

# L'ÉCOLOGIE DES VILLAS PALLADIENNES

Charlotte Jianoux



# L'ÉCOLOGIE DES VILLAS PALLADIENNES

Relecture d'une architecture bioclimatique durable

Énoncé théorique du projet de master  
EPFL - Architecture - Semestre de printemps  
2021-2022

—  
Charlotte Jianoux

—  
Groupe de suivi :  
Professeur Énoncé théorique : Marilyne Andersen  
Maître EPFL : Christina Doumpioti

Je tiens à remercier :

Ma professeure Marilynne Andersen, pour sa supervision éclairée.

Christina Doumpiotti, pour son aide et nos échanges passionnants.

L'architecte Adrien Verschuere et les étudiants du studio Baukunst de m'avoir permis d'utiliser leurs dessins de très grande qualité dans ce mémoire.

Mes parents pour leur précieuse aide quant à la relecture de ce mémoire.

## Abstract

“Relire l’histoire de l’architecture à partir de ces données [physiques, géographiques, bactériologiques et climatiques] objectives, matérielles, réelles permet d’affronter les défis environnementaux majeurs de notre siècle et de mieux construire aujourd’hui face à l’urgence climatique.”<sup>1</sup> Philippe Rahm, *Histoire naturelle de l’architecture*, 2020.

Cet énoncé explore deux notions indissociables dans la pratique architecturale d’aujourd’hui, d’un côté la nécessité de réduire l’énergie consommée dans nos bâtiments et, de l’autre, le maintien des exigences de confort des habitants. Ces notions peuvent sembler antithétiques dans un monde où la gestion du climat intérieur dépend généralement de systèmes artificiels HVAC (Heating, Ventilation and Air-Conditioning) à forte consommation énergétique. Toutes ces installations se sont progressivement immiscées dans nos espaces de vie et semblent aujourd’hui indispensables à notre confort.

Relire l’histoire peut-il constituer une inspiration et une pratique pertinente au service d’une architecture contributrice de la réduction énergétique des bâtiments tout en renforçant le confort de ses habitants ?

Pour répondre à cette problématique, j’étudierai l’architecture de la Renaissance italienne, en particulier les villas de Palladio, pour en extraire des principes climatiques, écologiques et durables et analyser comment ces derniers pourraient nous aider à répondre aux défis environnementaux contemporains.

L’objet d’étude étant situé en l’Italie vénitienne dans un climat subtropical humide, nous nous concentrerons sur les exigences de ventilation, de confort thermique et lumineux. Nous verrons comment, grâce à leur savoir bioclimatique, les architectes de la Renaissance assuraient la santé et le bien-être des habitants. La réduction de consommation énergétique ciblée visera donc les systèmes de refroidissement, de ventilation et déshumidifications et la consommation en lumière artificielle.

---

<sup>1</sup> Philippe Rahm, *Histoire Naturelle de l’architecture* (France, Pavillon de l’Arsenal, 2020).

# Sommaire

## Partie introductive

1. Consommation énergétique
2. La notion de confort
3. Banham : « The Conditioned Paradigm »
4. Une architecture multisensorielle
6. Relire l'histoire, la notion de thermal delight
7. Objet d'étude : Les villas de la Renaissance italienne

## I-Architecture bioclimatique (environnement)

1. Intégration au site et au paysage
  - 1.1. Vitruve: guide d'une étude pour un site optimal
  - 1.2. Alberti à la recherche d'un site sain
  - 1.3. Palladio: construire pour le bien-être
2. Étude de typologies : la villa et le temps
  - 2.1. Orientation et activités intérieures
  - 2.2. Occupation en fonction des saisons
  - 2.3. Lumière naturelle et programmation
3. Pièces spécifiques
  - 3.1. La Sala
  - 3.2. Les caves
4. Représentation du climat à la Renaissance
  - 4.1. Élévations de Palladio
  - 4.2. Cheminées et hypocauste
  - 4.3. Mythe de Poliphili

## II- Écologies des villas (social)

1. L'humanisme de la Renaissance et représentation du paysage
  - 1.1. L'humanisme
  - 1.2. Origine de la peinture de paysage
2. Écologie corps et climat
  - 2.1. Un corps sain
  - 2.2. Bien être psychologique
3. Écologie de l'agriculture
  - 3.1. Contexte de conquête terrestre
  - 3.2. Homme/Nature sauvage
  - 3.3. La nature cultivée

4. La villa ou la matérialisation d'une hiérarchie sociale
  - 4.1. Un paradis à l'extérieur des villes
  - 4.2. Le rôle politique du confort
  - 4.3. Hiérarchie et inégalité

### **III- Une architecture durable (constructif)**

1. Une villa protégée des intempéries
  - 1.1. Inondation
  - 1.2. Humidité
  
2. Études des matériaux
  - 2.1. Le Terrazzo
  - 2.2. La maçonnerie
  - 2.3. Le béton
  - 2.4. Les revêtements
  
3. La couleur blanche
  - 3.1. Albédo
  - 3.2. Réflectivité
  - 3.3. Intemporalité

### **Conclusion**

1. Conclusion générale
2. Liste de principes bioclimatiques
3. Introduction à un projet d'architecture bioclimatique



# PARTIE INTRODUCTIVE



## Partie introductive

Dans cette introduction, j'exposerai d'abord le besoin urgent de réduire la consommation d'énergie opérationnelle des bâtiments. Nous verrons que si d'un côté les systèmes HVAC visent à devenir de plus en plus efficaces, l'architecte doit aussi réinvestir le thème du confort et participer à la réduction énergétique des bâtiments qu'il conçoit. De plus, nous remettons en question les normes de confort actuelles en introduisant la notion de « thermal delight » et verrons ce qu'elle peut amener à l'expérience des bâtiments et à la pratique architecturale. Enfin, je présenterai l'objet d'étude historique des prochaines parties et exposerai comment l'architecture de la Renaissance peut nous aider à répondre aux problématiques présentées lors de cette première partie.

## Consommation énergétique

L'air conditionné introduit aux États-Unis au début du 20<sup>ième</sup> siècle fut développé dans le but de ventiler et refroidir les hôpitaux et les usines. Il permit ainsi d'augmenter significativement l'espérance de vie en fournissant un air frais et sain et d'assurer la sécurité dans les infrastructures industrielles en refroidissant les machines et en évacuant l'air vicié. Dans les années 70, ces technologies furent largement démocratisées, tout d'abord pour les édifices publics tels que les cinémas et les centres commerciaux pour se diffuser progressivement à la sphère privée et aux transports. Ainsi, comme en témoigne Raymond Arsenault dans *The End of the long Hot Summer : The Air Conditioner and Southern Culture*, la climatisation a eu rapidement un impact important sur le mode de vie des habitants : « Our children are raised in an air-conditioned culture, an air-conditioning executive explained in 1968. 'They attend air-conditioned schools, ride air-conditioned buses. You can't really expect them to live in a home that isn't air-conditioned' ».

L'air conditionné devient courant dans le sud des États-Unis et se diffuse rapidement en Europe. Il devient un critère important pour louer un appartement dans les pays chauds et humides. Aussi, ce système de maintien artificiel de la température a eu un impact important sur l'architecture, rendant obsolètes des siècles de savoir climatique :

The catalogue of structural techniques developed to tame the hot, humid southern climate is long and varied: high ceilings, thin walls, long breezeways, floors raised three or more feet off the ground, steeply pitched roofs vented from top to bottom, open porches, broad eaves that blocked the slanting sun, massive doors and windows that sometimes stretched from floor to ceiling, louvered jalousies, transoms placed above bedroom doors, dormers, groves of shade trees blanketing the southern exposure, houses situated to capture prevailing breezes, to name a few. Historically, these techniques have been an important element of an aesthetic and social milieu that is distinctively southern. The science of passive cooling, which was refined over several centuries of southern history, was rendered **obsolete** in less than a decade, or so it seemed before the onset of the energy crisis.<sup>1</sup>

Toutes les techniques intégrées à l'architecture pour faire circuler l'air à travers le bâtiment, créer des espaces ombragés, se protéger de la chaleur extérieure ont été effacées progressivement au profit d'un maintien artificiel d'un climat intérieur neutre.

---

<sup>1</sup> Raymond Arsenault, "The End of the Long Hot Summer: The Air Conditioner and Southern Culture," *The Journal of Southern History* 50, no. 4 (1984): 597–628.

Aujourd'hui encore, après les chocs pétroliers et malgré la menace d'une crise climatique majeure, la consommation énergétique des bâtiments demeure particulièrement haute et surtout continuera à croître avec le réchauffement climatique et la croissance démographique associée à l'élévation du niveau de vie dans les pays émergents. L'IEA (International Energy Agency) partage ses craintes face à la prévision d'une augmentation importante de l'énergie des systèmes de climatisation lors des 30 prochaines années :

Using air conditioners and electric fans to stay cool accounts for nearly 20% of the total electricity used in buildings around the world today. [...] The growth in global demand for space cooling is such a blind spot: it is one of the most critical yet often overlooked energy issues of our time. If left unchecked, energy demand from air conditioners will more than triple by 2050.<sup>2</sup>

De plus, beaucoup de systèmes réfrigérants tels que les climatiseurs utilisent des chlorofluorocarbures ou CFC. Particulièrement efficaces et peu coûteux, ils sont injectés sous forme de liquide dans un circuit basse pression, s'évaporent en absorbant de la chaleur au milieu externe avant que ces vapeurs ne soient à nouveau aspirées par le compresseur. En absorbant la chaleur, ils assurent un intérieur frais à faible coût. Mais ces gaz sont aussi extrêmement dangereux et participent activement à la dégradation de la couche d'ozone, et donc au réchauffement climatique.

Les solutions apportées par l'IEA résident principalement dans le développement d'appareils de refroidissement plus efficaces avec de meilleurs rendements. Mais je suis convaincue que cette mission ne doit pas être uniquement un sujet purement technique aux mains des ingénieurs. L'architecte doit réinvestir le rôle qui lui était imposé avant l'invention de systèmes artificiels, pour devenir non seulement un acteur de la baisse de consommation énergétique, mais aussi de l'augmentation du confort intérieur des bâtiments.

## **La notion de confort**

En architecture, l'étude du confort d'un bâtiment peut être divisée en quatre catégories, le confort thermique, le confort lumineux, la qualité de l'air, et le confort acoustique. Dans ma recherche, je me focaliserai sur le confort en été, les deux catégories les plus cruciales seront donc le confort thermique et la qualité de l'air. Cependant, tous les domaines seront abordés, car c'est l'effet simultané des quatre qui conduit au bien-être ou à l'inconfort d'un habitant.

## **Confort thermique**

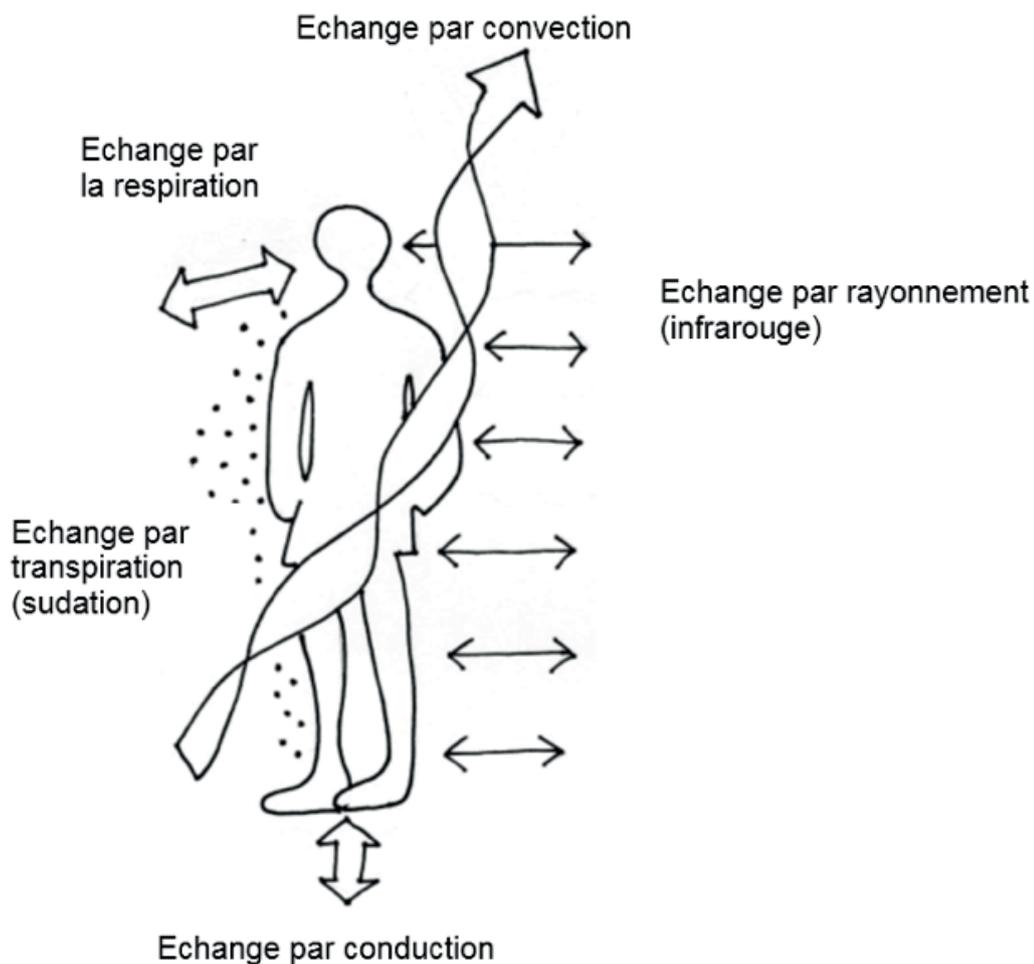
Le concept du confort est directement lié au bien-être d'un corps dans son environnement. Le corps humain doit maintenir sa température à 37 °C. Pour cela, il existe des moyens internes, qui reposent sur différents mécanismes thermorégulateurs du corps humain. Par exemple, en période de fortes chaleurs, les vaisseaux sanguins vont se dilater pour augmenter leur surface d'échange thermique et le corps va produire de la transpiration qui, en s'évaporant, refroidira le corps en libérant un peu de sa chaleur. En hiver, les vaisseaux se contracteront pour garder leur température et, à la surface de la peau, les poils se hérissont pour limiter les échanges de chaleur par convection.

---

<sup>2</sup> Dr Fatih Birol, "The Future of Cooling," 2018, 92.

Le corps est capable d'échanger de la chaleur avec son environnement par convection, transpiration, rayonnement mais aussi par conduction et respiration (Fig.1). Si, à cause d'échanges trop importants, le corps connaît une variation qui dépasse les 4 °C, il entre en hyper ou hypothermie et l'homme peut mourir. Pour assurer le confort thermique d'un individu, il est essentiel de considérer tous ces échanges de chaleur.

L'homme peut également maintenir la température de son corps par des moyens externes comme l'habillement, l'alimentation, la migration ou l'architecture. L'architecture joue ainsi un rôle majeur dans sa protection et son confort. Bien que cette notion s'appuie sur le confort personnel qui est propre à chaque individu, on estime généralement que le confort thermique est compris entre 20 et 27 °C. D'autres caractéristiques de l'espace doivent être également prises en compte comme la vitesse de l'air et son humidité. Par exemple, l'hygrométrie de l'air doit être inférieure à 80 % sinon la sensation de moiteur devient insupportable car la transpiration n'est pas éliminée au fur et à mesure qu'elle est produite et le corps ne peut plus se refroidir naturellement.



### 1 Les échanges de chaleur entre le corps et son environnement <sup>3</sup>

Convection: échange de chaleur via la circulation de l'air ambiant autour du corps.

Transpiration: chaleur évacuée par évaporation de la sueur.

Rayonnement: échange de chaleur via l'émission ou l'absorption d'infrarouge.

Conduction: échange de chaleur par contact direct avec une surface ; par exemple, pieds sur le sol.

Respiration: échange de chaleur par le fait d'inspirer et d'expirer de l'air dans les poumons.

<sup>3</sup> "Confort Thermique – Habiter Sa Classe," accessed January 9, 2022, <http://www.habittersaclasse.be/boite-a-outils/confort-thermique/>.

Les normes de confort thermique actuelles tentent de garantir un état acceptable pour « 80 % ou plus des occupants du bâtiment ». Les normes de l'ASHRAE Standard 55 stipulent :

The Purpose of ASHRAE 55 standard is to specify the various combinations of indoor thermal environmental factors as well as personal factors that will produce thermal environmental conditions **acceptable to a majority of the occupants** within the space.<sup>4</sup>

Bien que des modèles de confort adaptatifs se développent avec une approche plus en plus centrée sur l'humain, ces derniers demeurent toutefois toujours focalisés sur l'absence d'inconfort et ont principalement recours aux systèmes HVAC comme solution pour maintenir une « neutralité thermique » satisfaisant une majorité d'occupants. Pour ma recherche, j'essaierai d'identifier, dans les témoignages historiques de la Renaissance, des pratiques architecturales capables d'enrichir et de valoriser le confort à une époque où les moyens industriels modernes n'existaient pas encore.

### **Banham : « The Conditioned Paradigm »**

Les normes contemporaines de confort ont été étroitement liées au développement de nouvelles technologies HVAC. Ces systèmes sont critiquables pour leur consommation énergétique élevée, pour l'accoutumance des habitants à des standards de sensation et la dépendance qu'elle engendre. Néanmoins, elles ont généré une amélioration essentielle en matière de santé et de bien-être, comme en témoigne le théoricien Reynem Banham :

With these limitations of oversimplified occupants and the corresponding conditioned paradigm noted, it is still important to recognize that the historical switch to a conditioned paradigm around the dawn of modernism brought a basic satisfaction of thermal need that was not always guaranteed previously.<sup>5</sup>

Reynem Banham sur la base de ces progrès techniques a développé dans la deuxième moitié du 20e siècle l'idée de l'environnement bien tempéré. Un environnement totalement dépendant des services pour la gestion du climat intérieur. Selon ses théories, le confort de l'homme ne serait atteint que s'il réussissait à se couper complètement de l'environnement extérieur nocif. Le théoricien défend le principe selon lequel les conditions climatiques du monde extérieur devraient être remplacées à l'aide de technologies plutôt que modifiées et tempérées. En ce sens, il a construit une utopie architecturale de l'habitat basée sur « the technological art of creating habitable environments. ».

Il conçoit ainsi l'idéal de la construction conditionnée qu'il pousse à l'extrême avec le concept de l'Environment-Bubble illustré dans son article « A Home Is Not a House » publié en 1965. Les murs sont remplacés par une membrane transparente parfaitement étanche qui protège un climat artificiel intérieur. Par cet exemple, nous observons la perte de matérialité que subit l'architecture quand elle n'est plus responsable du maintien des climats intérieurs.

Cette idéologie peut aujourd'hui illustrer la consommation d'énergie opérationnelle élevée et croissante de nos bâtiments. Cela repose aussi sur l'héritage des constructions modernes,

4 ASHRAE Standard 55. Thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air- Conditioning Engineers; 2004.

5 Reynem Banham, *The Architecture of the Well-Tempered Environment*, 2nd ed (Chicago: University of Chicago Press, 1984).

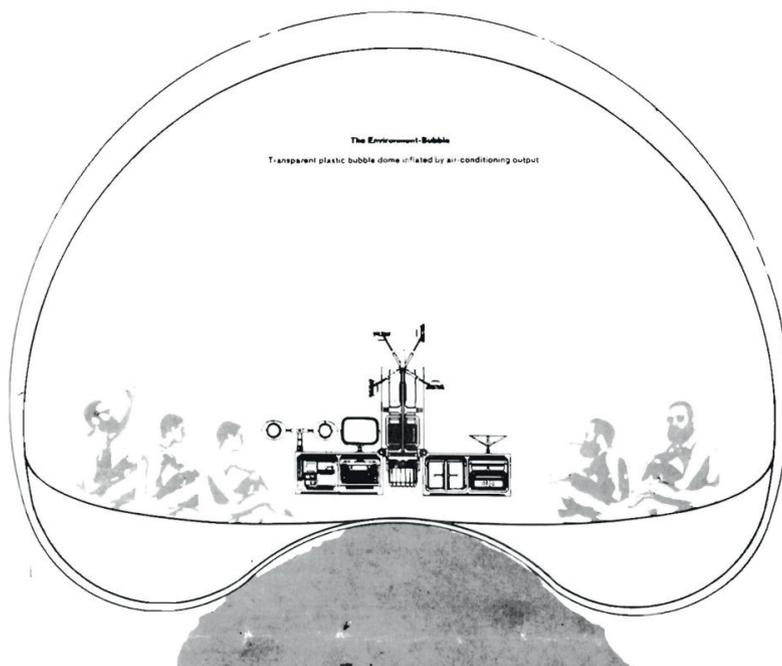
qui, comme en témoigne Le Corbusier, furent construites autour de la distinction entre « l'air exact » et l'air extérieur « l'air ordinaire ». Il fait l'apologie de technologies de ventilation et de climatisation permettant une gestion centralisée de la qualité de l'air dans les villes :

« L'air exact » remplaçant les pratiques courantes du chauffage ou de la réfrigération, est préparé dans des centrales thermiques attachées à chaque groupe d'habitation. L'air du dehors y est traité par dépoussiérage, désinfections, mise à température ; il reçoit un degré d'hydrométrie utile. C'est un produit pur de consommation pour le poumon. Il est distribué par circulation permanente. <sup>6</sup>

Ainsi, il projette les habitations comme des cellules hermétiques avec de grandes façades de verre où la gestion du climat se fait de façon externe dans des usines éloignées. Aussi, au couvent de la Tourette, il va jusqu'à condamner toutes les fenêtres dont les seules fonctions seraient, selon lui, de transmettre la lumière et de fournir une vue extérieure. La ventilation est maintenue par des systèmes artificiels et des petites trappes opaques. Le luxe des appartements modernes résiderait alors, selon l'architecte, dans la qualité de l'air traité devenu si pur et sans odeur, véritable perfection climatique.

Ce modèle d'architecture développé par Le Corbusier dans *la ville radieuse* résonne avec l'architecture urbaine occidentale, des immenses tours hermétiques, centres commerciaux entièrement climatisés, mais aussi à l'échelle des maisons, appartements et voitures.

Ces utopies soutenues uniquement par l'utilisation intensive d'énergies fossiles ont été grandement ébranlées par la crise pétrolière des années 70. Elles deviennent même dystopiques dans le contexte climatique d'aujourd'hui, car elles ne peuvent plus être maintenues sans une forte consommation d'énergie et une production de CO<sub>2</sub> élevée. Ainsi de nombreux bâtiments modernes et contemporains ont perdu leur capacité à maintenir le confort sans nuire à notre environnement.



2 The Environment-Bubble, François Dallegret, 1965, dans l'article de Reyner Bahnam « A Home Is not a House », publié dans *Art in America*, avril 1965

<sup>6</sup> Le Corbusier, *La ville radieuse* (Marseille: Parenthèses, 1935), p. 40.

## Une architecture multisensorielle

Comme nous avons pu l'étudier, notre compréhension du confort thermique a été façonnée par les découvertes techniques et les idéologies du 20<sup>e</sup> siècle. Aujourd'hui, de nouvelles recherches se développent autour d'une perception multisensorielle de l'architecture et cherchent à questionner et trouver des alternatives aux climats intérieurs parfaitement neutres.

Dans ce paragraphe, je développerai l'idée que le paradigme conditionné a engendré 'une privation sensorielle'. Dans un article récent intitulé «l'esprit multisensoriel», l'architecte Charles Spence critique l'utilisation systématique de l'HVAC. Il a basé ses recherches sur les découvertes récentes en neurosciences cognitives concernant la prise de conscience croissante que la perception/expérience est beaucoup plus multisensorielle qu'on ne le reconnaissait auparavant.

Après avoir reconnu la complexité et l'importance de la multisensorialité des esprits des habitants, il affirme que le maintien d'un climat artificiel neutre endommage nos mécanismes de détection et d'adaptation thermique.

L'architecture devrait chercher à retrouver la richesse de l'expérience du monde à travers tous nos sens qui ont été appauvris avec l'HVAC. Depuis le 20<sup>e</sup> siècle, les architectes se sont reposés sur des environnements maintenus artificiellement pour se concentrer sur l'esthétique des façades et des intérieurs. Cependant, en se focalisant sur le visuel, ils ont non seulement oublié de concevoir pour les autres sens, et en cela appauvrit l'expérience architecturale, mais aussi participé à l'endommagement des mécanismes d'adaptation thermique et de détection humains. Le designer canadien Bruce Mau témoigne :

We have allowed two of our sensory domains—sight and sound—to dominate our design imagination. In fact, when it comes to the culture of architecture and design, we create and produce almost exclusively for one sense—the visual.<sup>7</sup>

C'est aussi questionner la pratique de l'architecte en tant que profession véritablement pluridisciplinaire dont le design ne se limite pas au visuel et au matériel. De l'intéresser et d'y associer des compétences comme la physique du bâtiment, la météorologie, la biologie, pour être créateur de microclimats et d'atmosphères sensoriels :

The architect must act as a composer that orchestrates space into a synchronization for function and beauty through the senses—and how the human body engages space is of prime importance. As the human body moves, sees, smells, touches, hears and even tastes within a space—the architecture comes to life.<sup>8</sup>

L'architecture multisensorielle semble être une théorie prometteuse pour redéfinir la notion de confort du bâtiment précédemment exposée. L'architecte pourrait donc en limitant l'usage de HVAC fournir de nouvelles expériences de plaisirs aux habitants. Mais si l'article de Charles Spence fait l'apologie de la libération des sens par la réduction de l'utilisation de climats artificiels, les techniques de chauffage, ventilation et refroidissement alternatives ne sont pas abordées. Dans la prochaine partie, nous verrons comment

---

7 Bruce Mau, 'Designing LIVE' in Ellen Lupton and Andrea Lipps, *The Senses: Design Beyond Vision* (Chronicle Books, 2018).

8 Charles Spence, "Designing for the Multisensory Mind," *Architectural Design* 90, no. 6 (2020): 42–49, <https://doi.org/10.1002/ad.2630>.

l'architecture bioclimatique a la capacité de répondre à la fois à l'exacerbation des plaisirs sensoriels tout en valorisant des systèmes de confort passifs.

## **Relire l'histoire, la notion de thermal delight**

Dans ma recherche, je fais l'hypothèse que l'on peut trouver dans l'histoire de l'architecture des techniques permettant d'améliorer le confort des habitants tous en réduisant notre consommation énergétique.

Cependant, depuis le 20<sup>e</sup> siècle, les recherches en histoire de l'architecture se sont aussi focalisées sur l'essence visuelle et structurelle de la construction, et n'ont porté que peu d'intérêt pour les études climatiques et sensorielles. L'architecture semblait être principalement partagée et apprise comme un bel objet pour les yeux dont le maintien des climats intérieurs reste un mystère.

En 1979, la professeure Lisa Heschong a développé une théorie radicalement différente appelée le « thermal delight » ou en français « délice thermique ».

Elle révèle dans son livre, « the various ways that people use, remember, and care about the thermal environment and how they associate their thermal sense with their other senses ». L'auteur illustre cette notion en décrivant le plaisir que les gens trouvaient dans la combinaison de températures extrêmes en utilisant des exemples historiques tels que le feu d'un foyer, le sauna, les bains romains et japonais. Elle ne décrit pas les bâtiments du passé comme des constructions archaïques, ne souligne pas non plus d'inconfort majeur dû à l'absence de technologies modernes. À la place, elle met en évidence certains rituels des habitants qui se sont développés renforçant les liens d'affection aux climats par des cérémonies forgées dans l'expérience thermique.

Dans une même approche, j'ai trouvé la notion de thermal delight dans d'anciens témoignages d'habitants de villas en Vénétie. J'y ai observé à travers les lettres de Pline le Jeune au premier siècle apr. J.-C. des descriptions des plaisirs que ces constructions et leurs environnements pouvaient procurer :

A dining room receives the fresh breezes blowing down the Apennine valleys. Its broad windows look on to the vineyard, and so do its folding doors, Underneath runs a semi-underground arcade which never loses its icy temperature in summer and is airy enough not to admit the (hot) outside air. Out in the garden there is a shade and sun, breezes and shelter, pools and cool marble benches and: By every chair is a tiny fountain, and throughout ... can be heard the sound of streams...

It has windows in both sides, but more facing the sea, as choice of conditions. There is one in each alternate bay on the garden side. These all stand open on a and windless day, and in stormy weather can safely be open on the side away from the wind. In front is a terrace scented with violets. As the sun beats down, the arcade increases its heat by reflection and not only retains the sun but keeps off the north-east wind so that it is as hot in front as checks the south-west wind, thus breaking the force of winds from wholly opposite quarters by one or the other of its sides; it is pleasant in winter but still more so in summer when the terrace is kept cool in the morning and the drive and nearer part of the garden in the afternoon, as its shadow falls shorter or longer on one side or the other while the day advances or declines. Inside the arcade, of course, there is least sunshine when the sun is blazing down on its roof, and as its open windows allow the western breezes to enter and circulate, the atmosphere is never heavy or is cool behind.<sup>9</sup>

---

<sup>9</sup> Pline le Jeune cité par Eoin O. Cofaigh, John A. Olley, and J. Owen Lewis, *The Climatic Dwelling: An Introduction to Climate-Responsive Residential Architecture*, Publication No. EUR 16615 of the European Commission (London: James & James (Science Publishers) Ltd. on behalf of the European Commission, Directorate General XII for Science

La lettre continue ainsi, la villa y est décrite comme un idéal de construction bioclimatique. Tout semble être dédié à l'adaptation ou au contrôle du climat pour le confort de l'habitant. Une construction où le gain solaire, le refroidissement passif et l'ombrage sont valorisés et intégrés au design par le choix des matériaux, de la forme et du plan.

Cette approche historique est particulièrement intéressante, car elle redéfinit en même temps l'appréciation thermique d'un espace et donne un premier aperçu des alternatives passives possibles pour répondre à nos besoins thermiques.

Plus récemment, le dernier livre de Philippe Rahm, *histoire naturelle de l'architecture* a mis en lumière les influences du climat, de la santé et des énergies sur plusieurs siècles d'architecture et d'urbanisme. Tout comme Lisa Heschong, il revisite l'histoire pour apporter des connaissances cruciales aux architectes, dans le but de leur donner des outils pour concevoir des bâtiments valorisant les énergies passives et ainsi devenir acteur de la transition énergétique. Ou dans ses propres mots :

Relire l'histoire de l'architecture à partir de ces données objectives, matérielles, réelles [physiques, géographiques, bactériologiques et climatiques] permet d'affronter les défis environnementaux majeurs de notre siècle et de mieux construire aujourd'hui face à l'urgence climatique.<sup>10</sup>

Replacer l'étude climatique des bâtiments historiques au centre des recherches peut nous faire redécouvrir des savoirs-faire qui permettaient de vivre agréablement avant l'invention des HVAC. S'il n'est pas question de copier de manière littérale les bâtiments datant de plusieurs siècles, nous pouvons néanmoins apprendre de leur ingéniosité pour gérer les problèmes climatiques et générer le bien-être de leurs habitants. Car, pour faire face à des difficultés, l'Homme a toujours trouvé des solutions en regardant comment les mêmes problèmes étaient résolus dans une autre partie du monde ou dans le passé, comme en témoigne le théoricien de l'architecture Jacques Lucan :

La théorie est une interprétation sans fin (...) qui actualise ou réactualise des obsessions et des problématiques qui ne sont jamais tout à fait disparues. L'histoire de l'architecture c'est une reprise, toujours, d'un certain nombre de problèmes, qui vont connaître d'autres interprétations.

## **Objet d'étude : Les villas de la Renaissance italienne**

Cet énoncé a une approche historique similaire de celle de Lisa Heschong ou Philippe Rahm, cherchant à exposer les qualités climatiques de l'architecture avant l'HVAC afin de retrouver des connaissances de l'architecture passive et d'extraire certains principes qui pourraient être inclus dans ma future pratique de l'architecture.

Je me concentrerai sur l'architecture de la Renaissance et plus particulièrement sur les villas palladiennes. L'architecture de la Renaissance était au centre de mes cours d'histoire à l'université, louée pour ses proportions, sa recherche d'un idéal mathématique et géométrique. Cependant, les conditions de vie et les propriétés climatiques ne furent pas abordées durant ces cours.

---

Research and Development, 1996).

10 Philippe Rahm, *Histoire Naturelle de l'Architecture* (France, Pavillon de l'Arsenal, 2020).

Néanmoins, il existe des sources très riches de témoignages et de traités d'architectes de la Renaissance tels que Palladio, Serlio ou Alberti sur les stratégies climatiques intégrées à leurs bâtiments. Mon étude de cas rassemblera également des témoignages d'habitants souvent humanistes, qui ont partagé leur expérience de vie dans les villas.

J'ai été inspirée par la démarche des architectes de la Renaissance qui, devant faire face aux villes denses et insalubres du moyen-âge et aux nombreuses épidémies de pestes, ont cherché dans l'antiquité des principes pour refonder une architecture centrée sur la santé et le bien-être des habitants. Pourquoi ne pourrions-nous pas nous aussi regarder dans le passé pour trouver une pratique de l'architecture qui soit à la fois source de plaisir et respectueuse de son environnement ?

Chacune des trois parties se focalisera sur des aspects complémentaires de la villa pour l'évaluer autour d'une stratégie globale de développement durable. Pour cela, dans une première partie, nous analyserons ses principes bioclimatiques. Dans la deuxième, nous prendrons un point de vue sociologique en étudiant les modes de vie et les interrelations entretenues par la villa. Enfin, en dernière partie, nous évaluerons sa durabilité. En conclusion, je dresserai une liste des principes acquis dans chaque partie et j'introduirai une proposition de projet de fin de master dans lequel les leçons tirées de cette recherche seront intégrées à un projet d'architecture bioclimatique contemporain.



# PARTIE I

## UNE ARCHITECTURE BIOCLIMATIQUE



# I. Une architecture bioclimatique

L'architecture bioclimatique peut être définie de la façon suivante : «l'architecture bioclimatique est une discipline de l'architecture qui valorise l'environnement géographique et climatique d'un bâtiment, dans le respect des modes et rythmes de vie ainsi que de la santé des usagers du bâtiment».<sup>1</sup>

Un des défis de l'architecture bioclimatique est à la fois d'assurer la santé des habitants et de répondre aux exigences de confort d'une société, tout en respectant son environnement. Dans cette première partie, nous identifierons des principes architecturaux visant à établir une construction en accord avec l'environnement et les besoins de son temps. Il peut sembler nostalgique de s'inspirer de l'architecture de la Renaissance pour répondre aux exigences du confort contemporain. Si le but est d'éviter une approche trop manichéenne, opposant le bâtiment passif de la Renaissance à un bâtiment complètement climatisé d'aujourd'hui, nous verrons que certaines variantes de techniques bioclimatiques de la Renaissance sont déjà appliquées dans nos villes pour réduire la consommation énergétique globale. Nous soulignerons aussi les limites de certaines propositions de la Renaissance, et nous verrons comment elles pourraient être compensées par la technique moderne. Dans l'ensemble, cette recherche vise à mettre en lumière un savoir climatique ancien qui permettrait de valoriser l'utilisation des énergies passives dans le projet d'architecture contemporain. Pour cela, nous nous intéresserons dans une première partie aux prescriptions des architectes pour implanter un bâtiment en fonction des caractéristiques d'un site, puis nous nous focaliserons sur l'étude de l'organisation intérieure des villas en fonction du temps et du climat. Nous finirons par analyser deux exemples d'espaces très appréciés dans les maisons pour leur fraîcheur.

## Intégration au site et au paysage

À la Renaissance, puiser son inspiration en revalorisant l'expérience des anciens était très courant en architecture. En effet, après une période moyenâgeuse, l'architecture des villes fut jugée insalubre et désordonnée par les architectes du 15<sup>e</sup> siècle. Ils se référèrent alors à la sagesse des constructeurs de l'Antiquité. Palladio comme beaucoup d'autres architectes, ira à Rome faire des relevés des ruines et illustrera pour l'humaniste Daniele Barbaro les rééditions des livres de Vitruve. Au 16<sup>e</sup> siècle, Alberti, penseur et architecte, s'inspirera également des anciens pour répondre aux problématiques de son temps. L'étude de l'architecture de l'Antiquité utilisée par Alberti pour répondre à l'insalubrité des villes moyenâgeuses est explicitée dans les propos du philosophe Jacques Darriulat :

Le retour à l'antique prôné par Alberti n'est (...) pas un passéisme. Il s'agit de retrouver l'inspiration antique dans le génie moderne, et ce qu'Alberti a tenté dans le Tempio Malatestiano, il le tente également dans son ouvrage: non pas répéter Vitruve, mais réactualiser l'esprit des anciens, adapter les principes de l'architecture romaine, supérieure selon Alberti à l'architecture grecque, aux nécessités de la vie dans les cités renaissantes. Alberti décrit alors, sur le modèle de la Rome antique telle qu'il l'imagine, la cité moderne selon un plan rationnel, avec de larges avenues facilitant les communications et se prolongeant dans la campagne, des places majestueuses pour les monuments et les palais, des arcs de triomphe aux principales portes, de larges ponts assurant la liaison entre les rives.

---

<sup>1</sup> « Architecture bioclimatique - Définition et Explications, » Techno-Science.net, accessed December 21, 2021, <https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Architecture-bioclimatique.html>.

On le voit la ville renaissante est spacieuse, transparente, avec de grandes perspectives et obéissant à un plan géométrique : tout le contraire de la ville médiévale, labyrinthe tortueux qui chemine sinueusement autour de Notre-Dame, la cathédrale, qui se protège en s'enfermant avec de hautes murailles et en s'isolant la nuit avec le pont-levis. À la ville médiévale, fermée, s'oppose la ville ouverte de l'utopie moderne.<sup>2</sup>

L'auteur relève les objectifs d'un urbanisme de la Renaissance qui paraissent finalement assez proches des aspirations présentes, c'est-à-dire une ville « spacieuse, transparente, avec de grandes perspectives ». En effet, cette vision s'applique aux critiques des métropoles actuelles, trop denses, obscurcies par l'air pollué et dans lesquelles les espaces publics ouverts ont été significativement réduits. La surdensité de certaines villes engendre aussi un inconfort urbain à cause du phénomène d'îlot de chaleur. La forme et la densité urbaines empêchent la chaleur occasionnée par le rayonnement solaire et l'activité humaine de s'évacuer. Cette chaleur s'accumule et reste piégée en augmentant significativement la température des villes. S'il semble compliqué de dédensifier les villes modernes, où le foncier représente une valeur très importante, nous étudierons les conseils avisés venant de la Renaissance pour faire face à la surchauffe à l'échelle du territoire et à celle de l'habitat.

Alberti se réfère alors à Vitruve et ses dix livres *De Architectura*. Vitruve au 1<sup>er</sup> siècle associe déjà le lieu à des questions de santé et de salubrité, posant un des premiers principes d'une architecture consciente de son environnement. Le lieu doit être analysé et déterminé en amont de la construction. Cette idée qui semble simple, souvent oubliée des architectes, est réintroduite dans la pratique architecturale de la Renaissance. Pour des bâtiments sains, il faut d'abord un site sain. La qualité d'un site selon Vitruve dépend de ses propriétés climatiques. Le projet en s'établissant dans un lieu est alors soumis à son climat, c'est-à-dire l'air, l'ensoleillement et le vent :

Quand on veut bâtir une ville, la première chose qu'il faut faire est de choisir un lieu sain. Pour cela, il doit être en un lieu élevé, qui ne soit point sujet aux brouillards et aux bruines, et qui ait une bonne température d'air, n'étant exposé ni au grand chaud ni au grand froid. De plus, il doit être éloigné des marécages : car il y aurait à craindre qu'un lieu, dans lequel au matin le vent pousserait sur les habitants les vapeurs que le soleil en se levant aurait attirées de l'haleine infecte et vénéreuse des animaux qui s'engendrent dans les marécages, ne fût malsain et dangereux.<sup>3</sup>

D'après Vitruve, l'architecte n'était pas uniquement constructeur, mais devait détenir des connaissances dans d'autres domaines tels que la médecine ou la biologie pour être capable de promouvoir une architecture garantissant la santé des populations. Les traités d'Hippocrate furent traduits en latin et largement dispersés pendant la Renaissance. En résonance avec les livres de Vitruve, nous y trouvons des mises en garde quant à un environnement susceptible de transmettre des maladies. Si d'un côté Vitruve conseille un lieu élevé et loin des marécages, Hippocrate et ses disciples mettent en garde contre l'association d'une eau stagnante à des vents forts.

À la Renaissance, après de nombreuses épidémies, l'idée que les maladies étaient transportées par l'air est devenue une vraie préoccupation pour les architectes dont la responsabilité était de construire des espaces sains. Aujourd'hui, la ventilation des villes est aussi cruciale, pour évacuer la chaleur accumulée mais également les particules fines toxiques liées à la pollution atmosphérique.

<sup>2</sup> « Philosophie. Jacques Darriulat, » accessed December 21, 2021, <http://www.jdarriulat.net/Introductionphiloesth/Renaissance/Alberti.html>.

<sup>3</sup> Vitruve, Les dix livres d'architecture, corrigés et traduits en 1684 par Claude Perrault, Pierre Mardaga éditeur, Liège, 1996, Livre I, Chapitre IV, p.18.

Afin de limiter la propagation de maladies par certains vents, considérés nocifs, Vitruve fait le schéma d'une rose des vents pour optimiser la position des rues. Ces croyances en des vents nocifs n'étaient pas toujours justifiées, mais nous pourrions très bien aujourd'hui appliquer ce principe aux vents que nous considérons comme dangereux, par exemple les vents provenant des zones industrielles.

Quinze siècles après Vitruve, Alberti dans son recueil *De re aedificatoria*, utilisera les principes de salubrité de Vitruve. Dans une approche similaire, il souligne l'importance d'établir une analyse critique du site pour ses qualités climatiques :

La région qu'il faudra choisir entre toutes échappera [...] à l'atteinte des nuages et à l'accumulation de vapeurs trop denses [...] il ne sera pas injustifié de prendre en compte l'intensité et la nature de l'ensoleillement de la région, afin qu'elle ne bénéficie ni de plus de soleil ni de plus d'ombre qu'il ne lui en faut. [...] par nature, les vents, dit-on, ne sont pas tous semblablement salubres ou insalubres.<sup>4</sup>

Si Alberti, dans la citation précédente, semble partager l'importance donnée à la salubrité dans le choix du site, une évolution se fait sentir depuis Vitruve. Comme nous allons le découvrir dans cet énoncé, les architectes de la Renaissance ne se focalisent plus uniquement sur la santé, mais s'ouvrent à une architecture pour le bien-être. Vitruve étudie ainsi non seulement les vents, mais aussi la qualité de l'air et de l'ensoleillement du site pour procurer un plaisir multisensoriel. Cela passe aussi selon lui par une bonne intégration de l'architecture à son environnement, « La construction donnera du plaisir aux visiteurs si, dès qu'ils sont sortis de la ville, elle s'offre entièrement à leur vue avec tout son charme, comme pour séduire et accueillir les arrivants ».<sup>5</sup>

Cette théorisation du bien être dans l'architecture climatique peut sembler anecdotique, car aucun exemple de bâtiment de Vitruve ou d'Alberti ne vient illustrer leurs écrits. Cependant, Palladio, qui n'écrivit pas aussi explicitement sur l'architecture climatique, a néanmoins appliqué ce savoir à ses constructions. C'est pourquoi, dans cette recherche, je vais étudier ses villas de manière à faire ressortir les principes qu'il a su intégrer à ses réalisations.

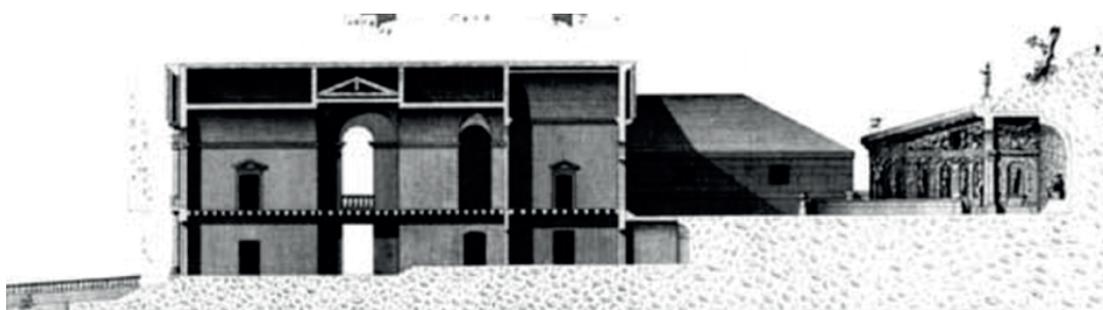
Palladio connaissait bien les théories de Vitruve dont il a illustré les dix livres, auxquelles s'ajoutait une excellente compréhension de l'architecture vernaculaire des fermes de la Vénétie. Dans cette partie, nous allons analyser l'influence du site et du climat sur les villas à travers les exemples de la villa Barbaro à Maser et la villa Rotonda. Comme nous allons le voir, si ces villas sont aussi différentes, c'est qu'elles répondent à des environnements aux qualités climatiques diverses. Nous allons alors rechercher dans la pratique de Palladio des principes qu'il adapte en fonction du site et des exigences des habitants.

Tout d'abord, la villa Barbaro à Maser est une villa agricole. L'interdépendance entre la construction, la qualité du site et le climat est d'autant plus importante que la survie de la villa et de ses habitants dépend des récoltes qui fluctuent en fonction de la qualité du sol et de la météo. La villa est aménagée contre un flanc de coteau. Sur la coupe transversale, nous pouvons voir la force de la relation qu'entretient l'architecture avec la topographie naturelle de la colline. La villa est en partie encastrée dans la pente. Elle intègre la différence de hauteur par un changement de niveau (Fig. 1.1).

<sup>4</sup> Leon Battista Alberti, *L'art d'édifier* (Titre original, *De re aedificatoria*), texte traduit du latin, présenté et annoté par Pierre Caye et Françoise Choay, éditions du Seuil, Paris, 2004, p. 61-62.

<sup>5</sup> Leon Battista Alberti, *L'art d'édifier*, op.cit., Livre IX, p.429.

À l'échelle du territoire, l'architecte utilise la pente et la gravité du site pour alimenter son système de distribution d'eau. Les villas possèdent leur propre gestion des eaux sur un circuit court. En effet, la villa puise son eau dans une source en haut de la colline, qui descend directement à la fontaine à l'arrière de la villa, l'eau ira ensuite dans les cuisines et elle finira par irriguer en aval les jardins puis les vergers du domaine (dessin d'analyse 1.1). Une partie de l'eau utilisée pour l'agriculture infiltrera alors le sol. Mélangée à l'eau de pluie, elle nourrit la terre et alimente la nappe phréatique et donc indirectement la source d'eau de la maison. L'utilisation de la ressource en eau est donc développée dans le respect du cycle naturel de l'eau du territoire, et assure sa durabilité.



1.1 Coupe transversale de la villa Barbaro, Palladio, Maser, 1550-1770



1.2 Fontaine de la villa Barbaro, Palladio, Maser, 1550-1770

Les fontaines, comme celle positionnée à l'arrière de la villa Barbaro (Fig. 1.2), sont essentielles pour subvenir au confort thermique des habitants en été. L'eau est étendue sur une surface plane dans le bassin peu profond, elle est ainsi directement exposée aux rayonnements solaires. L'eau en s'évaporant, va utiliser une partie de la chaleur de l'air et rafraîchit ainsi significativement son environnement. Ce système de fontaine étendue peut nous faire penser au miroir d'eau de Bordeaux qui s'étend sur une surface de 3 500 m<sup>2</sup> et qui est très fréquenté en été par les passants à la recherche de fraîcheur. Les fontaines en tout genre étaient aussi populaires dans les villes italiennes de la Renaissance. Elles sont aujourd'hui revalorisées dans nos villes. Par exemple, la ville de Nice au sud de la France a augmenté son nombre de fontaines et de points d'eau de 81 % entre 2008 et 2018.<sup>6</sup>

Les technologies modernes ont également permis le développement de brumisateurs et de pulvérisateurs dans l'espace public encore plus économes en eau, en diffusant à haute pression des micro gouttelettes qui augmentent l'évapotranspiration en maximisant la surface de contact air-eau, accentuant encore le rafraîchissement de l'air ambiant.

Les bois en amont des villas sont aussi sources de fraîcheur pour les habitants. En effet, les arbres créent de la fraîcheur par évapotranspiration (dessin d'analyse 1.2). Ils possèdent leur propre système de refroidissement par transpiration, l'eau contenue dans la sève remonte à la surface des feuilles à travers les stomates, des trous qui s'ouvrent plus ou moins en fonction du climat et libèrent des micro gouttelettes dont l'évaporation va produire un air frais. Cette fraîcheur descendra ensuite jusqu'à la villa au profit de ses habitants. Aujourd'hui, comme le témoigne Carly Ziter, professeure à l'université Concordia, la baisse de température due à un territoire arborisé est significative, « Nous avons découvert que pour optimiser le refroidissement, il est nécessaire d'avoir environ 40 % de couvert arborescent [...] Ainsi, si votre quartier compte moins de 10 % de couvert arborescent, vous ressentirez un certain refroidissement, mais pas beaucoup. Une fois le seuil atteint, vous constaterez réellement à quel point vous pouvez rafraîchir des secteurs complets ». <sup>7</sup> Il a été souligné que l'écart entre une zone à fort couvert arborescent et une zone sans arbre peut aller jusqu'à 4 ou 5 °C.

Comme nous pouvons l'observer sur la vue aérienne (Fig. 1.3), Palladio positionne ses villas légèrement en hauteur faisant référence aux prescriptions de Vitruve et Alberti de se protéger des vapeurs et des vents malsains. Mais cela s'explique aussi par le besoin du propriétaire d'avoir un domaine qu'il puisse surveiller depuis son habitation et une habitation visible depuis son domaine. L'architecture entretient une relation d'interdépendance avec le site, la villa par sa position domine le site et en même temps le site participe à l'organisation de la villa.

De plus, la construction s'oriente sur des axes nord-sud et est-ouest, la typologie de barre s'allonge sur l'axe est-ouest, cela permet aux longues façades principales d'être orientées au sud et au nord. La façade nord, la plus fraîche, est considérée comme la plus agréable à vivre en été. La façade sud est privilégiée pour la vue qu'elle donne sur le domaine. Elle possède de nombreuses ouvertures protégées par de grandes arcades. En été, les arcades protègent l'intérieur de la surchauffe en empêchant le rayonnement d'un soleil haut dans le ciel de frapper directement contre les ouvertures. En hiver, elles permettent de laisser passer le rayonnement d'un soleil positionné plus bas dans le ciel qui pourra alors chauffer l'habitation par radiation.

---

<sup>6</sup> Guillaume Perrin, *Rafraîchissement urbain et confort d'été: lutter contre les canicules* (Malakoff: Dunod, 2020), p. 64.

<sup>7</sup> « À Quel Point Les Arbres Apportent-Ils de La Fraîcheur Dans Les Quartiers Urbains ? | Psychomédia, » accessed January 4, 2022, <http://www.psychomedia.qc.ca/sante/2019-04-26/arbres-ilots-chaleur>.



1.3 Vue aérienne de la villa Barbaro, Palladio, Maser, 1550-1770



1.4 Vue prise depuis le portique de la Villa Barbaro, Palladio, Maser, 1550-1770

Enfin, Palladio valorise la symétrie dans le positionnement des ouvertures de ses villas. La symétrie du bâtiment ne visait pas seulement à un équilibre visuel des façades, mais permettait aussi à la lumière naturelle et à l'air de traverser le bâtiment. Il écrira à ce sujet :

Les fenêtres du côté droit doivent correspondre à celle du côté gauche et celles de l'étage doivent être alignées verticalement au-dessus des portes d'au-dessous, de telle sorte que les vides seront toujours au-dessus des vides et les pleins au-dessus des pleins. Les vides doivent aussi se faire face afin que quelqu'un qui se tient devant la maison puisse voir à travers toute la maison, jusqu'au côté opposé. Cela apportera la beauté et de l'air frais en été, parmi d'autres avantages.<sup>8</sup>

En alignant les ouvertures des façades nord et sud, Palladio permet à la villa de bénéficier d'une lumière traversante, mais aussi une ventilation optimale du bâtiment.

L'étude de la météorologie du lieu a été une force dans la conception du bâtiment pour fournir un espace sain et agréable à ses habitants. De même que la position du belvédère de la villa offre à la fois un espace protégé, un point de vue idéal de surveillance pour le propriétaire, mais aussi la jouissance esthétique de la vue qu'offre le paysage de la Vénétie (Fig. 1.4).

Le deuxième exemple de villa que je vais aborder dans cette partie est la Rontonda. Contrairement à la villa Barbaro, la Rotonda n'est pas une villa agricole. Elle sert essentiellement de maison de campagne à son propriétaire Paolo Almeric. Elle est située dans les environs immédiats de Vicence. Cependant, elle partage avec la villa Barbaro cette position de belvédère. La colline sur laquelle elle est ancrée joue un rôle de promontoire naturel offrant une vue sur les quatre horizons (Fig. 1.5). Cette ouverture et ce dialogue avec le site par la vue extérieure faisaient partie d'une des ambitions humanistes de Palladio, d'immerger l'Homme, de l'ouvrir sur le paysage par les vues offertes par la villa :

Le site est un des plus plaisants et des plus agréables qui puisse se trouver : c'est un monticule d'accès facile, baigné d'un côté par la Bacchiglione, un fleuve navigable, et entouré de l'autre par des collines plaisantes, ressemblant à un très grand théâtre, qui est tout cultivé et produit des fruits excellents ainsi que les meilleurs raisins. Et pour pouvoir jouir de tous les côtés de la très belle vue, qui est tantôt limitée, tantôt dégagée et tantôt s'étend jusqu'à l'horizon, on a aménagé des loggias sur les quatre façades.<sup>9</sup>

L'implantation de la villa Rotonda fut influencée par la proximité entre le site et la ville de Vicence, mais aussi comme énoncé par Palladio la proximité à la « Bacchiglione, un fleuve navigable ». Il y avait beaucoup d'avantages à s'implanter près d'un cours d'eau, Palladio témoigne plus en détail du bénéfice pour l'habitant et son environnement de s'implanter près de la rivière :

If we can build near to a river, it will be a beautiful and advantageous convenience, because we can transport the income from the land to the cities by ship at all times and at little cost. It will also be of advantage to the place itself, for the food of the cattle, by giving freshness in the summer and it will be pleasant to see. By its means one will easily water the meadows, the flower and vegetable gardens, which are the soul and the delights of the countryside.<sup>10</sup>

8 Andrea Palladio, *I quattro libri dell'architettura*, 1570, t.I, chap. XXV traduit par Philippe Rahm, Histoire Naturelle de l'architecture (France, Pavillon de l'Arsenal, 2020).

9 Andrea Palladio, *Les quatre livres de l'architecture* (Titre original, *I Quattro Libri dell'Architettura*, publié en 1571), traduit par Roland Fréart de Chambray, Flammarion, Paris, 1998, Livre II, p.18.

10 Palladio, *Les quatre livres de l'architecture*, 2.3. cité par Daniel Savoy, "Palladio and the Water-Oriented Scenography of Venice," *Journal of the Society of Architectural Historians* 71, no. 2 (2012): 204–25, <https://doi.org/10.1525/>



1.5 Villa Rotonda, Palladio, Maser, 1550-1770



1.6 Arches du portique de la villa Rotonda (Photo : Mario Ferrara)

---

jsah.2012.71.2.204.

L'eau a un rôle multiple permettant tout d'abord l'essor des activités humaines (pêche, transport, etc.), mais aussi de rafraîchir l'air de son environnement par évaporation. Nous verrons aussi dans la dernière partie que s'implanter près d'un cours d'eau présentait aussi des risques. D'après l'auteur Guillaume Perrin, l'eau a subi un recul depuis la période moderne, voyant sa place se réduire dans l'aménagement des villes. Notamment au profit des espaces goudronnés pour la circulation des voitures. Ainsi, aujourd'hui des projets de trame bleue visent à réintroduire la place de l'eau dans nos espaces urbains et à « privilégier la présence d'eau sur le territoire, les gestions alternatives et leurs intégrations paysagères ». <sup>11</sup>

Pour finir, l'apparence blanche et cubique de la villa peut sembler en contradiction avec la nature du site. Pourtant l'environnement et son climat ont été moteurs dans la conception de cette villa. Le site inspira le plan, un plan avec une symétrie centrale parfaite, permettant à son propriétaire de profiter de toutes les vues offertes par le monticule, une topographie jouant le rôle de promontoire naturel. De plus, les arches sur les faces latérales des portiques encadrent la nature (Fig. 1.6). Cette villa questionne la place de l'Homme face à la nature, lui permet de comprendre que son appréhension de celle-ci est constituée d'une composition des points de vue que lui offre la villa.

Pour conclure l'introduction de ses deux villas, Palladio exacerbe les plaisirs sensoriels des habitants par une connaissance parfaite des caractéristiques de chaque site. Les deux villas privilégient la vue extérieure, un panorama sur sa propriété agricole pour la villa Barbaro et une vue à 360 degrés sur le paysage pour la villa de plaisance Rotonda. L'orientation du bâtiment est définie en fonction de la vue, de l'ensoleillement et des vents, en trouvant un équilibre entre les éléments de manière à optimiser le confort et le plaisir des habitants. Palladio génère ainsi une interrelation forte entre l'environnement naturel et le construit. Comme nous avons pu le constater, l'étude des caractéristiques du site est essentielle et mise en avant par les traités architecturaux de Vitruve, Palladio et Alberti. Si dans cette partie nous avons analysé des stratégies climatiques à l'échelle du domaine et de l'extérieur de la villa, dans les prochains paragraphes nous nous focaliserons sur la façon d'habiter une villa bioclimatique en fonction des variations de climat dans le temps et dans l'espace.

## Étude de typologies : la villa et le temps

Palladio était informé des traités de Vitruve et de ses indications sur l'orientation des bâtiments en fonction des vents dominants. L'utilisation de diagrammes des vents était courante, notamment celui de la rose des vents où Vitruve dissocie les vents jugés sains ou nocifs selon leur orientation (Fig. 1.7).

Cela fut à l'origine - comme en témoigne Alberti - des croyances culturelles autour des vents. Le vent du Nord, le *septentrio*, était réputé comme toujours sain, pur et frais 'très bien pour habiter en été'. L'air de l'Est serait tempéré et les architectes 'feraient des espaces, pour le père et la mère de la famille, une bibliothèque ou un espace similaire'. L'air de l'Ouest contrastait, car il était 'le plus chaud en été, ce qui rend les pièces difficiles à vivre'. L'air du Sud, aussi nommé *Auster*, était considéré comme malsain.

---

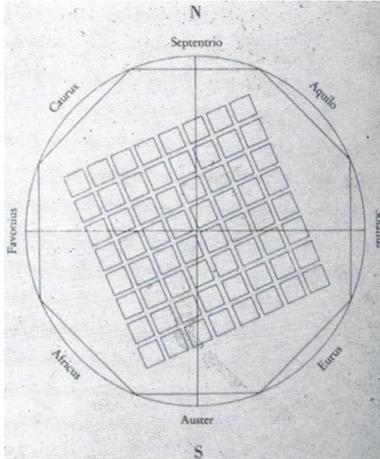
<sup>11</sup> Perrin, *Rafraîchissement urbain et confort d'été*, p. 59.



1.8 Portique et hall traversant villa Emo, Palladio, 1555-1565



1.9 Salon d'hiver, villa Rotonda, (Photo : Maurizio Sartoretto)



2.7 Reconstitution de l'orientation des rues en relation avec la direction des vents d'après Vitruve

À ces croyances sur les vents s'ajoutaient les variations de température et d'apport solaire en fonction de l'orientation et des heures de la journée. Palladio a réfléchi à définir une occupation des pièces en fonction de leur orientation et de la saison, "All summer rooms to receive Boreas [North wind], all winter ones to the south, spring and autumn ones toward the sunrise [East]; make baths and spring dining rooms face the sunset [West]"<sup>12</sup>

La façade nord étant la moins ensoleillée, les espaces intérieurs recevront moins de chaleur par apport solaire et seront les plus frais, c'est pourquoi Palladio recommande de mettre les pièces principales utilisées en été au nord. En hiver, au contraire, ils seront les plus froids et resteront inutilisés.

À l'opposé, la façade sud est ensoleillée toute la journée et tout particulièrement en milieu de journée quand les apports solaires par radiation sont les plus forts et les plus dangereux. Les habitants doivent donc éviter ces espaces en été, mais en hiver quand les températures auront baissé, ils bénéficieront de gains thermiques passifs très appréciés.

Le soleil se couchant à l'ouest, Palladio associe ensoleillement et rythme de vie en y plaçant les espaces de bains qui étaient pris en fin de journée et les salles de dîners, pour profiter des derniers rayons du soleil. Enfin il est déconseillé d'y placer des chambres en été, car ce sont les derniers espaces chauffés: une température trop haute pour le coucher pourrait entraîner des troubles du sommeil. Enfin les espaces à l'est, comme nous l'avons vu précédemment à travers les propos d'Alberti, étaient très appréciés, car légèrement ensoleillés le matin après une nuit plus fraîche.

Aussi, ces règles n'étaient pas immuables et des dispositifs tels que les portiques jouaient un rôle de protection solaire horizontale efficace. Les loggias, les arcades, les balcons protégeaient du soleil et créaient un seuil climatique.

Un climat chaud même protégé n'était pas considéré comme sain par Alberti. Cependant les espaces concernés restaient agréables utilisés momentanément. "In this aspect we make entrance halls, the loggias, the halls, the Sitting rooms, and similar places: which are not inhabited continuously; but serve for entertainment some hours of the day; and for this reason might not receive much harm."<sup>13</sup> Certains espaces étaient donc destinés à des utilisations temporaires et il était accepté que les habitants apprécient des températures légèrement plus hautes sur de courtes durées.

12 Palladio, 1570, livre II, cité par Matthew Hardi, ed., *Aeolian Winds and the Spirit in Renaissance Architecture: Academia Eolia Revisited* (New York: Routledge, 2006), p.58.

13 Scamozzi, 1615, III, cité par Matthew Hardi, *Aeolian Winds and the Spirit in Renaissance Architecture*, p.60.

L'architecte vénitien Serlio ajouta des commentaires sur les proportions que devaient adopter les pièces en fonction de leur orientation et de leur saison d'occupation :

It would also contribute to comfort if the summer rooms were large and spacious and oriented to the north, and those for the winter to the south and west and were small rather than otherwise, because in summer we seek the shade and breezes, and in the winter, the sun, and smaller rooms get warmer more readily than large ones.<sup>14</sup>

Comme énoncé par Serlio, Palladio appliquait dans sa pratique les différences de volume et de proportion en fonction de l'utilisation saisonnière des pièces. Par exemple, la sala que nous étudierons plus en détail dans la prochaine partie est la pièce centrale la plus fraîche (dessin d'analyse 1.3). Elle est aussi la plus haute sur plusieurs étages et surmontée d'un dôme. Nous pouvons la comparer à une salle d'hiver avec sa cheminée de taille plus modeste (Fig. 1.9).

Dans le cas de la villa Rotonda, bien que les pièces en périphérie aient les mêmes proportions, elles étaient occupées à tour de rôle en fonction des saisons. Aussi, il faut préciser que les villas étaient parfois conçues pour une occupation saisonnière, pour que les propriétaires puissent échapper en été à la chaleur de la ville.

Enfin, les habitants avaient aussi un rôle à jouer dans le contrôle de leur environnement. Scamozzi précisait qu'il était possible de modérer [la chaleur] en fermant les fenêtres, et d'autres éléments. En effet, l'habitude de fermer les volets pendant les heures chaudes du jour pour stabiliser la température intérieure ou d'ouvrir les portes pour ventiler et rafraîchir l'habitation pendant les heures de fraîcheur existait bien avant la conception des villas.

Les architectes de la Renaissance portaient aussi une grande attention à l'orientation pour des préoccupations d'ensoleillement et de lumière naturelle intérieure. Certaines villas comme la Barbaro étaient munies de cadran solaire. La villa Rotonda était aussi le résultat d'une étude très poussée de la course solaire. Depuis le vestibule central de la villa, l'habitant pouvait se situer dans le temps, le soleil s'infiltrant par les différentes entrées au cours de la journée, informant le propriétaire de l'heure lumineuse (Fig. 1.10 et 1.11). Pierre Caye dira sur cette disposition, « La Rotonde s'expose au ciel tel un cadran solaire, une immense horloge dont le parcours installe l'Homme dans l'ordre immuable du monde ».<sup>15</sup>

Parallèlement à l'attention que Palladio portait à la température intérieure à l'échelle de l'année, il s'intéressait aussi au niveau de lumière des pièces en fonction de l'heure du jour et de l'orientation. Par exemple, Palladio conseille de positionner les activités et les pièces de stockage en fonction du niveau de lumière naturelle perçu dans les espaces:

Parts that require light until dusk such as reception halls, libraries, passageways must face sunset at equinox (west). Anything with risks of molds, rust (clothes, food, books, ...) on the east or south side of the house. Even light required for painters, writers or sculptors will be on the north side.<sup>16</sup>

Aujourd'hui encore, on préconise une orientation nord pour les ateliers de peinture. Ainsi, ils auront alors une lumière de moyenne intensité, qui varie très peu au cours de la journée et qui permet aussi de conserver les œuvres.

---

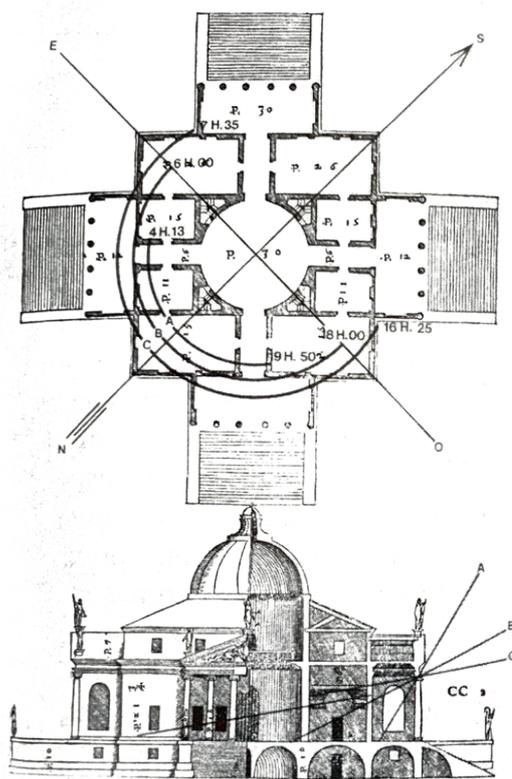
14 Idem

15 Pierre Caye and Daniel Barbaro, *Le Savoir de Palladio: Architecture, Métaphysique et Politique Dans La Venise Du Cinquecento*, L'esprit et Les Formes (Paris: Klincksieck, 1995).

16 Palladio, 1570, II, cité par Matthew Hardy, *Aeolian Winds and the Spirit in Renaissance Architecture*, p.58.

En conclusion, les villas entrent en dialogue non seulement avec leur environnement direct, mais aussi avec la temporalité des changements météorologiques. S'il n'existe pas une orientation parfaite permettant simultanément lumière, air sain et température parfaite pour tous et tout au long de l'année, les constructeurs de villas ont conscience que les différences de climat générées à l'intérieur de leurs villas peuvent être accordées avec les différentes activités de leurs habitants.

Ainsi dans cette partie nous avons vu les prescriptions des architectes de la Renaissance pour construire des environnements sains et agréables à toute heure de la journée ou moment de l'année. Si Vitruve essaya d'élaborer des principes immuables pour tout site et tout climat, des architectes comme Palladio ou Serlio avaient conscience de la pluralité des facteurs environnementaux à prendre un compte pour optimiser le bâtiment en fonction de son climat. Aussi une des leçons importantes pour gérer les changements de température, d'apport solaire et de lumière en fonction du temps est de prévoir une occupation variable des espaces, temporaire ou saisonnière. L'architecture doit donc être capable de s'adapter et d'accueillir des changements programmatiques au cours de saisons. Pour cela il faut être capable de reconnaître les qualités de chaque pièce et de leur microclimat. Dans cette dernière partie nous verrons deux espaces emblématiques par l'atmosphère climatique de fraîcheur qu'ils maintiennent à l'intérieur des villas.



1.10 Position du soleil aux différentes époques de l'année et 1.11 vestibule sud-est (R. Streitz : la Rotonda et sa géométrie)

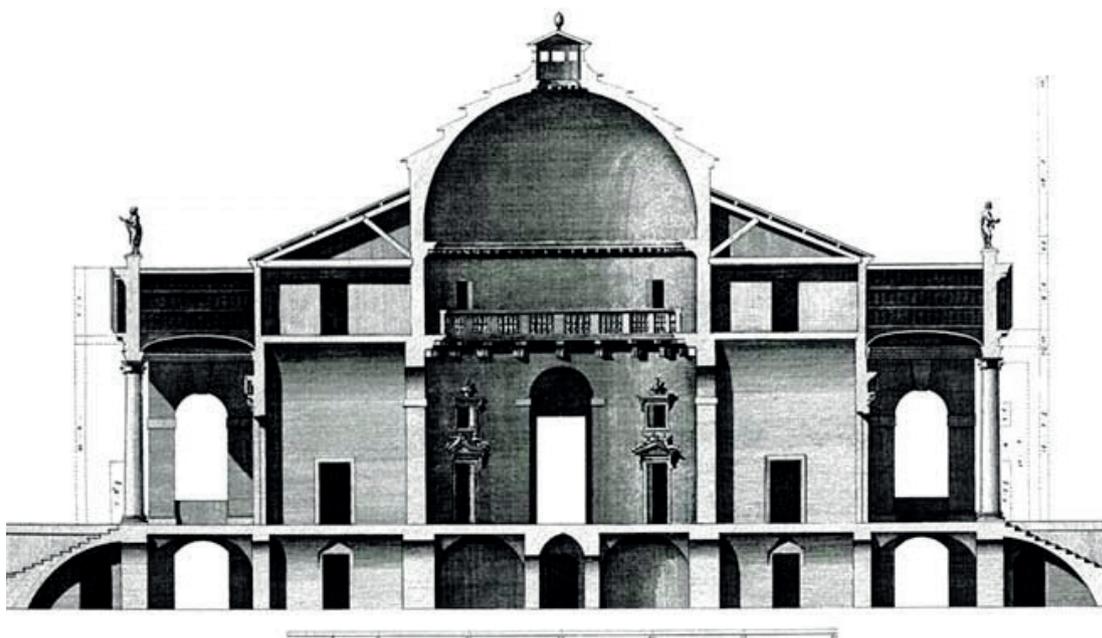
## Étude des microclimats à travers deux exemples

Certaines pièces des villas sont reconnues comme un refuge de fraîcheur lors des jours d'été les plus arides. Dans ce paragraphe, je vais décrire l'importance de ces pièces en tant que refuge et leur rôle dans la régulation générale du climat intérieur de la villa.

La Sala est le hall central des villas de la Renaissance. Elle serait inspirée des *portego* vénitiens, des pièces au plafond particulièrement haut, centrales et traversant les palais de Venise. Le *portego* traverse tout le bâtiment à partir d'une façade donnant sur un canal, permettant au vent, créé par la différence de température entre l'eau et la terre, de pénétrer dans le palais et ainsi de le rafraîchir par convection.<sup>17</sup> Ces pièces étaient très appréciées pour leur fraîcheur et bien connues des architectes tels que Palladio.

Transposé au contexte de la campagne vénitienne, la *sala* est une pièce centrale aussi très haute et généralement surmontée d'un dôme. Au centre de la villa, elle ne possède pratiquement aucune fenêtre et est protégée des apports thermiques par les pièces périphériques. La Rotonda possède une des *sala* les plus abouties. En effet, situé au centre d'un plan à base carrée, ce hall est protégé des gains solaires par les pièces qui l'entourent, mais aussi par les quatre portiques disposés sur chaque face de la villa (Fig. 1.12). Palladio envisage les portiques des villas non seulement comme des espaces de seuil, mais aussi comme des dispositifs de protection contre le rayonnement solaire.

De plus, elle ne possède aucune ouverture qui permettrait au soleil de la chauffer, seulement un petit oculus en haut du dôme pour évacuer l'air. Ce dispositif de protection radicale contre le soleil préserve du rayonnement et maintient cette pièce fraîche.



1.12 Section de la Rotonda par Andrea Palladio, dessin d'Ottavio Bertotti Scamozzi, 1778

<sup>17</sup> Rahm, *Histoire Naturelle de l'architecture*.

Dans ses livres VI et VII, Serlio traite de l'importance du climat comme facteur de la forme. Il y fait l'apologie de l'utilité de la sala comme hall central ombragé et l'intérêt de son recul face à la chaleur du soleil d'été. Il considère aussi le risque d'en faire une salle trop sombre et donc inutilisable. Cependant, dans une description de la Sala de la villa Medici de Poggio, il rassure sur la luminosité d'un tel espace :

Some will doubt, that this house will be well lit in the middle, due to the great length of the passage. Of this there is no [need] to doubt, because the doors will be open all day: further because there will be windows above it. Next, this dwelling is the sort you inhabit in summer. Because of that this [house] will be very cool, and the middle parts retired from the sun.<sup>18</sup>

Serlio décrit une architecture climatique où l'occupant jouerait un rôle important dans le contrôle de son environnement. Aussi, la sala est un espace haut et ombragé, dessiné pour une utilisation optimale en été. En hiver c'est à l'occupant de fermer les portes, de chauffer et préserver la chaleur. De même, d'après les propos de Serlio, l'architecte doit dessiner en fonction du climat d'été. Une focalisation dont auraient résulté certaines pièces particulièrement ombragées, grandes et ventilées comme la sala :

To my mind, anyone who is constructing a building will construct it for summer use, if he has any sense; for it is easy enough to cater for winter: shut all openings, and light the fire; but to combat heat, much is to be done, and not always to great effect.<sup>19</sup>

La sala est donc un endroit particulièrement protégé et ombragé au cœur de la villa. Toutefois, comme nous allons l'analyser, sa fraîcheur dépend également d'un système de ventilation naturelle performant.

Les entrées de la villa Rotonda en plan carré sont placées au centre de chaque face. Elles créent des axes de ventilation se coupant perpendiculairement. Les courants d'air frais s'engouffrent dans toutes les directions par les entrées principales, ils arrivent jusqu'au hall central dans lequel la chaleur monte jusqu'au dôme et quitte la villa par l'oculus au centre de celui-ci.



1.13 Sala de la villa Rotonda 1.15 Rosetta au centre de la sala de la villa Rotonda

<sup>18</sup> Serlio cité dans Matthew Hardi, ed., *Aeolian Winds and the Spirit in Renaissance Architecture: Academia Eolia Revisited* (New York: Routledge, 2006), p.56.

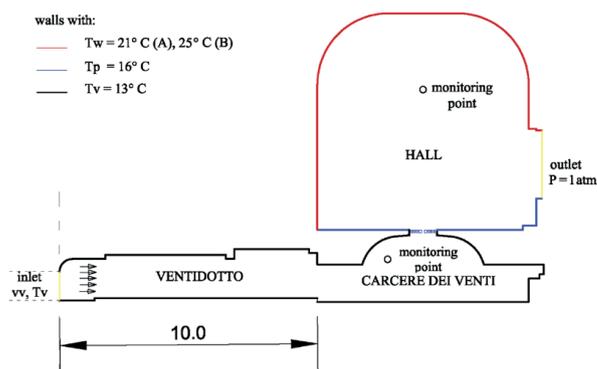
<sup>19</sup> Hardi, p. 55.

Ce premier système de ventilation horizontal est associé à un autre système cette fois-ci vertical. En effet, sous la villa, l'air s'introduit dans des caves par des ouvertures localisées sous les escaliers des quatre entrées. Il est ensuite refroidi par la température de la terre pour remonter directement à la sala à travers la *rosetta*, un trou au centre de celle-ci (Fig. 1.15), apportant l'air frais refroidi par géothermie dans la sala. Ces deux systèmes fournissent une ventilation passive très efficace où les flux d'air se déplacent à la fois verticalement et de façon centrifuge (dessin d'analyse 1.3).

Le système de ventilation assure la fraîcheur par la température de l'air qu'elle apporte, mais aussi par le brassage d'air qui facilite l'évaporation de la sueur sur la peau. Quand nous transpirons, les gouttelettes d'eau sur notre peau refroidissent le corps en s'évaporant. De manière à être efficace, la vitesse du mouvement d'air doit se situer entre 0,2 m/s (début de la sensation de courant d'air) et 0,8 m/s (vitesse à laquelle des feuilles de papier peuvent être déplacées). Nous pouvons ainsi supporter des températures plus hautes si l'air est en mouvement. Aujourd'hui des brasseurs d'air peuvent reproduire cette circulation d'air de façon artificielle; le brassage doit alors s'accompagner d'un échange de flux avec l'air extérieur, pour avoir un effet de renouvellement et baisser la température.<sup>20</sup>

Dans ce paragraphe, nous avons pu voir que la fraîcheur de la sala était associée à des chambres souterraines pour refroidir l'air, dans le prochain paragraphe je parlerai plus en détail des réflexions autour de l'utilisation de la géothermie à la Renaissance.

Les cavernes font partie d'un système de ventilation souterrain utilisant la géothermie. Pour illustrer ce mécanisme, nous analyserons les villas Renaissance à Costozza. Construites au 16e siècle en Vénétie, elles sont naturellement refroidies en été, par l'air provenant des cavernes voisines qui est distribué soit par des conduits artificiels creusés dans la roche nommés *ventidotti* ou construits directement contre des cavernes naturelles nommées *covoli*. Le sol rocheux a une capacité thermique lui permettant d'absorber et stocker la chaleur de l'air extérieur, puis de la transmettre petit à petit. Selon les mesures sur le site, la température du sol rocheux des cavernes de Costozza est maintenue à une constante estimée à 11 °C, même durant les jours les plus chauds de l'année. Par échange thermique convectif, l'air en contact avec les roches décharge sa chaleur et tend à prendre la même température que la surface rocheuse. À l'intérieur des *covoli*, pendant la saison chaude, l'air prend donc une température plus basse que l'air extérieur et une température plus élevée pendant la saison froide.<sup>21</sup>

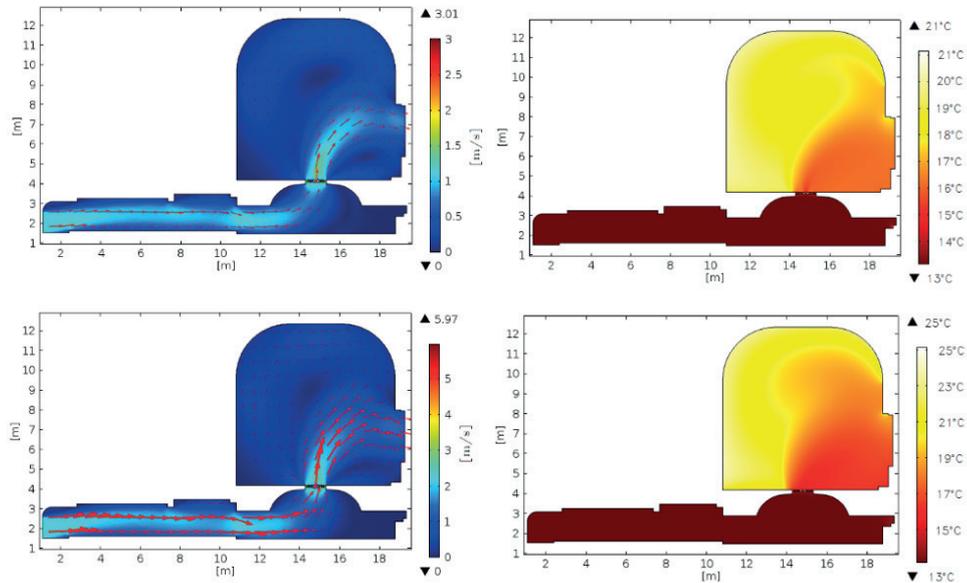


1.14 Géométrie du hall Apollinea étudié avec la représentation des limites avec les conditions appliquées, Margherita Ferrucci, 2018.

20 Perrin, *Rafraîchissement urbain et confort d'été*, p. 93.

21 Margherita Ferrucci and Fabio Peron, "Ancient Use of Natural Geothermal Resources: Analysis of Natural Cooling of 16th Century Villas in Costozza (Italy) as a Reference for Modern Buildings," *Sustainability* 10, no. 12 (December 2018): 4340, <https://doi.org/10.3390/su10124340>.

La force motrice du refroidissement passif provient de la différence de pression entre l'air extérieur, à l'entrée des cavernes, et l'air dans la villa car ils sont à des températures très différentes. Par effet de cheminée, en été, l'air froid s'engouffre dans des cavernes, il remonte ensuite à l'intérieur de la villa. Dans la sala, l'air s'élève au contact de l'air chaud intérieur pour ensuite être expulsé par les ouvertures telles que l'oculus. Une série de simulations de la vitesse et de la température des flux d'air a été modélisée pour illustrer le système de refroidissement souterrain de la villa Aeolia.<sup>22</sup> Ce modèle vise à déterminer la relation entre la différence de température,  $DT$  (différence entre la température extérieure  $T_e$  et la température dans la grotte  $T_i$ ) et la vitesse  $v$  du flux d'air dans les conduits souterrains. Il faut aussi noter que les résultats ont été validés par des mesures sur le terrain.



**Figure 13.** Case study A ( $v_v = 1.12$  m/s): velocity field (m/s) (**top left**) and temperature distribution (K) (**top right**). Case study B ( $v_v = 2.23$  m/s): velocity field (m/s) (**bottom left**) and temperature distribution (K) (**bottom right**).

1.15 Étude de cas : champ de vitesse (m/s) (à gauche) et distribution de température (°C) (à droite), Margherita Ferrucci, 2018.

On peut observer sur l'image 1.15 que la vitesse de l'air dans des ventidotti s'accélère à l'approche de l'entrée de la villa et crée un flux d'air frais pouvant atteindre les 17 °C dans une pièce à une température moyenne de 24 °C.

La physicienne Margherita Ferrucci, qui a analysé les cavernes et réalisé les simulations, souligne l'efficacité de ce système de refroidissement passif par son comportement adaptatif. En effet, d'après ses simulations, le flux d'air augmente en suivant l'augmentation de la température extérieure :

The ventidotto can provide fresh airflow rates that cool the walls of the room and maintain the temperature below 20 °C even on hot summer days. An advantage is that the system works in a self-adaptive way, the airflow increases when the outdoor temperature increases. This self-adjustment allows us to compare the cooling system to a modern environmental control system. This self-adjustment allows us to compare the cooling system to modern air conditioning.<sup>23</sup>

L'autrice défend l'efficacité de ce système ancien très peu étudié et peu valorisé dans les

<sup>22</sup> Ferrucci and Peron.

<sup>23</sup> Ferrucci and Peron.

recherches modernes. Cette analyse positionne les cavernes de la Renaissance comme références importantes utilisant les ressources géothermiques renouvelables à fin d'améliorer le confort et limiter la consommation d'énergie opérationnelle des bâtiments modernes.

Si ce savoir-faire géothermique semblait être parfaitement maîtrisé par les constructeurs de villas, la valeur des cavernes et leur fraîcheur furent très prisées et glorifiées par leurs habitants. Elles revêtaient même une valeur mystique.

Dans le livre *Æolian Winds and the Spirit of Renaissance architecture*, l'historienne Barbara Kenda étudie le concept du pneuma dans les villas de la Renaissance italienne en Vénétie. Pneuma est le mot grec signifiant le «souffle» utilisé par les philosophes de l'Antiquité classique. Il désigne à la fois l'air, l'esprit et l'âme.

À travers une série d'articles, elle contextualise la ventilation comme principe fondamental des constructions classiques. La caverne est un des espaces centraux de la théorie du pneuma. En effet, ces pièces étaient reconnues à la fois comme élément clé des systèmes de ventilation des villas, mais aussi comme une pièce chargée d'une grande symbolique de bien-être physique et mental. Les cavernes de Costozza précédemment étudiées étaient en effet connues des architectes tels que Palladio et Scamozzi.<sup>24</sup> Mais aussi d'humanistes, comme l'historien et prêtre Fransco Barbarano qui écrivit à leur sujet :

Delightful place, during the summer heat, fresh, gentle wind issues from the caves flows through certain canals ... proportionally to the habitations to comfort their dwellers... As I have experienced, nothing but a Terrestrial Paradise is sensed in these freshly ventilated rooms.

Selon la pensée du pneuma de la Renaissance, le souffle des caves fournit vigueur et vitalité à leurs habitants, un bien-être non seulement physique, mais aussi spirituel. Ces villas infusées par l'air étaient connues comme étant source de stimulation intellectuelle. Barbarano a relevé dans un de ses livres que Pythagore a médité plusieurs jours dans des cavernes de villas, que de nombreux poètes et penseurs ont observé ces caves comme des espaces empreints d'une âme, comme un espace de révélation divine. Au XVI<sup>e</sup> siècle, le pneuma était considéré comme une condition fondamentale pour établir une harmonie entre le corps et l'esprit, l'architecture et l'univers.

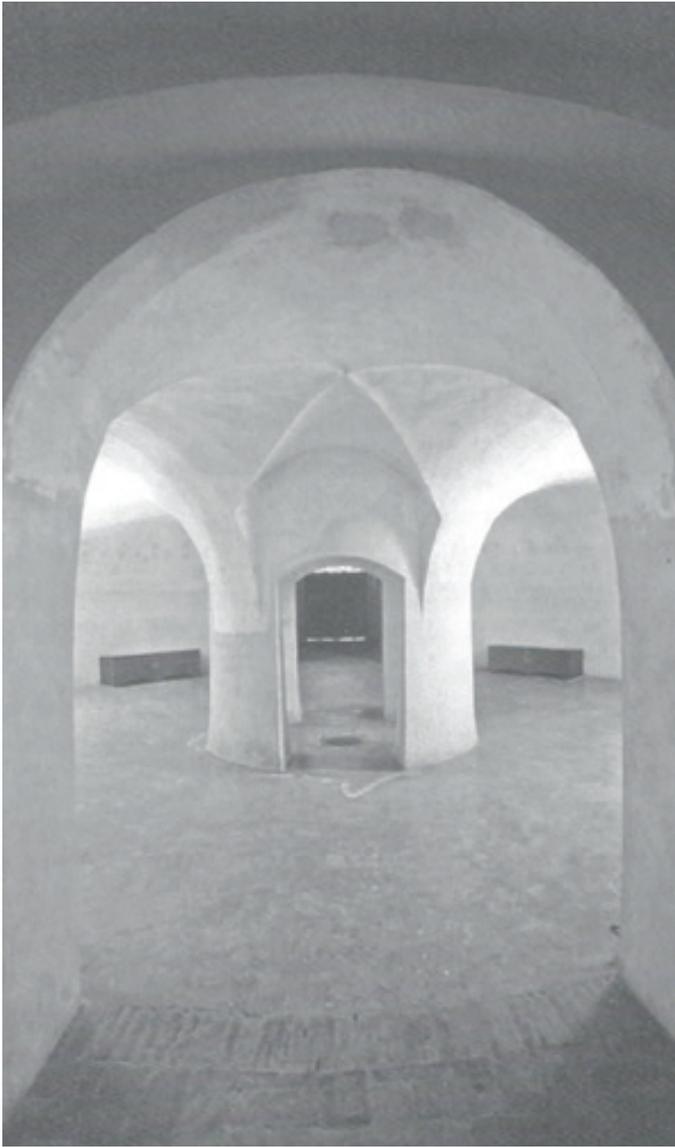
Enfin, les caves recueillent une autre dimension, cette fois religieuse. Au-dessus de la porte de la villa Trento-Carli, nous pouvons lire :

AEOLUS HIC CLAUSO CARCERE REGNAT AEOLIA  
(Aeolus règne sur Éolie par le biais de cette prison des vents). (Fig. 1.17)

Cette inscription se réfère au dieu grec des vents Éole qui fut le maître et le régisseur des vents emprisonnés de l'île éolienne. D'ailleurs, les iconographies de ce dieu étaient fréquentes dans les villas de la Renaissance, comme la statue de Elio à l'entrée de la caverne de la villa Garzadori-da-Schio ou les fresques à son honneur.

---

<sup>24</sup> Palladio, A. *I Quattro Libri dell'Architettura*; *Dominico de Franceschi: Venezia, Italy*, 1570 cité par Ferrucci and Peron.



1.16 Villa Rotonda cryptoporticus, (extrait du livre de Barbara Kenda )



1.17 Inscription sur la porte d'accès au Carcere dei Venti

Aujourd'hui, la symbolique d'un espace bien ventilé est moins mise en avant par l'architecture. Cependant, des études scientifiques ont confirmé l'importance d'un intérieur bien ventilé et contenant un air sain pour une meilleure productivité intellectuelle de ses habitants. De plus, en période d'épidémie du Covid-19, nous avons pu observer les lacunes de certains bâtiments modernes en matière de ventilation. Les habitants ont dû réapprendre à ouvrir leurs fenêtres et aérer fréquemment leurs espaces de vie.

Nous avons pu voir dans cette partie toutes les stratégies climatiques mises en place pour offrir aux propriétaires des villas un environnement sain. Aussi Palladio ne dessine pas uniquement pour le plaisir des yeux, mais pour le plaisir de tous les sens. De plus, nous avons pu voir qu'un architecte à la Renaissance doit tout d'abord bien choisir son site et sera capable de manipuler le climat pour assurer le confort intérieur des villas. Si le but n'est pas de retourner à une architecture entièrement passive, nous pouvons observer l'efficacité de certains dispositifs qui pourraient, en étant intégrés à l'architecture contemporaine, significativement baisser les consommations en climatisation et en lumière artificielle.

Un autre enjeu central pour réintégrer les systèmes passifs à l'architecture d'aujourd'hui est la technique de représentation de leurs effets. Il n'est pas facile de révéler la température, la densité, la vitesse de l'air invisibles à l'œil nu sur un dessin. Néanmoins dans le prochain paragraphe, pour conclure cette partie sur l'architecture climatique, nous étudierons comment les architectes ont représenté le climat et ses propriétés dans leurs œuvres.

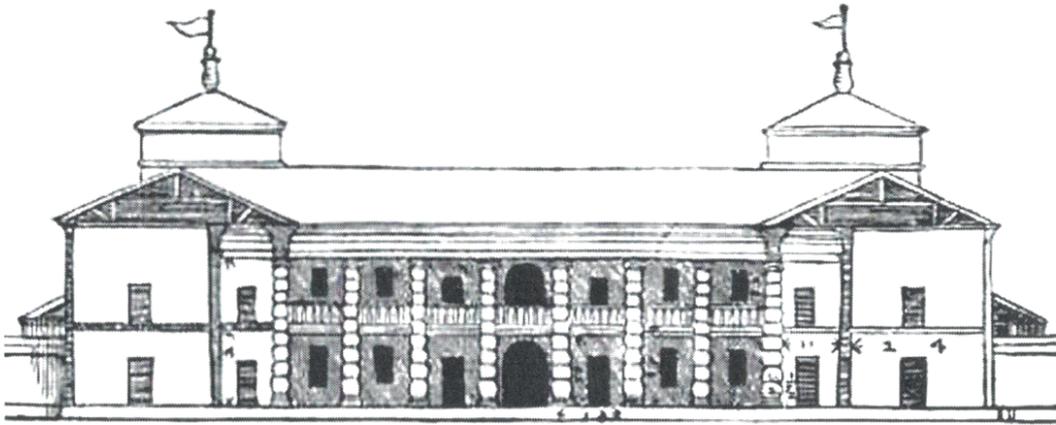
## **Représentation du climat sur les dessins**

Comme énoncé dans la partie introductive, l'air est devenu invisible dans les dessins d'architecture actuels. Le bien-être dans nos bâtiments a été délégué entièrement aux ingénieurs et à leurs systèmes artificiels. La circulation naturelle de l'air et ses propriétés pour le bien être, le plaisir des habitants ont disparu dans la pratique architecturale. L'air a été remplacé par la notion d'espace, notion abstraite, définie par l'absence de quelque chose, le vide. L'espace a perdu la richesse de l'air, notamment son affinité avec la notion d'atmosphère et de ressenti multisensoriel. Nous avons perdu les plaisirs de sentir un lieu par ses odeurs, sa chaleur et la densité de son air.

Dans ce paragraphe, nous étudierons l'intérêt porté au climat et sa représentation par l'architecture de la Renaissance, de façon à questionner l'architecture d'aujourd'hui et tenter de l'enrichir. Nous verrons comment l'air a été réfléchi et représenté par Vitruve, Alberti, Palladio et Scamozzi.

Tout d'abord, le bon air selon Alberti, lui même inspiré par Vitruve, n'est ni trop humide, ni stagnant, aussi il doit être en mouvement et plus clair que la vapeur. Mais si la vapeur et la fumée sont facilement illustrées par des nuages sombre, plus opaque, l'air pur est bel et bien invisible.

Palladio dans les quatre livres sur l'architecture, montre la présence de cet air par l'utilisation d'artefacts comme des fanions ou des girouettes. Finalement, il représente l'effet de cet air en mouvement comme témoin de sa présence. Les girouettes sont utilisées de manière systématique dans ses élévations comme pour celle de la villa Sarego (Fig. 1.18). Il témoigne ainsi d'une connaissance du site et de ses vents dominants illustrés par la direction prise par les drapeaux.



1.18 Élévation de la villa Sarego avec des girouettes, Palladio

Une élévation reste cependant mystérieuse, celle de la villa Thiene (Fig. 1.19). En effet, les drapeaux volent dans des directions opposées! Nous pouvons nous demander si cela était une tentative maladroite de symétrie parfaite, obsessionnelle chez Palladio. L'auteur Paul Emmons trouve une autre explication à cette bizarrerie :

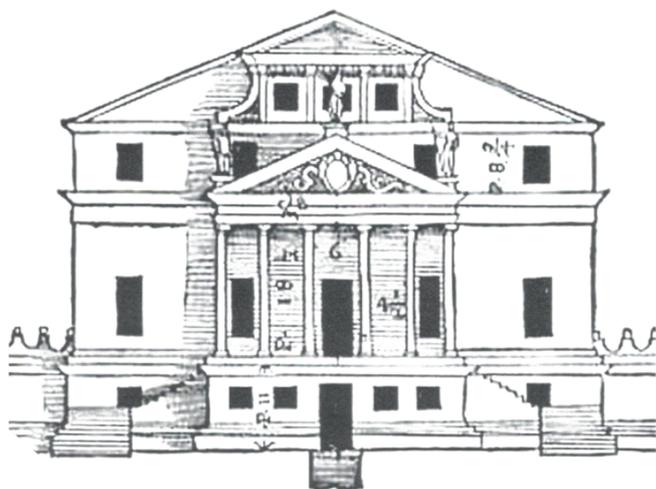
This could be interpreted as a clumsy attempt at symmetry but more likely it suggests that the four corner towers of the Villa are each balancing and orienting the winds from the four corners of the earth. Palladio also shows wind vanes in his reconstruction of the ancient house, projecting back in time an originary idea of good air as a cause in the devising of architecture.<sup>25</sup>



1.19 Élévation de la villa Thiene, Palladio

<sup>25</sup> Barbara Kenda, ed., *Aeolian Winds and the Spirit in Renaissance Architecture: Academia Eolia Revisited* (New York: Routledge, 2006), p. 91.

Un autre détail dans les dessins de villas de Palladio peut retenir notre attention, l'absence des cheminées pourtant présentes dans ses projets (Fig. 1.20). Mais Palladio dans ses traités dessinait la version idéale du bâtiment et les cheminées n'en faisaient pas partie. Essentielles pour chauffer les villas à l'époque, les cheminées étaient néanmoins critiquées par Palladio à cause de l'air gris et malsain qu'elles produisaient dans les intérieurs. C'est pourquoi elles ne rentrent pas dans l'idéal de la villa et dans l'idée que Palladio avait d'un air intérieur sain.



1.20 Élévation de la villa Foscari sans cheminées, Palladio



1.21 Cheminées de la villa Foscari (Photo : Matthias Schaller)

De plus, l'architecte était fasciné par les thermes romains qu'il a d'ailleurs relevés et illustrés. Il a vanté les mérites de leur système de chauffage, nommé Hypocauste. En effet, prélude du chauffage au sol moderne, les thermes romains utilisaient le système suivant :

Un foyer puissant situé à l'extérieur des bâtiments, produit de l'air chaud, qui circule sous le sol des salles à chauffer, lequel est surélevé au moyen de petites piles ou de murets. L'air circule aussi derrière les parois, car les salles à hypocaustes sont presque toujours dotées de parois chauffantes maintenues en avant des murs par des fiches de pierre ou, plus fréquemment, de terre cuite.<sup>26</sup>

L'intérêt porté à ce type de chauffage est tout d'abord lié à son efficacité pouvant mener à une température intérieure des bains de 30 °C. Mais aussi pour la qualité d'un système séparant les fumées, produites par combustion, de l'espace intérieur. Et Palladio, conscient de la supériorité de ce système de chauffage, le dessinera dans ses traités appliqués aux résidences privées, même ne le concrétisera pas dans ses constructions.

Enfin, la fumée des cheminées dérangeait aussi pour son odeur. En effet, la qualité de l'air intérieur était aussi déterminée par l'odeur. Alberti, écrit sur l'importance de l'odeur pour déterminer si un corps, un animal ou un bâtiment est sain : 'foul from a diseased body, sweet from a clear one' ou en français par l'odeur immonde d'un corps malade ou douce d'un corps sain.<sup>27</sup> Cette idée qu'un espace sain était un espace avec une bonne odeur dérivait des pratiques médicales de la Renaissance. Les maisons infectées par la peste étaient traitées en ajoutant des parfums à leurs intérieurs, constitués de recettes complexes pouvant mélanger plus de soixante ingrédients.<sup>28</sup>

L'architecture était donc un lieu où convergeaient toutes les pratiques visant au bien-être et au plaisir des sens. Par leurs traités, les architectes témoignent de l'intérêt porté au maintien d'un air sain dans leurs projets, tout en adoptant une approche multisensorielle. Aussi, l'air sain possédait une valeur spirituelle dépassant la conscience humaine. Je terminerai cette partie par l'histoire de Poliphili le personnage principal du livre *Hypnerotomachia Poliphili* introduit par Paul Emmons dans son essai dans le recueil de Barbara Kenda. Dans ce mythe, Poliphili rencontre des nymphes représentant les cinq sens, elles l'emmènent dans un endroit représentant le comble du confort, les bains romains :



L'épisode où Poliphile rencontre cinq nymphes qui représentent allégoriquement les sens, elles l'emmènent dans un «bain miraculeux octogonal» - probablement basé sur la tour des vents - où tous ses sens sont inspirés. Une substance Syris émanant de la terre voisine est enflammée sur des bois parfumés pour produire « une fumigation indescriptible », la plus subtile et la plus délicate des odeurs. Faisant appel à la vision, les cristaux translucides des portes donnent « une lumière merveilleuse et multicolore ». Réalisant le rêve de Palladio d'une villa chauffée sans cheminées ni fumée, l'eau de ce bain est «réchauffée sans hypocauste ni four, et pure au-delà de toute croyance». La coupole du bain thermal octogonal est surmontée d'une girouette en forme de putto qui fournit une perception sensorielle de l'air intermodale, fonctionnant à la fois acoustiquement et visuellement (Fig. 1.22). Une aile oscille avec le vent, et le putto doré a un creux à l'arrière de sa tête canalisant l'air pour faire jouer de la trompette qu'il porte à ses lèvres un air variant avec l'intensité du vent. Voir l'aile du vent et entendre le son de la trompette sont des signes sensoriels de l'air en mouvement.<sup>29</sup>

#### 1.22 Girouette sur la coupole de *Hypnerotomachia Poliphili*

26 Encyclopædia Universalis, "HYPOCAUSTE," Encyclopædia Universalis, accessed December 25, 2021, <https://www.universalis.fr/encyclopedie/hypocauste/>.2021.

27 Alberti cité par Kenda, *Aeolian Winds and the Spirit in Renaissance Architecture*, p. 99.

28 Kenda, p. 91.

29 Kenda, p. 100.

Cette histoire populaire à la Renaissance, résonne avec le besoin de se connecter à ses sens et le rôle de l'architecte de révéler aux habitants les plaisirs du corps et de l'esprit par la diversité et la qualité de l'atmosphère. Aussi, aujourd'hui, certains designers réintroduisent des senteurs et reconnaissent ainsi l'importance d'une identité olfactive d'un espace. Comme le souligne Charles Spence dans son article *Designing for the Multisensory Mind*, les exemples les plus présents dans notre vie de tous les jours sont les magasins qui superposent la musique à des parfums relaxants pour apaiser les clients dans le but de créer une identité de la marque et de mettre les clients dans un état de bien-être pouvant mener à une augmentation des ventes.<sup>30</sup>

Bien sûr, le bien-être ne devrait pas être appliqué par l'architecte uniquement dans un but de manipulation visant à la consommation, mais pourrait être exploré pour augmenter le bien-être aussi bien dans les espaces publics que les espaces d'habitation.

La question de la représentation du climat est aussi cruciale pour se diriger vers une architecture climatique, elle est abordée par Palladio avec des indices comme les girouettes misent en place pour témoigner la présence de l'air. Aujourd'hui, réintégrer une pratique climatique passe par l'exploration de la représentation de l'atmosphère pour rendre ses qualités visibles.

C'est déjà ce qu'explorent les étudiants du studio Baukunst à l'EPFL, dont j'ai utilisé les dessins d'analyse dans cet énoncé. L'humidité, les flux d'air, le rayonnement solaire et bien d'autres événements météorologiques sont mis en évidence par des couleurs vives sur fond noir. Par exemple, des nuages de points de couleurs plus ou moins denses, nous parle de l'intensité des atmosphères climatiques (Dessin d'analyse 1.2). De plus, leurs études s'élargissent sur l'environnements permettant de comprendre les interrelations entre le site et l'architecture.

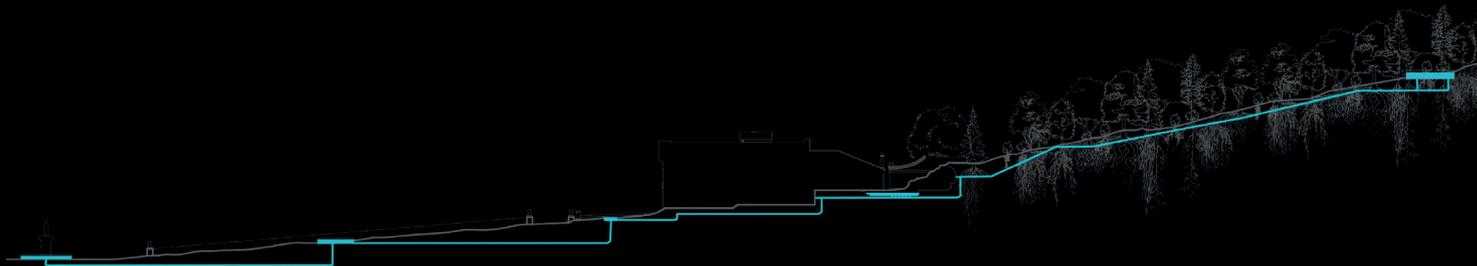
De façon similaire, Philippe Rahm utilise des dégradés de couleurs pour illustrer la variété de températures que peut contenir un même espace. Enfin, l'utilisation de vidéos pour l'analyse du site ou les résultats de simulation, est aussi à privilégier, car celles-ci donnent une notion de temps qu'un dessin 2D ne peut pas apporter.

Ces observations sont des premières pistes que j'explorerai pour illustrer mon projet de fin de master le semestre prochain.

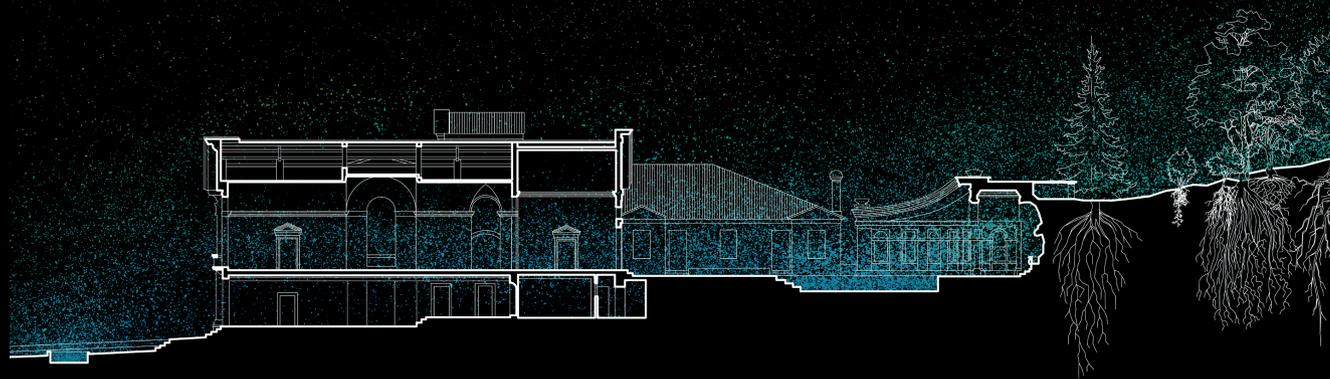
---

30 Charles Spence, "Designing for the Multisensory Mind," *Architectural Design* 90, no. 6 (2020): 42–49, <https://doi.org/10.1002/ad.2630>.

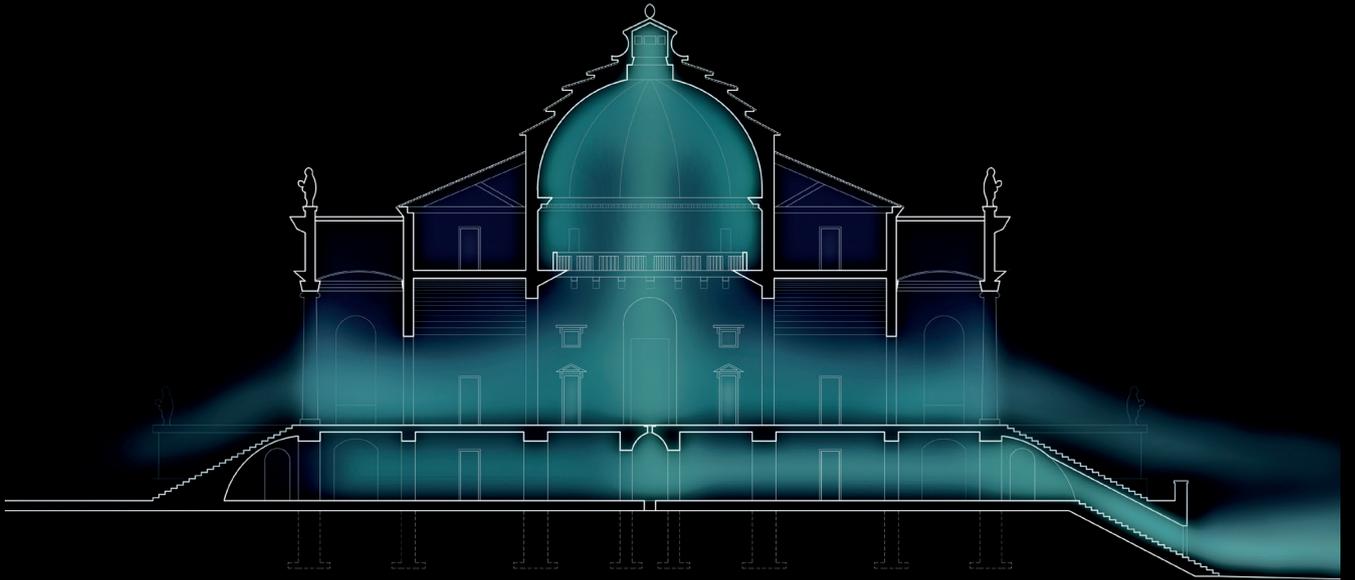




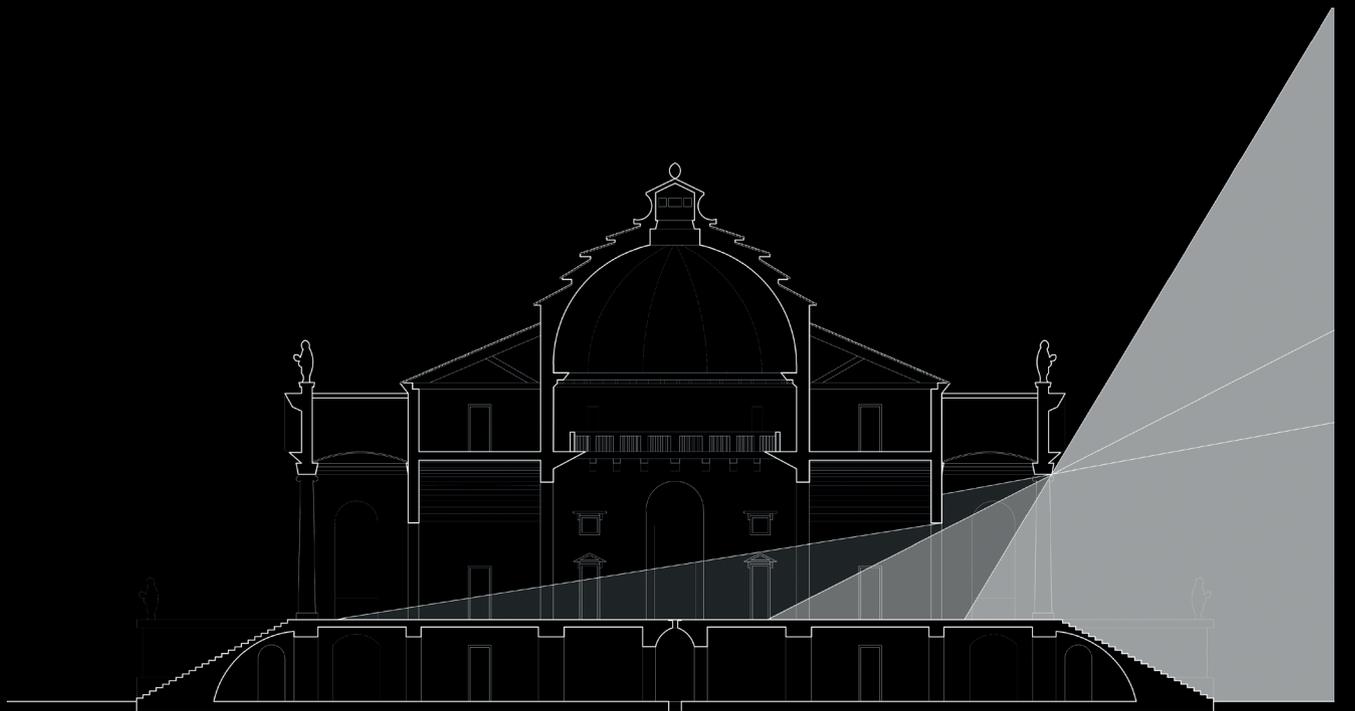
Dessin d'analyse 1.1 : Système de distribution d'eau, villa Barbaro, réalisé par Eric Butty et Milena Sommer pour le studio Baukunst, EPFL, 2021



Dessin d'analyse 1.2 : Répartition de l'humidité dans l'air, villa Barbaro, réalisé par Eric Butty et Milena Sommer, studio Baukunst, EPFL, 2021



Dessin d'analyse 1.3 : système de ventilation, villa Rotonda, réalisé par Matthieu Sistek et Sebastien Wegmuller, studio Baukunst, EPFL, 2021



Dessin d'analyse 1.4 : Hauteur du soleil aux différentes périodes de l'année, villa Rotonda, réalisé par Matthieu Sistek et Sebastien Wegmuller, studio Baukunst, EPFL, 2021



## PARTIE II

# ÉCOLOGIE DE LA VILLA



## Écologie de la villa

De nombreux historiens ont fait l'éloge des villas de Palladio pour leur valeur esthétique en matière de géométrie et de proportion. Aussi, dans la partie précédente, j'ai étudié leurs constructions pour faire ressortir leurs qualités bioclimatiques. Cependant, pour aborder la villa comme écologie, il faut aller au-delà du visible ou du physique, il s'agit aussi de questionner les connexions que l'architecture de la villa entretient, favorise, maintient ou empêche.

Le terme écologie est aujourd'hui très utilisé dans les débats politiques et scientifiques comme une prise de conscience du changement climatique et des effets néfastes de l'activité humaine sur son propre environnement. Dans une première partie, j'ai envisagé les systèmes utilisant l'énergie passive comme une réponse à ces problèmes environnementaux contemporains. Il me faut cependant, dans cette deuxième partie, reconsidérer le sens de ce terme avant sa réappropriation moderne, revenir à l'essence grecque du mot écologie et essayer de se détacher de son sens purement scientifique.

L'écologie peut être définie plus largement comme l'étude des relations entre les organismes vivants, y compris les humains, et leur milieu.<sup>31</sup> Le concept d'écologie attribué au biologiste allemand Ernst Haeckel vient du grec — *oiko* (« la maison », « l'habitat »). Il est intéressant de noter que *oiko* était aussi un type de maison en Grèce antique et fait plus largement référence à la fois à l'architecture, mais aussi à ses habitants, comme avec les termes *maisonnée* ou *foyer*. L'étymologie du mot confirme le caractère écologique d'habitat comme interface entretenant des relations internes entre les habitants tels que le propriétaire et les domestiques et des acteurs externes comme le paysage, le climat et plus généralement le monde extérieur.

Dans son livre *ÉcolΩ*, Patrick Voisin souligne que parler d'écologie de la Grèce antique et de la Renaissance pourrait sembler antithétique à notre compréhension de la définition contemporaine. Mais si le terme écologie est récent, la volonté de respecter son environnement était bien présente dans les pensées de l'époque. À travers un corpus de texte de penseurs et scientifiques de l'Antiquité, il raconte les citoyens qui s'opposaient aux convictions des civilisations grecques ou romaines selon lesquelles l'Homme ne doit pas se soumettre à son environnement naturel, mais doit le dominer. La nature y était à la fois considérée comme une source de danger et menacée par l'homme. L'impact environnemental de l'humain, les corrélations homme/nature, exister/habiter étaient déjà source d'intenses réflexions. Patrick Voisin souligne l'importance de comprendre leurs paroles comme un « avertissement lancé à notre époque par les Anciens... il y a plus de deux mille ans déjà ».<sup>32</sup>

Dans cette partie, nous allons nous appuyer sur les témoignages des penseurs, humanistes et architectes de la Renaissance pour illustrer la complexité de l'écologie des villas palladiennes. Nous allons tout d'abord envisager l'écologie entre l'habitant et le paysage à la recherche d'un équilibre pour y trouver la santé. Nous analyserons ensuite le rapport homme/nature établi par la villa et notamment entre une nature sauvage et celle qui est cultivée. De plus, nous illustrerons, à travers les exemples de plusieurs constructions de Palladio, la matérialisation de cette harmonie entre nature et architecture. Enfin nous envisagerons l'écologie comme un idéal ayant ses limites, notamment à travers l'étude des relations *intervilla*, c'est-à-dire les interactions entre les habitants du foyer et les travailleurs.

31 Patrick Matagne, « The origins of ecology », *Innovations* 18, no 2 (2003): 27-42.

32 Patrick Voisin, *Écolo: écologie et environnement en Grèce et à Rome*, Signets 22 (Paris: les Belles lettres, 2014).

## L'humanisme de la Renaissance et représentation du paysage

Le mouvement humaniste de la Renaissance se caractérise par un regain d'intérêt pour le monde classique et par des études axées non pas sur la religion, mais sur ce qu'est l'être humain.<sup>33</sup> Comme nous avons pu le voir, en architecture, cela passe par un enseignement des théories de Vitruve, mais aussi celles des savants représentant d'autres disciplines antiques comme Hippocrate. C'est aussi une période où l'Homme se détache des idéologies religieuses et vient questionner sa place dans le monde. En effet, Palladio utilise des éléments normalement réservés à l'architecture religieuse pour ses villas, tels que le podium, le fronton, les colonnes, etc., mais, en les associant à des typologies de fermes agricoles, il change de symbolique et semble glorifier cette nouvelle union entre les nobles des grandes villes et la campagne vénitienne. Aussi, cette nouvelle relation entre humanisme et nature sera au centre des recherches sur le langage architectural de la villa.

Avant de nous plonger dans l'histoire de la villa et pour mieux comprendre la pensée humaniste de l'époque et sa relation au climat, nous devons regarder l'art et la représentation de la nature dans les oeuvres de la Renaissance. Selon les historiens de l'art, Ernst Gombrich et Christopher Wood, les origines du terme « paysage » viendraient de la production artistique de la Renaissance italienne. Le paysage était alors une recherche de nouvelle perception du monde. L'art de la Renaissance connaît un changement de paradigme important : plutôt que de représenter des mythes et des scènes religieuses, de nouveaux sujets font surface, moins symboliques et plus représentatifs des qualités météorologiques.

Dans sa recherche nommée *the renaissance theory of art and the rise of landscape*, Ernst Gombrich analyse le tableau *la tempête* réalisée en 1508, par Giorgione (Fig. 2.1). L'auteur raconte ce tableau comme étant la première peinture de paysage. Le commanditaire l'avait décrite de la façon suivante « un petit paysage [paysetto] sur toile, avec un orage, un gitan, et un soldat ». Ici la tempête est le sujet principal et occupe une place centrale dans la composition du tableau. Les personnages disposés sur les côtés encadrent le ciel menaçant, le regard du gitan tourné vers l'orage dirige le regard de l'observateur vers l'air dense et chargé du paysage. Au premier plan, nous pouvons sentir l'humidité du sol par la présence d'une flaque d'eau et la couleur vert foncé de l'herbe, peut-être a-t-il déjà plu ?

La scène immerge l'observateur et les personnages de la toile dans un évènement météorologique fort. Le sol mouillé, l'air dense et chargé d'eau, le tonnerre sur le point d'éclater, le climat et son air sont visibles, palpables. Ils dialoguent avec les sens de l'observateur. De plus, la capture du paysage comprend implicitement la notion de temps et de changement. Ici le monde soumis aux temps (météorologique) devient sujet au temps qui passe. C'est cette force dans la représentation du climat dans le tableau de paysage, qui lui fit devenir un sujet de peinture à part. Cet art introduit par la peinture de la Renaissance italienne place le paysage au centre d'une nouvelle perception du monde, où l'homme humaniste serait plus en dialogue avec la nature et le climat.

---

33 « Humanisme de la Renaissance », Encyclopédie de l'Histoire du Monde, consulté le 27 décembre 2021, <https://www.worldhistory.org/trans/fr/1-19263/humanisme-de-la-renaissance/>.



2.1 La Tempête de Giorgione, 1508, Galleria dell' Accademia, Venise.

## Corps et climat

Si beaucoup de riches vénitiens virent la campagne comme un investissement dans l'agriculture, l'intérêt porté au paysage n'était pas seulement un but d'enrichissement financier. En effet, les problèmes d'hygiénisme des villes denses de la Renaissance ont mené à la propagation de maladies telles que la peste. Les nobles vénitiens cherchaient avant tout à échapper à l'inconfort et au danger des villes, devenues insalubres, sources d'anxiété et de maladie.

Les architectes des villas sont bien informés des traités de Hippocrate et de Vitruve très répandus dans les cercles humanistes, car récemment traduits en latin. Dans *Air, eaux, lieux*, Hippocrate reconsidère le corps comme poreux, ses barrières ne se terminent pas à la membrane physique de la peau. Le corps dépend de l'atmosphère qui l'entoure.

Les architectes des villas prennent alors conscience des enjeux sanitaires du site. L'architecte Alberti écrira notamment sur les théories des maladies transmises par l'air en relation avec l'environnement de la villa. Il décrit qu'un climat un peu venteux, sec et froid est préférable à un air stagnant, chaud et humide. Il attribuait à la chaleur un effet de relaxation des muscles et des pores, permettant aux maladies contenues dans l'air de pénétrer et infecter le corps.<sup>34</sup> De plus, l'air stagnant des vallées et la proximité des marécages n'étaient pas seulement considérés comme dangereux pour la santé, mais aussi rendaient difficile la préservation des biens et de la nourriture stockés dans les villas.<sup>35</sup>

Cette pensée hygiéniste des architectes se relie à la notion de Pneuma énoncée précédemment lors du paragraphe sur la vertu des cavernes. Pneuma, comme l'a théorisé Barbara Kenda, est le lien fondamental qui établit une harmonie entre le corps humain, l'architecture et le cosmos. L'architecture est donc interprétée comme un médiateur entre l'habitant et le monde extérieur, entre l'âme et le monde. Dans le recueil de Barbara Kenda, *Aeolian Winds and the Spirit in the Renaissance architecture*, Matthew Hardy célèbre l'impact des pensées hygiénistes sur l'architecture des villas :

The implications of a belief in the healthfulness of a locality had great influence on the plan form of villas in humid locations, particularly near swamps. In areas thought to suffer from bad air, villa designers sought to create a cool and well-ventilated space at the heart of the house. Villa were, it seems clear, designed as much for health as for comfort.<sup>36</sup>

Si d'un côté les villas étaient prisées pour leur vertu thérapeutique, le confort était aussi considéré comme fondamental dans la construction de la villa. Le confort de ces constructions s'exprime à travers les louanges de leur qualité purificatrice de l'esprit et comme source d'un profond bien être pour ses propriétaires. La vie au sein de la villa doit être comprise dans son opposition à la vie urbaine intense et dangereuse. Dès Platon, la ville était associée à un lieu profane, gouverné par le chaos, le bruit, l'anxiété, le mal et les conflits.<sup>37</sup> Les écrivains de l'époque condamnent la dureté de la vie des villes comme en témoigne Lillio dans *Lettera...nella quale...egli celebra la villa e lauda molto l'agricoltura...* il écrit depuis sa villa proche de Venise en 1544 :

<sup>34</sup> Alberti, 1486, I/4; Rykwert et al (trans.), 1988/94, p.12 dans Barbara Kenda, éd., *Aeolian winds and the spirit in Renaissance architecture: Academia Eolia revisited* (New York: Routledge, 2006).

<sup>35</sup> Alberti, 1486, I/4; Rykwert et al (trans.), 1988/94, p.13.

<sup>36</sup> Kenda, *Aeolian winds and the spirit in Renaissance architecture*.

<sup>37</sup> Plato, Timaeus, trans. Desmond Lee (London: Penguin, 1965), 85. Dans Lane Rubin, « The Ecology of the Ideal Villa », Undergraduate Humanities Forum 2012-2013: Peripheries, 1 avril 2013, [https://repository.upenn.edu/uhf\\_2013/3](https://repository.upenn.edu/uhf_2013/3).

Mais en ces moments-là, lorsque je ne profite pas des distractions et avantages de la villa (en nombre infini), j'éprouve au moins cette consolation de m'être sauvé aussi loin que possible et de m'être libéré des insolences, des haines, des troubles, des désagréments et de l'ennui causés par les nombreux individus qui ne connaissent d'autre but et ne trouve d'autre plaisir que de perturber et empêcher la paix d'autrui.<sup>38</sup>

La villa doit être comprise comme un refuge à l'abri du bruit, de la chaleur pesante et des foules de la ville. En effet, certaines villas comme la villa Foscari ou Rotonda, situées à quelques heures seulement de la ville, étaient uniquement destinées à fournir un espace de repos et de retraite spirituelle à ses propriétaires. D'un côté la villa était un lieu de santé physique où les habitants pratiquaient la marche, l'équitation et la chasse, et de l'autre de santé mentale où la fraîcheur et le calme de ses logements de campagne permettaient de trouver la tranquillité et d'entrer dans un état passif de méditation. D'ailleurs, l'esthétique austère de certaines villas et l'utilisation de multiples arcades comme la villa Emo, peuvent rappeler l'architecture des monastères italiens. Cette vie monastique permet de trouver, durant une certaine période, une existence isolée et contemplative. Cette nouvelle spiritualité, comme décrite ci-dessous par Lillio, témoigne de la redécouverte d'un équilibre et d'une harmonie entre nature et humanité, matérialisées par la villa qui s'en trouve souvent idéalisée :

Loin des troubles et tracasseries qui oppressent habituellement les humaines poitrines, un homme peut se reposer satisfait de ce qu'il a et vivre l'esprit tranquille, n'ayant toutefois de cesse d'utiliser et d'exercer le don le plus précieux de son intellect, méditant du mieux qu'il le peut l'appétit insatiable des éléments primordiaux, la fermeté de la terre, la raréfaction de l'air, le flux des eaux, la transparence du feu et la splendeur des comètes [...] le renouvellement des plantes, la variété des fruits, la propagation des animaux, la nature des poissons, le caractère des pierres, l'industrie de l'homme, l'éclat du soleil, la lumière du jour et les ombres de la nuit... participent de la contemplation de la cause première dans laquelle, de façon parfaite et indivisible — presque comme dans le miroir le plus pur — sont rassemblées et se reflètent l'existence et la conservation de toute chose.

Dans la villa, on savoure d'infinis plaisirs accordés à la variété des saisons qui l'une après l'autre s'offrent à nous. Vous arrivez ici au moment du fidèle printemps, l'ambassadeur de l'été. Comme s'ils étaient en compétition les uns avec les autres, tous les arbres de nouveau changement d'écorce et à nouveau s'ornent des plus vertes branches, se parant d'une telle beauté et d'une telle variété de fleurs qu'auprès d'elles les plus suaves odeurs tout autour exhalées procurent une allégresse et un ravissement extraordinaires pour quiconque s'y attarde. Lorsque les oiseaux chantent leurs amours avec des accents mélodieux et délicats, vos oreilles résonnent d'une mélodie charmante... [suivent les autres saisons].<sup>39</sup>

Dans cet extrait, nous pouvons sentir que la villa joue un rôle d'interface important entre la Nature et l'Homme. Aussi, comme vu dans la partie précédente, l'Homme est conscient et adapte volontiers sa façon de vivre aux changements météorologiques des saisons. Il entretient une relation harmonieuse avec la nature, il n'est plus dans le contrôle, l'exploitation ou le rejet de la nature comme force dangereuse pour sa santé.

C'est en appréciant le paysage dans toutes ses dimensions et en le revalorisant, que nous pourrions développer un équilibre en faveur d'un meilleur rapport avec l'environnement. L'idéal de la villa semble accessible pour un noble vénitien, allant chercher un rapprochement avec la nature à la campagne.

---

38 James S. Ackerman et James S. Ackerman, *La villa: de la Rome antique à Le Corbusier*, Collection 35/37 (Paris: Hazan, 1997), p. 144.

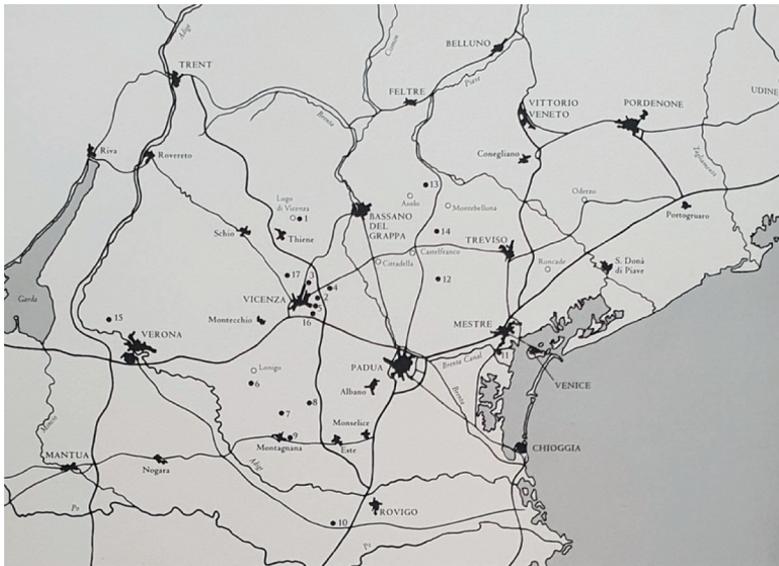
39 Ackerman et Ackerman.

Aussi les villes ont toujours semblé être un espace où le dialogue entre Homme et Nature était des plus difficiles, mais c'est par la réintroduction progressive de la Nature et de la reconnaissance de ses vertus à la fois physiques et psychologiques que nous pourrions créer un dialogue et retrouver cette harmonie.

## Écologie de l'agriculture

Pour comprendre le rapport humain/nature dans lequel s'est construite l'architecture de Palladio, il nous faut revenir au contexte historique dans lequel la villa s'est formée. Dans la seconde moitié du Quattrocento, la puissance marchande maritime de Venise a commencé à diminuer. Afin de maintenir son économie, Venise s'est tournée vers la *terraferma* pour exploiter l'agriculture comme une source potentielle de nouveaux revenus qui pourraient compenser les pertes du commerce maritime. La Vénétie avec ses grandes plaines alluviales était une campagne fertile depuis l'époque préromaine malgré la présence de grandes étendues rendues marécageuses par les nombreux torrents et les rivières descendant des montagnes alpines.

C'est au cours du XVe siècle qu'apparut le modèle de la villa. Le mot villa désigne l'ensemble du domaine, terrain et construction et Palladio nomme la résidence du propriétaire, la *casa del Villa*. L'investissement économique pousse de nobles vénitiens à investir dans un terrain et, progressivement, de plus en plus de ces propriétaires fonciers vont trouver un intérêt à passer une partie de leur temps à superviser le travail agricole.



### VENETO

- |   |  |
|---|--|
| 1. Villa Godi, Lugo di Vicenza              | 10. Villa Badoer, Fratta Polesine                |
| 2. Villa Gazzotti Marcello Curti, Bertesina | 11. Villa Malcontenta (Foscari), Gambare di Mira |
| 3. Villa Valmarana, Vigardolo               | 12. Villa Cornaro, Piombino Dese                 |
| 4. Villa Thiene, Quinto                     | 13. Villa Barbaro, Maser                         |
| 5. Villa Chiericati, Vancimuglio di Grumolo | 14. Villa Emo, Fanzolo                           |
| 6. Villa Pisani, Bagnolo                    | 15. Villa Sarego, Santa Sofia                    |
| 7. Villa Poiana, Poiana Maggiore            | 16. Villa Rotonda, Vicenza                       |
| 8. Villa Saraceno, Finale                   | 17. Villa Caldogno, Caldogno                     |
| 9. Villa Pisani, Montagnana                 |  |

2.2 Carte indiquant la localisation des villas de Palladio.

Les frères Barbaro firent la commande d'une villa à Palladio en 1560. À l'époque les proto-

types de villa n'avaient pas fait leurs preuves entre des modèles trop rustiques, trop proches de la ferme aux goûts des propriétaires comme la villa Sanmichelli, ou bien considérés grandioses comme la villa Garzoni édifiée en 1536 par Jacopo Sansovino en Vénétie. L'architecte Palladio a su capter les enjeux de la villa entre la fonctionnalité de la ferme et la noblesse du palais de la Renaissance. James Ackermann décrit le succès de Palladio de la façon suivante :

L'architecte qui a le plus plu aux commanditaires était de loin Palladio. Il répondit aux exigences nouvelles en établissant un équilibre parfait entre la magnificence et la fonction agricole, entre la tradition architecturale de la villa en Vénétie et l'antique élégance romaine.<sup>40</sup>

Car si les humanistes attendaient de la villa qu'elle respecte leur rang social, ils aspiraient aussi à une architecture témoignant de la vertu qu'ils avaient trouvée avec l'agriculture. En effet, cet investissement dans l'agriculture s'accompagna d'un changement d'attitude à l'égard du paysan. Jusque-là sujets de moquerie ou traités de vilains (*villano* est un terme italien pour désigner le paysan), ils commencèrent à apparaître comme des gens dignes dans la peinture et la littérature de la Renaissance. Alvise Cornaro forgea le terme de *santa agricoltura*, et fut le héros de cette réévaluation naturalistico-humaniste.

Cette revalorisation de l'agriculture fut au centre des exigences des commandes de villa. Daniele Barbaro considérait l'agriculture comme faisant partie des activités vertueuses d'un véritable humaniste. Il propose un modèle d'humanisme agricole fondé sur le principe que la culture du paysage est la source principale d'harmonie et de vertu.

Aujourd'hui, avec le développement de l'agriculture participative, nous pouvons sentir un changement de mentalité important, moins de mécanisation, moins de produits génétiquement modifiés, plus d'écoute de la nature, avec la permaculture notamment et, plus généralement, une conscience collective d'une nécessaire transition de l'agriculture et sa revalorisation. Cette vision du métier portée par un nombre, encore minoritaire mais en constante augmentation, de paysans engagés permet de renouer le contact avec une certaine forme de nature et de saisonnalité. La transition agricole est un des défis majeurs du XXI<sup>e</sup> siècle et devrait proposer des pratiques plus respectueuses de la nature.

Si, le rapport Homme/Nature est au centre de l'écologie de la villa, dans le prochain paragraphe je vais donc tout d'abord parler de l'affinité de l'habitant de la villa avec la nature sauvage, pour ensuite revenir sur l'amour de l'humaniste pour le paysage cultivé.

## **Homme/Nature sauvage**

La nature aux alentours de la villa prend de multiples formes, notamment celle de la nature intacte des forêts, des ruisseaux, des roches et de la topographie naturelle. Elle est considérée et respectée comme la *Artless* nature, une nature qui n'a pas été touchée par la main de l'Homme.<sup>41</sup>

Dans le cas de la villa Barbaro, cette nature est située dans les bois à l'arrière de la maison. Un sentier guide l'habitant depuis sa demeure jusqu'au fond de la forêt, lui offrant une promenade multisensorielle au contact de la fraîcheur des bois, de l'humidité du sol et de l'odeur des pins. Une balade immersive, qui le coupe complètement du reste du monde et surtout du stress des villes. Le poète Pétrarque explique cette écologie entre l'homme et la

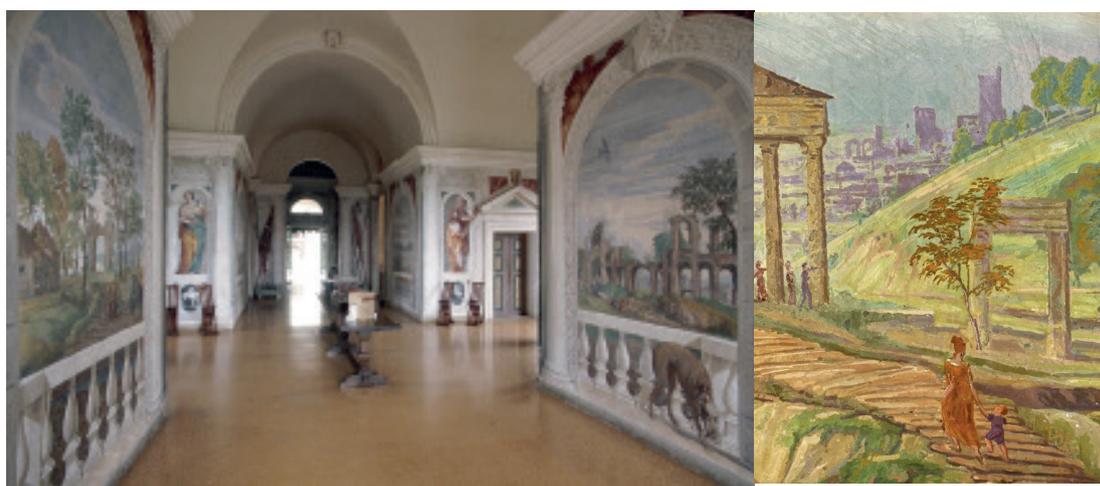
<sup>40</sup> James S. Ackermann, *La villa: de la Rome antique à Le Corbusier*, Collection 35/37 (Paris: Hazan, 1997).

<sup>41</sup> Reinhard Bentmann et al., *The Villa As Hegemonic Architecture* (Atlantic Highlands, N.J: Humanities Press International Inc., U.S., 1993).

nature sauvage comme la voie la plus pure et la plus pieuse. Il s'agissait d'un rapport d'ermite, peut-être antisocial, avec la nature caractérisée par la solitude, l'errance et le contact corporel sans médiation avec la terre. Pétrarque découvre dans les matériaux bruts de la nature une harmonie divine basée sur le fonctionnement naturel de la terre.<sup>42</sup> Ce besoin de contemplation et d'isolement par la nature se retrouve dans la symbolique de la villa, plus explicitement dans les fresques qui habillent leurs murs. Comme la fresque de Véronèse qui traverse la villa Barbaro : On y voit la nature sauvage et pure se mélanger à des scènes de mythe romain (Fig. 2.4,5).



2.3 Forêt préservée à l'arrière de la villa Barbaro, 2020.



2.4, 5 : Fresques de Véronèse, vestibule central villa Barbaro, 1560-1561.

<sup>42</sup> Rubin, « The Ecology of the Ideal Villa ».

## La nature cultivée

Si la villa Barbaro possède une relation forte avec la forêt à l'arrière de la maison, sa façade principale s'ouvre sur un panorama de champs, de jardins et de vergers cultivés. En effet, les propriétaires pouvaient superviser le travail agricole et en admirer les fruits depuis leur balcon. L'amour des humanistes pour les paysages cultivés va de pair avec la conviction que la nature attendait la main de l'Homme pour être mise en valeur. Cette culture leur procure non seulement une source de revenus, mais aussi de la nourriture spirituelle. La *vita rustica* revalorisée est considéré comme vertueuse.

Aussi, il est important de souligner que le rapport à la nature n'est pas dans une dynamique de domination menant à un assèchement de la ressource. L'humanisme agricole cherche à élaborer un rapport harmonieux basé sur des principes de réciprocité. En effet, il n'utilise pas la terre, mais il la sublime. Il a transformé des terres marécageuses en un jardin florissant qui lui permet de vivre. Il n'exploite pas ce paradis à son détriment, il en prend soin et recherche la même santé pour ces cultures que celle qu'elles lui apportent. Dans sa recherche sur l'idéal de la villa Lane Rubin compare ce rapport de réciprocité établi avec la nature par sa culture à la théorie d'Habiter du *Bauen* de Heidegger.

Heidegger attributes more architectonic meaning to cultivation by saying that the old German *Bauen* "means at the same time to cherish and protect, to preserve and care for, specifically to till the soil, vine." When we choose to cultivate the earth, we do not assume a neutral activity. Rather, we initiate a virtuous project that transforms the earth while safeguarding it.<sup>43</sup>

L'humaniste ne cultive pas sa propriété en l'exploitant à son détriment, au contraire c'est l'harmonie et la réciprocité qui le rendent vertueux. Ainsi, mieux habiter semble aussi passer par la culture et l'investissement direct de la main de l'Homme pour veiller au maintien des écologies naturelles.

Nous avons pu voir que la villa est chargée de l'idéologie de ses constructeurs, que la perfection recherchée par Palladio n'est pas seulement esthétique, mais aussi écologique. Pour illustrer la transcription architecturale de cette harmonie Homme/Nature, je prendrai l'exemple de la villa Emo, une villa agricole de Palladio construite en 1565.

La villa Emo possède la forme la plus simple, la géométrie y est au service de la productivité et de l'activité agricole. Si d'autres villas, pourtant esthétiquement très proches comme la villa Barbaro, utilisent de riches ornements et des colonnes ioniques comme représentations de pouvoir politique et économique (Fig. 2.7), la villa Emo se distingue par son austérité avec ses ornements discrets et l'utilisation du style dorique, qui est le plus ancien et le plus sobre (Fig. 2.6). L'ordre social du propriétaire s'efface alors devant l'importance de la relation que la villa lie avec le territoire de la campagne vénitienne.



2.6 Façade principale de la villa Emo, Palladio, 1555-1565 et 2.7 Façade de la villa Barbaro, Palladio, Maser, 1770.

43 Rubin.



2.8 Vue aérienne, villa Emo, Palladio, Fanzolo, 1555-1565 (photo : journal CASTELLANA, 2018).

La villa est traversée et immergée par la végétation. Des arbustes longent ses sentiers de l'axe nord-sud, jusqu'à venir s'implanter sur la façade sud aux extrémités de la rampe (Fig. 2.8). La végétation est également présente sur la façade nord s'intégrant à l'escalier, donnant l'image d'une nature jouant le rôle de contreforts de l'architecture. De plus, la continuité entre ces deux façades est générée par des fresques envahissant les murs et les plafonds représentant une végétation symbolique s'immisçant dans la villa depuis l'entrée sud, traversant la sala jusqu'à la façade nord. À l'entrée nord, cette végétation rejoint une autre allée végétalisée, qui continue l'axe jusqu'à l'horizon et crée une perspective infinie (Fig 2.9). L'axe est renforcé par l'alignement des ouvertures nord-sud, qui produit, quand les portes de la villa sont ouvertes, une traversée de lumière naturelle.

De plus, la villa n'est pas simplement posée tel un objet sur le terrain, elle y est ancrée, intégrée. La rampe d'accès donne l'impression que la villa a émergé de la surface de la Terre. Elle forme une unité avec la pente du site, l'habitant terminant son ascension à la villa par cette infrastructure. Depuis le point de vue des terrasses de la villa, les limites du domaine semblent indiscernables de l'horizon. Ses axes continuent dans le paysage, du côté Nord, l'axe se poursuit jusqu'au pic d'une montagne distante, et se termine au Sud par le méridien. L'axe perpendiculaire croise à l'Est l'église d'un village adjacent et, à l'Ouest, l'axe traverse la chapelle de la famille (dessin d'analyse 2.1). La villa interagit avec un environnement antérieur à sa construction, et pourtant elle nous donne l'impression qu'elle a produit sa présence. Elle impressionne par le maintien et la force de son écologie même à l'échelle du paysage. Elle ne peut être vécue comme un objet isolé, elle catalyse les relations entre la végétation, la lumière, le paysage et l'homme en un accord harmonieux. Ainsi, elle rassemble le paysage.



2.9 Vue aérienne, villa Emo, Palladio, Fanzolo, 1555-1565.

### **La villa ou la matérialisation d'une hiérarchie sociale**

Si nous voulons apprendre du modèle écologique de la villa et du maintien de son harmonie Homme/Nature, il nous faut cependant en comprendre les limites. Car si cet idéal semble convenir au propriétaire, c'est aux dépens du reste de la population. Comparons maintenant l'écologie de la villa aux utopies de la Renaissance. Les utopies sont ancrées dans un contexte urbain pour répondre à des problèmes sociétaux. Alors que la villa s'en extrait pour construire un paradis à l'extérieur des villes au seul profit de ses propriétaires. De plus, alors que l'utopie imagine un futur meilleur autour d'un idéal commun, la villa s'est construite autour d'une idéalisation de l'habitat rural du passé. L'utopie n'accepterait pas les inégalités qu'incarne la villa. Dans les derniers paragraphes de cette partie, je vais analyser les discriminations et l'abandon d'une harmonie entre les habitants de la villa effacée au profit de l'harmonie entre nature et propriétaire.

La villa ne peut être abordée sans considération pour son contexte social inégalitaire. Comme nous avons pu l'étudier, les villas étaient des lieux privilégiés par de riches humanistes qui cherchaient, soit à accroître leur activité économique, soit à trouver un endroit pour s'extraitre de la chaleur et du tumulte des villes de la Renaissance, souvent les deux. Dans cette partie nous aborderons la hiérarchie et les discriminations dans l'écologie des villas. Il est important de les mettre en évidence pour ne pas les reproduire. Il faut éviter

d'idéaliser la villa et ses principes bioclimatiques sans tenir compte des inégalités liées à la gestion même de ces énergies.

Nous considérerons d'abord la villa comme un lieu de surveillance et de supervision du travail, puis nous comparerons l'accès inégal au confort au sein du foyer.

Tout d'abord, l'importance de la vue sur l'extérieur n'était pas uniquement dans un but d'ouverture de la villa sur l'environnement, mais elle permet surtout la surveillance par les maîtres de leur terre et du travail de leurs employés. Les loggias, les balcons, les arcades étaient des lieux pensés comme des espaces protégés, de circulation et de surveillance pour les propriétaires.

La villa Emo et la villa Barbaro sont des exemples de villa agricole où le mode de vie de l'humaniste et le travail agricole qu'il supervise sont clairement différenciés. En effet, elles ont été toutes deux dessinées selon la même logique de dissociation des espaces servis et espaces servants. Le bâtiment central de la villa est destiné aux propriétaires. Le bloc central de la villa Barbaro est orné d'un portique grec, de colonnes doriques en signe de puissance et d'un chapiteau marquant sa noblesse. Le *piano nobile* (étage noble) est légèrement surélevé et sa façade se distingue par un léger avancement par rapport aux bâtiments en périphérie (Fig. 2.10).

De chaque côté de ce bloc central sont disposées les ailes. Ces typologies de barres aussi nommées les *barchesses* ont un style très différent et dépouillé de tout élément décoratif. Elles arborent une esthétique simple et efficace. Cela répond aux fonctions des ailes utilitaires accueillies derrière les arcades. Des cuisines et des salles de travail, la typologie de ces barres sont inspirées des fermes traditionnelles de la région.

En effet, non loin de la villa Emo, nous pouvons observer une ancienne ferme construite pour et par des paysans (Fig. 2.11). Sa composition simple, d'une barre fine avec des ouvertures des deux côtés permettant une lumière et une ventilation traversante (dessin d'analyse 2.2). Sa façade principale orientée vers le sud, protégée par un portique, est imprégnée d'un savoir vernaculaire. Ce portique permettait aux paysans d'accomplir certaines tâches protégés du soleil, d'abriter leurs animaux et de stocker leurs outils. Bien que les arcades et la simplicité de la forme furent préservées par les *barchesses* de la villa palladienne, il n'en est pas certain que ces espaces protégés étaient occupés par les paysans. Ils permettaient plutôt aux maîtres de se déplacer pour surveiller le travail à l'abri du soleil. Dans le concept d'hybrider la résidence d'un noble et d'une ferme, certains espaces de travail sont convertis en circulation.<sup>44</sup> Enfin les espaces les plus bruyants et pouvant dégager de fortes odeurs sont repoussés aux blocs d'extrémité avec des écuries d'un côté, des espaces de stockage de l'autre et avec des pigeonniers en toiture.

---

44 « PALLADIO The Architect and His Influence in America - YouTube », consulté le 4 décembre 2021, <https://www.youtube.com/>.



2.10 façade méridionale, villa Barbaro, Maser, 1557-1558.



2.11 Barchesses d'une ferme aux alentours de la villa Emo, Fanzolo.

Le confort des arcades fut aussi source de discrimination dans l'espace urbain. Les arcades de la Basilique de Vicence qui furent le premier projet de Palladio, étaient des endroits privilégiés. À l'exception des fêtes pendant lesquelles le peuple pouvait s'abriter dans les boutiques sous les arcades, elles étaient réservées à la noblesse vénitienne. Les arcades et le confort qu'elles procurent, possèdent donc un vrai rôle social et politique. Le palais Chiericati, commandité par le Comte Girolamo Chiericati à Palladio, possède de très grandes arcades au rez-de-chaussée donnant sur une place, *la piazza dell'Isola* (dessin d'analyse 2.3). La parcelle étant très étroite, le propriétaire négocia pour s'étendre sur l'espace urbain. L'ajout d'arcades ouvertes aux passants fut pris comme argument pour convaincre la municipalité :

I have been advised by expert architects and by many honorable citizens that the portico should be made along the facade of this house for my greater convenience and for the ornament of the whole city.<sup>45</sup>

<sup>45</sup> « Palazzo Chiericati », consulté le 4 décembre 2021, <https://buffaloah.com/a/virtual/italy/vicenza/chier/ext.html>.

Girolamo Chiericati obtint ainsi la permission de construire son palais sur plus de quatre mètres et demi appartenant au domaine public en garantissant l'utilisation publique de ses loggias monumentales en rez-de-chaussée (Fig. 2.12).

Aussi bien dans les villas que dans les édifices urbains, le confort apporté par les édifices est valorisé et y accéder devient source d'inégalité. Dans chaque édifice, les espaces ayant le moins d'accès au soleil et à l'air frais seront dédiés aux serviteurs, comme par exemple, les caves du Palais Chiericati dédiées aux espaces de cuisine et à la salle des employés. Les activités humaines des employés étaient même reconnues comme source de chaleur. Par exemple, en hiver les chambres des paysans étaient déplacées à l'attique et la chaleur produite par les cuisines à la cave servait par effet de cheminée à chauffer les étages supérieurs. Leurs activités représentaient une source de chaleur non négligeable pour assurer le confort du piano Nobile. De plus, cette stratégie discriminante ne s'arrête pas à une dynamique servant/servi, mais aussi homme/femme. L'architecte Scamozzi va même jusqu'à affirmer, "[The lower rooms] because they are the most comfortable, and cooler in the summer are given to the men, while women must inhabit upper storey".<sup>46</sup>

Le plaisir tiré d'un environnement confortable et sain constituait une source de conflit et d'intérêt. Le contrôle de son environnement témoignait de la position sociale de son propriétaire. Ses attributs sociaux n'étaient pas seulement représentés par une architecture noble et ornementée, mais aussi par les bénéfices d'un climat optimisé pour son bien-être et celui de ses invités.

Aujourd'hui, l'accès inégal au confort s'exprime par une différence de prix. Ainsi, les appartements les mieux valorisés seront ceux avec une bonne exposition (sud-est, sud-ouest), ou situés aux derniers étages, avec une vue dégagée donc plus lumineuse, ou un appartement traversant pour sa lumière naturelle et sa ventilation plus facile en été. Contrairement aux appartements monos orientés, ceux avec des ouvertures uniquement au nord, en surchauffe sous les toits ou mal isolés, qui perdront de leur valeur. Bien souvent pour compenser l'inconfort, les habitants moins fortunés devront dépendre d'un éclairage artificiel sur de plus longues périodes et investir dans des chauffages et climatiseurs individuels consommant beaucoup d'énergie. C'est pourquoi des réglementations sur un niveau d'isolation, d'apport en air et en lumière naturelle, semblent essentielles pour tout d'abord assurer le confort pour tous et limiter les consommations énergétiques.

Enfin, dans l'espace urbain commun, des refuges d'ombre et de fraîcheur comme les arcades et les basiliques à la Renaissance sont essentiels encore aujourd'hui pour le confort des citoyens. Nos refuges d'été sont les cinémas, les musées, les bibliothèques climatisées, parfois les centres commerciaux, mais aussi les anciens édifices comme les temples et les églises. Ces refuges, mis en réseau, constituent des parcours de fraîcheur, en reliant ces espaces protégés, favorisant des parcours plus sains pendant des périodes caniculaires. Guillaume Perrin dans son livre *rafraîchissement urbain et confort d'été* cite l'exemple de la ville de Lyon qui a recensé plus de 600 lieux frais, c'est-à-dire qui ont une température supportable ou une capacité de rafraîchissement, avec une carte interactive disponible en ligne et mise à jour régulièrement. Ce genre d'initiative permet de valoriser les infrastructures publiques qui rendent ainsi le confort plus accessible dans les villes.

---

<sup>46</sup> Scamozzi cité par Eoin O. Cofaigh, John A. Olley, et J. Owen Lewis, *The climatic dwelling: an introduction to climate-responsive residential architecture*, Publication no. EUR 16615 of the European Commission (London: James & James (Science Publishers) Ltd. on behalf of the European Commission, Directorate General XII for Science Research and Development, 1996).



2.12 Palais Chiericati, Palladio, Vicence, 1550-1680.



2.13 Arcades, palais Chiericati, Palladio, Vicence, 1550-1680.

## Conclusion

Dans ma recherche sur l'écologie des villas, j'ai voulu questionner l'image que nous en donnait l'éducation académique traditionnelle. C'est-à-dire, dépasser l'idéalisation de l'esthétique et de la forme géométrique parfaite du bâtiment, pour comprendre les modes de vie qu'elles génèrent. Aussi la revalorisation de la place de la nature dans l'habitat et l'étude des courants de pensée qui l'ont favorisée peuvent nous aider à comprendre notre façon d'interagir et de construire avec la nature aujourd'hui, de manière à arrêter de concevoir les bâtiments uniquement comme des objets sculpturaux, mais bien comme des espaces de vie, dont les activités et les atmosphères qu'ils accueillent peuvent être significativement enrichies par un dialogue avec les éléments naturels et météorologiques de leurs environnements.

Aussi les écrits de James S. Ackerman sur Palladio furent très importants dans l'inclusion de l'écologie de la villa dans ma recherche, en introduisant la question de la sensibilité dans l'appréhension d'un bâtiment. La question des atmosphères créées par les éléments climatiques, prennent alors aussi sens dans l'éblouissement lors de la visite multisensorielle des villas :

Alors que notre connaissance de l'architecture du passé va s'approfondissant, il se peut que nous ne comprenions encore qu'une partie de son essence, la partie accessible au raisonnement. Il en existe une autre, que l'on ne peut atteindre que par les sens et qui, malgré son accessibilité immédiate, est plus difficile à appréhender en raison de notre endoctrinement académique et notre suspicion à l'égard de la sensibilité et des émotions.

Il existe un mythe entretenu par les universités et les revues savantes selon lequel comprendre une œuvre d'art consiste véritablement à saisir son message, à s'en pénétrer. Mais la vie nous apprend que la compréhension et l'attachement sont deux choses bien distinctes et qu'il est possible d'aimer quelqu'un ou de réagir avec sensibilité devant un édifice sans vraiment les comprendre, ou de les comprendre hors de tout affect. On comprendra d'autant mieux les édifices de Palladio si l'on sait pourquoi et comment ils ont vu le jour, ce qu'en a dit l'architecte lui-même et ce qu'en pensaient ses contemporains. Mais, de bien des façons, ces édifices parlent d'eux-mêmes par la manière dont ils créent ou répondent à un climat, une luminosité, une atmosphère et aussi par leurs dimensions et proportions, leurs matériaux, leurs couleurs, etc. prendre un aspect différent chaque fois que nous les regardons.<sup>47</sup>

Je pense que la qualité des atmosphères possède certes quelque chose de mystique et d'intangible, mais dépend aussi beaucoup, comme le souligne l'auteur, des matériaux, des couleurs, des ouvertures et d'autres spécificités de la construction.

C'est pourquoi, dans cette dernière partie, nous analyserons les principes constructifs et la matérialité des édifices de Palladio. Dans le but de comprendre pourquoi plus de 450 ans après leurs édifications ces constructions nous ravissent encore. En effet, nous verrons aussi que la majorité de ses villas ont été préservées et que certaines familles y habitent encore.

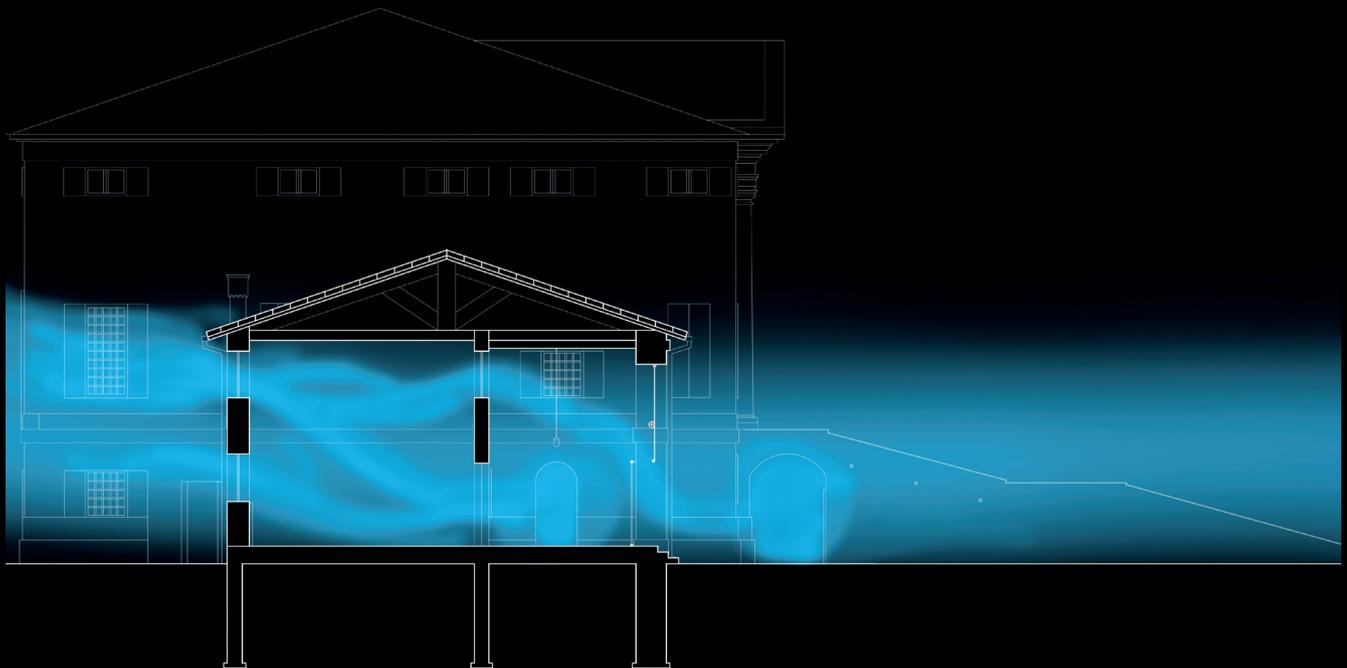
---

<sup>47</sup> Ackerman et Ackerman, *La villa*, p 133.

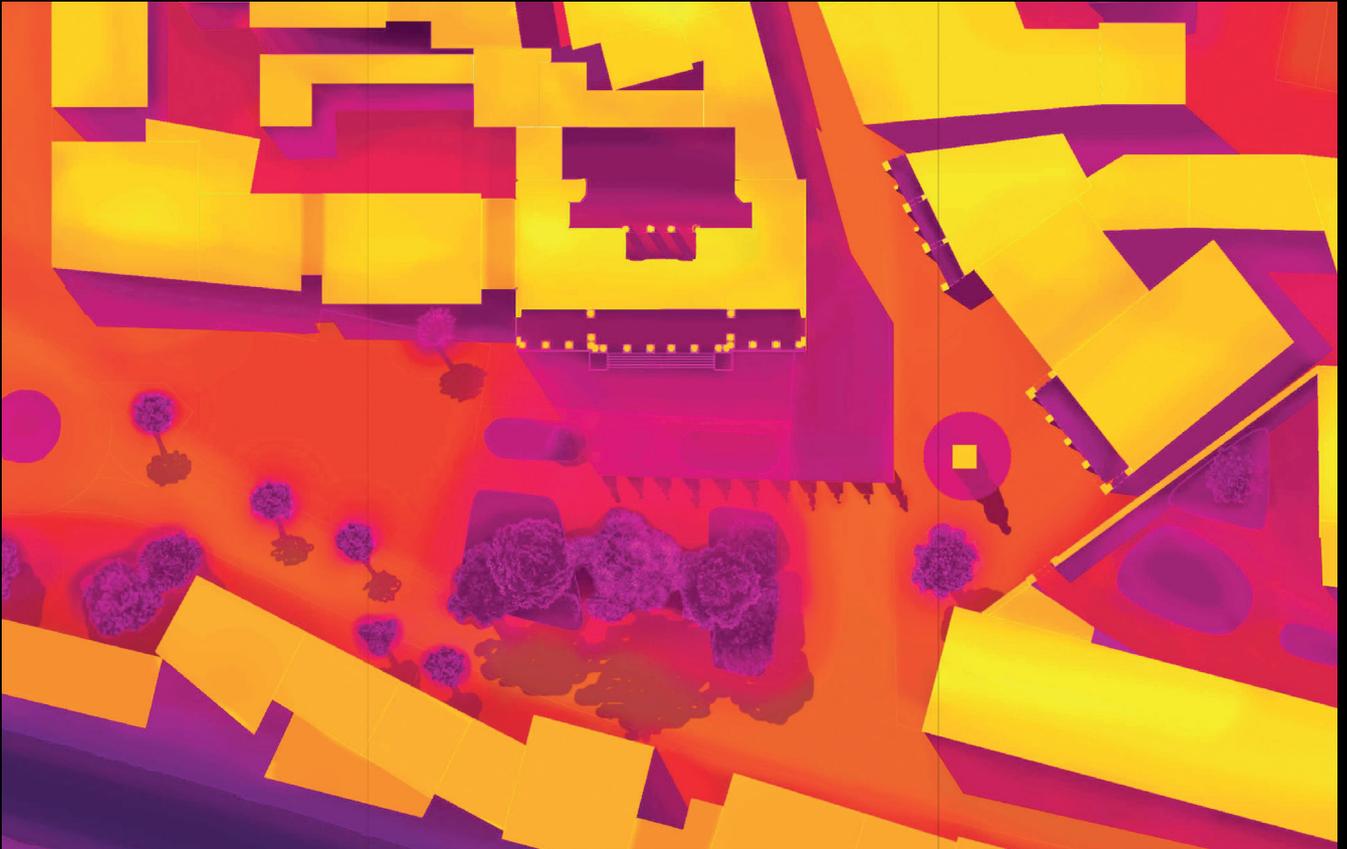




Dessin d'analyse 2.1 : Axes du paysage, villa Emo, réalisé par Marwan Abansir et Fabien Maes, studio Baukunst, EPFL, 2021



Dessin d'analyse 2.2 : Ventilation naturelle traversante des barchesses, villa Emo, réalisé par Marwan Abansir et Fabien Maes, studio Baukunst, EPFL, 2021



Dessin d'analyse 2.3 : Température des sols, Palais Chiericati, réalisé par Margaux Rakoczy et Nora Reis, studio Baukunst, EPFL, 2021



Dessin d'analyse 2.4 : Température de la façade, Palais Chiericati, réalisé par Margaux Rakoczy et Nora Reis, studio Baukunst, EPFL, 2021



# PARTIE III

## ARCHITECTURE PALLADIENNE ET DURABILITÉ



## Architecture palladienne et durabilité

Dans la première partie, nous avons étudié les systèmes passifs permettant de fournir un niveau de confort apprécié à l'époque et cela sans dégrader le paysage et l'environnement. Dans la deuxième partie, nous avons montré que l'exploitation agricole de la villa était développée dans une recherche d'harmonie et de symbiose avec la nature. Ces deux premières parties révèlent une durabilité du bâtiment dont l'équilibre avec l'environnement entre en résonance avec la notion contemporaine du développement durable « un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs », citation de Mme Gro Harlem Brundtland, Première ministre norvégienne (1987). De plus, comme le souligne James S. Ackerman dans son étude des villas, si plus de 450 ans plus tard beaucoup de villas de Palladio existent encore, « Une majorité d'entre elles [les villas palladiennes] remplissent aujourd'hui encore les fonctions pour lesquelles elles furent construites à l'origine — des fonctions uniquement récréatives dans quelques cas, mais souvent également agricoles ».<sup>1</sup>

Nous pouvons citer des villas toujours agricoles tels que la villa Sandi dans la province de Trévise. L'agriculture viticole a été maintenue depuis des générations et le domaine continue d'être exploité par la famille héritière depuis le XVe siècle, pour y produire du Prosecco.<sup>2</sup> C'est l'importance qu'accordait Palladio aux besoins du client ainsi qu'au caractère du site qui ont mené à une activité économique durable sur plusieurs siècles.

Dans cette dernière partie, nous allons aborder un autre aspect du caractère durable des villas palladiennes, une durabilité de la construction, c'est-à-dire « qui présente les conditions requises pour durer longtemps, qui est susceptible de durer longtemps ».<sup>3</sup> Aussi, il faut noter qu'un effort particulier est fourni à la préservation des villas dont 24 sont entrées dans le patrimoine mondial de l'UNESCO. Les villas de Palladio ont été construites pour durer, c'est-à-dire résister au temps et au climat, à l'opposé de certains bâtiments de notre époque qui ne durent qu'une dizaine d'années avant d'être remplacés pour des raisons de mauvaise qualité constructive, ou deviennent obsolètes, car ils ne répondent plus aux besoins de leurs habitants.

Dans cette partie nous étudierons tout d'abord les infrastructures mises en place pour résister aux intempéries, puis nous étudierons la résistance, les capacités thermiques et lumineuses des matériaux utilisés. Aussi, j'essaierai dans cette partie de rester dans le cadre d'une architecture et d'un savoir-faire de la Renaissance qui répondait avec les moyens de l'époque à des attentes de confort différentes d'aujourd'hui. Cependant, comme nous allons le voir, certains matériaux et techniques de construction sont toujours d'actualité et sont réinvestis dans les recherches pour des constructions bioclimatiques modernes.

---

1 James S. Ackerman et James S. Ackerman, *La villa: de la Rome antique à Le Corbusier*, Collection 35/37 (Paris: Hazan, 1997), p. 131.

2 « Villa Sandi », Elixirs (blog), consulté le 29 décembre 2021, <https://www.elixirs.ca/producteurs/villa-sandi>.

3 « DURABLE : Définition de DURABLE », consulté le 29 décembre 2021, <https://www.cnrtl.fr/definition/durable>.

## Une villa protégée des intempéries

Dans les traités d'Alberti, nous pouvons découvrir des prescriptions pour construire une architecture qui ne souffrira pas du climat. Tout d'abord, comme abordée dans la première partie, l'étude des vents dominants était essentielle dans un projet de villa. Si nous avons découvert précédemment l'intérêt d'une connaissance du climat pour assurer la santé, dans cette partie nous verrons qu'Alberti pensait aussi à la durabilité du bâtiment dans le temps. Tout d'abord, Alberti donne des conseils de positionnement des angles d'un bâtiment polygonal pour qu'il ne soit pas endommagé par des événements climatiques violents :

The angles ought to be positioned counter to the pressure of rocks or the likely direction of violent water and winds, so as to divide and dissipate the destructive blows as they strike, by facing the trouble with strongest part of the wall rather than the weakest.<sup>4</sup>

Alberti déconseille de placer des fenêtres en direction de vents trop forts. De plus, il fait référence aux « eaux violentes », comme a pu l'illustrer le studio Baukunst par des coupes géologiques, les remontées humides provenant de la nappe phréatique et les inondations liées aux débordements des cours d'eau étaient courantes (dessin d'analyse 3.2 et 3.3). Aussi, Palladio a conscience des risques naturels en implantant les villas sur ce territoire. Tout d'abord, comme nous l'avons observé, l'architecte privilégie une localisation en hauteur des bâtiments, mais certaines villas comme la villa Pisani, au bord du fleuve Guà, et la villa Foscari, le long du canal de la Brenta, ont dû développer des stratégies de protection supplémentaires pour faire face aux intempéries.

En effet, si les avantages à s'implanter près d'un cours d'eau ont été étudiés précédemment, cette situation n'est pas sans inconvénient ni sans risque. Plusieurs stratégies sont mises en oeuvre par Palladio pour la villa Pisani. Tout d'abord un mur en brique de plus de 2 m est érigé entre le jardin de la villa et le canal (Fig. 3.1). En complément, la partie habitée de la villa est surélevée du sol par un haut soubassement, qui sépare le premier étage du terrain humide (Fig. 3.2).

Le soubassement est renforcé aux angles par un bossage rustique en pierre, qui serait destiné, comme le conseillait Alberti, à protéger les angles du bâtiment qui divisent et dissipent les vents et eaux violentes (Fig. 3.2).

Il n'y a pas de mur entre la villa Foscari et le canal ni de traitement particulier de la rive. Mais comparé à la villa Pisani, son soubassement est particulièrement haut. Ainsi, tandis que les espaces libérés dans le soubassement accueillent des fonctions de service, le *piano nobile* se situe à quelques mètres du sol protégé des inondations (Fig 3.3). La villa Foscari fut aussi nommée par les villageois la « Malcontenta » (la mécontente), le surnom de cette villa est dû aux nombreux débordements de la Ribeira, qui ont généré l'inondation des terres des paysans.<sup>5</sup>

<sup>4</sup> Alberti cité par Barbara Kenda, éd., *Aeolian winds and the spirit in Renaissance architecture: Academia Eolia revisited* (New York: Routledge, 2006), p. 78.

<sup>5</sup> « Villa Foscari, la Malcontenta », Olia i Klod (blog), 3 décembre 2014, <https://oliaklodvenitiens.wordpress.com/2014/12/04/villa-foscari-la-malcontenta/>.



3.1 Villa FPisani, Palladio, Bagnolo, 1552  
([https://stringfixer.com/fr/Villa\\_Pisani\\_\(Bagnolo\)\)](https://stringfixer.com/fr/Villa_Pisani_(Bagnolo))))



3.2 Villa Pisani, Palladio, Bagnolo, 1552



3.3 Villa Foscari, Mira, 1508 – 1580, photographie de A.Bacchella

La villa fut néanmoins endommagée par les multiples inondations, dont celle de 1996. Nous pouvons analyser sur la façade les dégâts engendrés par ces événements climatiques : l'effritement du stuc est visible sur toute la façade, le soubassement mis à nu a perdu de son épaisseur, le *piano nobile* semble toutefois comme prévu le mieux conservé (Fig. 3.4).

La surélévation quasi systématique des villas témoigne de la volonté de Palladio de protéger ses édifices des remontées d'humidité venant du sol naturel par capillarité. Pour cela, le soubassement servait aussi comme vide sanitaire (Dessin d'analyse 3.3). En effet, si les matériaux utilisés n'avaient pas les propriétés des pare-vapeur et de la couche d'étanchéité des fondations modernes, l'espace vide du rez-de-chaussée permettait non seulement de se protéger des inondations, mais permettait aussi une aération permanente. L'air circulant sous la dalle des étages nobles, participe à l'évaporation et à l'évacuation de l'humidité du soubassement et limite ainsi les dégradations des étages supérieurs.



3.4 Villa Foscari, avant rénovation

## Études des matériaux

Nous continuons cette partie sur la résistance du bâti par l'étude détaillée des matériaux et des techniques de construction des Villas vénitiennes. Nous étudierons les raisons à l'origine du choix des matériaux autour de trois caractéristiques principales. Premièrement la résistance du matériau au climat (humidité, eau, rayonnement UV...) et au temps, deuxièmement leurs propriétés physiques (thermique, acoustique et lumineuse) et enfin nous évaluerons l'économie de moyens réalisée pour la construction, avec l'utilisation de matériaux locaux, peu coûteux et faciles à mettre en place.

### Le Terrazzo

Commençons par l'étude des sols, comme Vitruve dans ses 10 livres. Le terrazzo, comme nous pouvons le voir dans les photos, était le sol le plus fréquemment utilisé par Palladio dans des pièces aux fonctions très différentes (Fig. 3.5). Si les historiens ont longtemps associé la technique du terrazzo aux pièces techniques et secondaires des maisons pour ses qualités en matière de résistance à l'eau et au choc, le terrazzo était fortement valorisé par Palladio qui l'utilisait également pour les pièces nobles. Ses origines remontent à la Grèce ancienne. Vitruve, dans le tout premier chapitre du livre VII de *De Architectura*, explique la composition et la mise en place du sol antique, dont le terrazzo s'inspirera. Vitruve décrit d'abord la construction des fondations, comme pour la villa Rotonda qui repose sur plusieurs épaisseurs de roches empilées :

Selon les prescriptions du *De Architectura*, il est nécessaire en premier lieu, de mettre en place un *statumen*, fondation de cailloux posés à sec, en hérisson, afin de faciliter les écoulements des eaux d'infiltration. Sur cette fondation on applique une première couche composée de chaux, de sable et de graviers, qui constitue un blocage épais, le *rudus*. Cette couche est enfin damée pour être rendue plus compacte.

Vitruve précise que les proportions sont différentes selon que l'agrégat est frais ou qu'il s'agit d'un remploi. Dans le premier cas, 3/4 d'agrégat (sable et gravier) et 1/4 de liant (chaux) ; pour le remploi, 2/7 de chaux et 5/7 d'agrégat. La chaux en proportion plus importante augmente la cohésion du mélange.

Au-dessus du *rudus*, on pose une dernière couche appelée *nucleus*, composé de « testae » et de chaux, *testa nucleus inducatur*. Le *nucleus* a une épaisseur d'environ six doigts, c'est-à-dire à peu près onze centimètres.

Il décrit ensuite ce qui sera à l'origine du terrazzo :

Enfin un lit de pose, généralement en fin mortier, le *pauimentum tessaris*, laisse apparaître des éclats de céramique, des fragments de marbre, des tesselles réparties aléatoirement ou disposées géométriquement avec plus ou moins de recherche. La surface est finalement polie, afin qu'il ne subsiste aucune aspérité, aussi bien sur le liant que sur les éléments disposés à la surface.<sup>6</sup>

Cette technique est devenue très populaire en Vénétie à la Renaissance. Il en naît « l'Art des Terrassiers » et pour cette raison le terrazzo est connu aussi comme terrazzo à la vénitienne. Palladio en témoignera « D'excellente qualité, ces sols en terrazzo sont obtenus à partir de tessons écrasés et de gravillons mélangés avec de la chaux et des galets de rivière (...) avant d'être bien battus ».<sup>7</sup>

<sup>6</sup> Véronique Vassal, « Opus Signinum, Terrazzo, Mortier et Béton de Sol : Un Etat de la Question », 25 mai 2015, 30.

<sup>7</sup> Andrea Palladio, *I quattro libri dell'architettura*, 1570 cité par « INSIDE PALLADIO - IRIS FMG », consulté le 30 décembre 2021, <https://www.insidepalladio.irisfmg.com/fr/>.



3.5 Salon villa Barbaro, Maser, 1550-1960

Il était apprécié pour sa grande résistance, tout d'abord au climat humide de la Vénétie. Composé de chaux, d'agrégats tels que le sable, le gravier ou les cailloux de lit de rivières environnantes et d'eau, c'est l'ajout d'argile calcinée ou tuileaux pilés qui confère au mélange son étanchéité.

En effet, les argiles calcinées sont des matériaux riches en silice réactive. Ces éléments réagissent avec la chaux et l'eau pour former des silicates de calcium et d'alumine. La céramique donne à la chaux des propriétés hydrauliques, la rendant capable de se solidifier dans les zones humides et lui donne une plus grande résistance.

Aussi l'auteur Véronique Vassal dans un article sur les origines antiques du terrazzo souligne le savoir-faire des artisans, leur connaissance des matériaux locaux et des conditions climatiques du lieu du chantier :

Les matériaux qui composaient ce mortier étaient importants, car ils réagissaient entre eux de manière chimique pour donner un mortier extrêmement résistant et possédant des propriétés imperméables, caractéristique principale de cette technique. Il est évident que le savoir-faire des artisans était indispensable. Ces derniers devaient posséder une grande maîtrise des techniques et des matériaux, une capacité à s'adapter aux contraintes imposées par le terrain et le climat.<sup>8</sup>

L'architecte Antonio Rusconi, contemporain de Palladio, suivait lui aussi les prescriptions de Vitruve, il décrit dans son traité *Della Architettura di Gi*, la technique de construction typiquement vénitienne (Fig. 3.7). Véronique Vassal, en transcrivant les propos de Rusconi, fait ressortir les techniques appliquées par les artisans, conjuguant économie de moyens par l'utilisation de matériaux naturels ou réutilisés, exigence de qualité et résistance du produit au temps :

Le terrazzo alla veneziana également appelé « battuto » décrit par Rusconi est composé de poutres en bois sur lesquelles on dispose des planches de trois centimètres d'épaisseur, puis on répand des fougères afin que ces dernières protègent le bois.

La couche suivante est constituée d'un mélange de chaux éteinte et de débris de briques, d'une épaisseur de dix à vingt centimètres, appelée « fond » ou « sottofondo ».

Ce sol était ensuite compressé à l'aide d'un rouleau (souvent les vestiges de colonnes antiques), et damé à l'aide d'outils de bois pour le centre et de longues tiges de fer pour les côtés. Quand le sol commençait à sécher, que le damage ne laissait plus aucune trace sur la surface, il était temps de laisser reposer le sol, afin qu'il puisse sécher complètement. La couche reposait environ six mois.

<sup>8</sup> Vassal, « Opus Signinum, Terrazzo, Mortier et Béton de Sol : Un Etat de la Question ».

L'ancrage était un processus réalisé avec un instrument tranchant comme une pioche ou le bord d'une pelle : on disposait de petits trous sur la surface lisse, à une distance d'environ trente centimètres. Ces trous servaient de point d'ancrage à la couche suivante, que l'on appelait « la couverture » ou « coperta » composées de briques et de chaux pilées.

Une fois que cette couche était sèche, elle était polie, puis on disposait sur la « couverture » la dernière strate « d'enduit », de deux à quatre centimètres d'épaisseur, appelée « stabilitura » [...]

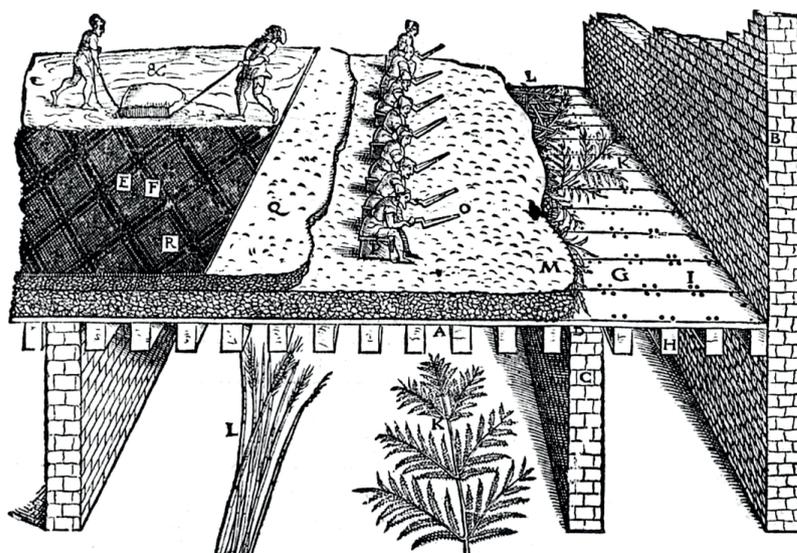
Une fois sèche, on disposait sur la couche de l'huile de lin. Le polissage était effectué à l'aide d'un chiffon de toile de jute, jusqu'à l'obtention d'une surface brillante. [...]

La dernière opération consistait à passer un liquide, la « saponata », composé d'un mélange d'eau chaude, de savon de Marseille et d'huile d'olive sur la surface. Ce liquide servait à durcir la chaux (grâce à la présence de glycérine) et permettait le polissage de la surface. Enfin, on passait plusieurs couches d'huile d'olive afin de l'imperméabiliser.<sup>9</sup>

Cette technique permet d'obtenir un matériau à la fois résistant aux intempéries et aux temps. Le Terrazzo obtenu possède une grande longévité due à sa résistance à l'eau, aux impacts, mais aussi aux rayons ultraviolets (UV) qui peuvent réduire la performance globale d'un matériau. Ce matériau résiste aussi aux salissures, il se nettoie facilement, ce qui facilite sa maintenance.

De plus ce sol minéral lourd et dense possède une grande inertie thermique et contribue à la régulation de la température intérieure. L'inertie thermique d'un matériau définit sa capacité de stockage et de déstockage de la chaleur, elle peut s'illustrer par un amortisseur. Ainsi, comme nous le verrons avec l'étude des murs de brique, le climat intérieur des villas profite de l'inertie thermique de ses matériaux qui captent la chaleur durant la journée venant d'une source interne ou du rayonnement solaire, et la diffuse seulement plusieurs heures plus tard. Ce déphasage temporel rend donc le climat plus doux durant les heures de fortes chaleurs.

De plus, les sols lisses et minéraux sont considérés comme des planchers rafraîchissants avec une forte inertie liée aussi à une effusivité élevée (capacité d'absorption de la chaleur). Par exemple, quand on touche une surface en terrazzo ou en marbre, la surface paraît froide, cela est dû à l'effusivité élevée qui absorbe rapidement la chaleur de la peau et nous laisse avec une sensation de froid.



3.7 Construction d'un sol, d'après A. Rusconi, *Della Architettura di Gio*, 1590

<sup>9</sup> Vassal.

Aujourd'hui le terrazzo est toujours un matériau populaire et valorisé par les entreprises comme notamment une entreprise italienne commercialisant un matériau ayant pris le nom du « Terrazzo Palladio ».<sup>10</sup>

Enfin, cette technique de construction est locale. Elle utilise le savoir-faire des ouvriers de la Vénétie, mais aussi des matériaux de leur environnement proche. Le sable (bien que déconseillé par Vitruve, réservé au sujet de sa qualité) était tiré des lits des rivières. Les roches, des carrières aux alentours. Et l'argile calcinée provenait de « poteries cassées, de briques pilées et parfois de coquillages comme le murex ».<sup>11</sup> L'économie de moyens était centrale dans l'architecture de Palladio, l'utilisation et la réutilisation de matériaux proches limitaient les coûts d'extraction et de transports. Aujourd'hui, la notion d'économie de moyens refait surface en architecture pour les mêmes raisons budgétaires, mais aussi des raisons climatiques. Une architecture privilégiant la réutilisation de matériaux permettrait de limiter l'extraction de matières premières et donc la dégradation des sols, ou bien pourrait se limiter à une utilisation de matériaux locaux pour diminuer les émissions CO2 des transports.

## La maçonnerie

De l'extérieur, nous avons l'impression d'admirer des villas en pierre avec des colonnes monolithiques et de grands blocs de pierres blanches en façade (Fig. 3.8). C'est un leurre utilisé par Palladio. En effet, si l'Encyclopedia Britannica indique que les villas de Palladio devaient initialement être réalisées en pierre, en fait aucune n'est construite dans ce matériau noble et cher.<sup>12</sup> Les villas étaient en effet construites en briques comme la majorité des habitations rurales de l'époque. La brique était un matériau beaucoup moins coûteux et facile à obtenir que la pierre. Aussi, de la même manière que Palladio réussit à mélanger des typologies agricoles à une architecture destinée à l'aristocratie, il parvint à transformer à l'aide du stuc blanc l'esthétique de la brique pour lui donner l'aspect noble et monumental de la pierre.



3.8 Façade vue sur canal, villa Foscari, Mira, 1508 – 1580

10 « INSIDE PALLADIO - IRIS FMG ».

11 Vassal, « Opus Signinum, Terrazzo, Mortier et Béton de Sol :Un Etat de la Question ».

12 Witold Rybczynski, *The Perfect House: A Journey with Renaissance Master Andrea Palladio* (Simon and Schuster, 2013).

Les structures des villas étaient donc composées de murs et d'arcs en briques, et d'une charpente en bois. Les plafonds étaient en bois peint. La pierre était utilisée uniquement pour les ornements de façade soulignant certaines parties, comme la base des colonnes, les chapiteaux et les encadrements de portes et de fenêtres. Certaines techniques furent mises au point pour reproduire des formes généralement obtenues par la taille de la pierre, comme des moules de briques incurvées permettant de reproduire les colonnes cylindriques. Les murs soutenant une série de voûtes et de dômes intérieurs devaient être particulièrement épais de façon à reprendre les charges obliques des voûtes. Cette épaisseur assurait aussi l'isolation thermique de la maison. La brique était privilégiée dans les constructions rurales pour sa fiabilité et durabilité, mais aussi ses capacités en matière d'isolation thermique et acoustique.

Les briques à l'apparence rouge étaient composées d'argile cuite, la proportion d'air contenue dans la brique lui donne un pouvoir isolant. De plus, les matériaux de construction en argile ont une masse thermique élevée. Ce qui permettait comme nous l'avons vu précédemment pour le terrazzo, de capter la chaleur et d'éviter la surchauffe en été. En hiver, les murs en blocs d'argile retiennent également à l'intérieur la chaleur produite par les cheminées et l'activité humaine. L'utilisation de matériaux avec une masse thermique élevée est encore aujourd'hui privilégiée dans certaines constructions pour les mêmes raisons qu'à la Renaissance.

Les performances d'isolation des briques dépendent fortement de leur pourcentage d'air, plus il est élevé, meilleure sera leur capacité d'isolation. Si elles étaient considérées comme suffisamment isolantes à l'époque pour des murs de grande épaisseur, aujourd'hui des matériaux beaucoup plus aériens, comme la laine minérale, sont, de loin, plus performants pour des épaisseurs réduites.

La laine minérale est caractérisée par une conductivité thermique moyenne de 0,045 W/(m.K), la conductivité thermique d'un matériau désignant son pouvoir à laisser passer la chaleur. Plus la conductivité est élevée, moins le matériau est isolant. Celle de la brique d'argile varie entre 0,22 W/(m.K) pour celle avec la masse volumique la plus faible et 0,81 W/(m.K). Ce qui signifie que, pour une même épaisseur, une brique d'argile avec une conductivité thermique de 0,51 W/(m.K) laissera passer environ 11 fois plus de chaleur que la laine minérale moderne. Ou formuler autrement, pour obtenir la même performance d'isolation d'une maison protégée avec 30 cm de laine minérale, comme recommandé aujourd'hui en Suisse, il faudrait construire un mur de 3,30m d'épaisseur.<sup>13</sup> Mais attention, la brique était à l'époque à la pointe des recherches sur l'isolation !

## Le béton

Bien que très peu abordé par les livres d'histoire, un autre matériau fut utilisé par Palladio pour les murs de la villa Rotonda. Lors d'une visite de la villa Rotonda, le professeur Howard Burns révèle que seuls les colonnes, les arches et le portique sont en briques. Il affirme que tous les autres murs sont construits en *agglomeratto*. Il explique ainsi sa composition, "Stone, rocks, bad cooked brick in 1m20 [elevation] than two lines of bricks and then again 1m20. To save as many bricks as they could because bricks were a rich element for Vicenza".<sup>14</sup>

13 « Conductivité thermique des matériaux », Energie Plus Le Site (blog), 26 octobre 2007, <https://energieplus-lesite.be/donnees/enveloppe44/enveloppe2/conductivite-thermique-des-materiaux/>.

14 Howard Burns, « Palladio Workshop 1993: Villa Rotonda - YouTube », consulté le 1 janvier 2022, <https://www.youtube.com/>.

Par cette explication simplifiée de la construction des murs de la Rotonda, l'architecte introduit des recherches très importantes dans le travail de Palladio, celles sur les prémices du béton.

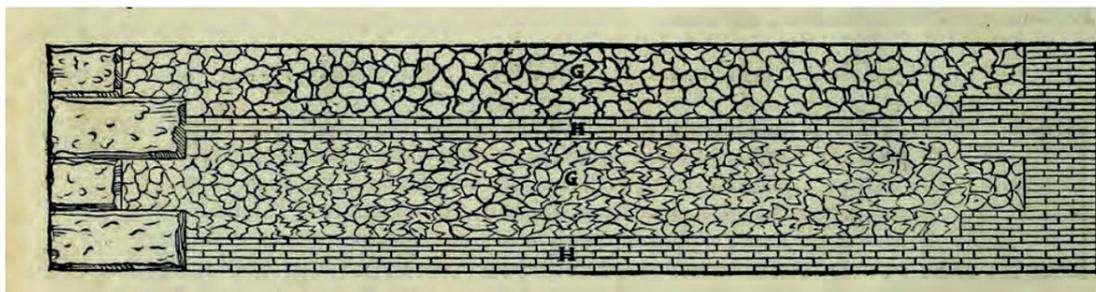
Dans son livre *Palladio and concrete: archaeology, innovation, legacy*, Louis Cellauro défend la thèse selon laquelle Palladio était le premier à utiliser le processus qui ensuite sera utilisé pour construire les murs en béton de l'architecture moderne.

En effet, si Vitruve explique le principe de l'*emplekton*, un mixte de gravats et de mortier qui remplissait les murs à l'antiquité, Palladio fut le premier à illustrer sa réalisation dans la réédition de Daniele Barbaro de *De architectura*. Il nomme la technique la *manière riempita*, il représente les cadres amovibles en bois et montre la technique de remplissage qui n'était pas présente dans les descriptions de Vitruve.

Dans le chapitre 9 du livre I nommé « *Delle maniere de* » *muri* » [sur les différents types de murs], il décrit les quatre types principaux de maçonnerie ancienne. La technique utilisée par Palladio pour la villa Rotonda est nommée *opus testaceum* (Fig. 3.9). Il n'est pas mentionné par Vitruve et découle des observations de ruines de Palladio (Fig. 3.10). Il décrit ainsi l'utilisation de rangées de briques, et de mortier composés de cailloux auxquels il pouvait ajouter des briques ou d'autres matériaux cassés :

Walls made of small stones or pebbles ["I muri di cementi"] are made so that for every two feet there are at least three courses of brick, which are arranged in the manner mentioned above. In Turin, in Piedmont, the walls are made like this; they are made of river pebbles [cuocoli] split down the middle, and these are placed with the split part facing outward, hence they make a very accurate and even surface. The walls of the Arena in Verona are also made of concrete and every three feet there are three courses of quadrelli; other ancient buildings are also made this way, as may be seen in my books on antiquities.<sup>15</sup>

L'auteur Louis Cellauro indique que bien que Vitruve n'ait pas explicité spécifiquement cette méthode de construction, Palladio avait pu l'observer dans les ruines du théâtre de Vérone. Comme sur l'image 3.10.



3.9. Andrea Palladio, « I muri di cementi » (« maçonnerie de béton faite de petites pierres »), d'Andrea Palladio, *I Quattro libri dell'architettura* (Venise : Domenico de' Franceschi, 1570)

15 Palladio cité par Louis Cellauro et Gilbert Richaud, *Palladio and concrete: archaeology, innovation, legacy*, LermArte 26 (Roma: « L'Erma » di Bretschneider, 2020).



3.10 Amphithéâtre de Vérone (première moitié du Ier siècle de notre ère), détail du parement des murs intérieurs (Photo : Louis Cellauro).

Pour conclure cette description des maçonneries utilisées par Palladio, nous pouvons encore une fois observer l'importance donnée à l'héritage de la Rome antique. Ces techniques sont améliorées et adaptées à des problèmes contemporains tels que l'économie de moyens que devait respecter Palladio dans la construction des villas. La maçonnerie intégrait donc des principes de réutilisation limitant ainsi le gaspillage des chantiers. Le gaspillage de matériaux pendant la construction ou la démolition est aujourd'hui encore très problématique. L'intégration de ruines ou de matériaux détériorés aux mortiers semble donc encore aujourd'hui, une proposition ingénieuse de recyclage.

### **Les revêtements**

Enfin, les briques étaient recouvertes de stuc. Cela pouvait tout d'abord augmenter la capacité isolante des murs. À l'Antiquité, Vitruve avait dédié le livre VII de de Architectura au second œuvre, ce qu'il appelait à l'époque *expolitiones*. Il y aborde les travaux destinés à rendre l'édifice habitable. Il y fait notamment la distinction de traitement entre les pièces d'hiver et d'été et leur usage public ou domestique.

Selon Vitruve, les revêtements muraux sont différents, selon que les lieux sont secs (chapitre III) ou s'il y règne une atmosphère humide (chapitre IV). Les murs doivent recevoir six couches d'enduits, les trois premières au mortier de sable et les trois dernières au mortier de marbre, avec des polissages successifs pour les dernières couches. Les pièces humides, ou plus généralement celles qui se trouvent au rez-de-chaussée doivent être dotées d'une contre cloison sur laquelle seront appliqués les enduits traditionnels (Fig. 3.11).

De plus, la distinction entre les utilisations des pièces en fonction des saisons, décrite en première partie, s'inscrit aussi dans la réalisation des décorations murales. Les salles à manger d'hiver ne doivent pas avoir de peinture de fruits, ni d'ailleurs de corniches moulurées qui s'abîmeraient avec la fumée du feu et la suie des lampes.



3.11 Salle d'eau villa Foscari (Photo : Aldo Ballo)

Les derniers chapitres du livre VII sont consacrés aux matériaux composant l'enduit et, pour les dernières couches, aux couleurs utilisées pour peindre les fresques. Barbaro, dans sa réédition de l'œuvre de Vitruve à la Renaissance, n'annotera que très peu le livre VII et observera la pérennité des techniques mentionnées par Vitruve.<sup>16</sup>

Les villas de Palladio sont souvent traversées par des fresques de grands peintres de la Renaissance, comme Véronèse pour le vestibule de la villa Barbaro illustré sur la photographie 3.13. Ces fresques, encore préservées aujourd'hui, sont cristallisées dans le stuc selon une technique ancienne. En effet, conformément à son étymologie, la fresque est une peinture exécutée sur enduit frais, de manière à ce que les pigments soient fixés par la carbonatation de la chaux (hydroxyde de calcium) contenue dans l'enduit (Fig. 3.12). Dans son livre, *La conservation des peintures murales*, l'auteur décrit la réaction physique permettant à la peinture d'être intégrée dans l'enduit frais :

Le pigment, mêlé d'eau, est déposé par le pinceau sur la surface d'un enduit ou badigeon à base de chaux. Lorsque celui-ci commence à sécher, l'hydroxyde de calcium, qu'il contient à l'état dissous, migre vers la surface où il réagit avec l'anhydride carbonique de l'air pour former du carbonate de calcium, tandis que l'eau s'évapore :  $\text{Ca (OH) } 2+ \text{CO}_2= \text{Ca CO}_3+\text{H}_2\text{O}$ . Au cours de cette réaction, les pigments se trouvent enrobés dans la cristallisation du carbonate superficiel, ce qui les fixe comme s'ils devenaient partie intégrante d'une plaque de calcaire.<sup>17</sup>

16 Frédérique Lemerle, « Vitruve et ses commentateurs face au `` second œuvre '' », s. d., 7.

17 D. C. Winfield et al., « La Conservation des Peintures Murales », *Studies in Conservation* 23, no 3 (août 1978): 130, <https://doi.org/10.2307/1505827>.

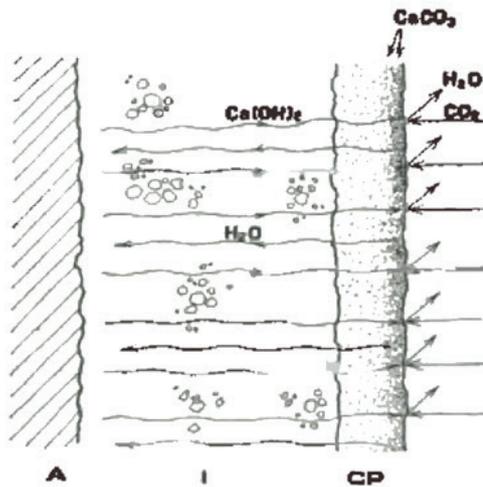


Fig. 4 - Schéma de la réaction de « prise » d'une fresque.

A = arriccio

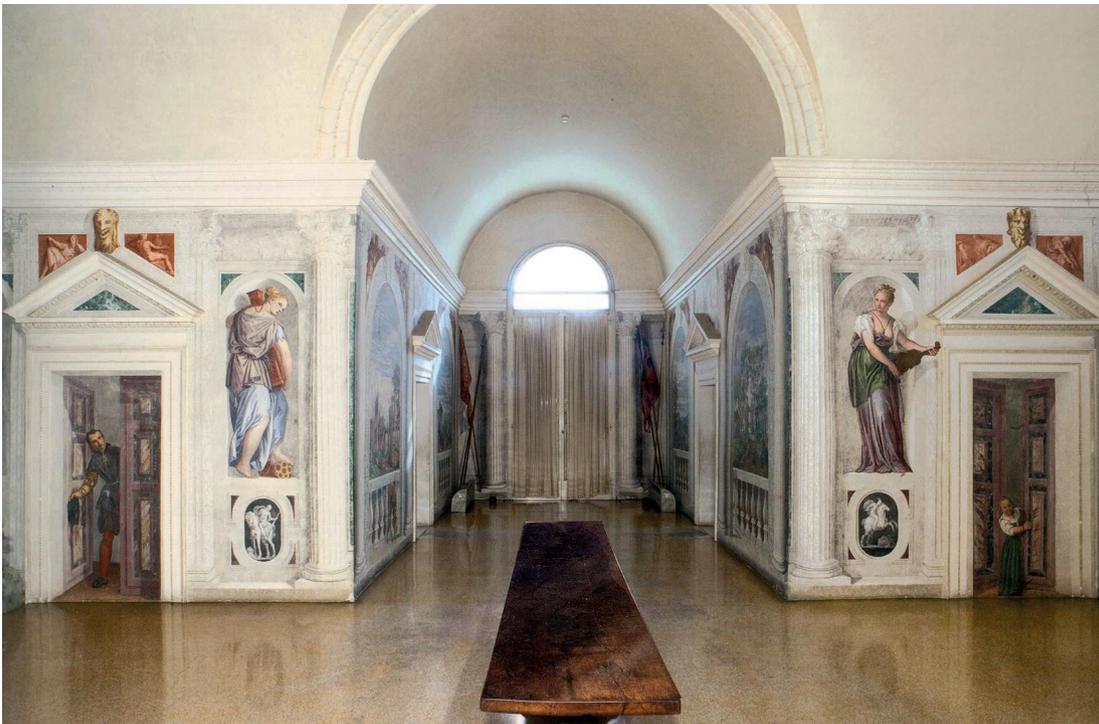
I = intonaco

CP = couche picturale.

- L'hydroxyde de calcium  $\text{Ca(OH)}_2$  en solution dans l'enduit, entraîné par l'évaporation de l'eau, migre vers la surface en traversant la couche picturale et enrobant les pigments.
- Il y entre en contact avec l'anhydride carbonique  $\text{CO}_2$  présent dans l'air et réagit avec lui en formant du carbonate de calcium  $\text{CaCO}_3$ , dans lequel les pigments de la couche picturale se trouvent pris. La réaction se produit de la surface vers la profondeur de l'enduit.
- L'eau  $\text{H}_2\text{O}$  restée en surface s'évapore, tandis qu'une partie de l'eau contenue dans l'enduit pénètre dans le support, selon la porosité de celui-ci.

3.12 Schémas de la réaction de « prise » d'une fresque, D. C. Winfield, 1978

Les mortiers de chaux devenus durs (en 8 à 12 mois) sont imperméables à l'eau, mais perméables aux vapeurs d'eau, on dit qu'ils respirent. En permettant à la vapeur d'eau de s'infiltrer librement et à l'eau de s'évaporer facilement, le stuc n'emprisonne pas l'humidité sous la surface, ce qui évite de dégrader le mur en maçonnerie derrière. De plus, en raison de l'alcalinité de la chaux, il n'y a pas de problème de moisissures. Pour ces raisons le stuc vénitien est encore populaire aujourd'hui, plus conseillé qu'un enduit au ciment qui ne permet pas aux murs de « respirer » et provoque, à terme, des fissures et des problèmes de condensation ou de décollement de plaques.<sup>18</sup>



3.13 Revêtement intérieur villa Barbaro, 1550-1560

<sup>18</sup> « L'enduit italien à la chaux "Stuc", ce qu'il faut savoir ... », Tomasina (blog), 9 mai 2016, <http://tomasina-paris.com/lenduit-italien-a-la-chaux-stuc-ce-qui-faut-savoir/>.

## La couleur blanche

Le stuc blanc était utilisé systématiquement à l'intérieur des villas sur les murs et plafonds en maçonnerie. Le stuc extérieur dans son imitation d'une façade en pierre était incisé pour reproduire les joints des pierres.

On ajoutait une couche de cire d'abeille pour entretenir le stuc et augmenter son imperméabilité et de l'huile de lin pour rendre la surface plus lisse et, aussi, comme l'explique un guide de la villa Rotonda « pour faire fondre la poussière de quartz qui a absorbé complètement la vie du soleil ». <sup>19</sup> L'entretien des surfaces est très important pour le fonctionnement climatique du bâtiment. Ces traitements permettent de préserver le blanc et de garder son aspect lisse. En effet, un blanc lisse réfléchit très bien le rayonnement solaire, le mur protégé ne captera pas la chaleur de la radiation et ne la transférera donc pas à l'air intérieur. Ce pouvoir de réflexion est défini par l'albédo d'un matériau, c'est la capacité des matériaux à réfléchir les rayonnements : plus le matériau a un albédo élevé, mieux il va réfléchir le rayonnement solaire, donc moins il va stocker la chaleur. Par exemple, le goudron bitumé a un albédo très faible de 0,1 et va donc stocker la chaleur et chauffer alors que la neige par exemple a un albédo idéal de 1,0. <sup>20</sup>

Étymologiquement, ce terme vient du latin *albus* blanc, aussi l'utilisation systématique du blanc comme matériaux de façade par Palladio, témoignait de la connaissance de ses propriétés climatiques. En effet, on peut estimer l'albédo d'un matériau à l'œil nu, puisqu'il est étroitement lié à la couleur perçue. Plus le matériau est sombre, plus il a un albédo faible. Inversement, plus le matériau est clair, plus il aura un albédo élevé. L'entretien et le nettoyage de la surface interviennent également dans la valeur de l'albédo, plus elle sera lisse et propre, meilleure sera sa réflexion.

Si Palladio privilégiait systématiquement la couleur blanche pour ses constructions, des campagnes sont aujourd'hui lancées pour repeindre des bâtiments modernes et leurs toitures en blanc. Par exemple, lors de l'initiative « The Cool Roofer » la ville de New York a repeint entre 2010 et 2018 plus de 1 million de m<sup>2</sup> de surface de toiture. À l'échelle de la ville, la réflexion des toits des bâtiments a un effet d'autant plus important qu'il permet de lutter effacement contre l'effet d'îlot de chaleur.

Enfin, la couleur blanche joue aussi un rôle important dans la luminosité des pièces intérieures à une époque où les sources de lumière artificielle étaient limitées aux bougies. La couleur blanche a pour propriété de réfléchir et d'amplifier l'intensité lumineuse. Cela varie en fonction de la Valeur de Réflexion de la Lumière (Light Reflectance Value). Ce coefficient correspond à la quantité totale de lumière, réfléchié dans toutes les directions et à toutes les longueurs d'onde par une surface, lorsque celle-ci est éclairée. LRV fonctionne sur une échelle de 0 à 100 %, zéro étant le noir absolu et 100 un blanc parfaitement réfléchissant. <sup>21</sup>

En privilégiant la couleur blanche et en l'associant à des intérieurs ouverts et traversants, Palladio fait donc le choix d'intérieurs lumineux. Cela aide à assurer le confort des habitants en leur permettant d'effectuer leurs activités quotidiennes en étant suffisamment éclairés pendant la journée. De plus, comme vu précédemment, le niveau de lumière attendu dépendait du rôle de la pièce et elles n'en avaient pas toutes le même besoin. Par exemple les ateliers de peintures positionnés au Nord offraient une lumière de moyenne

19 Burns, « Palladio Workshop 1993 ».

20 Guillaume Perrin, *Rafraîchissement urbain et confort d'été: lutter contre les canicules* (Malakoff: Dunod, 2020).

21 IDSiDE et Lou Ancelin, « Le coefficient LRV, définition et utilité », TecSOM - Créateur français de sols textiles depuis 1881, 12 novembre 2020, <https://www.tecsom.com/actualites/le-coefficient-lrv-definition-et-utilite>.

intensité variant très peu au cours de la journée, qui permettait aussi de conserver les œuvres. Ou bien les fresques de la Sala, grâce à une lumière uniquement indirecte, ne furent pas abîmées par les rayons UV.

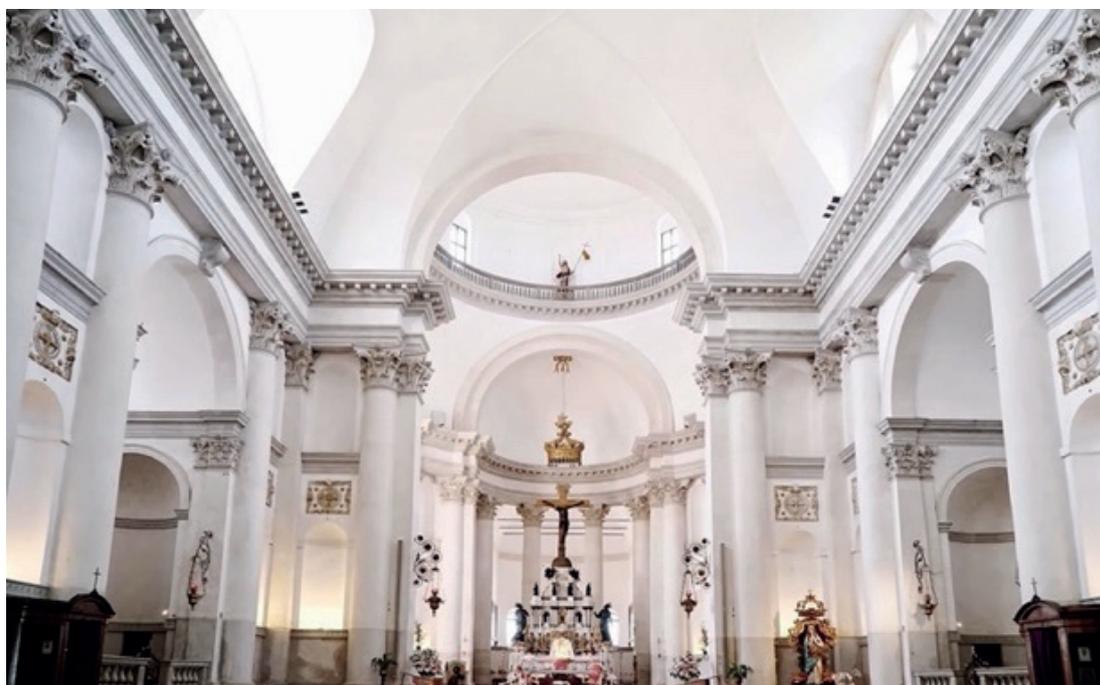
Aussi, Palladio évoque une valeur mystique pour la beauté de la lumière modelée par un intérieur blanc, « Of all colors, none is more suitable to temples than white, in as much as purity in color as well as in life is supremely gratifying to God. »<sup>22</sup>

La connotation positive du blanc est donc à la fois liée au bien-être des habitants vivant dans un intérieur bien éclairé, mais il lui donne aussi une valeur spirituelle dans la lumière qu'il réfléchit. Prenons pour exemple l'église Redentore à Venise (Fig. 3.14). Cette église fut érigée en l'honneur de la fin de la terrible peste de 1576, dont 1 vénitien sur 3 fut victime.

Si d'un côté Palladio voulait suggérer une présence mystique par la perfection de ses espaces et la richesse de sa lumière, le blanc entraînait également dans le langage architectural d'une atmosphère pure et saine, où la saleté et la maladie n'ont pas leur place. Cette atmosphère résonne aussi avec les stratégies hygiénistes développées dans la première partie.

Dans son histoire naturelle de l'architecture Philippe Rahm explique qu'au XVIII la peinture à la chaux (comme le stuc utilisé par de Palladio) fut utilisée pour désinfecter les murs des bâtiments. Ses propriétés antiseptiques furent en effet découvertes par le Chimiste Jean-François de Marcoelle « La peinture au lait, dont la chaux serait à la base, est le moyen d'empêcher les murs de s'imprégner de miasmes infects ». <sup>23</sup>

On vient donc une nouvelle fois associer la couleur blanche à la salubrité du bâti, grâce à la résistance aux moisissures et pour les propriétés désinfectantes de la chaux. Si la couleur blanche après la Renaissance fut à maintes reprises associée à un climat intérieur sain, elle est encore aujourd'hui privilégiée pour les espaces de soin.



3.14 Intérieur Église Redentore, Palladio, l'île de la Giudecca, Venise, 1577-1592

<sup>22</sup> Palladio cite par James S. Ackerman, « PALLADIO The Architect and His Influence in America - YouTube », consulté le 31 décembre 2021, <https://www.youtube.com/>.

<sup>23</sup> Antoine-Alexis Cadet de Vaux, *Moyen de prévenir et de détruire le méphitisme des murs*, cité par Philippe Rahm, *Histoire naturelle de l'architecture* (France, Pavillon de l'Arsenal, 2020).

Pour conclure, la blancheur des villas fascine les visiteurs encore aujourd'hui et trouve une beauté intemporelle par ses variations de couleurs au cours des heures et des saisons comme le souligne le professeur Howard Burns lors d'une visite guidée de la villa Rotonda :

[en début d'après-midi] this seems "dirty white", now we go over and it seems bright yellow, because of the way the sun heats the surface that absorbs [and reflect] the light of the sun. You come back at half past six this is going to be very strong yellow, in April. But in the month of June it's strong orange and in the first of January it's white shiny, so depends on the season depending on the inclination of the sun this is always changing the color.<sup>24</sup>



3.15 Villa Rotonda, blancheur d'un début d'après-midi d'été 4.16 couleur jaune clair d'une fin de journée

## Conclusion

Dans cette partie, j'ai analysé, à l'échelle du matériau, les qualités de la construction des villas en termes de réflexion, de résistance, capacité thermique et d'économie.

La qualité du travail des artisans ainsi que l'exigence de l'architecte ont abouti à la perfection d'une réalisation technique acclamée. Elles jouent un grand rôle dans le bien-être des habitants, car elles assurent à la fois le plaisir visuel, mais aussi sensoriel au sens large. Ce sont ces plaisirs sensoriels et cette qualité de vie qui sont à l'origine des efforts fournis pour préserver ces constructions pendant près de cinq siècles. Car, si la construction frappe par sa durabilité, il faut reconnaître le travail et le budget immenses investis par les propriétaires et la Région pour les préserver. Malheureusement, certaines villas n'ont pas résisté aux dégâts du temps, d'autres comme la villa Contarini sont devenues méconnaissables après de nombreuses transformations suivant les modes des siècles qui suivirent. D'autres villas ont été rachetées par la municipalité et ouvertes aux visiteurs. Certaines, comme la Foscari ou la villa de la famille Emo, malgré les aléas du temps, sont toujours habitées par leurs propriétaires. L'architecte Kim Williams relativise leur résistance au temps et, selon lui, ces villas aussi durables et résistantes soient-elles, un jour disparaîtront :

These "houses" are in fact very large buildings that are expensive to maintain in the best of circumstances, often requiring extensive intervention to repair the ravages of time and wear; they are, moreover, under strict supervision of the authorities so that permission to intervene is difficult to obtain and repairs made more expensive than usual. Unfortunately, it cannot be taken for granted that because the villas have lasted five hundred they will continue to survive.<sup>25</sup>

<sup>24</sup> Burns, « Palladio Workshop 1993 ».

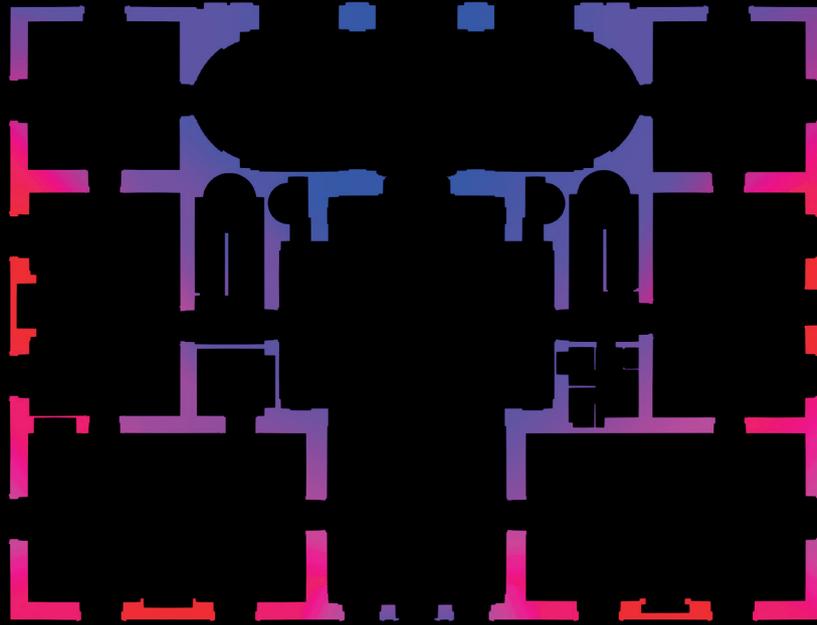
<sup>25</sup> Kim Williams, Giovanni Giaconi, et Andrea Palladio, *The Villas of Palladio* (Princeton Architectural Press, 2003).

Aussi, comme le savoir architectural de Vitruve qui a pu être réinvesti grâce à ses écrits et l'étude des ruines antiques, l'architecture de Palladio trouve aussi sa pérennité dans ses dessins et les conseils qu'il donne aux générations futures dans ses traités d'architecture, qui dans mes recherches, ont été une ressource extrêmement précieuse. Son héritage est aussi présent dans les édifices de ses disciples et admirateurs en Italie, en Angleterre et aux États-Unis, réinterprétant son architecture dans le but de reproduire la même qualité technique, esthétique et surtout atmosphérique (Fig. 3.16).



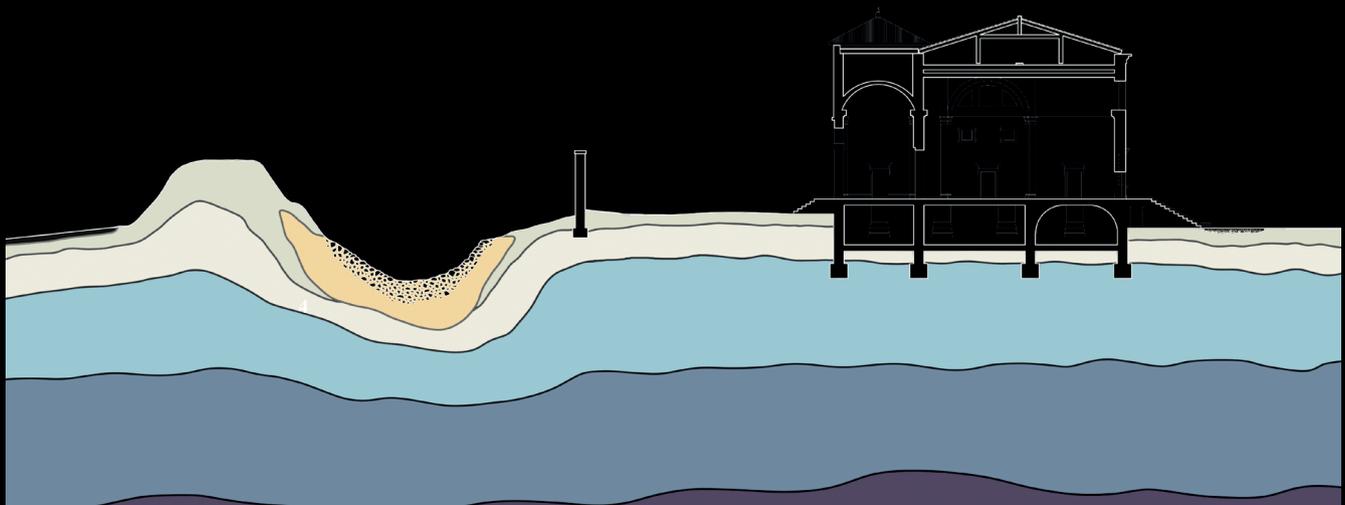
3.16 La Maison-Blanche, à Washington, James Hoban, 1792



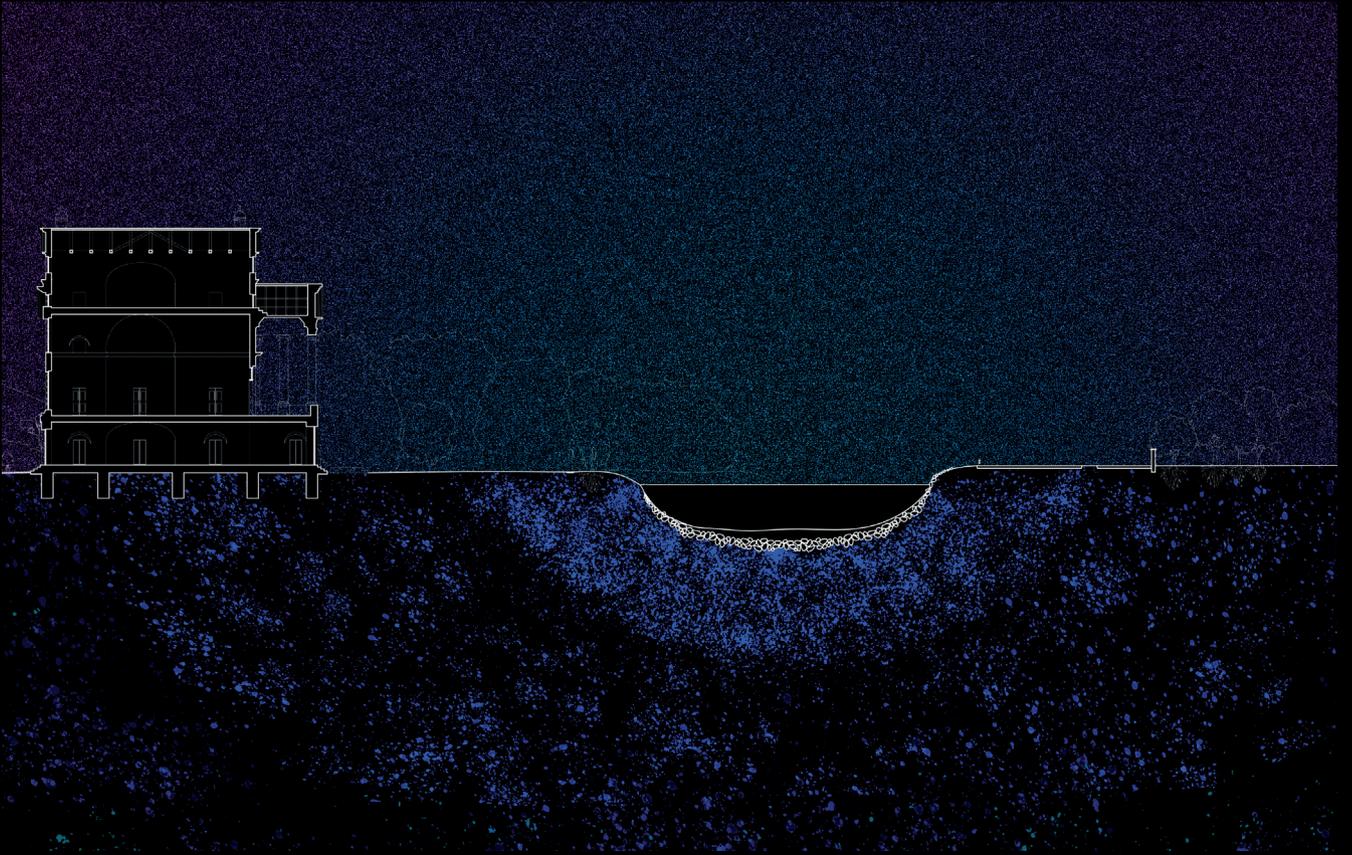


Dessin d'analyse 3.1 : Énergie stockée en été, villa Pisani, réalisé par Christian Kalmus et Elitsa Ilieva, studio Baukunst, EPFL, 202

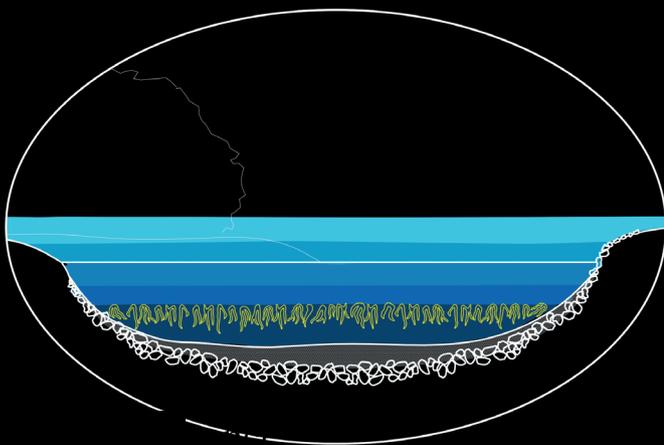
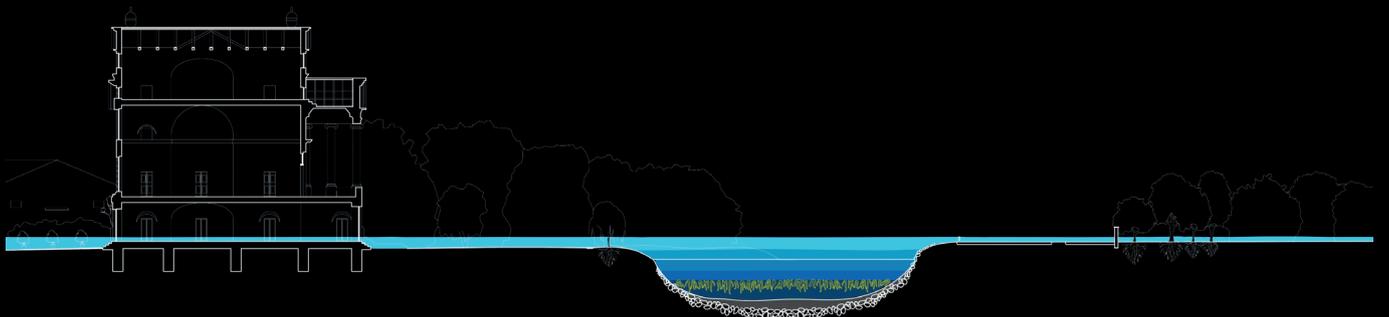
- Sediments
- Humus
- Topsoil
- Subsoil
- Weathered rock fragment, Groundwater
- Bedrock



Dessin d'analyse 3.2 : Coupe géologique, villa Pisani, réalisé par Christian Kalmus et Elitsa Ilieva, studio Baukunst, EPFL, 2021



Dessin d'analyse 3.3 : Humidité et évaporation, villa Foscari, réalisé par Hamza El Graoui et Jonas Elben, studio Baukunst, EPFL, 2021



- Flood of 1966
- Seasonal Change
- Drought
- Seaweed
- Sediment

Dessin d'analyse 3.4 : Niveaux des eaux, villa Foscari, réalisé par Hamza El Graoui et Jonas Elben pour le studio Baukunst, EPFL, 2021



# CONCLUSION



Durant cette recherche, j'ai montré que l'on avait encore beaucoup à apprendre de l'architecture de Palladio. Sous un angle à la fois climatique, social et durable, j'ai pu révéler un savoir précieux mis en œuvre dans les villas de la Renaissance. Les découvertes de ces recherches seront résumées dans les pages suivantes sous forme d'une liste de principes, que j'essaierai d'appliquer et d'enrichir dans mes futurs projets, afin d'assurer une architecture bioclimatique, à l'écoute des besoins de ses habitants et en harmonie avec son environnement. (voir page 98 à 100).

En effet, certains principes réintégré à l'architecture, tels que des occupations différentes des pièces en fonction des saisons, peuvent représenter de vrais champs d'exploration pour les projets bioclimatiques. D'autres concepts, comme le rôle important de la végétation, l'utilisation de protections solaires ou de la couleur blanche en façade, peuvent sembler évidents, pourtant leur potentiel n'est pas, selon moi, encore suffisamment exploité. En effet, cette liste joue aussi un rôle de rappel pour les architectes, montrant que certaines techniques passives, si elles sont intégrées en amont dans leurs projets, peuvent avoir un grand impact climatique à l'échelle de l'habitat, mais aussi à l'échelle urbaine.

En introduction, j'ai également émis l'hypothèse que l'utilisation de systèmes passifs par l'architecte pourrait renforcer le confort des habitants et leur plaisir. Pour cela, il a fallu déconstruire le mythe moderne que l'HVAC est la seule réponse au bien-être des habitants. Cela nous a permis de porter un regard nouveau sur l'architecture de Palladio et de comprendre le rôle et la richesse des microclimats des villas, composées d'une organisation d'espaces chauds, d'autres abrités et tempérés, et, au cœur des villas et au sous-sol, les espaces les plus frais. À travers des témoignages, nous avons observé que les plaisirs générés par une telle architecture étaient variés, évolutifs et multisensoriels. Ainsi, avec les acquis issus du passé, l'architecte détient les outils pour réinvestir une pratique architecturale accentuant le plaisir des sens et le bien-être des habitants, tout en privilégiant des moyens passifs.

On sait que son rôle sera clé dans la mise en œuvre de la transition énergétique qui risque d'être vécue comme une série de contraintes par les habitants (contraintes financières, changements d'habitudes, ...). Ce dernier a ainsi le pouvoir de les compenser en introduisant cette nouvelle dimension multisensorielle et en la reconnectant à des sensations de bien-être (brise, odeur, lumière naturelle...).

Cependant, il n'est pas question de supprimer l'usage de l'HVAC, mais cette technologie doit être utilisée comme second recours. Si l'architecte réinvestit le thème du confort d'été, il sera capable de diminuer significativement les besoins en climatisation et ventilation artificielle, ce qui réduira en grande partie les consommations énergétiques des bâtiments. De plus, si Palladio se concentrait sur des commandes privées pour une classe privilégiée, il est important de rendre ce confort accessible à tous, en adaptant ces principes bioclimatiques et cette conception multisensorielle pour tout type de projet.

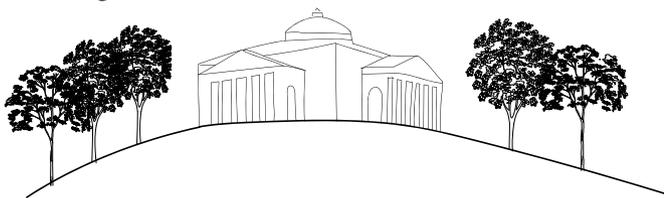
Nous savons que nous allons devoir faire face à des canicules plus fréquentes, plus fortes et plus longues. De plus, d'après des recherches de l'ETH, les villes de l'hémisphère Nord subiront une hausse de température de +3,5 °C à 4,7 °C d'ici 2050.<sup>1</sup> Ainsi, le climat de Lausanne se rapprochera progressivement de celui de la Vénétie. Face à cette urgence, les stratégies développées dans cet énoncé, contribueront non seulement à réduire la consommation énergétique des bâtiments pour lutter contre le dérèglement climatique, mais aussi à concevoir des bâtiments plus durables capables de faire face aux hausses de températures.

1 Jean-Francois Bastin et al., « Understanding Climate Change from a Global Analysis of City Analogues », PLOS ONE 14, no 7 (10 juillet 2019): e0217592, <https://doi.org/10.1371/journal.pone>.

## Principes inspirés de la Renaissance pour un projet bioclimatique :

### 1.1. Analyse du site

- . Topographie, privilégier une position en hauteur, à l'abri des intempéries.
- . Ressources en eau, favoriser une gestion de l'eau en circuit court.
- . Type de sol, si le sol est humide considérer une surélévation des espaces de vie.
- . Vue extérieure, permettre une ouverture sur le paysage pour améliorer le bien-être des habitants.
- . Pollutions, construire loin des zones dangereuses.



### 1.2. Analyse du climat

- . Direction des vents dominants, maximiser la ventilation et se protéger des vents pollués ou chauds.
- . Humidité de l'air, assurer une humidité relative inférieure à 80%.
- . Exposition au soleil, ouvertures protégées du rayonnement solaire en été (soleil haut) et exposées en hiver (soleil bas).
- . Climat sonore, considérer les sources de bruits nuisibles (voitures, boîte de nuit, ...) ou agréables (rivière, oiseaux, ...)

### 1.3 Conception typologique

- . Ventilation naturelle, assurer une circulation de l'air, verticale et horizontale.
- . Refuge de fraîcheur, valorisation des sous-sols comme pièces fraîches.
- . Cour ou hall central, permettre l'évacuation de l'air chaud et vicié.

### 1.4 Occupations des pièces

- . Espaces d'hiver, positionnés au Sud avec des plafonds plus bas.
- . Espaces d'été, positionnés au Nord avec de hauts plafonds permettant à la chaleur de monter.

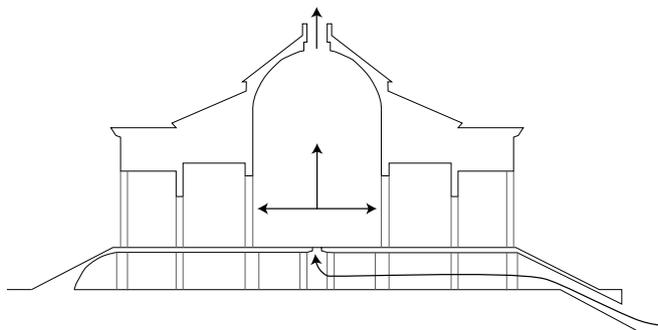
- . Espaces de nuit, privilégier une exposition Est, soleil levant.
- . Salles occupées en soirée (salle à manger, bains, ...), favoriser une exposition Ouest, soleil couchant.
- . Atelier d'artiste, chercher la lumière au Nord.

### 1.5 Protections solaires

- . Arcades, permettre à la fois des espaces de circulation protégés, mais aussi une protection des façades au rayonnement solaire direct.
- . Loggia, espaces extérieurs ombragés et protégés du vent.
- . Porche, espace d'entrée, transition intérieur/extérieur agréable et ombragée.
- . Balcon, protection solaire horizontale des espaces inférieurs.
- . Volets, protections solaires verticales contrôlées par les habitants, fermées lors des heures de forte chaleur, ouvertes lors des périodes plus fraîches.
- . Arbres, à utiliser comme source d'ombrage.

### 1.6 Représentation du climat

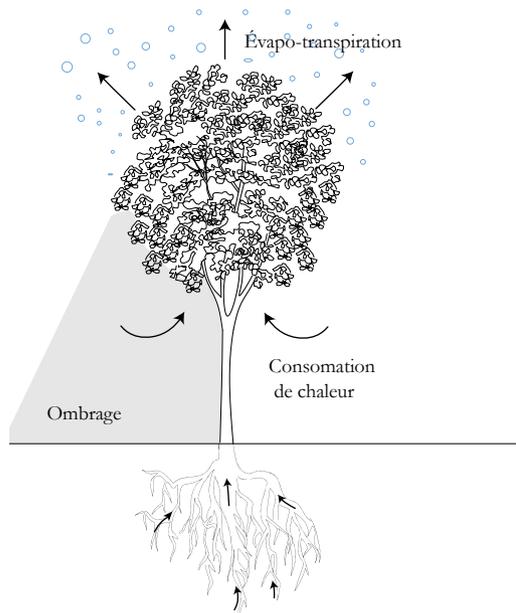
- . Air, utiliser des artefacts tels que des drapeaux, ou le mouvement de rideaux dans les images de rendus.
- . Humidité, peut être représentée par des nuages de points plus au moins denses.
- . Températures, gradients de couleurs.
- . Odeurs, présence d'objets odorants dans les images de rendu.
- . Lumière, représentation des ombres portées à différentes périodes de la journée et de l'année.



Ventilation horizontale et verticale

## 2.1 Valorisation de la nature sauvage

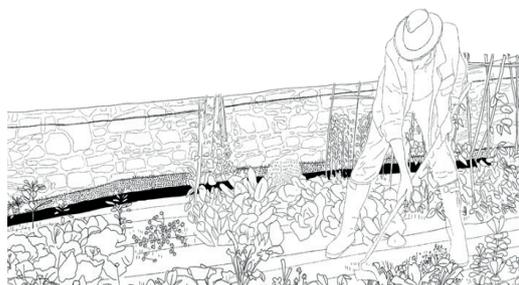
- . Végétaux présents, préserver au maximum la végétation présente sur les lieux et ajouter des espèces compatibles.
- . Présence naturelle de plan d'eau, profiter de la fraîcheur créée par son évaporation.
- . Considérer les arbres comme ombrage, source de fraîcheur et de beauté.
- . Imperméabilité des sols, préserver l'infiltration de l'eau dans les sols et le cycle naturel de l'eau.



Phénomène d'évapo-transpiration

## 2.2 Valorisation de la nature cultivée

- . Jardins collectifs, donner la possibilité aux habitants d'entretenir un jardin ou un potager proche de leurs habitations.
- . Intégration de la végétation, en façade et en toiture.
- . Espaces intérieurs lumineux, permettre la culture de plantes d'ornement.

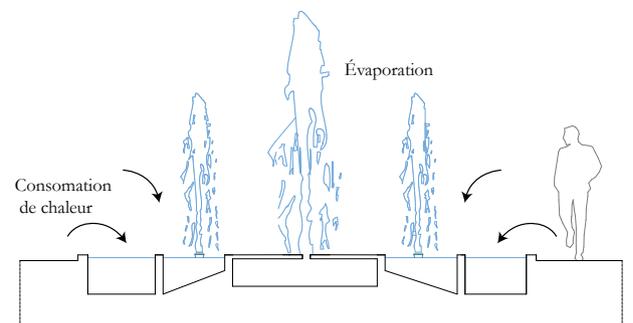


## 2.3 Espaces extérieurs

- . Activité physique, planifier des espaces propices à la pratique de sports proches des habitations
- . Méditation, réintroduire des espaces publics calmes et végétalisés.

## 2.4 Parcours fraîcheur

- . Valoriser la présence d'eau, avec des fontaines, évaporateurs, miroirs d'eau, pour rafraîchir l'espace urbain et les jardins.
- . Multiplier les espaces d'ombres, tels que les arcades, les arbres, les parasols pour abriter les passants en période de fortes chaleurs.
- . Accès à des refuges de fraîcheur, pour tous.
- . Réintroduire des espaces verts perméables dans l'espace urbain (cours d'écoles, places, ...).
- . Placer des refuges de fraîcheur à des intervalles réguliers pour couvrir un maximum de surface.
- . Carte interactive des lieux frais, répertorier les refuges de fraîcheurs.



Phénomène d'évaporation fontaine

## 2.5 Protection des personnes fragiles

- . Assurer des espaces de vie frais, pour les personnes malades, les personnes âgées et les enfants.
- . Espaces ventilés, limiter les propagations de maladies.
- . Accorder son mode de vies aux changement climatique, sortir quand les températures sont basses, ne pas s'exposer aux heures chaudes.

### 3.1. Protéger la construction des in-tempéries

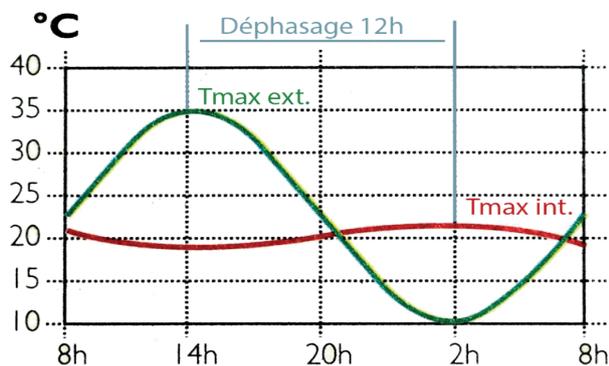
- . Inondations, ne pas construire trop proche des rives.
- . Protections, si proche de l'eau prévoir une gestion en cas de débordement par des murs ou des digues.
- . Fondation, utiliser des matériaux imperméables ou surélever le bâtiment.

### 3.2 Revêtement de façade

- . Imperméable, utiliser des revêtements résistant à l'eau.
- . Respirant, laisser passer l'humidité afin de ne pas détériorer le mur.
- . Sain, revêtement à base de chaux résistant aux moisissures.
- . Blanc, un albédo élevé permet de limiter l'emménagement de chaleur dans les murs.
- . Lisse, augmente la réflectivité et assure une bonne luminosité des espaces intérieurs.

### 3.3 Inertie thermique

- . Variation de températures intérieures, utiliser des matériaux avec une grande inertie thermique pour stocker la chaleur des heures chaudes et la dissiper quelques heures plus tard.
- . Effusivité élevée, utiliser des matériaux qui absorbent rapidement la chaleur et laissent une sensation de fraîcheur au touché (Terrazzo, marbres, pierre).



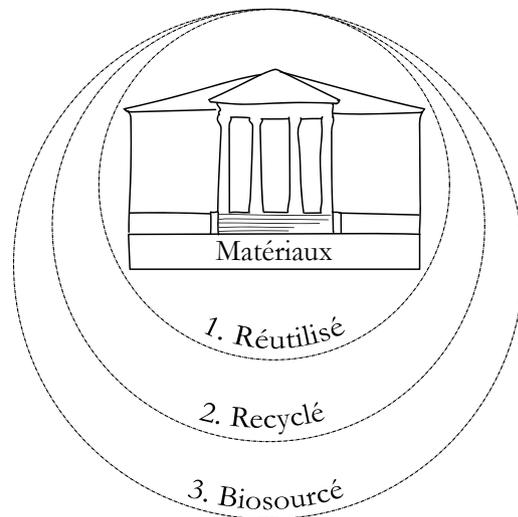
Phénomène de déphasage thermique

### 3.4 Isolant

- . Isolant, utiliser des matériaux avec une forte proportion en air, laine de verre, pailles, briques, etc.
- . Isolation continue, sur toutes les façades, en toiture et aux niveaux des sols.

### 3.5 Réutilisation

- . Réutilisation, privilégier des matériaux réutilisés et rénover des structures existantes.
- . Limiter les déchets de chantier, intégrer les chutes de chantier à la composition de nouveaux matériaux.
- . Limiter les transports, par l'utilisation de composants et matériaux déjà présents dans l'environnement proche.
- . Utilisation de matériaux biosourcés



### 3.6 Maintenance, préservation

- . Assurer l'entretien de la couleur et du lissage des surfaces de revêtement mural.
- . Assurer le financement de l'entretien des constructions bioclimatiques par des avantages fiscaux compensés par des taxes sur les constructions qui ne respectent pas les principes énoncés ci-dessus.





Villa urbaines, parc de Valency, Lausanne, 2020 (photo : villa\_urbaine\_urban\_villa)

## Introduction au projet de fin de master :

La notion de réutilisation est devenue centrale dans ma pratique de l'architecture. Dans ce projet il s'agira à la fois de réduire la consommation en énergie opérationnelle du bâtiment par une architecture bioclimatique, mais aussi en énergie grise. L'énergie grise est l'énergie utilisée pour construire un bâtiment et le maintenir pendant sa durée de vie utile. Le projet sera donc un travail sur la réhabilitation de bâtiments, en y intégrant des systèmes de confort bioclimatiques.

Une proposition serait de cibler les plots lausannois, aussi connus sous le nom de villas lausannoises. Cette typologie de la villa urbaine est apparue à la fin du XIXe et s'est fortement développée entre 1880 et 1930.<sup>2</sup> Ces constructions sont hautes de trois à cinq étages et comportent un ou plusieurs logements liés par une cage d'escalier collective. J'ai tout d'abord choisi ces constructions en raison de leur proximité géographique qui me permettra de faire une analyse précise du site et de son climat. Je les ai également choisies car elles possèdent des caractéristiques rappelant l'environnement de la villa palladienne : situées en hauteur sur un terrain en pente, avec une vue dégagée sur le paysage et souvent accompagnées de jardins. Aussi, ces villas lausannoises furent construites pour résister aux froids et souvent accompagnées de systèmes de chauffage collectifs anciens et peu efficaces. De plus j'aimerais évaluer leurs résistances aux futures périodes de fortes chaleurs.

Avec l'aide d'une autre étudiante, l'idée serait d'évaluer le confort de leurs habitants actuels par des sondages sur leur perception et leurs appréciations de ces bâtiments. Mais je voudrais aussi étudier leur consommation énergétique globale, pour ensuite proposer une réhabilitation réduisant à la fois la consommation énergétique du bâtiment tout en accentuant le confort et les plaisirs de ses habitants. Notre objectif en travaillant à plusieurs est d'étendre le projet à l'échelle du quartier et d'apporter des solutions qui dépassent la villa individuelle.

---

<sup>2</sup> Benoit Jacques et Rui Filipe Pinto, éd., *Urban villa: the Lausanne example*, 1re éd. (Boston: Birkhäuser, 2021).

## Sources iconographiques

Image couverture Eric butty et Milena Sommer, studio Baukunst, EPFL, 2021.

Dessin 1.1 Eric butty et Milena Sommer, studio Baukunst, EPFL, 2021.

Dessin 1.2 Eric butty et Milena Sommer, studio Baukunst, EPFL, 2021.

Dessin 1.3 Matthieu Sisteck et Sebastien Wegmuller, studio Baukunst, EPFL, 2021.

Dessin 1.4 Matthieu Sisteck et Sebastien Wegmuller, studio Baukunst, EPFL, 2021.

Dessin 2.1, Marwan Abansir et Fabien Maes, studio Baukunst, EPFL, 2021.

Dessin 2.2 Marwan Abansir et Fabien Maes, studio Baukunst, EPFL, 2021.

Dessin 2.3, Margaux Rakoczy et Nora Reis, studio Baukunst, EPFL, 2021.

Dessin 2.4, Margaux Rakoczy et Nora Reis, studio Baukunst, EPFL, 2021.

Dessin 3.1 Christian Kalmus et Elitsa Ilieva, studio Baukunst, EPFL, 2021.

Dessin 3.2 Christian Kalmus et Elitsa Ilieva, studio Baukunst, EPFL, 2021.

Dessin 3.3 Hamza El Graoui et Jonas Elben, studio Baukunst, EPFL, 2021.

Dessin 3.4 Hamza El Graoui et Jonas Elben, studio Baukunst, EPFL, 2021

Fig. 1 « Confort Thermique – Habiter Sa Classe », consulté le 9 janvier 2022, <http://www.habiter-saclasse.be/boite-a-outils/confort-thermique/>.

Fig. 2 « A Home Is not a House », publié dans *Art in America*, avril 1965.

Fig 1.1 Ottavio Bertotti Scamozzi, *Quattro libri dell'Architettura*, 1781.

Fig 1.2 Wikimedia Commons

Fig 1.2 « Brandpunten en watermachines ». Consulté le 15 janvier 2022. <https://www.nrc.nl/nieuws/2011/05/19/brandpunten-en-watermachines-12016535-a570591>.

Fig 1.3 <https://www.chiccomargaroli.it/natura-del-presente-2/>

Fig. 1.5 Euro Business Communication Verlag. « News ». Euro Business Communication Verlag GmbH, 31 mars 2020. <https://www.touristik-aktuell.de/reise-reportagen/europa/news/datum/2012/01/27/harmonie-als-lebensgefuehl/>.

Fig. 1.6 Mario Ferrara, <https://divisare.com/projects/330955-andrea-palladio-mario-ferrara-la-rottonda-di-andrea-palladio>.

Fig 1.7 Barbara Kenda, éd., *Aeolian winds and the spirit in Renaissance architecture: Academia Eolia revisited* (New York: Routledge, 2006).

Fig 1. Wikimedia Commons

Fig 1.9 Maurizio Sartoretto.

Fig 1.10 R. Streitz tiré de Pierre Caye and Daniel Barbaro, *Le Savoir de Palladio: Architecture, Métaphysique et Politique Dans La Venise Du Cinquième, L'esprit et Les Formes* (Paris: Klincksieck, 1995).

Fig 1.11 Ottavio Bertotti Scamozzi, 1778.

Fig 1.12, 13 <http://ascravena.com/2055-2/>

Fig 1.14 Margherita Ferrucci and Fabio Peron, "Ancient Use of Natural Geothermal Resources: Analysis of Natural Cooling of 16th Century Villas in Costozza (Italy) as a Reference for Modern Buildings," *Sustainability* 10, no. 12 (December 2018): 4340, <https://doi.org/10.3390/su10124340>.

Fig 1.15 Ibidem.

Fig 1.16 Barbara Kenda, éd., *Aeolian winds and the spirit in Renaissance architecture: Academia Eolia revisited* (New York: Routledge, 2006).

Fig 1.17 Margherita Ferrucci and Fabio Peron, "Ancient Use of Natural Geothermal Resources: Analysis of Natural Cooling of 16th Century Villas in Costozza (Italy) as a Reference for Modern Buildings," *Sustainability* 10, no. 12 (December 2018): 4340, <https://doi.org/10.3390/su10124340>.

Fig. 1.18 Barbara Kenda, éd., *Aeolian winds and the spirit in Renaissance architecture: Academia Eolia revisited* (New York: Routledge, 2006).

Fig 1.19 Ibidem.

Fig 1.20 Ibidem.

Fig 1.21 Matthias Schaller.

Fig 1.22 Barbara Kenda, éd., *Aeolian winds and the spirit in Renaissance architecture: Academia Eolia revisited* (New York: Routledge, 2006).

Fig 2.1 Giorgione, *Galleria dell' Accademia, Venice*, 1508.

Fig 2.2 James S. Ackerman, *La villa: de la Rome antique à LeCorbusier*, Collection 35/37 (Paris: Hazan, 1997).

Fig 2.3 Agriturismo Cacorniani. « Villa Barbaro di Maser: arte, natura e vino », 10 septembre 2021. <https://www.coopcacorniani.it/ita/villa-barbaro-di-maser-arte-natura-e-vino/>.

Fig 2.4, 5 « Web Gallery of Art, searchable fine arts image database ». Consulté le 15 janvier 2022. <https://www.wga.hu/frames-e.html?html/v/veronese/07/1view0.html>.

Fig 2.6 Wikimedia Commons

Fig 2.7 Wikimedia Commons

Fig 2.8 journal CASTELLANA, 2018.

Fig 2.9 « Villa Emo and Villa Godi ». Consulté le 15 janvier 2022. [https://warwick.ac.uk/fac/arts/history/students/modules/hi3g9/sitevisits/emo\\_and\\_godi/](https://warwick.ac.uk/fac/arts/history/students/modules/hi3g9/sitevisits/emo_and_godi/).

Fig 2.10 Wikimedia Commons

Fig 2.11 « PALLADIO The Architect and His Influence in America - YouTube », consulté le 4 décembre 2021, <https://www.youtube.com/>.

Fig 2.12 « Palazzo Chiericati (Italy) | FILA Solutions ». Consulté le 15 janvier 2022. <https://www.filasolutions.com/fra/etudes-de-cas/palazzo-chiericati>.

Fig Chiericatti « Universidad de Navarra. Historia de la Arquitectura. History of Architecture ». Consulté le 15 janvier 2022. <http://www.unav.es/ha/005-PALA/fachadas-chiericati.htm>.

Fig 3.1 Wikimedia Commons.

Fig 3.2 info@arte.it, ARTE it Srl-. « Invito a Palazzo 2016 - Mostra - Vicenza - Palazzo Chiericati - Arte.it ». Consulté le 28 décembre 2021. <http://www.arte.it/calendario-arte/vicenza/mostra-invito-a-palazzo-2016-30055>.

Fig. 3.3 A.Bacchella <http://lamalcontenta.com/index.php/en/architecture-archive/immagine-interne>.

Fig 3.4 Ibidem.

Fig 3.5 The Higher Inquietude. « THE PALLADIAN VILLA », 22 novembre 2014. <https://higherinquietude.wordpress.com/2014/11/21/the-palladian-villa/>.

Fig 3.7 A. Rusconi, *Della Architettura di Gio*, 1590

Fig 3.8 <http://lamalcontenta.com/index.php/en/architecture-archive/immagine-interne>.

Fig. 3.9 Andrea Palladio, « I muri di cementi » (« maçonnerie de béton faite de petites pierres »), d'Andrea Palladio, *I Quattro libri dell'architettura* (Venise : Domenico de' Franceschi, 1570)

Fig 3.10 Louis Cellauro, Louis Cellauro et Gilbert Richaud, *Palladio and concrete: archaeology, innovation, legacy*, LermArte 26 (Roma: « L'Erma » di Bretschneider, 2020).

Fig 3.11 Aldo Ballo.

Fig 3.12 D. C. Winfield et al., « La Conservation des Peintures Murales », *Studies in Conservation* 23, no 3 (août 1978): 130, <https://doi.org/10.2307/1505827>.

Fig 3.13 Wikimedia Commons.

Fig 3.14 Pinterest

Fig 3.15 « Andrea Palladio – Villa Rotonda – Dan Studio ». Consulté le 15 janvier 2022. <http://danstudio.org/blog-eng/andrea-palladio-villa-rotonda/>.

Fig 3.16 Pinterest

Fig. 3.16 Wikimedia Commons.

# Bibliographie

## Livres et publications

Ackerman, James S., et James S. Ackerman. *La villa: de la Rome antique à LeCorbusier*. Collection 35/37. Paris: Hazan, 1997.

Andreou, Andreas, John Barrett, Peter G. Taylor, Paul E. Brockway, et Zia Wadud. « Decomposing the Drivers of Residential Space Cooling Energy Consumption in EU-28 Countries Using a Panel Data Approach ». *Energy and Built Environment* 1, no 4 (1 octobre 2020): p.432 42.

Arsenault, Raymond. « The End of the Long Hot Summer: The Air Conditioner and Southern Culture ». *The Journal of Southern History* 50, no 4 (1984): 597 628.

Banham, Reyner. *The architecture of the well-tempered environment*. 2nd ed. Chicago: University of Chicago Press, 1984.

Bastin, Jean-Francois, Emily Clark, Thomas Elliott, Simon Hart, Johan van den Hoogen, Iris Hordijk, Haozhi Ma, et al. « Understanding Climate Change from a Global Analysis of City Analogues ». *PLOS ONE* 14, no 7 (10 juillet 2019).  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217592>

Bentmann, Reinhard, Michael Mueller, Craven David, Tim Spence, et David Craven. *The Villa As Hegemonic Architecture*. Atlantic Highlands, N.J: Humanities Press International Inc., U.S., 1993.

Caye, Pierre, et Daniel Barbaro. *Le savoir de Palladio: architecture, métaphysique et politique dans la Venise du Cinquecento. L'esprit et les formes*. Paris: Klincksieck, 1995.

Cellauro, Louis, et Gilbert Richaud. *Palladio and concrete: archaeology, innovation, legacy*. *LermArte* 26. Roma: « L'Erma » di Bretschneider, 2020.

Cofaigh, Eoin O., John A. Olley, et J. Owen Lewis. *The climatic dwelling: an introduction to climate-responsive residential architecture*. Publication no. EUR 16615 of the European Commission. London: James & James (Science Publishers) Ltd. on behalf of the European Commission, Directorate General XII for Science Research and Development, 1996.

Coleman, Nathaniel. *Materials and Meaning in*

*Architecture: Essays on the Bodily Experience of Buildings*. Bloomsbury Publishing, 2020.

Ferrucci, Margherita, et Fabio Peron. « Ancient Use of Natural Geothermal Resources: Analysis of Natural Cooling of 16th Century Villas in Costozza (Italy) as a Reference for Modern Buildings ». *Sustainability* 10, no 12 (décembre 2018): 4340.

Guéné, Franck Gérard. « De l'idée architecturale aux lieux de l'architecture: l'approche du lieu comme révélateur de la posture et du regard de l'architecte sur le monde ». Thèse de doctorat, Université de Strasbourg, 2009.

Heschong, Lisa. *Thermal Delight in Architecture*. MIT Press, 1979.

Jacques, Benoit, et Rui Filipe Pinto, éd. *Urban villa: the Lausanne example*. 1re éd. Boston: Birkhäuser, 2021.

Kenda, Barbara, éd. *Aeolian winds and the spirit in Renaissance architecture: Academia Eolia revisited*. New York: Routledge, 2006.

Kubelik, Martin. « Palladio's Villas in the Tradition of the Veneto Farm ». *Assemblage*, no 1 (1986): 91 115.

Le Corbusier. *La ville radieuse*. Marseille: Parenthèses, 1935.

Lupton, Ellen, et Andrea Lipps. *The Senses: Design Beyond Vision*. Chronicle Books, 2018.

Moore, John E. Review of *Review of The Villa as Hegemonic Architecture*, Michael Müller, par Reinhard Bentmann, Michael Müller, Tim Spence, et David Craven. *Journal of the Society of Architectural Historians* 52, no 4 (1993): 499 503.

Perrin, Guillaume. *Rafraîchissement urbain et confort d'été: lutter contre les canicules*. Malakoff: Dunod, 2020.

Rahm, Philippe. *Histoire naturelle de l'architecture, Pavillon de l'Arsenal*, 2020.

Ribouillault, Denis. « "Espace, lieu, paysage" : la représentation du paysage dans les décors italiens de la Renaissance ». *Ligeia* 7376, no 1 (2007): 33 45.

Rubin, Lane Raffaldini. « The Ecology of the Ideal Villa », 2013, 37.

Rybczynski, Witold. *The Perfect House: A Jour-*

ney with Renaissance Master Andrea Palladio. Simon and Schuster, 2013.

Savoy, Daniel. « Palladio and the Water-oriented Scenography of Venice ». *Journal of the Society of Architectural Historians* 71, no 2 (2012): 204-25. <https://doi.org/10.1525/jsah.2012.71.2.204>.

Spence, Charles. « Designing for the Multisensory Mind ». *Architectural Design* 90, no 6 (2020): 42-49. <https://doi.org/10.1002/ad.2630>.

Vassal, Véronique. « Opus Signinum, Terrazzo, Mortier et Béton de Sol : Un Etat de la Question », 25 mai 2015, 30.

Voisin, Patrick. *Écolo: écologie et environnement en Grèce et à Rome. Signets 22*. Paris: les Belles lettres, 2014.

Williams, Kim, Giovanni Giaconi, et Andrea Palladio. *The Villas of Palladio*. Princeton Architectural Press, 2003.

## videos

Ackerman, James S. « PALLADIO The Architect and His Influence in America - YouTube ». Consulté le 31 décembre 2021. <https://www.youtube.com/>.

Burns, Howard. « Palladio Workshop 1993: Villa Rotonda - YouTube ». Consulté le 1 janvier 2022. <https://www.youtube.com/>.

## Articles et sites web

Techno-Science.net. « Architecture bioclimatique - Définition et Explications ». Consulté le 21 décembre 2021. <https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Architecture-bioclimatique.html>.

« À quel point les arbres apportent-ils de la fraîcheur dans les quartiers urbains ? | Psychomédia ». Consulté le 4 janvier 2022. <http://www.psychomedia.qc.ca/sante/2019-04-26/arbres-ilots-chaueur>.

Birol, Dr Fatih. « The Future of Cooling », 2018, 92.

IEA. « Buildings – Topics ». Consulté le 21 novembre 2021. <https://www.iea.org/topics/buildings>.

Energie Plus Le Site. « Conductivité thermique des matériaux », 26 octobre 2007. <https://energieplus-lesite.be/donnees/enveloppe44/enve->

<loppe2/conductivite-thermique-des-materiaux/>.

« Confort Thermique – Habiter Sa Classe ». Consulté le 9 janvier 2022. <http://www.habiter-saclasse.be/boite-a-outils/confort-thermique/>.

LEFIGARO. « D'où vient le mot «écologie» ? », 30 août 2018. <https://www.lefigaro.fr/langue-francaise/actu-des-mots/2018/08/30/37002-20180830ART-FIG00027-d-o-vient-le-mot-ecologie.php>.

« DURABLE : Définition de DURABLE ». Consulté le 29 décembre 2021. <https://www.cnrtl.fr/definition/durable>.

Écologique, Maison. « L'inertie thermique des matériaux : béton, brique... » Futura. Consulté le 30 décembre 2021. <https://www.futura-sciences.com/maison/dossiers/batiment-inertie-thermique-cle-maison-870/page/3/>.

Frochaux, Marc. « Le béton, un principe universel: entretien avec Salvatore Aprea | Espazium », 11 novembre 2020. <https://www.espazium.ch/fr/actualites/le-beton-un-principe-universel-entretien-avec-salvatore-aprea>.

Encyclopédie de l'Histoire du Monde. « Humanisme de la Renaissance ». Consulté le 27 décembre 2021. <https://www.worldhistory.org/trans/fr/1-19263/humanisme-de-la-renaissance/>.

IDSiDE, et Lou Ancelin. « Le coefficient LRV, définition et utilité ». TecSOM - Créateur français de sols textiles depuis 1881, 12 novembre 2020. <https://www.tecsom.com/actualites/le-coefficient-lrv-definition-et-utilite>.

Statista Infographics. « Infographic: Air Conditioning Biggest Factor in Growing Electricity Demand ». Consulté le 12 novembre 2021. <https://www.statista.com/chart/14401/growing-demand-for-air-conditioning-and-energy/>.

IRIS FMG. « INSIDE PALLADIO ». Consulté le 30 décembre 2021. <https://www.insidepalladio.irisfmg.com/fr/>.

Tomasina. « L'enduit italien à la chaux "Stuc", ce qu'il faut savoir ... », 9 mai 2016. <http://tomasina-paris.com/lenduit-italien-a-la-chaux-stuc-ce-quit-faut-savoir/>.

ForumConstruire.com. « Les fondations (étude de sol, types, vide sanitaire, hérisson, ...) ». Consulté le 29 décembre 2021. <https://www.forumconstruire.com/guides/guide-fondations/>.

