traversée par des milliers de touristes en route pour l'Espagne ou l'Italie. La Mission Interministérielle Racine, dont le coordinateur était Pierre Racine, se pose la question entre 1963 et 1983 comment les retenir sur la côte française. Cinq villages entiers ont été conçus et construits, séparés par des zones protégées naturelles.

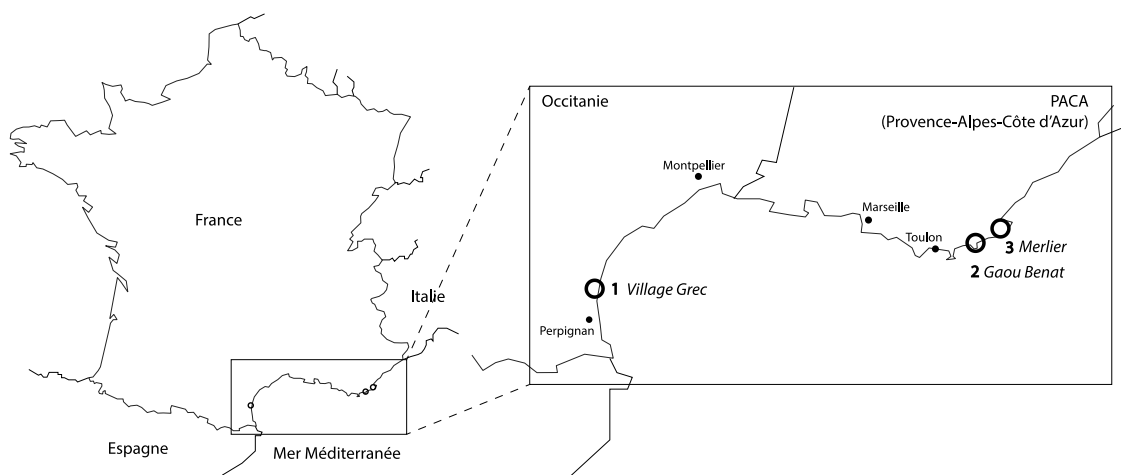


Figure 2-1 :  
Localisation des études de cas  
(5) le Village Grec à Port-Leucate ; (2) le Gaou Benat à Bormes-les-Mimosas ; et (3) le Merlier à Ramatuelle

<sup>8</sup> C'est un label du Ministère de la Culture et de la Communication, pour les architectures remarquables en France du XX<sup>ème</sup> siècle



Le chantier était gigantesque. Cette zone profondément rude et faiblement habitée a reçu une transformation complète, avec des travaux de drainage et des modélisations côtières d'un grand impact. Le développement baigne dans une ambiance générale de vacances pour tous : une architecture économique et optimisée pour accueillir la masse : le plus de vacanciers et le plus vite possible. L'architecte en chef de la Mission, Georges Candilis, a dessiné Port Leucate et Port Barcarès, où se trouve le Village Grec, étude de cas de cette recherche (Candilis, 2012, p. 272 ; Sept jours du monde, 1963). A ce moment-là, Georges Candilis est surtout connu pour des constructions de logements collectifs de grande échelle (par exemple à Bagnols sur Cèze en 1956) et pour la construction de l'université de Toulouse – le Mirail (concours gagné en 1962). Plusieurs de ses constructions suscitent des polémiques aujourd'hui. Ses constructions de villages de vacances de logements individuels groupés sont moins connues.

La côte de la région PACA, à l'est de la France (Figure 2-1), était connue pour ses paysages ondulants de garrigue, des côtes rocheuses plongeants dans la Mer Méditerranée de couleur azur. Dès le début, une volonté de protection du paysage prend un rôle important dans le développement touristique, qui se fait majoritairement à travers des initiatives privées. L'ambiance générale est moins axée sur le tourisme de masse, et plus sur l'aspect expérimental (Bartoli, 2020).

Les coordonnées, l'altitude par rapport à la mer et la pente des études de cas sont visibles dans le tableau 2-1. Elles ont tous les trois un climat Csa suivant la classification Köppen-Geiger : un climat méditerranéen tempéré, avec des étés chauds et secs et des hivers humides et doux. Dans la classification de Joly, ils sont de Type 8 « le climat méditerranéen franc ». C'est-à-dire qu'il y a une grande amplitude de température entre l'été et l'hiver (plus de 17°C entre juillet et janvier), et un grand ratio entre les précipitations d'automne et d'été : il y a six fois plus de pluie en automne, qui tombe sur un faible nombre de jours (Joly et al., 2010).

Tableau 2-1 : Les coordonnées, les altitudes, les pentes et les distances de la mer des études de cas.

ETUDE DE CAS	COORDONNEES	ALTITUDE (m)	PENTE (%)	DISTANCE DE LA MER (m)
Village Grec	42° 51' 12'' N 3° 2' 13'' E	2	-	460 € et 760 (O) étang
Gaou Bénat	43° 6' 18'' N 6° 21' 15'' E	108	25 (E & SE)	400 €
Le Merlier	43° 11' 44'' N 6° 39' 56'' E	19 à 50	23 (S)	30 (S)

Deux stations météo ont été choisies par rapport à la proximité des études de cas, la disponibilité et le caractère récent des données (Tableau 2-2). En été des températures moyennes autour de 23°C et 24°C sont enregistrées, ce qui est plutôt tempéré, tandis que les températures records historiques dépassent 36°C (37,3°C en 2021 au Cap Camarat). L'amplitude thermique journalière des mois de mai à septembre est autour de 10°C pour le Village Grec et autour de 7,5°C pour le Cap Camarat. Ceci correspond à la valeur de l'amplitude thermique donné par Liébard pour des climats tempérés : inférieur ou égal à 10°C (Liébard & De Herde, 2005, p. 24).

Tableau 2-2 : Les températures historiques et moyennes<sup>9</sup>

Village Grec à Port Leucate (Station Météo-France Torreilles)					
T (°C)	MAI	JUIN	JUILLET	AOUT	SEPTEMBRE
Max historique	34,1	39,3	36,9	38,4	36,2
Min historique	2,9	6,7	11	8	5
Moyenne	16,8	20,7	23,4	23,2	19,7
Gaou Benat – Merlier (Station Météo-France Cap Camarat)					
Max historique	32	34,9	36,9	37,3	33,4
Min historique	4,8	9	13	11,8	9
Moyenne	17,3	20,9	24,1	24,4	21,2

Les vents dominants sont NO pour Leucate et NE et SO pour Bormes-les-Mimosas (Figure 2-2)<sup>10</sup>. Le vent souffle clairement plus fort avec des vitesses >29 km/h à Leucate, tandis qu'à Bormes-les-Mimosas, à peu près la moitié du temps (51,6 %) le vent souffle à moins de 1,4 m/s (5km/h). Seulement 5% du temps, la vitesse du vent y dépasse 4,4 m/s (16 km/h).

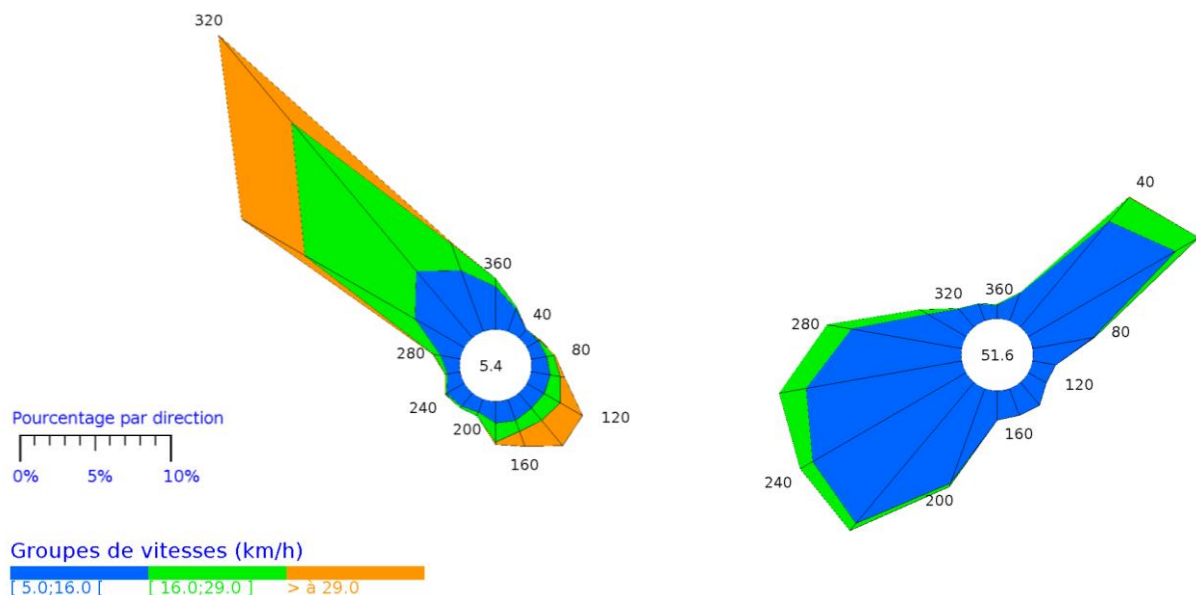


Figure 2-2 :  
Les roses des vents de Leucate (gauche) et de Bormes-les-Mimosas (droite) sur toute l'année.  
La fréquence des vents en fonction de leur provenance en %. Source : Météo-France

<sup>9</sup> Les données de Météo-France : les records établis entre 1983 et 2021 (Torreilles) et entre 1949 et 2021 (Cap Camarat). Les mesures moyennes sont des données statistiques de 1981 à 2010.

<sup>10</sup> Les données de Météo-France sont des données horaires de 2017 à 2021 sur toute l'année

Dans le contexte du réchauffement climatique, une hausse de température est observée. La figure 2-3 visualise l'augmentation, prenant en compte les données du scénario RCP 4,5 du dernier rapport de l'IPCC<sup>11</sup> (IPCC, 2021). L'écart est légèrement plus haut pendant les mois d'été, et atteint 2,7°C à Port Leucate (en septembre), et 2,4°C au Cap Camarat (en août et octobre). La prévision de l'augmentation moyenne annuelle de la température jusqu'à 2100 est de 2°C. Comparé avec les 3,5°C à Cordoue en Espagne (Diz-Mellado et al., 2021), il s'agit d'une situation tempérée, due à la proximité de la mer.

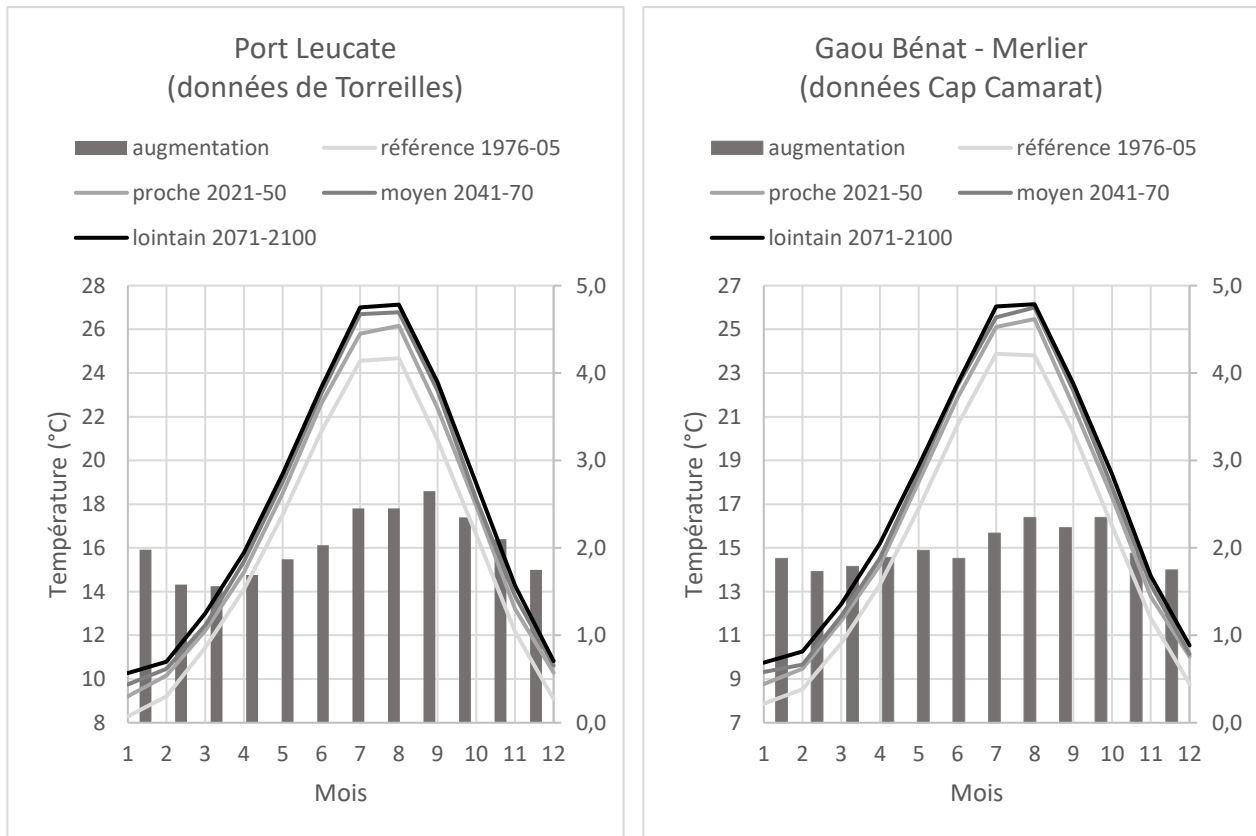


Figure 2-3 :

L'effet du réchauffement climatique sur les températures moyennes

Source : données du portail DRIAS, scénario RCP 4.5 du dernier rapport GIEC 2021 de l'IPCC

Figure 2-4 Page droite :  
Photo aérienne de Port Leucate avec le Village Grec en blanc.  
Echelle 1/7500. Source : Geoportail  
Vues sur le Village Grec

<sup>11</sup> Il s'agit d'un scénario intermédiaire de stabilisation d'émissions de gaz à effet de serre, représentant une croissance pendant quelques décennies, suivie par une stabilisation et une décroissance vers la fin du XXI<sup>ème</sup> siècle.

2.1.1 Le Village Grec à Port Leucate, 1969, P. Gardia et M. Zavagno (et G. Candilis ?)





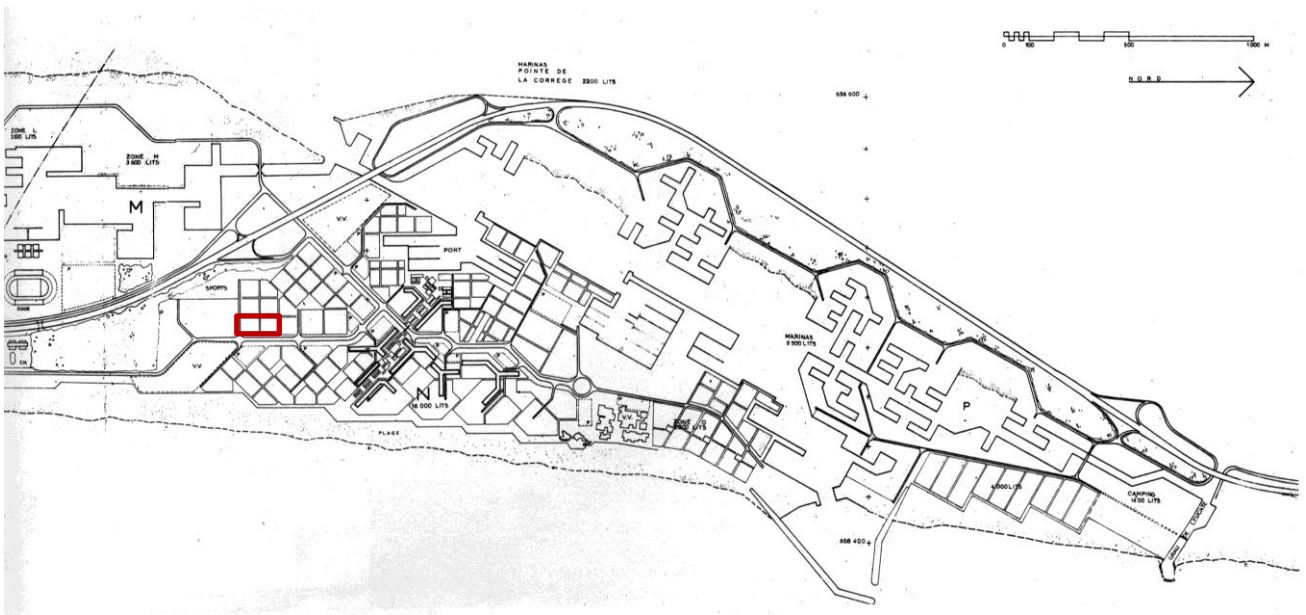


Figure 2-5 : Plan général de l'Unité Touristique. 1969<sup>12</sup>

En rouge : localisation du Village Grec ; entre l'étang (ouest) et la mer méditerranéenne (est)

Source : (Candilis, 1973, p. 131)



Figure 2-6 : L'emplacement du Village Grec (rouge) sur les premiers croquis du 25 novembre 1966.

Source : Archive personnelle de Georges Wursteisen dans (Claret, 2016)

<sup>12</sup> Le plan n'est pas daté, mais correspond au plan de 1969 de Claret (Claret, 2016)

Le Village Grec se trouve à Port Leucate-Port Barcarès et a été construit dans le cadre de la Mission Racine. L'identité prédéfinie dans le plan Racine était de faire de cette zone un centre touristique nautique. La langue de sable se trouve entre l'étang et la mer, et les vents forts saisonniers en font l'endroit idéal pour les sports nautiques. L'accent se trouve sur la création de ports, de marinas et de canaux.

En tant qu'Architecte en Chef et responsable du développement de Leucate-Barcarès, G. Candilis réalise un plan général de l'Unité Touristique (Figure 2-5), qui trace les grandes lignes des voiries, des parcelles et des canaux (Claret, 2016). Le plan prend une dizaine d'années pour prendre la forme actuelle. Les premières esquisses de 1965 et 1966 montrent des logements sur des parcelles carrées, implantées en grappes ou en clusters (Figure 2-6). La version du 25 novembre 1965 rentre plus dans le détail, montrant des logements en « L » sur les parcelles, avec un patio dans le creux du « L ». Le ton est donné. Afin d'obtenir une identité d'ensemble, un Cahier des Charges Architectural, écrit par G. Candilis en 1967, stipule de manière assez détaillée les prescriptions à suivre. La maison à patio est imposée au rez-de-chaussée, pour protéger des vents. Les autres règles portent sur la couleur blanche (et la possibilité d'avoir certaines couleurs ponctuelles), la simplicité de volume, les toits terrasses « *qui correspondent le mieux aux conditions climatiques et au caractère recherché* », les murs de clôture en maçonnerie opaque ou en claustras constituées d'éléments préfabriqués, l'interdiction de décoration et de « *tout pastiche d'architecture archaïque, romantique ou étrangère à la région* » (Petit, 1986).

Il est intéressant de remarquer qu'il interdit tout pastiche d'architecture « *archaïque, romantique ou étrangère à la région* ». Le patio est en effet un mot Espagnol, et un élément architectural seulement sommairement présent dans la région. La même chose est valable pour la toiture terrasse, dans une région avec une grande majorité de toitures traditionnelles en pente (voir chapitre 1). En plus, le village s'appelle « Village Grec ». G. Candilis est né en Russie, mais il a grandi en Grèce. De nouveau c'est une référence qui ne se trouve pas dans la région. L'image type d'un village en Grèce est celui des logements cubiques blancs et des toitures terrasses, qui peuvent être considérés archaïques et en même temps d'un langage architectural correspondant à celui du Modernisme. On peut considérer que c'est le « *caractère recherché* » dont il parle dans le Cahier des Charges.

Le permis du Village Grec est accordé le 22 avril 1969. Il s'agit d'un assemblage de 53 logements en forme de « T ». Chaque logement a deux patios : un petit patio d'accès qui donne sur la rue, et un patio privé, qui est moitié couvert la plupart du temps, et seulement accessible par le séjour et la chambre.

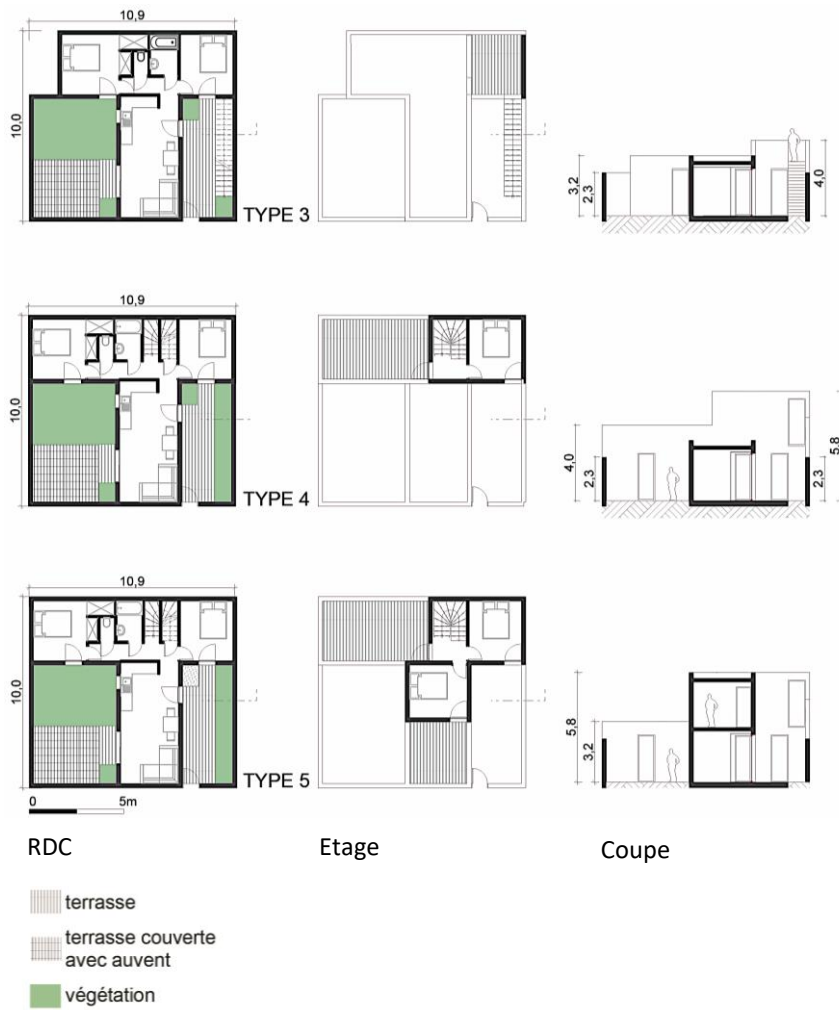


Figure 2-7 : Echelle 1/400  
Re-dessin du Village Grec  
Chaque type a un petit patio d'accès (à droite)  
et un patio privé (à gauche), qui n'est pas accessible par la rue

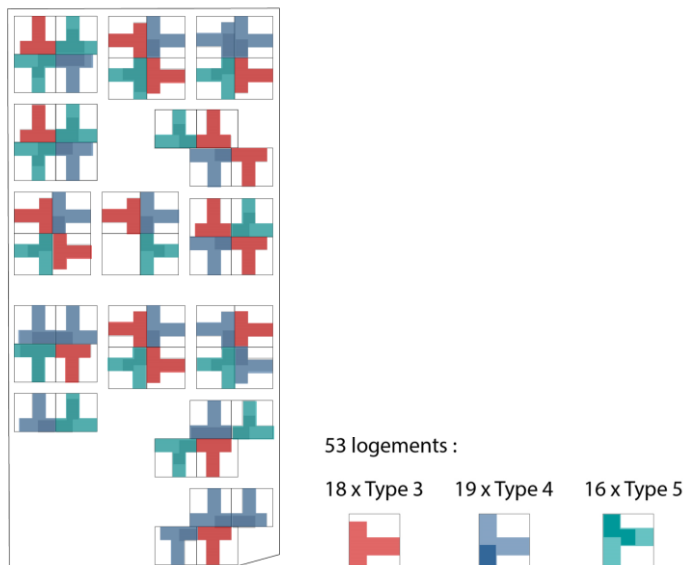


Figure 2-8 : Echelle 1/2000  
Les typologies.  
Les plans originaux du permis  
montrent seulement 6 Types 4 et 4 Types 5.  
Les extensions ont été ajoutées après.

Il y a trois types, dont seulement l'étage diffère : une terrasse accessible à l'étage du T3, une chambre pour le T4, et deux chambres pour le T5. (Figure 2-7 et 2-8). Le village est construit en béton caverneux, des briques de béton. L'accès au village se fait à pied, le parking des voitures est commun (Figure 2-9). Les ruelles piétonnes sont entourées des deux côtés par des haies. Elles font toutes 3 m de large, sauf une allée centrale, qui fait 8m de large. Malgré le caractère privé des ruelles, elles sont nombreuses et connectées sur les rues du domaine public et accessibles à tout le monde. Le village est facilement traversable. En revanche, il n'y pas de bancs, même pas sur les espaces verts ou dans l'allée centrale. La volonté est clairement de créer des lieux de passage, et non pas des lieux de repos. Les « T » forment des îlots par trois ou quatre, les espaces verts sont des îlots manquants ou décalés. Les étages sont décalés de la rue, afin de laisser rentrer la lumière jusqu'à la rue. Aujourd'hui, la plupart sont des logements secondaires, mais douze maisons sont habitées toute l'année. L'impression générale du village, est celle d'un village vert à l'échelle humaine. Malgré le réseau orthogonal et régulier des ruelles, une impression d'irrégularité est créée à travers les hauteurs différentes des murs de clôture, et l'implantation aléatoire des premiers étages (Figure 2-4).

De manière générale, on considère que le Village Grec a été dessiné par G. Candilis (Claret, 2016 ; Nègre & CLN architecture, 2012). Même le Ministère de la Culture mentionne qu'il s'agit d'un village de Georges Candilis dans la liste de labellisation du Patrimoine du XX<sup>ème</sup> Siècle<sup>13</sup>. A ma grande surprise, les documents du permis original qui se trouvent à la Mairie de Leucate, ne font aucune mention du nom de Georges Candilis. Le permis a été déposé sous le nom des architectes Paul Gardia et Maurice Zavagno de Toulouse. Bien évidemment, Candilis a eu son impact et sa signature de manière indirecte sur le Village Grec à travers leur collaboration sur le Ginestou et la Grifoulière en même temps que le Village Grec, et à travers les préconisations précises du Cahier des Charges Architectural. Mais ceci pourrait expliquer les logements en « T » et l'aspect plus travaillé et détaillé du Village Grec par rapport aux deux autres résidences du Ginestou et de la Grifoulière : les logements en « T » du Village Grec ont deux patios dont un de caractère privé et partiellement couvert ; il y a un grand travail sur les murs en moucharabiehs en briques, dans les patios et les garde-corps. Surtout, le logement en « T » sort de l'habitude de G. Candilis : plusieurs de ses villages, comme les Carrats, le Ginestou, les Griffoulières et les Patios, sont des assemblages de logements en « L ». De plus, son livre sur les loisirs (Candilis, 1973) contient tout un travail sur les logements patio en « L » et les différentes manières de les composer et de les rassembler. Il étudie également les logements en bloc en « I » et les logements « puzzle » de forme plus compliquée, mais l'accent se trouve clairement sur la maison à patio en « L ».

<sup>13</sup> Le Village Grec est rajouté à la liste en 2010

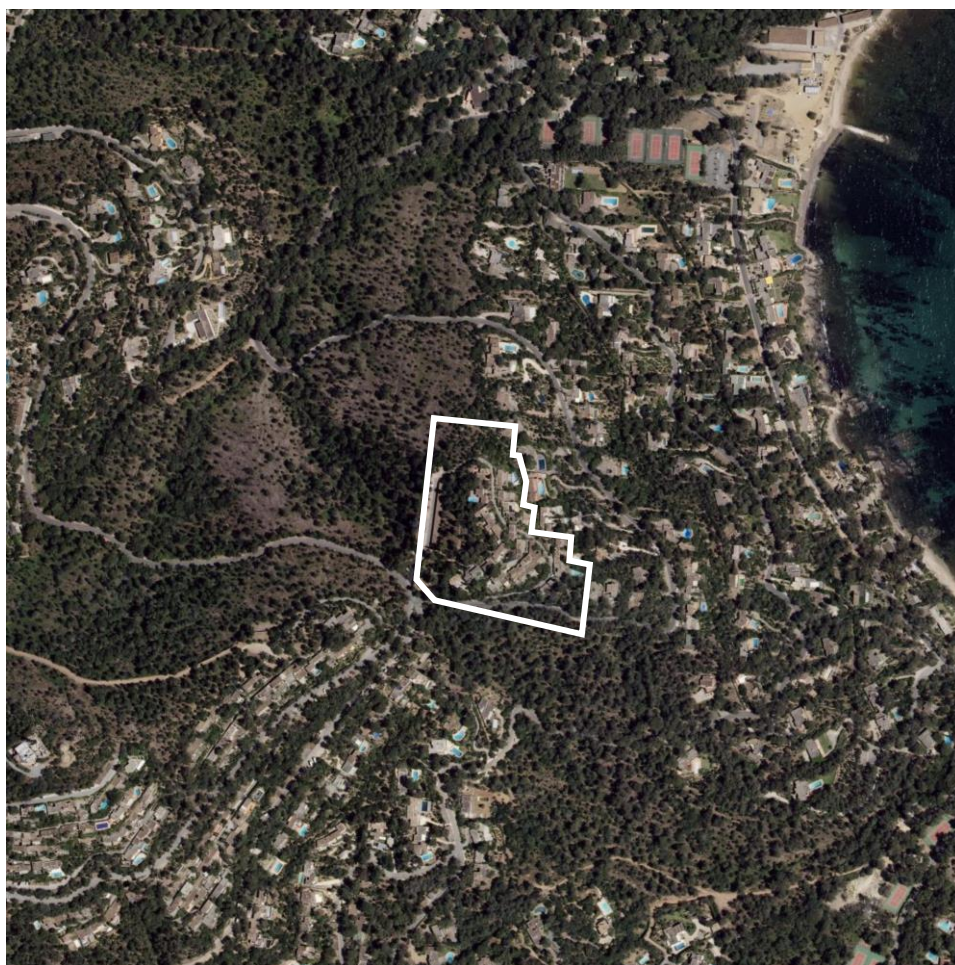




Figure 2-9 : Echelle 1/1500  
Re-dessin du Village Grec.

Figure 2-10 Page droite :  
Le Gaou Bénat, l'architecture de la disparition :  
Photo aérienne avec le hameau du Minotaure en blanc. Echelle 1 /7500. Source : Geoportail ;  
Vue depuis le Gaou Bénat sur la mer  
Vue depuis la mer sur le Gaou Bénat. Source : Association Syndicale (ASL) Libre du Gaou Bénat

2.1.2 Le Gaou Bénat à Bormes-les-Mimosas, 1958, J. Aubert et A. Lefèvre-Devaux





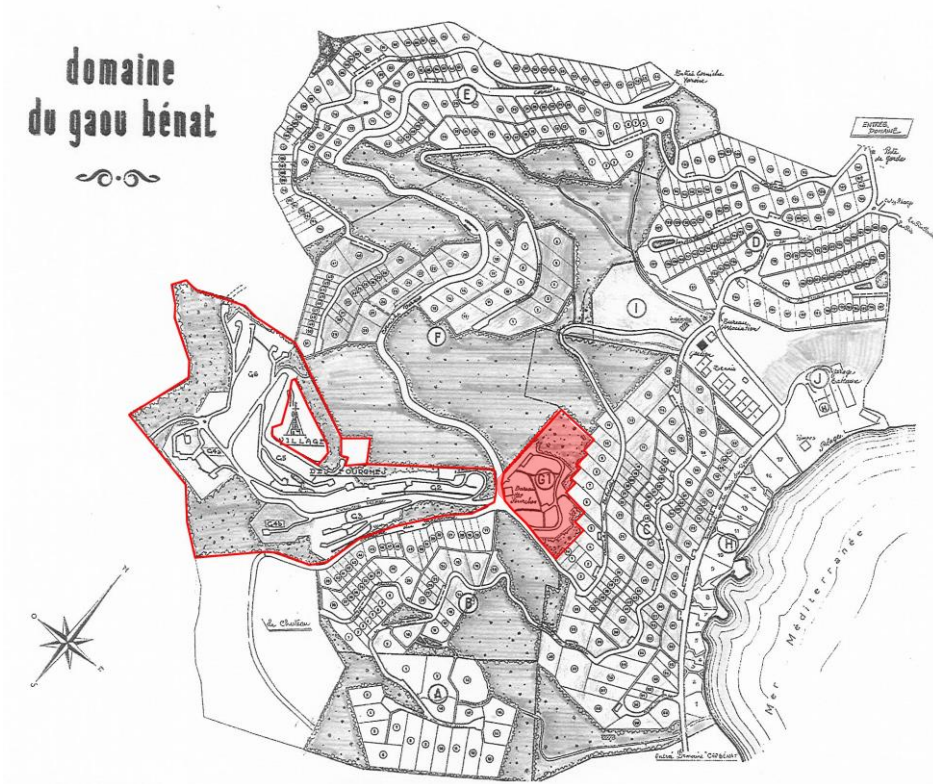


Figure 2-11 :

Le plan d'ensemble du Gaou Bénat.

Trait rouge : Lot G = le Village des Fourches : 240 logements construits sur 6 hameaux

Hachure rouge : le hameau du Minotaure, qui est l'étude de cas

Lots A à F : 447 parcelles individuelles ; Lot H : 17 parcelles au bord de la mer

Lots I et J : les commerces et le centre de loisir non réalisés

Source : dessin sur le plan offert par l'Association Syndicale Libre (ASL) du Domaine du Gaou Bénat



Figure 2-12 :

Vue sur le hameau du Minotaure

La préoccupation principale de cette résidence de vacances était de préserver le paysage existant, de créer une « *architecture de la disparition* »<sup>14</sup> comme disait poétiquement le gardien lors de ma première visite sur place (Figure 2-10). L'essence du projet se trouve dans ces mots. La question était de savoir comment construire sans être vu, en utilisant la pente et la végétation. L'approche générale des architectes est donc de faire une architecture qui disparaît dans le paysage, « *d'être le plus discret possible* » et de « *s'effacer un maximum* » afin de « *sauver* » le paysage, et de ne pas le « *blesser* » avec les mots de Lefèvre (Girier et al., 2001 ; Sarano, 2009).

Vers 1937, le Château de Bénat et les terrains alentours sont vendus en deux parties. La partie sud est lotie, vendue et construite dans les années '50. Elle est aujourd'hui connue sous le nom du « domaine du Cap Bénat ». La partie au nord, le « Domaine du Gaou Bénat », est achetée et lotie par le promoteur François Leredu. Plutôt que de tout découper en parcelles individuelles, il fait appel à deux jeunes architectes pour réfléchir sur des logements groupés. La conception se fait en 1958.

Sur le terrain de 162 ha, il y a dix lots, de A à J. (Figure 2-11). Les lots A à F comptent 447 parcelles individuelles, le lot H se trouve au bord de la mer et en compte 17. Les lots I et J avec les commerces et le centre de loisir n'ont pas été réalisés. Le dernier lot, G, s'appelle le Village des Fourches. Il comporte un ensemble de 240 logements construits sur 6 hameaux. Le hameau du Minotaure est l'étude de cas, avec 37 logements construits avant la vente.

Le Village des Fourches a reçu le label patrimoine du XX<sup>ème</sup> siècle en 2000. On peut donc le considérer exemplaire pour sa période et d'une architecture remarquable. Il est intéressant de noter que le Village des Fourches a reçu le label dans son entité, mais que c'est le hameau du Minotaure qui est souvent visible dans les vidéos (Girier et al., 2001 ; Sarano, 2009). Il est considéré exemplaire dans l'exemplaire.

Le Village des Fourches s'est construit dans le chaos et les faillites successives. Le premier promoteur F. Leredu confie la construction du village à un investisseur belge, qui vend une image « *de luxe* » dans un paysage « *paradisique* » dans ses prospectus de vente, et qui cherche des acheteurs en Belgique. Après la construction du premier hameau pilote, le hameau du Minotaure, il passe le flambeau à M. Fiat. Seuls trois hameaux, le Minotaure, le Pirate et le Triton seront construits. Les deux derniers voient le jour après le Minotaure et ont un caractère moins expérimental, avec des types plus simples et des assemblages plus répétitifs et orthogonaux. Quand ensuite M. Fiat décède, les parcelles des lots G5 et G6 sont vendues comme terrains à bâtir (Bartoli, 2020).

---

<sup>14</sup> C'était également le titre de l'exposition sur Jean Aubert et André Lefèvre-Devaux, organisée en 2009 à la Villa Noailles à Hyères.

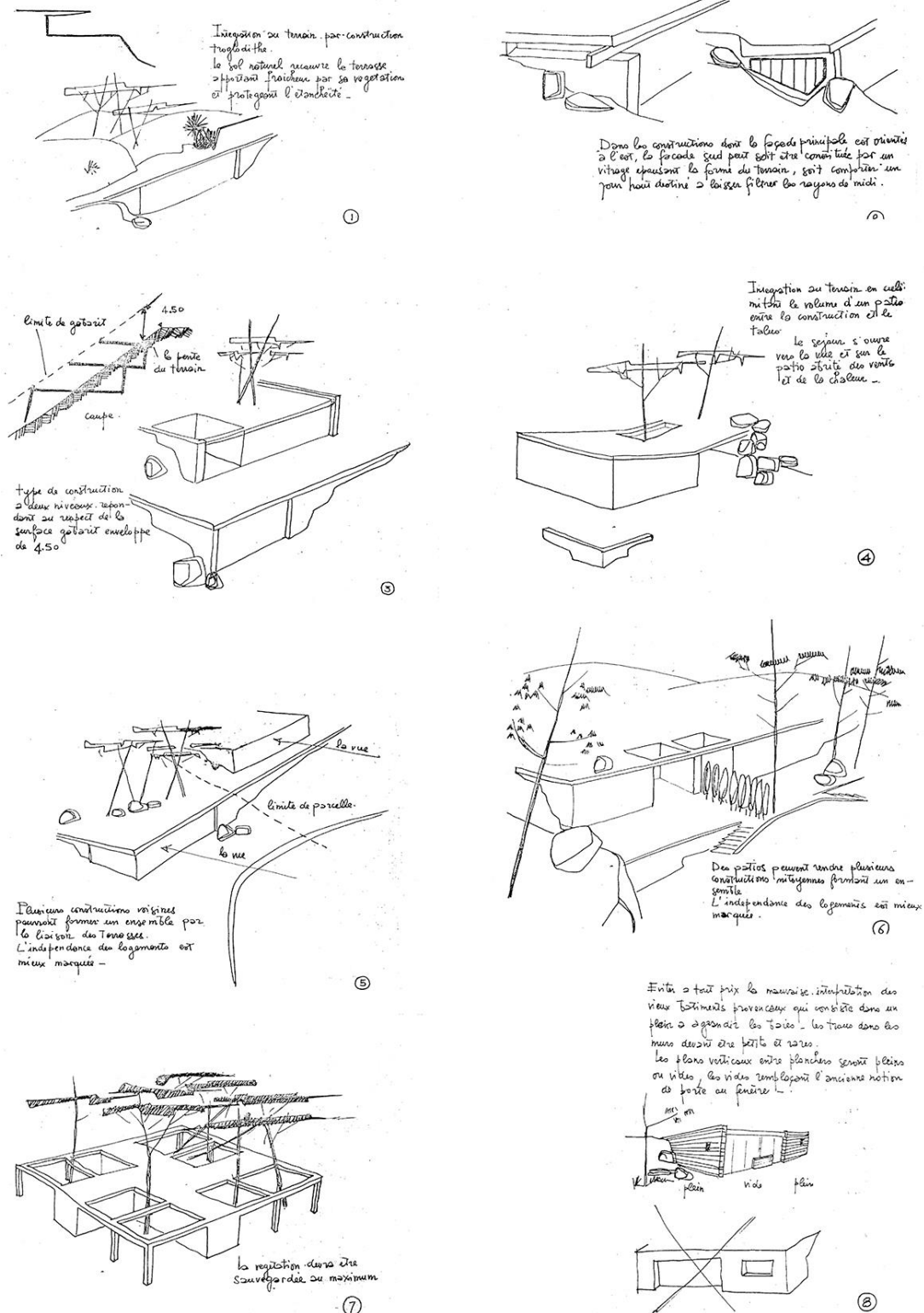


Figure 2-13 :

Le Cahier des Charges du Gaou Benat « l'esprit » :

Source : Cahier des Charges. Archive de l'Association Syndicale Libre (ASL) du Domaine du Gaou Benat

Afin de concrétiser cette philosophie de la disparition et de créer une unité sur l'ensemble du domaine, les architectes ont eu l'idée ingénieuse de concevoir le projet à travers un « Cahier des Charges », avec des règles exprimées en texte et en croquis. Jusqu'à présent, chaque construction doit correspondre au Cahier des Charges et être agréée par une congrégation d'architectes.

Le Cahier des Charges préconise une architecture qui sort du sol, au niveau des matériaux et de l'implantation. Il est en trois parties : l'esprit, l'implantation et l'esthétique.

Concernant l'esprit, les huit points suivants sont préconisés (Figure 2-13) :

1. l'intégration du logement dans la pente de manière troglodyte, en couvrant la toiture de terre et de végétation, apporte de la fraîcheur et protège l'étanchéité.
2. quand la maison est orientée est, des ouvertures sont autorisées au sud pour laisser entrer de la lumière (soit une ouverture qui épouse la pente, soit une fente en hauteur)
3. la hauteur des bâtiments est limitée à 4,5m du terrain naturel
4. l'intégration d'un patio entre la maison et le talus, afin de créer un espace abrité des vents et de la chaleur
5. des terrasses liant des bâtiments voisins sur différents niveaux, accentuent l'indépendance
6. des patios entre des bâtiments voisins sur le même niveau, accentuent l'indépendance
7. la préservation de la végétation existante est demandée
8. Des formes de style des « vieux bâtiments provençaux » sont à « éviter à tout prix » : les ouvertures doivent être petites et rares, ou de toute hauteur entre les planchers

Les règles de l'implantation (Figure 2-14) favorisent également une implantation troglodyte, ne dépassant pas les 4,5m en hauteur, et distanciée par rapport à la rue. Les bâtiments sont implantés soit à plus de 5m de la parcelle, soit collés à la limite parcellaire.

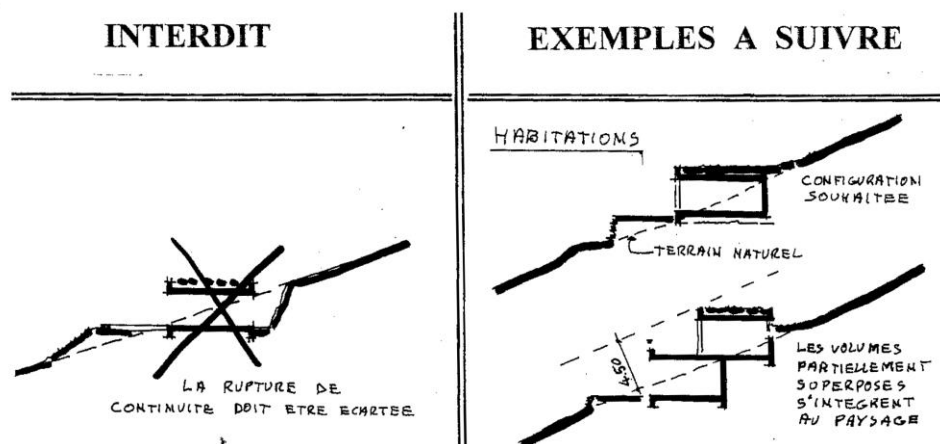
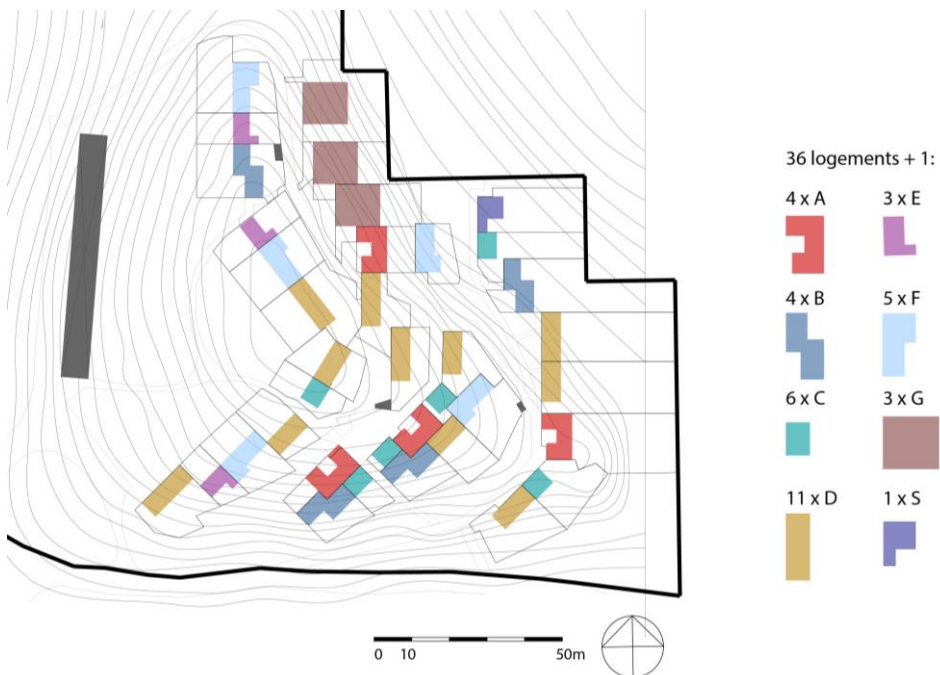
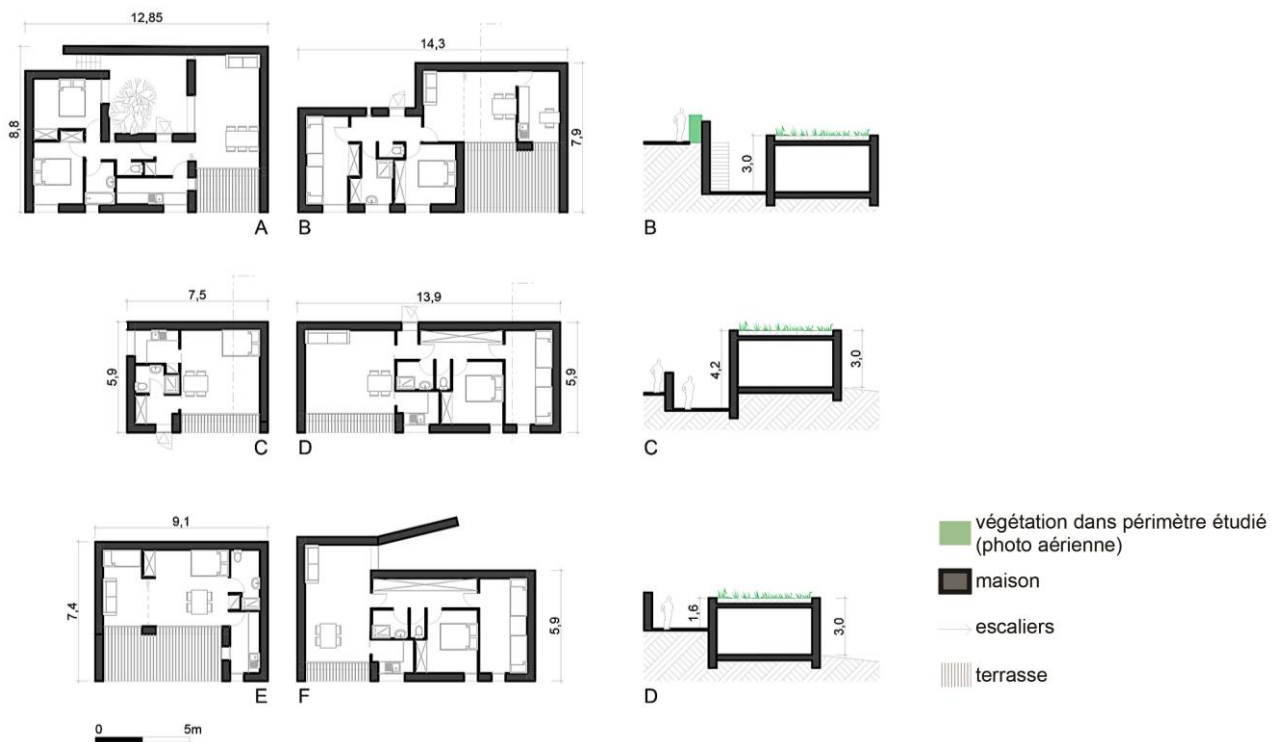


Figure 2-14 :  
Le Cahier des Charges du Gaou Benat « l'implantation »  
Source : Cahier des Charges. Archive de l'ASL du Gaou Benat



Le hameau du Minotaure a été conçu et réalisé pour illustrer le Cahier des Charges et pour encourager les ventes. Suivant l'idée troglodyte, les 36 maisons sont soigneusement positionnées dans la pente à des niveaux différents et couvertes de toitures végétalisées. Suite à la hauteur limitée à 4,5m, elles n'ont qu'un rez-de-chaussée, libérant ainsi les vues des maisons voisines. Les matériaux schisteux du pays (en doublage), favorisent l'impression d'intégration dans le paysage (Figure 2-12).

Le parking est situé à l'ouest et donne sur la seule route principale (Figure 2-17). Cette dernière suit à peu près les courbes de niveau et conduit les voitures à travers le village. Des routes secondaires ou des escaliers piétons plus petits rayonnent à partir de la route principale. Le centre du village est une placette. Il en résulte un tissu irrégulier, lâche et très vert, attaché à un réseau routier irrégulier.

Depuis la mer, l'ensemble disparaît dans la végétation et les rochers. Depuis le village, les vues sur la mer passent au-dessus des toitures végétalisées des voisins, grâce à l'implantation dans la pente (Figure 2-10).

Les logements sont mono-orientés vers l'est et le sud-est, vers la mer (Figure 2-15 et 2-16). Les typologies sont de forme plutôt rectangulaire et compacte, sauf la typologie « A », qui est une typologie avec un patio. Elles sont juxtaposées suivant des courbes de niveau, parallèles à la pente, formant une bande. Suite au Cahier des Charges, la plupart des maisons est décalée de la route, mais des murs de clôture bordent et limitent les rues. Lefèvre résume bien l'esprit du Village des Fourches :

*« Avant de déterminer les parcelles, on s'est promené. On s'est promené à pied avec un géomètre. On choisissait l'emplacement de chaque maison. Le géomètre l'implantait sommairement. Je me rappelle bien pour 450 maisons, les unes après les autres. En tenant compte de la vue, en tenant compte du soleil, en tenant compte des arbres. » (Girier et al., 2001)*

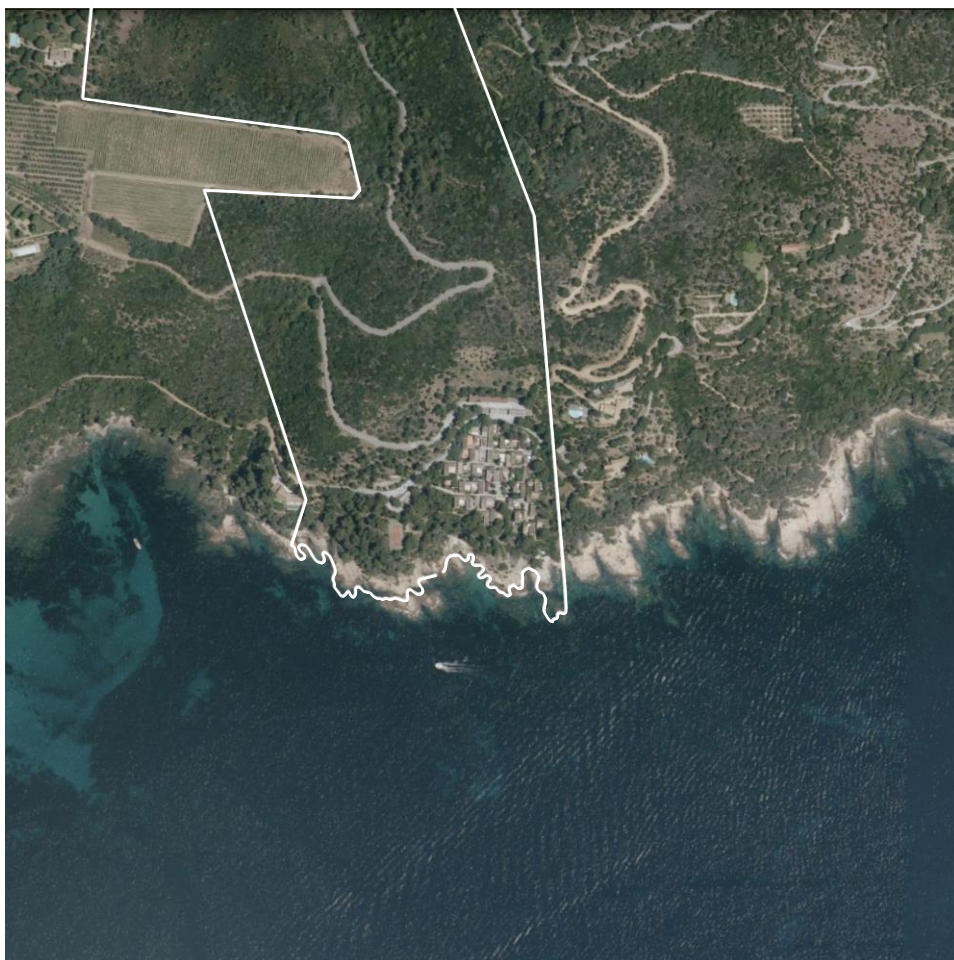




Figure 2-17 : Echelle 1/1500  
Re-dessin du Hameau du Minotaure.  
Les maisons sont implantées dans la pente, libérant la vue sur la mer.

Figure 2-18 Page droite :  
Le Merlier à Ramatuelle  
Photo aérienne avec le Merlier en blanc. Echelle 1 /7500. Source : Geoportail ;  
Vue depuis la mer sur le Merlier. Source : (Blain, 2008, p. 149)  
Vue depuis le Merlier sur la mer

2.1.3 Le Merlier à Ramatuelle, 1958-1965, Atelier de Montrouge (ATM)





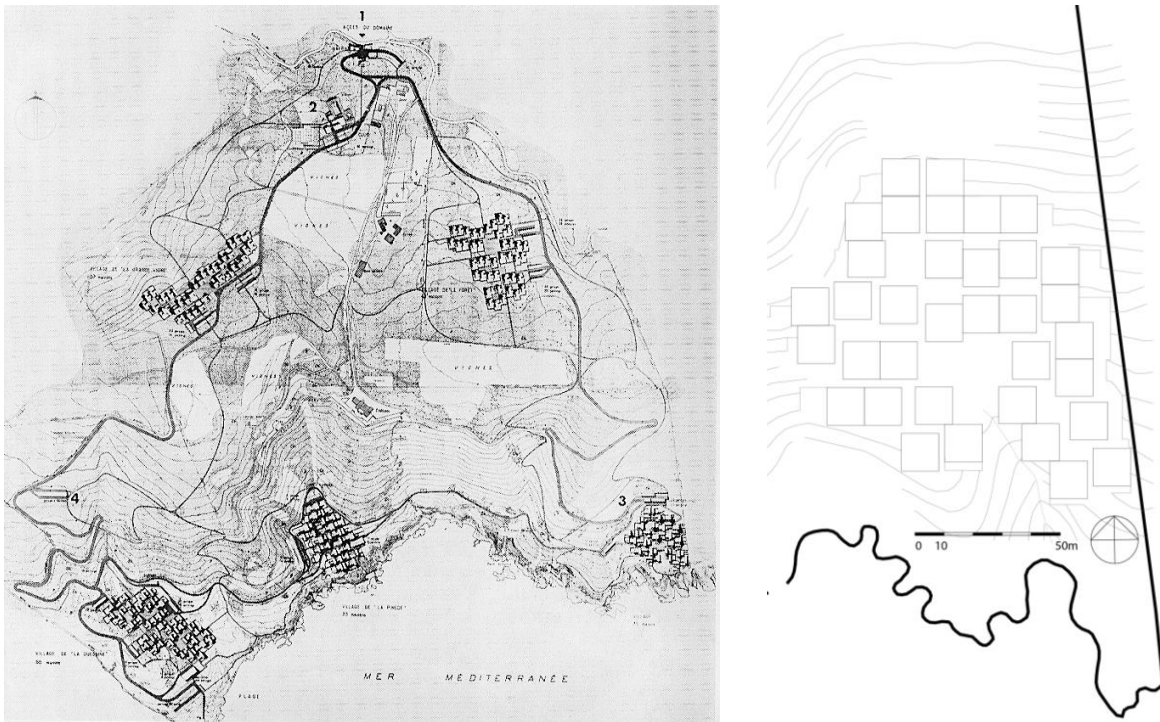


Figure 2-19 :  
gauche : Le domaine du Château Volterra. Le seul village réalisé est Le Merlier (numéro 3 en bas à droite)  
Source : (Arretche et al., 1965 p126)  
droite : L'assemblage en grille irrégulière



Figure 2-20 : Echelle 1/400  
Re-dessin du Merlier.  
Test de Type 4 ; T+2 de Type 6  
Le rez-de-chaussée est moitié enterré dans la pente

Réaliser un projet exemplaire pour le développement vacancier de la Côte d'Azur. Tel était le but de Simone Volterra, propriétaire du Domaine Volterra, lorsque qu'elle fit appel à Louis Arretche (1905-1991). Lui, à son tour, contactait des étudiants à lui : un groupement de quatre jeunes architectes parisiens, qui s'étaient rencontrés à l'Ecole des Beaux-Arts après la guerre. Pierre Riboulet (1928-2003), Gérard Thurnauer (1926-2014), Jean-Louis Véret (1927-2011) et Jean Renaudie (1925-1981) formaient ensemble l'Atelier de Montrouge (ATM). Ils se virent attribuer le Grand Prix National de l'Architecture en 1980. Louis Arretche s'associe à l'ATM pour réfléchir sur ce programme et ce site exceptionnel : le Cap Camarat. Il s'agit de 100 ha ondulants, couverts de pins et de chênes lièges, avec une descente rocheuse vers la mer. Une étude poussée vers la capacité d'accueil induit l'idée de localiser cinq villages de vacances de 35 à 50 maisons dans les plis du paysage (Arretche et al. (1965) (Figure 2-19). En groupant les logements, la majorité du paysage est sauvegardé. Le reste du domaine est marquée par *une servitude non aedificandi*. Le choix de localiser les villages dans les creux est nourri par la volonté de protéger le paysage, et de rendre les villages invisibles à la fois entre eux et depuis le château de Mme Volterra. Des fonctions collectives, comme un club, des boutiques, un tennis et une piscine se trouvent dans les environs de la plage. Des cinq villages, le Merlier est le seul qui a été construit, avant la faillite du promoteur (Bartoli, 2020).

Comme une couverture le village couvre le terrain. C'est un assemblage en grille de 36 unités de 12,5 m x 12,5 m (Figure 2-19 à droite). Il s'agit d'une grille irrégulière qui tient compte des arbres et du relief existant. Ce système de grille, ou de maille, permet au village de marier parfaitement le relief naturel. Les maisons sont implantées les unes par rapport aux autres à des hauteurs différentes, afin de libérer les vues des séjours des maisons voisines. Les plans du rez-de-chaussée et de l'étage sont très différents (Figure 2-20 et 2-21). Les rez-de-chaussée abritent les chambres et sont encastrés dans la pente. Ils n'occupent que la moitié de la parcelle, laissant un espace vide devant (un patio), et un espace enterré derrière. Ils sont parallèles à la pente. Les étages abritent les séjours dans des structures en porte-à-faux et s'ouvrent vers le sud et vers la mer : une vue sur la mer pour chaque maison ! Les étages se retrouvent perpendiculaires à la pente. Chaque maison a un espace extérieur en forme de patio moitié couvert par le porte-à-faux au rez-de-chaussée et une terrasse à l'étage. Le socle au rez-de-chaussée, avec les chambres, la buanderie et la salle de bain, est similaire pour toutes les typologies. Le volume à l'étage, avec le séjour, la cuisine et le sas d'entrée se retrouve également dans toutes les typologies, et affiche la voûte catalane qui définit fortement l'image du village.

Il y a deux parkings collectifs aux abords du village (Figure 2-24). Le parking au nord dessert l'accès à la partie haute du village, le parking à l'ouest mène vers la partie basse. Les rues sont étroites et desservent chaque maison, mais ne permettent pas de stationnement de longue durée. Le village a un caractère majoritairement

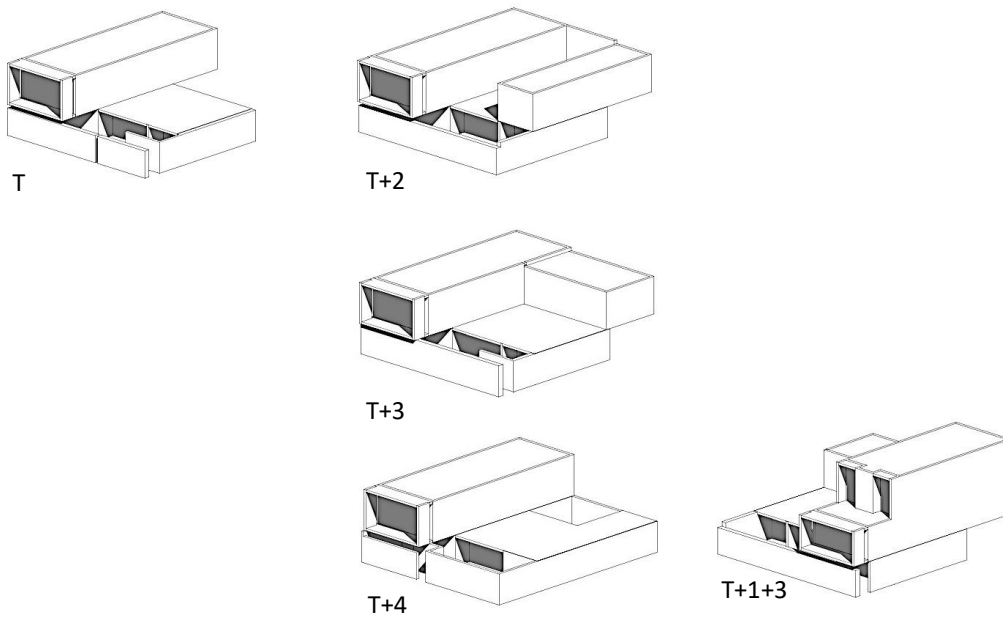


Figure 2-21 :  
Etude volumétrique des logements :  
Type T ; Type T+2 ; Type T+3 ; Type T+4 avec patio ; Type T+1+3 avec deux étages  
Les rez-de-chaussée sont quasiment identiques (sauf le T+3), les étages changent



Figure 2-22 : Vues sur l'escalier central nord-sud

piéton. Ceci arrive à l'apothéose dans l'escalier central, nord-sud, qui est l'accès principal du village, et « *la colonne vertébrale* » selon Véret (Girier et al., 2006). L'escalier descend dans le village, les maisons cadrent la vue sur la mer (Figure 2-22). Toute l'essence du projet se trouve ici. Les rues ont un aspect plutôt minéral, malgré les jardinières sur les maisons et dans les rues, les arbres, les toitures végétalisées et des plantes sur les façades. Le paysage autour du village n'a pas été touché, et est donc resté boisé.

L'ambiance générale est celle d'un village avec des rues et des implantations irrégulières, voire compliquées, entouré de forêts de chêne liège. Des ouvertures entre les murs de clôture et les porte-à-faux, en plus des fentes entre les jardinières et les terrasses, donnent une impression aérée, malgré les rez-de-chaussée enterrés, et donc invisibles.

L'approche de l'ATM repose sur trois inspirations : « ... *Le Corbusier, Arretche, Ecochard. Le premier pour la pensée, le second pour l'éducation, le troisième pour l'éthique.* » (Blain, 2008). Leur approche est donc sociale, humaine, urbaine, régionale et moderne. A ceci se rajoute l'approche de leur associé, Louis Arretche. Il était marqué par « *sa non-adhésion aux courants* » et « *l'assemblage, du collage, de la juxtaposition* » de tonalités conceptuelles, avec comme fil rouge un régionalisme avec une attention marquée pour le site, croisée avec le modernisme. Sa force était « *sa capacité à prendre possession des sites, à en saisir les lignes de force et à les valoriser avant d'y inscrire les éléments du programme, que ceux-ci soient abrupts, montagnards, fortement collinaires, simplement vallonnés, complexes, côtiers, strictement plats, ou qu'ils constituent un vaste arrière-plan dans lequel le projet s'inscrit en un contrepoint puissant.* » (Amouroux, 2010).

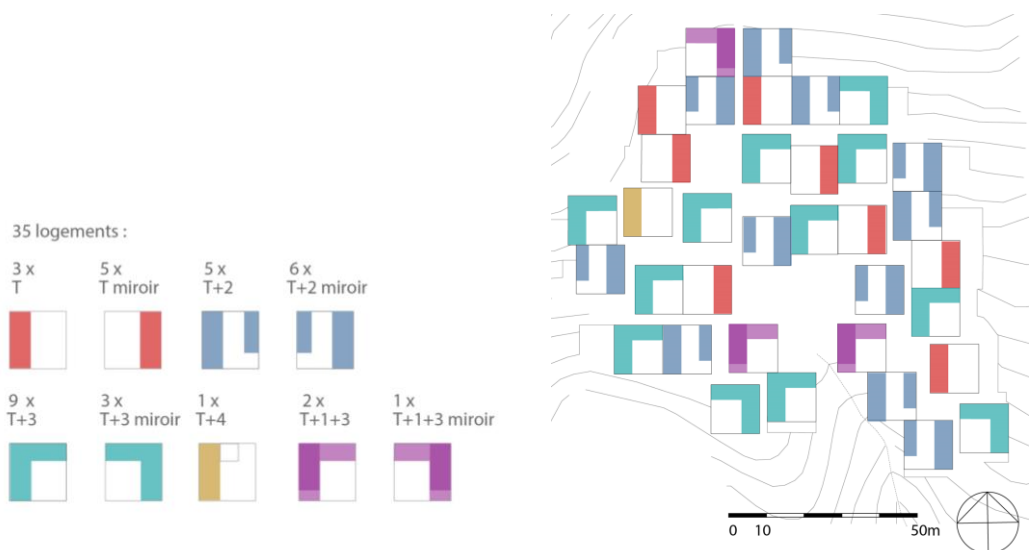


Figure 2-23 : Echelle 1/2000  
Typologies des logements du Merlier

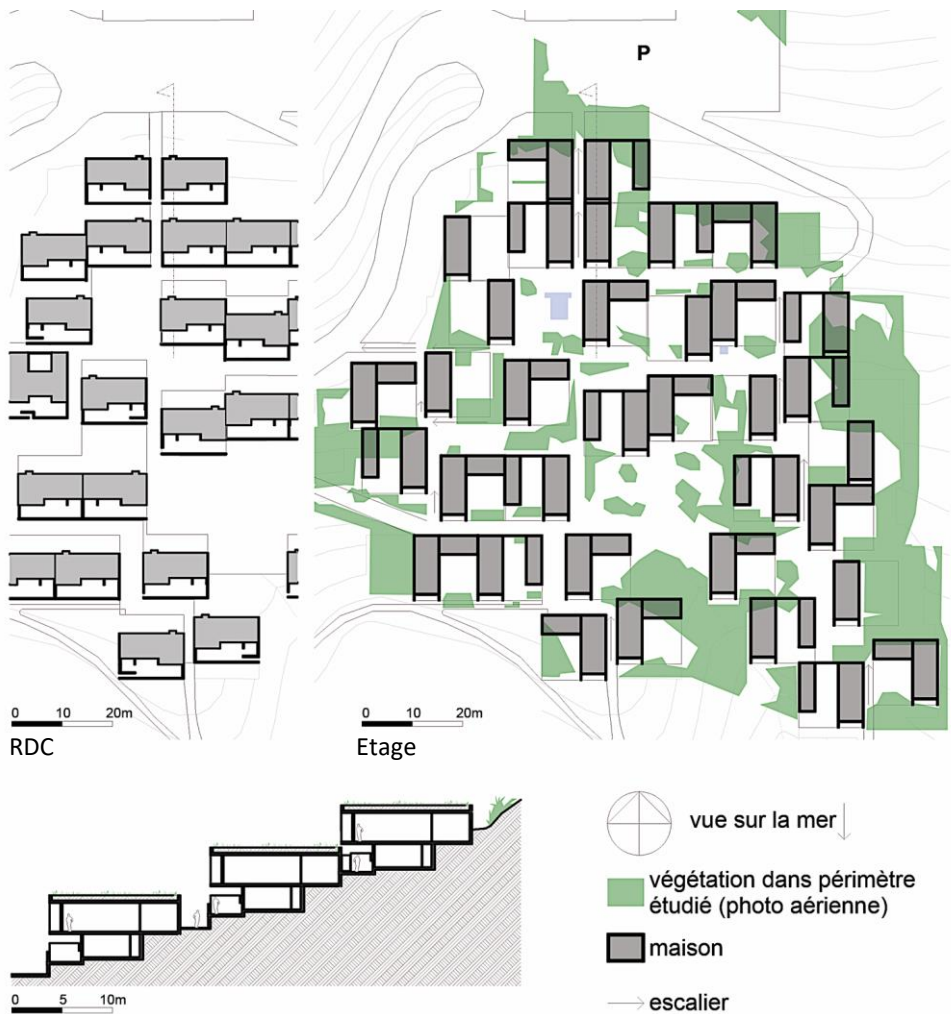


Figure 2-24 : Echelle 1/1500  
Re-dessin du Merlier.

## 2.2 Inspirations

### 2.2.1 Inspirés par Le Corbusier et le Modernisme

Le Corbusier est surtout connu pour son approche radicale et dogmatique, peu soucieux de l'existant. Au quatrième Congrès International de l'Architecture Moderne (CIAM IV) en 1933, qui s'est déroulé sur le bateau de Marseille à Athènes, il était le moteur derrière la fameuse (ou infâme) Charte d'Athènes. Cette charte récapitule les grandes idées de la ville fonctionnelle, qui à l'époque proposait une solution pour les agrandissements de villes. La Charte décrit la création de zones pour les quatre fonctions principales : la vie, le travail, les loisirs et les circulations. Le Plan Voisin à Paris (1922-25) illustre ceci merveilleusement : de manière Haussmannienne, des quartiers entiers de la rive droite sont remplacés par des gratte-ciels et des espaces verts. Le plan conserve seulement les églises historiques. Et encore. Vingt ans et une guerre mondiale plus tard, Le Corbusier réfléchit sur le développement de la Côte d'Azur<sup>15</sup>, où un paysage magnifique en pente fait appel à une approche différente : une approche qui protège et prend en compte le paysage et le site, et qui s'inspire de l'existant (Boesiger, 1985). Une approche qui propose des logements « *en nappe* » ou « *en croûte* », étalés sur le terrain, et non pas de manière verticale comme dans l'Unité d'Habitation. On est loin de l'approche radicale qui voulait raser Paris et construire des gratte-ciels verticaux. Ces idées et cette sensibilité étaient déjà latente avant, même pendant l'écriture de la Charte d'Athènes et la ville fonctionnelle en 1933. Sur le bateau du CIAM IV, une réflexion parallèle germait. Gino Pollini, architecte Italien et présent sur le bateau avec le Corbusier, témoigne d'une ambiance parallèle à celle de la charte : « *d'un côté, la charte prenait forme dans une sorte de retenue alors générale et diffuse ; de l'autre côté, on admirait l'architecture de l'Acropolis et des îles, caractérisée par l'observation de l'architecture spontanée et traditionnelle. On estimait que cette architecture spontanée était influencée par des règles propres aux typologies et dérivant entre autres de facteurs climatiques, (avec pour conséquence un dimensionnement précis de pleins et de vides), et des modes de regroupement des édifices singuliers en relation avec le site.* » (Gravagnuolo, 1987)

Jean-Louis Véret de l'ATM et Georges Candilis ont travaillé dans l'atelier du Corbusier : Candilis de 1945 à 52, entre autres à Paris et sur le chantier de l'Unité d'Habitation à Marseille ; Véret de 1953 à 55 à Paris. Forcément influencés par l'approche Corbusienne moderniste, ils gardent une distance et suivent leur propre chemin. Candilis rejoint Team X, tandis que l'ATM n'adhère pas ouvertement même si au niveau des idées on note des parallèles. Blain avance l'hypothèse que « *Sans doute n'étaient-ils pas prêts à théoriser leur attitude critique, plus à l'aise dans la fabrique des projets.* » (Blain, 2008, p. 8). Ni Aubert, ni Lefèvre n'ont travaillé avec Le Corbusier.

---

<sup>15</sup> Il s'agit du projet Roc et Rob (1949) à Roquebrune, Cap-Martin, qui n'a jamais été réalisé.



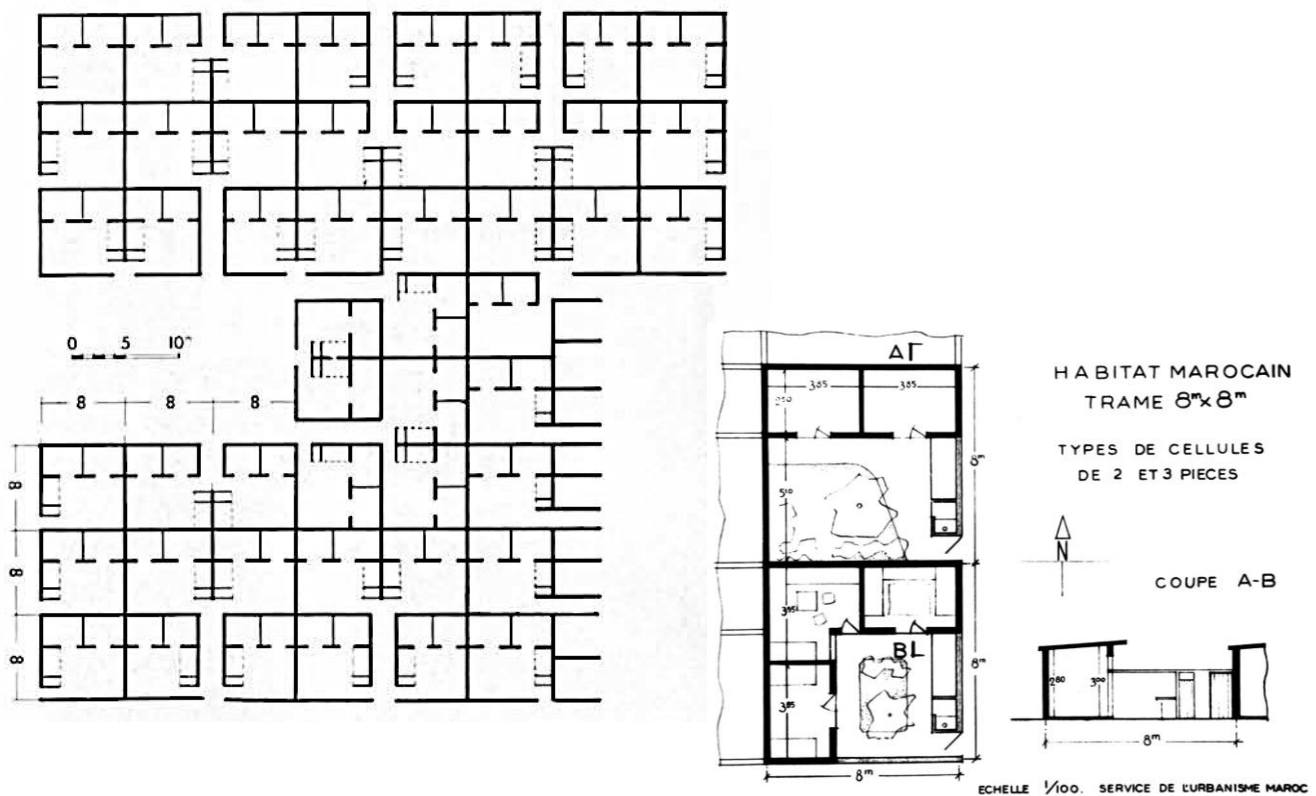


Figure 2-25 :

Gauche : Principe du système urbain de la trame 8 x 8 avec les espaces publics et les impasses ;

Source : (Ecochard, 1955, p. 105) ;

Droite : 2 logements groupés de la trame 8x8 ;

Source : Aga Khan Trust for Culture, Collection Écochard : Urban Planning in Morocco,



Figure 2-26 :

Réalisation en 1953

Source : Aga Khan Trust for Culture, Collection Écochard : Urban Planning in Morocco,

Dans l'ensemble des études de cas, on voit des éléments du langage architectural, qui peuvent être mis en relation avec le modernisme, comme par exemple les toitures terrasses, la volonté d'un minimalisme poussé ou encore l'absence d'impostes des portes. Pour Lefèvre par exemple, les maisons du Gaou sont « *un cube tout simple, le toit de déborde pas, c'est au nu des murs. Il y a juste des trous. Entre le toit et sol, il n'y a pas de retombée, c'est-à-dire c'est simplifié au maximum, on ne peut pas faire plus simple. Comme Mies van der Rohe traitait ses maisons.* » (Sarano, 2009). Le volet sur l'esthétique du Cahier des Charges du Gaou Bénat impose d'ailleurs des traitements modernes des éléments comme les piliers, les clôtures et les fenêtres sans impostes. En revanche, les pilotis, les fenêtres en bande ou les plans libres, qui étaient tellement mis en avant comme « moderne » dans les cinq points de l'architecture moderne par Le Corbusier en 1927, ne sont clairement pas représentés.

### 2.2.2 Inspirés par l'ATBAT Afrique

Entre 1950 et 1954, Georges Candilis occupe le poste de directeur à l'ATBAT Afrique, ou l'Atelier des BATisseurs, « *un bureau d'études polyvalent – architecture, technique, urbanisme* » (Candilis, 2012). L'ATBAT a été créé dans un premier temps par le Corbusier et Vladimir Bodianski, l'ingénieur de l'Unité d'Habitation à Marseille. Dans un deuxième temps, l'ATBAT crée une filiale au Maroc, l'ATBAT Afrique. Dans ce contexte, Candilis rencontre Michel Ecochard, qui était le directeur du Service de l'Urbanisme et de l'Architecture au Maroc à cette période-là (1946-53). Ils travaillent ensemble sur le quartier des Carrières Centrales à Casablanca : Ecochard réfléchit sur le développement urbain et Candilis réalise plusieurs bâtiments de logements collectifs.

De formation architecte et archéologue, Ecochard est d'une part influencé par les principes du CIAM et la Charte d'Athènes, mais il porte également une grande attention à « *la morphologie sociale et bâtie* » existante qu'il observe, et il mène des recherches à travers des enquêtes de terrain (Avermaete & Casciato, 2014 ; Glatt, 2012). Il propose un système d'urbanisme, la trame 8 X 8 (Figure 2-25 et 2-26), qui donne selon lui la solution à de nombreux problèmes urbanistiques, comme les voies, les égouts, les canalisations, le facteur économique de la rentabilité et « le pouvoir d'achat de la classe la moins favorisée » (Ecochard, 1955, p. 105). La trame est introduite comme solution à un besoin urgent de logements économiques. En même temps, la trame incorpore et « popularise » le patio. Le concept de patio est récupéré et repensé de la morphologie traditionnelle de la maison à cour (ou à patio) islamique de la Medina de Casablanca, mais également des enquêtes sur le terrain des bidonvilles autour de Casablanca. Ceci devient la base de la ville horizontale, en référence et en alternative à la ville verticale de Le Corbusier. L'approche proposée par Ecochard est réputée comme majeure aussi bien dans l'histoire de Maroc, que dans la scène internationale de l'architecture moderne (Beqqal et al., 2021 ; Bonillo, 2006 ; Saaid & Chaoui, 2020).

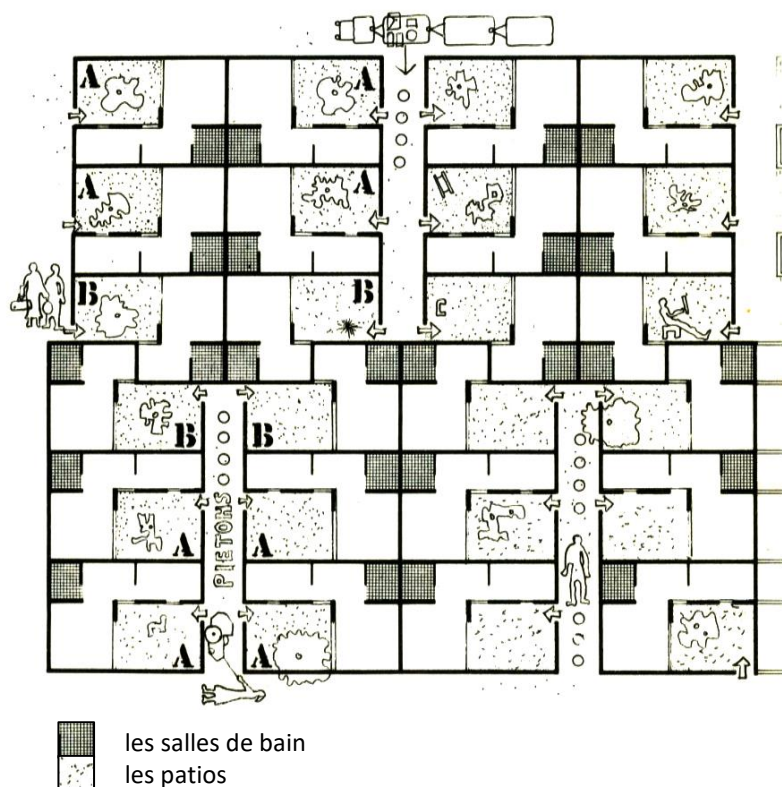


Figure 2-27 :

*Candilis : Une étude préliminaire pour Leucate-Barcarès : un « assemblage horizontal » de logements à patio en « L »*

Source : (Candilis, 1973, p. 31)

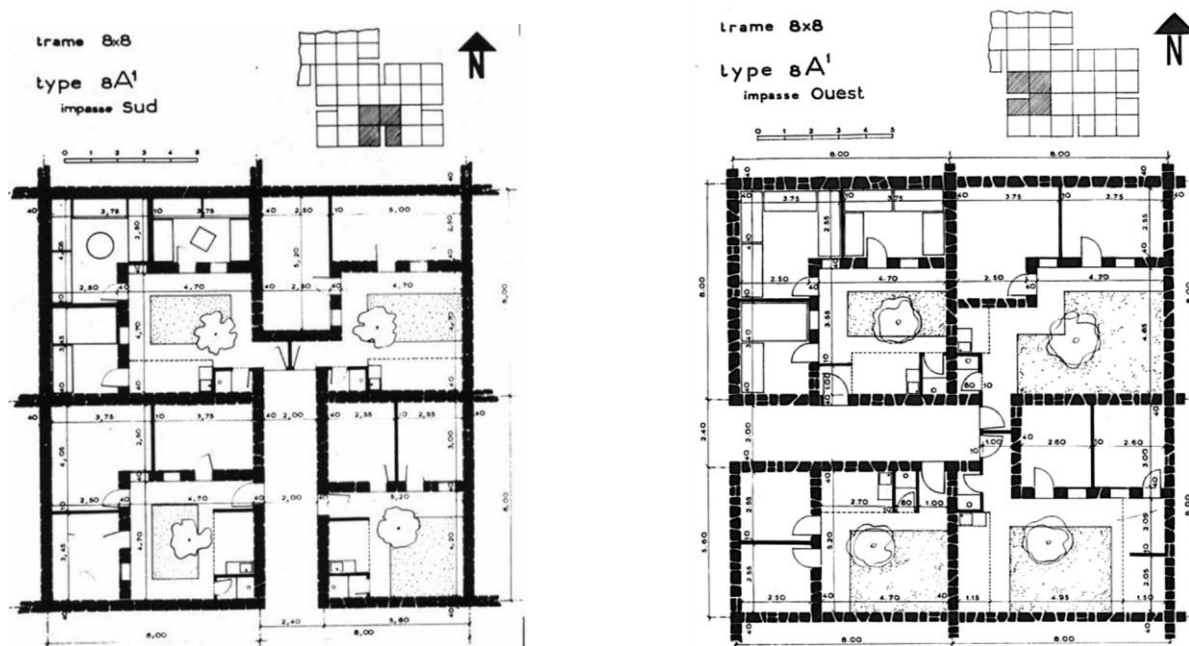


Figure 2-28 :

*Ecochard : 1950 : 4 logements groupés de la trame 8X8.*

Source : gauche : (Saaid & Chaoui, 2020) ; droite : (Avermaete & Casciato, 2014, p. 274)

Georges Candilis et Ecochard travaillaient ensemble. De plus, ils dirigeaient ensemble GAMMA, ou le Goupe d'Architectes Modernes Marocains. Ils ont présenté ensemble la grille de « l'habitat pour le plus grand nombre » en 1953 au CIAM IX à Aix-en-Provence (Avermaete & Casciato, 2014). Les idées de la trame de 8 X 8 et de la maison à patio comme solution à un besoin urgent de logements économiques, étaient donc bien connues par Candilis, quand il s'est penché sur l'aménagement du Languedoc-Roussillon pour le tourisme de masse : un chantier urgent et sensé être économique.

Comparant la figure 2-25 de Ecochard et la figure 2-27 de Candilis, la ressemblance est frappante. Le dessin de Candilis est une étude préliminaire de Leucate-Barcarès et illustre « *la recherche de l'échelle humaine* » (Candilis, 1973, p. 30). La morphologie consiste à assembler des unités carrées de 8 X 8m pour Ecochard, et de forme rectangulaire pour Candilis. Les logements d'Ecochard sont en « L », ou en « L » avec un rajout en construction légère pour la cuisine et la salle d'eau, formant un « U ». Les salles d'eau de Candilis sont intégrées à l'intérieur, dans l'angle du « L ». Les accès se font par des impasses piétonnes. Malgré les nombreuses ressemblances entre les deux morphologies, il y a une différence majeure. Ecochard a orienté les patios au sud. Même si les impasses changent d'orientation, les patios restent au sud (Figure 2-28). Sur 48 logements, seuls six, au centre de l'îlot, sont orientés ouest. Candilis dessine 24 logements, la moitié avec un patio au sud, l'autre moitié avec un patio au nord. De nouveau on peut se poser la question de savoir s'il s'agit d'un choix conscient, car un patio au nord apporte de la fraîcheur en été.

En revenant sur le Village Grec, sa trame presque carrée de 10x10,9m et ses logements en « T » (Figure 2-9), il me semble qu'il a clairement été inspiré par la trame urbanistique d'Ecochard. Les accès des logements ne se font pas par des impasses comme à Casablanca, mais l'idée de la ville horizontale, construite sur une trame de logements à patio est clairement présente. Même si, dans le Village Grec, les patios ne sont pas orientés sud comme à Casablanca.

Il est intéressant de remarquer que Candilis interdit dans son Cahier des Charges « *tout pastiche d'architecture archaïque, romantique ou étrangère à la région* » (Petit, 1986), mais en même temps il impose la maison à patio qui semble directement importée de Casablanca (avec des adaptations légères). Le logement à patio n'est pas omniprésent dans la région de Leucate, comme dans la Médina et dans les bidonvilles de Casablanca à l'époque d'Ecochard.

Georges Candilis n'est pas le seul avoir été influencé par Michel Ecochard. Les architectes de l'ATM le rencontrent lors de leur premier voyage en Afrique du Nord, en 1949. Ils sont encore étudiants aux Beaux-Arts et sont fortement impressionnés par le personnage et son approche. Ils travaillent ensemble pendant plusieurs semaines à Casablanca. Ecochard est même considéré comme l'un des trois piliers de l'approche de l'ATM, avec le Corbusier et Arretche (Blain, 2008). Il les sensibilise à une conscience sociale et une

approche urbanistique, et leur apprend à étudier le site et l'existant avant de projeter. En travaillant au Service de l'Urbanisme de Michel Ecochard, les jeunes architectes de l'ATM sont impliqués dans les travaux urbains en lien avec les immeubles Semiramis (1951-52) et Nid d'Abeille (1951-53) de G. Candilis. La morphologie du Merlier pourrait également être influencé par la grille d'Ecochard : il s'agit d'un assemblage horizontal de parcelles carrés (12,5 X 12,5m) avec des maisons à patio. D'ailleurs, dans le film « Habiter les pentes du littoral Varois » (Girier et al., 2006), on voit J.L. Véret visiter une maison du Merlier en 2006, 40 ans après leur construction. Ils visitent la seule maison avec le patio ou la courette au centre de la maison. En rigolant il dit « *cela me fait penser à l'Afrique du Nord* ». Ce sont les premiers mots qui lui viennent à l'esprit en entrant dans la courette. Clairement, l'élément de la cour était une influence nord africaine et l'expérience de l'ATM là-bas. En revanche, les logements du Merlier ont un étage, ils sont implantés en pente et ils n'appartiennent ni à la catégorie du logement d'urgence, ni à celle du logement économique. Le contexte est donc très différent de celui d'Ecochard et de l'ATBAT Afrique.



Figure 2-29 :  
le hameau du Minotaure au Gaou Bénat  
est inspiré par le site et les matériaux locaux

### 2.2.3 Inspirés par l'existant et le site

Les architectes des trois études de cas ont commencé leur réflexion sur le projet architectural en allant sur le site. Georges Candilis découvre la bande sableuse de 180 km au tout début du lancement du Plan Racine, afin de « *faire connaissance avec la côte, étudier le milieu naturel et le milieu humain... la façon de vivre des gens du pays, ... leur labeur quotidien, leurs traditions, leurs aspirations* » (Candilis, 2012), un peu comme Ecochard et ses enquêtes sociales. Il était à la recherche de l'identité de la région, par rapport à la Côte d'Azur et à La Costa Brava. Aubert-Lefèvre et l'ATM font les premières visites du site en faisant du camping (Glatt, 2012 ; Sarano, 2009). André Lefèvre passait beaucoup de temps dans la région, même avant d'y construire et d'y habiter. La jeune équipe de l'ATM y passe le mois d'août, pour faire « *la connaissance du site, du climat et du programme de Mme Volterra* » (Girier et al., 2006).

Les premières impressions de Candilis sont un manque de végétation, des vents très forts et des moustiques (Candilis, 2012). Il n'est pas facile de s'intégrer dans un tel site, et Candilis projette une architecture simple, économique et tenant compte du climat (Candilis, 1973). Il veut offrir des espaces extérieurs, protégés du vent. Les premières impressions de l'ATM se synthétisent dans un rapport d'études en 1959, avec une analyse du relief, de la végétation et des points de vue depuis le château et sur la mer (Glatt, 2012, p. 76). Ils projettent une architecture axée sur les vues sur la mer. Ils veulent offrir des espaces extérieurs avec une vue.

Aller sur le site est une étape importante dans l'approche d'un concepteur. Être en immersion totale pendant la saison chaude, comme l'ATM l'a fait en août, donne des idées sur comment dessiner un village de vacances pour l'été. On se rend vite compte que sous les arbres il fait plus frais, et dans une grotte aussi, et que la pierre (matériau local) garde au frais les maisons locales, et que la pente peut jouer un rôle dans la manière de capter la vue. Il est donc évident que visiter le site, l'apprendre et le comprendre, apportent des solutions, qui paraissent intuitives.





*Figure 2-30 :  
Inspirés par la peur de la standardisation et de la monotonie  
Gauche : Avilcar (en Cappadoce) en Turquie ; Source : (Candilis, 1973, p. 81)  
Droite : Village Grec*

#### 2.2.4 Inspirés par la peur de la standardisation et de la monotonie

Dans les années 60, la mise en place de techniques de construction standardisées, induit une peur de la monotonie. D'une part, il y a la volonté de créer des quartiers rationnels et rationalisés, avec une standardisation des réseaux, des voiries et des chantiers pour des raisons économiques, de l'autre côté il y a la peur que cette rationalisation entraîne une monotonie. Dans son étude des logements des années 60, Lecoin mentionne la volonté de créer des quartiers non-monotones, avec de la diversité (Lecoin & Racine, 1974). Ils recherchent donc comment donner une impression aléatoire et diverse, en utilisant des procédés standards. Pour ce faire, plusieurs stratégies « *rompre la monotonie* » sont analysées, dont la forme des plans et la création d'étages partiels sont deux exemples.

Ceci se reflète le plus dans le Village Grec, qui a des rues orthogonales et un plan de rez-de-chaussée presque unique pour toutes les typologies. La variété se trouve à l'étage, et dans les traitements des murs de clôture. De même pour le Merlier, qui a un plan de rez-de-chaussée identique pour toutes les typologies, mais des étages différents. La pente entraîne une implantation à différents niveaux, et favorise une ambiance aléatoire et diverse, non monotone. Le Gaou Bénat n'est pas considéré, car l'implantation s'est faite sur le site, et il y a énormément de types différents. C'est du sur mesure.

#### 2.2.5 Inspirés par les villes et villages traditionnels

Pour son projet Roc et Rob sur la Côte d'Azur, Le Corbusier s'inspire des villages méditerranéens : « *L'examen des anciennes petites villes qui occupent les hauteurs de la côte fournit une information excellente ; le site architectural y est fait de maisons toutes accolées les unes aux autres, mais dont les yeux (les fenêtres) ouvrent tous sur l'horizon infini.* » (Boesiger, 1985). Comme s'il avait lancé une mode, ou comme si à cette époque c'était ce qu'il fallait faire, tous les architectes des études de cas mentionnent également des références des villes ou villages traditionnels.

Aubert et Lefèvre (Gaou Bénat) se disent inspirés d'une part par « *les formes et l'organisation sociale hiérarchisée des villages de montagne kabyles* » (Bartoli, 2014, p. 110) et d'autre part par Bormes, Gassin, Ramatuelle et Grimaud, en ce qui concerne l'implantation du Gaou Bénat perché sur la colline et loin de la mer ("Villages de Vacances," 1964).

Candilis cite Avilcar (en Cappadoce) en Turquie, sans aucune explication (Candilis, 1973). En regardant l'image (Figure 2-30), on aperçoit des logements cubiques blancs et beiges avec des toitures terrasses, implantés de manière aléatoire et irrégulière en pente. Visuellement, l'image fait penser au Village Grec (sans la pente et avec beaucoup plus de végétation). Sans doute il s'agit ici du « *caractère recherché* » mentionné dans le Cahier des Charges de Candilis pour Port Leucate.



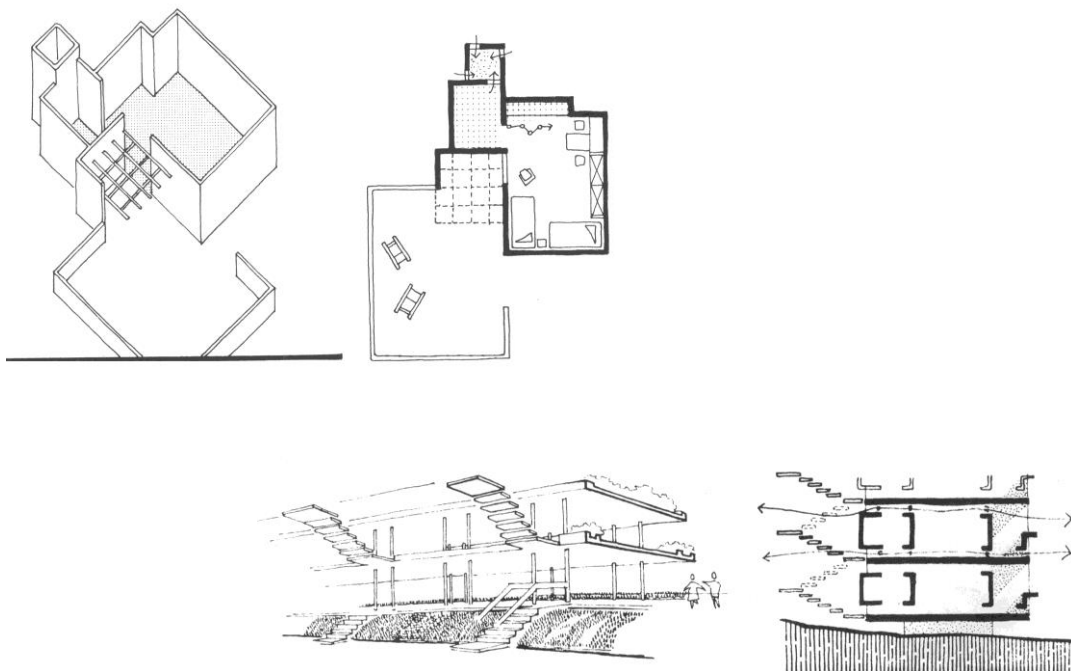


Figure 2-31 :  
Les projets s'adaptent aux climats locaux :  
Une maison en Iran et un hôtel aux Tropiques  
Source : (Candilis, 1973, p. 51), p 86

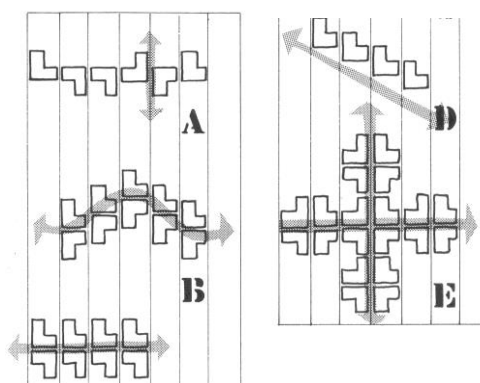


Figure 2-32 :  
Combinaison de logements en « L »  
Source : (Candilis, 1973, p. 27)

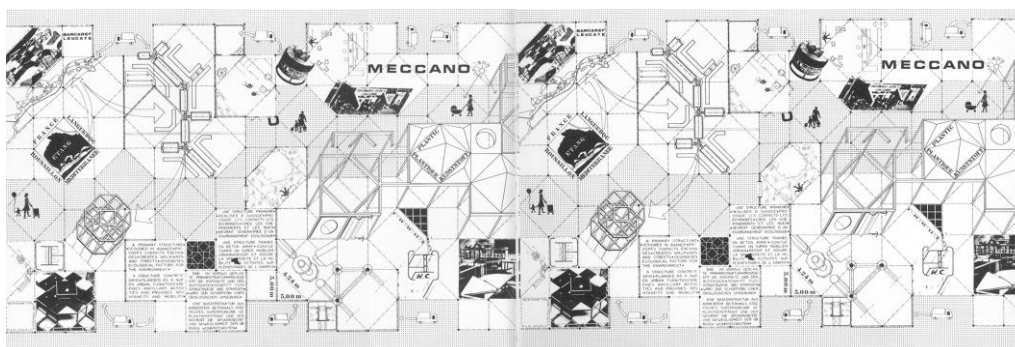


Figure 2-33 :  
Schéma de principe pour Leucate-Barcarès : combinaison d'éléments standardisés, comme le jeu « Meccano ».  
Source : (Candilis, 1973, p. 114)

L'ATM cite Gassin et Ramatuelle comme sources d'inspiration dans leur rapport initial d'analyse du site (1959) (Glatt, 2012) pour l'ambiance générale de village traditionnel. Il aspire à donner au Merlier : *« l'esprit des anciens villages méditerranéens ... La composition générale a été étudiée pour ménager des perspectives renouvelées sur des placettes, ruelles, emmarchements, rampes, escaliers, terrasses suspendues etc. qui offrent au promeneur une ambiance comparable à celle qui donne tant de charme aux anciens villages méditerranéens. »* (Arretche et al., 1966).

### 2.2.6 Inspirés par le climat, mais de manière indirecte

Dans les écrits et les dessins de G. Candilis, on peut sentir une sensibilité au niveau du climat (Candilis, 1973, 2012). Les projets s'adaptent aux climats où ils se trouvent. Sur un dessin pour une maison en Iran par exemple, il propose une cheminée d'air, un brise-soleil et un volume simple avec peu d'ouvertures. Et pour une construction dans les tropiques, la ventilation prend le dessus (Figure 2-31). Un autre exemple sont les immeubles Semiramis et Nid d'Abeille (1951-53) à Casablanca. Les immeubles réinterprètent le patio traditionnel dans un logement collectif. *« Les architectes mettent ainsi en place un contrôle climatique des bâtiments, grâce à l'emploi d'espaces de transition entre intérieur et extérieur. Ceux-là sont définis par des circulations, comme les coursives et les escaliers, ou par des espaces intermédiaires qui « prolongent le logis », comme les balcons, les loggias, les patios couverts qui créent des redents, un jeu de saillies et de renforcements, où la profondeur est accentuée par la lumière solaire. »* (Capannini, 2005, p. 10). On peut donc considérer que les logements pour Leucate-Barcarès, répondent, selon lui, au climat méditerranéen. Ce dernier est en effet moins extrême que celui d'Iran ou des tropiques, et nécessiterait donc des stratégies moins extrêmes, comme un patio, des brise-soleils, des haies et de la végétation, et des terrasses accessibles, comme décrit dans son Cahier des Charges pour Port Leucate.

Mais si on considère qu'il avait une approche de projet sensible au climat, il est frappant que les modules en « L » soient tournés dans tous les sens lors de l'assemblage, aussi bien sur le plan du Village Grec (Figure 2-9) que sur les études préliminaires (Figure 2-27 et 2-32). Il ne favorise pas une orientation. Et comme les dessins et écrits font paraître une sensibilité au climat, la question se pose de savoir si cette liberté d'orientation est volontaire et intentionnelle, qu'il estime qu'un patio au nord est aussi agréable qu'un patio au sud ou à l'est, ou si au contraire cette liberté d'orientation est une négligence. Ou peut-être s'agit-il d'un exercice intellectuel qui teste, combine et assemble de nombreux éléments types. La présence du mot « Meccano » en grand sur un schéma de principe de l'aménagement de Port Leucate, en référence au jeu de construction qui permet différentes combinaisons d'éléments standardisés, va dans le sens de cette dernière hypothèse (Figure 2-33). L'exercice intellectuel est à ce moment-là prioritaire à la volonté d'inscription dans une logique climatique.

L'analyse des plans d'architectes du Gaou Bénat et des écrits de l'époque, ont permis d'étudier les intentions climatiques explicites dans leur approche. A première vue, il n'y a pas de mention directe au climat. Quand Lefèvre parle de son architecture ou du Gaou Bénat, il ne mentionne pas explicitement le climat, sauf pour

expliquer qu'il y a une volonté de faire rentrer le soleil dans les patios et les logements. Clairement, l'approche climatique ne faisait pas partie des priorités ou des principes de conception. Sur les plans d'architectes originaux des années 60, il n'y a pas d'écritures ou de schémas portés à l'orientation ou la ventilation. Le nord est à peine représenté. La priorité est l'intégration dans le site. En revanche, dans le Cahier des Charges, une partie des mesures architecturales traitent la gestion de la chaleur, et donc du climat. Les croquis 1 et 4 parlent du climat et de la gestion de la chaleur, comme le positionnement des cours entre la maison et la pente pour la protection contre le vent et la chaleur (4) ; ou le revêtement troglodytique des toits-terrasses avec de la terre et de la végétation pour la fraîcheur (1).

Quand les architectes parlent du Gaou Bénat dans les années 60, la notion climatique semble intégrée dans une approche générale d'intégration dans le site et de matériaux utilisés. En revanche, dans des récits plus récents, la notion de durable et climatique est beaucoup plus présente (Bartoli, 2020 ; Girier et al., 2001). Alors même qu'il n'y avait pas d'approche explicitement climatique, les éléments précédents démontrent qu'il y a une conscience implicite ou une intuition qui guidait leur conception.

Dans leurs propres écrits des années 60 sur le Merlier, on peut remarquer que quand les architectes expliquent le projet, l'accent se trouve sur la préservation de l'espace naturel, les perspectives et points de vue et l'aspect social du projet (Arretche et al., 1966 ; Arretche, Renaudie, Riboulet, Thurnauer, & Véret, 1965). Ils mentionnent le travail sur l'intimité entre voisins d'un côté, et les espaces collectifs et les fonctions communes de l'autre côté (piscine, tennis, boutiques, garderie d'enfants, placettes). L'aspect climatique n'est pas abordé ou décrit comme un chapitre ou un sujet séparé. L'étude des plans confirme ceci, car il n'y a pas de schémas explicatifs ou d'autres notifications en lien avec le climat, sauf le nord. Cela ne semble pas être leur priorité. Pourtant, les éléments climatiques qui sont évoqués, le sont par rapport à la volonté de construire dans la continuité de la tradition provençale, de l'esprit méditerranéen. Pour eux, il semble évident que les deux sont liés l'un à l'autre.

Dans une vidéo, J.L. Véret formule poétiquement dans une phrase : « *Il y a l'esprit<sup>16</sup> qui fait que cela répond à ce climat* » (Girier et al., 2006). « *Les rampes, les escaliers, les ruelles, les murs blancs, les fortes ombres portées des étages en saillie accentuent le caractère méditerranéen de ce village.* » selon Arretche et al. (1965). Pour lui, parler d'un village traditionnel méditerranéen, signifie également parler du climat. La littérature confirme cette idée que les constructions traditionnelles ont été pensées avec le climat, de manière implicite ou intuitive (Salat et al., 2011a). Les idées de Arretche et de l'ATM, en lien avec les constructions traditionnelles méditerranéennes, peuvent être groupées en trois catégories : les circulations, les matériaux et la végétation (Arretche et al., 1966 ; Girier et al., 2006).

---

<sup>16</sup> en parlant de l'esprit des anciens villages méditerranéens

Concernant les circulations, elles ont été conçues pour faire de l'ombre : de l'ombre sur les patios, de l'ombre dans les rues grâce à l'orientation nord-sud et est-ouest, de l'ombre dans les placettes et les places ombragées. La morphologie et les circulations ont été conçues également pour faire circuler l'air afin d'éviter la surchauffe. Il y a par exemple les fentes de ventilation latérales dans les loggias du porte-à-faux, là où la toiture débordé devant le séjour à l'étage. Les fentes permettent le renouvellement d'air. Il y a des fentes du même genre sur chaque terrasse et même dans les murs des patios au rez-de-chaussée. Clairement, il y a eu une attention particulière pour la circulation d'air. Les matériaux sont des plaques de terre cuite espagnole pour les voûtes, des carreaux de terre cuite pour les sols, des enduits ciments, des menuiseries en pin d'Orégon. Les enduits sont peints en blanc, dans l'esprit méditerranéen. La végétation est celle des bacs à fleurs, des toitures végétalisées, et de la forêt voisine. En visitant le Merlier, J.L. Véret précise que les toitures étaient plantées avec un système d'arrosage intégré, pour créer une fraîcheur par la toiture. Il ne parle pas des grands espaces verts dans les patios et sur les terrasses suspendues, ou des espaces aménagés dans les ruelles, ou des arbres avec leur grand feuillage qui ont été plantés sur les places. Les bassins d'eau dans les placettes n'apparaissent pas non plus dans les articles. Pourtant, ils sont bien présents et impactent de manière importante l'image du village, et son fonctionnement climatique.

Un autre exemple qui montre leur intérêt pour le climat, est un autre projet de l'ATM de la même période. Il s'agit d'une étude pour une école en Mauritanie. Le plan et la coupe montrent des brise-soleil sur les façades sud et ouest, et des schémas explicatifs de ventilation de la toiture dédoublée. En changeant de site et de climat, ils ont adapté leur architecture et les stratégies mises en place pour s'adapter à ce nouveau site, et à ce nouveau climat. On peut en conclure que même si ce n'est pas explicitement mentionné, l'ATM s'intéressait au climat. Le site, les traditions locales et donc indirectement aussi le climat font partie de son approche, de manière intuitive.

Les trois études de cas intègrent donc le climat, de manière intuitive et plus ou moins prononcée, dans leur approche générale au projet architectural (Sansen, 2021b).



Figure 2-34 :

Les morphologies des études de cas

Gris clair/foncé : bâtiment RDC/étage ; noir épais : lot ; noir fin : parcelle ; noir pointillé : accès sur la rue

### 2.3 Une certaine continuité des morphologies et typologies traditionnelles

L'objet de ce paragraphe est de caractériser et ensuite de positionner les études de cas par rapport aux archétypes identifiés dans le premier chapitre : la maison à bloc et la maison à cour. La caractérisation s'organise autour d'une analyse typo-morphologique et une analyse environnementale. Par manque de méthodes adaptées aux situations périurbaines, je fais appel à des méthodes habituellement utilisées dans des contextes urbains.

#### 2.3.1 Analyse typo-morphologique

Les études de cas sont de belles manifestations de l'îlot moderne. Le *lot* est la limite entre le domaine public et le domaine privé. Les études de cas sont des copropriétés horizontales. La limite de lot entre l'espace public ou privé et la copropriété correspond à la limite extérieure (Figure 2-34).

Au sein du lot, il y a des rues et des *parcelles*, qui limitent la copropriété du privé. Il y a une autre morphologie intégrée. C'est une morphologie dans une morphologie. La suite de l'analyse concerne donc les *parcelles*, au sein du *lot*. Cette analyse prend en compte les rues piétonnes et les limites individuelles privées de chaque logement. La figure 2-35 montre la morphologie dans la morphologie, qui est basée principalement sur les îlots en série pour les études de cas en pente, et des îlots résultants pour le Village Grec.

Les bâtiments des trois études de cas ne couvrent pas entièrement les parcelles, il y a des espaces extérieurs (Figure 2-34 et 2-36).



Figure 2-35 :  
L'analyse des îlots des études de cas.

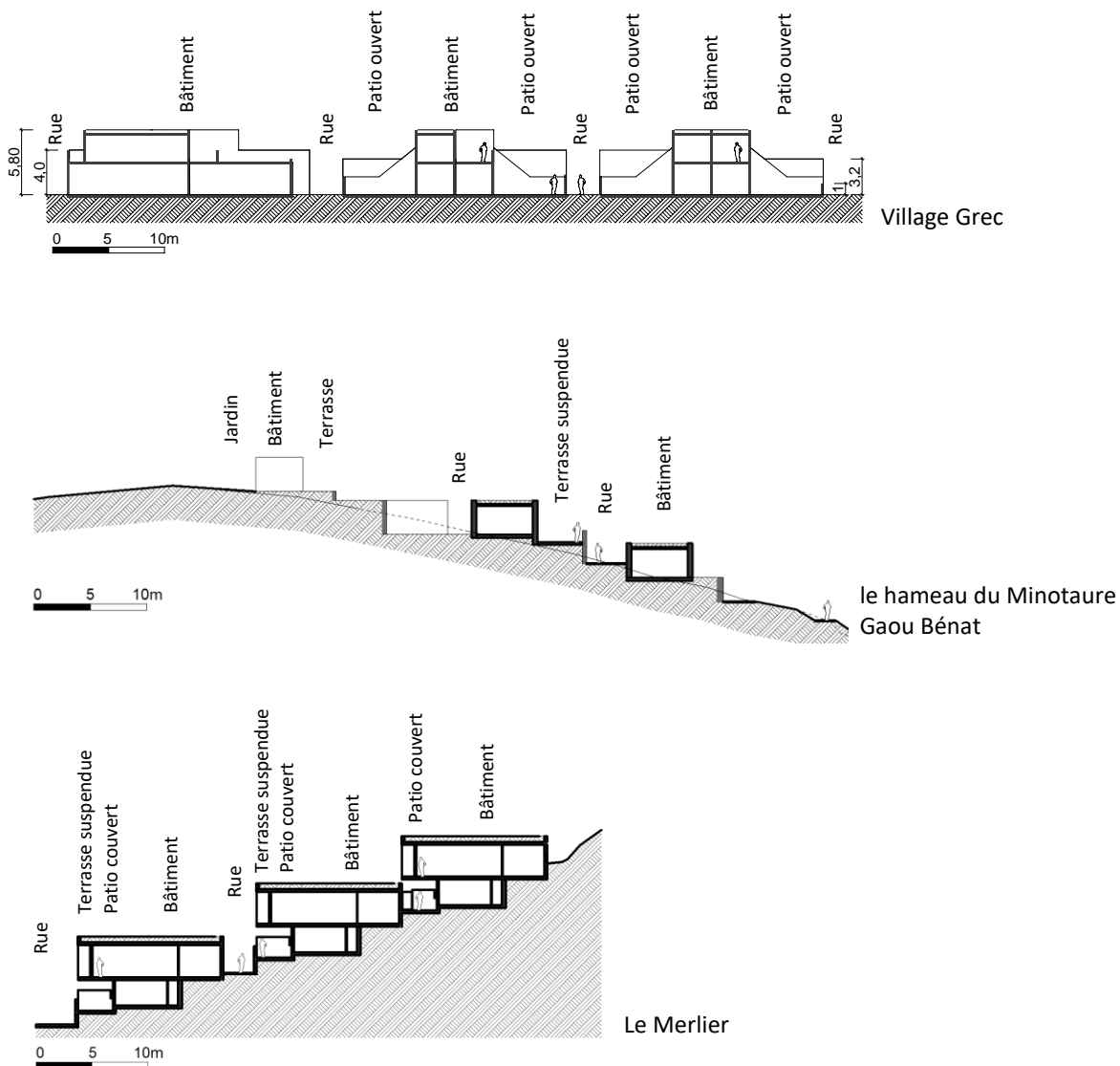


Figure 2-36 :  
Coupes avec les rues et les espaces intermédiaires  
Haut : Village Grec ; milieu : le hameau du Minotaure au Gaou Bénat ; bas : le Merlier

Le Gaou Benat est un cas particulier, car les parcelles ont été dessinées après l'implantation sur le site. L'objectif premier était d'intégrer l'architecture dans le paysage existant, en orientant les vues et en tenant compte de la végétation existante. Le résultat est un village très vert, avec des grands jardins. Les parcelles sont très grandes et de forme irrégulière. Au premier abord, les bâtiments se trouvent un peu partout sur la parcelle (devant, milieu et au fond), entourés de terrasses, de verdure et de jardins. L'implantation apparaît manquer de logique et de cohérence. En y regardant de plus près, par contre, je me suis aperçue que l'ensemble est organisé par rapport à la pente. Les logements du Gaou Bénat qui se trouvent sur la partie haute de la colline sont centrés sur la parcelle, entourés de jardins et de terrasses. Ceux qui se trouvent dans la pente, sont en fond de parcelle. Le fond de parcelle est défini par rapport à la pente, et non pas par rapport à la rue. Au Merlier, on voit la même chose : les rez-de-chaussée sont encastrés dans la pente et la terre, et peuvent être considérés en fond de parcelle par rapport à la pente. Les logements du Village Grec se trouvent également en fond de parcelle, mais cette fois-ci, le fond de parcelle est par rapport à la rue. Ces espaces intermédiaires prennent différentes formes (Figure 2-37) : le patio ouvert pour toutes les études de cas, la terrasse suspendue pour les études de cas en pente (Gaou Bénat et le Merlier), le patio couvert dans le Merlier et le Village Grec, et le jardin au Gaou Benat. Arretche parle de « *terrasses suspendues* » étant des terrasses qui sont visibles de la rue et qui sont plus élevées que le niveau de la rue (Arretche et al., 1966).



Figure 2-37 :  
Les espaces intermédiaires entre la rue et le bâtiment : le patio ouvert et le patio couvert  
Haut : Village Grec ; bas gauche : le hameau du Minotaure au Gaou Bénat ; bas droite : le Merlier





Figure 2-38 : Echelle 1/400

les patios sont décalés et ne se trouvent pas au cœur de la maison :

gauche : Le patio est entouré par la maison sur trois côtés

milieu : Le patio est entouré sur deux côtés par des murs de clôture

droite : Le patio latéral à la maison, est entouré sur trois côtés par des murs de clôture

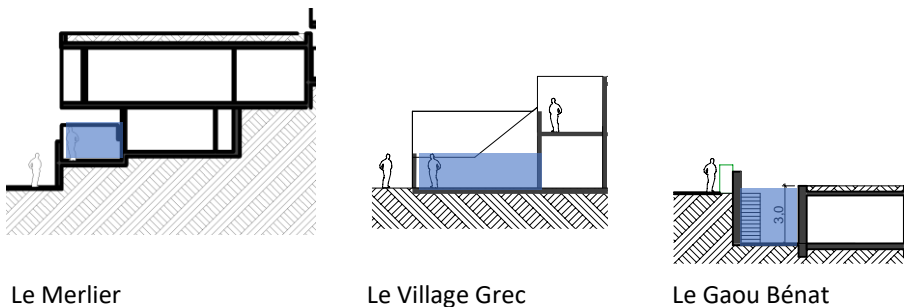


Figure 2-39 : Echelle 1/400

Le rapport entre le patio et la rue :

Le patio se trouve plus haut (terrasse suspendue), au même niveau ou en contrebas de la rue

Photos : Le patio comme terrasse suspendue au Merlier

L'archétype de la maison à patio a souvent un patio au cœur de la maison (chapitre 1) : le patio est entouré entièrement ou sur trois côtés par la maison. En revanche, les patios des études de cas sont entourés sur deux ou trois côtés par des murs de clôture, sauf une typologie au Gaou Bénat (4 maisons) et au Merlier (1 maison), qui sont entourées sur trois côtés par la maison (Figure 2-38).

Concernant le rapport entre le patio et la rue, dans les projets en pente le patio surplombe parfois la rue formant ainsi une terrasse suspendue. D'autres situations montrent un patio au même niveau, ou plus bas que le niveau de la rue (Figure 2-39).

Le rapport entre le bâtiment et la pente prend plusieurs visages (Figure 2-40) : le mur vers la pente peut se retrouver à distance, partiellement enterré ou entièrement enterré.

Malgré le Cahier des Charges du Gaou Bénat, qui stipule une implantation troglodyte, seule une partie des logements est véritablement implantée dans la pente, avec des murs partiellement ou entièrement enterrés (Figure 2-41). Le Merlier en revanche, montre des murs enterrés pour chaque logement, même à l'étage.

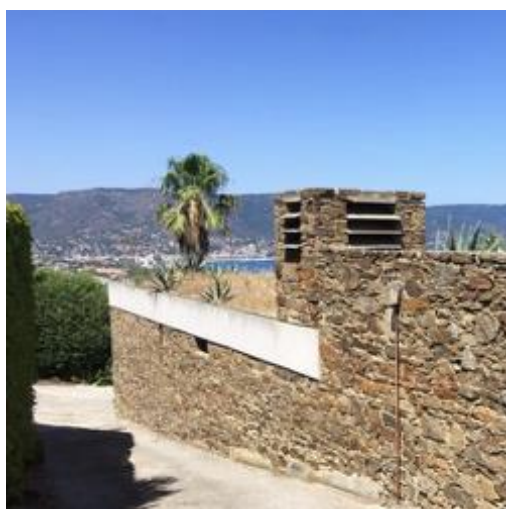
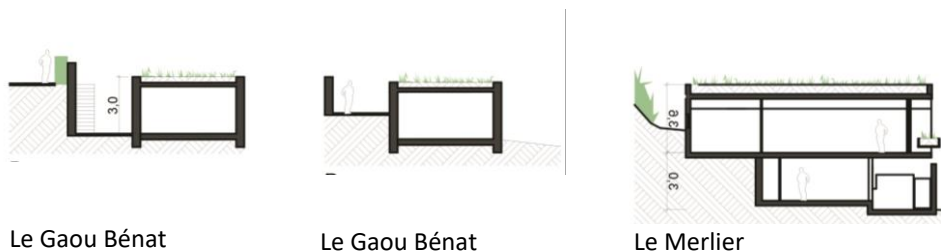
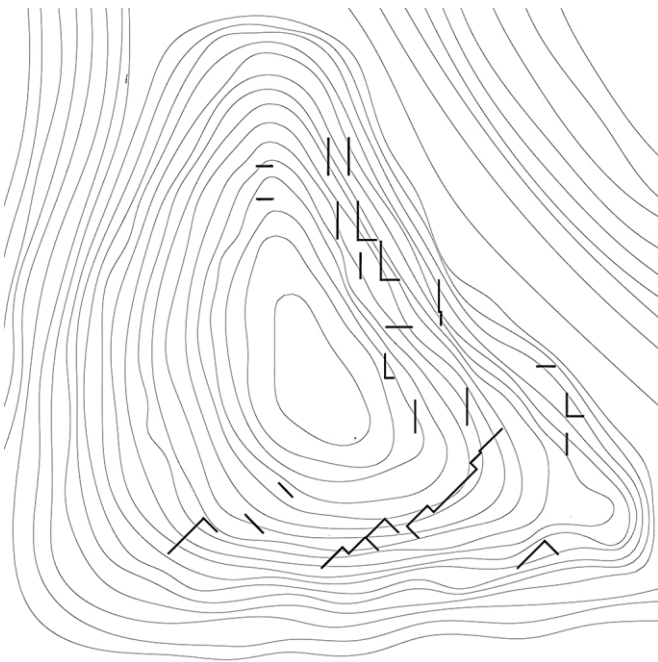
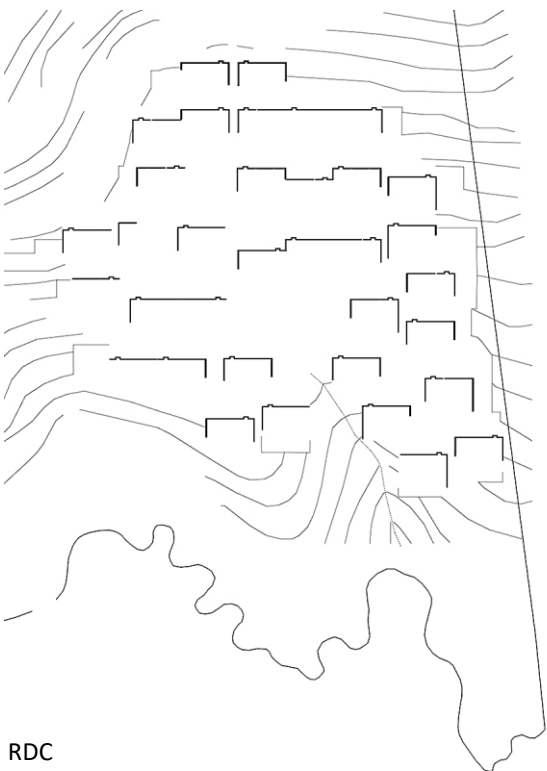


Figure 2-40 : Echelle 1/400  
Le rapport entre le bâtiment et la pente :  
Le bâtiment se trouve espacé, partiellement ou entièrement enterré dans la pente  
Photos : murs partiellement (Gaou Bénat) et entièrement enterrés (RDC du Merlier)



Le Gaou Bénat



RDC  
Le Merlier

Etage

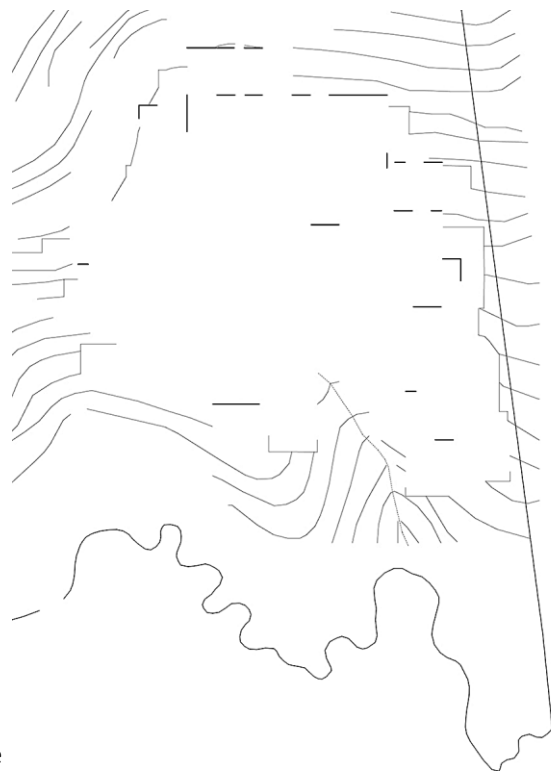


Figure 2-41 : Echelle 1/2000  
Les murs partiellement et entièrement enterrés.

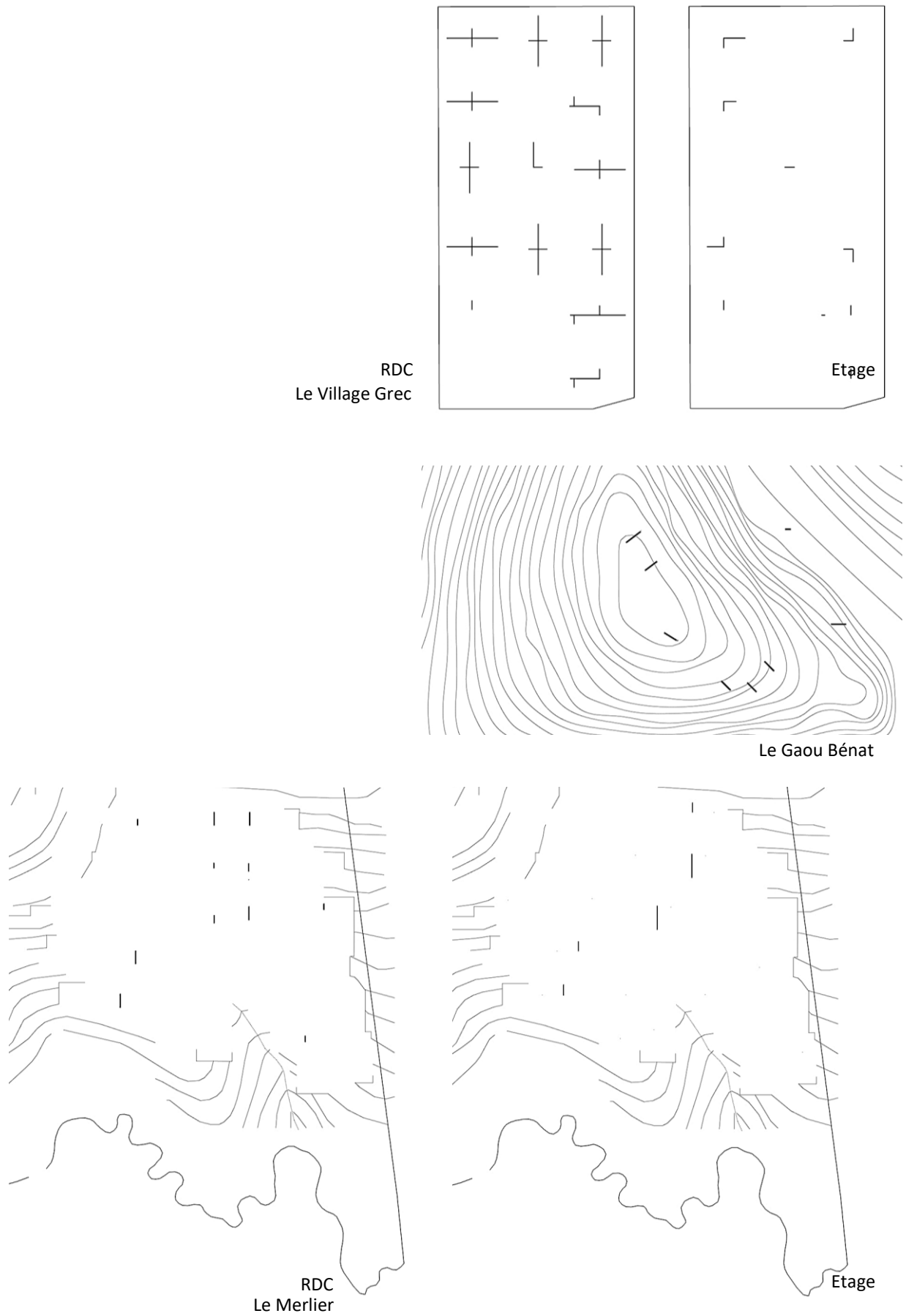


Figure 2-42 : Echelle 1/2000  
Les murs communs.

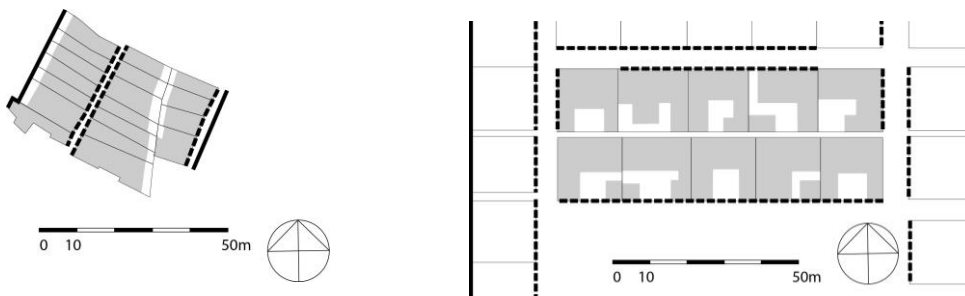


Figure 2-43 : Echelle 1/2000

Morphologies des archétypes

Gauche : Deir-el-Medinh – l'archétype de la maison à bloc

Droite : Olynthos – l'archétype de la maison à cour

Gris : bâtiment ; noir épais : lot ; noir fin : parcelle ; noir pointillé : accès sur la rue

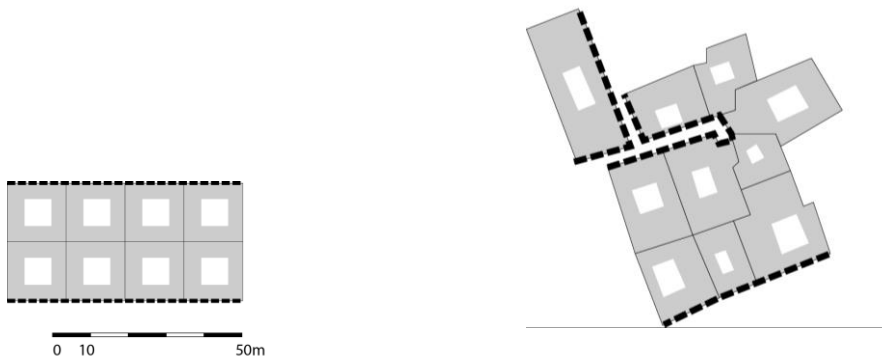


Figure 2-44 : Echelle 1/2000

Gauche : Simplification de la morphologie à maisons à cour à Marrakech, Maroc

Droite : Exemple d'une morphologie traditionnelle de la maison à cour : le centre de la Médina de Fez, Maroc

Sources : gauche : redessin de (Ratti et al., 2003) ; droite : (Johansson, 2006)

Le Cahier des Charges du Village Grec impose un type de maison : la maison à patio. Les îlots résultants et l'implantation au fond de la parcelle sont à l'origine de beaucoup de murs communs (Figure 2-42), surtout au rez-de-chaussée. L'étage est aléatoire. Il y a peu de murs communs.

Le Cahier des Charges du Gaou Bénat stipule deux options d'implantation sur la parcelle : soit une distance de 5m de chaque côté doit être respectée, soit le bâtiment doit être collé à la limite parcellaire. Ceci part de l'idée de créer un ensemble villageois et non pas une zone de villas avec des logements individuels. Malgré le Cahier des Charges, il y a très peu de murs communs (Figure 2-42). Comme Le Merlier, une majorité d'îlots en série et la pente limitent le nombre de murs communs.

Le deuxième composant du réseau des vides est la rue. Deux des études de cas ont un réseau de rues comme une grille orthogonale, avec des placettes éparpillées dedans. Les rues sont plutôt courtes, variant entre 1 à 4 parcelles de long. La grille du Village Grec est très régulière, avec une largeur de rue qui fait 3m partout et 8m pour l'esplanade centrale. La grille du Merlier est un peu moins régulière, mais toujours orthogonale. Les rues ne sont pas toutes alignées, et les largeurs sont très variables. Les escaliers sont les plus étroits (de 1,9 à 2,3m), les rues accessibles aux voitures font autour de 3m, d'autres rues autour de 4m. Sans doute la pente, les vues et la végétation existante y sont pour quelque chose.

Les archétypes méditerranéens ont une morphologie de maisons à bloc (Deir-el-Medinh) et de maisons à patio (Olynthos) (chapitre 1). Les îlots sont aussi bien des îlots en série (en bordure de lot) avec une profondeur de l'îlot d'une parcelle ; que des îlots résultants, avec une profondeur d'îlot de deux ou plusieurs parcelles (Figure 2-43). A ce moment-là le centre en cœur de l'îlot est défini par la limite de parcelle (Deir-el-Medinh) ou par une ruelle de service (Olynthos). Les espaces extérieurs des archétypes se trouvent au sud, séparés de la rue par un mur (Olynthos), ou tout au fond de parcelle (Deir-el-Medinh).

Afin de pouvoir situer les études de cas par rapport aux archétypes méditerranéens, mais également par rapport aux morphologies traditionnelles je rajoute quelques morphologies de comparaison. D'abord, il y a Marrakech pour la morphologie à cour (Figure 2-44). Il s'agit d'une simplification, basée sur le centre-ville de Marrakech à trois étages (Ratti et al., 2003). Les morphologies de médina à cour sont souvent étudiées et citées dans la recherche en tant que morphologie adaptée au climat chaud.



Figure 2-45 : Echelle 1/2000  
Morphologies traditionnelles.  
Haut : Leucate Village dans la région du Village Grec ;  
Bas : Gassin (en pente), dans la région du Gaou Bénat et du Merlier  
Gris : bâtiment ; noir fin : parcelle ; noir pointillé : accès sur la rue



Ensuite, je rajoute également Leucate Village pour pouvoir comparer à une morphologie typique de la région du Village Grec, et Gassin (en pente) en tant que morphologie de la région du Merlier et du Gaou Bénat (Figure 2-45).

Les comparaisons et situations des études de cas sont visualisées dans le tableau 2-3 et la figure 2-48. Au niveau de la forme et des dimensions des parcelles, le Village Grec ressemble à la morphologie de l'archétype de la cour. Ses parcelles carrées ressemblent à Olynthos, bien que leur taille soit plus petite (10,9m de large, contre 17,2m). De plus, selon Panerai la dimension de référence pour la parcelle typique des maisons-patio est de 9 m (pièces sur trois côtés) et de 12 m (pièces sur quatre côtés) (Mangin & Panerai, 1999), en sachant que le bâtiment type de Marrakech fait 15,5 x 15,5m. Le Village Grec s'intègre bien avec ses 10,9m.

Au niveau de la forme et des dimensions des parcelles, le Merlier est clairement inspiré par l'archétype de la maison à cour avec ses parcelles carrées de 12,5 x 12,5 m. Le positionnement fixe du patio au sud, renforce la ressemblance avec Olynthos, même s'il y a surtout des îlots en série au Merlier à cause de la pente.

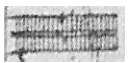
Le Gaou Bénat sort du lot. Avec les parcelles de formes et de dimensions très irrégulières (largeurs entre 7 et 21m) et l'implantation variée sur la parcelle, il est difficile de trouver une ressemblance avec l'un ou l'autre. Les logements dans les îlots en série laissent beaucoup d'espace sur la parcelle au jardin. Ils ressemblent plutôt à une configuration « en bande », ou une « morphologie typique du nord ». Le paragraphe suivant l'explore.

Les écrits de Grassi (Grassi, 1983) et de Panerai (Panerai et al., 2012) parlent de la « *morphologie typiquement du nord* », ou encore « *anglo-saxonne et flamande* » ou de la maison en bande. Elle est devenue une morphologie de référence bien documentée. La particularité se trouve dans l'alignement de parcelles en bande et un centre d'îlot ouvert. Les bâtiments occupent partiellement les parcelles, et les espaces extérieurs se trouvent presque toujours à l'intérieur de l'îlot. Au contraire des morphologies typiques du nord, en bande, les études de cas montrent un centre d'îlot construit (Village Grec et Gaou Bénat) et non pas ouvert.

Revenons à la question initiale de savoir si les morphologies de ces études de cas sont basées ou non sur des morphologies traditionnelles ou même antiques. La réponse est double. Le Village Grec n'a presque aucune ressemblance avec la morphologie archétype traditionnelle et cubique (seulement la largeur de la parcelle) ; il n'a presque aucune ressemblance avec l'archétype de la cour non plus. Au final, le Village Grec n'a de Grec que le nom ! Seule la forme carrée de la parcelle est similaire.



îlot avec quatre bâtiments en « L » autour d'un patio central



parking

Figure 2-46 :

Emplacement du Ginestou (rouge en haut) et du Village Grec (en bas) sur les premiers croquis du 25 novembre 1966.

Source : Archive personnelle de Georges Wursteisen dans (Claret, 2016)



Les croquis antérieurs ressemblent à la morphologie de l'archétype de la maison à patio (Figure 2-46), mais c'était avant le découpage en plusieurs parcelles, et avant l'ajout de cours supplémentaires, transformant les bâtiments en T. Ils semblent encore plus éloignés des premières esquisses. Outre ces rares ressemblances, le Village Grec se caractérise par des gestes typiques des années 60, comme de petites rangées et des rues courtes (2 parcelles). Il n'est pas possible de l'appeler hybride au même titre que le Ginestou (voir encadré).

La morphologie du Merlier ressemble à celle des maisons à cour, aussi bien en ce qui concerne la forme carrée des parcelles que leur taille de 12,5m. L'espace extérieur est un patio au sud. Même s'il n'est pas entouré du bâtiment mais par des murs de clôture, ceci ressemble à Olynthos. En même temps, la morphologie du Merlier tient de la morphologie de Gassin (maisons à bloc). Les deux sont implantés sur la pente : il y a aussi bien des îlots en série (profondeur de l'îlot d'une parcelle) que des îlots résultants (profondeur de l'îlot de deux parcelles) ; et la longueur des îlots et des rues est très irrégulière et il y a même des îlots d'une ou deux parcelles. Cette ressemblance est plus due à la pente, qu'aux spécificités de la morphologie des maisons à bloc.


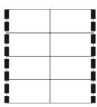


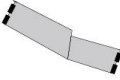
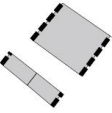


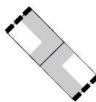
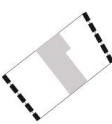

Le Gaou Bénat mélange librement les spécificités des trois morphologies. Les formes irrégulières et larges des parcelles sont hors catégorie. En revanche, il y a une typologie avec patio qui donne sur la rue. Le patio n'est pas orienté sud, mais vers la pente, ceci ressemble aux maisons à patio d'Olynthos.

#### **Le Ginestou**

Le Ginestou est un village de vacances à quelques rues du Village Grec, qui était construit par Gardia et Zavagno, comme le Village Grec, mais aussi par Candilis. Il s'agit de logements en « L » (Figure 2-46 et 2-47). D'une part, il existe une forte corrélation entre le Ginestou et la morphologie archétype traditionnelle cubique : la taille et la forme des parcelles correspondent, les bâtiments vont au bout de la parcelle, les séries ont un nombre similaire de parcelles, certaines rues sont bordées d'accès des deux côtés, les îlots font deux parcelles de profondeur (Tableau 2-3).

D'autre part, il existe également une forte ressemblance entre les esquisses antérieures du Ginestou (Figure 2-46) et la morphologie de l'archétype de la maison à cour. On voit des logements en « L » rassemblés autour d'une cour centrale. Leur assemblage a changé avec le temps et ils ont été adaptés au programme et à la culture des logements de vacances des années 60. Les cours ne sont plus au cœur de l'îlot maintenant, mais du côté de la rue. Dans une certaine mesure, le Ginestou peut être considéré comme une version hybride des morphologies cubiques et des maisons à cour.

Tableau 2-3 : Le tableau de comparaison des études de cas

Bâtiment / largeur de la parcelle (m) forme	Ilot		
gris : bâtiment noir : parcelle pointillé : entrée			
	Ilot de série (nombre de parcelles)	Ilot résultant (nombre de parcelles)	Ilot partagé
<b>ANTIQUE</b>			
Olynthe, Greece		X (5 à 9)	X (5)
17,2m (presque) carré			
Deir-El-Medineh, Egypte		X (6 à 14)	X (6 à 15)
3,4 à 8,4m rectangulaire			
<b>TRADITIONNEL</b>			
Leucate Village		X (17)	X (7 à 19)
3,3 à 11,5m rectangulaire			
Gassin (en pente)		X (1 à 9)	X (1 à 3)
3,5 à 15m rectangulaire			
<b>'60</b>			
Village Grec		X (2)	X
10 m presque carrée			
Ginestou		X (2, 5 ou 6)	X
8 m rectangulaire			
Gaou Benat (en pente)		X (3 à 8)	X (1 à 3)
7 à 21 m irrégulière			
Le Merlier (en pente)		X (1 à 4)	X (1)
12,5 m carrée			

Les autres typologies sont plutôt des rectangles, implantés au milieu ou sur la limite de la parcelle (comme les morphologies en bande), ou couvrant toute la parcelle à côté de la placette (comme les morphologies en bloc ou à cour). Comme celle du Merlier, la morphologie du Gaou Benat ressemble à celle de Gassin (maisons à bloc). Les deux sont implantés dans la pente. Il y a des îlots en série (profondeur de l'îlot d'une parcelle) et des îlots résultants vers la placette (profondeur de l'îlot de deux parcelles) et leur longueur est très irrégulière. Il y a aussi bien des îlots avec une longueur d'une parcelle que d'autres avec des longueurs de huit parcelles. Là encore, cette ressemblance est plus due à la pente qu'aux spécificités de la morphologie des maisons à bloc.



Figure 2-48 :  
Grille de comparaison et de situation :  
Les études de cas comme formes hybrides des archétypes méditerranéens

## 2.3.2 Analyse environnementale

Les morphologies traditionnelles sont issues d'une architecture sans architectes. Pendant des siècles, certaines stratégies ont été testées et approuvées de manière intuitive et empirique. Ces morphologies sont donc considérées durables et en lien avec le climat local. Jusqu'à un certain point, comme démontré avant, les études de cas semblent être inspirées par des villes ou villages traditionnels. Mais dans quelle mesure ? Ce paragraphe utilise les paramètres de quantification du premier chapitre, afin de caractériser et de positionner les études de cas par rapport aux archétypes identifiés dans le premier chapitre : les morphologies de la maison à bloc et de la maison à cour. Les paramètres sont comparés avec les valeurs de référence de la littérature des centres-villes typiquement méditerranéens (du chapitre 1). Ce paragraphe a fait l'objet d'une publication. Seuls les résultats (Tableau 2-4 et 2-5) et la discussion pertinente pour la suite sont repris ici, les détails peuvent être consultés dans la publication (Sansen et al., 2021).

Tableau 2-4 : le récapitulatif des informations des études de cas.

	Village Grec - 1969	Gaou Benat – 1958	Merlier – 1958
ETUDES DE CAS			
Logements	53	36	35
Surface du lot (m2)	10 280	32 495	34 861
Surface de la zone d'étude (m2)	10 280	14 482	11 982
Logements / hectare	51.6	25.5	29.2
Orientation des rues	NS & EO	Rues suivent la pente : direction variable	NS & EO
Altitude (m)	2.0	108	50
Distance de la mer (m) –	460 (E) 760 jusqu'à l'étang (W)	400 (E)	30 (S)
Vent dominant	NO	NNO, SE & SO	NNO, SE & SO
Pente (%)	-	25 – E & SE	23 – S
Matériaux	Béton caverneux (agglos)	Doublage en pierre de schiste	Structure en béton remplissage en briques béton
Assemblage	Petit bloc	Linéaire	Grille

Concernant le ratio de compacité  $C_f$ , le Merlier sort du lot avec la valeur la plus basse (0,64) (Tableau 2-5), ce qui est assez surprenant car il n'a pas l'air compact du tout avec ses grands porte-à-faux. Ceux-ci sont en contact avec l'environnement extérieur sur leur toiture, leurs murs et leur plancher ; l'assemblage irrégulier en grille entraîne des largeurs de rues différentes et les logements ne sont donc que partiellement alignés, augmentant encore plus la surface de l'enveloppe. La faible valeur s'explique par la pente et la présence de rez-de-chaussée et de murs partiellement enterrés (Figure 2-41). Les maisons adjacentes ont très peu de murs mitoyens, aussi bien au rez-de-chaussée qu'au premier étage (Figure 2-42).

Les deux autres études de cas ont un ratio similaire, pour des raisons très différentes. Le Village Grec a beaucoup de murs communs au rez-de-chaussée, mais une disposition très irrégulière au premier étage (avec très peu de murs communs). Le Gaou Benat a peu de murs communs, mais également quelques murs enterrés suite aux prescriptions du Cahier des Charges. La réglementation préconise des cours entre les maisons pour l'intimité, et entre la pente et la maison pour la ventilation, mais également des murs enterrés ce qui devrait diminuer la valeur du ratio.

Les valeurs obtenues du ratio de compacité  $C_f$  (0,64 à 0,77) sont supérieures aux valeurs de référence de 0,584 pour une morphologie de cour traditionnelle (comme le centre de Marrakech avec des maisons de 9 m de haut) (Ratti et al., 2003) (chapitre 1). Ils sont également supérieurs à 0,404 pour des morphologies urbaines plus modernes (trois étages, 9m de hauteur, rues piétonnes sans voitures). Si nous imaginions une maison individuelle de même volume qu'un logement du Merlier, avec deux étages et un plan rectangulaire de 8 x 10 m, le ratio de compacité serait de 0,61. Là encore, les valeurs obtenues sont plus élevées. Pour une maison avec un seul étage et un plan rectangulaire de 6 x 9 m, le ratio de compacité serait de 0,87. Cette maison individuelle d'un étage serait moins compacte que l'habitation groupée. En synthèse, les études de cas ne sont pas du tout compactes. Elles se situent entre un logement individuel et un centre-ville traditionnel à cour (comme par exemple Marrakech).

Tableau 2-5 : Les résultats de l'analyse environnementale.  
Les valeurs sont obtenues avec les équations du chapitre 1.

	Village Grec	Gaou Benat	Merlier
	RESULTATS		
<b>Rugosité absolue R</b>	1.27	0.54	1.47
<b>Ratio de la compacité <math>C_f</math></b>	0.77	0.75	0.64
<b>Densité (%)</b>	33	17	48
<b>Minéralisation M (%)</b>	70	59	70



Le Gaou Benat se distingue par ses faibles densités (17 %) et sa faible minéralisation (59 %) par rapport à l'étude de cas de Leucate (Tableau 2-5). Tous les trois ont différents types de végétalisation (Figure 2-50). Le Gaou Benat est un site naturel verdoyant, avec quelques maisons et rues soigneusement intégrées et une faible densité de construction. Le vert est omniprésent et se mêle aux bâtiments. Le Village Grec est à l'opposé : un site minéral, avec du vert soigneusement planté et intégré. Le résultat est un vert à petite échelle (comme de la dentelle), en raison d'une densité de construction élevée et de petites unités. Toutes les rues sont bordées de haies et les unités décalées ou manquantes sont des espaces verts.

Le Merlier, enfin, combine à la fois : l'environnement vert naturel entourant et le vert à petite échelle dans la grille (les jardinières sur toutes les terrasses et cours font partie de la conception initiale). Par rapport aux valeurs de référence d'Adolphe de 95 % de minéralisation (Adolphe, 2001) pour le centre-ville médiéval de Toulouse, les valeurs mesurées sont de 22 à 36 % moins minéralisées, ou les morphologies des études de cas sont plus vertes que les centres-villes historiques.

En comparant les trois études de cas entre elles, il n'est pas possible de désigner une résidence et de la qualifier de « meilleure performance environnementale » dans des conditions estivales chaudes car le lien entre morphologie et microclimat est trop complexe. Il est cependant possible de comparer leurs paramètres et d'indiquer les résidences les plus susceptibles d'avoir un effet positif en conditions estivales concernant ces paramètres (plus les valeurs sont basses, mieux c'est) (Figure 2-51). Le Gaou Benat se démarque car le vent a moins d'obstacles et il est plus vert (faible minéralisation). Le Merlier se distingue par sa compacité la plus basse.

Pour conclure, ceci situe les études de cas des villages de vacances des années 60 entre les maisons individuelles et les centres-villes traditionnels (aussi bien un centre-ville de maisons à cour, qu'un centre-ville de maisons cubiques). Les rues sont moins profondes et plus vertes, les logements sont moins compacts.

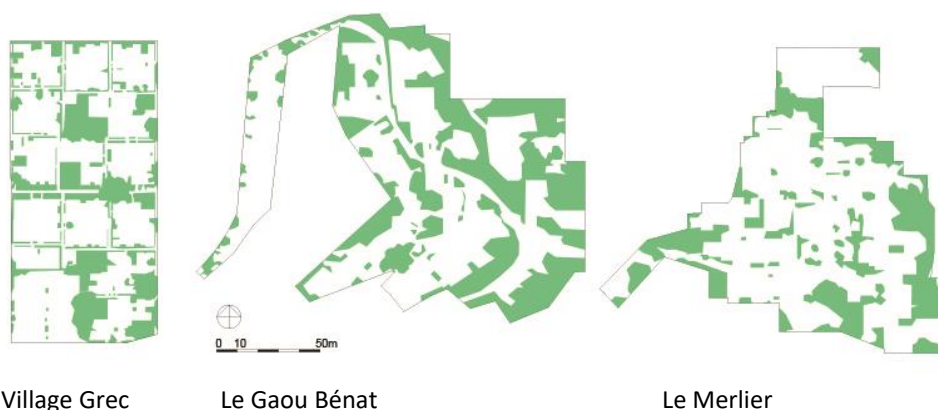


Figure 2-50 :  
Végétalisation. Source : dessin sur photo aérienne

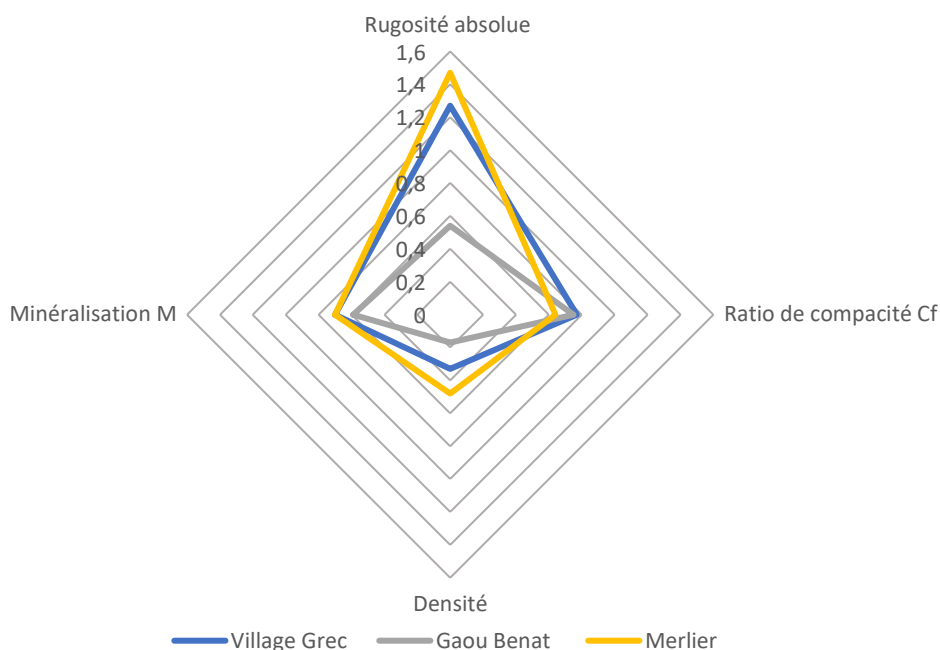


Figure 2-51 :

Comparaison des études de cas.

*Les résidences avec l'effet le plus positif dans des conditions estivales chaudes sont celles avec les valeurs les plus basses. Le Gaou Benat se démarque car le vent est moins obstrué (faible rugosité absolue) et il est plus vert (faible minéralisation). Le Merlier se distingue par son ratio de compacité le plus faible.*

## 2.4 Conclusion

Ce chapitre a présenté les études de cas dans leur contexte historique. L'exploration de leurs inspirations a démontré que l'attention portée au climat était entremêlée à d'autres aspects du projet architectural, comme l'attention portée au site, ou aux villages traditionnels de la région, ou aux villages issus d'un processus d'urbanisation de la grille 8 x 8 dans un climat chaud. De cette manière, le climat a eu une influence sur les études de cas de manière indirecte et intuitive.

Ensuite, les études de cas ont été caractérisées et positionnées par rapport aux morphologies traditionnelles, aussi bien au niveau typo-morphologiques qu'environnemental.

Jusqu'à un certain niveau, les morphologies des études de cas sont inspirées des archétypes et des morphologies méditerranéennes traditionnelles, malgré la scission Moderne. Elles ont des morphologies hybrides, avec quelques spécificités ou points intéressants. Les fonds des parcelles donnent sur des murs communs (Village Grec), sur des murs enterrés (le rez-de-chaussée du Merlier), ou sur le vide (Gaou Bénat). Elles ont des patios latéraux « modernes » et désaxés sur la rue par rapport au patio « traditionnel » qui se trouve au cœur de la maison. Afin de l'adapter au programme des villages de vacances, le Modernisme l'a

sorti de son emplacement et fonctionnement central. La question se pose donc : les vertus thermiques de rafraîchissement sont-elles toujours applicables dans cette configuration ?

Le chapitre suivant se propose d'approfondir cette caractérisation environnementale à partir de mesures in situ réalisées dans une rue dans chaque étude de cas. Ces mesures concernent d'une part la température, l'humidité relative et la vitesse de vent, et d'autre part le FVC.

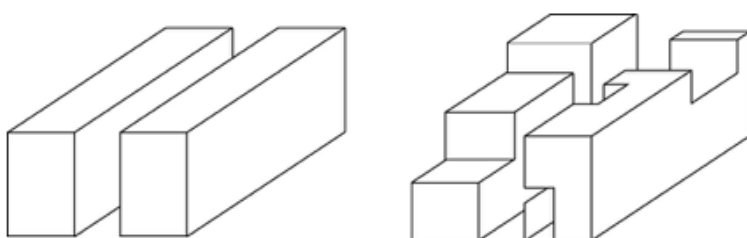


Figure 3-1 :

Gauche : schéma de principe d'une « rue canyon » ou une rue étroite au centre-ville

Droite : schéma de principe d'une rue irrégulière avec des espaces intermédiaires entre la rue et le bâtiment

---

### 3 Le réseau des vides à l'échelle de la rue

---

L'objectif des chapitres 3 et 4 est d'étudier le « réseau des vides », qui fait référence à la séquence rue – clairioir – passage couvert – patio, étudié au Vieux-Nice, qui favorise le déplacement de l'air (Figure 1-27) (Cadoni, 2015) et à l'analyse typo-morphologique (Figure 1-27) (Kropf, 2014). Il s'agit d'étudier la rue, les espaces intermédiaires entre la rue et la maison (les patios ouverts et couverts, les terrasses suspendues), les espaces intérieurs et le lien entre les trois, afin de comprendre le fonctionnement thermique des trois morphologies des villages de vacances. L'analyse morphologique et environnementale faite dans le chapitre 2 a démontré qu'il s'agit d'une morphologie fondamentalement différente d'une morphologie traditionnelle de centre-ville urbain. Ceci induit un fonctionnement thermique différent. Dans les centres-villes traditionnels et compacts, l'accent du fonctionnement thermique se trouve sur l'ombre créée par les ruelles étroites, et l'air frais qui est gardé dans les patios et les rues jusqu'au moment où le soleil rentre. Dans la recherche, les rues en question s'appellent des « rues canyon » : une section symétrique d'une certaine longueur (Figure 3-1). Mais où se trouve l'accent du fonctionnement thermique des morphologies des villages de vacances méditerranéens ? Les bâtiments n'ont qu'un rez-de-chaussée ou un étage et se trouvent souvent séparés de la rue par un patio (Figure 3-1). En plus, les bâtiments sont moins compacts que dans un centre-ville et il y a plus de végétation. Quel est l'impact de ces particularités sur le fonctionnement thermique d'un quartier ? L'accent se trouve-t-il sur la non-accumulation de l'air surchauffé tel que le prétend Véret (Girier et al., 2006) ? Sur la présence de végétation ? Sur la porosité et l'irrégularité ? Quelle est la stratégie prédominante de frais ? Les mesures in situ cherchent des réponses à ces questions.

L'hypothèse est qu'il y a des emplacements dans les morphologies qui sont plus ou moins frais, et que ces différences ont un impact sur les espaces intermédiaires des patios et les espaces intérieurs de la maison.

L'expérimentation in situ s'est développée sur trois échelles avec trois campagnes de mesures. D'abord à l'échelle de la morphologie, la rue la plus fraîche a été sélectionnée avec les mesures in situ ponctuelles pendant une balade thermique. Ensuite, à l'échelle de la rue, un profil thermique de la rue fraîche a été dressé avec des mesures in situ semi-itinérantes piétonnes et des FVC photographiques sur six points stratégiques. Ces deux étapes sont décrites dans le chapitre 3. A l'échelle de la maison, les espaces

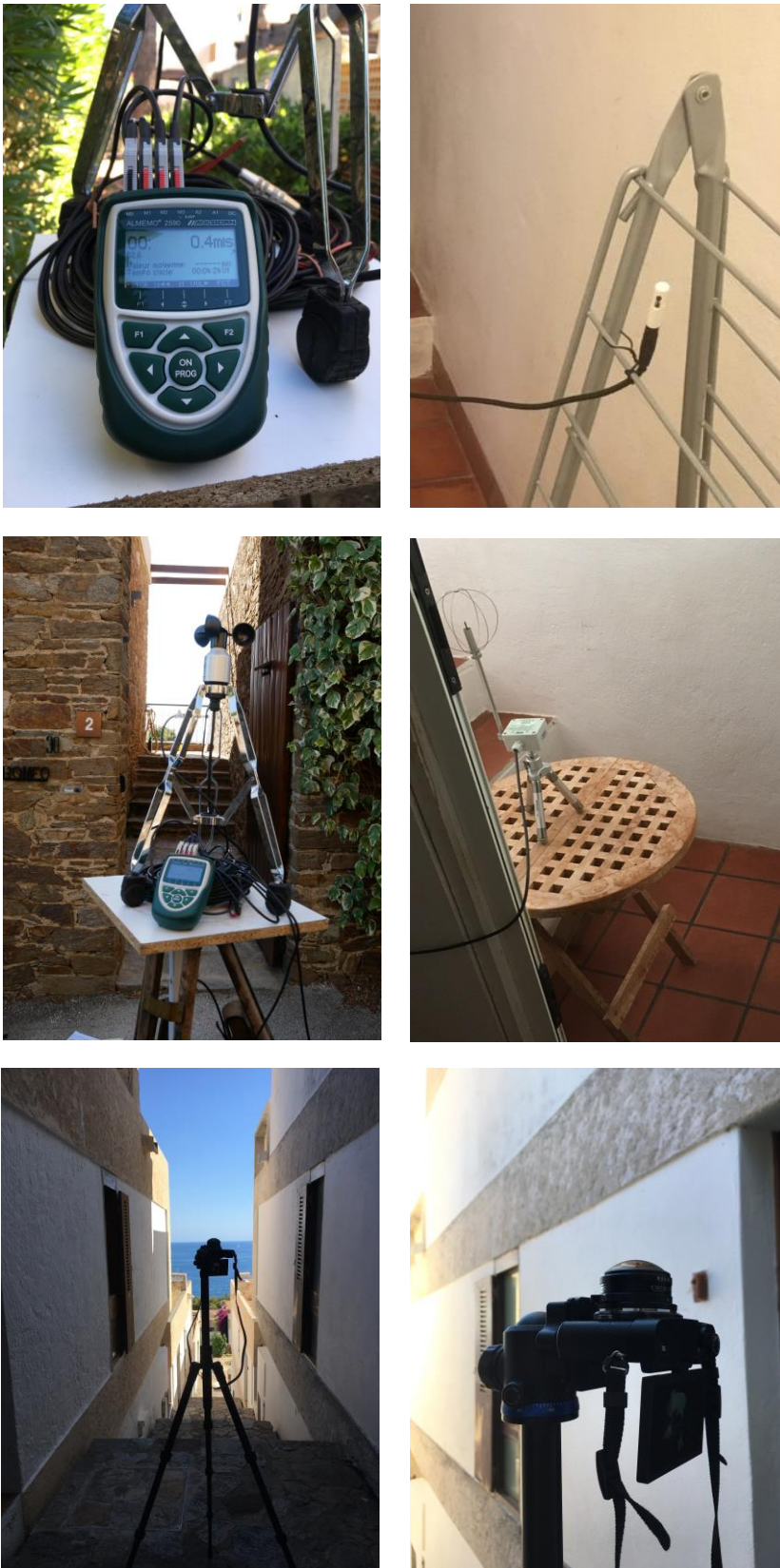


Figure 3-2 :

Haut : La centrale d'acquisition – Un capteur numérique pour la température et l'humidité relative.

Milieu : L'anémomètre pour la vitesse du vent – le capteur à fil chaud pour le déplacement d'air intérieur.

Bas : L'objectif fish-eye pour la prise des photos pour le FVC.

intermédiaires et intérieurs ont été étudiés à travers des mesures in situ pendant plusieurs jours dans les patios et les espaces intérieurs. Finalement, le réseau des vides et le lien entre la rue, les patios et les espaces intérieurs est étudié. Ces deux dernières étapes sont décrites dans le chapitre 4.

### 3.1 Le dispositif expérimental

Le matériel utilisé pour les mesures est composé d'une centrale d'acquisition<sup>17</sup> avec quatre entrées pour les capteurs numériques<sup>18</sup> de température et d'humidité relative (Figure 3-2 et Tableau 3-1). Une des entrées est utilisée pour mesurer la vitesse de l'air : à l'extérieur il s'agit d'un anémomètre<sup>19</sup> avec une précision de 0,5 m/s ; à l'intérieur d'un capteur<sup>20</sup> à fil chaud avec une précision de 0,2 m/s. L'ensemble est monté sur un trépied de géomètre avec une cale en bois, ce qui permet de régler les hauteurs des capteurs.

Le matériel pour les FVC est constitué d'un objectif<sup>21</sup> fish-eye circulaire monté sur un appareil photo numérique Lumix G<sup>22</sup> (Figure 3-2). L'ensemble est monté sur un trépied<sup>23</sup> photographique avec une hauteur réglable.

Tableau 3-1 : Équipement technique des mesures in situ.

Capteur	Variable	Précision	Intervalle	Résolution
Almemo D6	Température sèche	± 0,3 K	-20 to 80 °C	0,01 K
	Humidité relative	±1.8 %HR	0-100%	0,1 %hr
FVA 615-2	Vent	±0,5 m/s	0,5-50 m/s	0,1 m/s
HD403TS	Déplacement d'air	±0,2 m/s	0,1-5 m/s	-

### 3.2 Sélection d'une rue : la balade thermique

Afin d'affiner la zone de recherche, les endroits les plus frais sont détectés lors d'une balade thermique pendant une journée d'été. Le choix des rues empruntées lors de la balade est inspiré de l'analyse environnementale et typo-morphologique du chapitre 2. Dans le cas du Village Grec, la sélection de la rue s'est ensuite basée sur les impressions de sensations personnelles de confort et de fraîcheur.

La rue sélectionnée est une rue orientée NS. Ceci ne correspond pas à la direction des vents dominants (NO). La ruelle piétonne est végétalisée des deux côtés par des haies hautes (jusqu'à 2,5m), mais à certains endroits les haies ne sont pas continues. Les bâtiments et les murs des patios ont des hauteurs différentes, créant un tissu continu jusqu'à la hauteur des murs de clôture, et très irrégulier au-dessus.

<sup>17</sup> Almemo 2590-4AS (Ahlborn)

<sup>18</sup> Almemo D6 (Ahlborn)

<sup>19</sup> FVA 615-2 (Ahlborn)

<sup>20</sup> HD403TS (DeltaOHM)

<sup>21</sup> Laowa MFT 4mm F2.8 210°

<sup>22</sup> Panasonic Lumix G. DC-GX800

<sup>23</sup> Benro Ifoto + rotule IB2. FIF28AIB2. Hauteur maximale : 1,65m



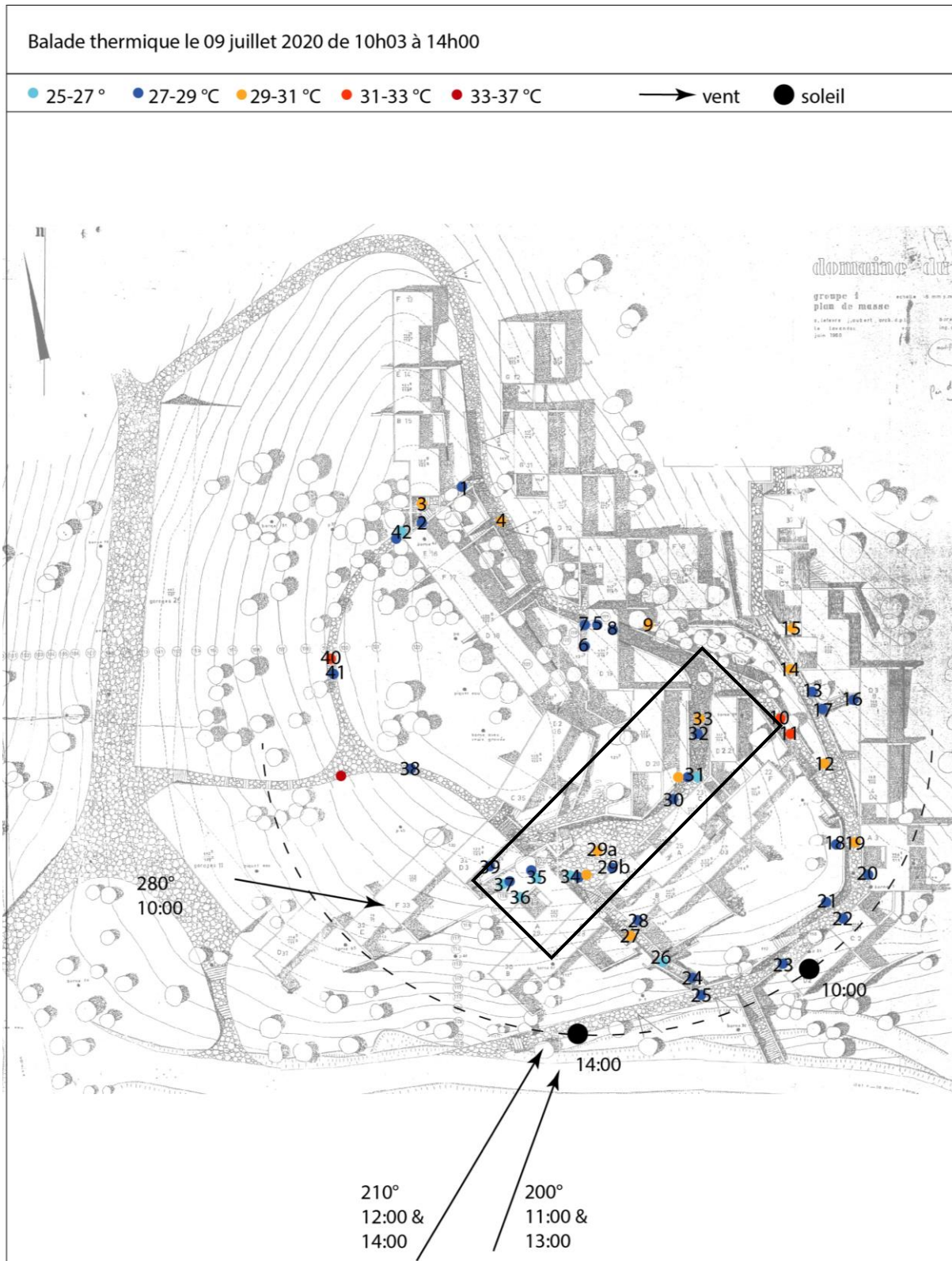


Figure 3-3 :

La balade thermique au hameau du Minotaure au Gaou Bénat.

Rectangle noir : la rue fraîche sélectionnée

Flèches noires : direction du vent de Météo-France ; soleils noirs : au début et à la fin de la balade

Source image de fond : archive de l'ASL du Gaou Benat



La méthode de la balade thermique s'est améliorée ensuite pour le Gaou Bénat et le Merlier, avec l'introduction d'un capteur. Celui-ci se trouve à 1m par rapport au sol, sauf exceptionnellement (par exemple dans les patios) et prend une valeur moyenne sur 30 secondes sur demande. A la recherche de poches et d'îlots de fraîcheur, la balade est rythmée par la prise de la température et de l'humidité relative là où un sentiment de fraîcheur est présent, ou justement pas. Elle a défini plusieurs endroits frais ponctuels.

Les îlots de fraîcheur du hameau du Minotaure au Gaou Bénat (Figure 3-3) se trouvent de manière ponctuelle sous des passages couverts qui traversent la rue (1, 5 et 8), à l'ombre de la garrigue sur la colline (38, 41) et sur l'escalier (26), à l'ombre du bâti (31), ou en bordure du village donnant sur une zone verte (34-37). Dans l'idée de trouver une rue ou une zone plus étendue avec plusieurs points de fraîcheur et un contexte bâti, le choix s'est porté sur la rue encadrée sur la Figure 3-3 : la rue centrale (au niveau du 31) et l'îlot de fraîcheur au bout de la placette centrale (34-37). La rue est orientée NE/SO et N/S et finit par l'îlot de fraîcheur qui mélange l'aspect végétal et bâti, et qui fonctionne comme un entonnoir dirigeant le vent dans la rue sélectionnée. La direction NE/SO correspond à la direction des vents dominants. La rue comprend le centre du hameau, la placette, et est très représentative du hameau : les logements avec le seul niveau du rez-de-chaussée se trouvent sur différents niveaux incrustés dans la pente, et sont implantés de manière semi-continue, laissant des vides entre certains logements.

Au Merlier (Figure 3-4), les îlots de fraîcheur se trouvent de manière ponctuelle à l'ombre d'un arbre (1, 5, 15), d'un laurier rose (14) ou d'un bâtiment (4) ; dans une rue étroite (2) ou dans un patio couvert (16). Dans la même rue, à quelques pas seulement, les écarts de température montent jusqu'à 6,7°C entre le 12 ombragé et le 13 ensoleillé, voire jusqu'à 8°C (entre le vert et ombragé 14 et l'ensoleillé 13). Il y a une différence de 2,1°C entre le patio couvert (16) et la rue NS ombragée (17c) ; et de 2,1°C entre le point vert sous le pin en haut de la colline (15) et un peu plus bas dans la morphologie à l'ombre (17c). Ceci est comparable à l'impact thermique d'un arbre, calculé par simulation à Tel Aviv en climat méditerranéen : de 0,9 à 1,5°C (Shashua-Bar et al., 2010). La rue sélectionnée est la rue centrale, orientée NS avec un escalier qui monte une forte pente. L'escalier démarre en bas sur une placette et finit dans une zone végétalisée, couronnée par un grand pin. La direction NS est différente de la direction des vents dominants (NE/SO). La rue est entourée de logements d'un ou deux niveaux.



Figure 3-4 :  
La balade thermique au Merlier.  
Rectangle noir : la rue fraîche sélectionnée.  
Source de l'image : Archive de l'IFA ; la direction du vent : Météo-France.

### 3.3 Les profils thermiques des rues

Des profils thermiques à l'échelle d'une rue sont tracés à travers des mesures semi-itinérantes à pied. La méthode des mesures itinérantes en mouvement, souvent mise en application pour construire un profil urbain (Carrega, 2013), est adaptée à l'échelle de la rue. Afin d'avoir une continuité entre les mesures, la température, l'humidité relative et la moyenne de la vitesse du vent sont prises toutes les cinq minutes sur six points stratégiques, avec cinq minutes pour déplacer le dispositif expérimental. Les mesures se déroulent du matin à la fin de l'après-midi pendant une journée. Les capteurs se trouvent à trois hauteurs : près du sol (0,45m), au niveau du visage en position assise (1m) et au niveau du visage en position debout (2m)<sup>24</sup>. L'anémomètre se trouve en position haute. Finalement, les mesures à 1m du sol sont retenues, car la hauteur s'approche le plus de la hauteur humaine-biométéorologique significative (=1,1m), qui est considérée pertinente dans les études climatologiques (Matzarakis et al., 1999). C'est la hauteur moyenne du centre de gravité d'une personne debout en Europe. Les jours des mesures<sup>25</sup>, il faisait plus chaud que les températures moyennes typiques<sup>26</sup> (Tableau 3-2).

Tableau 3-2 : Comparaison des données de Météo-France le jour des mesures et d'un jour typique

	T moyenne sur 24h (°C)	Vent moyen sur 24h (m/s)	T moyenne jour typique (°C)
<b>Village Grec</b> – 22/06/2020	24,7	7,6	20,7 (juin)
<b>Gaou Bénat</b> – 22/08/2020	26,6	2,0	24,4 (août)
<b>Merlier</b> – 08/07/2020	25,6	3,9	21,1 (juillet)

Les photos fish-eye pour l'analyse des FVC sont prises sur les mêmes points stratégiques, et sur les mêmes hauteurs : 0,45m, 1m et 1,65m. Comme pour les mesures, les photos du niveau intermédiaire à 1m sont retenues. Le FVC est calculé avec le logiciel Rayman, qui permet de rajouter le trajet du soleil journalier sur les images (Matzarakis et al., 2010).

<sup>24</sup> Les mesures du Village Grec sont prises à 0,3m, 1m et 2m.

<sup>25</sup> Les données de la température et du vent moyen sur 24h sont prises aux stations Météo-France de Leucate (pour le Village Grec), de Bormes-Les-Mimosas (pour le Gaou Bénat) et de Cap Camarat (pour le Merlier).

<sup>26</sup> A cause d'une disponibilité limitée, les températures moyennes typiques de Météo-France sont des données statistiques de 1981 à 2010 des stations des mesures de Torreilles (à côté de Leucate) et du Cap Camarat (pour le Gaou Bénat et le Merlier).

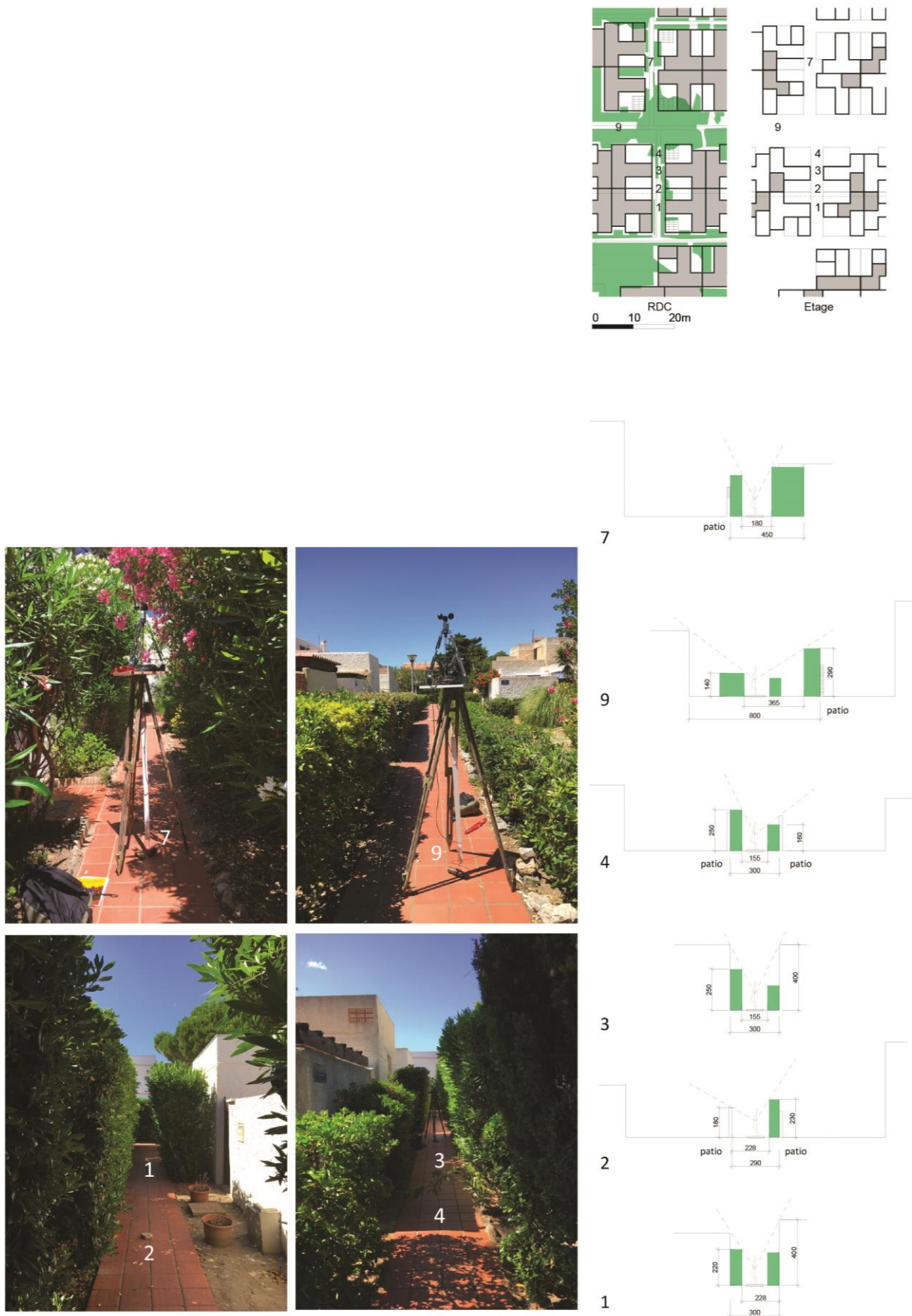


Figure 3-5 :  
Les mesures in situ au Village Grec : les points stratégiques et les coupes types.

### 3.3.1 Le Village Grec

Le choix des points stratégiques est basé sur différentes situations d'orientation, de hauteur et de largeur de rue (H/L). Cinq des points se trouvent dans une ruelle de 3m de large qui est orientée NS, tandis que le dernier (9) se trouve dans la grande rue transversale EO avec une largeur de 8m. La rue est définie par des murs de clôture et des haies. Au-delà, elle est rythmée par différentes hauteurs de bâtiments, créant une irrégularité et un rythme de plein et de vide. La question qui se pose est : quel est l'effet de ces différentes hauteurs ? Cette irrégularité a-t-elle un effet sur le confort ?

Le choix des points a été effectué en fonction des coupes types (Figure 3-5) :

- 7 : clôture du patio d'accès – bâtiment rez-de-chaussée (la haie est très haute et large ici) ;
- 9 : orientation rue EO et la rue est plus large (8m) : bâtiment rez-de-chaussée – clôture du patio privé ;
- 4 : clôture du patio privé – clôture du patio privé ;
- 3 : bâtiment rez-de-chaussée avec toit terrasse – bâtiment rez-de-chaussée avec toit terrasse ;
- 2 : clôture du patio d'accès (sans haie) – clôture du patio d'accès ;
- 1 : bâtiment rez-de-chaussée – rez-de-chaussée avec terrasse.

L'analyse se fait sur la base de la Figure 3-6 et des Tableaux 3-3 et 3-4. La température est représentée en traits pleins, le vent en pointillés. Les flèches noires montrent la direction du vent de Météo-France, et les soleils noirs indiquent quand les capteurs se trouvent au soleil. Une première observation concerne la différence entre les données de Météo-France et les mesures in situ, ce qui reflète l'impact de la morphologie.

Le vent est très atténué dans la rue et la vitesse du vent représente de 1 à 15 % de celle de Météo-France (vitesses moyennes entre 0,1 et 1,3 m/s pour 8,5 m/s pour Météo-France). Le village de vacances protège bien les vacanciers contre les vents violents typiques de Leucate. Fernandez préconise un angle d'incidence (entre la direction du vent et la rue) entre 45° et 90° pour protéger contre les vents forts (Fernandez & Lavigne, 2009, p. 310). Au Village Grec il y a 45° par rapport aux vents dominants. Mais en même temps, ceci empêche la ventilation naturelle. La différence est entre autres due à la différence de hauteur entre la station de mesures de Météo-France et les mesures in situ : la première se trouve à une altitude de 42m par rapport à la mer avec une prise de mesures à 10m ; le deuxième a une altitude de 2m, avec une prise de mesures à 1m. La vitesse de l'air augmente avec l'altitude au-dessus du sol (Lechner, 2014, p. 295). De plus, les deux environnements présentent des catégories de rugosité de terrain différentes (Tableau 1-3) : la station Météo-France se trouve à côté de la mer, avec une rugosité de 0,003 ; le Village Grec est en zone périurbaine, avec une rugosité de 0,3. Plus la rugosité est élevée, plus la vitesse du vent est réduite (Adolphe, 2001).

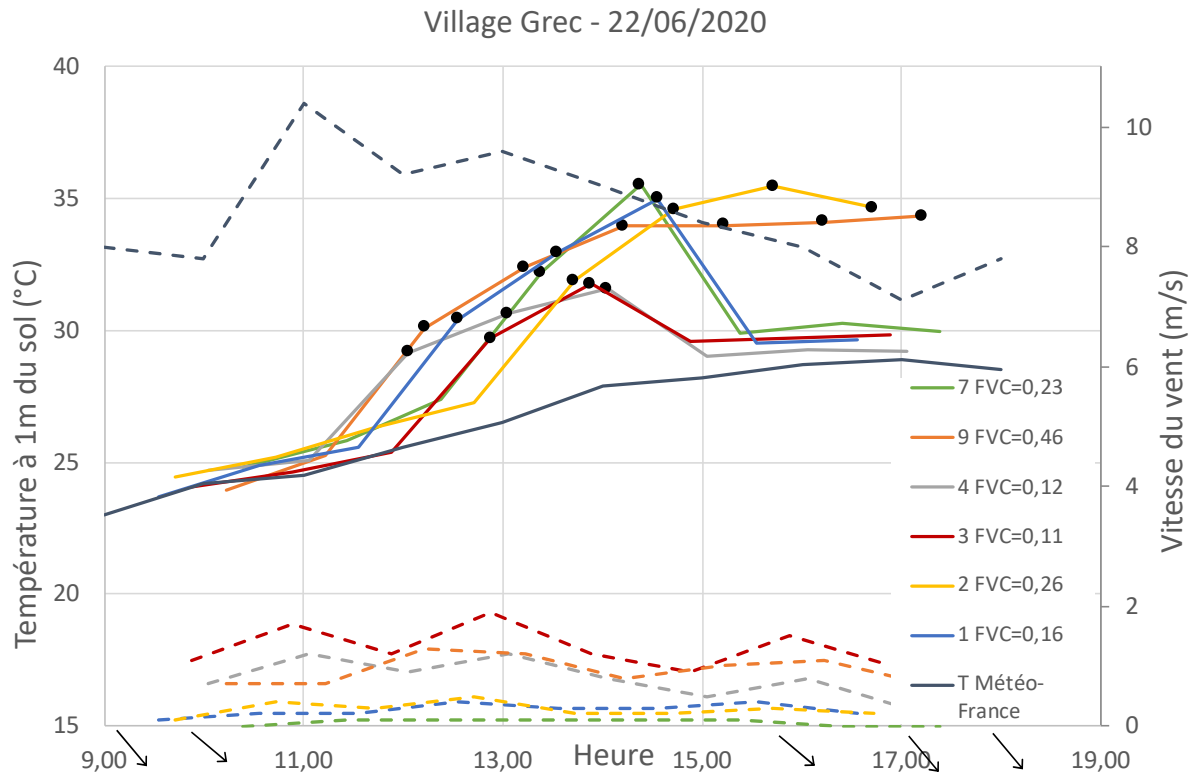


Figure 3-6 :

Les mesures in situ du Village Grec :

pointillés : la vitesse du vent ; flèches noires : direction du vent Météo-France.

Tableau 3-3 : Village Grec : les valeurs H/L et minimales et maximales des mesures in situ

	H1/L – H2/L	T min (°C)	T max (°C)	Va min (°C)	Va max (m/s)
7	1,7 – 1,4	24,8	35,5	0	0,1
9	0,4 – 0,6	24,0	34,3	0,7	1,3
4	0,9 – 1,1	24,7	31,6	0,3	1,2
3	1,3	24,1	31,8	0,9	1,9
2	1 – 0,8	24,5	35,5	0,1	0,5
1	1,3 – 1	23,7	35	0,1	0,4

Les points de mesures peuvent être regroupés en deux catégories : les points 3, 4 et 9 ont des vitesses de vent de 0,5 à 1,9 m/s ; les points 1, 2 et 7 ont des vitesses de vent de moins de 0,5 m/s. Ces derniers sont également tous les trois éloignés de la rue centrale, qui est très large (8m) et semble fonctionner comme un catalyseur de vent pour les vents qui arrivent du NO. Les différences de vitesse du vent entre les points 3, 4 et 9 peuvent être expliquées par les irrégularités et les différentes hauteurs dans la morphologie : les murs des constructions et des clôtures, les implantations des étages.

Les températures des mesures in situ sont majoritairement plus élevées que celles de Météo-France. Ceci s'explique parce que ces dernières sont prises sous abris et non influencées par le rayonnement solaire. La différence montre que les mesures in situ sont sujettes aussi bien au rayonnement solaire direct qu'au rayonnement diffus et réfléchi (par les surfaces environnantes). La différence est légèrement plus marquée à la fin de la journée avec une chaleur piégée et accumulée. Au début de la journée, la différence est quasiment inexistante ( $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ ), ce qui représente un Ilot de Chaleur Urbain pratiquement inexistant.

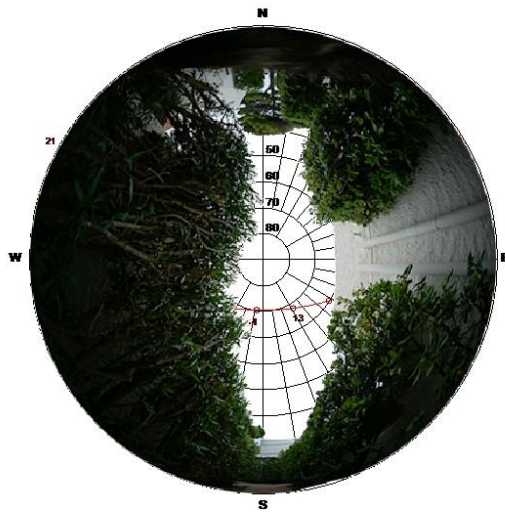
Les points 3 et 4 sont les plus frais. Ils ont un petit FVC et se trouvent dans la rue orientée NS : le soleil ne rentre dans la rue que brièvement (entre deux et trois heures – Tableau 3-4). La montée en température est immédiate lorsque les rayons de soleil rentrent (Figure 3-6). Leur FVC est petit grâce à l'abondance de végétation en forme de haie côté ouest et de deux grands pins à proximité. Le bâtiment qui donne sur la rue directement et qui a une hauteur d'un rez-de-chaussée majoré d'une terrasse, diminue également le FVC (point 3). Mais la raison la plus importante de la fraîcheur des points 3 et 4 est le vent, qui dépasse 0,5 m/s. Et plus particulièrement pour le point 3. C'est d'ailleurs le point le plus venteux, ce qui est étonnant, car il n'est pas au bout de la rue. Le point 4 est directement en lien avec la grande rue et donc accessible par le vent qui arrive par le NO, mais il y a moins de vent qu'au 3. Ceci peut être dû à l'effet Venturi (l'accélération du vent entre deux bâtiments), qui est plus prononcé au point 3 car les murs du bâtiment sont plus hauts que les murs de clôture et les haies du point 4. Ceci montre bien l'effet de l'irrégularité de la rue.

La rue du point 9 est orientée EO. De plus, elle a une largeur de 8m et des haies trop basses pour faire beaucoup d'ombre. Il y a donc un grand FVC et le soleil rentre dans la rue tout l'après-midi à partir de 12h. En revanche, la grande largeur de la rue et les haies basses permettent au vent de passer facilement. Le point 9 est donc venteux avec des vitesses de vent de plus de 0,5 m/s, mais en même temps la température y est très élevée. Le vent seul ne suffit pas pour avoir une sensation de confort, il y a également besoin de l'ombre.



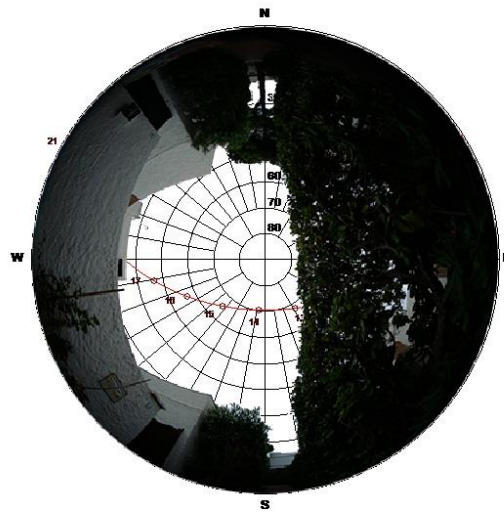
Tableau 3-4 : FVC du Village Grec – tracé solaire pendant les mesures in situ du 22/06/2020

1. FVC = 0,16



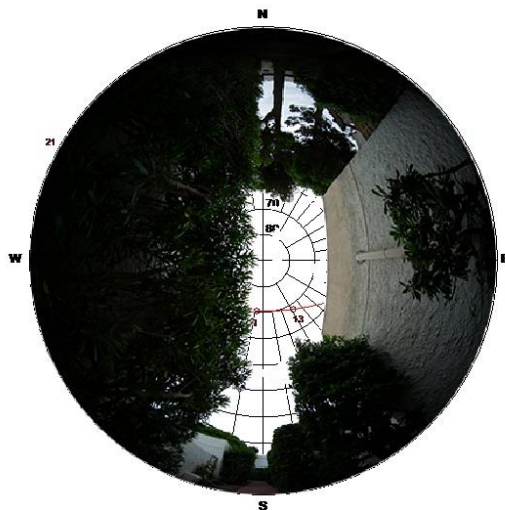
© 2000 RayMan 1.2

2. FVC = 0,26



© 2000 RayMan 1.2

3. FVC = 0,11



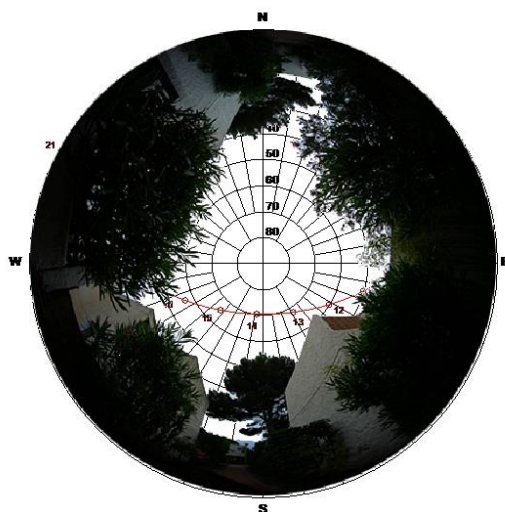
© 2000 RayMan 1.2

4. FVC = 0,12



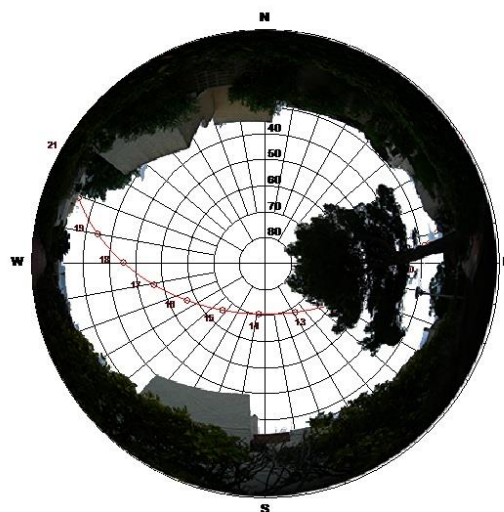
© 2000 RayMan 1.2

7. FVC = 0,23



© 2000 RayMan 1.2

9. FVC = 0,46



© 2000 RayMan 1.2

Les autres points (1, 2 et 7) ont très peu de vent et le soleil rentre dans la rue pendant deux à cinq heures. Ce sont les points les plus chauds : les températures y dépassent 35°C. Le point 2 est particulièrement chaud. Il est pourtant dans une rue NS avec une largeur de 3m. Cet endroit est marqué par le FVC le plus grand de la rue NS, suite à l'absence de la haie et une hauteur de mur de clôture basse (1,8m). Le soleil rentre tout l'après-midi à partir de 12h. De plus, il n'y a pas de haie pour filtrer et atténuer les rayons de soleil. La réverbération sur les murs de clôture côté ouest augmente la température et il n'y a pas de vent pour évacuer la chaleur accumulée. La petite hauteur des murs de clôture et l'absence de haie (côté ouest) ont un effet sur le confort de la rue.

La végétation en dentelle en forme de haies le long des ruelles (décrite dans la chapitre2) joue un rôle dans l'atténuation du rayonnement solaire réfléchi, et dans la création de l'ombre. L'absence de la haie au point 2 et l'augmentation de la température montre l'importance des haies. La proximité des pins diminue le FVC. Alors même qu'ils se trouvent au nord de la ruelle, et qu'ils n'ont pas d'effet de création directe de l'ombre sur la ruelle, leur présence affecte le confort.

Les endroits les plus frais et confortables semblent caractérisés par la combinaison de certains éléments. Une orientation de rue NS avec un petit FVC (par des murs hauts, une haie ou la proximité d'un grand pin), la présence d'une haie pour atténuer le rayonnement solaire réfléchi et l'accessibilité au vent semblent être la combinaison optimale dans le Village Grec. L'accessibilité au vent semble ici définie par la proximité à la rue centrale EO, avec un vent venant du NO.



Figure 3 -7 :  
Le hameau du Minotaure au Gaou Bénat : les mesures in situ : les points stratégiques et les coupes types.

### 3.3.2 Le Gaou Bénat

Le choix des points stratégiques est basé sur différentes situations d'orientation de rue, de positionnement sur la pente et de lien avec les espaces intermédiaires des maisons. En fonction des soupçons de poches de fraîcheur, cinq des points se trouvent sur la rue principale qui est orientée NE-SO et le dernier sur une rue NS.

Le choix des points a été effectué en fonction des coupes types (Figure 3-7) :

6 : bâtiment – bâtiment : rue NS entre deux maisons ;

4 : bâtiment – patio : devant le patio entre deux maisons (il y a un vide entre la porte du patio et le sol) ;

5 : bâtiment enterré – placette : sur le croisement de deux ruelles ;

5 : bâtiment enterré – végétation : en haut de l'escalier ;

1 : bâtiment – végétation : à la moitié de l'escalier et sous le grand pin ;

2-2 : bâtiment – végétation : en bas de l'escalier dans une cuvette, devant le patio (il y a un vide entre la porte du patio et le sol).

L'analyse se fait sur la base des Figures 3-8 et 3-9 et des Tableaux 3-5 et 3-6. Le graphique en haut montre les données Météo-France de la station à Bormes-les-Mimosas. Les mesures de température se trouvent majoritairement en-dessous des données de Météo-France. Ceci est surprenant, car en général les températures dans les morphologies urbaines sont plus élevées : Météo-France enregistre les températures sous abris, alors que chaque mesure au soleil devrait dépasser leurs données. En plus, le vent est très peu atténué. La vitesse du vent moyenne mesurée représente de 20 à 96 % de la moyenne de Météo-France (vitesses moyennes entre 0,6 et 3,1 m/s pour 3,2 m/s de Météo-France). Ceci peut être lié au fait que la station de mesures Météo-France n'est pas située sur la presqu'île du Gaou Bénat, mais dans l'arrière-pays de Bormes-les-Mimosas. Par conséquent, elle est plus éloignée de la côte (presque 6 km) : L'influence de la mer est atténuée, celle de l'environnement boisé avec des collines est accentuée. Alors même que la station porte le même nom que la commune du Gaou Bénat, elle semble moins adéquate pour l'interprétation des résultats.

La figure 3-9 montre les résultats avec les données Météo-France de la station de mesures de l'Île du Levant, qui se trouve face à la mer, comme le hameau du Minotaure, et à une hauteur comparable. Ceci est une belle illustration de l'importance du choix de la station Météo-France.

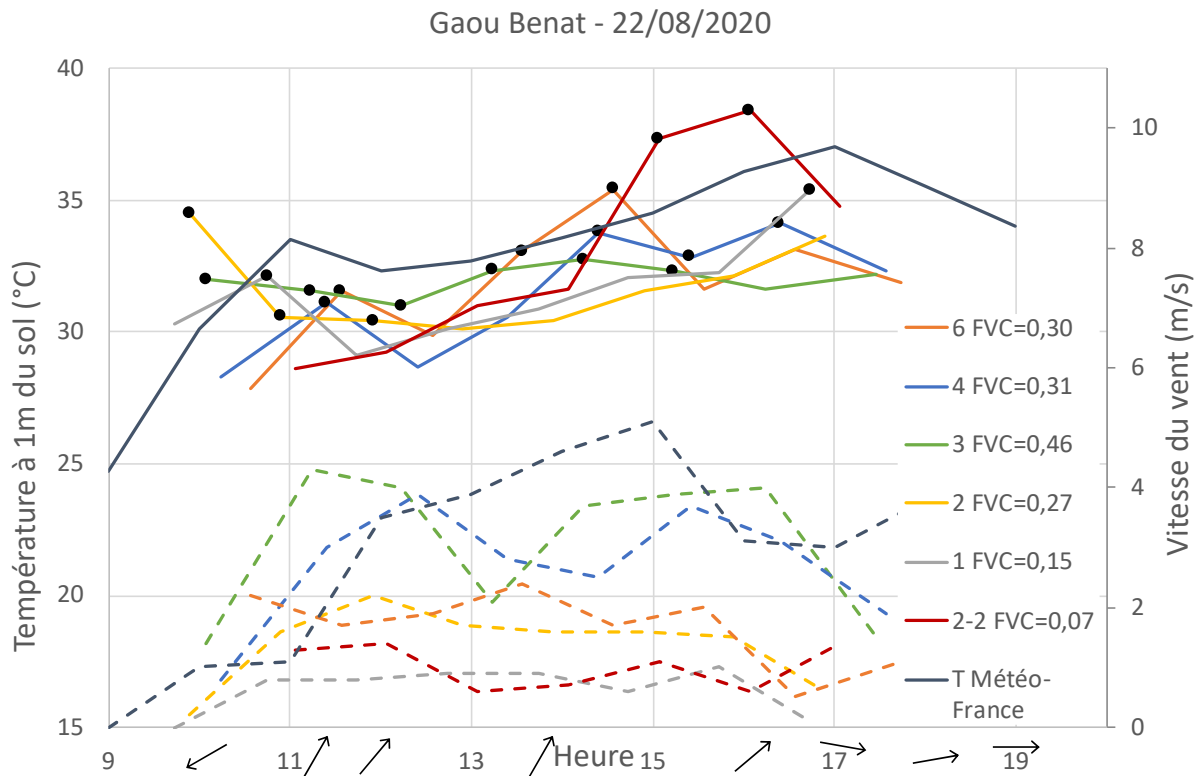


Figure 3-8 :

Les mesures in situ du hameau du Minotaure avec les données Météo-France de la station Bormes-les-Mimosas. Traits pleins : températures ; pointillés : vitesse du vent ; flèches noires : direction du vent de Météo-France ; soleils noirs : capteurs au soleil.

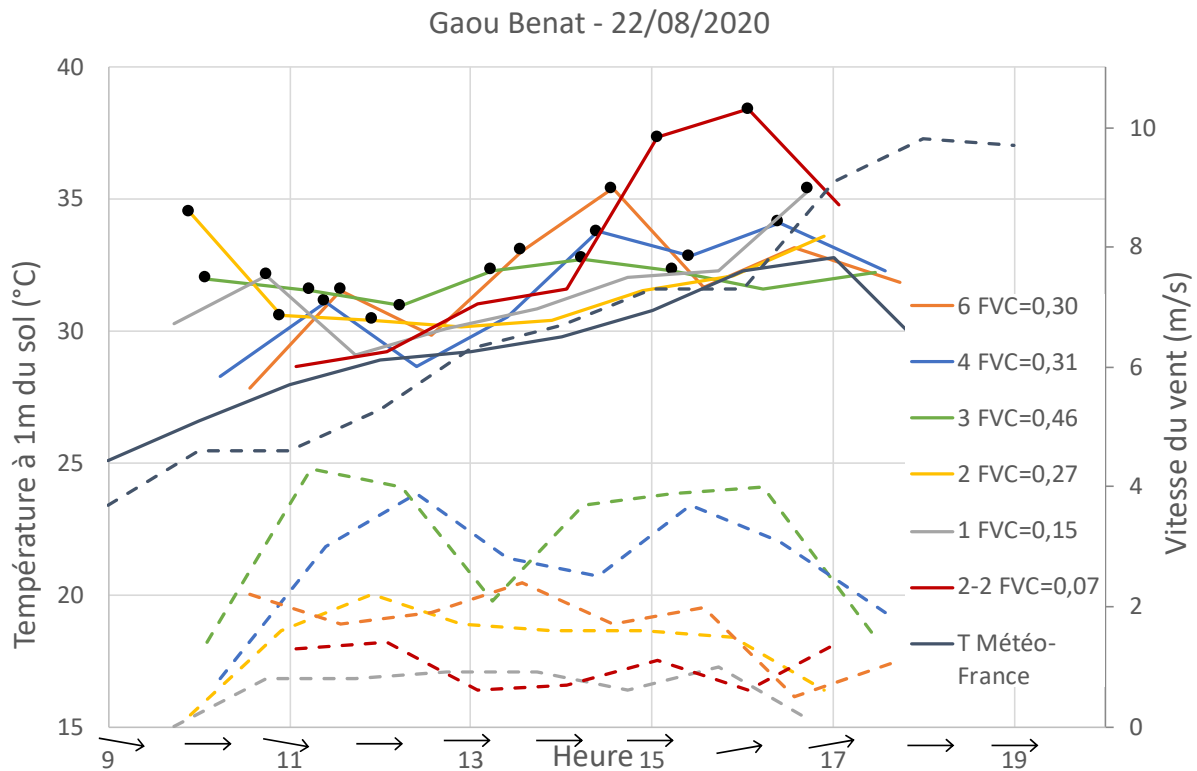


Figure 3-9 :

Les mesures du hameau du Minotaure avec les données Météo-France de la station sur l'île du Levant.



Le jour de la campagne de mesures, la direction du vent Météo-France est ouest. Ceci correspond à une des directions dominantes (Figure 2-2). La différence de la vitesse du vent entre les mesures in situ et Météo-France, est due à l'atténuation de l'environnement. Le hameau est en hauteur face à la mer côté ouest, mais derrière une colline de garrigue plus haute, du côté est. Ensuite, les catégories de rugosité sont différentes (Tableau 1-3) : la station Météo-France se trouve sur l'île, avec une rugosité de 0,003 ; le hameau du Minotaure en garrigue avec une rugosité de 0,3. Plus la rugosité est élevée, plus la vitesse du vent est réduite (Adolphe, 2001). Finalement, les altitudes sont différentes : 118m pour la station Météo-France avec une prise de mesures à 10m ; 108 m pour le hameau du Minotaure avec une prise de mesures à 1 m. Le gradient de la vitesse du vent diminue avec l'altitude (Lechner, 2014 ; Liébard & De Herde, 2005).

Les points se regroupent deux par deux : avec beaucoup de vent (points 3 et 4 jusqu'à 4,3 m/s) ; avec un vent moyen (points 2 et 6 jusqu'à 2,4 m/s) et avec peu de vent (points 1 et 2-2 jusqu'à 1,4m/s).

Tableau 3-5 : Gaou Bénat : les valeurs H/L et minimales et maximales des mesures in situ.

	H1/L – H2/L	T min (°C)	T max (°C)	Va min (°C)	Va max (m/s)
<b>6</b>	1,2 – 0,9	27,8	35,4	0,5	2,4
<b>4</b>	1,3 – 1,2	28,3	34,1	0,8	3,9
<b>3</b>	-	31	32,7	1,4	4,3
<b>2</b>	-	30,1	34,5	0,2	2,2
<b>1</b>	-	29,1	35,4	0	1
<b>2-2</b>	3,3 – 1,7	28,6	38,4	0,6	1,4

L'emplacement le plus venteux est le 3, avec une vitesse maximale de 4,3 m/s. Ceci s'explique par le lieu : il se trouve en haut de la pente sur le croisement de deux brises. D'un côté l'air remonte l'escalier, de l'autre côté le vent passe au-dessus de la toiture de la maison à patio qui se trouve juste à côté, mais qui est moitié enterrée dans la pente. Ceci confirme la littérature décrivant le sommet de la colline comme l'endroit le plus venteux et le plus frais pendant la journée (Lechner, 2014, p. 328 ; Liébard & De Herde, 2005, p. 21). Le point 4 se trouve sur l'axe de la direction du vent de Météo-France (qui correspond au vent dominant). L'effet Venturi entre deux murs peut accélérer le déplacement d'air. Le point 4 se trouve aussi sur le croisement de la rue et de l'espace intermédiaire entre deux logements derrière la porte, mais il n'est pas clair si ceci a une influence sur le déplacement d'air mesuré. La résolution de 0,1 m/s de l'anémomètre n'est pas suffisante pour enregistrer des petits déplacements d'air. Les points 2 et 6 sont les endroits où les mesures montrent un vent moyen, même s'ils sont relativement facilement accessibles au vent. Le 2 est à côté d'un bâtiment moitié enterré et il se trouve en haut de la pente. Le point 6 se trouve dans la rue NS, donc pas dans l'axe des vents dominants. Les points 1 et 2-2 sont les endroits où les mesures montrent le moins de vent. Ils sont tous les deux à mi-pente, et pas au sommet. Il y a beaucoup plus de vent en haut de la pente (point 2) qu'à la moitié (points 1 et 2-2).

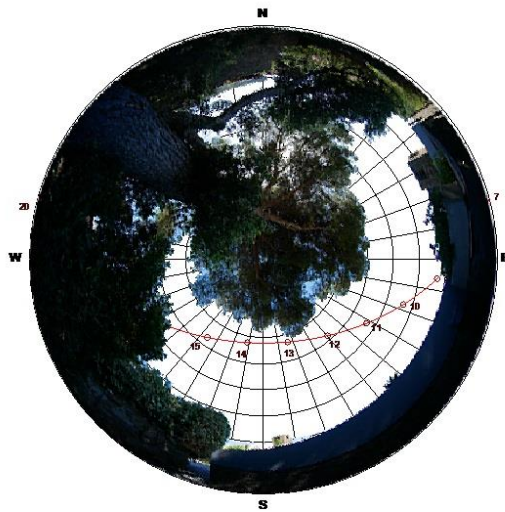
Tableau 3-6 : FVC du Gaou Benat – tracé solaire pendant les mesures in situ du 22/08/2020.

1. FVC = 0,15



© 2000 Pnykman 1.2

2. FVC = 0,27



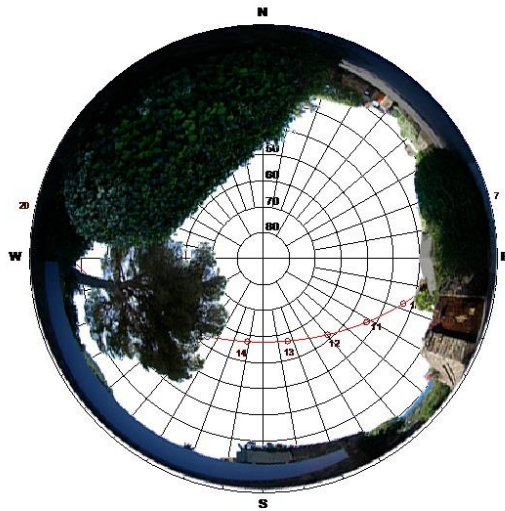
© 2000 Pnykman 1.2

2-2. FVC = 0,07



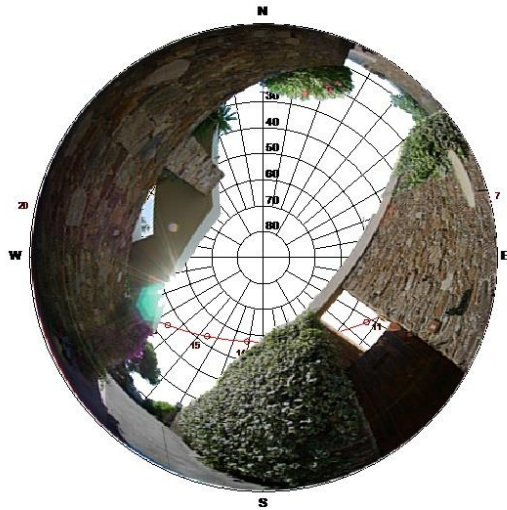
© 2000 Pnykman 1.2

3. FVC = 0,46



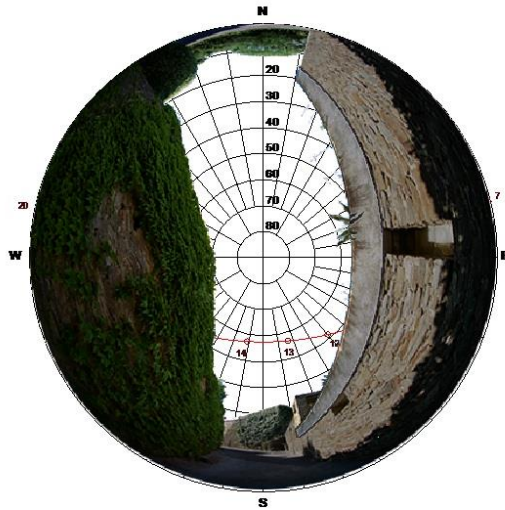
© 2000 Pnykman 1.2

4. FVC = 0,31



© 2000 Pnykman 1.2

6. FVC = 0,30



© 2000 Pnykman 1.2



Les températures mesurées sont légèrement plus hautes que les données de Météo-France. Comme au Village Grec, ceci s'explique parce que ces dernières sont prises sous abris, sans influence du rayonnement solaire. Les profils thermiques sont groupés autour des mêmes valeurs. Il y a peu de variations, mais il y a tout de même quelques observations à faire concernant la fraîcheur recherchée.

Les emplacements les moins chauds sont les points 3 et 4 (Tableau 3-5). Et l'endroit le plus tempéré est le point 3. Avec une amplitude de 1,7°C, ceci est plutôt surprenant. C'est d'autant plus surprenant car pendant cinq heures et demi, le point se trouve en plein soleil, et qu'il a le plus grand FVC. Le vent y tempère la température.

Les points 1 et 2-2 se trouvent dans un grand îlot vert, qui semble donner une sensation de frais. Ils ont les plus petits FVC et ils se trouvent au soleil pendant seulement deux heures, car ils sont sous le pin et entourés de végétation. Ce sont également les points les plus chauds. Ceci est surprenant, et il y a plusieurs explications. Une première explication est le positionnement sur la pente (côté SO). Selon Lechner la pente O est la plus chaude (Lechner, 2014). Ensuite, il y a l'absence de vent. Le point 2-2 est en bas de l'escalier, entre le bâtiment et une haie. A la recherche de poches de fraîcheur, cette cuvette semblait le candidat parfait : très peu accessible au vent et au soleil, un peu en contrebas et donc apte à retenir de l'air frais qui est plus lourd que l'air chaud. Je m'imaginais un fonctionnement tel un patio. En effet, tant qu'il se trouve à l'ombre, le point 2-2 est bien frais. En revanche, dès que le rayonnement solaire rentre, la température monte rapidement (de 7°C). Le caractère clos de l'endroit empêche l'évacuation de la chaleur. La connexion au patio de la maison par la fente sous la porte semble n'avoir aucune influence. La poche de fraîcheur s'avère être plutôt une poche de chaleur.

Finalement, la rue étudiée présente différentes situations. L'accessibilité au vent joue un rôle décisif dans le confort des différents endroits, et le FVC non. Il se trouve que l'endroit avec le plus grand FVC est aussi celui qui est le plus tempéré et le plus confortable, grâce au vent (point 3). Au hameau du Minotaure, cette accessibilité au vent est créée par une macroporosité : l'îlot vert fonctionne comme un entonnoir qui guide le vent dans la rue, dont l'orientation correspond à la direction du vent dominant, le sommet de la colline reçoit plus de vent que le contre-bas, les croisements des rues favorisent la ventilation, la maison à patio moitié enterrée laisse passer le vent au-dessus de la toiture. L'impact du FVC et de l'orientation de la rue sont moins lisibles que dans le Village Grec. L'endroit avec le plus petit FVC par exemple, dans la cuvette en contre-bas de la pente (le point 2-2), devient un four dès que le soleil rentre, car il n'y a pas de vent et la chaleur est piégée. Les petits FVC sont donc plutôt favorables, tant que la chaleur peut être évacuée. Le rôle de la végétation est discutable. Bien que l'endroit le plus confortable soit sous le pin (2), la présence du pin n'est pas une garantie de confort assuré (1).



Figure 3-10 :  
le Merlier : les mesures in situ : les points stratégiques et les coupes types.

### 3.3.3 Le Merlier

Le choix des points stratégiques est basé sur l'orientation des rues, l'emplacement sur la pente et le lien avec les espaces intermédiaires des maisons. Quatre points se trouvent sur la rue NS et les deux derniers en bas de la pente sur la rue EO.

Le choix des points a été effectué en fonction des coupes types (Figure 3-12) :

7-2 : végétation – végétation : sous le grand pin, sur le bord du village ;

7 : étage – rez-de-chaussée : en haut de la pente ;

9 : étage – étage : mi-pente et devant les fentes vers les patios couverts (et il y a un vide en-dessous de la porte vers le patio) ;

8 : rez-de-chaussée – rez-de-chaussée : mi-pente ;

10 : en bas de la pente : au croisement des rues NS et EO, donnant sur la placette ;

6 : rez-de-chaussée – étage : sur la rue EO, devant la porte qui mène à la terrasse suspendue (vide en-dessous de la porte).

L'analyse se fait sur la base de la Figure 3-12 et des Tableaux 3-7 et 3-8. La station Météo-France se trouve sur le même Cap Camarat que le Merlier.

Le vent est atténué dans la rue par rapport aux données de Météo-France. La vitesse moyenne du vent mesuré représente entre 3 et 20 % de la moyenne de Météo-France<sup>27</sup>. La différence a plusieurs explications. D'abord, les différentes altitudes impactent la vitesse du vent : elle est plus élevée avec une altitude plus élevée. La station Météo-France se trouve à 107m avec une prise de mesures à 10m ; l'altitude du Merlier varie de 19 à 50m (pente de 23 %), avec une prise de mesures à 1m. La station et le Merlier se trouvent à côté de la mer, ce qui représente une rugosité de 0,003. Ceci n'impacte donc pas la vitesse du vent pour les vents du S. Dans les autres directions, le Merlier est entouré de garrigue, avec une rugosité de 0,3 (Tableau 1-3). De plus, le relief joue un rôle important dans l'atténuation du vent. Le Merlier est localisé dans un pli du paysage. Les vents du S et du SSO rentrent dans la rue. En revanche, les vents du matin du SE n'entrent presque pas (Figure 3-11), car ils sont retenus par le terrain. Les vents du S pendant la journée correspondent à la brise de la mer.

<sup>27</sup> Il y a des vitesses moyennes entre 0,1 et 1,1 m/s pour 4,9 m/s de Météo-France

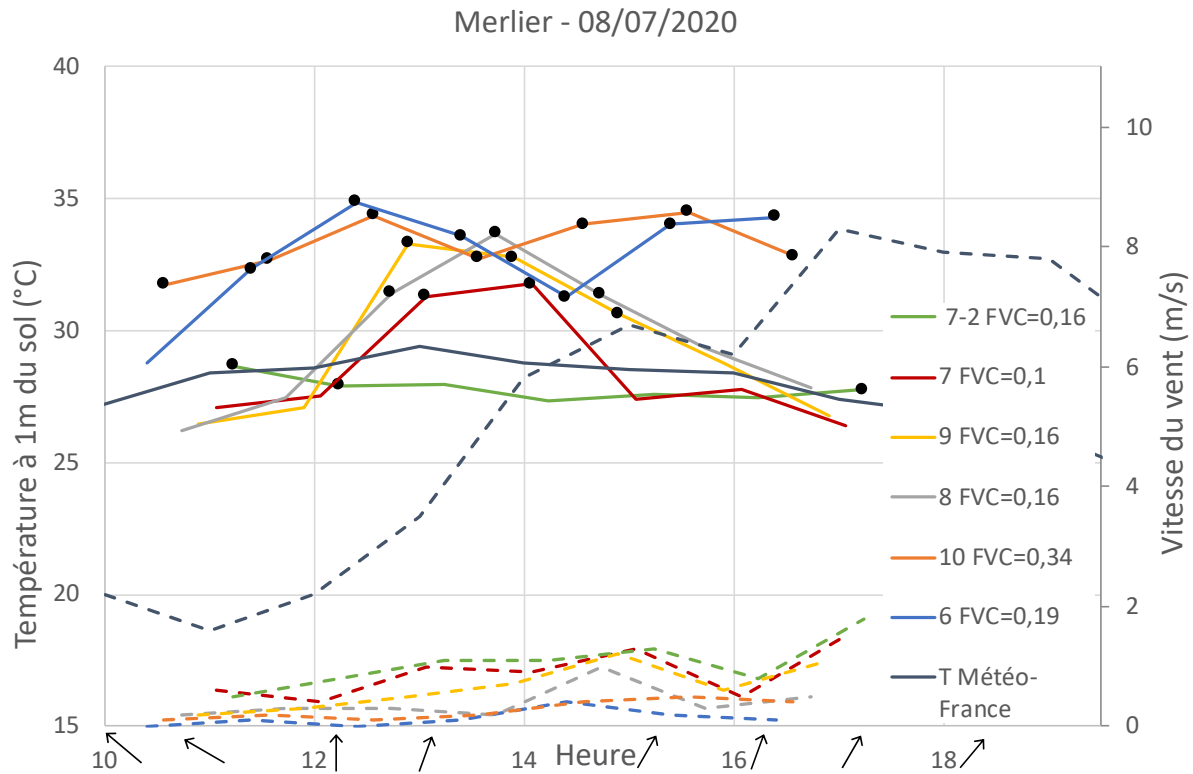


Figure 3-11 :

Les mesures in situ du Merlier :

Les températures (trait plein), la vitesse du vent (pointillés) ; soleils noirs : quand le capteur se trouve au soleil ; flèches noires : direction du vent de Météo-France.

Tableau 3-7 : Merlier : les valeurs H/L et minimales et maximales des mesures in situ.

	H1/L – H2/L	T min (°C)	T max (°C)	Va min (°C)	Va max (m/s)
7-2	-	27,4	28,7	0,5	1,8
7	2,6 – 1,6	26,4	31,8	0,4	1,5
9	2,7	26,5	33,3	0,2	1,2
8	1,6	26,2	33,7	0,2	1
10	2,4 - -	31,8	34,5	0,1	0,5
6	2,4 – 1,2	28,8	34,9	0	0,4

Les points de mesures peuvent être regroupés par deux : les points avec beaucoup de vent (7-2 et 7 : entre 0,4 et 1,8 m/s) ; les points avec très peu de vent (6 et 10 : moins de 0,5 m/s) ; les points moins clairement définis qui oscillent entre les deux (8 et 9). Les points avec beaucoup de vent sont en haut de la pente ; ceux avec peu de vent sont en bas et les points oscillants se trouvent au milieu de pente. Comme au Gaou Bénat, ceci confirme Lechner dans sa description du sommet de la colline comme l'endroit le plus venteux (Lechner, 2014, p. 328).

La plupart des températures au soleil sont plus élevées que les valeurs de Météo-France. Ces dernières sont prises sous abris et ne tiennent pas compte du rayonnement, ce qui explique la différence. De plus, la plupart des mesures hors soleil sont moins élevées que les valeurs de Météo-France. Les températures à la station de mesures sont légèrement plus élevées que les températures au Merlier. Ceci est due à la localisation : la station se trouve sur le Cap Camarat, en hauteur, et est exposée au soleil depuis le petit matin, tandis que le Merlier se trouve dans un pli dans le paysage, beaucoup plus bas. Ceci crée un masque au soleil et garde la fraîcheur nocturne pendant plus longtemps. Les endroits bas drainent l'air frais et le rassemblent (Lechner, 2014, p. 328 ; Olgyay, 1973, p. 44). L'effet de l'Ilot de Chaleur Urbain (ICU) n'est pas lisible sur les profils thermiques, car les mesures ont démarré relativement tard, suite à l'organisation logistique et technique.

Les profils thermiques montrent un microclimat avec des écarts de température impressionnants. Le point le plus frais et le plus tempéré est le 7-2 : il a une température maximale de 28,7°C et une amplitude de 1,3°C. De plus, les températures y sont majoritairement en-dessous des données de Météo-France (jusqu'à 1,5°C). Le point se trouve à la limite du village, entouré de végétation et à l'ombre du grand pin. Il se trouve également en haut de la pente, bien accessible au vent (vitesse moyenne de 1,1 m/s). En plein soleil, grâce au vent, les mesures ne dépassent pas 29°C. La proximité du pin et des bâtiments contribue à un petit FVC. Le rayonnement direct rentre pendant deux heures et demie, mais le vent évacue la chaleur, qui ne s'accumule pas. Le point 7 a un petit FVC, défini par le grand pin, l'étage à l'ouest et le rez-de-chaussée à l'est. Le rayonnement direct rentre pendant deux heures. L'endroit très venteux est en haut de la pente (vitesse moyenne de 0,9 m/s). La ruelle étroite favorise l'effet Venturi entre les bâtiments.

Le point 9 reçoit plus de vent que le 8, car il est localisé plus haut sur la pente. Ceci se traduit par une légère différence de température : il fait jusqu'à 1°C plus frais au point 9. Le point 9 se trouve également devant le patio. La rue et le patio sont connectés à travers le vide sous la porte et à travers les fentes entre les deux (micro-porosité) : au-dessus de la porte et le mur de clôture, entre la maison

Tableau 3-8 : FVC du Merlier- tracé solaire pendant les mesures in situ du 08/07/2020.

6. FVC = 0,19



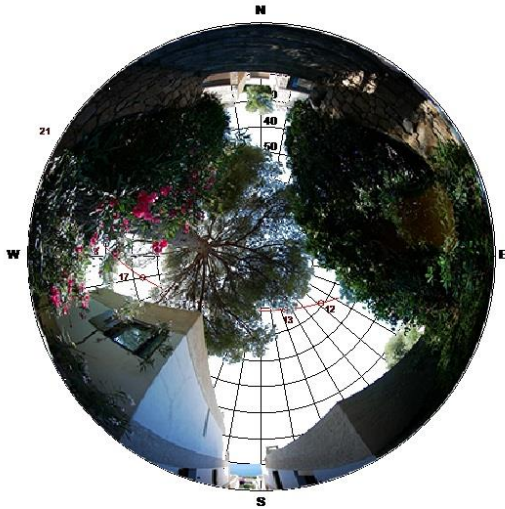
© 2000 Pnykman 1.2

7. FVC = 0,10



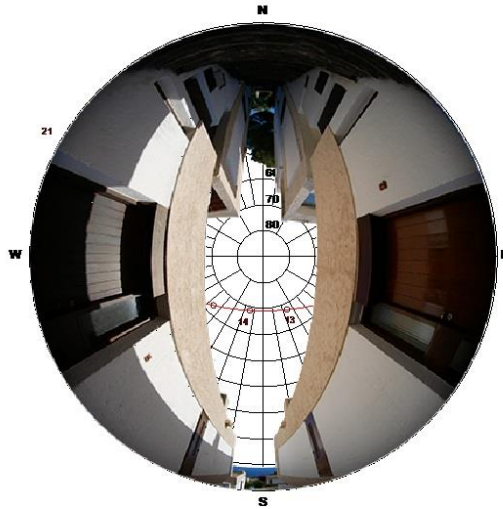
S.T. realty01 0005 ©

7-2. FVC = 0,16



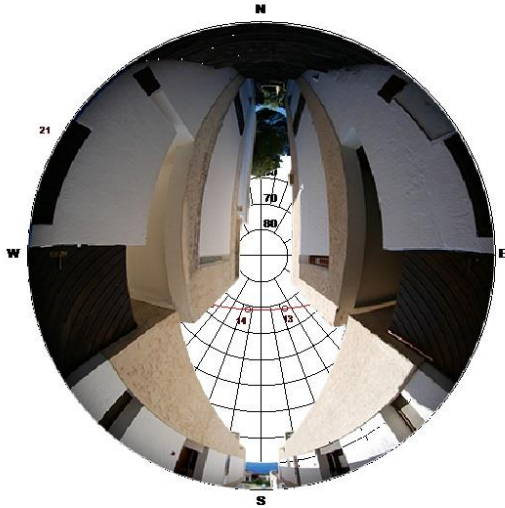
© 2000 Pnykman 1.2

8. FVC = 0,16



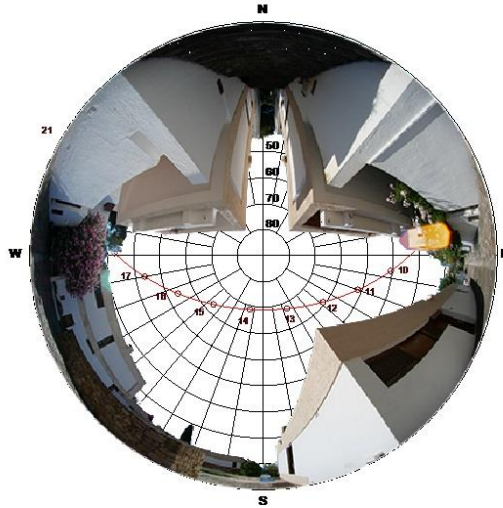
© 2000 Pnykman 1.2

9. FVC = 0,16



© 2000 Pnykman 1.2

10. FVC = 0,34



© 2000 Pnykman 1.2

et le mur de clôture (Figure 3-10). L'effet de cette connexion n'est pas clairement observable dans les résultats, sauf éventuellement dans la présence de plus de vent par le point 9. Ceci pourrait également être une conséquence de la différence de hauteur sur la pente. La résolution de 0,1 m/s de l'anémomètre n'est pas suffisante pour enregistrer des petits déplacements d'air qui pourraient passer sous la porte et qui seraient du tirage thermique.

En bas de la pente dans la rue orientée EO (points 6 et 10), se trouvent les endroits les plus chauds, avec des maxima dépassant 34°C. Ils se trouvent en bas de la pente et reçoivent très peu de vent (0,1 et 0,3 m/s en moyenne respective). Le soleil rentre dans la rue presque toute la journée, pendant presque 9h, et malgré des FVC très différents (FVC du 6 : 0,19 ; FVC du 10 : 0,34), leurs températures sont comparables. Le paramètre du FVC seul n'est pas suffisant pour donner une idée de la situation. Il faut absolument le lier à l'orientation de la rue. Ceci a été relevé par d'autres études en climat chaud et sec. Certains écrits mentionnent le lien positif entre un petit FVC et le confort d'été, sans parler de l'orientation (Ratti et al., 2003 ; Zakhour, 2015), tandis que d'autres accentuent l'importance de l'orientation (Ali-Toudert & Mayer, 2007).

En hauteur (9) il fait entre 0,6°C et 7,5°C plus frais qu'en bas de la pente (6), même si les FVC sont modérés et comparables. En hauteur dans la verdure (7-2), il fait entre 0,1 et 6,9°C plus frais qu'en bas de la pente (6), avec des SVF modérés comparables.

Pour conclure, certaines situations sont plus aptes à donner de la fraîcheur : un petit FVC dans une rue orientée NS, combiné avec un emplacement en haut de la pente avec du vent et la proximité d'un grand pin semblent être la formule optimale pour l'obtention de fraîcheur (point 7 et 7-2). L'îlot de chaleur combine une rue EO en bas de la pente avec une absence de vent. Le FVC ne semble pas avoir de l'influence ici (le profil 6 a un petit FVC, le profil 10 un grand). Les éléments prioritaires ayant un impact sur la fraîcheur des espaces extérieurs dans la morphologie du Merlier, sont la pente et l'accessibilité au vent, la végétation et la petite ruelle : un petit FVC orienté NS, défini par des maisons avec un rez-de-chaussée et un étage et la présence d'un grand pin ; et le sommet de la pente qui accentue le vent.

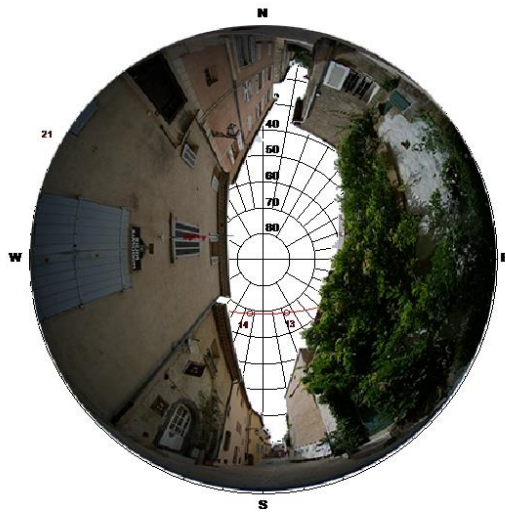
### 3.4 Comparaison des FVC avec des morphologies traditionnelles

Les valeurs de Facteurs de Vues du Ciel (FVC) mesurées au Merlier (0,1 à 0,34) sont légèrement supérieures aux valeurs de référence de 0,13 pour une morphologie de patio traditionnel (comme le centre de Marrakech avec des maisons de 9m de haut) (Ratti et al., 2003), à l'exception d'une mesure au Merlier (0,1 au point 7). Elles sont inférieures à celles des morphologies urbaines plus modernes (trois étages, 9m de haut, rues



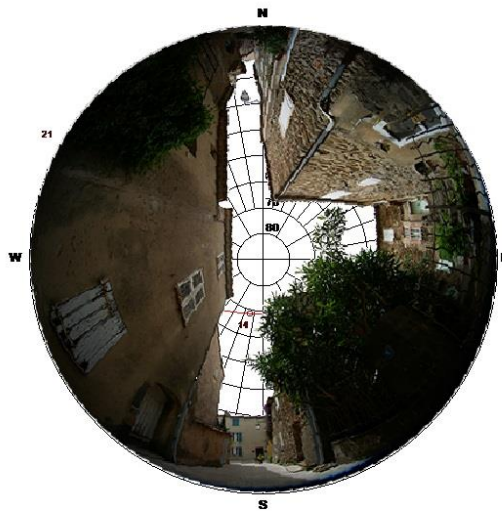
Tableau 3-9 : FVC de Gassin – tracé solaire pendant les mesures au Merlier le 08/07/2020.

1. FVC = 0,07



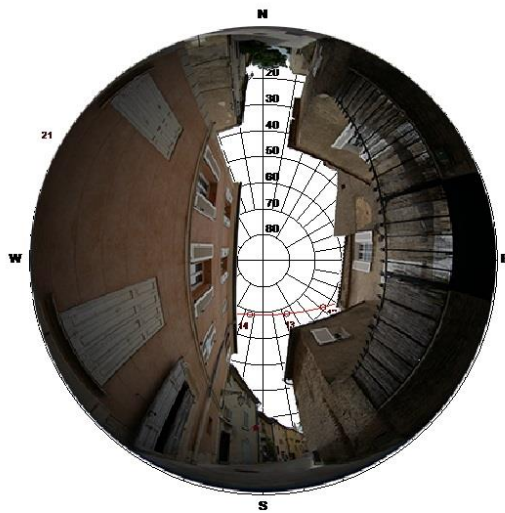
© 2000 RayMan 1.2

2. FVC = 0,12



© 2000 RayMan 1.2

3. FVC = 0,18



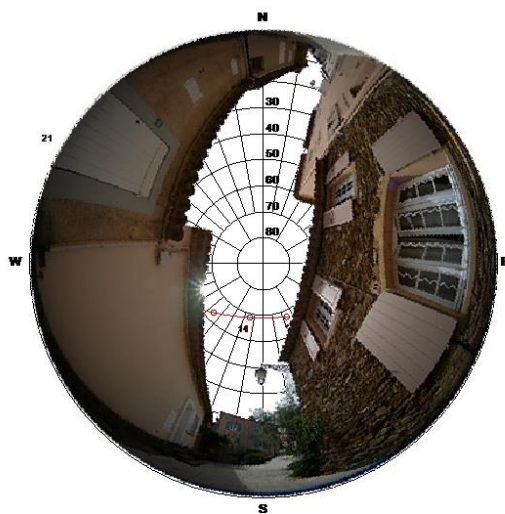
© 2000 RayMan 1.2

4. FVC = 0,19



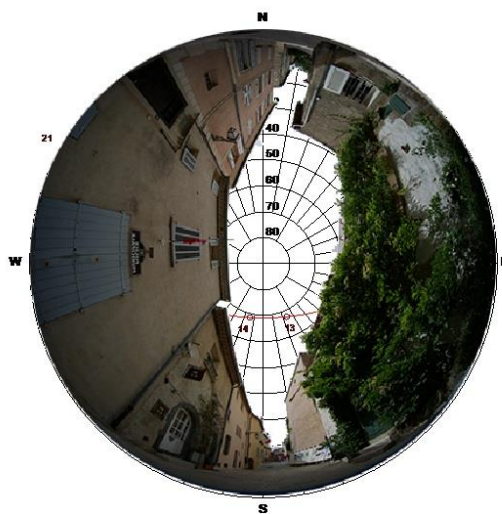
© 2000 RayMan 1.2

5. FVC = 0,20



© 2000 RayMan 1.2

6. FVC = 0,17



© 2000 RayMan 1.2

piétonnes) : 0,23, sauf pour le point 10 sur le croisement de deux rues et la placette (0,34). Cela signifie que les proportions de la rue fraîche du Merlier sont légèrement plus ouvertes sur le ciel que la morphologie vernaculaire traditionnelle de Marrakech. Ce centre-ville marocain est connu pour ses rues étroites, bien ombragées pendant la journée et rafraichissant lentement la nuit lorsque les températures baissent. Lorsque l'on fait abstraction de la végétation, les rues des études de cas sont donc légèrement moins adaptées aux conditions estivales chaudes que Marrakech. Il faut cependant garder à l'esprit que la référence des architectes était les villages vernaculaires et non les centres-villes urbains traditionnels. Comparons donc au FVC de Gassin, village traditionnel dans les environs du Merlier (Figure 3-12 et Tableau 3-9).

Le village de Gassin se trouve sur le sommet d'une colline. Les rues sont majoritairement orientées NS, avec des passages EO. La rue des points 1 et 2 est la rue la plus ancienne de Gassin, qui date de 1516 et qui se trouvait au centre de la première enceinte fortifiée. Les bâtiments qui longent la rue ont deux ou trois niveaux, la rue est très étroite (1,6 à 2,35m). Le FVC y est très petit (0,07 et 0,12). Il y a moins d'ouverture sur le ciel que dans la morphologie traditionnelle de maison à patio de trois étages qu'on peut retrouver à Marrakech (0,13) (Ratti et al., 2003). Les points 3 et 6 se trouvent sur la rue créée après démolition de la première enceinte fortifiée. La rue est un peu moins étroite (2,8 à 4,4m), les bâtiments ont trois niveaux. Le FVC y est légèrement plus élevé que dans la rue la plus ancienne (0,17-0,18), et correspond au FVC de la rue NS mesurée au Merlier (0,16). Les points 4 et 5 (0,19 et 0,2) correspondent à la rue EO du Merlier avec une largeur de rue autour de 3m et une hauteur de bâtiment d'un et deux niveaux (0,19). Mise à part la rue la plus ancienne, les ouvertures sur le ciel de Gassin se trouvent dans le même ordre de grandeur que celles du Merlier (0,1 à 0,19), sauf pour la placette (0,34).



Figure 3-12 :  
Gassin avec les points des FVC.

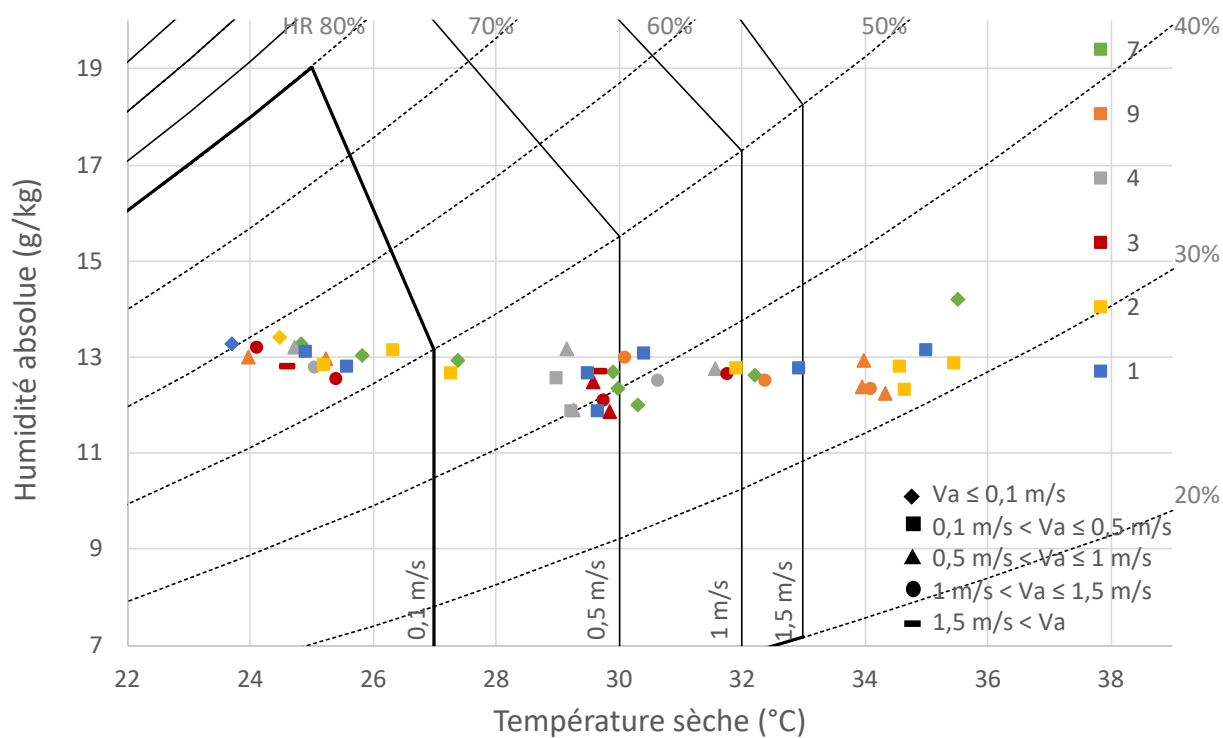


Figure 3-13 :  
Les mesures in situ du Village Grec. Le diagramme de Givoni.

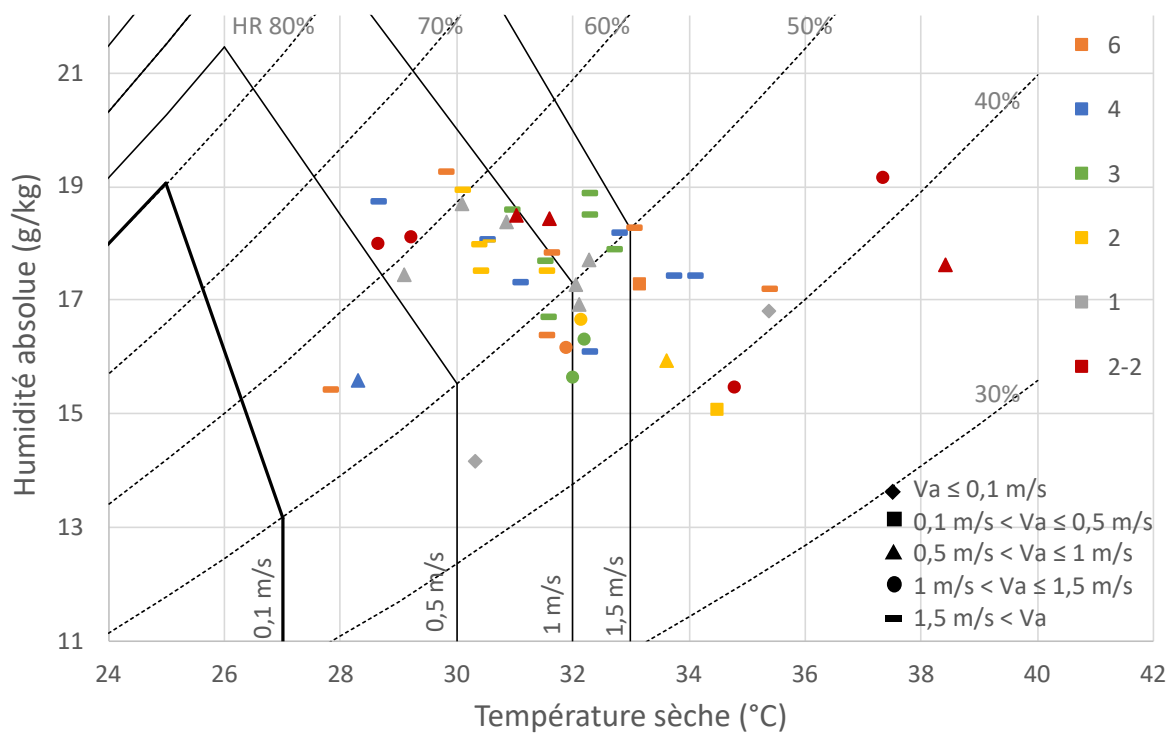


Figure 3-14 :  
Les mesures in situ du hameau du Minotaure au Gaou Bénat. Le diagramme de Givoni.

### 3.5 Le confort thermique suivant Givoni

Afin d'interpréter et d'évaluer le confort de la rue, les mesures sont transposées sur le diagramme psychrométrique de Givoni, complétée avec les zones de confort étendues des vitesses de l'air (chapitre 1). Le diagramme est essentiellement utilisé pour le confort intérieur, mais il n'y a pas d'équivalent visuellement aussi clair pour le confort extérieur (chapitre 1). En outre, il est considéré comme pratique pour une utilisation par des architectes, et suffisamment précis (Fernandez & Lavigne, 2009). Ce diagramme est plus facile à lire et à interpréter que le confort adaptatif de la norme EN NF 16798-1, qui est considéré comme plus scientifique. Vu la finalité de cette recherche, c'est-à-dire des conseils de projet pour les architectes, et le public visé, les architectes, les données sont représentées et discutées sur le diagramme de Givoni.

La question se pose : quelle température faut-il utiliser pour tracer le diagramme ? La Température opérative  $T_o$  ou la Température de l'air  $T_a$  ? Certaines études préconisent d'utiliser la première, car elle prend en compte la température moyenne radiante  $T_{mrt}$  (Fernandez & Lavigne, 2009). En rajoutant la  $T_{mrt}$  et la vitesse du vent, les quatre paramètres principaux du confort sont ainsi représentés dans le diagramme. D'autres études, entre autre sur le confort extérieur, stipulent l'usage de la  $T_a$ , estimant de manière implicite que la  $T_a$  s'approche de la  $T_{mrt}$ <sup>28</sup> (Kessling et al., 2013 ; Lechner, 2014 ; Teitelbaum et al., 2020). Cette recherche s'inscrit dans la deuxième approche : les températures représentées dans le diagramme sont les  $T_a$ , même si elles ne s'approchent pas forcément toujours de la  $T_{mrt}$ .

Le diagramme de Givoni du Village Grec (Figure 3-13 et Tableau 3-10) confirme les observations précédentes concernant les points les plus frais : 3 et 4 se trouvent dans la zone de confort tenant compte de la vitesse de vent, toute la journée. Les points 1, 2 et 9 se trouvent la moitié du temps dans la zone de confort (50%). Le point 7 est le moins confortable (25%). Il est pourtant bien ombré par des haies et dans une rue NS, mais il manque clairement d'air rafraichissant.

Les pourcentages de confort du hameau du Minotaure correspondent aux groupements des points par rapport au vent (Figure 3-14 et Tableau 3-10) : les points 3 et 4 les plus venteux se trouvent entièrement dans les zones de confort de Givoni en fonction des vitesses de vent ; les points 2 et 6 sont majoritairement confortables (75 %) ; et les points 1 et 2-2 sont majoritairement inconfortables (37,5 %). Il faut noter que trop de vent peut donner un sentiment d'inconfort, même en été. A l'intérieur, une vitesse supérieure à 0,8 m/s déplace le papier du bureau (Redline EN NF 16798-1, 2019) ; à l'extérieur, une vitesse moyenne de 5 m/s à une hauteur de 2 m est considéré comme la limite du confort (Fernandez & Lavigne, 2009, p. 298). La vitesse maximale mesurée in situ étant 4,3 m/s, toutes les mesures sont considérées dans les limites du confortable.

<sup>28</sup> Elles s'approchent l'une de l'autre dans un espace bien isolé et ombré (Lechner, 2014)

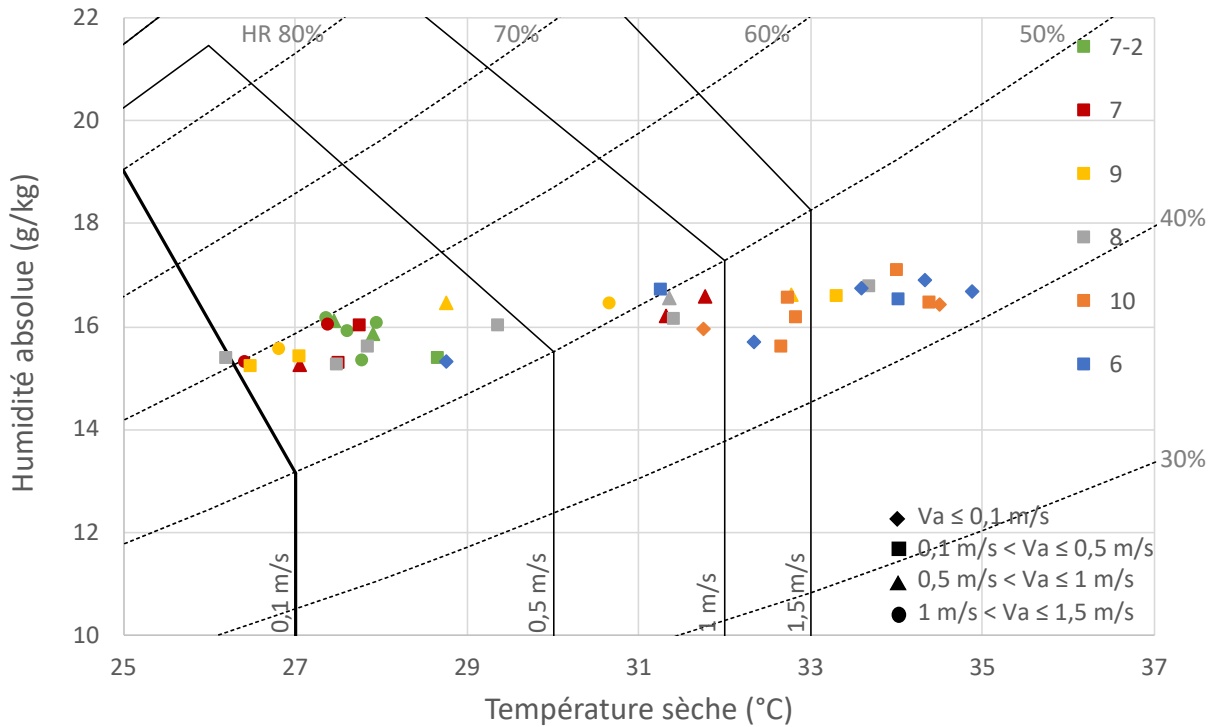


Figure 3-15 :  
Les mesures in situ du Merlier. Le diagramme de Givoni.

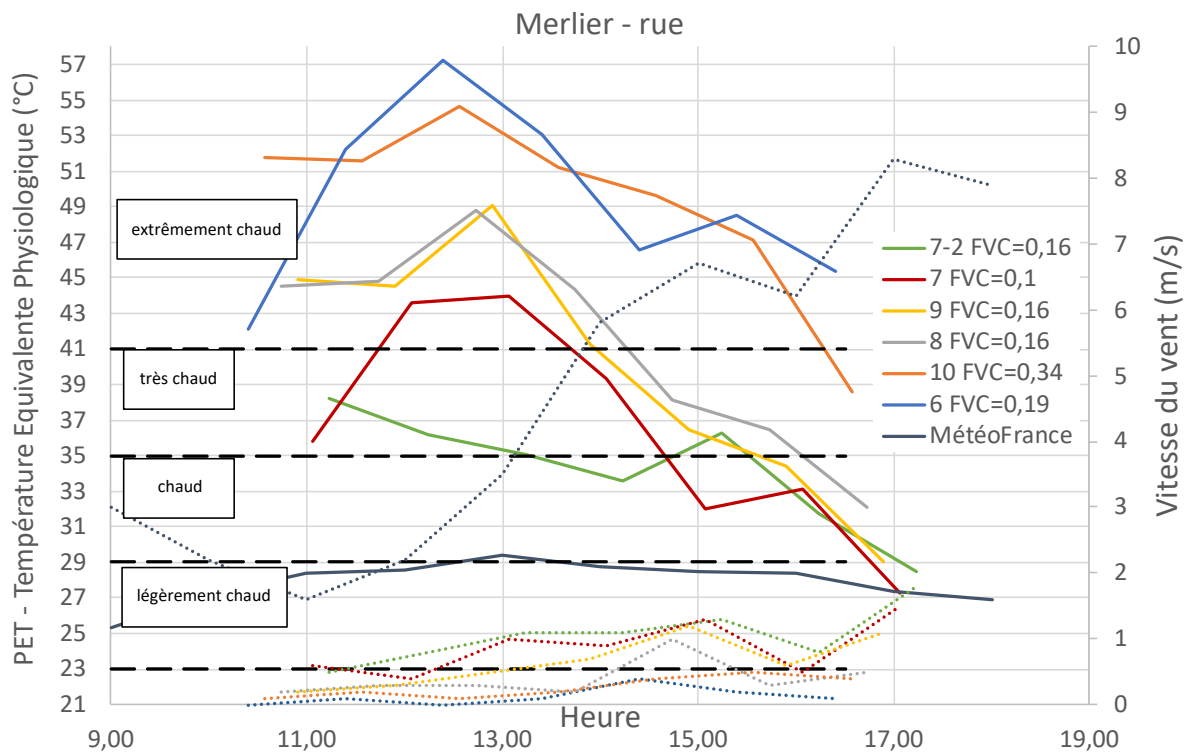


Figure 3-16 :  
Le Merlier : les mesures suivant l'index PET.

Toutes les mesures en haut de la pente du Merlier (7 et 7-2 et Tableau 3-10) tombent entièrement dans les zones de confort correspondant aux vitesses de vent (Figure 3-15), tandis que les deux endroits en bas de la pente (6 et 10) sont entièrement en dehors de la zone pendant toute la journée. Les points 8 et 9 sont majoritairement confortables (71,4 et 57,1 %). Les deux mesures d'inconfort correspondent au pic de température suite au passage du soleil dans la ruelle.

Pour les trois études de cas, les points qui sont 100 % confortables sont ceux qui ont le plus de vent. Les rues ont une stratégie de gestion de la chaleur qui est prioritairement l'accessibilité au vent. Ceci ne correspond pas à la stratégie prioritaire pour des climats chauds et secs, où l'effet de l'ombre est plus important (Ali-Toudert & Mayer, 2007 ; Zakhour, 2015). En revanche, ceci correspond à l'étude de Mahoney, préconisant une circulation d'air permanente et de grands espacements entre les bâtiments pour les climats méditerranéens (Liébard & De Herde, 2005, p. 155).

Il n'est pas possible de comparer les études de cas, car les campagnes de mesures respectives se sont déroulées espacées de plusieurs semaines, dans des conditions météorologiques différentes. Il est pourtant possible de constater que, globalement, les rues des villages sont assez confortables (> 50 % de la journée) (Tableau 3-10).

Tableau 3-10 : Récapitulatif du confort des rues (Diagramme de Givoni).

Points		Confort	Points		Confort	Points		Confort
Village Grec		%	Gaou Bénat		%	Merlier		%
7	25		6	75		7-2	100	
9	50		4	100		7	100	
4	100		3	100		9	71,4	
3	100		2	62,5		8	57,1	
2	50		1	37,5		10	0	
1	50		2-2	37,5		6	0	
Moyenne		62,5			68,75			54,75

### 3.6 D'autres interprétations du confort thermique

La définition du confort thermique est vaste et en évolution continue (chapitre 1). Une première interprétation avec le diagramme de Givoni a permis de représenter et d'interpréter les études de cas. Mais suivant la définition du confort, ou de l'indice utilisé, les interprétations peuvent différer. Afin d'explorer d'autres facettes du confort, les mesures du Merlier sont interprétées par l'indice thermique PET, souvent utilisé pour évaluer le confort à l'extérieur, et ensuite par la norme EN NF 16798-1 pour le confort adaptatif.

La PET et la  $T_{mrt}$  sont calculées avec le logiciel Rayman (Matzarakis et al., 2010). La  $T_o (= \theta_o)$  est calculée avec l'équation (3.1) (EN ISO 7726, 2002). Même s'il s'agit d'une norme pour le confort intérieur, l'équation prend en compte la vitesse de l'air, permettant un usage pour le confort extérieur.

$$T_o = \theta_o = \frac{T_a \sqrt{10 v_a} + T_{mrt}}{1 + \sqrt{10 v_a}} \quad (3.1)$$

- $T_a$  Température de l'air (°C)
- $v_a$  Vitesse de l'air (m/s)
- $T_{mrt}$  Température moyenne de rayonnement (°C)

La température extérieure moyenne glissante  $\Theta_{rm}$  exprime l'idée qu'un individu s'adapte à la température extérieure. Après quelques jours chauds, il se sentira confortable dans une température plus élevée.  $\Theta_{rm}$  est calculé pour les sept derniers jours avec l'équation (3.2) (Redline EN NF 16798-1, 2019). Comme les mesures in situ des jours précédents ne sont pas disponibles, il s'agit des températures extérieures moyennes journalières de Météo-France.

$$\Theta_{rm} = (\Theta_{ed-1} + 0,8 \Theta_{ed-2} + 0,6 \Theta_{ed-3} + 0,5 \Theta_{ed-4} + 0,4 \Theta_{ed-5} + 0,3 \Theta_{ed-6} + 0,2 \Theta_{ed-7}) / 3,8 \quad (3.2)$$

- $\Theta_{ed-i}$  Température de l'air extérieur moyenne journalière pour le i-ème jour précédent

Les hypothèses rentrées dans le logiciel Rayman sont les suivantes : 0,9 clo ce qui correspond à un habillage avec une chemise et un pantalon ; 80 W d'activité ce qui correspond à une activité très légère debout ; un albédo du sol de 0,3 ce qui peut correspondre à la pierre utilisée au Merlier (Tableau 1-2).

Les PET calculées avec le logiciel Rayman sont représentées sur la Figure 3-16. Elles sont confortables entre 18 et 23°C. Les points en bas de la pente, dans la rue EO (6 et 10) sont considérés comme extrêmement chauds, ce qui correspond au diagramme de Givoni. Mais les points en haut de la pente, au bord de la zone verte (7 et 7-2), qui sont considérés confortables suivant Givoni, ont des valeurs de PET chaudes à extrêmement chaudes. Ceci ne correspond pas au diagramme de Givoni. Ceci ne correspond pas non plus au sentiment noté pendant le travail sur le terrain en haut de la pente : « *frais* ». Ceci est une interprétation personnelle, mais les valeurs obtenues des PET semblent très élevées. A la recherche d'une explication, un test a été effectué en changeant la valeur des habits de 0,9 clo à 0,3 clo, ce qui correspond à un habillage en short et T-shirt. La logique veut qu'avec un habillage plus léger, on se sent plus confortable en été. Les PET obtenues ainsi varient de  $\pm 0,5^\circ\text{C}$  avec les PET obtenues avec 0,9 clo. La plupart des PET sont d'ailleurs plus élevées, ce qui fait penser que Rayman considère les habits comme une isolation contre la chaleur, et non pas comme un élément qui rajoute de la chaleur. Ceci n'explique pas les PET élevées.



Afin de vérifier l'échelle de grandeur des PET, elles sont comparées avec des valeurs de référence de la littérature. L'étude de Diz-Mellado obtient des valeurs de PET qui ne dépassent pas 35°C. Ils étudient pourtant des patios avec des températures extérieures qui s'approchent de 45°C (Diz-Mellado et al., 2021). Les valeurs des PET de la Figure 3-16 sont beaucoup plus élevées. Ceci s'explique peut-être par leur méthode de calcul de la PET : ils les ont calculés avec Rayman, mais sur la base de  $T_{mrt}$  mesurées in situ avec un thermomètre à bulbe, du côté ombré du patio.

Cohen calcule les PET avec Rayman sur la base de mesures in situ de température de l'air. La  $T_{mrt}$  et la PET sont ensuite calculées avec Rayman. Ses PET sont du même ordre de grandeur que celles de la Figure 3-16 (Cohen et al., 2013). Son étude redéfinit la PET pour un climat côtier méditerranéen (Tel Aviv, Israël) grâce à des mesures in situ et enquêtes par questionnaires. Il s'agit d'un climat Csa suivant Koppen-Geiger, comme les études de cas. L'étude commence par calculer la PET avec Rayman. Les températures d'air maximales sont de 31,4°C au parc et de 33,4°C dans une rue canyon NS. Ceci est du même ordre de grandeur que les 28,7°C au point vert (7-2) et 33,7°C au point 8 dans la rue NS (Tableau 3-7). Les PET maximales de Cohen sont de 27,3°C au parc et de 46,5°C dans la rue canyon ; pour le Merlier ceci donne 38,2°C au point vert (7-2) et 48,8°C dans la rue canyon NS. Les PET pour les rues sont du même ordre de grandeur, celles du parc non. Cohen prend les mesures dans le parc à l'ombre sous les arbres, laissant très peu d'ouverture sur le ciel, ce qui explique la différence de PET entre le parc israélien et le point 7-2. Les FVC ne sont pas précisés, mais les photos fish-eye montrent des arbres très denses et très peu de ciel. Les mesures dans la rue NS Israélienne sont prises sur le trottoir à l'est d'une rue large, à côté de bâtiments de 3 à 4 étages. La PET y est moins élevée que pour le point 8, malgré un FVC plus grand. La différence peut être expliquée par la présence de plus de vent : max 1,3 m/s par rapport au 1 m/s au point 8.

Dans un deuxième temps, Cohen redéfinit la zone de confort sur la base des questionnaires. Sa nouvelle zone de confort est légèrement plus haute que les PET de la Figure 3-16 : de 20 à 26°C, mais les autres zones sont similaires à 1°C près. Ces nouvelles zones ne changent pas beaucoup l'interprétation des résultats.

D'autres valeurs de référence de la littérature, obtenues avec une simulation avec ENVI-met, montrent des valeurs du même ordre de grandeur, mais plus élevées. Il y a deux pics dans les PET qui dépassent 62°C dans un canyon asymétrique orienté EO avec des H/L de 2 et de 1 (Ali-Toudert & Mayer, 2006, 2007). Le point 6 du Merlier est un canyon asymétrique orienté EO avec des valeurs qui s'approchent des valeurs de l'article (une largeur de 2,3m et des H/L de 2,4 et 1,2). Les deux pics de la PET du point 6 sont 57,2°C et 48,5°C. Ces PET sont plus bas que l'article, car la simulation se déroule sur une journée d'été typique à Ghardaia, avec un climat chaud et sec. La température moyenne mensuelle en août y est de 39°C, ce qui est plus élevé que celle du Merlier de 24,4°C (Tableau 2-2).

Le confort adaptatif de la norme EN NF 16798-1 est représenté sur la Figure 3-17. La température opérative  $\theta_o$  prend en compte la température moyenne de rayonnement  $T_{mrt}$  et la vitesse du vent, mais pas l'humidité relative (Equation 3.1) (EN ISO 7726, 2002). La  $T_{mrt}$  est calculée avec Rayman. L'interprétation des mesures suivant le confort adaptatif montre la même chose que l'interprétation par la PET : très peu de mesures, même celles de 7 et 7-2, sont considérées confortables.

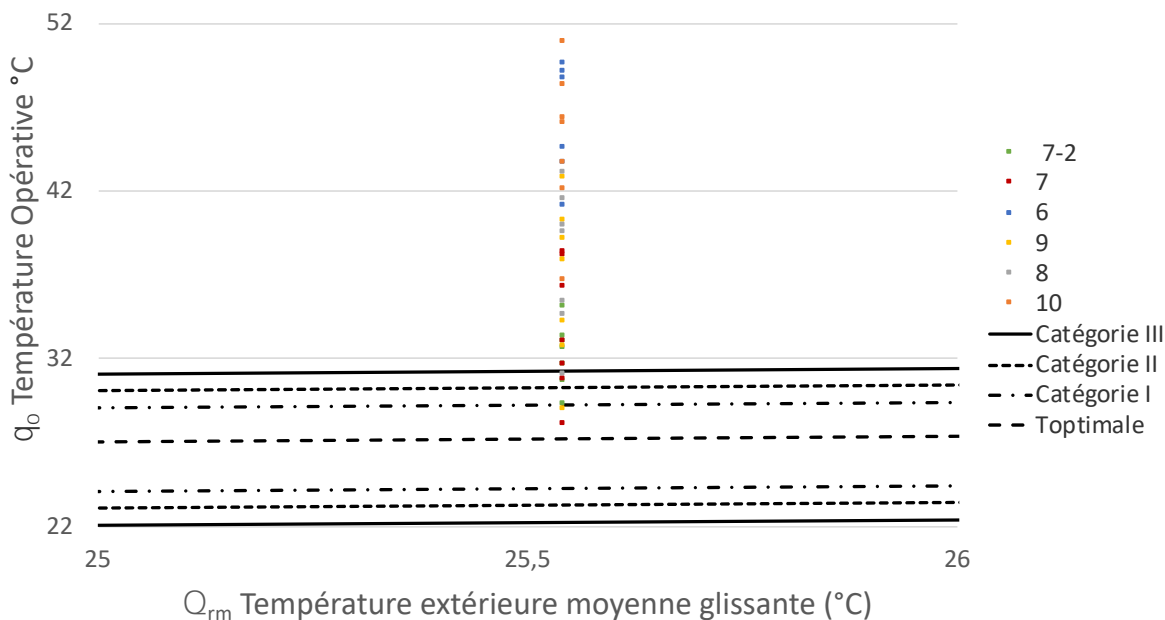


Figure 3-17 : Le Merlier : les mesures suivant le confort adaptatif de la norme EN NF 16798-1.

De nouveau, ceci est dû aux valeurs très élevées de la  $T_{mrt}$ . En plus d'être en lien avec la manière de la calculer avec Rayman, ceci peut être en lien avec la manière de prendre les mesures de température in situ. Elles ont été prises au centre de la rue pour représenter la réalité avec des moments ombrés et ensoleillés : dans une ville, le confort extérieur ne se ressent pas uniquement à l'ombre. Les températures mesurées n'étaient pas sous abris, comme par exemple les mesures de Météo-France ; ou prises à l'ombre comme les mesures prises par Zakhour (Zakhour, 2015). Ceci a le désavantage d'avoir des mesures très chaudes au soleil, de grandes amplitudes et des  $T_{mrt}$  élevées.

Estimant que l'interprétation par la PET et par le confort adaptatif est intéressante pour comprendre et comparer les principes des approches de confort, mais qu'elle n'est pas représentative et apporte peu à l'étude, le choix est fait de ne pas rajouter les interprétations alternatives du confort des autres études cas.

### 3.7 Les fonctionnements thermiques

Différents fonctionnements thermiques sont observés. Pour le Village Grec et le Merlier les petits FVC combinés avec une orientation NS, la présence de pins et une accessibilité au vent (proximité d'un catalyseur de vent, sur la pente) fonctionnent en été ; comme dans un centre-ville avec des ruelles étroites. Le hameau du Minotaure puise sa fraîcheur dans l'accessibilité au vent et une luxuriante végétation ; comme dans une

palmeraie traditionnellement peuplée en été, avec des logements éparpillés entre les arbres, protégés du soleil (Bouali-Messahel, 2019). Il y a deux fonctionnements différents.

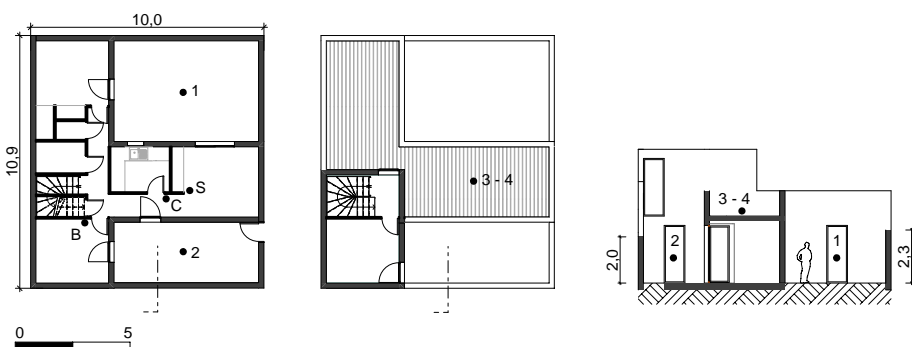
Le premier fonctionnement n'est en soi pas si différent que les fonctionnements des archétypes, mais la ventilation s'invite comme facteur dominant. La palmeraie, traditionnellement peuplée en été avec des logements éparpillés entre les arbres, a été revisitée à merveille dans le hameau du Minotaure ; et pourrait être une vraie source d'inspiration pour beaucoup de hameaux ou villages à la quête de la fraîcheur d'été à venir. Depuis le début de la recherche, le hameau du Minotaure se démarque, car avec son « architecture de la disparition » il est plus vert et poreux que les deux autres études de cas. Ceci est confirmé dans l'analyse environnementale du chapitre 2 (Tableau 2-5) : 41% de végétalisation par rapport au 30 % des autres études de cas ; une rugosité absolue de 0,54 par rapport au 1,27 et 1,47.

### 3.8 Conclusion

On peut conclure que :

- Il y a de grandes différences de confort entre les différents endroits dans la rue. Des situations différentes qui créent des microclimats différents, qui donnent des confort thermiques différents, variant entre 0% et 100% de confort au cours de la journée. Globalement, les rues sont assez confortables (> 50% de la journée).
- Les différentes interprétations du confort changent considérablement l'interprétation des résultats.
- La stratégie prioritaire de gestion de la chaleur des études de cas, en climat méditerranéen tempéré, est la ventilation.
- L'irrégularité et la porosité de la morphologie ont un effet sur l'accessibilité au vent, et donc sur la sensation de confort : la porosité des étages au Village Grec, la macroporosité au Gaou Bénat. L'efficacité de la microporosité du Merlier n'a pas été démontrée.
- L'implantation du village par rapport à la pente, et par rapport aux vents dominants, est primordiale pour le confort dans les rues.
- Les rues EO sont plus chaudes toute la journée. Les emplacements en haut de la pente sont plus confortables. Les emplacements sous les pins sont majoritairement confortables.
- Un petit FVC ne garantit pas la fraîcheur. L'orientation et la pente ont une grande influence. Un grand FVC peut également être frais s'il est venteux.
- Il y a différentes morphologies de villages adaptées au climat méditerranéen en été, avec des fonctionnements thermiques différents : la morphologie du centre-ville avec des ruelles étroites et la morphologie de la palmeraie, moins dense, avec une végétation luxuriante.

Dans le chapitre 3 une rue de chaque étude de cas a été étudiée avec ses différentes situations de fraîcheur, menant à des écarts de température et de déplacement d'air considérables. Afin de compléter la séquence du réseau des vides, le chapitre 4 explorera les espaces intermédiaires de trois maisons par rapport à la rue et par rapport aux espaces intérieurs.



Les capteurs extérieurs : 1 : le patio privé ; 2 : le patio d'accès ; 3 : la toiture avec 4 : l'anémomètre  
 Les capteurs intérieurs : C = couloir ; B = bureau ; S = Séjour



Figure 4-1 :  
 Village Grec : le plan et des photos de la maison des mesures in situ.

---

## 4 Le réseau des vides à l'échelle de la maison

---

L'objectif du chapitre 4 est d'étudier le fonctionnement des espaces intermédiaires par rapport à la rue et par rapport à l'intérieur de la maison. Dans quelle mesure ces espaces intermédiaires se profilent comme des espaces tampon entre la rue et le bâtiment ? Ou justement pas ? Est-ce qu'il y a un lien thermique entre ces espaces intermédiaires et l'intérieur de la maison ? L'hypothèse du « réseau des vides » suppose que les différentes situations de confort des rues décrites dans le chapitre 3 ont un impact thermique sur les espaces intermédiaires et que ceux-ci ont un impact sur l'intérieur de la maison. Dans un deuxième temps les mesures mettent en lumière les stratégies de conception passives employées dans les maisons en conditions estivales, et permettent de les quantifier.

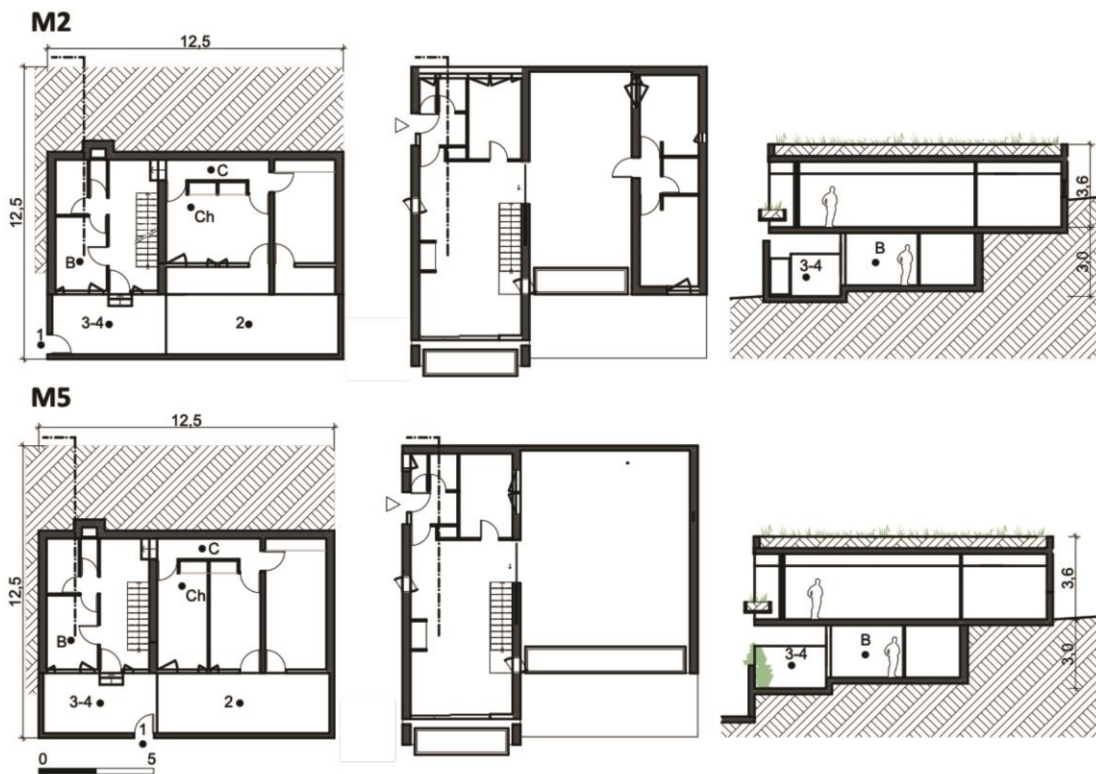
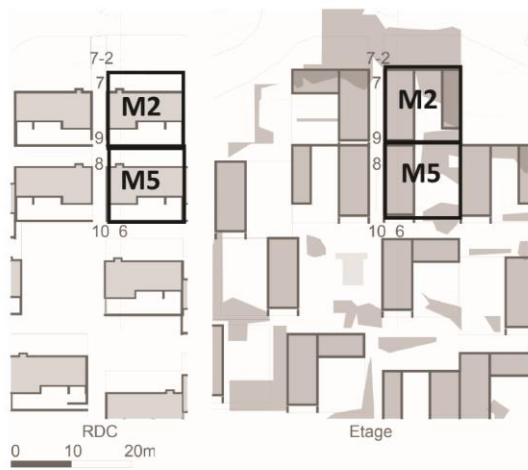
### 4.1 Le dispositif expérimental et la méthode

L'équipement technique est le même que celui utilisé pour les mesures dans la rue, mais doublé. Il y a deux centrales d'acquisition avec quatre entrées, afin de mesurer en même temps l'extérieur et l'intérieur. Les spécificités techniques sont décrites dans le paragraphe 3.1. L'équipement est installé pour une durée d'un à trois jours dans les espaces intermédiaires extérieurs et dans les espaces attenants à l'intérieur de deux maisons au Merlier et une au Village Grec<sup>29</sup>. Les maisons sont localisées sur les rues fraîches étudiées au chapitre 3, et les capteurs se trouvent à une hauteur de 1m par rapport au sol. Ils enregistrent la température, l'humidité relative et la moyenne du déplacement d'air toutes les 15 minutes.

L'analyse des mesures extérieures est inspirée par la recherche de Diz-Mellado (Diz-Mellado et al., 2021). Ils étudient l'effet tampon thermique de deux patios au centre de deux bâtiments à Cordoue, Espagne (en climat méditerranéen). L'Ecart Thermique (ET) ou la différence de température entre la Température Maximale Extérieure (TME) et la température des patios, est retenu pour évaluer l'effet tampon des espaces intermédiaires. Ils prennent la TME sur la toiture et une autre étude prend la TME de la station météo locale (Zakhour, 2015). Cette recherche fera les deux.

---

<sup>29</sup> La campagne de mesures prévue au Gaou Bénat a été annulée au dernier moment suite à la pandémie de Covid.



Les capteurs extérieurs : 1 : la rue NS / EO ; 2 : le patio ouvert ; 3 : le patio couvert sous le porte-à-faux avec 4 : l'anémomètre. Les capteurs intérieurs : B = buanderie ; Ch = chambre ; C = couloir



Figure 4-2 : Le Merlier : les plans et des photos des maisons 2 (M2) et 5 (M5) des mesures in situ.



L'Ecart Thermique ET1 par rapport à la Température Maximale Extérieure de Météo-France s'écrit avec l'équation (4.1). L'Ecart Thermique ET2 à la Température Maximale Extérieure de la toiture (au Village Grec) ou la rue (Merlier), s'écrit avec l'équation (4.2).

$$ET1 = TME \text{ Météo-France} - T_{\text{patio}} \quad (4.1)$$

$$ET2 = TME \text{ toiture/rue} - T_{\text{patio}} \quad (4.2)$$

Dans un deuxième temps, l'Amplitude Thermique Journalière ATJ, ou la différence entre la température maximale et minimale journalière, est également étudiée. Plusieurs études des 10 dernières années en Chine lient l'effet d'une grande Amplitude Thermique Journalière sur la santé, notamment sur des accidents vasculaires cérébraux (Yang et al., 2018). Finalement, l'analyse du confort extérieur et intérieur se base sur le diagramme de confort de Givoni, pour les raisons évoquées dans le chapitre 3.

La maison du Village Grec se trouve au croisement de la rue EO et NS (Figure 4-1). Elle a deux patios ouverts : le patio d'accès au sud et le patio privé au nord. Les deux sont rectangulaires, avec des H/L de 0,32 et 0,77 dans les deux directions. Dans la grille des patios de Muhaisen (Figure 4-3) ils se trouvent en bas à gauche : R1 de 8,9 et R2 de 0,4 pour le patio d'accès ; R1 de 9,3 et R2 de 0,7 pour le patio privé (Muhaisen, 2006). Il y a quelques plantes basses dans le patio d'accès, et quelques plantes grimpantes sur les murs du patio privé.

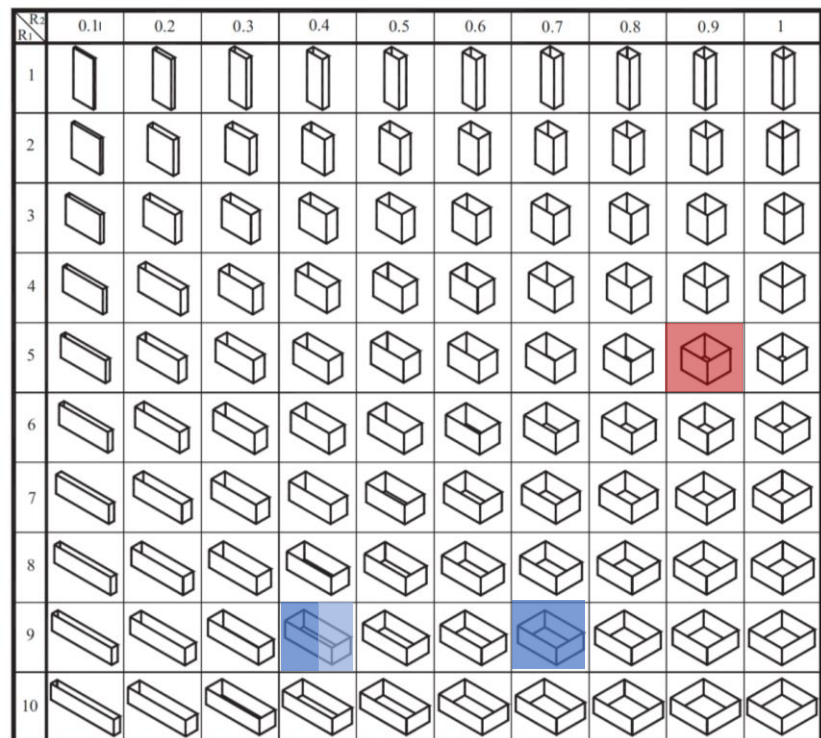


Figure 4-3 :  
bleu : Village Grec ; bleu clair : Merlier ; rouge : Diz-Mellado  
la grille des patios de Muhaisen : R1 = périmètre/H ; R2 = W/L. Source : (Muhaisen, 2006, p. 1733)





Figure 4-4 :  
Des terrasses suspendues devant les maisons dans les villages traditionnels de Gassin et Ramatuelle autour du Merlier.

Les capteurs extérieurs sont positionnés dans le patio privé (au niveau du point 4 de la rue NS), dans le patio d'accès (au niveau du point 2 de la rue NS), et sur la toiture terrasse. L'anémomètre est également sur la toiture terrasse. Les capteurs intérieurs sont positionnés dans le couloir, qui se trouve à côté du patio d'accès ; dans le séjour qui est entre le patio d'accès et le patio privé ; et dans le bureau, qui donne sur le patio d'accès et se trouve collé aux maisons voisines avec des murs communs sur deux côtés. Le capteur de déplacement d'air se trouve dans le séjour et enregistre la ventilation naturelle nocturne. Les volets et les fenêtres restent fermées pendant la journée et sont ouverts à la tombée de la nuit (avant 22h30) et le matin de 6h15 à 8h.

Les données de Météo-France pour la période des mesures in situ (Tableau 4-1) indiquent qu'il faisait légèrement plus chaud qu'une journée représentative du mois de juillet ( $23,4^{\circ}\text{C}^{30}$ ). L'Amplitude Thermique Journalière des jours de mesures est comprise entre  $4,9$  et  $5,6^{\circ}\text{C}$ . Ceci est moins que les  $10,3^{\circ}\text{C}$  des statistiques de Météo-France pour le mois de juillet.

Tableau 4-1 : Village Grec :  
les données maximales, minimales et moyennes de Météo-France pendant les mesures 20-23/7/21.

	<b>T max Météo- France (<math>^{\circ}\text{C}</math>)</b>	<b>T min Météo- France (<math>^{\circ}\text{C}</math>)</b>	<b>T moy Météo- France (<math>^{\circ}\text{C}</math>)</b>	<b>Vent moy Météo- France (m/s)</b>
Jour 1	28,3	22,7	25,8	3,1
Jour 2	27,5	22,5	24,9	3,7
Jour 3	27,2	22,3	24,1	2,6

Les deux maisons sélectionnées au Merlier se trouvent sur la rue étudiée dans le chapitre 3 (Figure 4-2). La maison 2 (M2) est en haut de la pente, à côté de la zone verte confortable (points 7 et 7-2). La maison 5 (M5) est sur le croisement de la rue NS et EO, en bas de la pente et dans la zone inconfortable (points 6 et 10). Les rez-de-chaussée des deux maisons sont partiellement enterrés dans la pente. Les patios latéraux, de forme rectangulaire, longent toute la maison du côté sud. Ils sont très longitudinaux avec des H/L de 0,85 dans la largeur et de 0,31 dans la longueur. Ils se trouvent en bas à gauche sur la grille de Muhaisen (Figure 4-3) : R1 de 8,8 et R2 de 0,4 (Muhaisen, 2006). La partie ouest est couverte par un porte-à-faux, créant un patio couvert. L'étage fait 5m de large, et couvre entièrement la largeur du patio (2,6m). Dans le patio de la maison 2, il y a quelques plantes basses le long du mur sud, sans que la hauteur des plantes dépasse la hauteur du mur. Ce qui différencie le patio de la maison 5, c'est le mur de clôture qui ferme le patio par un garde-corps de 1 m, surmonté de la végétation. De plus, il est suspendu par rapport à la rue. Il s'agit d'une terrasse suspendue telle que décrite dans le chapitre 2. Ce type de patio, caractérisé par un garde-corps et de la végétation, est très courant dans les villages traditionnels de Gassin et Ramatuelle autour du Merlier (Figure 4-4).

<sup>30</sup> c'est la valeur statistique de la température moyenne de Météo-France du Tableau 2-2.

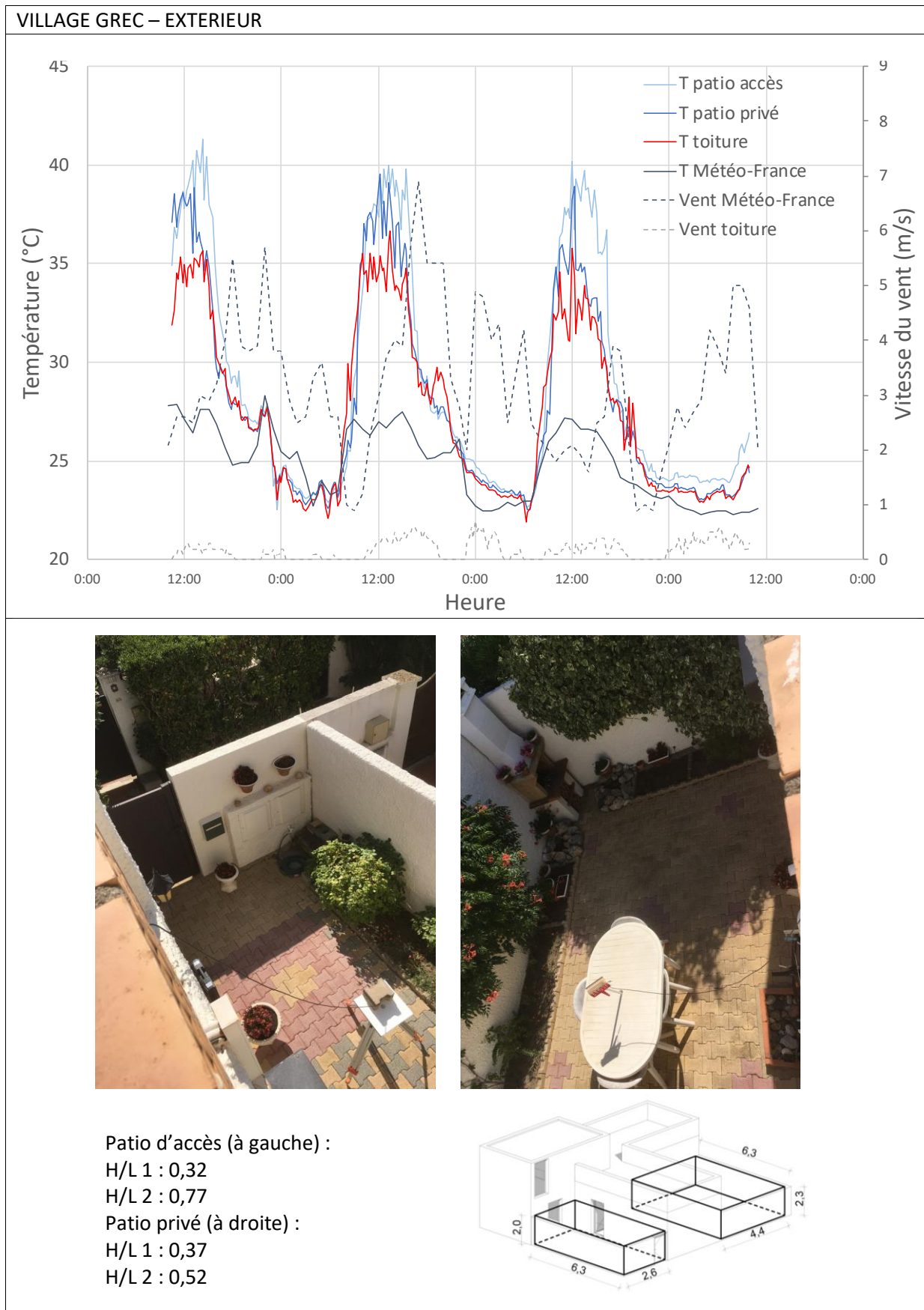


Figure 4-5 : Village Grec : Les mesures in situ extérieures.

Les mesures se déroulent pendant trois jours dans la maison 2 et le quatrième jour dans la maison 5. Les capteurs extérieurs se trouvent dans la rue NS (maison 2) ou EO (maison 5), dans le patio ouvert et dans le patio couvert sous le porte-à-faux. L'anémomètre se trouve dans le patio couvert. A l'intérieur, ils se trouvent dans les espaces attenants. La chambre se trouve à côté du patio ouvert et la buanderie à côté du patio couvert et de la rue. Le couloir est entièrement déconnecté des espaces extérieurs et donne sur un mur enterré. Le capteur de déplacement d'air est positionné sur l'escalier entre le rez-de-chaussée et l'étage, et enregistre la ventilation naturelle nocturne. L'ensemble des capteurs est fixé à 1m du sol. Afin de simuler un usage « expert » (Batier, 2016), les volets et les fenêtres sont ouverts pendant la nuit (de 22 à 8h), mais restent fermées pendant la journée.

Pendant la campagne de mesures in situ (Tableau 4-2), il faisait plus chaud qu'une journée représentative du mois de juin (20,9<sup>31</sup>°C). Les jours 3 et 4 il a fait plus chaud, avec des maxima dépassant 27°C. L'Amplitude Thermique Journalière des jours de mesures est comprise entre 3,5 et 6,8°C. Ceci est inférieur à la valeur statistique de Météo-France de 7,3°C pour le mois de juin.

Tableau 4-2 : Le Merlier :  
les données maximales, minimales et moyennes de Météo-France pendant les mesures 18-23/06/21.

	T max Météo- France (°C)	T min Météo- France (°C)	T moy Météo- France (°C)	Vent moy Météo- France (m/s)
Jour 1 – M2	25,8	21,6	22,9	5,8
Jour 2 – M2	24,8	21,3	22,6	6,0
Jour 3 – M2	27,8	21,0	23,9	4,7
Jour 4 – M5	27,0	20,6	23,4	5,2

## 4.2 Les espaces intermédiaires extérieurs

### 4.2.1 Le patio ouvert

Au Village Grec, par rapport aux données de Météo-France, le vent mesuré sur la toiture terrasse est très atténué (Figure 4-5). Le vent mesuré fluctue de manière quasi-identique au vent de Météo-France, mais sa vitesse représente entre 3 et 8% de ce dernier. L'atténuation est plus forte que dans la rue (chapitre 3), où elle était 1 à 15 %. Ceci induit que la toiture terrasse est moins accessible au vent que la rue. Aux raisons mentionnées au chapitre 3, se rajoute un garde-corps d'un mètre, qui fonctionne comme brise-vent, même si deux parties sont réalisées en claustras de terre cuite. Sur la Figure 4-6, on voit bien l'effet de la brise de mer de l'après-midi, suite au réchauffement plus rapide de la terre par rapport à la mer. La nuit, la terre refroidit plus rapidement et la direction change : la brise de terre souffle avec une direction NO. Pendant la journée, les températures des espaces extérieurs observés sont plus chaudes que les températures de

<sup>31</sup> c'est la valeur statistique de la température moyenne de Météo-France du Tableau 2-2.

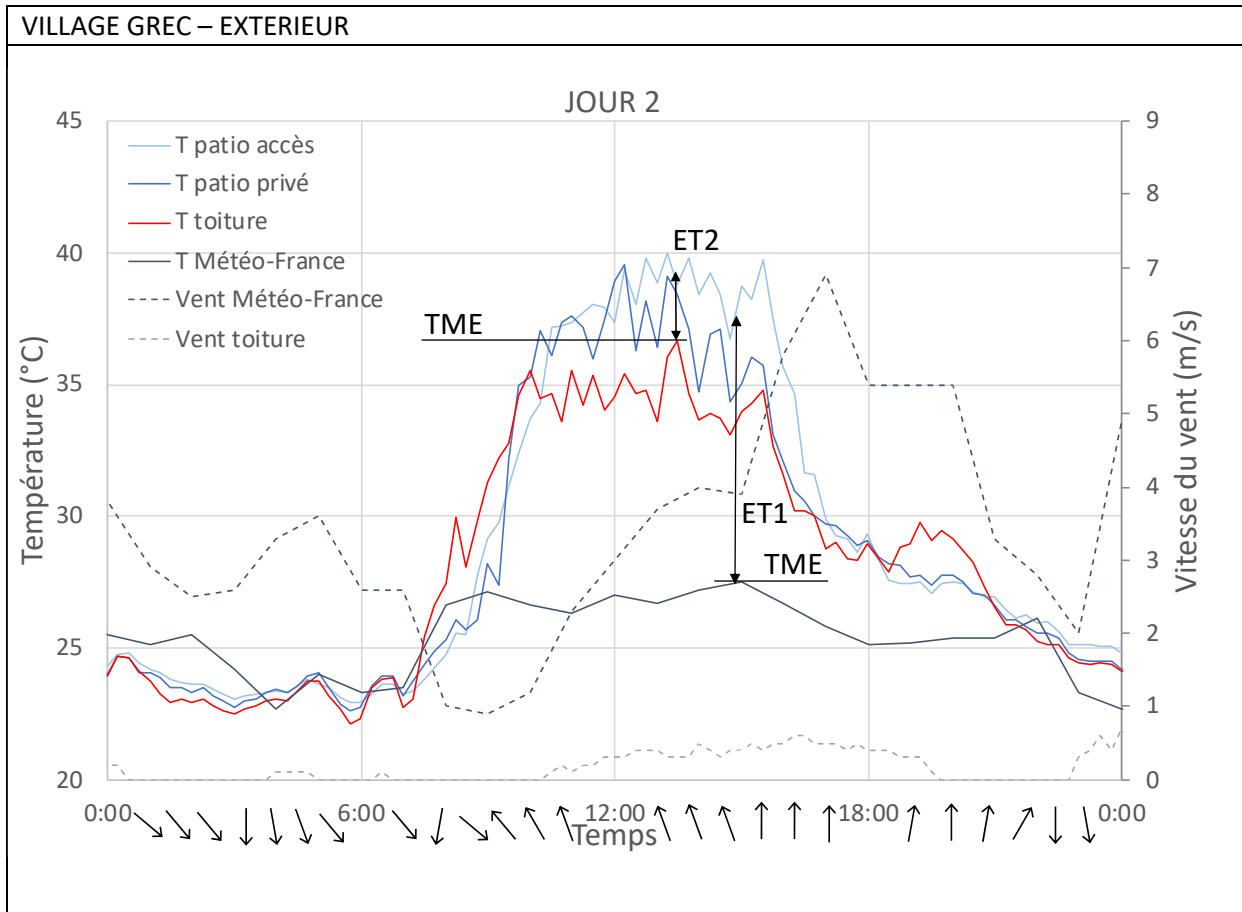


Figure 4-6 : Village Grec : Les mesures in situ extérieures :  
haut : agrandissement sur le jour 2 ; flèches en bas : direction du vent de Météo-France.

Tableau 4-3 : Village Grec :

ET : l'Ecart Thermique entre la température maximale extérieure (TME)  
et la température des espaces intermédiaires.

	Jour 1	Jour 2	Jour 3
ET1 : TME Météo-France (°C)	22h00	15h00	11h00
Patio d'accès	0,8	-11,2	-10,7
Patio privé	1,0	-7,5	-8,0
Toiture	1,0	-6,4	-5,5
ET2 : TME Toiture (°C)	14h15	13h30	12h00
Patio d'accès	-5,7	-2,1	-4,4
Patio privé	0,0	-1,8	-2,5

Météo-France. Deux nuits sur trois, elles redescendent en-dessous, indiquant que la chaleur absorbée pendant la journée est restituée la nuit et qu'un ICU n'est pas systématique. La troisième nuit, au moment le plus frais à 4h, une différence de température de  $1,1^{\circ}\text{C}^{32}$  est observée entre les espaces extérieurs et la station Météo-France. Ceci est inférieur aux  $4,3^{\circ}\text{C}$  mesurés à Cordoue (Diz-Mellado et al., 2021) et correspond au fait qu'en général, l'ICU est plus grand en zone urbaine qu'en zone périurbaine (Oke, 1982). Le patio d'accès est l'endroit le plus chaud et dépasse les  $40^{\circ}\text{C}$  pendant les trois jours de mesures (Tableau 4-4) : c'est un vrai four ! Il affiche des températures plus élevées que le patio privé et pendant plus longtemps, suite à l'orientation sud (le patio privé est orienté nord). Les murs de clôture (hauteur 2 à  $2,3\text{m}$ ) ne font pas longtemps d'ombre suite à la forme rectangulaire orientée EO. En plus du rayonnement direct, le rayonnement diffus et réfléchi sur les murs et le sol ont un impact. La réverbération des murs blancs avec un grand albédo n'aide pas à tempérer la température. La toiture terrasse est l'endroit le plus frais, avec  $21,9^{\circ}\text{C}$  très tôt le matin.

Tableau 4-4 : Village Grec :  
PA : Patio d'Accès ; PP : Patio Privé ; T : Toiture  
les mesures maximales et minimales / moyennes du 20-23/7/21.

	Tmin PA (°C)	Tmax PA (°C)	Tmin PP (°C)	Tmax PP (°C)	Tmin T (°C)	Tmax T (°C)	Va max (m/s)	Va moy (m/s)
Jour 1	22,5	41,3	22,6	38,	22,1	35,7	0,3	0,1
Jour 2	22,7	40,0	22,5	39,6	21,9	36,7	0,7	0,2
Jour 3	23,9	40,2	23,0	38,9	22,9	35,8	0,6	0,2

En regardant l'Ecart Thermique ET1 par rapport aux températures de Météo-France (Tableau 4-3), la tendance générale des patios ouverts est un écart important, jusqu'à plus de  $11^{\circ}\text{C}$ . C'est-à-dire qu'il fait jusqu'à  $11^{\circ}\text{C}$  plus chaud dans le patio d'accès qu'à la station Météo sur le Cap à Leucate. Les mesures de Météo-France sont prises sous abris et ne prennent donc pas en compte le rayonnement, au contraire des mesures in situ, mais ceci ne peut pas expliquer un tel écart. L'absence de vent se fait sentir. Le premier jour, le moment le plus chaud de la journée est vers 22h le soir (Figure 4-5). A ce moment-là, le vent change de direction, allant de la brise de mer de l'après-midi, à la brise de terre nocturne, amenant de la chaleur et un pic de température. Ce phénomène est aussi visible le deuxième jour vers 22h (Figure 4-5), mais le pic de température est moins grand. En tout cas, ceci explique pourquoi les températures des espaces extérieurs sont plus basses que celles de Météo-France le premier jour (Tableau 4-3).

Afin d'interpréter le fonctionnement des patios par rapport à une référence locale, l'Ecart Thermique ET2 par rapport à la Température Maximale Extérieure de la toiture est calculé (Figure 4-6 et Tableau 4-3). Il fait jusqu'à  $5,7^{\circ}\text{C}$  plus chaud dans le patio d'accès que sur la toiture terrasse ; et jusqu'à  $2,5^{\circ}\text{C}$  dans le patio privé.

<sup>32</sup> c'est la valeur moyenne entre les trois espaces (toiture :  $0,7^{\circ}\text{C}$  ; patio d'accès :  $1,7^{\circ}\text{C}$  ; patio privé :  $0,8^{\circ}\text{C}$ ).



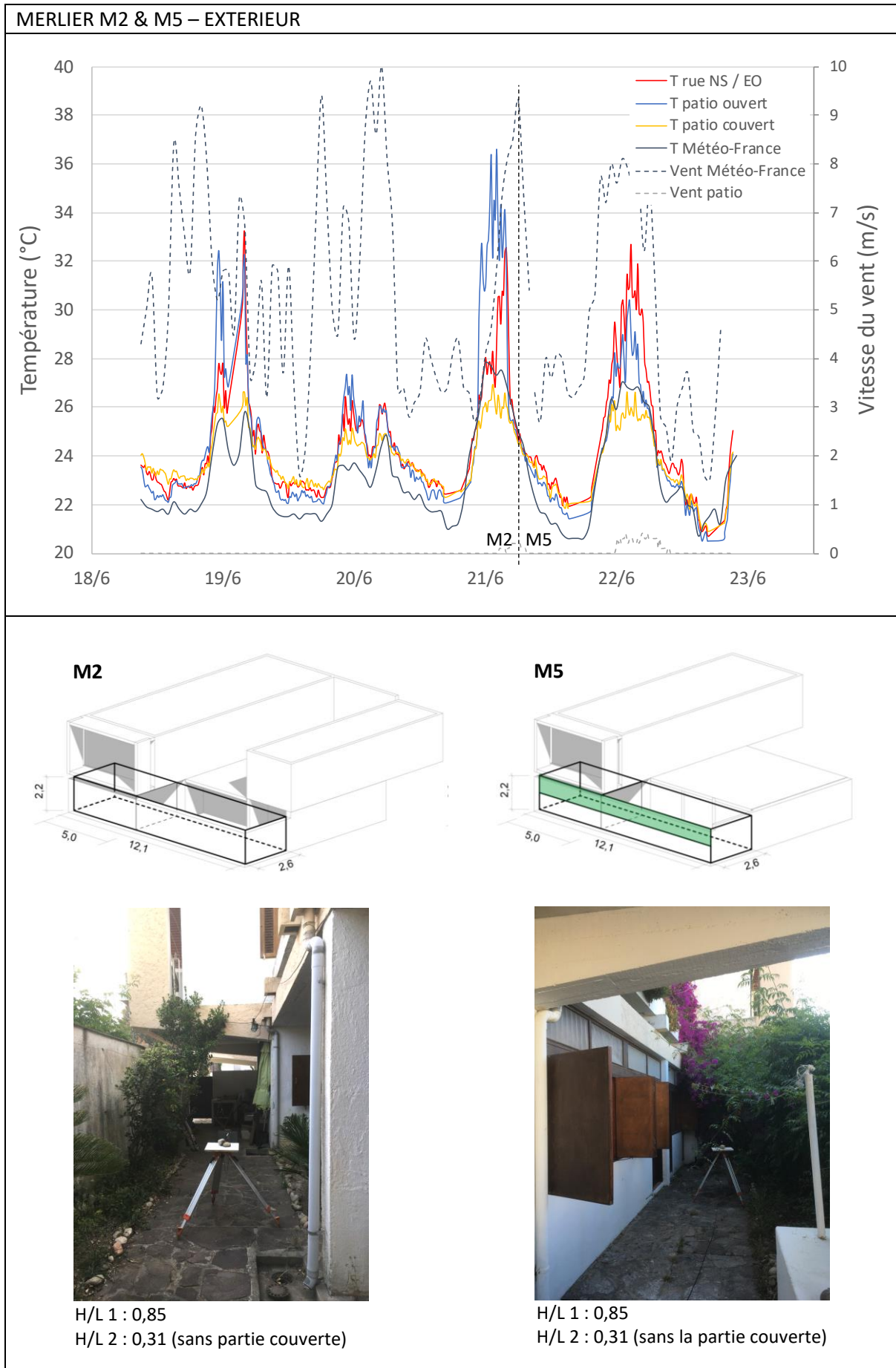


Figure 4-7 : Le Merlier : les mesures in situ extérieurs des maisons 2 et 5.



Mis à part le matin tôt pendant trois heures, quasiment toutes les températures dépassent celle de la toiture. La toiture est ventilée, ce qui impacte la température. De manière générale, pendant la journée les patios ouverts chauffent beaucoup plus que la toiture. La nuit, le patio d'accès rafraichit légèrement moins que la toiture (maximum 1°C). L'effet thermique du patio ouvert dans cette configuration est un amplificateur de chaleur, donc plutôt un point de chaleur qu'un point de fraîcheur. Ceci a été relevé aussi par d'autres études (Zamani et al., 2018).

Les maisons 2 et 5 du Merlier sont très fermées au vent. Malgré un vent Météo-France puissant (Tableau 4-2), le vent ne rentre pas ou peu dans le patio couvert, sauf l'après-midi du troisième jour quand la direction du vent change et souffle du SO (Figure 4-7 et Tableau 4-5). Le patio couvert n'est donc pas très accessible au vent, même si le déplacement de feuilles par terre et les tremblements d'herbe témoignent d'un déplacement d'air subtil. Celui-ci n'est pas détectable par l'anémomètre qui a une résolution de 0,1m/s. Pendant la journée, les températures des patios ouverts sont plus hautes que les températures de Météo-France. La plupart des nuits, elles restent au-dessus, indiquant que la chaleur absorbée pendant la journée n'est pas restituée la nuit et qu'il y a un ICU dans cette morphologie. Au moment le plus frais de la nuit, dans la rue il fait 1,3°C plus chaud qu'à la station Météo-France au Cap Camarat, dans le patio ouvert 1,1°C<sup>33</sup> (Figure 4-8). La cinquième nuit, il fait plus frais dehors, il n'y a pas d'ICU. Ces valeurs d'ICU sont moins élevées que celle de 4,3°C mesurée à Cordoue (Diz-Mellado et al., 2021). De nouveau, ceci correspond au fait qu'en général, l'ICU est plus grand au centre-ville qu'en zone périurbaine (Oke, 1982). Il faut noter que l'ICU du Merlier est légèrement supérieur à celui du Village Grec, qui n'est pas systématique, malgré des journées plus chaudes (moyennes au-dessus de 24°C pour le Village Grec, en-dessous de 24°C au Merlier). Ceci peut être expliqué par la micro-végétation sous forme de haies qui habille les rues du Village Grec. La végétation est connue pour avoir un impact sur l'ICU (Busato et al., 2014). De plus, les H/L de la rue du Village Grec sont plus petits qu'au Merlier (chapitre 3 : Tableaux 3-3 et 3-7). La chaleur y est moins piégée et les rues rafraichissent plus rapidement (Oke, 1988).

Tableau 4-5 : Le Merlier :  
PO : Patio Ouvert ; PC : Patio Couvert

les mesures maximales, minimales et moyennes du 18-23/06/21.

	Tmin PO (°C)	Tmax PO (°C)	Tmin PC (°C)	Tmax PC (°C)	Va max PC (m/s)	Va moy PC (m/s)
<b>M2</b>						
Jour 1	22,1	32,4	22,9	26,6	0	0
Jour 2	22,1	27,4	22,6	25,1	0	0
Jour 3	22,1	36,6	22,3	26,9	0,2	0
<b>M5</b>						
Jour 4	21,4	30,4	21,9	26,6	0,4	0,1

<sup>33</sup> Ce sont les moyennes sur quatre nuits.

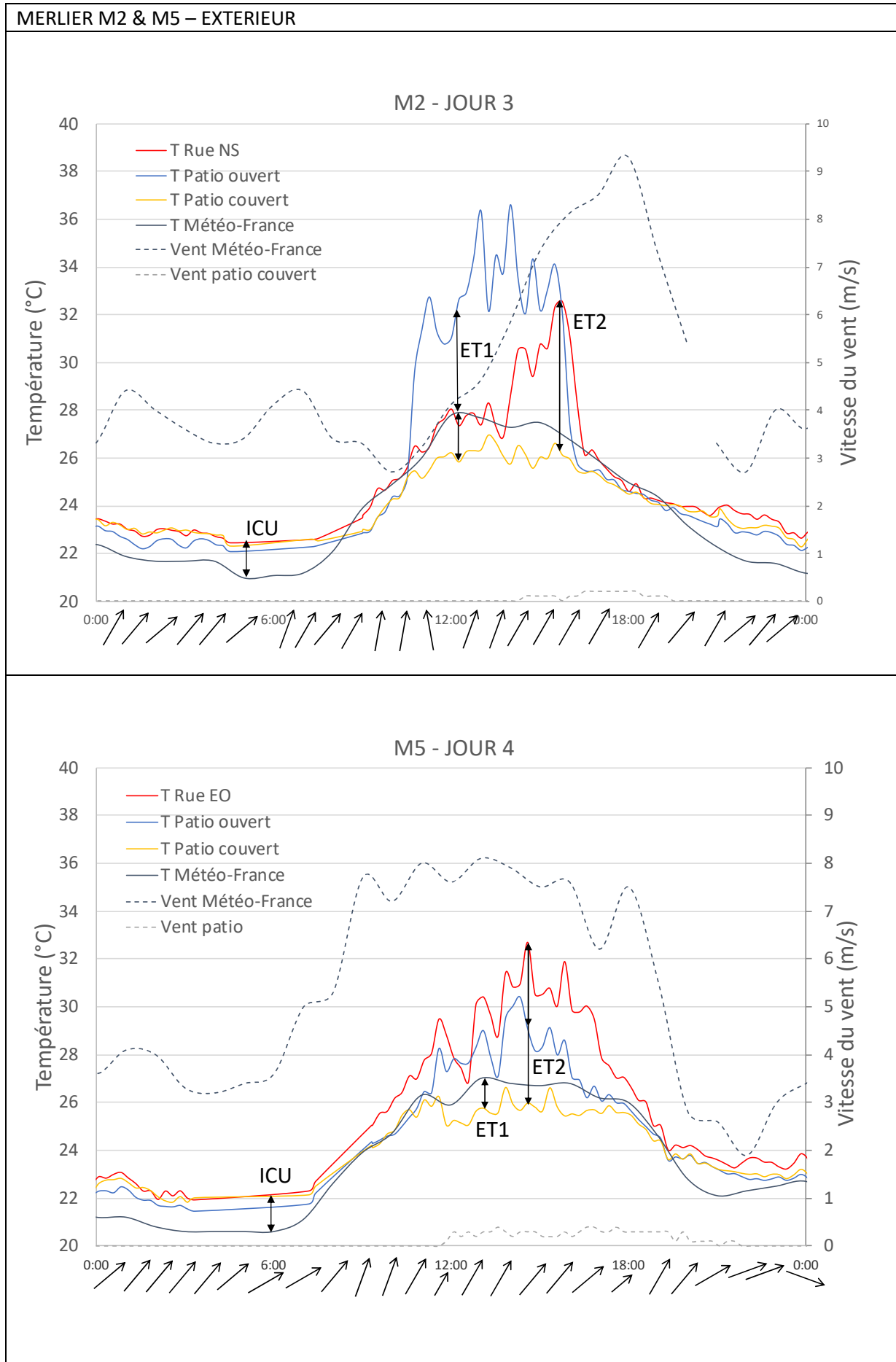


Figure 4-8 : Le Merlier : les mesures in situ extérieures : flèches en bas : direction du vent de Météo-France.

Les jours 3 et 4 sont les jours les plus chauds, avec une moyenne dépassant 24°C (Tableau 4-2 et Figure 4-7). Ces jours-là, les températures des patios suivent les courbes Météo-France, tant qu'il n'y a pas de rayonnement direct. Elles sont même légèrement en dessous, ce qui fait deviner le fonctionnement d'un patio en climat chaud. Les jours plus frais, jours 1 et 2, les courbes des patios dépassent celles de Météo-France la journée entière.

Au moment le plus chaud de la journée, il fait entre 0,5 et 3,5°C plus chaud dans les patios ouverts des maisons 2 et 5 qu'à la station Météo-France (ET1 : Tableau 4-6 et Figure 4-8). Le rayonnement direct du soleil et le rayonnement réfléchi des surfaces font monter la température. Elle monte moins dans la maison 5, car il y a un garde-corps de 1m avec de la végétation et une position suspendue, ce qui le rend accessible au vent. L'élévation de la terrasse suspendue par rapport à la rue et la présence de la placette devant y contribuent. De plus, la végétation crée de l'ombre et empêche le rayonnement direct de rentrer dans le patio.

Comparé à la rue NS, le patio ouvert de la maison 2 est plus chaud la plupart du temps. Il fonctionne comme un point chaud par rapport à la rue, et certainement pas comme un point frais, même si les ET2 entre la Température Maximale Extérieure et la température du patio des jours 1 et 3 sont respectivement de 1 et 0,5°C (ET2 : Tableau 4-6 et Figure 4-8). Dès le matin, le rayonnement solaire rentre dans le patio. L'après-midi l'écart disparaît, quand l'ombre du porte-à-faux tombe dans le patio. La nuit le patio ouvert refroidit légèrement plus que la rue NS (jusqu'à 1°C).

Tableau 4-6 : Le Merlier :  
l'Ecart Thermique (ET) entre la Température Maximale Extérieure TME  
et les températures des espaces intermédiaires.

		Jour 1	Jour 2	Jour 3	Jour 4
ET1 : TME Météo-France (°C)		16h00	18h00	12h00	13h00
M2	Patio ouvert	-3,5	-0,5	-3,3	
	Patio couvert	-0,5	0,1	1,6	
	Rue NS	-5,2	-0,5	-0,3	
M5	Patio ouvert				-1,8
	Patio couvert				1,3
	Rue EO				-3,3
ET2 : TME rue (°C)		15h50	10h17	15h30	14h35
M2	Patio ouvert	1	-0,4	0,5	
	Patio couvert	6,6	1,3	6,5	
M5	Patio ouvert				3,6
	Patio couvert				6,7

Comparé à la rue EO, on peut noter que dans l'ensemble, il fait plus frais dans le patio de la maison 5 que dans la rue (Figure 4-8). L'ET2 entre la Température Maximale Extérieure de la rue EO et le patio est de 3,6°C (Tableau 4-6). En tout, il n'y a que deux moments plus chauds (autour de 12h30). Ceci indique que le patio fonctionne comme un tampon thermique par rapport à la rue. Les plus grands effets tampon se produisent l'après-midi (approximativement entre 13h et 18h, avec le pic à 16h35). Il faut noter que la rue EO est moins confortable que la rue NS (chapitre 3). Le patio ouvert latéral est tributaire de son habillage et a un effet tampon seulement s'il y a une végétation et un accès à la ventilation.

On peut conclure que le patio ouvert dans cette configuration n'a pas de fonction tampon par rapport à Météo-France. Comme dans les patios ouverts du Village Grec, son effet thermique est plutôt un amplificateur et un point de chaleur qu'un élément tempérant et un point de fraîcheur. Le patio végétalisé et accessible au vent chauffe moins. Le patio peut avoir une fonction tampon par rapport à la rue.

#### 4.2.2 Le patio couvert

La partie ouest des patios est couverte par le porte-à-faux de l'étage, en laissant des fentes entre le mur de clôture et le porte-à-faux. L'ET1 des patios couverts monte jusqu'à 1,6°C (Tableau 4-6). C'est-à-dire qu'au moment le plus chaud de la journée, il fait plus frais dans le patio couvert qu'à la station Météo-France. Le patio couvert a un effet de refroidissement. Il est protégé du soleil la plupart du temps, il n'y a pas de rayonnement direct. Les plus grands écarts s'affichent les jours avec une grande Température Maximale Extérieures (jour 3 et 4) (Tableau 4-2). Plus il fait chaud, plus les patios couverts ont un effet tampon tempérant, et même rafraichissant. Ceci confirme d'autres études (Diz-Mellado et al., 2021 ; Martinelli & Matzarakis, 2017).

Par rapport à la rue, l'ET2 des patios couverts monte jusqu'à 6,7°C (Tableau 4-6). De nouveau, les plus grands écarts s'affichent les jours avec une grande Température Maximale Extérieure (entre 32,6 et 33,2°C) (Tableau 4-5). Le deuxième jour est un jour plus frais, avec une Température Maximale Extérieure de 26,4°C, et l'ET2 est moins prononcé (seulement 1,3°C). La nuit, il fait plus chaud dans le patio couvert que dans le patio ouvert. La température de l'espace sous le porte-à-faux s'approche des températures de la rue en restant légèrement plus élevée. La chaleur n'est que modérément piégée sous le porte-à-faux.

La nuit, les températures sont majoritairement supérieures (Tableau 4-5). La chaleur emmagasinée dans la construction en béton pendant la journée est restituée et bloquée sous le porte-à-faux, de sorte que le patio couvert refroidit moins que la rue et la station de mesure de Météo-France.

La représentation graphique de l'Amplitude Thermique Journalière ATJ visualise bien la diminution de l'amplitude du patio couvert par rapport à la rue ou le patio ouvert (Figure 4-9) : la zone rouge correspond à

l'ATJ de la rue ; la bleue à celle du patio ouvert ; la jaune à celle du patio couvert. Par rapport à celle de Météo-France (3,5 à 6,8°C), seul le patio couvert présente une diminution (2,5 à 4,8°C).

Comparé avec l'étude de Diz-Mellado sur un patio à Cordoue et un ET2 entre 2,5°C et 8,4°C, les ET2 des mesures in situ des patios ouverts du Village Grec et de la maison 2 sont négatifs, et l'effet tampon donc inexistant (Diz-Mellado et al., 2021). En revanche, les ET2 du patio ouvert de la maison 5 (3,6°C) sont du même ordre de grandeur. Bien que Cordoue ait également un climat méditerranéen, l'étude a été menée dans des conditions estivales plus extrêmes (température extérieure maximale autour de 37°C, contre 33,2°C dans cette recherche). Les patios étudiés sont situés au centre du bâtiment, et ils sont moins allongés ( $H/L = 0,81$  et  $0,87$  ; par rapport à  $H/L = 0,85$  et  $0,31$  dans cette étude). Ils sont moins accessibles au soleil, et les capteurs sont positionnés en dehors du rayonnement direct. Cette recherche accentue l'importance de l'accessibilité au vent en climat méditerranéen tempéré, dans les patios latéraux. Ils savaient certainement ce qu'ils faisaient dans les villages traditionnels voisins, où les terrasses suspendues plantées prospèrent (Figure 4-4), et les patios entre la rue et le bâtiment sont rares. Ceci confirme également l'effet positif des patios couverts sur le confort extérieur (ET1 jusqu'à 1,6°C ; ET2 jusqu'à 6,7°C), par rapport aux valeurs de Diz-Mellado (jusqu'à 15,4°C) pour un patio couvert de textile. Les patios peuvent fonctionner comme des tampons thermiques dans le climat méditerranéen tempéré, mais uniquement lorsqu'ils sont combinés avec l'accessibilité au vent et la végétation ; ou lorsqu'ils sont couverts.

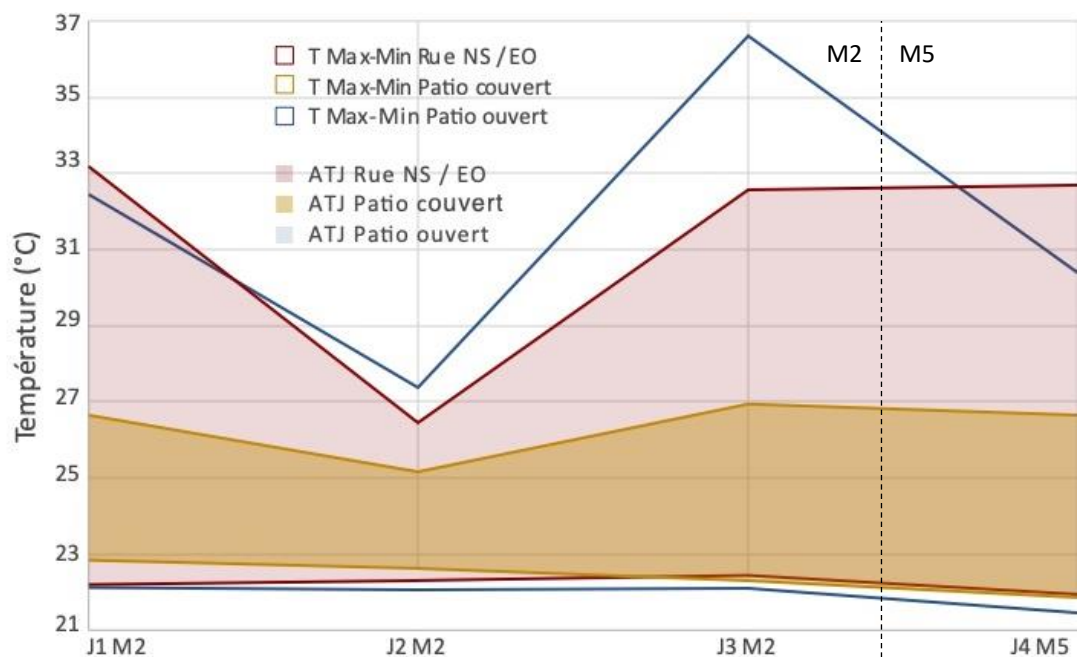


Figure 4-9 : Le Merlier maisons 2 et 5 : l'Amplitude Thermique Journalière (ATJ) du patio couvert est plus petite que celle du patio ouvert.

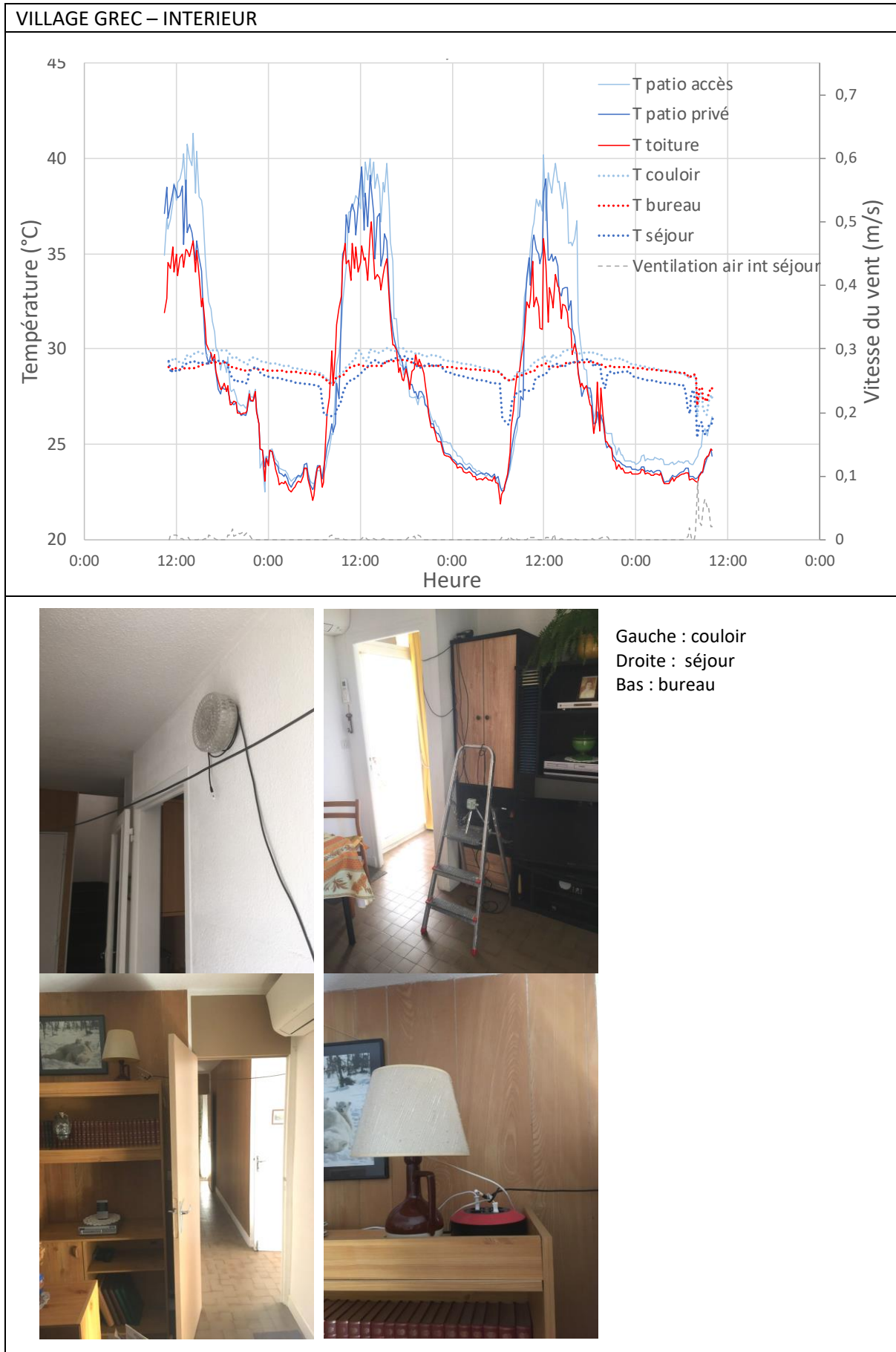


Figure 4-10 : Village Grec : les mesures in situ des espaces intérieurs attenants aux espaces intermédiaires.

### 4.3 Les espaces intérieurs

#### *Village Grec*

La première observation dans les espaces intérieurs du Village Grec est la légère différence de température entre les différentes pièces (Figure 4-10 et 4-11). Le couloir est plus chaud que le bureau et le séjour. Le séjour est la pièce la moins chaude des trois. La différence de température entre le couloir et le séjour varie entre 0,2 et 2,4°C. Ils se trouvent pourtant sous le même toit. Et même avec les fenêtres et les volets fermés, la pièce centrale est plus fraîche que le couloir. Le séjour a comme seule ouverture une fenêtre orientée nord qui donne sur le patio privé, et le couloir a une fenêtre orientée sud qui donne sur le patio d'accès.

La différence de température entre le couloir et le bureau varie entre -0,7 et 0,9°C. Le couloir est plus chaud que le bureau, sauf le matin du troisième jour (à 9h). Le pic des écarts autour de 0,9°C se produit au début de l'après-midi (entre 13-15h). Le couloir donne sur le patio d'accès avec une fenêtre au sud, sans protection solaire. Comme décrit plus haut, le patio d'accès est à son tour plus chaud que le patio privé et que la toiture : la température maximale du patio d'accès est jusqu'à 2,5°C plus élevée que celle du patio privé, et jusqu'à 7,8°C plus élevée que celle de la toiture. Le bureau se trouve au fond de parcelle avec deux murs communs avec les maisons voisines. Le troisième mur est un mur intérieur et le quatrième donne sur le patio d'accès avec une fenêtre orientée à l'est. En plus, le bureau se trouve sous un étage. On pourrait penser que le bureau a une configuration assez compacte et protégée du rayonnement solaire, et donc une situation thermique favorable.

La compacité est préconisée dans des climats méditerranéens (Ratti et al., 2003). Le bureau est la pièce la plus compacte et la moins exposée à l'environnement extérieur, avec seulement une façade extérieure. Il a également la plus petite amplitude thermique (1,1°C) (Tableaux 4-8). Le séjour en revanche, n'est pas compact du tout, avec trois façades et la toiture exposées à l'extérieur. Il a la plus grande amplitude (4,1°C), mais également la température la moins élevée (25,4°C) grâce à la ventilation nocturne. L'effet thermique possible de la compacité n'est pas décisif et n'apporte pas de fraîcheur à la pièce. Il y a très peu d'accessibilité à la ventilation : il n'y a pas de ventilation transversale suite au positionnement au fond de la parcelle et des murs communs, et il n'y a qu'une fenêtre. Le bureau aurait besoin d'une ventilation pour optimiser sa situation compacte. L'équilibre entre la compacité et un bâtiment facilement ventilé n'est pas toujours facile à trouver. Cette question a été relevée par d'autres avant, notamment dans le contexte de la maison à patio, qui est moins compacte, mais qui favorise la ventilation (Diz-Mellado et al., 2021 ; Garcia, 2018 ; Izard, 1993 ; Ratti et al., 2003 ; Salat et al., 2011b).



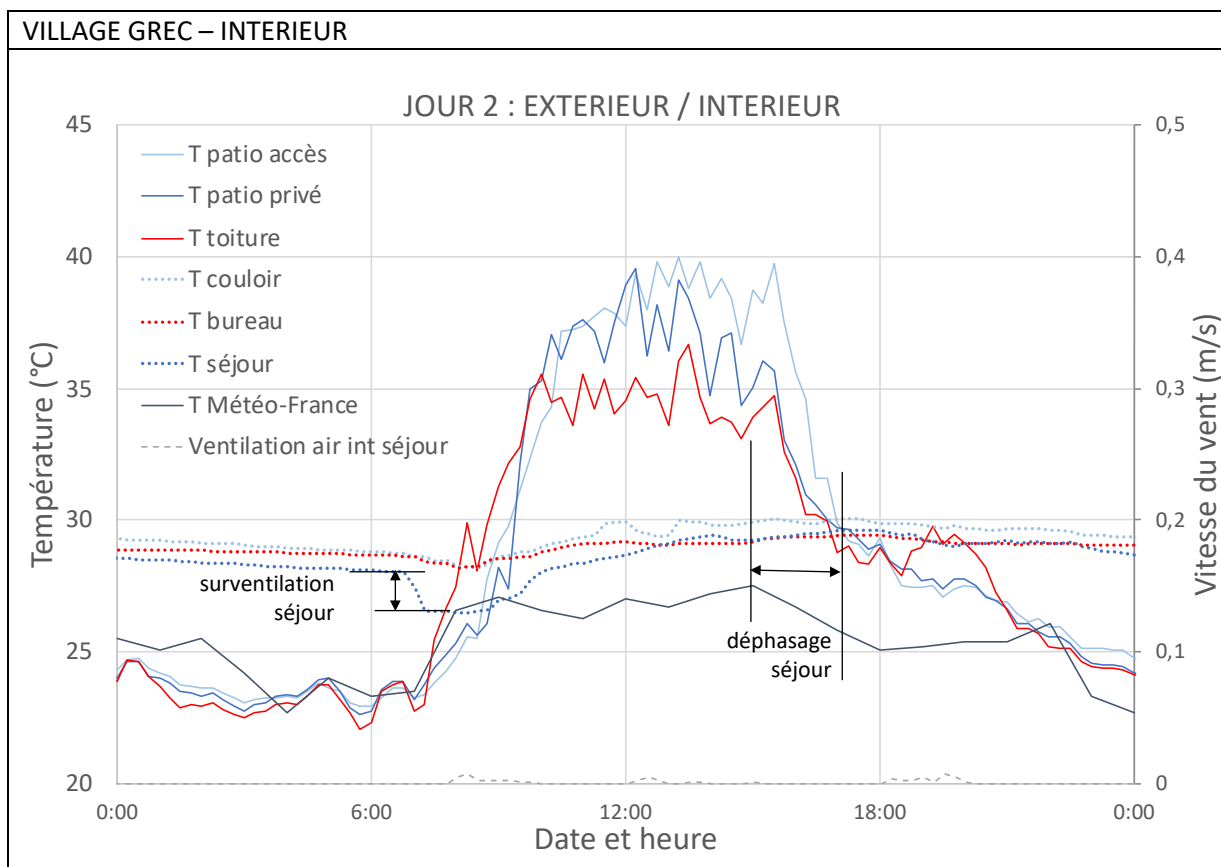


Figure 4-11 : Village Grec : les mesures in situ des espaces intérieurs attenants aux espaces intermédiaires  
Agrandissement sur le jour 2. Ouverture des fenêtres et volets pour une (sur)ventilation de 6h15 à 8h.

Tableau 4-7 : Village Grec

Inertie : Le déphasage (h) entre la Tmax extérieure (Météo-France) et Tmax intérieure.

Inertie Village Grec (h)	Jour 1 11h	Jour 2 15h	Jour 3 11h
Couloir	6	0,5	4,5
Bureau	5,5	2,5	6,5
Séjour	6	2,25	6,25

Tableau 4-8 : Village Grec

Amplitude thermique dans les espaces intérieurs.

Amplitude Village Grec (°C)	Jour 1	Jour 2	Jour 3
Couloir	1,8	1,8	3,6
Bureau	1,1	1,1	2,3
Séjour	3,0	3,6	4,1

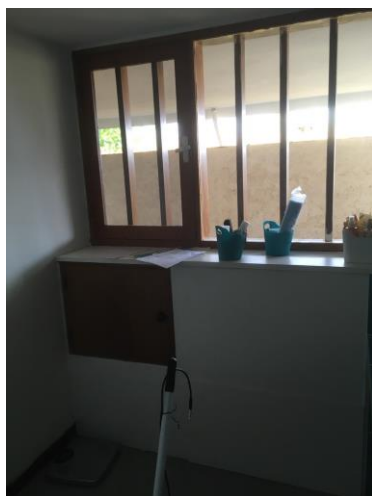
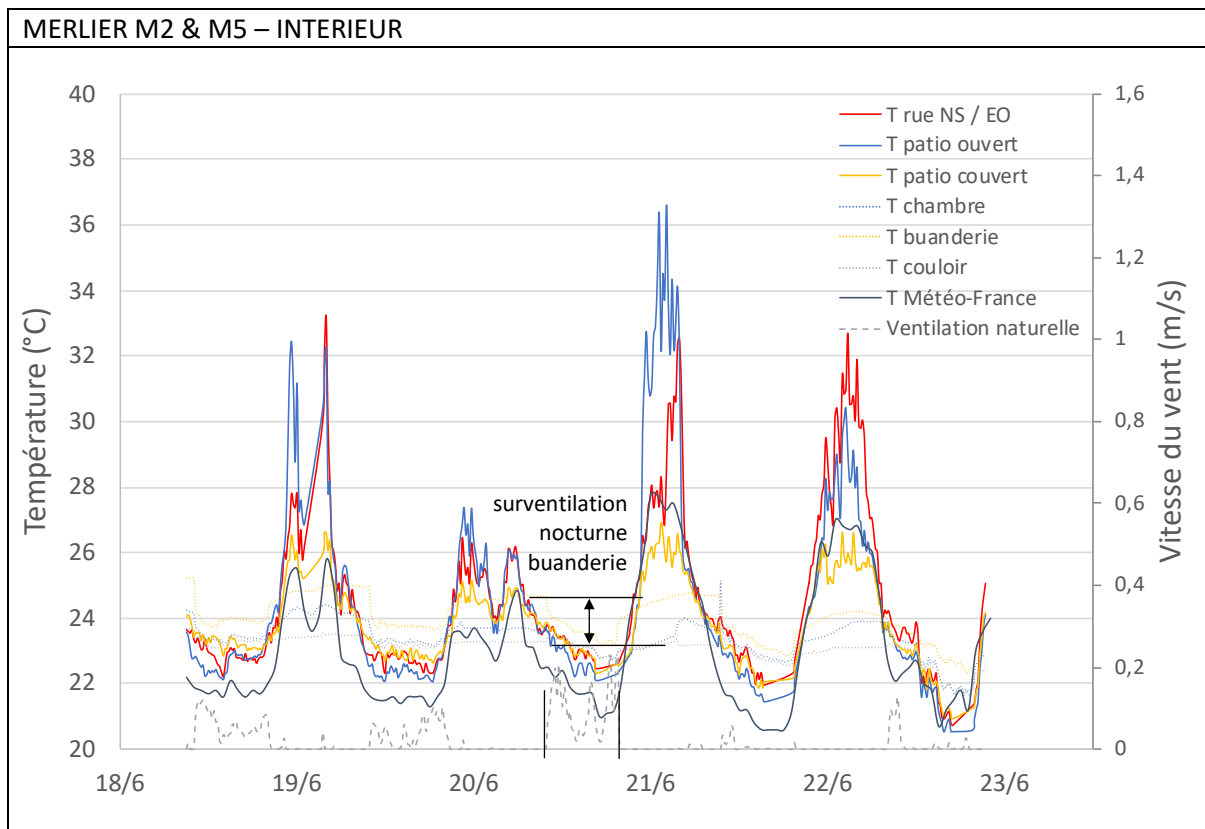
La température extérieure mesurée sur la toiture varie entre 21,9°C (fin de la nuit) et 36,7°C (début de l'après-midi). La température dans le séjour varie entre 25,4°C et 29,6°C (amplitude entre 3 et 4,1°C). Au moment où il fait 36,7°C dehors, il fait 29,3°C dans le séjour, soit 7,4°C de moins qu'à l'extérieur. Ceci grâce à l'inertie du bâtiment, couplée à une ventilation nocturne.

Afin d'étudier l'inertie, le déphasage est observé (Figure 4-11 et Tableau 4-7). C'est le temps que le bâtiment nécessite pour atteindre la température maximale après le pic de température extérieure (Météo-France). Le bâtiment atteint sa température maximale avant l'ouverture des fenêtres, de sorte que la ventilation n'impacte pas le déphasage. La moyenne est de 4,4h. Ceci correspond au 4,4h de la valeur référence théorique pour une paroi béton non isolée (Chahwane, 2011). Les murs en blocs de béton de 20 cm du Village Grec n'offrent donc pas beaucoup d'inertie.

A l'ouverture des portes à 6h15 le matin, le séjour rafraîchit rapidement, et plus que le couloir et le bureau : la température y baisse entre 1,6 et 2,7°C en moins de deux heures (Figure 4-11). Ceci est légèrement moins que les 3,5°C pour deux heures de sur-ventilation, valeur obtenue par simulation (Izard, 1993). La maison a un plan éclaté : la pièce du séjour est traversante et une ventilation transversale est possible.

L'inertie est préconisée dans des climats méditerranéens. Les archétypes méditerranéens aussi ont des murs en matériaux inertes. En même temps, la condition climatique pour la bonne utilisation de l'inertie est une amplitude thermique entre le jour et la nuit de plus de 10°C (Chahwane, 2011 ; Liébard & De Herde, 2005). L'amplitude thermique du Village Grec pour les mois d'été est autour de 10°C (valeurs statistiques Météo-France), et pendant la campagne de mesures entre 4,9 et 5,6°C. Ceci voudrait dire qu'il n'y a pas assez d'écart entre le jour et la nuit pour un fonctionnement optimal. L'inertie seule n'est pas suffisante, mais fonctionne couplée avec une ventilation nocturne.

Les éléments prioritaires du fonctionnement thermique de la maison au Village Grec, qui effectivement font descendre la température dans la maison, sont donc l'orientation et le plan éclaté qui crée un séjour traversant et facilite la ventilation transversale. La stratégie des murs communs et l'étage sur le toit peuvent avoir un certain effet thermique tempérant, mais ce n'est pas ce qui crée la plus grande différence de température. Les murs n'ont pas de grande inertie thermique. L'accent de l'approche de rafraîchissement est la ventilation transversale.



Gauche : buanderie  
Droite : couloir  
Bas : chambre

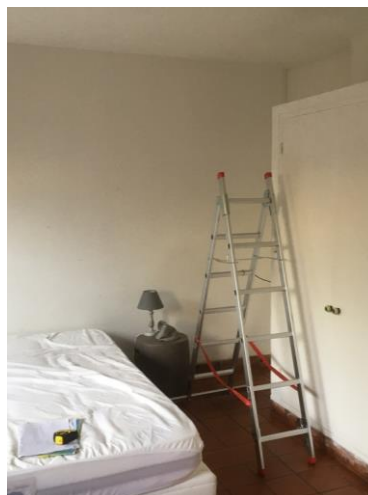


Figure 4-12 : Merlier : les mesures in situ des espaces intérieurs attenants aux espaces intermédiaires.

*Merlier*

Une première observation dans les espaces intérieurs du Merlier montre que la température ne dépasse pas les 25,2°C dans les deux maisons, et qu'il y a des différences de température entre les différentes pièces. Il fait plus chaud dans la buanderie que dans la chambre et le couloir, le jour comme la nuit. La buanderie est pourtant moitié enterrée du côté de la rue. En plus, elle est couverte par un premier étage et en contact avec le patio couvert (qui a un effet tampon dans la journée, mais qui rafraichit moins bien pendant la nuit). Qu'est-ce qui explique donc cette différence de température à cet endroit-là ? Premièrement, la buanderie est la seule pièce qui a deux murs en contact avec l'environnement extérieur. De plus, le patio couvert, en contact direct avec la buanderie, rafraichit moins bien la nuit. La différence de température entre la buanderie et le couloir varie entre 0 et 1,6°C. La température dans la buanderie varie entre 25,2°C et 22,8°C, avec une amplitude thermique entre 1,3 et 2°C.

L'inertie est observée dans les espaces intérieurs par rapport à la température maximale extérieure de Météo-France (Figure 4-13 et Tableau 4-9). En moyenne, les maisons 2 et 5 atteignent leur température maximale respectivement quasiment deux et trois heures après le pic extérieur. L'enveloppe extérieure consiste en une paroi en bois avec des ouvertures. Il n'est donc pas étonnant que l'inertie s'approche de la valeur théorique de 1,1h pour une paroi à ossature légère en bois (Chahwane, 2011). C'est une très petite inertie. La condition climatique pour la bonne utilisation de l'inertie est une amplitude thermique entre le jour et la nuit de plus de 10°C (Chahwane, 2011 ; Liébard & De Herde, 2005). L'amplitude thermique du Cap Camarat pour les mois d'été est autour de 7,5°C (valeur statistiques Météo-France), et pendant la campagne de mesures entre 3,5 et 6,8°C. Comme au Village Grec, il n'y a pas assez d'écart entre le jour et la nuit pour un fonctionnement de l'inertie thermique optimale.

Les espaces intérieurs ont pourtant des petites amplitudes thermiques grâce à l'effet du mur enterré (Tableau 4-10) : une amplitude maximale de 2,5°C avec une amplitude extérieure de 9°C. De plus, le couloir varie très peu, avec une amplitude moyenne de 0,6°C dans la maison 2 et de 1,4°C dans la maison 5. Il a une température quasi-constante, entre 22,5 et 23,9°C. Grâce au mur souterrain du fond, il n'y a presque aucune influence extérieure. Ces valeurs sont comparables avec une étude sur des habitations troglodytes traditionnelles semi-enterrées dans des rochers, avec des températures intérieures et constantes de 20-21°C (températures estivales maximales autour de 38°C) (Cardinale et al., 2010). Avec les valeurs mesurées de 22,5 à 23,9°C (températures maximales autour de 33°C), les maisons du Merlier ne sont pas aussi fraîches que ces maisons rocheuses, mais le potentiel de fraîcheur de la terre a un effet bien réel.

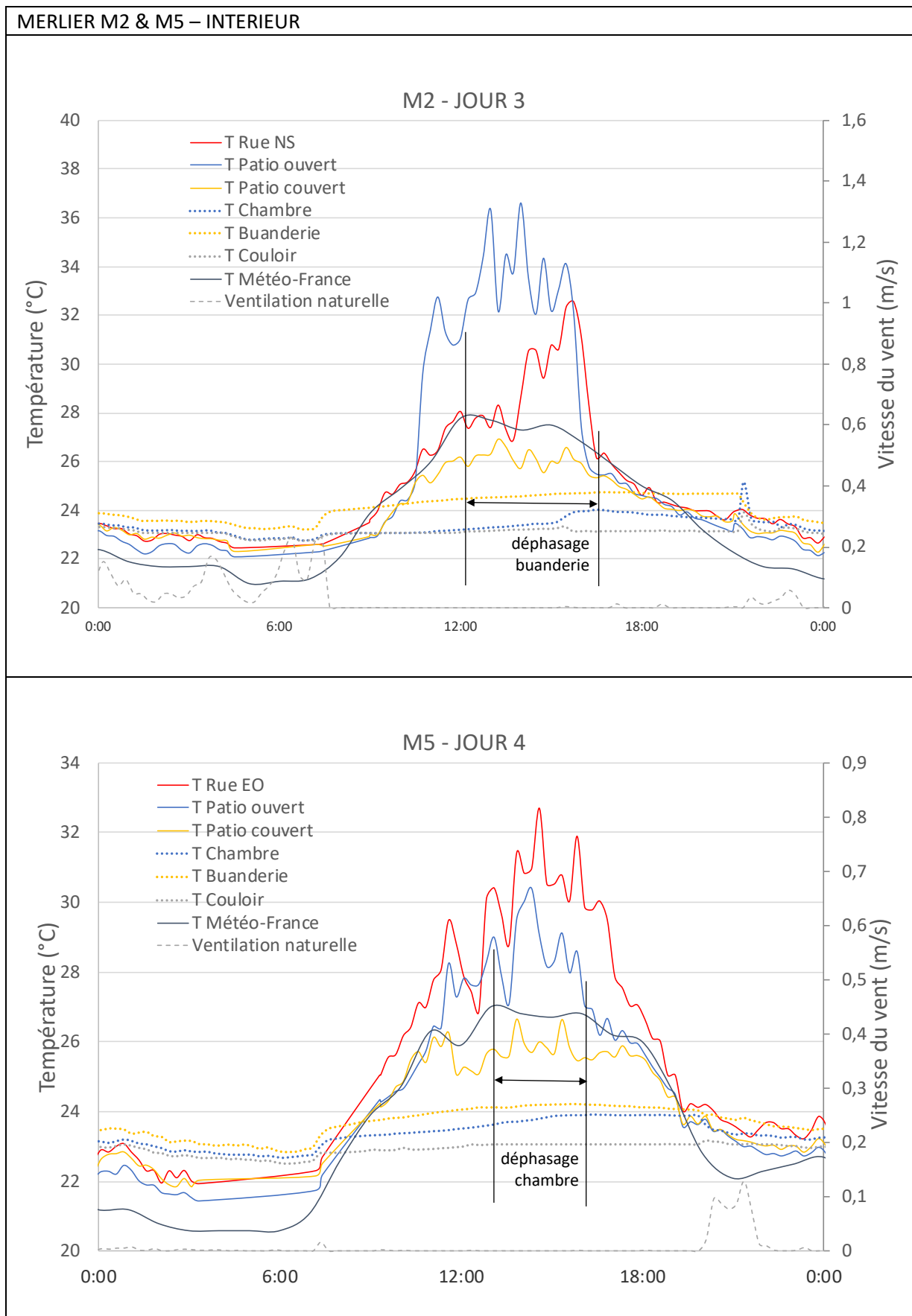


Figure 4-13 : Merlier : les mesures in situ des espaces intérieurs attenants aux espaces intermédiaires.  
Haut : maison 2 – agrandissement sur le jour 3 ; bas : maison 5 – agrandissement sur le jour 4.  
Les fenêtres et volets sont ouverts de 22h à 8h pour la sur-ventilation nocturne.

A l'ouverture des fenêtres et des volets à 22h, il y a une chute de température, qui est la plus visible dans la buanderie. La surventilation nocturne la rafraîchit de 1,5°C sur toute la nuit (Figure 4-12), pour 0,8°C pour la chambre. Ceci est moins que le séjour du Village Grec, car les pièces ne sont pas traversantes. La buanderie est pourtant en lien avec l'escalier qui mène à l'étage et qui permet une ventilation nocturne verticale.

Tableau 4-9 : Merlier :  
Inertie : Le déphasage (h) entre la Tmax extérieure (Météo-France) et Tmax intérieure.

Inertie Merlier (h)		Jour 1	Jour 2	Jour 3	Jour 4
		16h	18h	12h	13h
M2	Buanderie	0,4	0	4,7	
	Chambre	0,2	1,2	4,5	
M5	Buanderie				2,6
	Chambre				3,3

Tableau 4-10 : Merlier :  
Amplitude thermique des espaces intérieurs.

Amplitude Merlier (°C)		Jour 1	Jour 2	Jour 3	Jour 4
M2	Buanderie	1,5	1,3	2,0	
	Chambre	1,2	0,8	1,3	
	Couloir	0,6	0,4	0,7	
M5	Buanderie				1,5
	Chambre				2,5
	Couloir				1,4

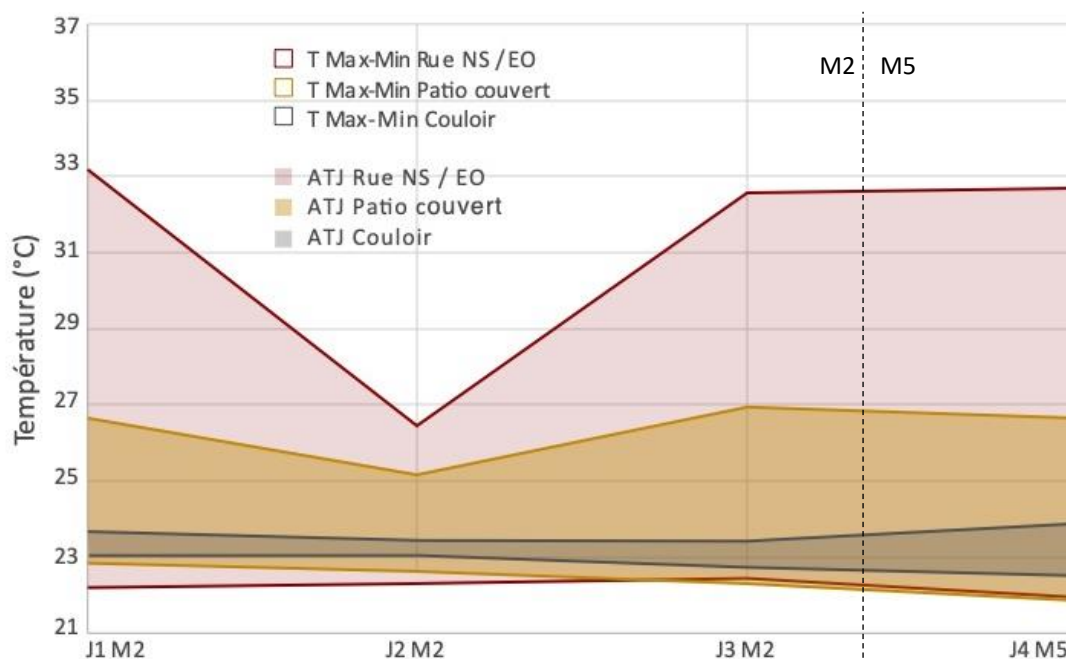


Figure 4-14 : Le Merlier maisons 2 et 5 :  
une petite amplitude thermique entre 0,4 et 1,4°C dans le couloir illustre l'effet tempérant des murs enterrés.

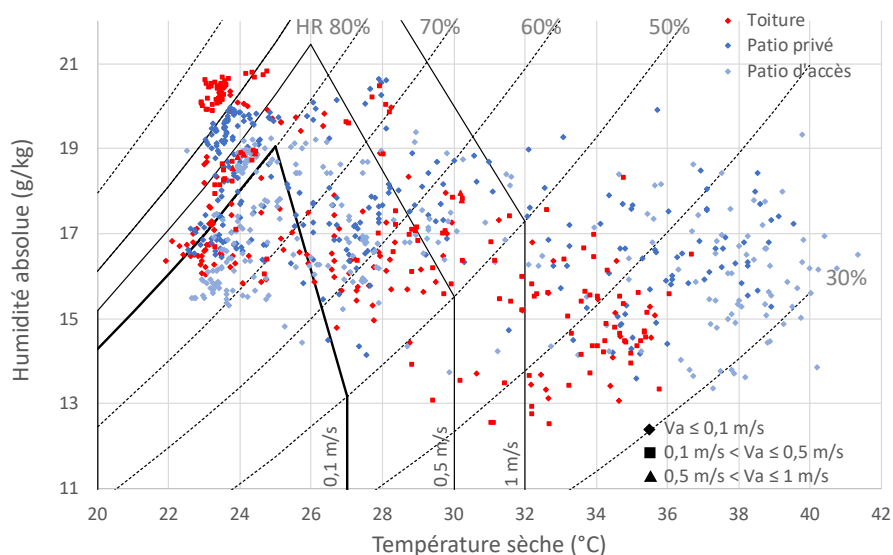


Figure 4-15 :  
Village Grec : le diagramme de confort des espaces extérieurs, pendant le jour et la nuit.

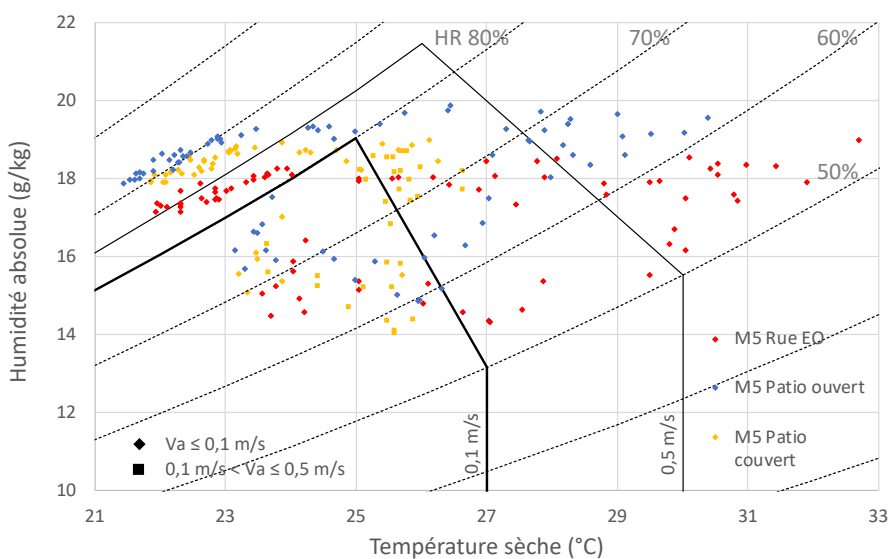
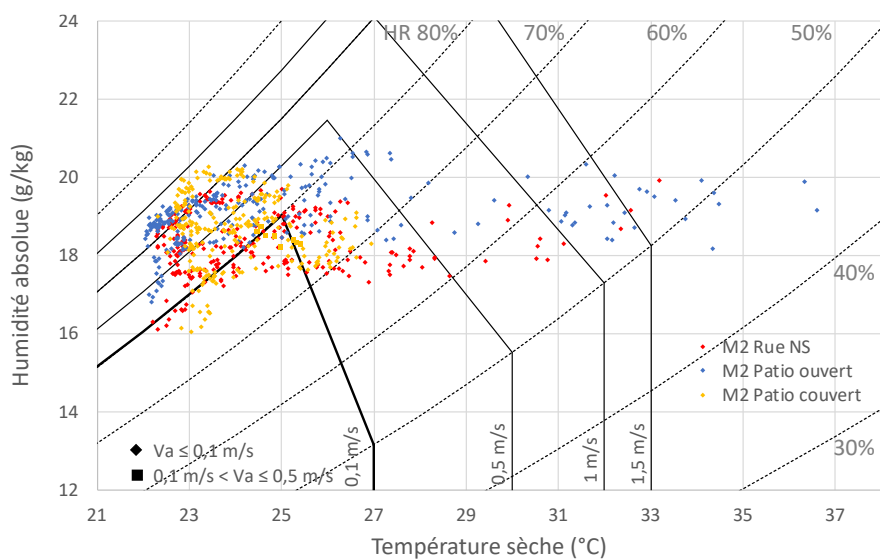


Figure 4-16 :  
Merlier : Le diagramme de confort des espaces extérieurs, pendant le jour et la nuit.



La chambre est attenante au patio ouvert. Celui-ci marche comme un four (température maximale jusqu'à 36,6°C), mais refroidit facilement la nuit. Est-ce que ces changements de température ont un effet sur l'espace intérieur ? On voit en effet que la température de la chambre monte pendant la journée, mais elle ne monte pas plus que dans la buanderie, qui pourtant se trouve à côté du patio couvert (le patio ouvert est beaucoup plus chaud que le patio couvert). Ceci pourrait être le cas parce que la chambre n'a qu'un mur en contact avec l'environnement extérieur. Elle est pourtant couverte d'un toit terrasse exposé, et non pas d'un étage qui pourrait faire une isolation supplémentaire. L'influence tempérant du couloir et son mur enterré est plus grande que celle du patio ouvert, qui fonctionne comme un four.

Les éléments prioritaires du fonctionnement thermique des maisons du Merlier, qui effectivement ont un impact sur la fraîcheur de la maison, sont les murs enterrés et la ventilation nocturne verticale. Le fait d'avoir un patio ventilé ou couvert avec un porte-à-faux peut avoir un certain effet thermique tempérant, mais ce n'est pas ce qui crée la plus grande différence de température. L'accent de l'approche de rafraîchissement est l'hyper-inertie de la terre, à travers l'encastrement (partiel) des murs enterrés, et la ventilation nocturne verticale.

#### 4.4 L'(in)confort thermique suivant Givoni

##### 4.4.1 Les espaces intermédiaires extérieurs

Le diagramme de confort de Givoni des espaces intermédiaires extérieurs du Village Grec (Figure 4-15 et Tableau 4-11) montre un patio d'accès plus confortable que le patio privé (25 % par rapport au 15% du patio privé). Les moments de confort se situent durant les deux premières nuits. L'inconfort est créé par des températures trop élevées et l'absence de vent. La troisième nuit est très humide, et également inconfortable. Les patios ouverts des maisons 2 et 5 du Merlier sont très inconfortables (Figure 4-16 et Tableau 4-11). Ils sont confortables durant moins du quart de la période suivie (respectivement 2 et 23%), et les moments confortables se produisent à partir de 17h30 du quatrième jour, suite à une baisse d'humidité absolue. L'inconfort est causé par une humidité élevée. Les rez-de-chaussée des deux maisons sont partiellement enterrés dans la pente, expliquant la forte humidité. Le patio couvert de la maison 5 est confortable à peu près de la moitié du temps (55 %) (Figure 4-16 et Tableau 4-11). Comme dans les patios ouverts, l'inconfort est causé par l'humidité relative élevée des rez-de-chaussée moitié enterrés. La situation moins confortable, mais aussi plus chaude de la rue (chapitre 3) est donc à l'origine d'une situation moins humide et plus confortable dans le patio de la maison 5.

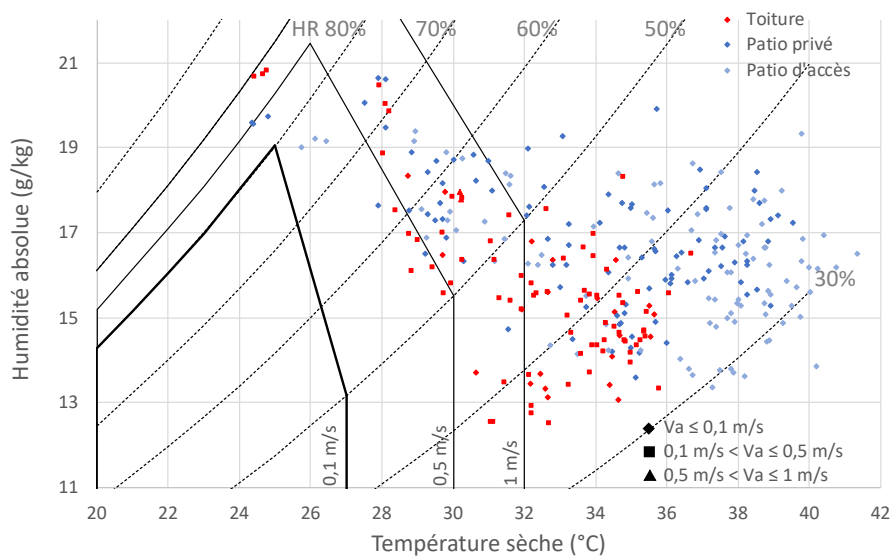


Figure 4-17 :  
Village Grec : le diagramme de confort des espaces extérieurs, pendant la journée.

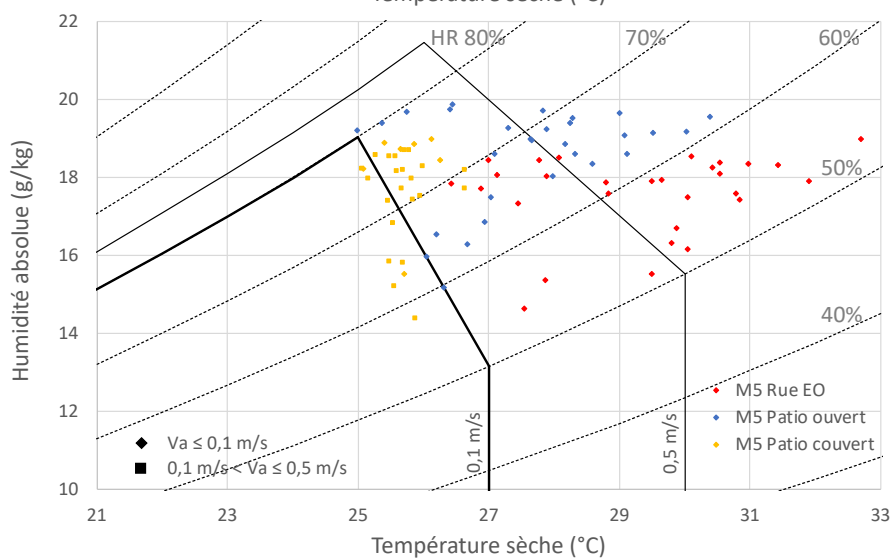
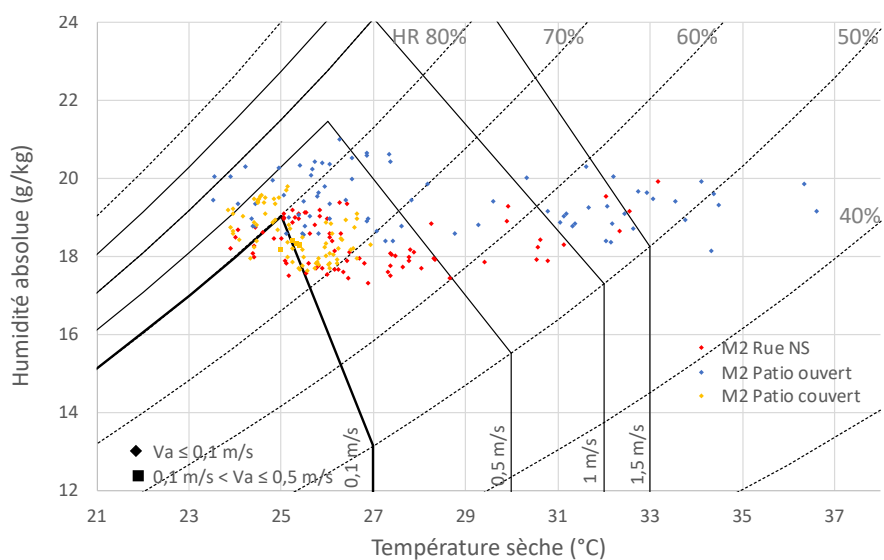


Figure 4-18 :  
Merlier : Le diagramme de confort des espaces extérieurs pendant la journée.

Comme il s'agit d'étudier l'(in)confort des espaces extérieurs pendant la journée, et afin de pouvoir étudier le lien entre la « rue fraîche » du chapitre 3 et ces espaces, il est intéressant de vérifier le confort pendant la journée, et plus spécifiquement pendant la période d'étude du chapitre 3 : entre 9h30 et 17h30 au Village Grec ; entre 10h15 et 17h15 au Merlier. Les figures 4-17 et 4-18 et le tableau 4-11 montrent un changement considérable. Tous les espaces, sauf le patio couvert, sont moins confortables quand seules les mesures journalières sont prises en compte. Ceci indique que la plupart des moments confortables se situent durant la nuit, sauf pour le patio couvert. La majorité des mesures qui se trouvent dans la zone de confort des deux maisons, ont été prises autour de 16-17h.

*Tableau 4-11 :  
Récapitulatif du confort des espaces intermédiaires extérieurs.  
PP = Patio Privé ; T = Toiture ; PA = Patio d'Accès  
PO : Patio Ouvert ; PC = Patio Couvert*

Confort (%)			
Jour et nuit		Jour:	
<b>Village Grec</b>		<b>9h30-17h30</b>	
PP	15	PP	0
T	21	T	2
PA	25	PA	0
<b>Merlier</b>		<b>10h15-17h15</b>	
<b>M2</b>			
PO	2	PO	1
PC	17	PC	22
<b>M5</b>			
PO	23	PO	7
PC	55	PC	79

#### 4.4.2 Les espaces intérieurs

L'interprétation du confort des espaces intérieurs prend en compte toutes les mesures, pendant la journée et la nuit, car les espaces intérieurs sont également utilisés la nuit.

Les espaces en question du Village Grec ne sont pas confortables du tout (Figure 4-19 et Tableau 4-12). Il fait tout simplement trop chaud. Les quelques points de mesures qui s'approchent de la zone de confort apparaissent très tôt le matin (entre 6h15 et vers 10h), autour du moment de l'ouverture de la porte.

Les espaces intérieurs de la maison 2 du Merlier ne sont pas confortables non plus (Figure 4-20). Même si les températures sont raisonnables, l'humidité relative y est très élevée. Les quelques moments de confort se situent autour de minuit la première nuit. Ceci est dû au rez-de-chaussée partiellement enterré et à un manque de ventilation. Les espaces intérieurs de la maison 5 sont plus confortables, à partir de l'après-midi (autour de 16h pour la buanderie, 18h pour la chambre et 20h pour le couloir) (Figure 4-20). Le confort augmente au fur et à mesure que l'humidité absolue diminue avec la chaleur de la journée.

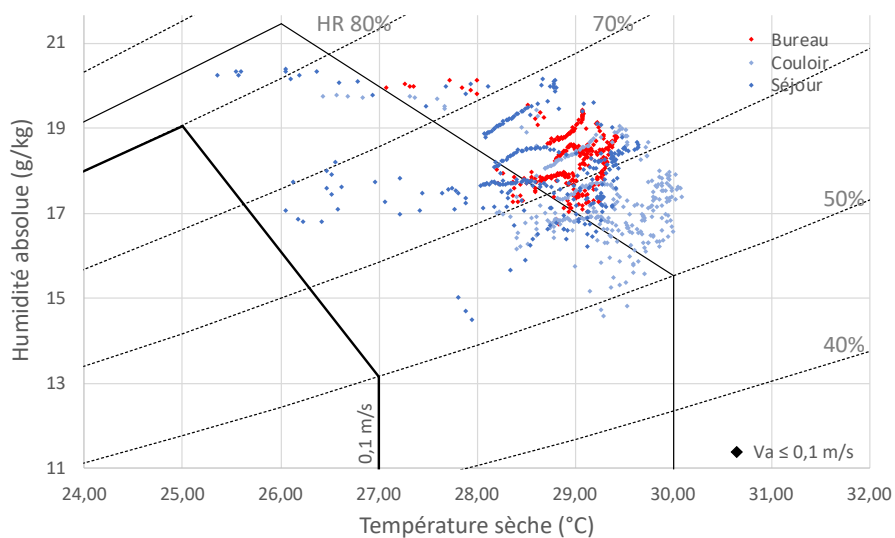


Figure 4-19 :  
Village Grec : le diagramme de confort des espaces intérieur, pendant le jour et la nuit.

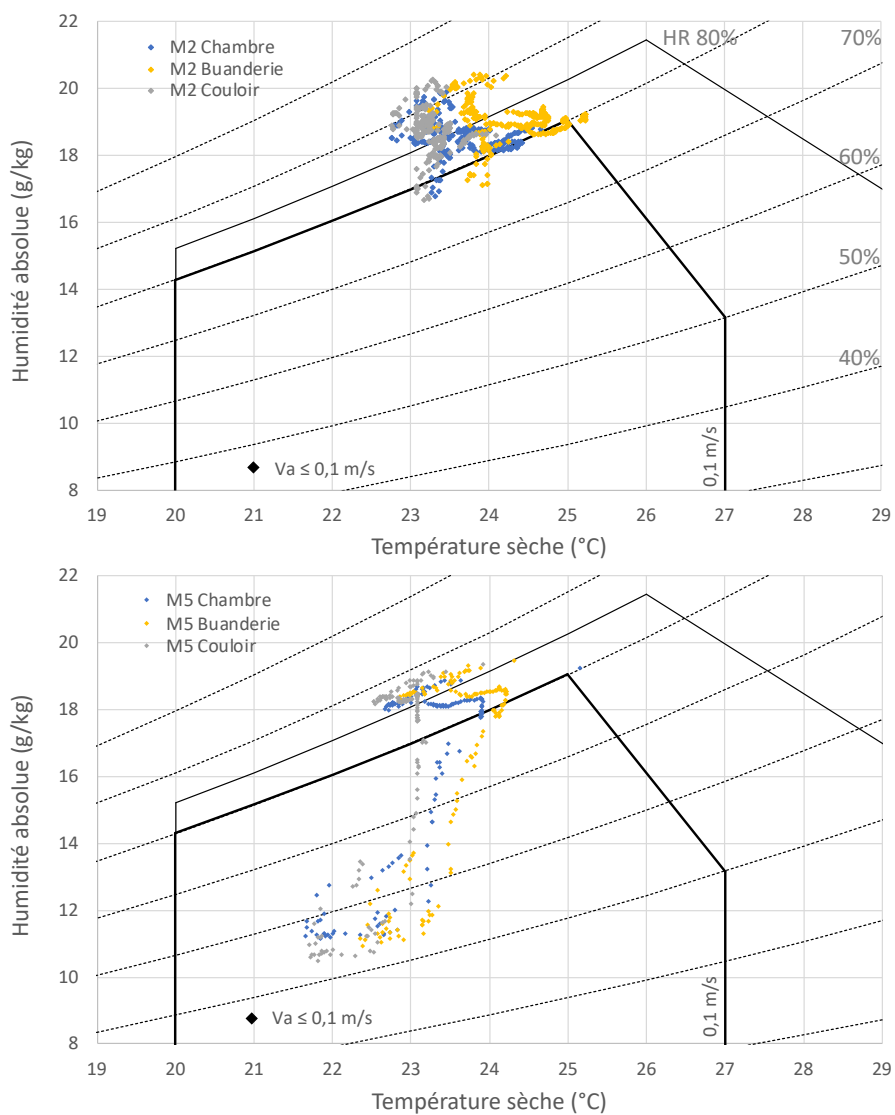


Figure 4-20 :  
Merlier : le diagramme de confort des espaces intérieur, pendant le jour et la nuit.

Il est intéressant d'interpréter les mesures intérieures également par le confort adaptatif de la norme EN F 16798-1, afin d'illustrer les différents points de vue des différentes approches du confort (Figure 4-15). Dans ce but, la température opérative  $\Theta_o$  et la température extérieure moyenne glissante  $\Theta_{rm}$  sont calculées avec les équations (3.1) et (3.2). Le calcul de  $\Theta_{rm}$  est basé sur les valeurs des sept dernières journées de Météo-France. D'habitude,  $\Theta_o$  est calculé avec la température de l'air, la température moyenne radiante  $T_{mrt}$  et la vitesse de l'air. Il est considéré qu'à l'intérieur la vitesse de l'air est nulle et que la  $T_{mrt}$  s'approche de la température de l'air intérieur  $T_a$  : les volets étaient fermés pendant la journée, il n'y avait pas d'apport de rayonnements solaires extérieurs. Dans des bâtiments bien isolés et ombrés on peut considérer que la  $T_{mrt}$  s'approche de  $T_a$  (Fernandez & Lavigne, 2009). La température opérative  $\Theta_o$  est donc représentée comme la température de l'air sur la Figure 4-21.

Les résultats du Village Grec et du Merlier se trouvent entre le fonctionnement optimal et la Catégorie II. C'est-à-dire que moins de 10% de gens sont insatisfaits, ou 90% satisfaits. Ceci est vraiment très surprenant, surtout pour le Village Grec, qui est considéré très inconfortable par le diagramme de Givoni (0%). De plus, le séjour et le bureau sont presque confortables pour 94% des gens (catégorie I). Le séjour est la pièce la plus confortable, qui s'approche le plus de la température optimale, grâce à la ventilation nocturne. Il a fait très chaud les jours avant les mesures, avec des moyennes Météo-France au-dessus de 27,5°C. La température glissante est donc plus élevée que celle du Merlier.

Le rez-de-chaussée du Merlier est plutôt frais. En même temps, en été, en général on est bien content de retrouver de la fraîcheur, même si la température est en-dessous des limites de confort. Cette interprétation du confort thermique ne prend pas en compte l'humidité relative, comme expliqué dans le chapitre 1. Par conséquent, l'élément qui cause l'inconfort dans les maisons avec l'interprétation de Givoni n'est pas visible.

Tableau 4-12 :  
Récapitulatif du confort des espaces intérieurs.

*S = Séjour ; C = Couloir ; B = Bureau*  
*C = Couloir ; Ch = Chambre ; B = Buanderie*

Confort (%) – Jour et nuit	
<b>Village Grec</b>	
<b>S</b>	0
<b>C</b>	0
<b>B</b>	0
<b>Merlier</b>	
<b>M2</b>	
<b>C</b>	2
<b>Ch</b>	8
<b>B</b>	11
<b>M5</b>	
<b>C</b>	47
<b>Ch</b>	46
<b>B</b>	37

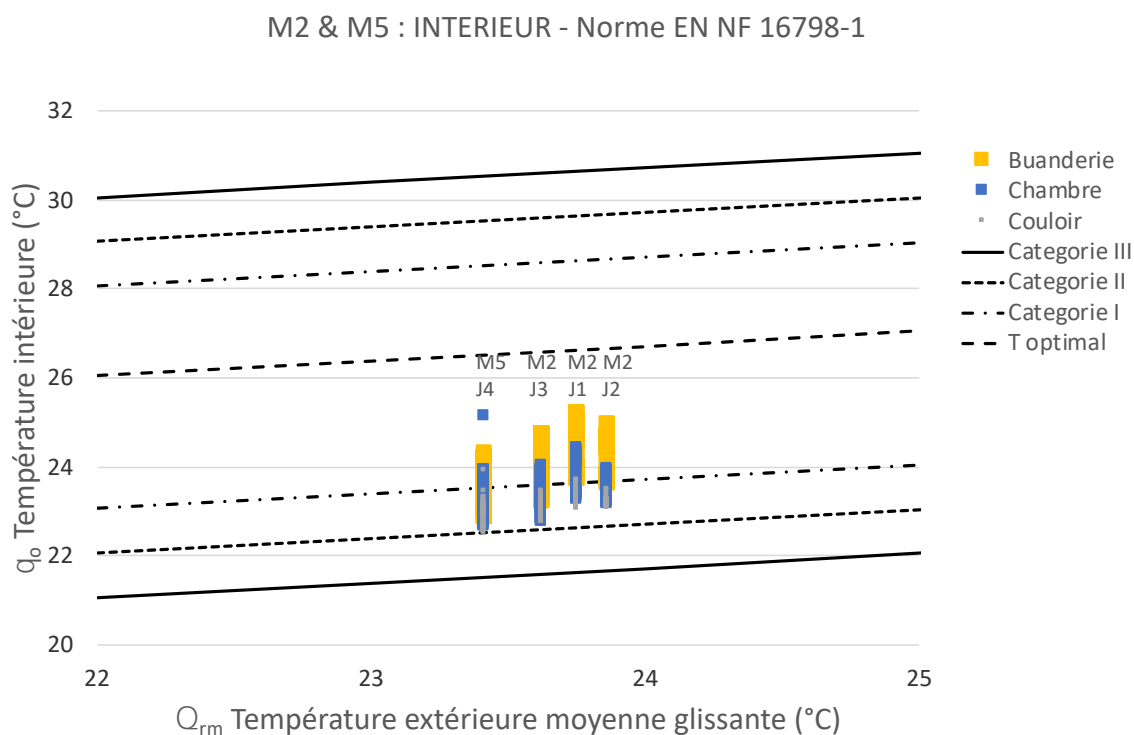
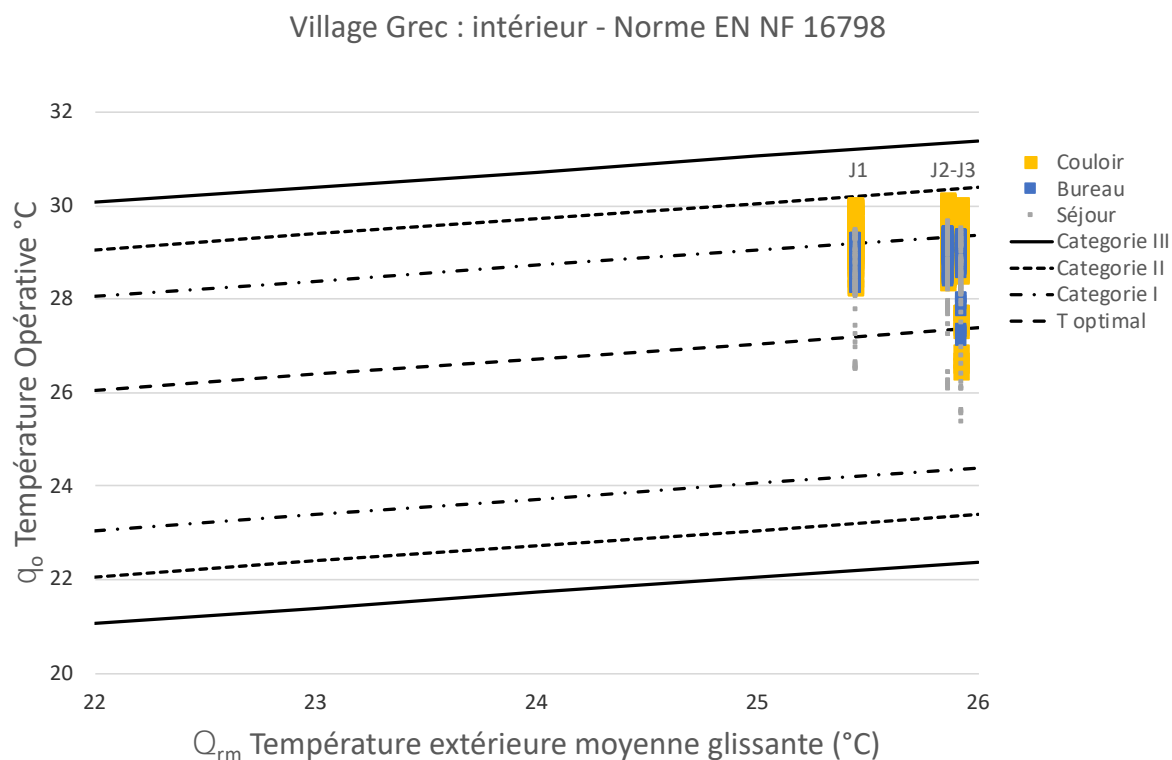


Figure 4-21 : Merlier maisons 2 et 5 :

Les mesures intérieures suivant le confort adaptatif de la norme EN NF 16798-1.

Toutes les mesures se trouvent dans la Catégorie II : 90% de gens sont satisfaits.

Une partie des mesures se trouve dans la Catégorie I : 94% de gens sont satisfaits.

#### 4.5 Le réseau des vides : le lien entre la rue, les espaces intermédiaires et les espaces intérieurs

Revenons sur le réseau des vides, et le lien entre la rue, les patios et l'intérieur de la maison. L'hypothèse avancée est que puisqu'il y a des endroits plus chauds et plus frais dans la rue, il y a un impact de ces endroits dans le patio et/ou dans la maison.

Il n'y a pas de lien clair entre la rue et le patio ou la maison. En revanche, un lien est observable entre le patio et la maison. Le point 2 de la rue NS du Village Grec a été identifié comme un des emplacements les plus chauds (chapitre 3). Le point 2 se trouve devant le patio d'accès de la maison étudiée (Figure 4-1). L'absence de haie et de vent font monter les températures. Les points 3 (devant le séjour) et 4 (devant le patio privé) ont été identifiés comme des endroits plus frais, avec du vent et de l'ombre. Le patio d'accès donne sur le point 2 avec une porte. Le patio d'accès a été identifié comme un four avec un pic thermique jusqu'à 41°C. Le couloir donne sur le patio d'accès avec une porte. Le couloir a été identifié comme la pièce la plus chaude des trois pièces observées.

Afin de le vérifier de manière plus quantitative, les diagrammes de confort de Givoni sont comparés (Tableau 4-13). Les situations entièrement confortables des points 3 et 4 n'ont pas d'impact direct sur le patio privé ou la maison. Les situations les moins confortables de la rue (points 1 et 2), sont en contact avec le patio d'accès. On retrouve l'inconfort des patios (0%) dans les pièces intérieures (0%). Bien qu'affichant une rue assez confortable, le réseau des vides se manifeste ici comme un « lien d'inconfort » entre les espaces intermédiaires et l'intérieur.

La rue NS du Merlier est plus fraîche en haut de la pente (7 et 7-2) qu'en bas (6 et 10) ; la rue EO, qui se trouve en bas de la pente, est plus chaude pendant plus longtemps dans la journée (chapitre 3). Il serait donc plausible que la maison 2 en haut de la pente soit plus fraîche que la maison 5 en bas. La comparaison des deux buanderies, montre que celle en bas de la pente (maison 5) est plus fraîche de 0,4 à 0,9°C. Ceci peut trouver son explication dans le mur partiellement enterré sous l'escalier de la rue NS : le mur de la maison 5 est davantage enterré que le mur de la maison 2. L'effet thermique du mur enterré est plus grand que l'effet des espaces extérieurs.

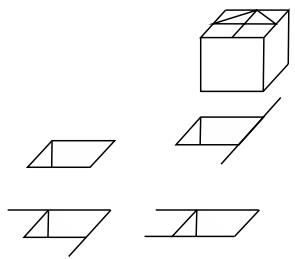
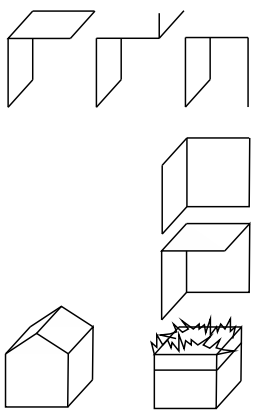
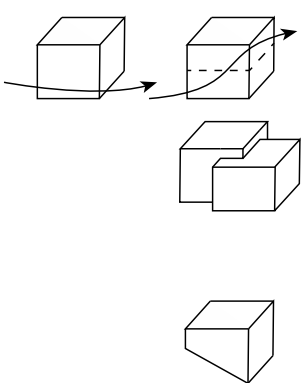
Tableau 4-13 : Village Grec  
Tableau récapitulatif du confort : le réseau des vides.

Confort (%)		
Maison – intérieur (jour et nuit)	Maison – extérieur (jour)	Rue (jour)
		7 25
		9 50
	PP 0	4 100
S 0	T 2	3 100
C 0	PA 0	2 50
B 0		1 50



Figure 4-22 :

Tableau des éléments de conception passifs, avec les stratégies prioritaires (Garcia, 2018 ; Izard, 1993 ; Lechner, 2014 ; Rodriguez-Ubinas et al., 2014)

ELEMENTS DE CONCEPTION PASSIFS		VILLAGE GREC	GAOU BENAT	LE MERLIER
<b>ENVELOPPE DU BÂTIMENT</b>				
inertie des matériaux		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
isolation				
étanchéité à l'air				
murs ou toit ventilés				
<b>ORIENTATION ET AMENAGEMENT (INT ET EXT)</b>				
	orientation nord-sud			<input type="checkbox"/>
	zones tampons intérieures			
	sas d'entrée			
	végétation	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	patio: bâtiment sur quatre côtés			
	bâtiment sur trois côtés		<input type="checkbox"/>	
	cour: bâtiment sur deux côtés + murs	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
	bâtiment sur 1 côté + murs			<input type="checkbox"/>
<b>GEOMETRIE</b>				
compacité		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
petites fenêtres				
<b>PROTECTION SOLAIRE ET COULEURS LEGERES</b>				
	espaces attachés extérieurs:			
	auvent: auvent			
	débord de toiture / de terrasse			<input type="checkbox"/>
	brise-soleil horizontal		<input type="checkbox"/>	
	porte-à-faux			<input type="checkbox"/>
	passage couvert		<input type="checkbox"/>	
	pergola			<input type="checkbox"/>
	flanc : décrochement de façade	<input type="checkbox"/>		
	saillie de refends			<input type="checkbox"/>
	loggia			
	protection des toitures:			
	parasol			
	combles			
	toit végétalisé		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	protections solaires mobiles	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	couleur blanche	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
<b>RAFRAICHISSEMENT PASSIF</b>				
	par ventilation :			
	ventilation transversale (jour et nocturne)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	effet de cheminée (entre pièces de niveaux différents)	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
	capteurs de vent			
	expositions de façade variées: plan éclaté	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
	mur perméable à l'air: claustras/moucharabiehs/fentes	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
	si plan compact: absence de cloisonnement			
	par radiation de la toiture (la nuit)			
	par évaporation:			
	bassin / évaporation d'eau			<input type="checkbox"/>
	par la terre:			
	locaux (partiellement) enterrés : hyper-inertie		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
cave ou citerne enterrée fraîche				
<b>COMPORTEMENT</b>				
nomadisme quotidien/saisonnier (horizontal/vertical)				<input type="checkbox"/>

Vérifions avec la comparaison des diagrammes de Givoni (Tableau 4-14). La situation entièrement confortable en haut de la pente (7 et 7-2) ne crée pas de confort dans le patio de la maison 2. La situation entièrement inconfortable en bas de la pente dans la rue EO (6 et 10) ne crée pas d'inconfort important dans le patio de la maison 5. Au contraire. Les températures inconfortablement élevées de la rue EO font chuter l'humidité relative de la maison 5 et augmentent le confort. Le lien entre le patio et l'espace intérieur est cependant observable à l'échelle des maisons. La maison 5 est plus confortable que la maison 2, grâce à un patio bien ventilé et plus végétalisé (température maximale 30,4°C), qui fonctionne comme une zone tampon entre la rue et la maison. La maison 2 est moins confortable et très humide. Son patio est moins aéré et les températures montent jusqu'à 36,6°C.

Tableau 4-14 : Le Merlier  
Tableau récapitulatif du confort : le réseau des vides.

Confort (%)		Maison – extérieur (jour)		Maison – intérieur (jour et nuit)	
Rue (jour)				M2	
7-2	100				
7	100			C 2	
9	71	PO 1		Ch 8	
		PC 22		B 11	
8	57			M5	
				C 47	
10	0	PO 7		Ch 46	
6	0	PC 79		B 37	

#### 4.6 Les fonctionnements thermiques

Il y a trois types de fonctionnements thermiques différents (Sansen, 2021b). Un premier fonctionnement est axé sur la ventilation (étude de cas Village Grec) : la maison a un plan éclaté et des patios, et de plus elle est construite avec des matériaux moyennement inertes. Dépendant de l'interprétation du confort, la maison n'est pas du tout confortable (Givoni – 0%) ou majoritairement confortable, surtout dans le bureau et le séjour (confort adaptatif de la norme Européenne). Les fenêtres et volets ne sont ouverts que très tôt le matin et tard le soir ; il y avait une ventilation nocturne limitée. Les quelques moments de fraîcheur sont créés grâce à la ventilation transversale. La stratégie prioritaire pour la gestion de chaleur de cette maison est la ventilation (Figure 4-22). La stratégie de la ventilation seule n'est pas suffisante pour garantir un confort. On retrouve l'élément clé, le patio, de l'archétype méditerranéen de la maison à cour, mais il ne se retrouve pas au cœur du bâtiment, et ne joue donc pas le même rôle thermique.

Un deuxième type de fonctionnement est axé sur l'usage de matériaux locaux avec une grande inertie et un plan compact (étude de cas Gaou Bénat). Il s'agit d'une approche du sol / des matériaux. Malheureusement

ce deuxième fonctionnement n'a pas pu être vérifié avec des mesures in situ, suite à un imprévu logistique au dernier moment. En même temps, il s'agit du fonctionnement qui s'approche le plus de l'archétype de la maison cubique (l'inertie). On peut conclure que des milliers d'années d'empirisme architectural de locaux confirment l'efficacité dans cette région.

Le troisième fonctionnement combine les deux précédents et met l'accent sur l'hyper-inertie du sol au rez-de-chaussée (l'approche du sol), et sur la ventilation à l'étage (approche de la ventilation) (étude de cas le Merlier). En comparaison aux archétypes du chapitre 1, ce troisième fonctionnement ressemble à une variante des variantes « *cube lourd + cube léger* », maison à cour et maison cubique semi-enterrée. Concernant le rez-de-chaussée, les éléments les plus efficaces sont le patio couvert pour l'extérieur, et le mur enterré et la ventilation nocturne verticale pour l'intérieur. Les stratégies prioritaires sont la protection solaire et l'hyper-inertie de la terre.

#### 4.7 Conclusion

Les chapitres 3 et 4 décrivent l'étude à plusieurs échelles du réseau des vides. Un premier niveau d'analyse a étudié le lien entre la rue et les espaces intermédiaires, mais aucun lien clair n'a été observé de manière convaincante. Le deuxième niveau d'analyse relie les espaces intermédiaires aux espaces intérieurs, présentant un lien dans les deux études de cas. Les patios ouverts sont plutôt des fours, coupés de la ventilation, mais ils peuvent fonctionner comme des tampons thermiques dans le climat méditerranéen tempéré, lorsqu'ils sont couverts. Lorsqu'ils sont ventilés et végétalisés, la situation est légèrement mieux que sans. En revanche, le microclimat des espaces intermédiaires n'est pas la seule stratégie passive de conception affectant le confort intérieur ici. Les mesures in situ ont mis en lumière l'effet plus ou moins marqué de plusieurs stratégies qui sont employées dans les villages de vacances étudiés : comment l'effet des murs enterrés prend beaucoup d'importance et les murs communs non ; comment une ventilation transversale et verticale font chuter les températures très rapidement ; comment un débord de toiture et un porte-à-faux peuvent faire une différence.

Le chapitre 5 récapitule les éléments de conception employés dans les villages de vacances étudiés et formulera des conseils de conception plus généraux.

---

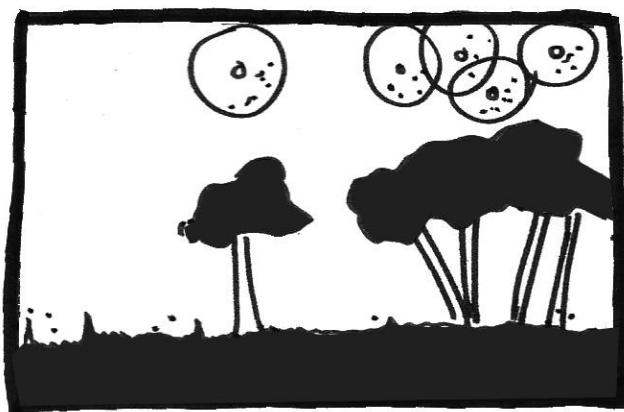
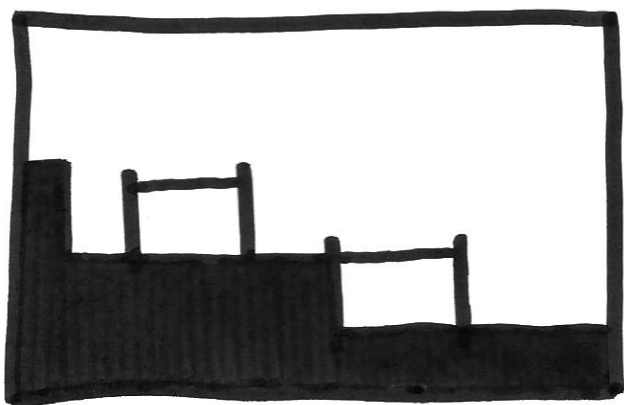
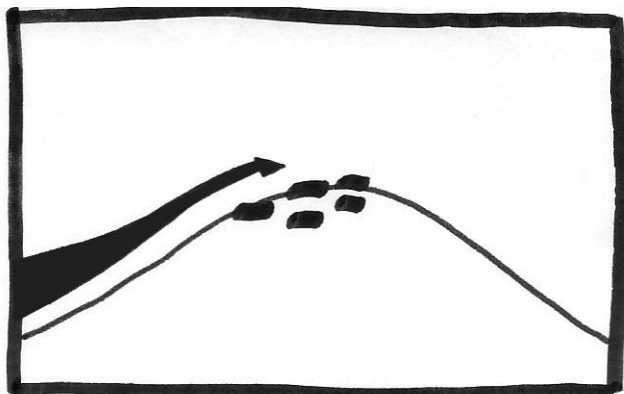


Figure 5-1 :  
 Nous sommes entourés de sources de fraîcheur.  
 Les éléments de conception : L'air – la terre – le vert

---

## **5 Les recommandations pour la conception d'un quartier de logements individuels groupés adapté au climat méditerranéen tempéré en été**

---

La morphologie urbaine idéale n'existe pas. Il n'y a pas de géométrie urbaine optimale ou de quartier standard qui, par définition, est adapté au climat méditerranéen et qui utilise le minimum d'énergie. Il en est de même pour la typologie architecturale. Un projet urbain ou architectural reste avant tout un tour d'équilibre entre différents aspects à prendre en compte, dont le programme, le site, les aspects culturels, économiques ou encore structurels. Chaque situation est différente. L'usage énergétique est d'une grande nécessité et importance, mais reste un aspect parmi d'autres à considérer. Salat décrit le danger de certaines approches actuelles qui suivent une pensée dogmatique énergétique (Salat et al., 2011b). Comme si la pensée dogmatique du Mouvement Moderne a été remplacée par un nouveau dogme : le dogme de l'énergie. La « bonne façon de faire de l'architecture » du Mouvement Moderne a été remplacée par la « bonne façon de faire de l'architecture énergétique ». Mais il n'y a pas de « bonne façon ». Il y a pourtant une multitude d'éléments de conception passifs, qui sont adaptés à un certain climat, et qui peuvent contribuer à réduire l'usage énergétique.

Il faut aussi noter que l'habitant d'un logement et son comportement jouent un très grand rôle. Selon Janda (2011), ce ne sont pas les bâtiments qui consomment de l'énergie, mais les gens. En ouvrant les fenêtres et les volets la nuit, à partir du moment où il fait plus frais dehors que dedans, on devient « *expert* » de la gestion de la chaleur de son logement (Batier, 2016). Le bruit ou le sentiment d'insécurité peuvent empêcher une ouverture pendant toute la nuit. Cependant, l'exemple du Village Grec montre que même une ouverture ponctuelle tôt le matin et/ou tard le soir a un impact sur le confort d'une pièce, à condition que l'ensemble soit fermé pendant la journée.

Nous sommes entourés de sources de fraîcheur : la nuit, la terre, la végétation ombreuse, les matériaux. L'idée principale est de chercher la fraîcheur là où elle est disponible, et de l'accentuer. Le premier conseil de projet est de se baser sur une connaissance du site, au niveau du vent (AIR), du relief, du sol, des matériaux locaux (TERRE) et de la végétation (VERT) (Figure 5-1). Ceci a été dit et redit, mais on ne peut pas le dire assez. Pour pouvoir faire le gâteau d'une architecture climatique, il faut connaître la recette, mais également les ingrédients. Il est indispensable de connaître les conditions qui peuvent être très locales, comme par exemple les vents dominants. Est-ce qu'il s'agit de vents violents, comme à Leucate, dont il faut se protéger ? Ou est-ce qu'il s'agit de vents journaliers, comme la brise de terre et de mer qui peuvent rafraîchir les rues ? Le premier conseil est de camper sur site pendant un mois, comme faisaient André Lefèvre et l'ATM, ou de le visiter régulièrement, comme faisait Georges Candilis. Si ceci s'avère impossible, le premier conseil est de parler aux habitants qui connaissent le climat local, ou de vérifier si des mesures climatiques locales sont disponibles.

Un deuxième conseil de projet est de tester différentes options avec des logiciels adaptés, en faisant des Simulations Thermiques Dynamique (STD). Car chaque situation est différente. Les simulations font abstraction de la réalité et certains paramètres ne sont que partiellement ou faiblement représentés (Paris et al., 2022), mais elles peuvent être d'une grande aide pour tester des grandes lignes d'un projet.



Figure 5-2 :

*La médina traditionnelle avec ses patios au Maroc.*

Source : photos de M. Ecochard, 1949 dans : (Avermaete & Casciato, 2014)



L'image emblématique du centre-ville traditionnel de l'Afrique du nord, comme par exemple Casablanca au Maroc avec des ruelles étroites et des maisons à cour, est très présente en parlant du confort d'été. Dans la recherche, mais aussi dans les discussions, elle sert souvent comme point de comparaison, comme morphologie et typologie par excellence adaptée à un climat méditerranéen chaud (Figure 5-2).

Cette recherche définit la ventilation comme stratégie de gestion de la chaleur en été. La question devient donc : comment concevoir un quartier poreux et accessible au vent ? Une réponse se trouve dans l'addition de logements individuels assemblés, conçus en se basant sur AIR-TERRE-VERT. Le mot « *addition* » fait référence à « *l'architecture additive* », qui selon Jørn Utzon décrit des projets architecturaux basés sur des schémas de croissance, par l'assemblage ou l'ajout d'éléments similaires (Lukovich, 2018). Les quartiers assemblent des types de logements individuels et forment ainsi une alternative plus dense au lotissement périurbain.

Le chapitre 5 décrit ce qu'on peut apprendre du passé, des villages de vacances des années 60, pour faire le futur, des quartiers additifs. Le premier paragraphe traite les éléments de conception, le deuxième de la maison à patio, et le troisième de l'assemblage.

## 5.1 Les éléments de conception

### 5.1.1 AIR

La recherche a confirmé l'importance de l'accessibilité au vent dans un climat méditerranéen tempéré. La stratégie prioritaire pour la gestion de la chaleur est la ventilation. Il est donc primordial de favoriser l'accessibilité au vent. Avec une bonne ventilation, même les endroits en plein soleil peuvent être confortables. Une belle illustration est le point 3 au Gaou Bénat, qui se trouve au soleil pendant cinq heures et demie, mais qui, grâce au vent, présente une petite amplitude thermique de 2°C, par rapport aux 6°C et 10°C des emplacements sans vent (chapitre 3).

Cette accessibilité au vent se décline suivant deux axes : la macro- et la microporosité. La première concerne les vents dominants et le positionnement vis-à-vis d'eux : s'en protéger quand il s'agit de vents violents, s'ouvrir à eux s'il s'agit de vents modérés. Elle concerne aussi l'implantation de quartiers là où il y a du vent : en haut de la colline (Figure 5-2). Les villages méditerranéens sont connus pour leur implantation perchée, et non sans raison. En haut de la pente, il y a plus de vent et il fait plus frais (Lechner, 2014 ; Olgyay, 1973), parfois jusqu'à 7,5°C de différence (points 9 et 6 au Merlier – chapitre 3). La microporosité concerne le tirage thermique ou le déplacement d'air causé par une différence de température : de l'air qui se déplace du froid au chaud pour équilibrer des densités différentes. Afin d'éviter l'accumulation de l'air surchauffé, des micro-perçements, comme des claustras ou des fentes, sont à intégrer depuis le début de la conception. L'efficacité de la microporosité n'a pas été démontrée dans cette étude, mais elle est complémentaire à la macroporosité et se doit d'être mentionnée.

### 5.1.2 TERRE

Les analyses menées dans les chapitres précédents des villages de vacances ont témoigné de l'importance du sol dans la conception architecturale et thermique. Le mot « terre » n'est donc pas seulement lié au matériau de la terre, mais est évoqué dans le sens large, et englobe la terre, le relief, les matériaux avec une grande inertie.

La terre est une source de fraîcheur avec un grand potentiel, qui n'est pas encore assez explorée. L'effet tempérant de la terre se fait sentir, menant vers des températures quasi-constantes. Les habitations semi-troglodytes dans des rochers à Matera dans le sud de l'Italie, où les températures intérieures oscillent entre 20-21°C avec des températures extérieures maximales autour de 38°C, en sont un exemple clair (Cardinale et al., 2013). On le voit aussi au rez-de-chaussée du Merlier, où la stratégie prioritaire de la fraîcheur est la terre : les températures intérieures oscillent entre 22,5-24°C avec des températures extérieures maximales autour de 33°C (chapitre 4). Les amplitudes thermiques moyennes y sont très petites, voire quasi-nulles : 0,6°C et 1,4°C respectivement dans les maisons 2 et 5.

Comme dans ces deux exemples, il peut s'agir de pièces partiellement enterrées, mais l'hyper-inertie de la terre peut également être recherchée dans des patios semi-enterrés ou dans des caves, des garages en lien avec la maison. L'air frais y est stocké et sortira par tirage thermique. Le revers de la médaille des espaces (partiellement) enterrés est l'humidité et sa ventilation, qui demande une attention accrue dans ces espaces.

Un autre pan du concept de la « terre » fait référence à l'inertie. Elle a trouvé son origine dans l'usage de la pierre, un matériau local au Gaou Bénat. Elle est prolongée dans la construction avec des matériaux ou avec des systèmes constructifs avec une grande inertie. Il y a par exemple la terre crue, qui est en redéveloppement en France, et à qui sont attribuées des qualités de régulation d'humidité et d'inertie. Le béton isolé fait preuve d'une certaine inertie aussi, qui est grandement majorée quand il est isolé par l'extérieur.

L'inertie thermique est aussi bien préconisée dans les climats chauds et arides que dans les climats méditerranéens. Elle se trouve dans la paroi extérieure, mais aussi dans les planchers et les murs de refend intérieurs, à condition que ceux-ci ne soient pas couverts par des plaques de plâtre ou par un faux plafond. Il est plus intéressant de mettre plusieurs murs de refend avec un matériau à forte inertie, plutôt qu'un seul gros mur, car ce sont les premiers centimètres qui travaillent. L'inertie seule n'est pas suffisante et doit être combinée avec la ventilation nocturne (Chahwane, 2011).

### 5.1.3 VERT

Comme l'air et la terre, le vert est une source importante de fraîcheur. Le point 7-2 au Merlier par exemple, sous le pin, a une amplitude thermique de 1,3°C (chapitre 3). Bien qu'il s'agisse d'un endroit bien venteux en haut de la pente, c'est une température quasi-constante grâce à la végétation.

Plusieurs choses sont intéressantes à noter. L'effet de l'ombre est plus grand que l'effet de l'évapotranspiration, surtout quand il n'y a pas beaucoup d'eau en été. Par conséquent, c'est surtout la végétation haute qui contribue à la fraîcheur, comme des arbres ou des plantes grimpantes montantes. Une étude menée à Beijing en Chine, avec un climat humide continental, a mesuré un effet rafraichissant de 0,15 à 0,17°C pour de l'herbe sèche et une valeur légèrement plus élevée pour de l'herbe humide (Amani-Beni et al., 2018). La même étude à Beijing observe jusqu'à 0,9°C pour un arbre et 1,6°C pour un cluster d'arbres. Un arbre rafraichit plus que de l'herbe et quelques arbres ensemble plus qu'un arbre seul.

En climat méditerranéen, une étude à Tel Aviv calcule un rafraichissement jusqu'à 1,5°C pour un arbre avec une simulation numérique (Shashua-Bar et al., 2010) ce qui s'approche des 1,3°C mesuré sous le pin du Merlier (balade thermique, chapitre 3). Il faut noter que l'effet rafraichissant est observé sous le feuillage même, sans aller au-delà : l'effet de l'ombre ne se propage pas et est ressenti seulement localement. Finalement, l'effet de chaque arbre est différent et dépend de la densité des feuilles, de l'espèce, de sa dimension, du nombre d'arbres et de la disponibilité de l'eau dans le sol (Ali-Toudert & Mayer, 2007 ; Dimoudi & Nikolopoulou, 2003). Le vert est donc une source de fraîcheur, mais surtout le vert en hauteur et regroupé en clusters.

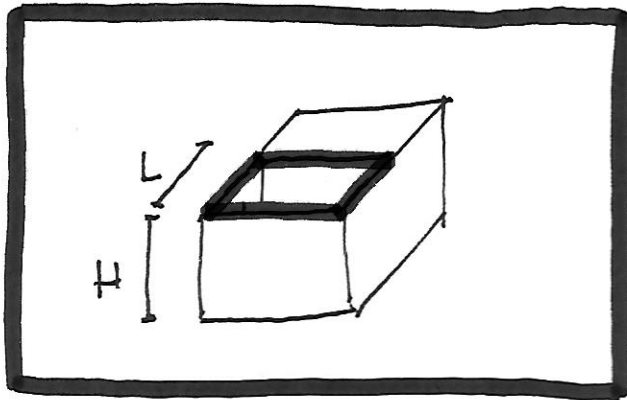


Figure 5-3 :  
 $H/L = 0,8$  à  $1$  est considéré adapté au climat méditerranéen tempéré, afin d'avoir un équilibre entre un soleil rentrant en hiver, et un soleil bloqué en été.

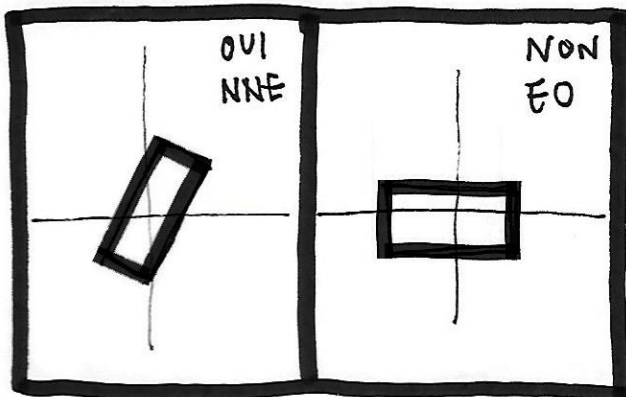


Figure 5-4 :  
 L'orientation conseillée en climat méditerranéen tempéré est NNE.

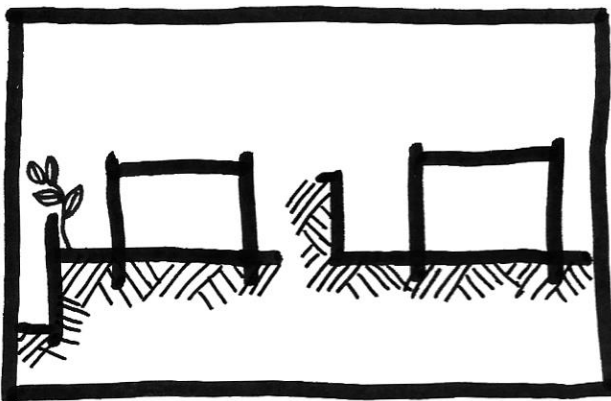


Figure 5-5 :  
 Gauche : Le patio suspendu, ventilé et végétalisé : accessible au vent car suspendu  
 Droite : Le patio enterré.

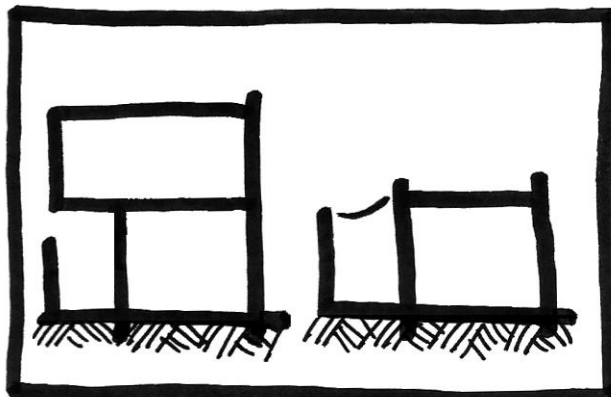


Figure 5-6 :  
 Le patio couvert par un porte-à-faux et par un textile.

## 5.2 La maison à patio

Les patios sont très renommés dans l'architecture méditerranéenne. Dans les années 60, dans des expérimentations typologiques, le patio s'est retrouvé en position latérale, et non pas au cœur de la maison comme traditionnellement dans les archétypes.

Il est impossible de parler de patios en climat tempéré sans mentionner l'hiver. Les patios cherchent l'équilibre entre un soleil rentrant en hiver et la protection du soleil en été. De manière générale, en climat méditerranéen tempéré on retrouve des patios moins hauts que larges ( $H/L < 1$ ). Une étude par simulation numérique à Lecce au sud de l'Italie (climat Cs<sup>34</sup>), préconise des dimensions avec un  $H/L$  entre 0,8 et 1 (Martinelli & Matzarakis, 2017) (Figure 5-3). En revanche, en climat méditerranéen chaud on retrouve des patios plus hauts que larges ( $H/L > 1$ ) (Dipasquale et al., 2014 ; Muhaisen, 2006 ; Rojas-Fernandez et al., 2017). L'orientation du patio rectangulaire à conseiller est NNE, car plus ombrée en été et plus ensoleillée en hiver (à Rome en Italie, avec un climat Csa) (Muhaisen, 2006). L'orientation la moins ombrée et la moins bonne est EO (Figure 5-4).

La littérature attribue au patio des capacités de microclimat et de tampon par rapport à la chaleur d'été, jusqu'à dire qu'il s'agit d'un système de rafraîchissement naturel (chapitre 1). Cette recherche a démontré qu'à partir du moment où le soleil rentre dans les patios ouverts, ils se transforment possiblement en four. Ils peuvent fonctionner comme un tampon thermique, mais ils sont tributaires de leur aménagement avec de la végétation, de l'eau ou de l'ombre (avec une couverture) et dans un deuxième temps de l'accessibilité au vent.

Rappelons quelques exemples pour illustrer ces propos. Dans des patios orientés EO avec  $H/L < 1$ , au moment le plus chaud de la journée, la température peut dépasser de 11°C les températures mesurées par Météo-France (Village Grec – chapitre 4). La température du patio impacte la température dans les pièces attenantes. Il est important d'y éviter la surchauffe. La température d'un patio ouvert ventilé et végétalisé est moins élevée (jusqu'à 1,8°C). Il est même plus frais que dans la rue attenante (jusqu'à -3,6°C). Le patio ventilé en question est orienté EO avec  $H/L < 1$ , comme au Village Grec, mais l'ombre et la ventilation ont un effet rafraîchissant (Merlier – chapitre 4). Le patio est accessible au vent, car il est suspendu par rapport à la rue (Figure 5-5).

Le patio couvert par un porte-à-faux, montre un véritable effet rafraîchissant : jusqu'à -1,6°C par rapport à Météo-France et jusqu'à -6,7°C par rapport à la rue au moment le plus chaud de la journée. L'effet tampon d'un patio central à Cordoue, Espagne, avec  $H/L > 1$  augmente même jusqu'à -15,4°C en couvrant le patio d'un textile et en situation de canicule (Diz-Mellado et al., 2021) (Figure 5-6).

<sup>34</sup> Lecce a un climat méditerranéen Cs suivant la classification Koppen Geiger.

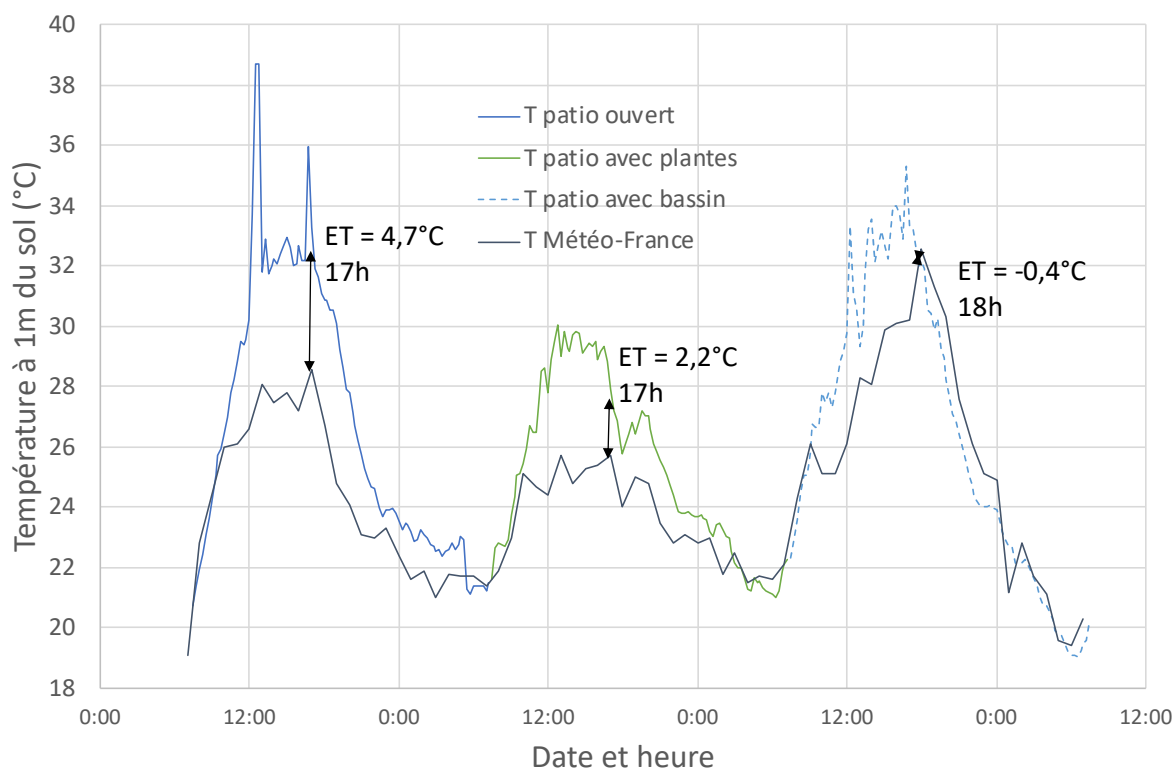


Figure 5-7 :

Le patio de la Villa Vanille (voir Figure 5-21 : Cusy-Maraval Architectes, Montpellier, 2003-2005)

le premier jour, le patio est vide ;

le deuxième jour avec les plantes, l'Ecart Thermique (ET) est plus petit (-2,5°C avec les plantes) ;

le troisième jour avec le bassin, l'ET est encore plus petit (-5,1°C avec le bassin).

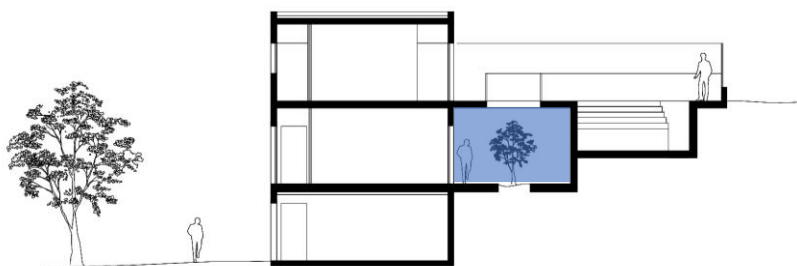


Figure 5-8 :

Le patio et le rez-de-chaussée enterrés.

Hamerman-Rouby Architectes, Montpellier, 2010.

Source : plan de l'agence Hamerman-Rouby

Regardons de plus près l'effet d'un patio aménagé avec de la végétation et de l'eau, une pratique connue depuis le début des temps. Afin de vérifier l'effet de rafraîchissement, des mesures in situ ont eu lieu en été<sup>35</sup> dans un patio central à Montpellier, avec un climat méditerranéen tempéré Csa (Figure 5-21 dans paragraphe 5.3). Il est orienté NE/SO, ce qui s'approche de l'orientation qui est considérée optimale. Les dimensions sont  $H/L1 = 0,6$  et  $H/L2 = 1,1$ , ce qui est également considéré comme optimal (sur l'année). La station Météo-France se trouve à l'aéroport, à côté de la mer. Le premier jour la température du patio vide est mesurée à 1m du sol. L'écart thermique entre le patio et Météo-France, au moment le plus chaud de la journée, est  $4,7^{\circ}\text{C}$  (Figure 5-7). Le deuxième jour, le patio est aménagé avec des plantes assez hautes pour faire de l'ombre sur le capteur. Avec les plantes, l'écart n'est plus que de  $2,2^{\circ}\text{C}$ . On peut donc considérer qu'il y a un rafraîchissement de  $2,5^{\circ}\text{C}$  grâce aux plantes. Le troisième jour, le patio est aménagé avec un bassin d'eau. L'écart thermique est de  $-0,4^{\circ}\text{C}$  par rapport à Météo-France au moment le plus chaud de la journée. On peut considérer qu'il y a un rafraîchissement de  $5,1^{\circ}\text{C}$  grâce au bassin. Il faut noter que l'effet tampon d'un patio a tendance à être plus grand quand il fait plus chaud. Le troisième jour est le jour le plus chaud, ce qui peut impacter ce résultat.

L'aménagement a donc un effet sur le confort dans le patio, et par suite aussi dans les espaces intérieurs attenants. De plus, quand la végétation est assez haute, elle influence l'ombre et le FVC dans la rue (Sansen et al., 2021). Elle influence donc aussi le confort de la rue. Il est judicieux de prévoir des espaces verts généreux dans les patios, avec une végétation haute. Les patios originaux du Village Grec et du Merlier, visibles dans les dessins du permis de construire (Figures 2-7 et 2-20), sont agrémentés d'espaces verts généreux, donnant la possibilité de planter du vert haut.

Le patio peut être suspendu pour le rendre accessible au vent, comme le patio au Merlier, ou enterré (Figure 5-5). Le patio enterré crée un espace en contact avec la terre, ce qui a un effet rafraîchissant. De plus, avec les mots d'Olgay « *L'air froid se comporte un peu comme de l'eau, s'écoulant vers les points les plus bas. Ce « déluge d'air froid » provoque des « îlots froids », ou des « flaques d'air froid »...* » (Olgay, 1973). Le patio enterré collectionnerait et garderait donc cette fraîcheur. Jusqu'au moment où il est exposé au soleil. Car il crée aussi un endroit clos qui favorise la surchauffe quand il est exposé au soleil. L'efficacité dépend donc de l'exposition au soleil. La Figure 5-8 montre l'exemple d'un patio semi-enterré, orienté nord et protégé par des brise-soleils et des casquettes en forme de passerelles.

De manière générale, la question se pose de savoir si un patio ventilé est toujours un patio ? Est-ce qu'il ne s'agit pas d'une *contradictio in terminis* ? La spécificité d'un patio est justement qu'il puisse stocker et garder la fraîcheur nocturne le plus longtemps possible, parce qu'il est protégé du soleil, parce qu'il crée de l'ombre. Rajouter de la ventilation n'est-il pas contradictoire à ce fonctionnement ?

<sup>35</sup> Les mesures ont eu lieu du 30 juin au 2 juillet 2020



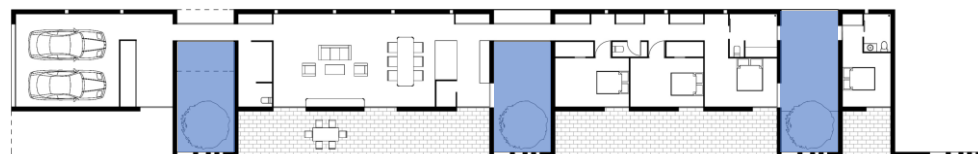
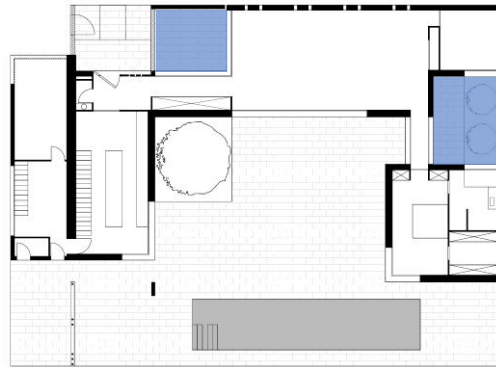


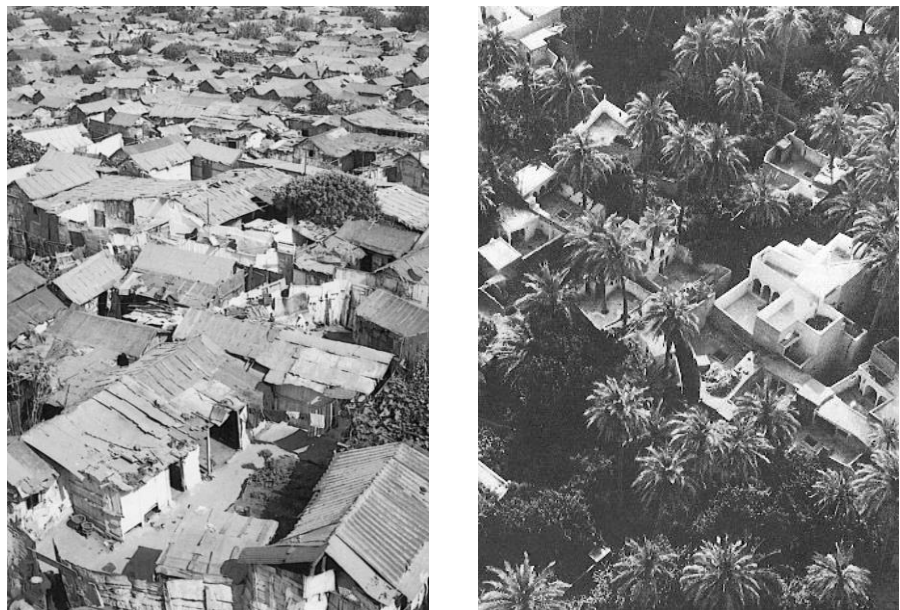
Figure 5-9 :  
Le patio ventilé et végétalisé.  
Hamerman-Rouby Architectes, Montpellier, 2012 et 2015.  
Source : plans de l'agence Hamerman-Rouby ; photo (haut) de Pierre Rouby.

Il se trouve que ce fonctionnement traditionnel est observable surtout les jours où il fait très chaud, et encore il n'est pas systématique. Au Village Grec il faisait plus chaud qu'au Merlier, mais l'effet patio n'est visible que le troisième jour des mesures au Merlier (chapitre 4). On peut en déduire que les patios avec  $H/L < 1$ , considérés adaptés au climat tempéré, fonctionnent bien de cette manière quand il fait chaud et quand ils ne sont pas exposés au soleil. Au cas où le soleil rentre, par exemple avec une orientation EO, le patio nécessite un coup de pouce, en forme de ventilation, de végétation, d'eau ou d'une couverture. Il y a deux types de patios qui se profilent, avec deux fonctionnements différents : le patio ventilé exposé au soleil, et le patio non exposé et non ventilé. La Figure 5-9 montre deux exemples de patios ventilés (avec des fentes et avec des baies ouvrables).

Les patios en climat méditerranéen cherchent un équilibre entre l'accès au soleil en hiver, et le blocage du soleil en été. Cette double contrainte mène vers des patios plutôt bas ( $H/L < 1$ ). Il faut à tout prix éviter des expositions prolongées au soleil, en ménageant l'orientation et en aménageant de l'ombre, de la végétation et de l'eau. Si ceci s'avère difficile, il faut rendre le patio accessible à la ventilation.

### 5.3 Les morphologies périurbaines additives : l'assemblage

Cette étude propose deux images de quartiers périurbains qui sont adaptés au climat méditerranéen : le quartier compact et la palmeraie (Figure 5-10).



*Figure 5-10 :  
Gauche : Le quartier compact : le bidonville qui est à la base du quartier compact.  
Source : photos de M. Ecochard, 1949 dans : (Avermaete & Casciato, 2014) ;  
Droite : La palmeraie. Source : (Ravéreau, 2003, p. 1)*

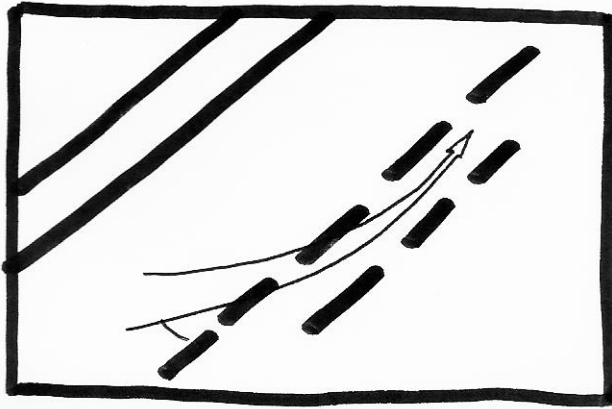


Figure 5-11 :  
Une incidence comprise entre 45° et 90° est  
conseillée pour se protéger contre les vents  
violents.

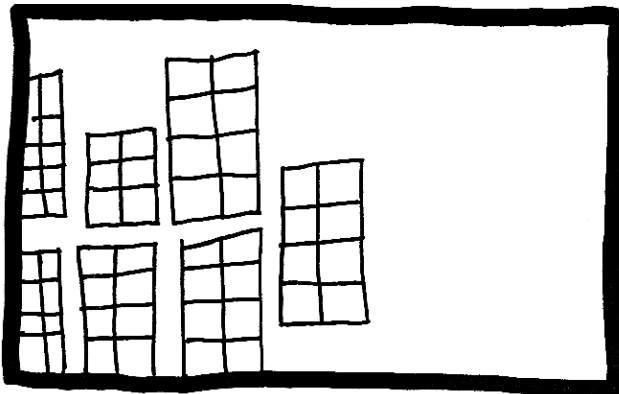


Figure 5-12 :  
Les rues NS sont moins exposées que les rues  
EO. Une direction de rues NS prédominante  
(comme à Gassin) incite à une orientation de  
logement EO, qui n'est pas judicieux.

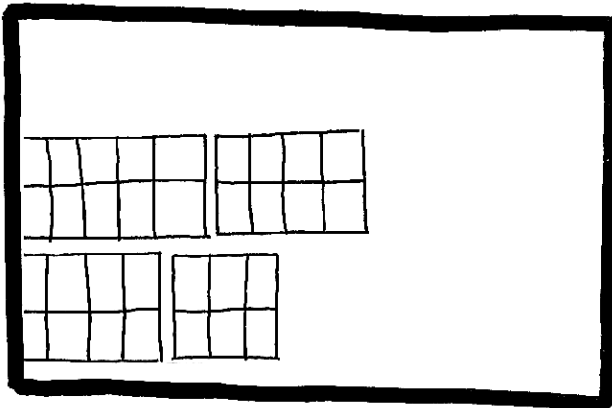


Figure 5-13 :  
Une direction de rues EO prédominante,  
incite à une orientation de logements NS.

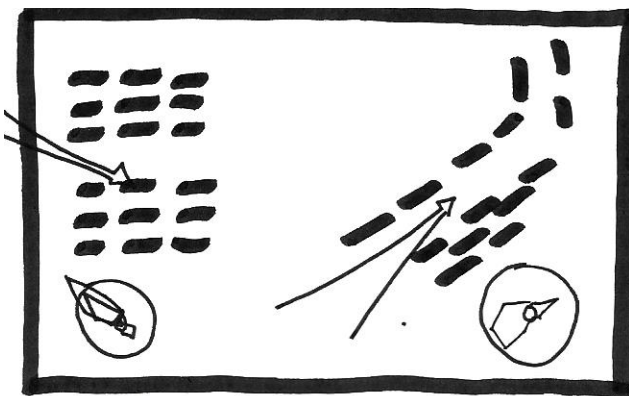


Figure 5-14 :  
Un grand geste comme couloir de ventilation  
en fonction des vents dominants.

Le premier concerne un quartier compact, mais moins dense et moins haut qu'un centre-ville. Cette image fait référence aux bidonvilles qui étaient pour Michel Ecochard la base de réflexion pour la trame urbaine 8x8, qui à son tour était une base de réflexion pour l'ATM et Georges Candilis. Les logements du bidonville sont des maisons à cours latérales en rez-de-chaussée, assemblées de manière compacte autour des rues piétonnes. L'ensemble est moins dense qu'un centre-ville, mais plus dense qu'un lotissement de logements individuels. Le type de logements et l'assemblage proposés dans ce chapitre 5 ne sont pas identiques à ceux du bidonville et seront précisés dans la suite des paragraphes. La deuxième image concerne un quartier où la végétation prédomine, comme une palmeraie (Figure 5-10). Les logements sont dispersés autour des rues piétonnes et couronnés par un parasol végétal. C'est la « *morphologie de la disparition* », faisant référence à « *l'architecture de la disparition* » du Gaou Bénat.

#### 5.3.1 La direction des rues

L'orientation des rues est influencée d'une part par la direction des vent dominants et d'autre part par l'exposition solaire. Afin de protéger la rue des vents violents, une incidence (l'angle entre la rue et le vent) comprise entre 45° et 90° est conseillée (Figure 5-11) (Fernandez & Lavigne, 2009). Les rues peuvent s'orienter aussi dans la direction des vents dominants modérés pour les accueillir : vers la mer pour capturer la brise de mer (Merlier) ou dans la direction des vents dominants (Gaou Bénat).

Afin de protéger la rue du soleil violent, une orientation NS est conseillée. La rue NS au Merlier est ainsi exposée au soleil pendant deux heures, tandis que la rue EO l'est pendant huit heures (FVC des points 7 et 6 – chapitre 3). Il est impossible de ne créer un quartier qu'avec des rues NS. En revanche, le plan de Gassin accentue clairement les rues NS, limitant et couvrant les rues EO (Figure 5-12). Il faut noter aussi que des rues NS ont tendance à créer des logements orientés EO, même si au Merlier chaque logement est orienté vers le sud. L'EO n'est pas l'orientation préférable pour des logements, par rapport à l'exposition au soleil. Il fera donc plus frais dans la rue, mais pas dans les logements. Une autre possibilité est de créer des rues NS étroites et EO plus larges, comme à Nice (chapitre 1) (Figure 5-13). Les rues NS gardent la fraîcheur, les rues EO plus larges rafraichissent plus facilement la nuit. L'esplanade EO du Village Grec par exemple s'avère être un couloir de vent qui apporte le vent et la fraîcheur dans le quartier. Une autre possibilité est de créer des rues EO équipées avec des galeries ou des arbres afin de créer de la fraîcheur dans ces rues-là (Ali-Toudert, 2007). Finalement, le site aura son mot à dire dans le choix de l'orientation des rues et des logements. Ce dernier est à prioriser par rapport à l'orientation des rues.



Figure 5-15 : échelle 1/500

La Capitelle : des logements collectifs au Crès à Montpellier.

Des logements avec une grande inertie et certains appartements traversants (en bleu sur le plan).

Rudy Ricciotti. Montpellier, 2010-2014. Source : photo du site web de l'agence ; plan de l'agence Rudy Ricciotti.



### 5.3.2 Un grand geste comme couloir de ventilation

La placette du hameau du Minotaure se trouve sur une rue, qui se trouve sur l'axe des vents dominants, comme un élément qui canalise la ventilation. L'esplanade centrale qui traverse le Village Grec se trouve à peu près à 45° par rapport aux vents dominants. Ce sont des grands gestes de projet ou des éléments qui canalisent et amènent le vent dans toute une partie du hameau (Figure 5-14).

### 5.3.3 La ventilation nocturne

Cette étude reconfirme la ventilation nocturne comme la stratégie indispensable pour le confort d'été. Les pièces ou logements traversants facilitent la sur-ventilation nocturne horizontale. Le séjour du Village Grec par exemple, perd 2,7°C en moins de deux heures à l'ouverture des portes (chapitre 4). Les logements avec un étage et une connexion vers le rez-de-chaussée (par exemple la trémie d'escalier) facilitent la ventilation verticale à travers le tirage thermique.

La Capitelle<sup>36</sup> est un exemple de logements collectifs à Montpellier (Figure 5-15). Le nom vient des cabanes agricoles en pierre sèche dans la garrigue dans le Gard. Les murs sont en béton (16cm) avec une isolation au milieu et une finition extérieure en parement en pierre. Finalement, le mur fait à peu près 50cm et présente une grande inertie. Le bâtiment combine des logements traversants et non-traversants (les traversants sont en bleu sur la Figure 5-15). Certains appartements aux angles ne sont pas traversants et sont difficilement accessibles à la ventilation naturelle. L'inertie seule n'est pas suffisante, mais se doit d'être combiné par une ventilation efficace. Par manque de ventilation nocturne, plusieurs climatisations ont été installées (source : visite sur place).

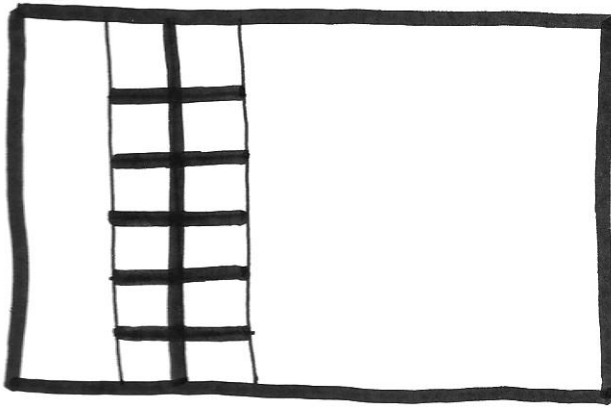
### 5.3.4 L'équilibre entre la compacité et l'accessibilité au vent

En climat méditerranéen et en climat chaud et sec, il est préconisé de construire des bâtiments compacts et d'assembler les logements de manière compacte, afin d'exposer l'enveloppe un minimum à l'environnement. Ceci se voit aussi dans les archétypes et dans les villes traditionnelles décrites dans le chapitre 1 : moins il y a de l'exposition, moins il y a de la chaleur perdue en hiver et gagnée en été. En même temps, un plan éclaté favorise la ventilation. En apparence, il s'agit ici de deux gestes contradictoires.

Les logements du Village Grec en forme de « T » ne sont pas du tout compacts. Ils sont pourtant assemblés de manière compacte avec des murs communs au centre de l'îlot. Ils sont considérés confortables suivant l'interprétation du confort adaptatif. La pièce la plus compacte (le bureau) n'a qu'un mur sur l'extérieur et une température quasi-constante. Son amplitude thermique est de 1,1°C

---

<sup>36</sup> construite en 2014 par Rudy Ricciotti



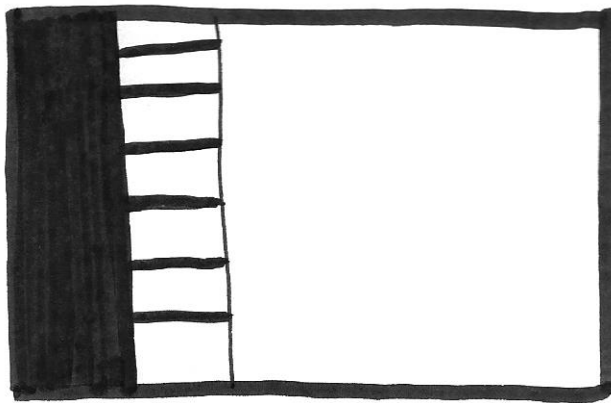
**Légende :**

Noir fin : la parcelle et le bâtiment

Noir épais : les murs communs

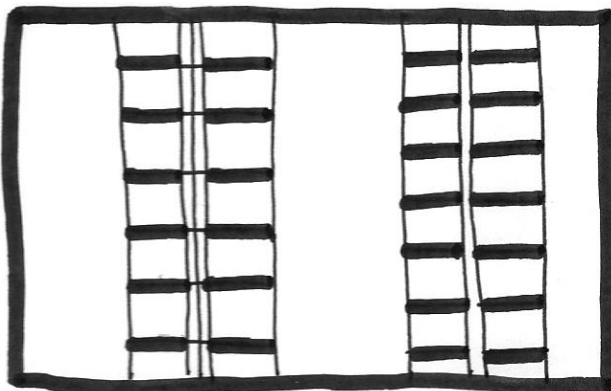
**Figure 5-16 : Non-traversant**

Une morphologie avec des bâtiments non-traversants : Le centre de l'îlot est construit et constitué de murs communs.



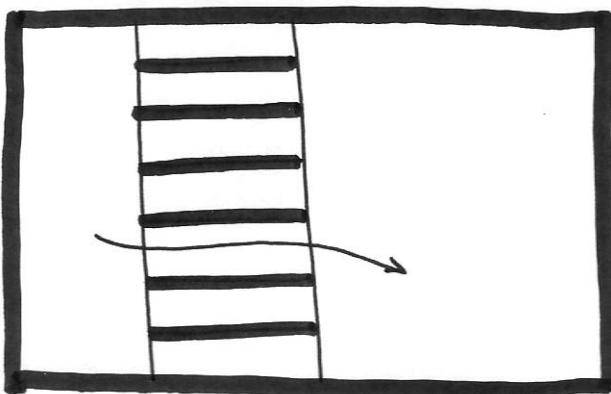
**Figure 5-17 : Non-traversant**

Une morphologie avec des bâtiments non-traversants, qui donnent sur la terre avec des murs enterrés.



**Figure 5-18 : Traversant**

Une morphologie avec des bâtiments traversants : le centre de l'îlot est ouvert et constitué de patios de service (gauche : Deir-el-Medinh) ou d'une ruelle de service étroite (droite : Olynthos). La ventilation transversale est possible.



**Figure 5-19 : Traversant**

Une morphologie avec des bâtiments traversants en forme d'îlot en série.



avec des températures extérieures très variables (entre 21,9°C et 36,7°C), ce qui est comparable avec l'amplitude du rez-de-chaussée semi-enterré du Merlier. Ce n'est pourtant pas la pièce la plus confortable, car elle n'est pas ventilée. Le séjour au contraire, n'a qu'un mur sur l'intérieur, et n'est pas compact du tout, mais il est plus confortable, car traversant et ventilé (chapitre 4). Les mesures confirment donc l'impact de la compacité, mais elles confirment aussi que la compacité seule n'est pas suffisante, et doit être combinée avec une ventilation nocturne.

Comment combiner une compacité avec la possibilité de ventiler ? Deux grands courants se dessinent : une morphologie avec des bâtiments non-traversants et une morphologie avec des bâtiments traversants.

Un exemple de la première est une morphologie avec des îlots résultants en double rangées et des murs communs au fond de parcelle : le centre de l'îlot est construit (Figure 5-16). Un autre exemple est une morphologie avec des îlots en série (simple rangée) en pente et des murs enterrés au fond de parcelle (Figure 5-17). La ventilation peut se faire par des percements donnant sur la rue (un patio intermédiaire) ou au centre du bâtiment (un patio central), ou encore par l'étage et un tirage thermique. Regardons deux exemples pour illustrer ces principes. Les modules du Village Grec sont assemblés surtout en îlots résultants avec des murs communs au fond de parcelle, mais les deux patios permettent une ventilation transversale du séjour, de manière assez ingénieuse (Figure 5-20). Un autre exemple ingénieux est l'îlot résultant des Carrats, construit par Georges Candilis à Leucate dans les années 60 (Figure 5-20). Les logements en « L » sont regroupés par quatre. Les salles de bains sont conçues avec des plafonds plus hauts que les autres pièces. Dans la différence de hauteur, une fenêtre permet la ventilation par tirage thermique. L'ensemble fait penser à la variante de la maison cubique « grande salle – salle basse » du chapitre 1.

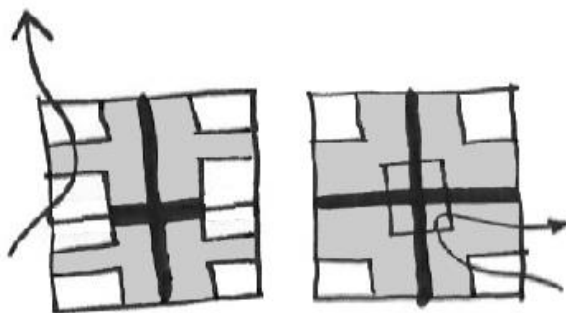


Figure 5-20 :  
Gauche : la ventilation du séjour au Village Grec ;  
Droite et photo : les Carrats, construit par Georges Candilis à Leucate dans les années 60 :  
la ventilation par la fenêtre en hauteur.



Figure 5-21 : échelle 1/500

Les Villas Vanille : des logements individuels groupés à Montpellier.

Des logements avec un assemblage compact et un plan de maison qui favorise la ventilation. Un rez-de-chaussée en pierre avec une grande inertie, un étage en ossature bois.

Cusy-Maraval Architectes, Montpellier, 2003-2005. Source : plan de l'agence Cusy-Maraval

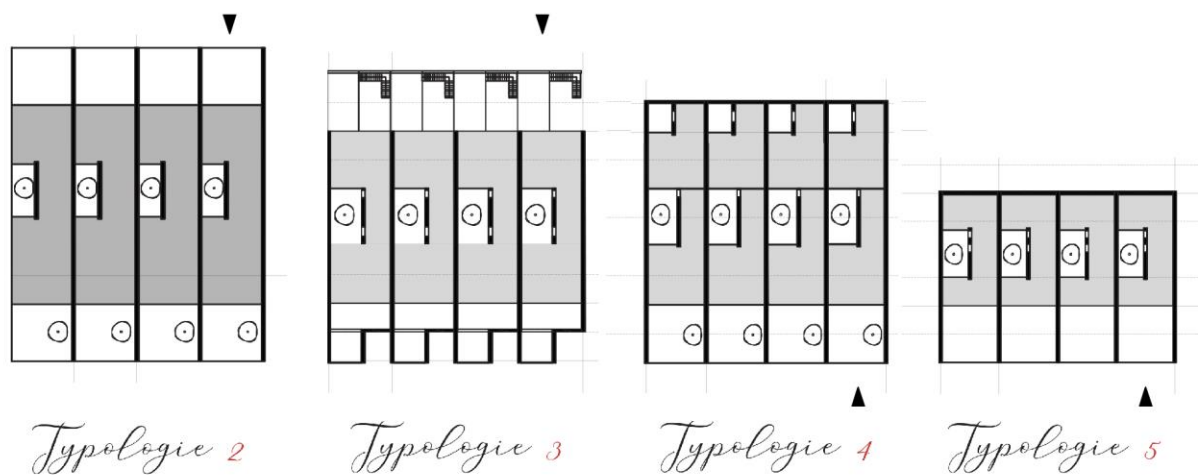


Figure 5-22 : échelle 1/500 (plan de masse)  
 Travail d'étudiante Marie Laurent du S4 « Nouvelles densités » avec Andrés Martinez. ENSA de Montpellier 2018-2019.  
 La plupart des typologies laissent un espace vide au fond de la parcelle, sauf la 5.



La deuxième morphologie est celle composée de bâtiments traversants. Il n'y a plus de murs communs au fond de parcelle. Certaines morphologies dédoublent la limite de parcelle centrale de l'îlot, afin de créer un patio ou une ruelle de service, comme à Deir-el-Medinh et à Olynthos (Figures 5-18 et 2-43). Les bâtiments libèrent ainsi le fond de la parcelle, créant un centre d'îlot ouvert et la possibilité d'une ventilation transversale. L'ouverture au centre de l'îlot peut être étroite, comme le patio ou la ruelle de service (autour de 1,4m), ou elle peut être plus large, comme une ruelle piétonne ou un jardin. Cette configuration avec le centre d'îlot ouvert, et non construit, est la morphologie « *typiquement du nord* » ou des maisons en bande (Grassi, 1983). Les Villas Vanille<sup>37</sup> à Montpellier sont des maisons en bande et combinent ainsi un assemblage compact avec des logements traversants et un plan favorisant la ventilation (Figure 5-21). Les quartiers peuvent combiner les différentes morphologies. La figure 5-22 montre un travail d'étudiant d'une morphologie additive, qui combine des typologies avec des patios intermédiaires sur rue, au centre de la maison et au fond de parcelle. La typologie 5 est constituée de bâtiments non-traversants, tandis que les autres non.

Les morphologies traditionnelles de la région (chapitre 1), et celles des études de cas des années 60, font plutôt partie du premier groupe de morphologies, avec des bâtiments non-traversants et des murs communs ou enterrés au fond de parcelle (chapitre 2). L'importance de la ventilation dans les résultats de la recherche, font de sorte que le deuxième groupe, avec des bâtiments traversants (comme par exemple la morphologie nommée « *typiquement du nord* » avec les maisons en bande), est aussi bien adapté au climat méditerranéen tempéré que les morphologies traditionnelles compactes, car il favorise la ventilation. En soi, comme les bâtiments sont traversants, dans ce groupe de morphologies le patio n'est plus indispensable pour la ventilation.

#### 5.3.5 Les cheminements piétons

Les matériaux des sols ont un grand impact sur la chaleur par l'albédo et l'imperméabilisation. Rappelons qu'un grand albédo (peinture blanche) peut créer des espaces extérieurs plus chauds pendant la journée. La nuit, il n'y a pas de restitution de chaleur. Un petit albédo (asphalte noire) absorbe beaucoup de chaleur et la restitue la nuit. Il est conseillé de limiter les surfaces noires au sol et d'utiliser des matériaux de couleurs intermédiaires, entre sombre et clair, et de texture adaptée (Martins et al., 2015).

Tout ce qui est imperméabilisé ne peut pas rafraîchir l'air, stocke la chaleur pendant la journée et la restitue la nuit (Ali-Toudert & Mayer, 2007). L'eau gardée dans les surfaces perméabilisées contribue au rafraîchissement. Il est donc conseillé de limiter les surfaces imperméables.

<sup>37</sup> construites en 2005 par Cusy-Maraval Architectes

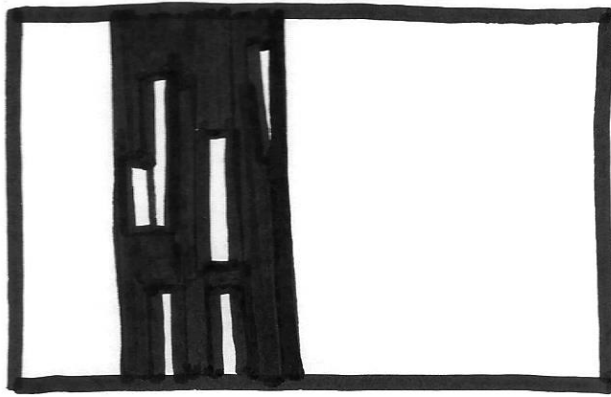
Les quartiers additifs périurbains regroupent les parkings et utilisent un double réseau de circulation. Seules quelques rues sont accessibles aux voitures, pour l'entretien et le dépôt de courses. Sinon les accès aux logements se font à pied à travers un réseau de ruelles piétonnes. Ils limitent ainsi les surfaces goudronnées et noires. Les cheminements ont des largeurs autour de 2,3 à 3m. De plus, les cheminements du Village Grec sont entourés de haies, ce qui amène le passage à seulement 1,55m.

#### 5.3.6 L'équilibre entre la profondeur des rues et l'accessibilité au vent

La profondeur des rues est définie par le nombre d'étages, et donc par le FVC et par le ratio H/L. Dans la conception d'un quartier périurbain, un équilibre est recherché entre la profondeur des rues et l'accessibilité à la ventilation. La littérature stipule que les ruelles étroites et profondes (avec un petit FVC et un grand H/L) sont plus adaptées aux climats chauds, parce qu'elles font de l'ombre pendant la journée. Il s'agit dans la littérature de ruelles étroites (H/L=3,8 à 6,1 à Aleppo, Syrie) à très étroites (H/L jusqu'à 11 à Fez, Maroc) (Johansson, 2006 ; Zakhour, 2015). En revanche, la nuit, elles gardent la chaleur pendant plus longtemps, créant un ICU.

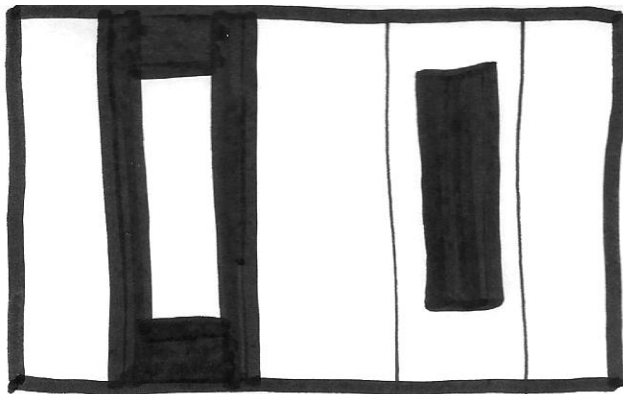
Cette étude ne confirme pas inconditionnellement le fait qu'un petit FVC garanti un bon confort thermique. Il y a plusieurs exemples où un petit FVC mène à une situation inconfortable, suite à l'absence de ventilation (chaptire 3 : 2-2 au Gaou Bénat, 7 au Village Grec, 6 au Merlier) ; ou où un grand FVC a quand même une situation confortable (chapitre 3 : 9 au Village Grec, 3 au Gaou Bénat). Elle démontre que les endroits les plus frais et confortables sont les rues bien ventilées ; et que même un grand FVC peut amener un confort dans la rue, à condition d'être accessible au vent.

Les quartiers de logements individuels additifs présentent en général un rez-de-chaussée avec un ou deux étages. Ils sont équipés de rues piétonnes étroites (largeurs autour de 3m). La plupart des rues étudiées ont des H/L plutôt petits à moyens (entre 0,4 et 3,3). Ils ont des ICU plus petits que les centres-villes, suite à la présence de végétation et les rues moins profondes. Le Village Grec par exemple n'a pas systématiquement un ICU, mais la troisième nuit il y avait 1,1°C d'écart entre le quartier et la station Météo-France en zone non-urbanisée (chapitre 4). Le Merlier a un ICU de 1,2°C en moyenne. En été, les quartiers périurbains ne stockent et restituent pas la chaleur comme au centre-ville.

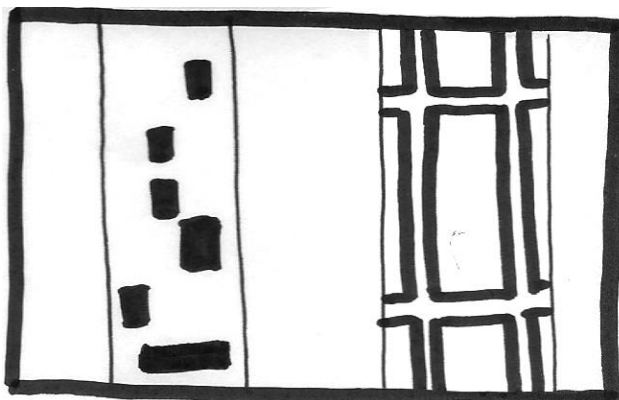


**Légende :**  
Noir : végétation

*Figure 5-23 :  
Macro-végétation de la palmeraie : les  
bâtiments sont intégrés dans une végétation  
omniprésente.*



*Figure 5-24 :  
Un grand parc régulier rafraichit plus qu'un  
petit parc irrégulier : une place entourant  
(gauche) ou une place centrale (droite).*



*Figure 5-25 :  
Micro-végétation : des placettes végétalisées  
(gauche) et de la dentelle en forme de haies  
reparties dans les rues (droite).*

### 5.3.7 La place de la végétation

Quelle place prend la végétation dans l'assemblage ? A chaque vert son effet. Explorons en allant de la macro-vers la micro-végétation.

Dans le fonctionnement thermique de la palmeraie, la végétation est omniprésente. Il s'agit d'une macro-végétation. Comme au Gaou Bénat, ou à la Presqu'île du Ponant à la Grande Motte (Figure 5-26), les logements semblent insérés dans la végétation. Ils sont regroupés par clusters ou en bande, entourés de vert (Figure 5-23). Aussi bien la végétation privée que celle des espaces communs contribuent à la création de l'ombre. La densité du quartier est moins élevée, ce qui peut poser problème sous la pression immobilière des prix des terrains.

Il a été démontré qu'au parc il fait 3,5°C de moins qu'en ville (Izard, 1993) et que les petits parcs de formes allongées et irrégulières rafraichissent moins, car la chaleur de la zone minérale qui les entoure est en contact avec un plus grand périmètre (ADEME, 2021). L'effet rafraichissant y est alors plus important et porte plus loin si le parc est plus grand et plus régulier. Suivant une simulation numérique, pour chaque 100 m<sup>2</sup> supplémentaire de parc, il y a un rafraichissement supplémentaire de 1°C (Dimoudi & Nikolopoulou, 2003). Il s'agit d'une végétation haute arborée, et non pas d'un espace vert herbacé. Pour donner une idée, 100 m<sup>2</sup> correspond à 10mx10m, ou à une parcelle du Village Grec. Il est intéressant de noter que l'effet rafraichissant d'un grand parc va au-delà du parc, et que l'effet d'un arbre ou d'un cluster d'arbres ne va pas au-delà de ces quelques arbres. Ce grand parc pourrait prendre une place centrale dans le quartier périurbain ou au contraire, une place entourant (Figure 5-24), comme une ceinture verte ou par exemple comme la garrigue qui entoure le Merlier.



Figure 5-26 :  
Le Village de Vacances Famille de la Presqu'île du Ponant à La Grande Motte. Construit par Jean Balladur dans les années 60 (c'est le permis numéro 001 de la Grande Motte).



Suivant cette logique, il faut donc prioriser un grand parc plutôt que plusieurs petites placettes végétalisées (Figure 5-25). Le Merlier est entouré de garrigue et en plus plusieurs placettes végétalisées sont réparties dans le quartier. Pourtant, l'ICU du Merlier est plus important que celui du Village Grec, pendant qu'il faisait plus chaud au dernier lors des mesures. Comme mentionnée avant, ceci est dû aux rues peu profondes et accessibles au vent du Village Grec, mais fort probablement la micro-végétation en forme de haies le long des ruelles y contribue (Figure 5-25). Comme de la dentelle elle se faufile partout dans le quartier. Il s'agit de haies avec des hauteurs comprises entre 1m et 3m, alors cette végétation offre moins d'ombre qu'une végétation haute, mais elle fait de l'ombre sur les murs et les protège contre le rayonnement direct et réfléchi. Les mesures confirment que l'emplacement sans haie et sans vent est l'emplacement le plus chaud de la rue (le point 2 au Village Grec – chapitre 3). De plus, des placettes végétalisées arborées font de l'ombre sur les logements autour, et ont un impact rafraichissant de cette manière.

Toute micro-végétation, aussi bien des placettes végétalisées, des dentelles, des plantes grimpantes sortant des patios ou d'un pied de façade ont un effet rafraichissant local, aussi bien dans la rue que dans les logements concernés. La macro- et micro-végétation sont complémentaires et ne s'excluent pas mutuellement.

#### 5.4 Conclusion

Nous sommes entourés de sources de fraîcheur : la nuit, la terre, la végétation ombreuse, les matériaux. L'idée principale est de chercher la fraîcheur là où elle est disponible, et d'y puiser : air-terre-vert.

Les patios du climat méditerranéens cherchent un équilibre entre l'accès au soleil en hiver, et le blocage du soleil en été. Cette double contrainte mène vers des patios plutôt bas ( $H/L < 1$ ). Il faut à tout prix éviter des expositions prolongées au soleil, en ménageant l'orientation et en aménageant de l'ombre, de la végétation et de l'eau. Si ceci s'avère difficile, il faut rendre le patio accessible à la ventilation. Le patio couvert rafraichit plus que le patio ventilé et végétalisé.

Les morphologies traditionnelles de la région et celles des études de cas des années 60, font plutôt partie d'un premier groupe de morphologies avec des bâtiments non-traversants et des murs communs ou enterrés au fond de parcelle. La ventilation peut se faire par des percements donnant sur la rue (un patio intermédiaire) ou au centre du bâtiment (un patio central), ou encore par l'étage et un tirage thermique. Suite aux résultats des chapitres 3 et 4, notamment l'importance de la ventilation, les morphologies avec des bâtiments traversants s'avèrent être aussi bien adaptées au climat méditerranéen tempéré que les morphologies traditionnelles compactes, car elles favorisent la ventilation. Un exemple est la morphologie « *typiquement du nord* », ou les maisons en bande qui libèrent le fond de la parcelle (centre d'îlot ouvert). En soi, comme les bâtiments sont traversants, dans ce groupe de morphologies le patio n'est plus indispensable pour la ventilation.

---

## Conclusion

---

L'ensemble de ces travaux a porté sur le confort d'été en zone périurbaine, en se questionnant comment concevoir des quartiers de logements individuels groupés adaptés au climat méditerranéen tempéré. Dans l'idée d'étudier le passé pour faire l'avenir, des conseils de conception ont été formulés pour les architectes, paysagistes et urbanistes.

Tout d'abord le climat méditerranéen (tempéré et chaud) a été examiné à la loupe, avec les archétypes méditerranéens existants et les stratégies dont ils disposent pour gérer la chaleur estivale. En plus des logements troglodytes, deux types principaux ont été définis, avec chacun des variantes : la maison cubique et la maison à cour, avec leurs morphologies respectives. Les types considérés adaptés à la chaleur d'été sont compacts avec des matériaux présentant une grande inertie thermique. La stratégie principale y est la stratégie de l'ombre et des ruelles étroites, avec ou sans cour. L'exemple du Vieux Nice illustre que cette approche de l'ombre est accompagnée d'une ventilation en séquence : rue – clair<sup>38</sup> – passage – patio, comme un « réseau des vides ». La dernière partie du premier chapitre était consacré à la définition des méthodes et paramètres utilisés par la suite : l'analyse typo-morphologique, l'analyse environnementale et le confort thermique.

Dans le second chapitre, l'étude a ensuite présenté les études de cas : trois villages de vacances des années 60 dans le sud de la France en climat méditerranéen tempéré. L'exploration du contexte historique a permis de démêler les intentions climatiques estivales intuitives en lien avec d'autres aspects du projet architectural, comme l'attention portée au site (la pente, les matériaux, les vents dominants), aux villages traditionnels de la région, et aux morphologies issues d'un processus d'urbanisation de la grille 8x8 dans un climat chaud (Michel Ecochard à Casablanca, Maroc). Les études de cas ont ensuite été caractérisées et situées par rapport aux archétypes de l'architecture traditionnelle. Les ressemblances et les différences ont été identifiées sur le plan typo-morphologique et sur le plan climatique (avec une analyse environnementale). L'analyse typo-

---

<sup>38</sup> clair<sup>38</sup> = ouverture au-dessus de la porte

morphologique a d'abord constaté que les études de cas ont des morphologies vaguement inspirées par les archétypes, malgré la scission Moderne, mais de manière hybride. Elle a identifié certains éléments typiques des villages de vacances des années 60, qui ont une influence sur la gestion de la chaleur, comme les fonds de parcelles qui donnent sur des murs communs (Village Grec), sur des murs enterrés (le rez-de-chaussée du Merlier) ou sur le vide (Gaou Bénat) ou encore comme les patios latéraux modernes et désaxés sur la rue (par rapport au patio traditionnel qui se trouve au cœur de la maison). Ensuite l'analyse environnementale a identifié que les rues sont moins profondes et plus vertes, et les logements moins compacts que dans les centres-villes.

Une fois définis ces éléments typiques, l'étude les a quantifiés afin de vérifier leur efficacité. Ces intuitions climatiques mises en place dans les années 60 ont-elles finalement l'impact voulu ? Le « réseau des vides » mentionné ci-dessus intervient-il aussi dans les études de cas, mais sous la forme de la séquence rue – patio – espace intérieur ? Les mesures in situ ont été effectuées à trois échelles : d'abord à l'échelle de la morphologie avec la balade thermique pour localiser une rue fraîche, ensuite à l'échelle de la rue fraîche pour faire des profils thermiques basés sur six points stratégiques, et finalement à l'échelle de la maison, dans le patio et à l'intérieur. Les éléments mesurés sont la température, l'humidité relative, le déplacement d'air et les Facteurs du Vue de Ciel (FVC). Les résultats ont été interprétés avec l'approche du diagramme de confort de Givoni, avec la PET et avec le confort adaptatif de la norme Européenne. En fonction de l'approche, l'interprétation des résultats change considérablement.

Le chapitre 3 traite le niveau de la rue, où la stratégie principale de la gestion de la chaleur est la ventilation et l'accessibilité au vent. Deux fonctionnements thermiques sont identifiés : le quartier compact (Village Grec et Merlier) qui puise sa fraîcheur dans de la ventilation, des ruelles moyennement étroites, et la présence de pins et d'une micro-végétation ; et la palmeraie (Gaou Bénat) qui puise sa fraîcheur dans une grande porosité facilitant la ventilation, et une végétation luxuriante. Les rues sont majoritairement confortables (>50%) suivant l'interprétation du diagramme de Givoni. Le chapitre 4 traite le niveau de la maison, où d'abord les patios latéraux ont été étudiés, ensuite les espaces intérieurs attenants et finalement le « réseau des vides ». Les patios latéraux ouverts observés fonctionnent comme des fours, coupés de la ventilation et surchauffés. Ils sont très inconfortables suivant Givoni (<5%). Ils ne peuvent fonctionner comme un tampon thermique que lorsqu'ils sont couverts, afin d'éviter les expositions prolongées au soleil. Le patio couvert, avec un confort entre 22 et 80% suivant l'interprétation de Givoni, rafraîchit plus que le patio ventilé et végétalisé, qui a un confort <10%. Pour les espaces intérieurs, trois fonctionnements thermiques sont identifiés : l'approche de la ventilation (Village Grec) avec un plan éclaté, des patios latéraux et des murs communs sur une partie du rez-de-chaussée ; l'approche du sol et de l'inertie du matériau (Gaou Bénat) avec un plan compact et des murs avec une grande inertie, et un assemblage plutôt poreux avec peu de murs communs ; et finalement l'approche qui combine les deux (Merlier) avec des murs enterrés au rez-de-chaussée et

l'approche de la ventilation à l'étage. La première approche n'est pas du tout confortable pour les espaces intérieurs (0%) suivant l'interprétation du confort avec le diagramme de Givoni, et la troisième approche avec les murs enterrés est moyennement confortable à cause de l'humidité relative (< 50%). En revanche, suivant l'interprétation du confort adaptatif de la norme européenne, les deux sont confortables pour 90% des gens. Ces résultats contradictoires peuvent paraître surprenants : ils sont dus au fait que cette norme ne prend pas l'humidité en compte. Enfin, le « réseau des vides » a été étudié, entre la rue – le patio – les espaces intérieurs. Aucun lien clair n'a été observé de manière convaincante entre la rue et le patio. En revanche, un lien a été confirmé entre le patio et les espaces intérieurs.

Finalement, le dernier chapitre formule des conseils de conception pour les quartiers du futur, avec des logements individuels groupés, adaptés au climat méditerranéen tempéré. Les conseils sont portés par le triptyque AIR-TERRE-VERT et l'idée d'aller chercher la fraîcheur sur le site, là où elle se trouve. Comme la ventilation sort des résultats comme l'élément le plus porteur de fraîcheur, les conseils portent sur la porosité et sur une compacité combinée avec une possibilité de ventilation (air), mais également sur le potentiel de la terre (terre) et de la végétation (vert). Ce dernier chapitre propose une morphologie additive comme morphologie adaptée au climat méditerranéen tempéré, avec les deux images (le quartier compact et la palmeraie), suivi par des conseils de conception pour la maison à patio et pour l'assemblage. Le patio en soi ne semble pas adapté au climat méditerranéen tempéré. Il y est plutôt bas ( $H/L < 1$ ) et il doit éviter les expositions au soleil afin d'éviter la surchauffe, en ménageant l'orientation et en aménageant de l'ombre, de la végétation et de l'eau. Si ceci s'avère difficile, les patios peuvent être des patios ventilés. Le patio couvert rafraîchit plus que le patio ventilé et végétalisé. Au niveau de l'assemblage, deux groupes se distinguent. Les morphologies traditionnelles de la région et celles des études de cas des années 60 ont plutôt des morphologies avec des bâtiments non-traversants et des murs communs ou enterrés au fond de la parcelle. La ventilation se fait par un patio (intermédiaire ou central). Les morphologies « *typiquement du nord* » avec les maisons traversantes en bande et le centre de l'îlot ouvert, s'avèrent être aussi bien adaptées, voire mieux, au climat méditerranéen tempéré que les morphologies traditionnelles compactes, car elles favorisent la ventilation.

### Limites et perspectives

Les mesures in situ exigent une organisation et une gestion des changements de dernière minute (selon la logistique, la météo ou l'emploi du temps des propriétaires des études de cas), conduisant à des difficultés de programmation de la recherche. Mais les mesures sur site représentent des situations en temps réel. Tous les paramètres sont pris en compte, ce qui en fait une méthode intéressante pour étudier des systèmes complexes. De plus, elles sont complémentaires aux simulations numériques. La campagne de mesures in situ au patio du Gaou Bénat n'a pas eu lieu, suite à des imprévus au dernier moment en lien avec la pandémie du Covid.

En perspective, plusieurs pistes peuvent être suivies. La première, la plus évidente, est une étude parallèle sur le confort d'hiver. Car même s'il y a une *Méditerranéisation* de la France et même si le réchauffement climatique prolongera et accentuera les canicules, le climat méditerranéen tempéré reste un climat avec des hivers relativement froids. L'autre moitié de cette étude serait donc axée sur le confort d'hiver. Une deuxième piste dans la continuité de cette recherche est la quantification de la microporosité, avec le capteur de déplacement d'air plus précis. En considérant que la ventilation est la stratégie principale de rafraîchissement dans les rues, et que les études de cas ont mis en place plusieurs éléments avec une microporosité (fentes, claustra), il serait intéressant de vérifier l'efficacité de ces éléments. Ne sont-ils que décoratifs ? Dans quelle mesure contribuent-ils au confort dans la rue et dans les patios ? Une dernière piste à deux pans se situe sur deux équilibres à chercher et à définir. D'une part elle se trouve sur la ligne fine entre le besoin de compacité et de ventilation. Comment faire un plan éclaté qui permet de la ventilation et en même temps une certaine compacité ? La deuxième ligne fine se situe entre la profondeur des rues et le besoin de ventilation. Quelles sont les valeurs de référence de FVC conseillées pour des rues adaptées au climat méditerranéen tempéré ?

---

## Bibliographie

---

- Abdulak, S., & Pinon, P. (1973). Maisons en pays islamiques. *L'Architecture d'aujourd'hui*, 167, 6–15.
- ADEME. (2021). *Rafrâichir les villes*. Angers: Ademe Editions. <https://bibliothèque.ademe.fr/changement-climatique-et-energie/4649-rafraichir-les-villes-9791029717475.html>
- Adolphe, L. (1998). *Ambiances architecturales et urbaines*. Editions Parenthèses.
- Adolphe, L. (2001). A Simplified Model of Urban Morphology: Application to an Analysis of the Environmental Performance of Cities. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 28(2), 183–200. <https://doi.org/10.1068/b2631>
- EN ISO 7726, (2002).
- EN 1991-1-4:2005, (2005).
- ISO 7730, (2006).
- Redline EN NF 16798-1, (2019).
- Ali-Toudert, F. (2007). Sustainability and Human Comfort at urban level: Evaluation and Design Guidelines. *Proceedings of the International Conference on Sustainable Buildings, Part 2*, 702–709.
- Ali-Toudert, F., & Mayer, H. (2006). Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate. *Building and Environment*, 41(2), 94–108. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.01.013>
- Ali-Toudert, F., & Mayer, H. (2007). Effects of asymmetry, galleries, overhanging facades and vegetation on thermal comfort in urban street canyons. *Solar Energy*, 81(6), 742–754. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2006.10.007>
- Amani-Beni, M., Zhang, B., Xie, G., & Xu, J. (2018). Impact of urban park's tree, grass and waterbody on microclimate in hot summer days: A case study of Olympic Park in Beijing, China. *Urban Forestry & Urban Greening*, 32, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.03.016>
- Amouroux, D. (2010). *Louis Arretche*. Éd. du Patrimoine.
- APUR. (2012). *Les îlots de chaleur urbains à Paris Cahier#1*.
- APUR. (2017). *Les îlots de chaleur urbains à Paris Cahier#4: Influence climatique des revêtements de sol à Paris*.
- Arretche, L., Renaudie, J., Riboulet, P., Thurnauer, G., & Veret, J. L. (1965). Aménagements touristiques sur la Côte d'Azur. *Architecture d'aujourd'hui*, 118, 36–38.

- Arretche, L., Renaudie, J., Riboulet, P., Thurnauer, G., & Véret, J. L. (1965). Cap Camarat, domaine du "Château Volterra", village du Merlier. *Techniques & Architecture*, 1(26), 126–131.
- Arretche, L., Renaudie, J., Riboulet, P., Thurnauer, G., & Véret, J. L. (1966). Village du Merlier près de Ramatuelle, côte d'Azur. *Architecture d'aujourd'hui*, 124, 74–75.
- Avermaete, T., & Casciato, M. (2014). *Casablanca Chandigarh*. Montréal : Centre canadien d'architecture Zürich : Park Books.
- Bartoli, P. (2014). *Expérimentations et innovations des programmes résidentiels de vacances dans la période des Trente Glorieuses* [Phdthesis]. Aix-Marseille Université.
- Bartoli, P. (2020). *Habiter les vacances*. Marseille : Editions Imbernon.
- Batier, C. (2016). *Confort thermique et énergie dans l'habitat social en milieu méditerranéen* [Theses, Université de Montpellier]. <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-01324038>
- Beltrando, G., Dahech, S., & Madelin, M. (2008). L'intérêt de l'étude des brises thermiques: Exemples des brises littorales et orographiques. *Bulletin de La Société Géographique de Liège*, 51, 49–61.
- Benamouma, D. (2018). *L'impact de la géométrie urbaine sur le confort thermique extérieur (Cas de la ville de Batna)* [Masters, Université Mohamed Khider – Biskra]. <http://thesis.univ-biskra.dz/4223/>
- Beqqal, N., Saaid, F. Z., & Chaoui, M. O. (2021). At the dawn of the sustainable Moroccan modernism: Bioclimatic approach in early GAMMA group's architecture. *African and Mediterranean Journal of Architecture and Urbanism*, 3(1), Article 1. <https://doi.org/10.48399/IMIST.PRSM/amjau-v3i1.26238>
- Bertholon, P., & Huet, O. (2005). *Habitat creusé*. Paris : Eyrolles.
- Blain, C. (2008). *L'Atelier de Montrouge—La modernité à l'oeuvre (1958-1981)*. Paris : Actes Sud / Cité de l'architecture & du patrimoine.
- Boesiger, W. (1985). *Le Corbusier. Oeuvre complète 1946-1952. Vol. 5*. Zurich : Editions Girsberger.
- Bonillo, J.-L. (2006). Les architectes modernes et les enseignements de la casbah. *La pensée de midi*, 18(2), 31–38.
- Borie Alain, P. M. (1987). *Analyse morphologique et composition architecturale*. Ecole d'architecture de Paris-La-Défense.
- Bouali-Messahel, M. (2019). *Types d'habitat et formes d'alternances saisonnières de l'habiter mozabite oasien: L'exemple de Béni Isguen* [Thèse de doctorat]. Université Paris Nanterre.
- Bürklin, T., & Peterrek, M. (2007). *Morphologie urbaine*. Birkhäuser.
- Busato, F., Lazzarin, R. M., & Noro, M. (2014). Three years of study of the Urban Heat Island in Padua: Experimental results. *Sustainable Cities and Society*, 10, 251–258. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2013.05.001>
- Cadoni, G. (2015). *Les systèmes de rafraîchissement passifs dans l'architecture et la conception bioclimatique du bâtiment: Méthodologie d'analyse et évaluation de réalisations à travers le monde* [Phdthesis]. Aix-Marseille Université.
- Candilis, G. (1973). *Recherches sur l'architecture des loisirs*. Editions Eyrolles.



- Candilis, G. (2012). *Bâtir la vie. Un architecte témoin de son temps* [Building life. An architect witness of his time]. Infolio, Gollion CH. ISBN 978-2-88474-626-7
- Capannini, L. (2005). *Habitat collectif méditerranéen et dynamique des espaces ouverts*. Journée d'étude Jeunes chercheurs : Le logement et l'habitat. [http://resohab.univ-paris1.fr/jclh05/article.php3?id\\_article=34](http://resohab.univ-paris1.fr/jclh05/article.php3?id_article=34)
- Cardinale, N., Rospi, G., & Stazi, A. (2010). Energy and microclimatic performance of restored hypogeous buildings in south Italy: The "Sassi" district of Matera. *Building and Environment*, 45(1), 94–106. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.05.017>
- Cardinale, N., Rospi, G., & Stefanizzi, P. (2013). Energy and microclimatic performance of Mediterranean vernacular buildings: The Sassi district of Matera and the Trulli district of Alberobello. *Building and Environment*, 59, 590–598. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.10.006>
- Carlos, G. D., Correia, M., Gomez, F., & Rocha, S. (2014). Compact houses. In *Versus* (pp. 165–175). Firenze University Press.
- Carrega, P. (2013). Le climat urbain de Nice en milieu géographique contrasté: Synthèse par approche inductive. *Climatologie*, 10, 9–34. <https://doi.org/10.4267/climatologie.75>
- CAUE de l'Hérault. (2013). *L'habitat individuel à qualité environnementale en méditerranée. Carnet n° 3*. Montpellier : CAUE de l'Hérault.
- Chahwane, L. (2011). *Valorisation de l'inertie thermique pour la performance énergétique des bâtiments* (Issue 2011GRENA017) [Theses, Université de Grenoble]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00701170>
- Claret, C. (2016). *Archéologie de l'unité touristique de Leucate-Barcares* [Mémoire d'étudiant]. ENSA Marseille.
- Cohen, P., Potchter, O., & Matzarakis, A. (2013). Human thermal perception of Coastal Mediterranean outdoor urban environments. *Applied Geography*, 37, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2012.11.001>
- Conzen, M. R. G. (2021). *Alnwick, Northumberland: A Study in Town-plan Analysis*. Hassell Street Press.
- CORPUS - Euromed Heritage. (2019, October 31). <http://www.meda-corpus.net/>
- Cramer, W., Guiot, J., Fader, M., Garrabou, J., Gattuso, J.-P., Iglesias, A., Lange, M. A., Lionello, P., Llasat, M. C., Paz, S., Penuelas, J., Snoussi, M., Toreti, A., Tsimplis, M. N., & Xoplaki, E. (2018). Climate change and interconnected risks to sustainable development in the Mediterranean. *Nature Climate Change*, 8(11), 972–980. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0299-2>
- De Herde, A., & Liébard, A. (1996). *Guide de l'architecture bioclimatique: Tome 2*. Paris : Systèmes Solaires.
- Dimoudi, A., & Nikolopoulou, M. (2003). Vegetation in the urban environment: Microclimatic analysis and benefits. *Energy and Buildings*, 35(1), 69–76. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00081-6](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00081-6)
- Dipasquale, L. (2014). *Versus: Heritage for tomorrow. Vernacular knowledge for sustainable architecture*. Firenze University Press.

- Dipasquale, L., Mecca, S., & Picone, A. (2014). Courtyard houses. In *Versus* (pp. 151–163). Firenze University Press.
- Diz-Mellado, E., López-Cabeza, V. P., Rivera-Gómez, C., Galán-Marín, C., Rojas-Fernández, J., & Nikolopoulou, M. (2021). Extending the adaptive thermal comfort models for courtyards. *Building and Environment*, 203, 108094. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108094>
- DRIAS. (2020). *Les nouvelles projections climatiques de référence DRIAS 2020 pour la métropole* (p. 98).
- Duport, L. J. (2015, November 13). Georges Candilis (1913-1995) architecte pour le plus grand nombre. [Georges Candilis (1913-1995) architect for the greatest number]. *LC2015 - Le Corbusier, 50 years later*. LC2015 - Le Corbusier, 50 years later. <https://doi.org/10.4995/LC2015.2015.664>
- Ecochard, M. (1955). *Casablanca: Le roman d'une ville*. Paris : ed. de Paris.
- Ecole d'architecture du Languedoc-Roussillon. (1995). *Identités de la ville méditerranéenne*. Ed. de l'Espérou.
- Ecole d'Avignon. (2002). *Architecture traditionnelle méditerranéenne*. Ecole d'Avignon.
- Fernandez, P., & Lavigne, P. (2009). *Concevoir des bâtiments bioclimatiques*. Paris : Éditions le Moniteur.
- Ferrier, J.-P., Rinaudo, Y., & Torregrosa, A. (1983). La maison d'école et la maison-école: Les voix silencieuses du savoir. *Cahiers de La Méditerranée, Hors-série 7*, 217–226.
- Frayssinet, L., Mamou, K., Celaire, R., & Enertech. (2020). *Confort d'été dans l'habitat après rénovation*.
- Frey, P. (2010). *Learning from vernacular*. Arles : Actes sud.
- Garcia, F. Y. (2018). *La méthode des saisons climatiques: Stratégie passive de conception architecturale de bâtiments basse consommation énergétique en climat très chaud* [Phdthesis, Université de Bordeaux]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01951360/document>
- Giorgi, F. (2006). Climate change hot-spots. *Geophysical Research Letters*, 33(8). <https://doi.org/10.1029/2006GL025734>
- Girier, C., Jacquemin, O., & Pacitto, J.-L. (2001). *Film: Habiter les pentes du littoral varois—Les terrasses du Gaou Bénat*. Hyères : MALTAÉ.
- Girier, C., Jacquemin, O., & Pacitto, J.-L. (2006). *Habiter les pentes du littoral varois—Domaine Volterra Une architecture en Provence*. Hyères : MALTAÉ.
- Givoni, B. (1978). *L'Homme, l'architecture et le climat*. Paris : Éditions du Moniteur.
- Glatt, C. (2012). *Villégiature en Côte d'Azur. Sauvegarde et extension du village de vacances Le Merlier—Cap Camarat, Atelier de Montrouge, 1959-65 (F)* (Mémoire d'étudiant STUDENT, EPFL). <https://infoscience.epfl.ch/record/195048>
- Godivier, J.-L. (1978). *Atlas d'architecture mondiale*. Stock.
- Grassi, G. traduit de l'italien par X. M. (1983). *L'architecture comme métier et autres écrits*. P. Mardaga.
- Gravagnuolo, B. (1987). *Les liaisons indicibles. Le Corbusier et les intellectuels Italiens*. 185–199.
- Guez, J.-P. (1998). *Le sens caché de la ville méditerranéenne*. Ed. de l'Espérou.

- Guillaud, H. (2014). Roof shapes design. In *Versus* (pp. 177–185). Firenze University Press.
- Halawa, E., & van Hoof, J. (2012). The adaptive approach to thermal comfort: A critical overview. *Energy and Buildings*, 51, 101–110. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.04.011>
- Ho, A. D. (1984). *Identité et écriture de l'architecture de la ville méditerranéenne* [Mémoire d'étudiant]. Ecole d'architecture de Marseille-Luminy.
- IPCC. (2021). *Climate Change 2021—The Physical Science Basis*.
- Izard, J.-L. (1993). *Architectures d'été*. Aix-en-Provence : Edisud.
- Izard, J.-L., & Guyot, A. (1979). *Archi-bio*. Roquevaire : Ed. Parenthèses.
- Jamei, E., Rajagopalan, P., Seyedmahmoudian, M., & Jamei, Y. (2016). Review on the impact of urban geometry and pedestrian level greening on outdoor thermal comfort. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 1002–1017. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.104>
- Janda, K. B. (2011). Buildings don't use energy: People do. *Architectural Science Review*, 54(1), 15–22. <https://doi.org/10.3763/asre.2009.0050>
- Johansson, E. (2006). Influence of urban geometry on outdoor thermal comfort in a hot dry climate: A study in Fez, Morocco. *Building and Environment*, 41(10), 1326–1338. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.05.022>
- Joly, D., Brossard, T., Cardot, H., Cavailhes, J., Hilal, M., & Wavresky, P. (2010). Les types de climats en France, une construction spatiale. *Cybergeo : European Journal of Geography*. <https://doi.org/10.4000/cybergeo.23155>
- Kessling, W., Engelhardt, M., & Kiehlmann, D. (2013, September 12). *The human bio-meteorological chart*. PLEA2013, Munich, Germany.
- Kirschenmann, J. C., & Muschalek, C. (1980). *Residential districts*. Granada.
- Knowles, R. L. (1974). *Energy and form: An ecological approach to urban growth*. MIT Press.
- Koenig, V. A. du texte. (1984). *Un Village d'artisans égyptiens sous Ramsès IV, Deir el-Medineh / Viviane Koenig*. Paris. <http://ark.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k3357179k>
- Kropf, K. (2014). Ambiguity in the definition of built form. *Urban Morphology*, 18(1), 41–57.
- Krüger, E. L., Minella, F. O., & Rasia, F. (2011). Impact of urban geometry on outdoor thermal comfort and air quality from field measurements in Curitiba, Brazil. *Building and Environment*, 46(3), 621–634. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.09.006>
- Lechner, N. (2014). *Heating, Cooling, Lighting: Sustainable Design Methods for Architects* (4th Edition). John Wiley & Sons.
- Lecoin, J.-P., & Racine, M. (1974). Ensembles de logements individuels et semi-collectifs. *Cahiers de l'IAURP*, 36–37.
- Liébard, A., & De Herde, A. (2005). *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques: Concevoir, édifier et aménager avec le développement durable / Alain Liébard; André De Herde*. Paris : Observ'ER Editions.

- Mangin, D., & Panerai, P. (1999). *Projet urbain*. Marseille : Editions Parenthèses.
- Mansouri, Y. (2003). *Conception des enveloppes de bâtiments pour le renouvellement d'air par ventilation naturelle en climats tempérés* [Phdthesis]. Ecole polytechnique de l'université de Nantes.
- Martinelli, L., & Matzarakis, A. (2017). Influence of height/width proportions on the thermal comfort of courtyard typology for Italian climate zones. *Sustainable Cities and Society*, 29, 97–106. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.12.004>
- Martins, T., Adolphe, L., Bonhomme, M., Faraut, S., Ginestet, S., Michel, C., & Bonneaud, F. (2015, July). *Creating Urban Cool Islands effects for summer season in Toulouse new area*. 9ème conférence ICUC (International Conference on Urban Climate). <https://hal.insa-toulouse.fr/hal-02157152>
- Matzarakis, A., Mayer, H., & Iziomon, M. (1999). Applications of a universal thermal index: Physiological equivalent temperature. *International Journal of Biometeorology*, 43, 76–84. <https://doi.org/10.1007/s004840050119>
- Matzarakis, A., Rutz, F., & Mayer, H. (2010). Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: Basics of the RayMan model. *International Journal of Biometeorology*, 54(2), 131–139. <https://doi.org/10.1007/s00484-009-0261-0>
- Miao, C., Yu, S., Hu, Y., Zhang, H., He, X., & Chen, W. (2020). Review of methods used to estimate the sky view factor in urban street canyons. *Building and Environment*, 168, 106497. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106497>
- Moussa, R., Najem, W., Bocquillon, C., & Allam, A. (2020). Specific climate classification for Mediterranean hydrology and future evolution under Med-CORDEX regional climate model scenarios. *Hydrology and Earth System Sciences*, 24(9), 4503–4521. <https://doi.org/10.5194/hess-24-4503-2020>
- Muhaisen, A. S. (2006). Shading simulation of the courtyard form in different climatic regions. *Building and Environment*, 41(12), 1731–1741. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.07.016>
- Nègre, J.-R., & CLN architecture. (2012). *Repertoire des bâtiments par copropriété*. Mairie de Leucate.
- Oke, T. R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108(455), 1–24. <https://doi.org/10.1002/qj.49710845502>
- Oke, T. R. (1988). Street design and urban canopy layer climate. *Energy and Buildings*, 11(1), 103–113. [https://doi.org/10.1016/0378-7788\(88\)90026-6](https://doi.org/10.1016/0378-7788(88)90026-6)
- Olgyay, V. (1973). *Design with climate*. Princeton : Princeton University Press.
- Olympos. (2005). *OLYMPPOS, la Grèce antique—Maison*. <http://www.e-olympos.com/maison.htm>
- Panerai, P., & Castex, J. (1997). *Formes urbaines*. Parenthèses.
- Panerai, P., Castex, J., Depaule, J. C., & Samuels, I. (2012). *Urban Forms. Death and Life of the Urban Block*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780080481548>
- Paris, M., Sansen, M., Bosc, S., & Devillers, P. (2022). Simulation Tools for the Architectural Design of Middle-Density Housing Estates. *Sustainability*, 14(17), 10696. <https://doi.org/10.3390/su141710696>

- Peel, M., Finlayson, B., & McMahon, T. (2007). Updated World Map of the Koppen-Geiger Climate Classification. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 4. <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>
- Petit, C. (1986). *L'unité touristique Leucate Barcarés* [Mémoire d'étudiant].
- Ratti, C., Raydan, D., & Steemers, K. (2003). Building form and environmental performance: Archetypes, analysis and an arid climate. *Energy and Buildings*, 35(1), 49–59. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00079-8](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00079-8)
- Ravéreau, A. (2003). *Le M'Zab: Une leçon d'architecture*. Paris : Sindbad.
- Rewerski, J. (1999). *L'art des troglodytes*. Paris : Arthaud.
- Rodriguez-Ubinas, E., Montero, C., Porteros, M., Vega, S., Navarro, I., Castillo-Cagigal, M., Matallanas, E., & Gutiérrez, A. (2014). Passive design strategies and performance of Net Energy Plus Houses. *Energy and Buildings*, 83, 10–22. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.03.074>
- Rojas-Fernandez, J., Galan-Marin, C., Roa-Fernandez, J., & Rivera-Gomez, C. (2017). Correlations between GIS-Based Urban Building Densification Analysis and Climate Guidelines for Mediterranean Courtyards. *Sustainability*, 9(12), 2255. <https://doi.org/10.3390/su9122255>
- Rossi, A. (1976). La città analoga: Tavola / The Analogous City: Panel. *Lotus International : Rivista Trimestrale Di Architettura*, 13, 4–9.
- Rossi, A. (2001). *L'architecture de la ville*. In Folio.
- Rubel, F., & Kottek, M. (2010). Observed and projected climate shifts 1901-2100 depicted by world maps of the Koppen-Geiger climate classification. *Meteorologische Zeitschrift*, 19(2), 135–141. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2010/0430>
- Saaïd, F. Zohra, & Chaoui, M. O. (2020). The Patio House Typology and the Modern Architecture: Two practical and theoretical lessons from the Moroccan colonial context. *African and Mediterranean Journal of Architecture and Urbanism*, 2(1), Article 1. <https://doi.org/10.48399/IMIST.PRSM/amjau-v2i1.20155>
- Salat, S., Labbé, F., & Nowacki, C. (2011a). *Les villes et les formes*. CSTB / Hermann.
- Salat, S., Labbé, F., & Nowacki, C. (2011b). Textures urbaines et climat [Urban textures and climate]. In *Les villes et les formes [Cities and forms]* (pp. 171–189). Paris : CSTB / Hermann. ISBN 978-2-7056-8110-4
- Sansen, M., Martínez, A., & Devillers, P. (2021). Mediterranean Morphologies in Hot Summer Conditions: Learning From France's "Glorious Thirty" Holiday Housing: *Journal of Contemporary Urban Affairs*, 5(1), 19–34. <https://doi.org/10.25034/ijcua.2021.v5n1-2>
- Sansen, M. (2021b). L'intuition conceptuelle à la base d'une approche climatique. *Pré-Actes: 6èmes RDNAP*, 189–201. [https://www.paris-valdeseine.archi.fr/fileadmin/mediatheque/image/transversal/6e-rencontres-doctorales-en-architecture/6RDNAP2021\\_Pre\\_\\_actes.pdf](https://www.paris-valdeseine.archi.fr/fileadmin/mediatheque/image/transversal/6e-rencontres-doctorales-en-architecture/6RDNAP2021_Pre__actes.pdf)
- Santamouris, M., Adnot, J., Alvarez, S., & Klitsikas, N. (2004). *Cooling the cities*. Paris : Presses de l'Ecole des mines.

- Sarano, F. (2009). *Film: André Lefèvre & Jean Aubert / Architectes*. Archibooks. [https://www.youtube.com/watch?v=8gSz8OKGWxo&feature=emb\\_title](https://www.youtube.com/watch?v=8gSz8OKGWxo&feature=emb_title)
- Sept jours du monde. (1963, July 12). *Film: Languedoc Roussillon: Nouvelle Floride ?* Archive de l'Ina. <http://www.ina.fr/video/CAF93019796>
- Shashua-Bar, L., Potchter, O., Bitan, A., Boltansky, D., & Yaakov, Y. (2010). Microclimate modelling of street tree species effects within the varied urban morphology in the Mediterranean city of Tel Aviv, Israel. *International Journal of Climatology*, 30(1), 44–57. <https://doi.org/10.1002/joc.1869>
- Sournia, B. (1991). *Montpellier*. Imprimerie nationale.
- Tadi, M., Biraghi, C., Zadeh, M., & Brioschi, L. (2017). Urban Porosity. A morphological Key Category for the optimization of the CAS's environmental and energy performance. *Journal of Engineering Technology*, 4, 138. [https://doi.org/10.5176/2251-3701\\_4.3.215](https://doi.org/10.5176/2251-3701_4.3.215)
- Taleghani, M., Kleerekoper, L., Tenpierik, M., & van den Dobbelsteen, A. (2015). Outdoor thermal comfort within five different urban forms in the Netherlands. *Building and Environment*, 83, 65–78. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.03.014>
- Teitelbaum, E., Jayathissa, P., Miller, C., & Meggers, F. (2020). Design with Comfort: Expanding the psychrometric chart with radiation and convection dimensions. *Energy and Buildings*, 209, 109591. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109591>
- Tsoka, S. (2011). *Relations entre morphologie urbaine, microclimat et confort des piétons: Application au cas des écoquartiers* [Other, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment [CSTB], Nantes]. <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-00762674>
- Villages de vacances. (1964). *L'Architecture d'aujourd'hui*, 112, 77–89.
- Vitruvius, translated by M. H. M. (1960). *Vitruvius—The ten books on architecture*. New York : Dover Publications, Inc.
- Wright, D. (1978). *Natural solar architecture*. New York : Van Nostrand Reinhold.
- Yang, J., Zhou, M., Li, M., Yin, P., Wang, B., Pilot, E., Liu, Y., van der Hoek, W., van Asten, L., Krafft, T., & Liu, Q. (2018). Diurnal temperature range in relation to death from stroke in China. *Environmental Research*, 164, 669–675. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.03.036>
- Zakhour, S. (2015). The impact of urban geometry on outdoor thermal comfort conditions in hot-arid region. *Journal of Civil Engineering and Architecture Research*, 2, 862–875.
- Zamani, Z., Heidari, S., & Hanachi, P. (2018). Reviewing the thermal and microclimatic function of courtyards. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 93, 580–595. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.05.055>
- Zhang, D. (2020). Courtyard Houses around the World: A Cross-Cultural Analysis and Contemporary Relevance. In *New approaches in contemporary architecture and urbanism* (Istanbul : Cinius Yayinlari, pp. 23–44). Cinius Yayinlari. <https://doi.org/10.38027/N3ICCAUA316235>

---

## Annexes

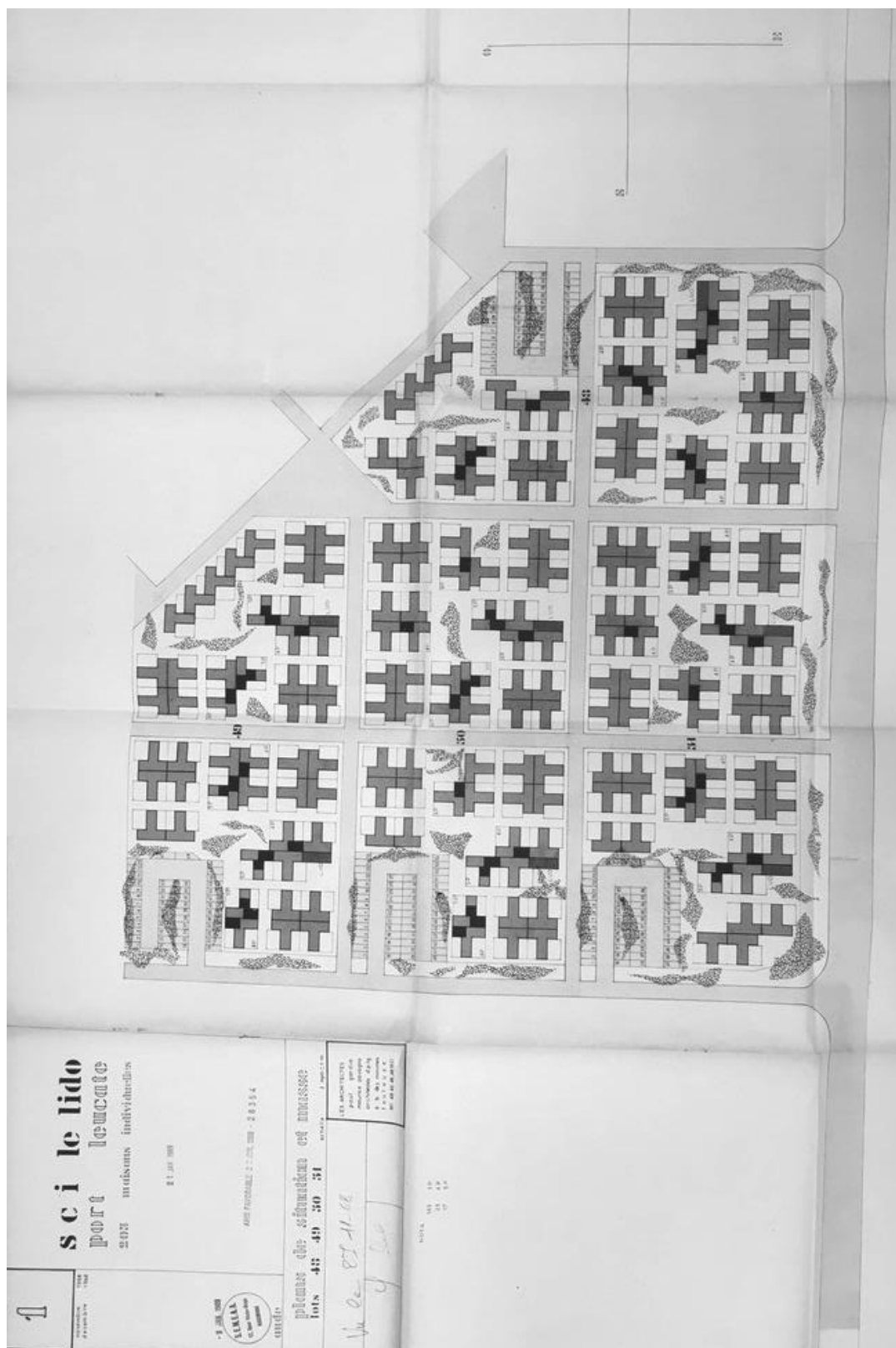
---

N° DE FICHE	NOM	DATE
VG01	Village Grec – Plan de masse	01/1969
VG02	Village Grec – Nomenclature permis	01/1969
VG03	Village Grec – Plan du rez-de-chaussée	01/1969
VG04	Village Grec – Plan de l'étage	01/1969
VG05	Village Grec – Coupe a b c	01/1969
VG06	Village Grec – Façades 1 et 2	01/1969
GB01	Gaou Bénat – Plan de masse	08/1962
GB02	Gaou Bénat – Coupe schématique	12/1960
M01	Merlier – Plan du rez-de-chaussée	02/1963
M02	Merlier – Plan de l'étage	11/1963
M03	Merlier – Coupes transversale et longitudinale	08/1962



## Les plans originaux du Village Grec

VG01 – Village Grec – Plan de masse



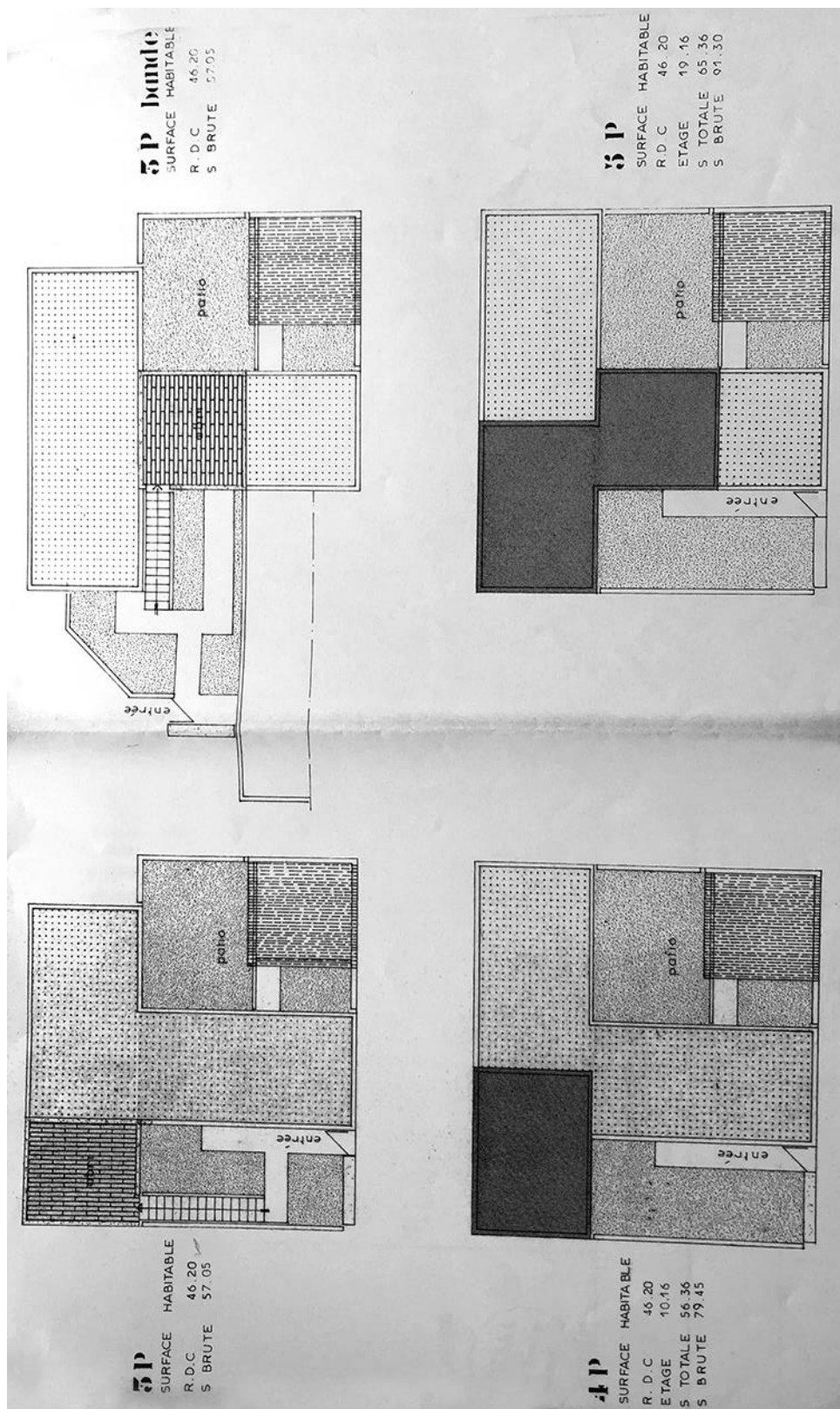
Permis de construire – 1  
P. Gardia – M. Zavagno

Dépôt 21/01/1969  
Avis favorable 22/04/1969



Source:  
archive de la mairie de Leucate

## VG02 – Village Grec – Nomenclature permis



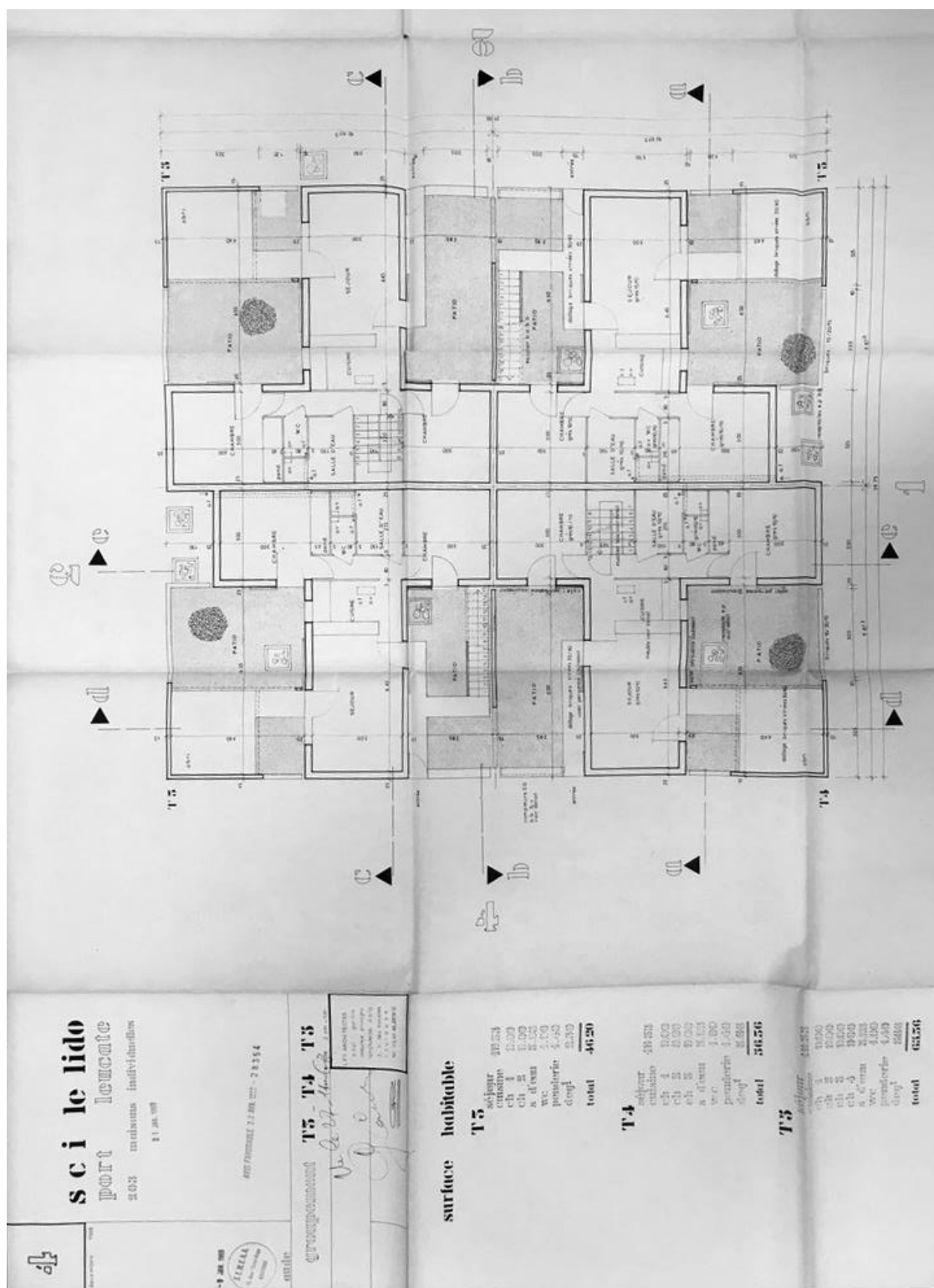
Permis de construire – 3  
P. Gardia – M.Zavagno

Dépôt 21/01/1969  
Avis favorable 22/04/1969



Source:  
archive de la mairie de Leucate

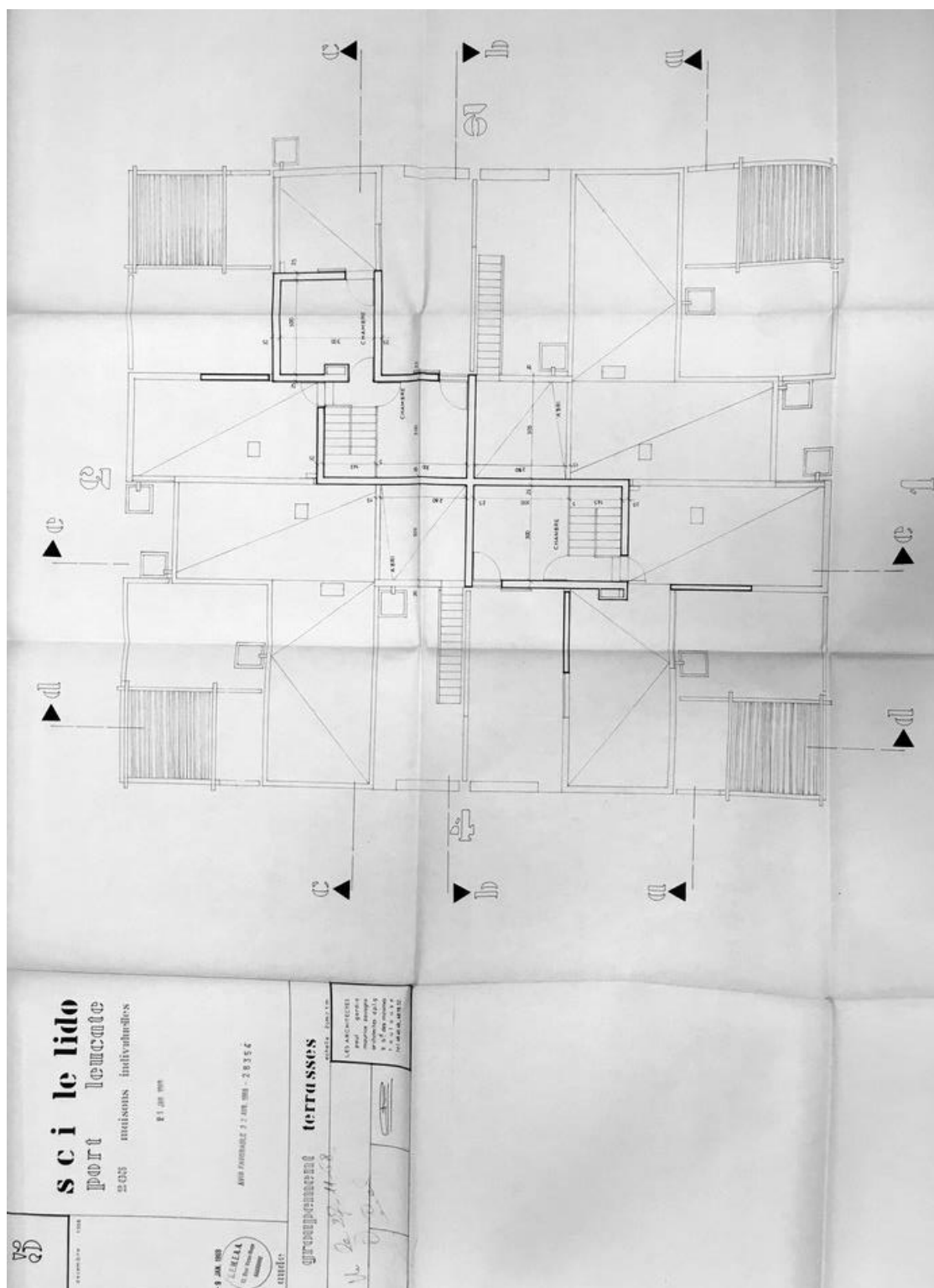
## VG03 – Village Grec – Plan du rez-de-chaussée

Permis de construire – 4  
P. Gardia – M.Zavagno

Dépôt 21/01/1969  
Avis favorable 22/04/1969

Source:  
archive de la mairie de Leucate

## VG04 – Village Grec – Plan de l'étage

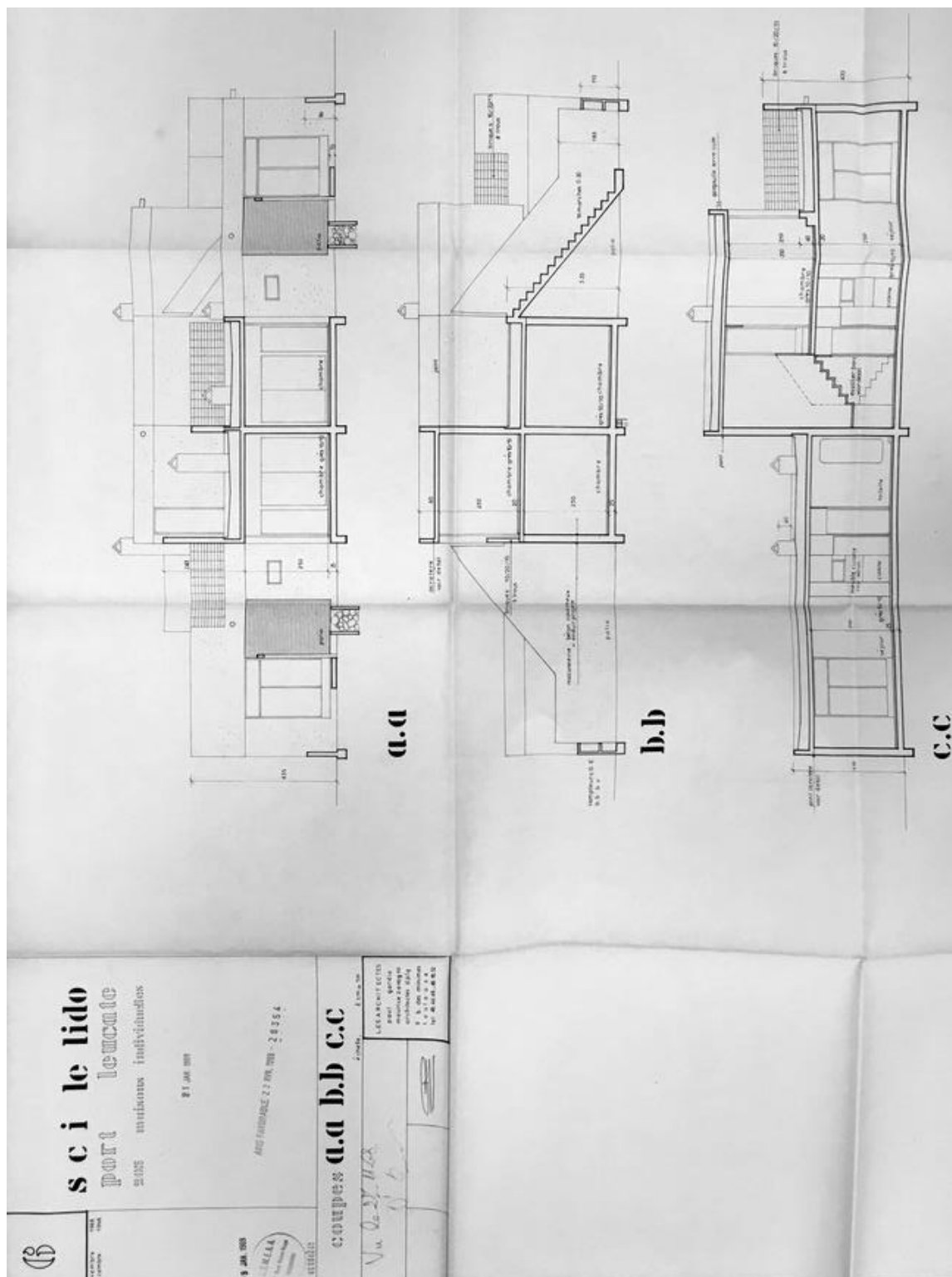


Permis de construire – 5  
P. Gardia – M. Zavagno

Dépôt 21/01/1969  
Avis favorable 22/04/1969

Source:  
archive de la mairie de Leucate

VG05 – Village Grec – Coupes a b c

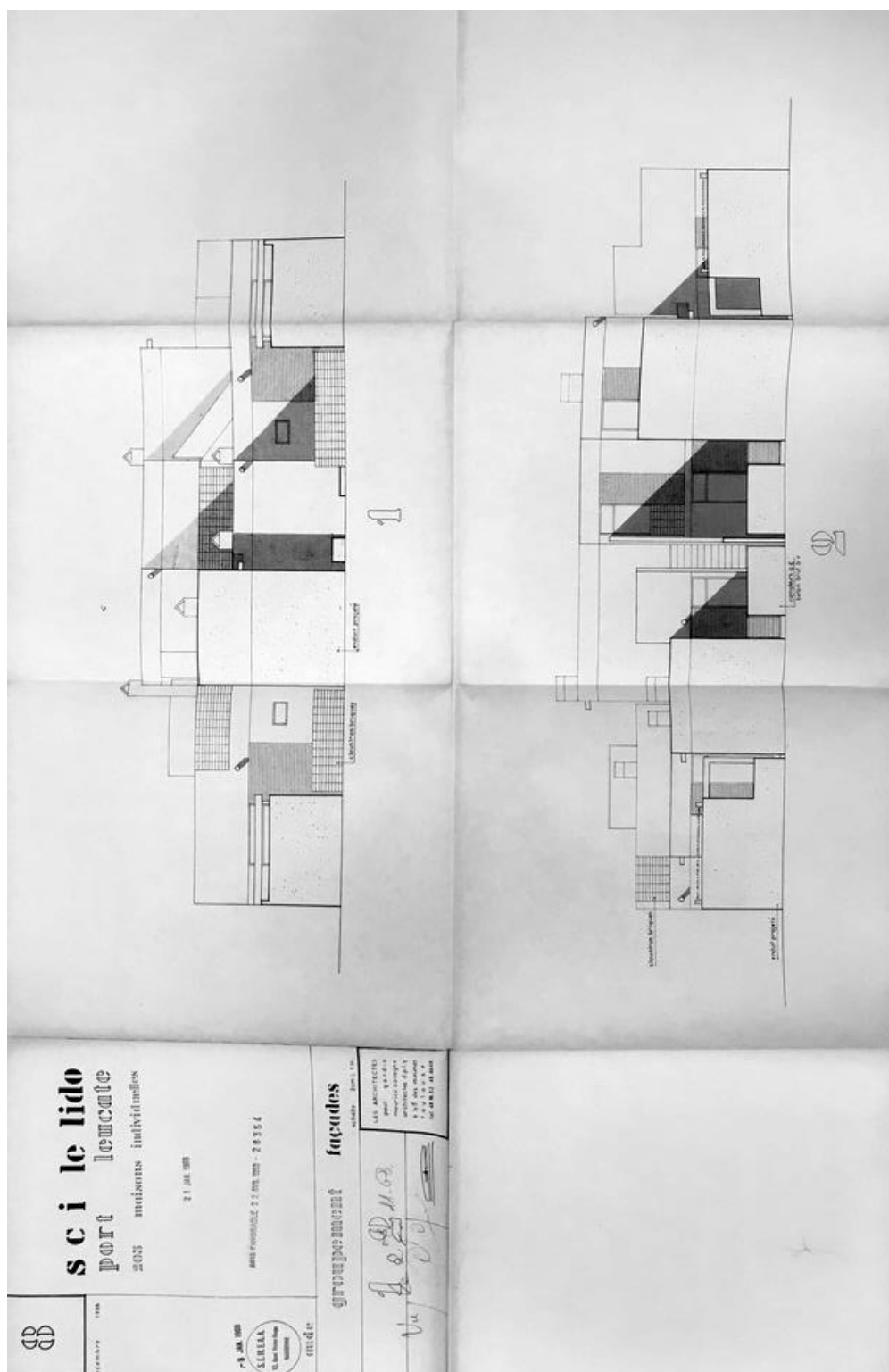


Permis de construire – 6  
P. Gardia – M.Zavagno

Dépôt 21/01/1969  
Avis favorable 22/04/1969

Source:  
archive de la mairie de Leucate

## VG06 – Village Grec – Façades 1 et 2



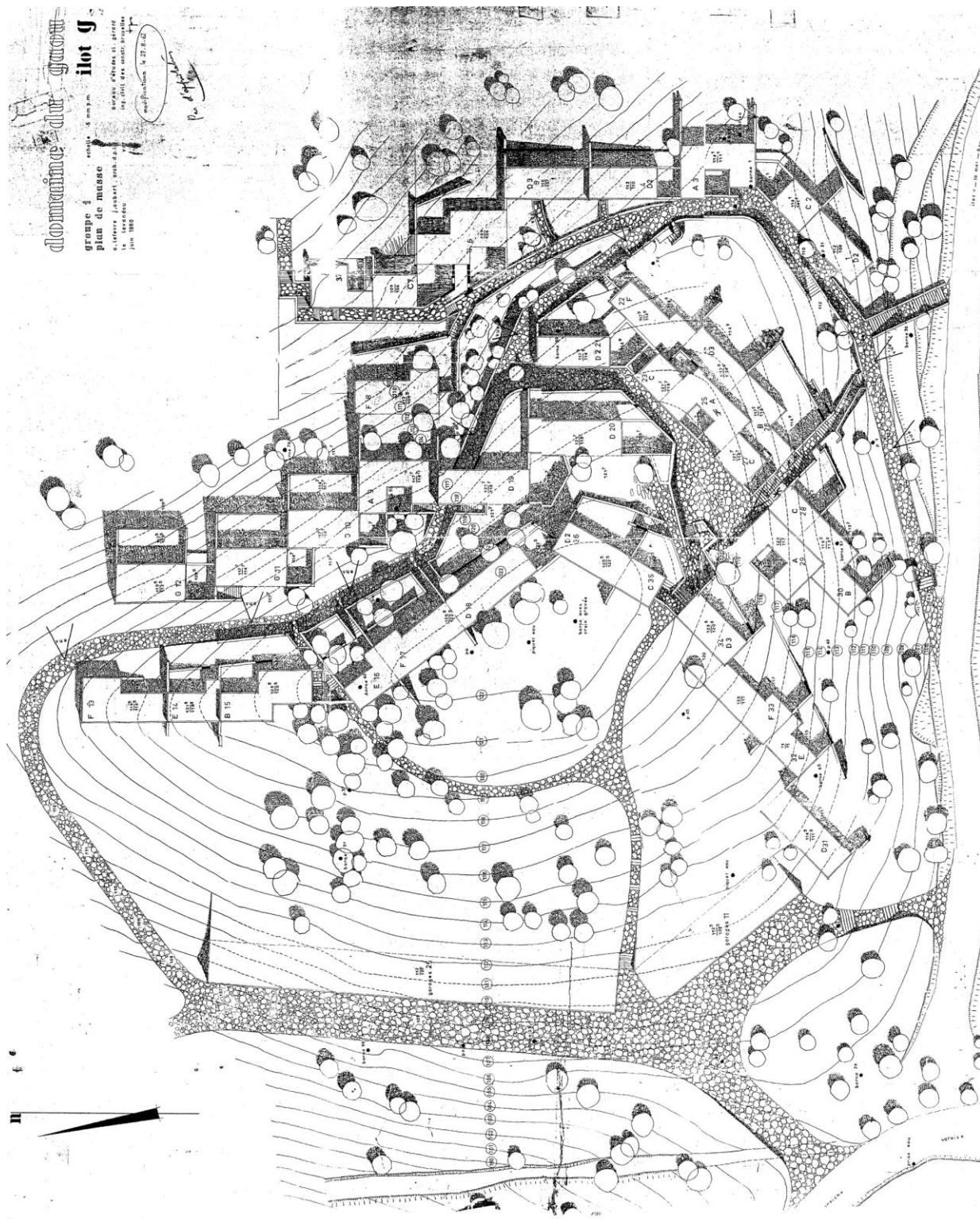
Permis de construire – 8  
P. Gardia – M. Zavagno

Dépôt 21/01/1969  
Avis favorable 22/04/1969

Source:  
archive de la mairie de Leucate

## Les plans originaux du Gaou Bénat

GB01 – Gaou Bénat – le hameau du Minotaure – Plan de masse



A. Lefèvre – J. Aubert

06/1960

Modifications 08/1962

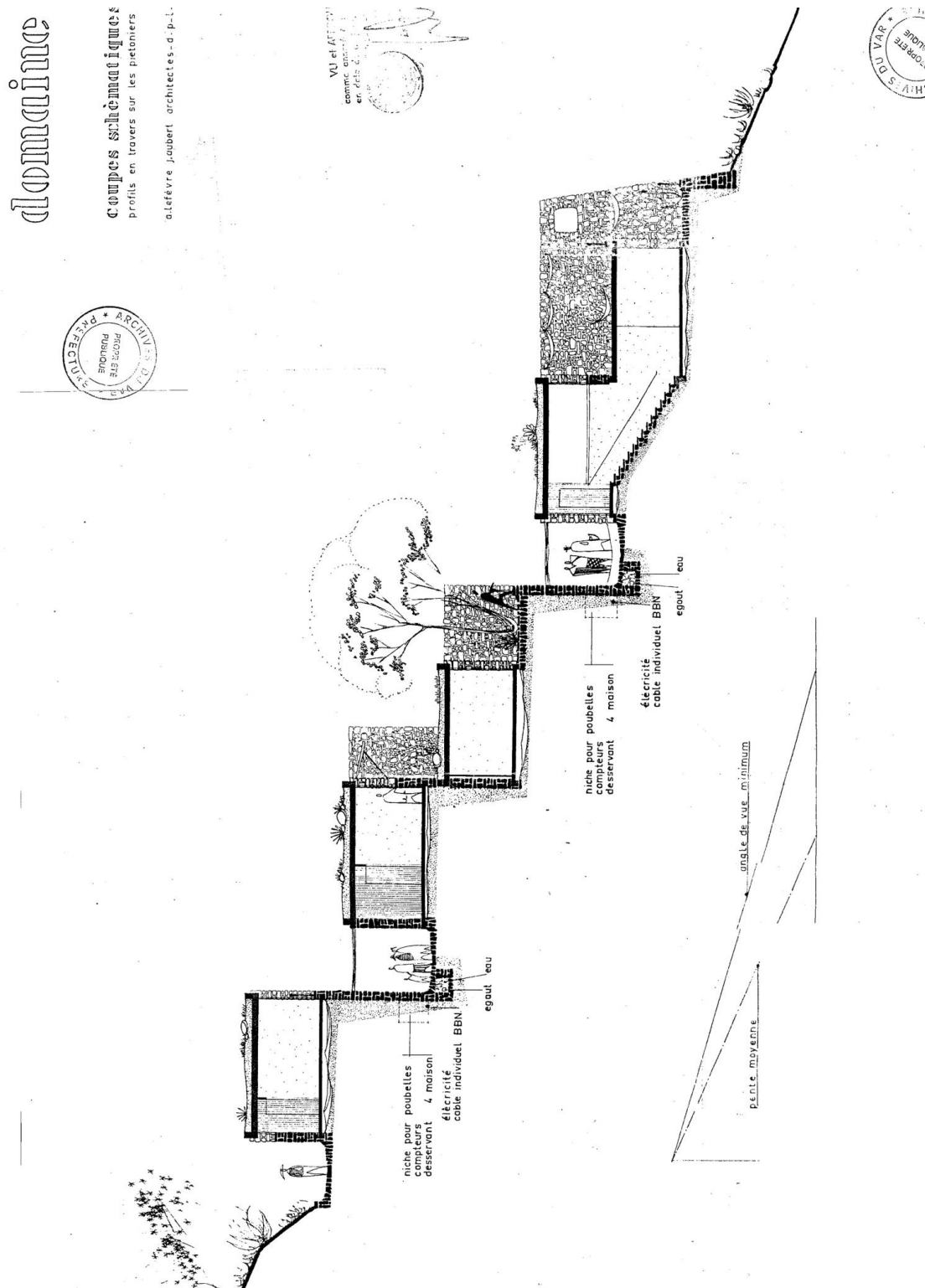


Source:

L'archive de l'ASL de Gaou Bénat



GB02 – Gaou Bénat – Coupe schématique



A. Lefèvre – J. Aubert 12/1960

Source:  
L'archive de l'ASL de Gaou Bénat



## Les plans originaux du Merlier

## M01 – Merlier – Plan des niveaux 1 – le rez-de-chaussée



CL-25-06-07-22 et  
 CL-25-06-07-23  
 Arretche – ATM

08/1962  
 Modifications 02/1963

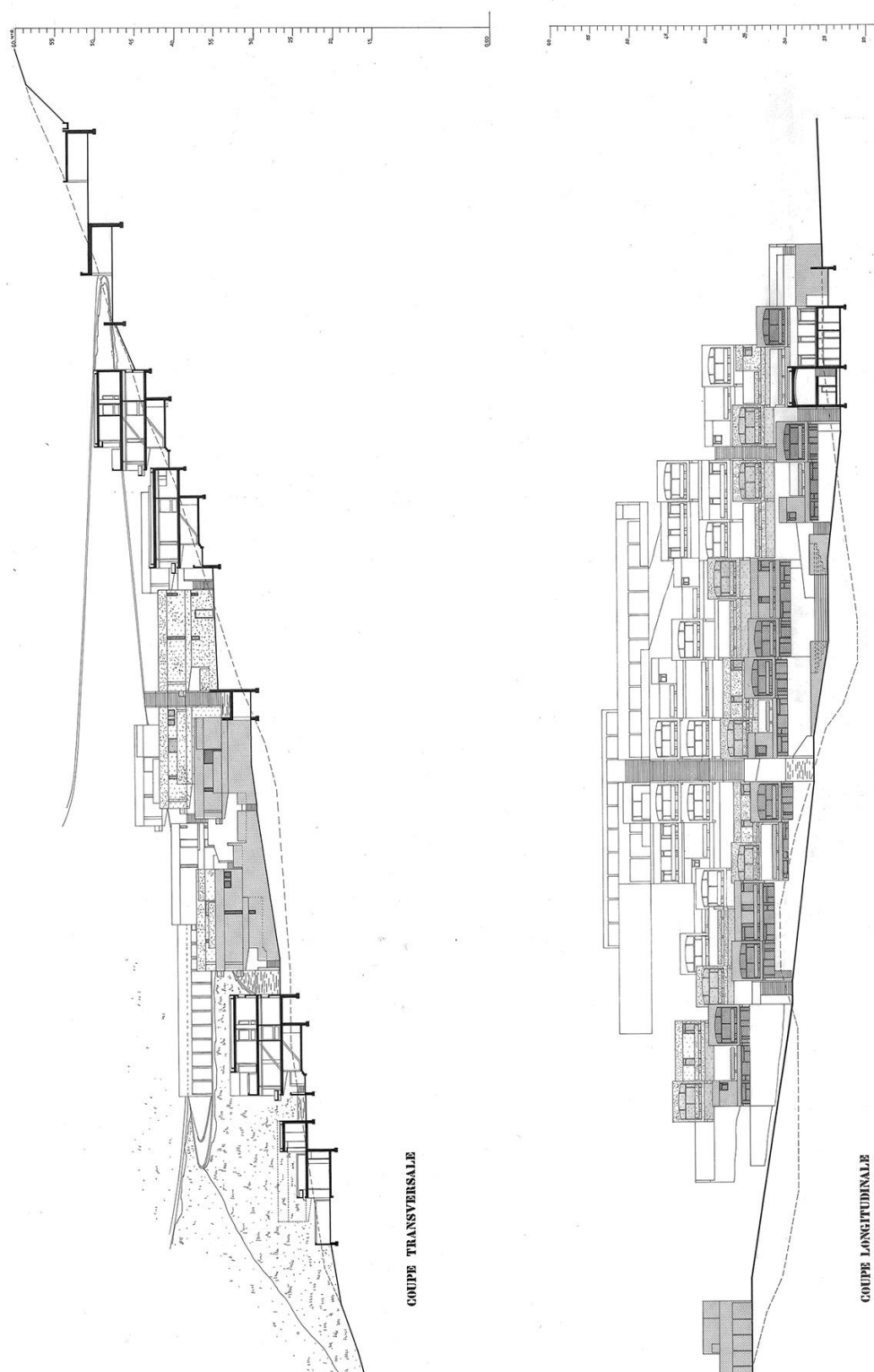


Source: Centre d'archives de l'IFA –  
 Cité de l'Architecture

## M02 – Merlier – Plan des niveaux 2 – l'étage



M03 – Merlier – Coupe transversale et coupe longitudinale



CL-25-06-07-21  
Arretche – ATM

08/1962

Source: Centre d'archives de l'IFA –  
Cité de l'Architecture

