

Architecture et climat autour de l'inertie thermique Matière à réflexion

Enoncé théorique
Master Architecture EPFL
2021

Marie Buffat

Suivi par le professeur Eric Lapiere
Tanguy Auffret-Postel et Fosco Lucarelli
Deuxième professeur: Elena Cogato Lanza

ABSTRACT

Face à la crise environnementale, la discipline architecturale doit se diriger vers une architecture climatique savante. Cette nouvelle mission reste dans la continuité de l'art de la construction. Cette fois, elle ne vise pas simplement à répondre aux différentes exigences, telles que les contraintes environnementales, constructives, sociales, programmatiques, ou encore esthétiques, de façon distincte. Les projets étudiés tendent tous vers l'idée de combiner ces paramètres de manière synthétique pour produire des objets qualitatifs aux logiques imbriquées, se nourrissant mutuellement. Notamment, la structure sert le climat du bâtiment et en constitue l'image; la matérialité de l'enveloppe aide à la régulation thermique et donne une dimension sensorielle. Il s'agit d'un *corpus* aux programmes, époques et contextes variés, de l'orangerie de Versailles à la Casa 1219 de Harquitectes; des réflexions architecturales dans lesquelles on décèle un intérêt commun pour les architectures situées, significatives et intégrées.



COUVERTURE

Winter group show, Peinture
à la bombe sur papier, Galerie
B&B Sheffield, taille originale
30x42cm.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	5
PLANS ET ÉPAISSEURS	7
STRATÉGIES FORMELLES	
SEMI-ENTERRÉES	13
1683, Orangerie de Versailles, France Jules Hardouin-Mansart	15
1930, Villa Tugendhat, Brno, République Tchèque, Ludwig Mies Van der Rohe	21
1948, Jacobs House II, Middleton, Wisconsin, Etats-Unis Frank Lloyd Wright	29
FERMÉES	35
1997, Dominus Winery, Napa Valley, Californie, Etats-Unis Jacques Herzog & Pierre de Meuron	37
2014, Kräuterzentrum Ricola à Laufen, Bâle, Suisse Jacques Herzog & Pierre de Meuron	45
OUVERTES	51
1998, Patios ou murs à fruits, Pavillon du Portugal, Lisbonne Alvaro Siza	53
2011, Logements sociaux collectifs, Cornebarrieu, France Perraudin Architecture	63
2014, Casa 1219, Palau-Solità i Plegamans, Espagne, Harquitectes	69
CONCLUSION	75
BIBLIOGRAPHIE	81

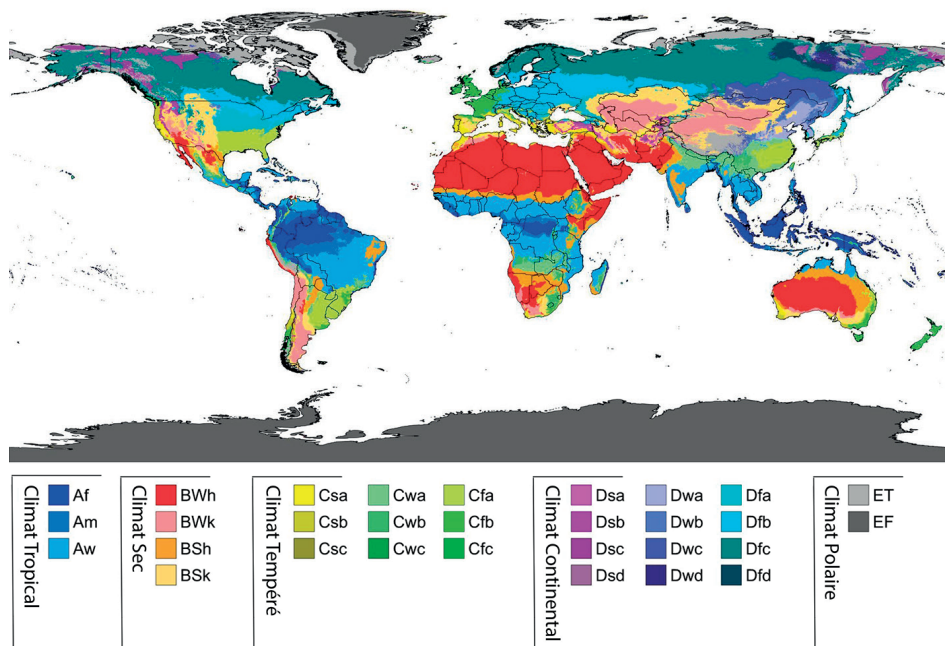


Illustration 1: carte actuelle du monde selon la classification Köppen-Geiger (1980-2016) et légende

INTRODUCTION

Le mois de juin 2020 a été le plus chaud jamais enregistré dans le monde À l'identique du mois de juin 2019. La canicule a particulièrement marqué l'Europe, où des températures de 10°C supérieures à la normale ont pu être observées. Le 20 juin 2020 précisément, un record est enregistré à l'intérieur du cercle arctique, une température de 37°C en Sibérie orientale selon Copernicus, programme d'observation de la Terre de l'Union européenne.¹ Ces chaleurs démesurées démontrent à un large public ce sur quoi les scientifiques attirent l'attention depuis longtemps: le réchauffement climatique est un fait. Outre la hausse des températures, notre planète voit augmenter la fréquence et l'intensité de phénomènes météorologiques majeurs. Sous nos latitudes, le temps va être très instable. A l'heure d'une importante prise de conscience écologique, les architectes ont le devoir de réduire les pollutions liées à la construction. Elles représentent encore 36% des émissions totales de CO₂ liées à l'énergie en Europe. L'architecture doit évoluer pour répondre aux nouvelles attentes.²

Depuis plusieurs années, les médias relèguent régulièrement ce genre d'informations. A force, on les interprète parfois comme des reproches et la responsabilité d'y faire face donne le vertige à tout étudiant d'architecture. Pourtant, on ne peut occulter ces questions. En effet, les modifications du climat changent directement la considération de l'environnement bâti. Les conditions de confort ne sont bientôt plus les mêmes. Dorénavant, il se pourrait bien que les gens ne cherchent plus en priorité la quantité, l'espace et le luxe, mais surtout un abri robuste, une atmosphère tempérée et la fraîcheur de la végétation.³ Comme le décrit Reyner Banham "L'architecture, en tant que service rendu aux sociétés humaines, ne peut être définie que comme production d'environnements adaptés aux déroulements des activités humaines"⁴ Ainsi, le théoricien propose de considérer l'architecture moins comme l'art d'élever des structures que comme celui de conditionner un climat local. L'architecture offre un 'environnement bien tempéré' dans lequel le récit est possible. Reyner Banham n'est pas le premier à lier l'architecture au climat. Déjà au Ier siècle av. J.C., Vitruve décrit cette relation: "Pour bien disposer une maison il faut avoir égard à la région & au climat où on la veut bâtir, car elle doit être autrement en Egypte, qu'en Espagne, & autrement au Royaume de Pont qu'à Rome, & ainsi diversement en différents

1. ATS. 2020. *Climat: le mois de juin 2020 a été le plus chaud jamais enregistré, à égalité avec juin 2019*. Dans: Le Nouvelliste [en ligne]. 7 juillet 2020.

2. Rollet, Pascal. 2015. «COP21 : quelle architecture à l'heure du réchauffement climatique ?». Actualités du Ministère de la Culture [en ligne]. 30 novembre au 11 décembre 2015.

3. Ursprung, Philip. 2020. «Un Viaje por los Edificios de Arquitectos». Dans: *Arquitectos 2010 2020: aprender a vivir de otra manera = learning to live in a different way*. Madrid: El Croquis.

4. Banham, Reyner, Luc Baboulet et Antoine Cazé. 2011. (1^{ère} édition en 1964.) *L'architecture de l'environnement bien tempéré*. Orléans: HXX

5.
Vitruve, 1673. « *Livre VI, Chapitre I, De la différente manière de disposer les maisons selon les différentes qualités des régions & selon les aspects du Ciel* ». Dans: Les dix livres d'architecture [Reproduction]. Paris: Coignard. p.190

6.
Jeuge-Maynard, Isabelle. 2020. *Définition 'écologie'*. Larousse. fr : encyclopédie et dictionnaires [en ligne].

7.
Kris De Decker. 2020. « *L'Enveloppe Solaire: comment chauffer et rafraichir les villes sans énergie fossile* ». Dans: Solar Low Tech Magazine [en ligne]. 5 août 2020.

8. et 10.
Rollet, Pascal. 2015. « *COP21 : quelle architecture à l'heure du réchauffement climatique ?* ». Actualités du Ministère de la Culture [en ligne]. 30 novembre au 11 décembre 2015.

9.
Olgay, Victor. 1992. *Design with climate: bioclimate approach to architectural regionalism*. New York: Van Nostrand Reinhold.

lieux: Parce qu'il y en a qui sont proches du cours du Soleil, d'autres qui en sont éloignés & d'autres qui sont au milieu de ces extrémités."⁵ Ainsi, on comprend que l'architecture est depuis longtemps dotée d'une réflexion 'bioclimatique', entendue comme celle qui tient compte du contexte climatique et de l'environnement afin d'offrir une température intérieure convenable. Or, à l'époque on ne considérait pas cette réflexion comme un paramètre écologique mais comme une question d'ancrage au contexte physique et au climat particulier. Écologique dans le sens contemporain "d'une meilleure prise en compte de l'environnement dans les sociétés humaines, de l'amélioration de la qualité de la vie, du respect de l'équilibre des milieux naturels et d'une gestion durable de leurs ressources".⁶

Pour comprendre d'où vient le problème, il faut remonter quelques années en arrière. La révolution industrielle du XIXe siècle a renversé les techniques de production et a mené à la crise climatique. Dans sa rupture avec le passé, le mouvement moderne apporte autant de principes constructifs novateurs pour l'architecture que d'impasses face aux enjeux de la crise. Kris De Decker, auteur du low-tech magazine écrit: "l'architecture moderne a tendance à produire partout des bâtiments identiques, répondant davantage à une esthétique moderne commune qu'à leur contexte climatique. Ils sont faits des mêmes matériaux, suivent les mêmes formes et sont souvent implantés et orientés indifféremment de la course du soleil et de la provenance des vents dominants."⁷ Dans ces quelques phrases, on lit la fracture liée à l'industrialisation, comment elle a mis de côté le paramètre environnemental dans sa course vers la standardisation. En effet, depuis la révolution industrielle, les métropoles ne cessent de grandir et de se densifier. Avec elles se développent les îlots de chaleur urbains, une élévation localisée des températures dans les villes par rapport aux températures moyennes environnantes. L'avènement des matériaux industriels relègue au second plan les matériaux naturels. L'industrialisation ne respecte pas de géographie. Elle n'impose plus de réfléchir aux moyens qu'on met en œuvre pour atteindre le but. Elle produit des éléments standards et les importe partout. L'architecture moderne dépend d'une énorme consommation d'énergies fossiles pour se chauffer, s'éclairer et se climatiser. A l'époque, leur prix raisonnable et leur abondance font qu'on ne détecte pas directement le problème. Toutefois, aujourd'hui, si on coupe ces bâtiments de leur source d'énergie active, ils deviennent inhabitables la plupart du temps car il leur est impossible de se réguler naturellement.⁸ Les structures érigées sont souvent extrêmement légères et fines, alors que dans la plupart des cas elles sont loin d'être loin d'être adaptées au climat. Finalement, cela rend les architectures vulnérables, à la merci des forces extérieures.⁹

Aussi, à cette époque, les humains ont commis l'erreur de penser qu'il n'y avait qu'un seul 'Homme moderne' sur la planète et que tous habitaient de la même façon. L'architecte Pascal Rollet déclare "La modernité a cru pouvoir dépasser ces questions du milieu et répandre sur la surface de la terre une architecture issue du seul génie humain et de l'industrie. [...] Même si nous avons tous le même ADN, nous ne vivons pas sous les mêmes latitudes, nous avons des perceptions et des manières de vivre différentes selon les lieux où nous vivons."¹⁰ Les constructions ne peuvent donc pas être les mêmes partout car chaque région est différente. La réflexion sur le changement climatique aide à prendre conscience de la variété des climats car on y prête plus d'attention. Pour simplifier les régions climatiques, les scientifiques

ont établi des moyens de classification, dont le plus commun est le système Köppen-Geiger inventé à la fin du XIXe siècle. Le botaniste et climatologue W. Köppen se base sur la relation entre le climat et la végétation pour établir cinq zones climatiques: climat tropical, climat sec, climat tempéré, climat continental et climat polaire. La végétation elle-même dépend de la température et des précipitations d'une région. On peut lire sur la carte du monde les cinq zones représentées par des couleurs différentes. La carte est toujours utilisée par les scientifiques et est régulièrement perfectionnée.¹¹ Connaître la région climatique dans laquelle s'inscrit un projet permet d'en tirer un portrait général, afin de définir l'emplacement, l'orientation, la forme ou encore les matériaux. Cependant, il s'agit d'une première compréhension extérieure du territoire, une visite *in situ* révèle des informations bien plus précises. On prend alors en compte de nouvelles qualités, telles que la vitesse de l'air, la température, l'humidité, les odeurs, les sons et la luminosité d'un lieu.

Malgré l'impasse du XXe siècle, il ne s'agit pas de retourner à une architecture du passé idéalisée. Certes, on apprend beaucoup de l'architecture vernaculaire, elle qui se construit selon un mode de vie local et évolue lentement. Ces connaissances accumulées sur de nombreuses années sont pleines de sagesse mais possèdent également des limites.¹² En effet, la façon d'habiter la terre change tout le temps et l'équilibre se trouve dans l'écriture d'architecture nouvelle tout en gardant à l'esprit les connaissances des bâtiments traditionnels. Le XXIe siècle se dirige vers une architecture climatique savante. D'une certaine façon, l'architecture doit arriver à une nouvelle synthèse entre les acquis de la modernité et la nécessité de faire face à l'urgence climatique. Les réalisations contemporaines apportent des réponses plus locales et situées. Elles proposent une expression spatiale et matérielle des conditions du milieu. La grande force de l'architecture est de s'adapter, de s'inspirer du contexte et de renforcer l'identité des gens.¹³ Les solutions solaires passives n'utilisent aucune source de chaleur active mais exploitent les moyens du soleil, de l'isolation, de l'inertie thermique et de la bonne circulation de l'air pour faire régner une température adéquate à l'intérieur.¹⁴ L'atout principal des bâtiments solaires passifs se situe dans la réduction de l'utilisation de ressources énergétiques non renouvelables tout au long de leur cycle de vie: lors de la construction, de l'utilisation, des réparations et de leur démantèlement. On cherche l'équilibre entre technique et ressources disponibles, technologie active et stratégies passives. Certes, la technologie a un rôle à jouer pour nous assister, mais la priorité est d'utiliser d'abord des approches passives car la technologie peut être défailante. Il ne s'agit pas de complètement revenir au monde pré-technologique mais de trouver le compromis entre actif et passif.¹⁵

Dans cette étude, on souhaite sortir d'une stratégie très techniciste. On ne s'intéresse pas aux bâtiments ordinaires sur lesquels on colle des panneaux solaires. On remarque plutôt les bâtiments particuliers dont les réponses écologiques variées font partie d'une intégralité, comme la relation entre le bâti et la topographie ou la matérialité de l'enveloppe. C'est le dispositif entier qui doit fonctionner. On apprend des architectures situées, significatives et intégrées. Il ne s'agit pas d'un *corpus* exhaustif ou spécialisé mais de projets aux programmes, époques et contextes variés. Tous sont dotés d'une réflexion bioclimatique. Celle-ci intègre la nature à la conception architecturale afin d'obtenir le confort intérieur adéquat pour les

11. Beck, H., Zimmermann, N., McVicar, T. et Al. 2018. *Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution*. Sci Data 5, 180214.

12. Lucan, Jacques, *Cours «théorie de l'architecture I&II»*, Année scolaire 2014-2015.

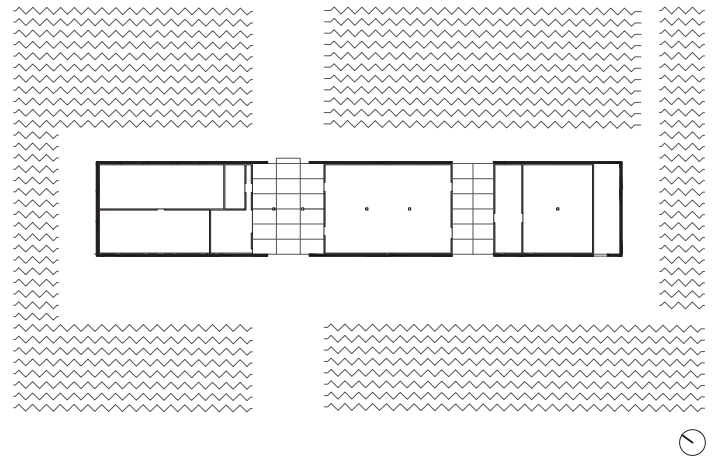
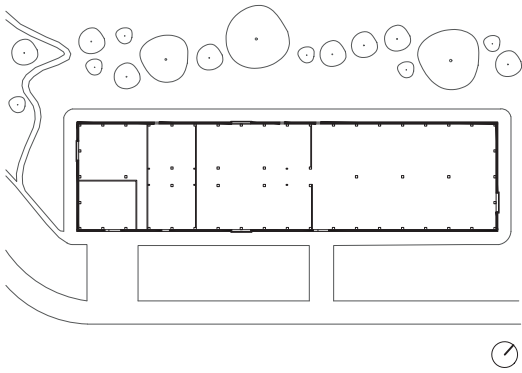
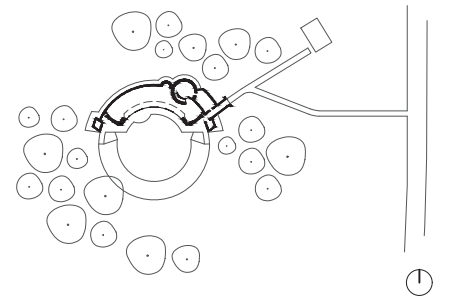
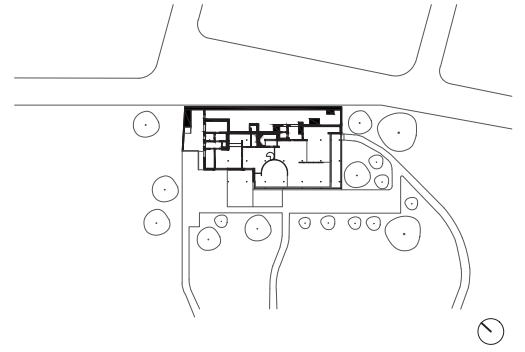
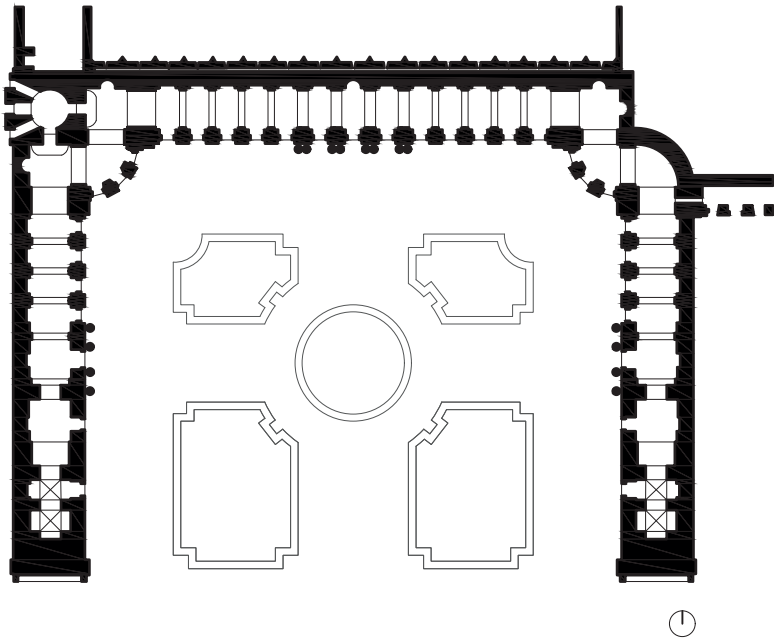
13. Rollet, Pascal. 2015. «COP21 : quelle architecture à l'heure du réchauffement climatique ?». Actualités du Ministère de la Culture [en ligne]. 30 novembre au 11 décembre 2015.

14. Bainbridge, David A., et Kenneth L. Haggard. 2011. *Passive solar architecture: heating, cooling, ventilation, daylighting and more using natural flows*. White River Junction, Vt: Chelsea Green Pub.

15. ARUP Engineering, *Conférence «Hyper-technology cycle»*, 27 octobre 2020.

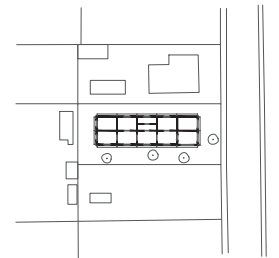
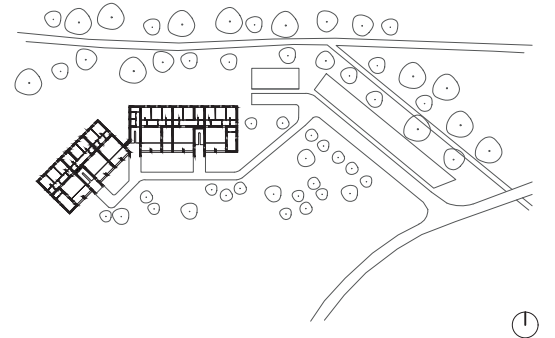
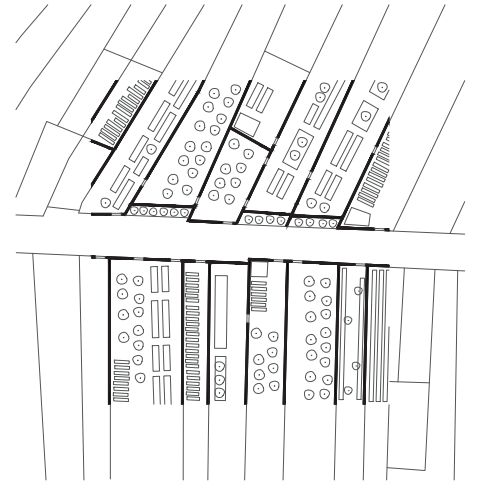
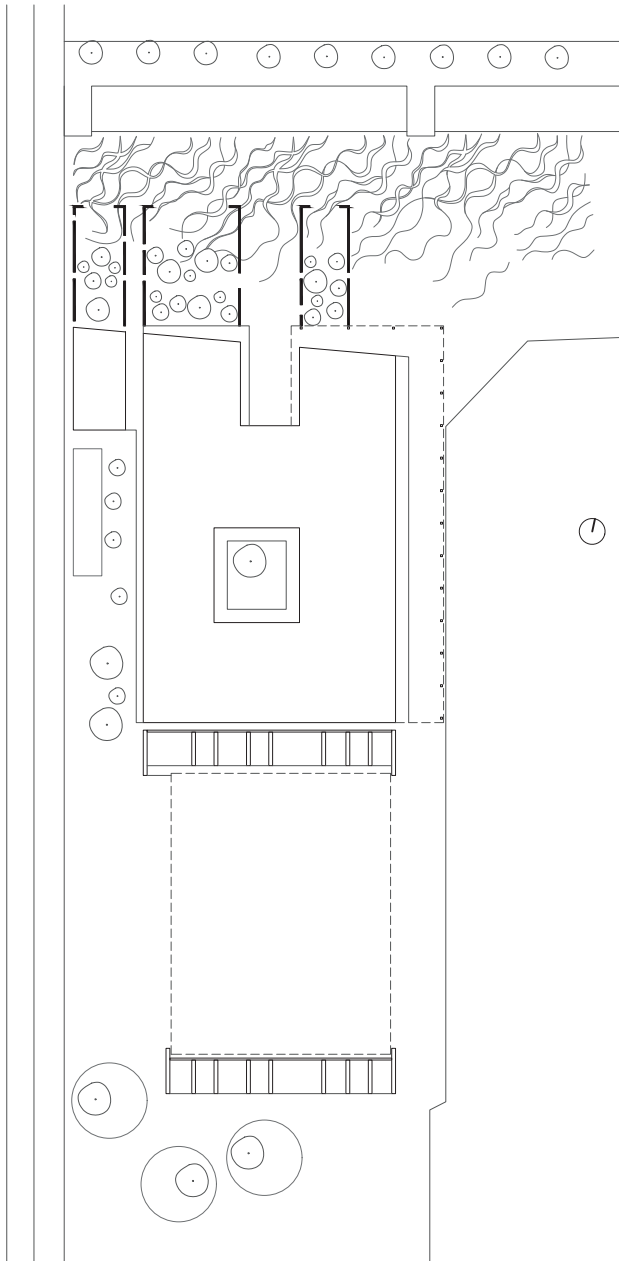
16. Beltran, Maria Angeles, Garcia, Julian et Dufrasnes, Emmanuel. 2015. *Analyse Bioclimatique de la Maison Jacobs II de Frank Lloyd Wright*.

usagers. La relation avec la nature a lieu dans le respect, sans abuser d'elle.¹⁶ De nos jours, il est important de se poser ces questions sans pour autant délaissier la qualité architecturale. La question de l'écologie devrait être envisagée non pas comme contraignante ou punitive, mais comme un paramètre enrichissant et indissociable du projet. Elle peut également servir comme générateur de forme, de tectonique et d'expression particulière. Les exigences liées au climat sont le tremplin pour écrire l'architecture et vice-versa. Les études de cas proposées par la suite appartiennent au *corpus* de l'architecture savante et disciplinaire. Elles ne visent pas simplement à répondre aux différentes exigences, telles que les contraintes environnementales, constructives, sociales, programmatiques, ou encore esthétiques, de façon distincte. Les projets étudiés tendent tous vers l'idée d'une combinaison multiplicatrice des contraintes, c'est-à-dire, qu'ils utilisent tous ces paramètres de manière synthétique pour produire des objets aux logiques imbriquées, se nourrissant mutuellement. Notamment, la structure sert le climat du bâtiment et en constitue l'image; la matérialité de l'enveloppe aide à la régulation thermique et donne une dimension sensorielle.



0 10 40m

PLANS ET ÉPAISSEURS



STRATÉGIES FORMELLES

SEMI-ENTERRÉES



Illustration 2: Stéréotomie de la galerie principale de l'orangerie © Charles Guy

1683, Orangerie de Versailles, France Jules Hardouin-Mansart

Avant le développement des serres en verre au XIXe siècle, il existait l'orangerie. C'est une version plus opaque et massive de la serre, mais toutes deux sont "des lieux d'une maison où l'on serre les plantes en hiver".¹⁷ Sa fonction première consiste à gérer un climat afin de protéger les plantes sub tropicales ou méditerranéennes découvertes lors d'explorations, puis ramenées en Europe du Nord. La galerie close renferme les fruits, légumes et arbres, principalement les orangers, pour les préserver des gelées. En Italie, on l'appelle 'limonaia' car ce sont les citrons que l'on cultivait en majorité. En général, le sol d'une orangerie est de plain-pied, dimensionné de façon à ce que les plantes en caisses puissent entrer et sortir du bâtiment sans entrave.¹⁸

Le bâtiment est orienté de façon à ce que les arcades vitrées soient tournées vers le sud. En hiver, seul le soleil réchauffe l'air intérieur de l'édifice par effet de serre. Le soleil est bas et apporte une lumière naturelle dans la pièce. Par effet de serre, il réchauffe l'air intérieur. En été, lorsque le soleil est haut, il n'entre pas directement dans le bâtiment qui est protégé par son toit opaque. De ce fait, la température d'une orangerie ne subit pas les extrêmes de chaleur et offre un espace tempéré à toute période de l'année. Son espace est lié à celui du jardin et son dispositif s'adapte selon l'alternance des saisons. Dès le printemps, les arbres sont sortis dans le parc, ainsi le volume dégagé peut devenir un lieu de repos, de contemplation ou alors accueillir de nouvelles activités, tels que concert, exposition ou scène de théâtre. Quant aux portes vitrées de la façade sud, elles restent ouvertes pour faire circuler l'air et les petits arbres offrent une ombre rafraîchissante aux visiteurs. On observe une limite entre intérieur et extérieur moins rigide pendant la belle saison.

Au château de Versailles, en 1683, le roi Louis XIV perfectionne les jardins et décide de remplacer l'orangerie de Louis Le Vau par un objet bien plus grand. Il donne cette mission à Jules Hardouin-Mansart qui doit collaborer avec André Le Nôtre, jardinier légendaire du roi.¹⁹ La région de Versailles profite d'un climat tempéré²⁰ mais à l'époque c'est le Petit Âge Glaciaire, une période de froid intense de 300 ans environ, de 1550 à 1850, qui sévit en Europe.²¹ Les conditions climatiques sont donc bien plus rudes qu'aujourd'hui.

17.
Allain, Yves-Marie. 2010. *De l'orangerie au palais de cristal: un histoire des serres*. Versailles: Éditions Quæ, p.15.

18.
Saudan-Skira, Sylvia et Saudan, Michel, 1994. *Orangeries. splendeurs et métamorphoses*, atelier d'édition « le septième fou », Genève.

19.
Jestaz, Bertrand. 2008. *Jules Hardouin-Mansart*. Librairie de l'architecture et de la ville. Paris: Picard.

20.
Merkel, Alexander. 2020. *VERSAILLES CLIMAT (France)*. Climate-Data.org [en ligne].

21.
Coutterand, Sylvain. 2017. *Le Petit-âge Glaciaire*. Glaciers-climat [en ligne].

22.
M. Piganiol de La Force.
1742. *Description de Paris, de Versailles, de Marly, de Meudon, de S. Cloud, de Fontainebleau, et de toutes les autres belles maisons & châteaux des environs de Paris*. Tome 8. Nouvelle édition.

23.
Nicolas-Vullierme, Lucie et Nouailhat, Clotilde.
2020. *L'orangerie*.
Château de Versailles [en ligne].

24.
Jestaz, Bertrand.
2008. *Jules Hardouin-Mansart*. Librairie de l'architecture et de la ville. Paris: Picard.

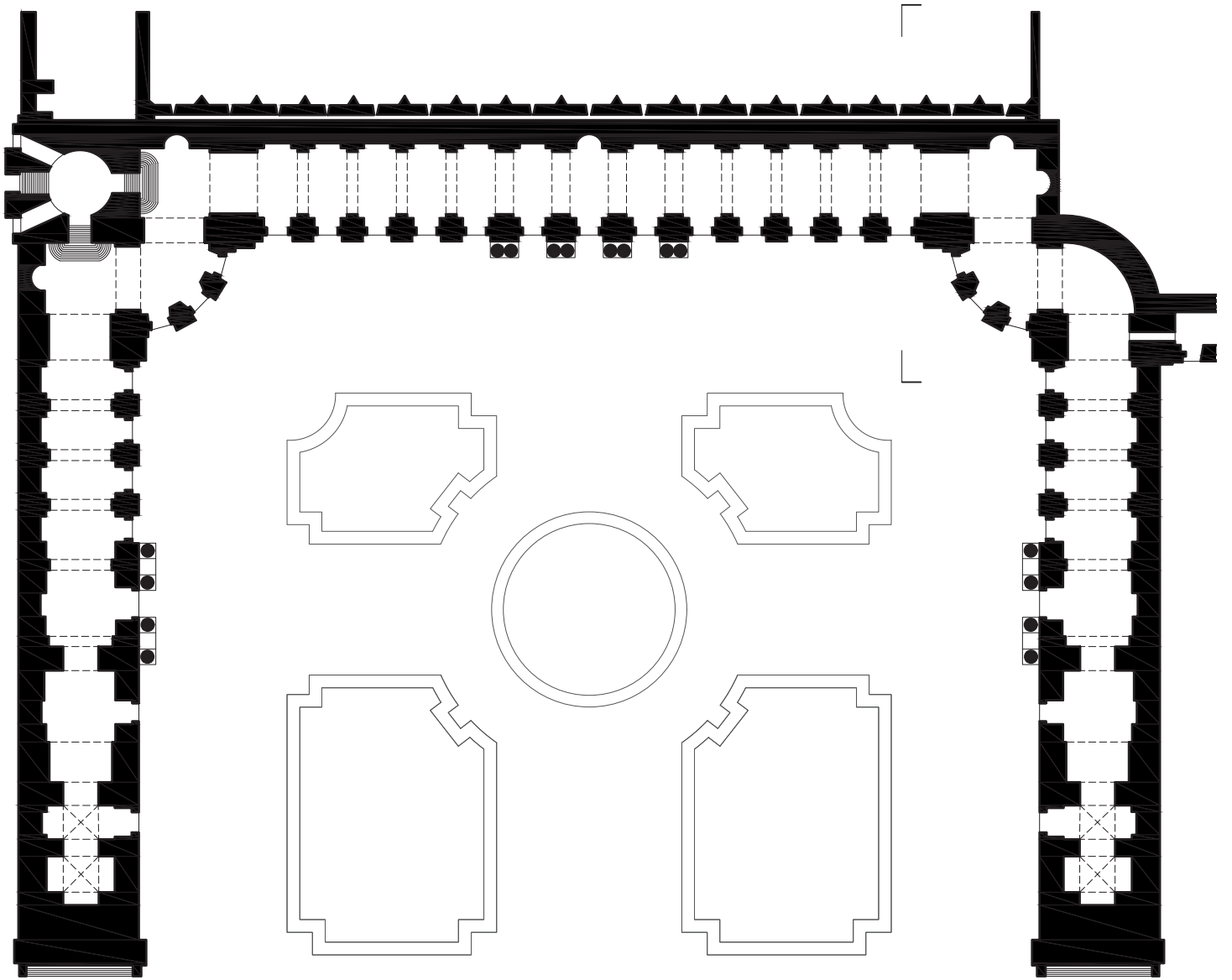
25.
Nicolas-Vullierme, Lucie et Nouailhat, Clotilde.
2020. *L'orangerie*.
Château de Versailles [en ligne].

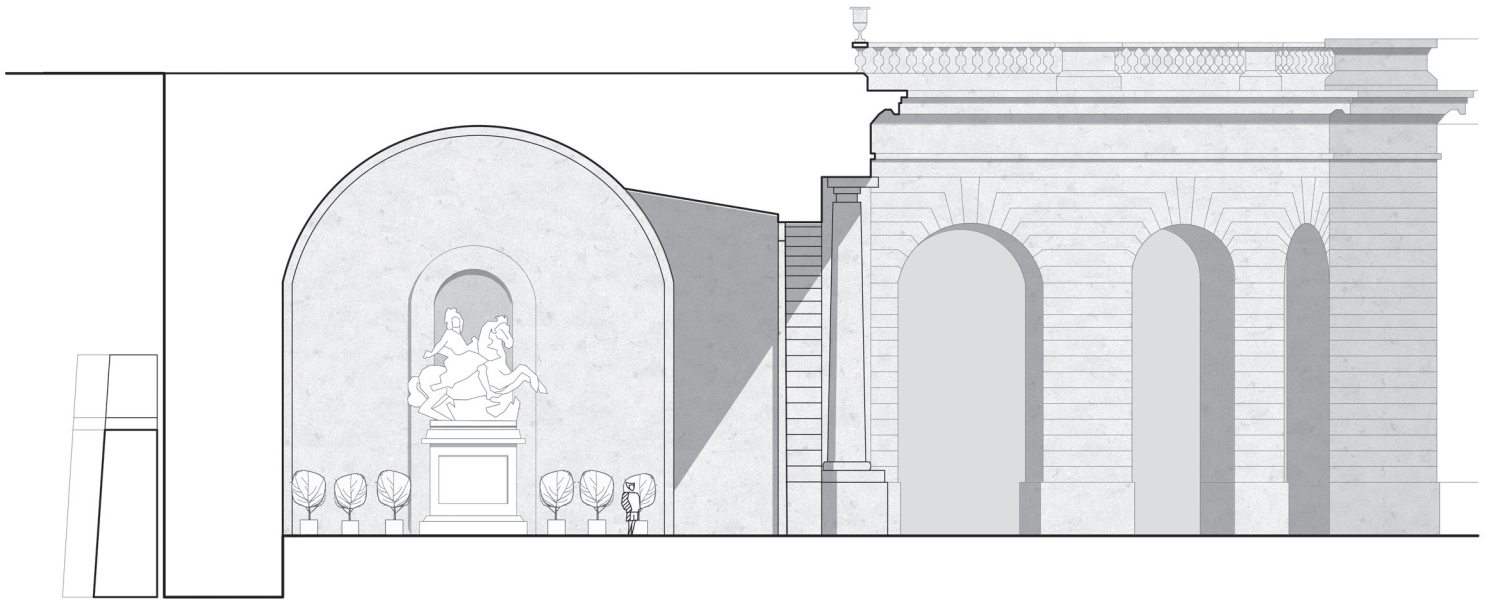
26.
Noisette, Louis. 1825.
Manuel complet du jardinage, Rousselon, Paris.

La nouvelle orangerie imaginée par l'architecte est insérée dans le terrain supportant le château et des escaliers intérieurs connectent deux niveaux de terrasses. Ainsi enterrée, l'orangerie est protégée du froid et des vents dominants. Le plan consiste en trois galeries en forme de pi ou de fer à cheval. Celle qui est dans le fond agit comme mur de soutènement et mesure 156 mètres de long. Au milieu se tient une statue du roi en marbre blanc.²² Les deux autres ailes en retour sont sous les escaliers monumentaux, dits 'des Cents-Marches', et mesurent 117 mètres de long. Elles agrandissent certes la capacité d'accueil de l'orangerie mais leur structure sert essentiellement de contrefort au mur de soutènement du parterre du Midi. L'orangerie peut accueillir plus de mille arbres en caisses.²³ Les galeries secondaires communiquent avec la galerie principale par deux tours rondes. Plus précisément, ce sont deux quarts de cercle qui contournent l'angle, facilitent la circulation et permettent de rester sur le même niveau pour le déplacement des orangers. La façade des galeries est décorée d'un style sobre avec de nombreuses arcades. Les trois portes vitrées centrales se démarquent par un avant-corps décoré d'un ordre Toscan, ordre qui reprend l'idée d'un socle robuste.²⁴

L'orangerie de Versailles est un bâtiment passif dans la mesure où il n'utilise aucune source de chaleur active. En revanche, l'énergie du soleil passant par les vitres, l'épaisseur des murs en pierre, l'inertie thermique du mur de soutènement et la bonne circulation de l'air suffisent pour faire régner une atmosphère tempérée à l'intérieur. L'hiver, la température ne descend jamais au-dessous de 5°C.²⁵ Les murs en pierre font entre 4 et 5 mètres d'épaisseur. La pierre a des propriétés de régulation hygrothermique, c'est-à-dire qu'elle régule la température et l'humidité de l'air ambiant. Bien que sa fonction première soit d'être une 'machine à climat', on lui reconnaît également une grande qualité architecturale. L'intérieur des galeries est très épuré. Cela met en avant la précision de la stéréotomie et les belles proportions des voûtes qui culminent à 13 mètres de hauteur. La pierre brute suffit à l'harmonie des lieux. On peut admirer la finesse des joints et la régularité de l'assemblage en arpentant les longues galeries. Le moment de l'angle arrondi est doté de régularité et de douceur. Toutes ces qualités démontrent un grand savoir-faire de la part de l'architecte comme des artisans de l'époque. En 1825, Louis Noisette distingue bien les serres des orangeries. Les serres sont rangées dans le domaine de l'agriculture, alors les orangeries font partie de l'univers de l'architecture et de l'art des jardins.²⁶ La partie technique enrichit la partie dessinée et inversement dans le développement conceptuel de l'orangerie de Versailles.

L'orangerie de Jules Hardouin-Mansart nous séduit autant par son architecture que par sa gestion du climat. Les deux entités sont inséparables et réunies dans un même bâtiment. Cependant, cette proposition d'architecture passive appartient à son époque et son contexte. L'orangerie était possible du temps des rois et des aristocrates où les richesses et l'espace ne manquaient pas. Ayant traversé toutes ces années pour nous montrer ses qualités, il s'agit aujourd'hui de la visiter et de l'entretenir avec soin et admiration.





0 5 15m



Illustration 3: Pièce à vivre du premier étage avec vue sur les arbres extérieurs, les stores rétractables et en fond le jardin d'hiver © bright nomad.

1930, Villa Tugendhat, Brno, République Tchèque, Ludwig Mies Van der Rohe

Ludwig Mies Van der Rohe naît en 1886 en Allemagne et meurt en 1969 à Chicago. Sa vie pourrait être divisée en deux phases séparées par l'année 1938, lors de laquelle il est contraint d'émigrer aux États-Unis. Avant cela, Mies est déjà un grand architecte au niveau européen. C'est à cette période que la villa de Brno est construite. Le couple Tugendhat est convaincu par l'assurance et le talent de l'architecte comme de l'artiste. Mies Van der Rohe est également le dernier directeur du Bauhaus à Dessau de 1930 à 1933. A l'époque, il demande à ses élèves de prendre en compte l'organisation spatiale et fonctionnelle, ainsi que d'intégrer l'air et la lumière. L'architecte est célèbre pour son travail sur la matière, l'absence totale d'éléments décoratifs et la pureté de ses formes architecturales. Son célèbre affirmation "less is more" traduit cette volonté.²⁷ Tous connaissent son principe constructif qu'il nomme «peau et os» et qui propose des façades de verre suspendues sur une structure en acier. Il développe le principe des colonnes en croix sur un plan libre, qui permettent de libérer les murs de leur fonction porteuse et d'envelopper le bâtiment par de grandes façades vitrées à travers lesquelles l'intérieur et l'extérieur s'interpénètrent.

Lorsqu'il vit à Chicago, il travaille comme architecte et enseigne l'architecture à l'Illinois Institute of Technology. Là-bas, il s'empare des matériaux de son époque, ceux de l'industrie. Les bâtiments de Mies Van der Rohe se distinguent par leur "style international" en verre, acier et béton. Il expérimente les gratte-ciels de verre qui remplacent ceux en pierre dans la ville américaine. Il se tourne vers une architecture beaucoup plus technique, néoclassique, très régulière. Il abandonne quelque peu les problématiques qu'il expérimentait en Europe, comme le pittoresque, l'espace illimité, l'irrégularité et l'équilibre, avant la période étasunienne.²⁸ On peut supposer également qu'il oublie quelque peu l'importance de l'environnement et du contexte climatique dans ses projets de tours car l'exploration du mur-rideau en verre pour les gratte-ciels modernes ne s'y prête pas.

La villa Tugendhat est une grande et riche maison familiale sur trois étages, construite en 1930 à Brno, métropole de la République Tchèque. Le climat de Brno est tempéré chaud. On observe un contraste saisonnier entre des hivers relativement froids et secs et des étés chauds et orageux.²⁹ La villa est située sur un terrain en

27.
Atelier Zidlicky. 2020.
The Architect. © 2010-
2021 Vila Tugendhat
[en ligne]. 18 décembre
2020.

28.
Lucan, Jacques, *Cours
«théorie de l'architecture
I&II»*, Année scolaire
2014-2015.

29.
Merkel, Alexander.
2020. *BRNO CLIMAT
(Tchéquie)*. Climate-
Data.org [en ligne].

pente et fait face au sud-ouest avec une vue surplombant la ville. Le bâti est soutenu par un énorme mur de béton dans le terrain. Seul l'étage supérieur est au-dessus du talus et assure la continuité avec la rue Černopolní. La construction se compose d'une ossature en acier, de dalles en béton armé et de maçonneries en briques. Les colonnes porteuses sont disposées en grille, éloignées de 5 mètres les unes des autres et traversant tous les étages de 3,20 mètres de hauteur. Elles ont un profil en croix et sont ancrées dans des fondations en béton. Un revêtement chromé et brillant est ajouté aux colonnes des pièces à vivre. A l'époque, il n'est vraiment pas courant d'utiliser le métal dans les architectures privées. La villa est une belle combinaison des principes de l'architecture moderne et des technologies de pointe. L'équipement technique de la maison est totalement novateur pour l'époque. Le système de ventilation ou l'ouverture mécanisée des larges fenêtres à guillotine est remarquable. Toutefois, c'est surtout les quelques qualités passives qui sont relevées dans cette étude théorique, justement car les bâtiments modernes, très liés à la révolution industrielle, ne sont pas les plus connus pour cette aptitude.

Dans l'étude "Villa Tugendhat as a Technical Monument - Elements of Passive Solar Architecture", les auteurs démontrent les différents dispositifs d'architecture solaire passive appliqués dans la villa. Ils entendent l'architecture solaire comme une discipline qui se concentre sur le chauffage et le refroidissement des bâtiments en utilisant l'énergie solaire. Le but d'une conception solaire passive est de maximiser le potentiel des gains d'énergie solaire en hiver et de minimiser la surchauffe en été.³⁰

30.
Maurerová, L. et J. Hirš.
2014. «Villa Tugendhat
as a Technical Monument
- Elements of Passive
Solar Architecture».
Dans: GSTF Journal of
Engineering Technology
(JET).

Tout d'abord, l'implantation et l'orientation du bâtiment est pertinente. La partie nord-est du bâtiment est placée dans la pente, ce qui permet de minimiser les pertes de chaleur car la terre elle-même sert d'isolant. Il y a une cavité d'air le long de tout le mur nord-est au niveau du deuxième étage. Il sépare le mur de soutènement et les pièces habitées. Les murs de ce côté du bâti sont massifs. Ils font au moins 60 centimètres d'épaisseur. Cette cavité d'air stable contribue à isoler le bâtiment. Tous les murs extérieurs non vitrés sont composés de briques et sont couverts de deux plaques isolantes en tourbe compressée. Côté sud-est et sud-ouest, la villa s'ouvre par ses grandes façades vitrées sur le jardin et reçoit le meilleur ensoleillement hivernal. En été, les stores en toile rétractables inclinés servent d'ombrages protecteurs aux vitres du rez et celles du premier étage sont équipées de stores à lamelles en bois. Les arbres à feuilles caduques plantés sur le côté sud-est du bâtiment fournissent un ombrage supplémentaire pour protéger le jardin d'hiver.

Le jardin d'hiver capte par effet de serre les rayons du soleil. Ces gains énergétiques permettent à la végétation de ne pas souffrir du gel comme à l'extérieur et la chaleur accumulée dans cette pièce peut être transférée dans le salon. Mies, qui a un grand intérêt pour les détails constructifs, a dessiné certains détails du système de communication de l'air intérieur. Sur le dessin de bouche de ventilation du jardin d'hiver, on observe des trappes pouvant s'ouvrir et se fermer entre la véranda vitrée et le salon. Ces aérations permettaient de réguler l'air chaud entrant et sortant. Le système de ventilation du jardin d'hiver a un impact majeur sur le climat intérieur. L'utilisation d'un pareil système dans une maison familiale était unique en Europe dans les années 1930.³¹

31.
Iveta Černá, Dagmar
Černoušková, Ivan
Wahla, Milan Záček,
David Židlický. 2011.
*The Villa Tugendhat
during the Course of
Monument Renovation
Work, Průzkumy
památek, roč. XVIII.*

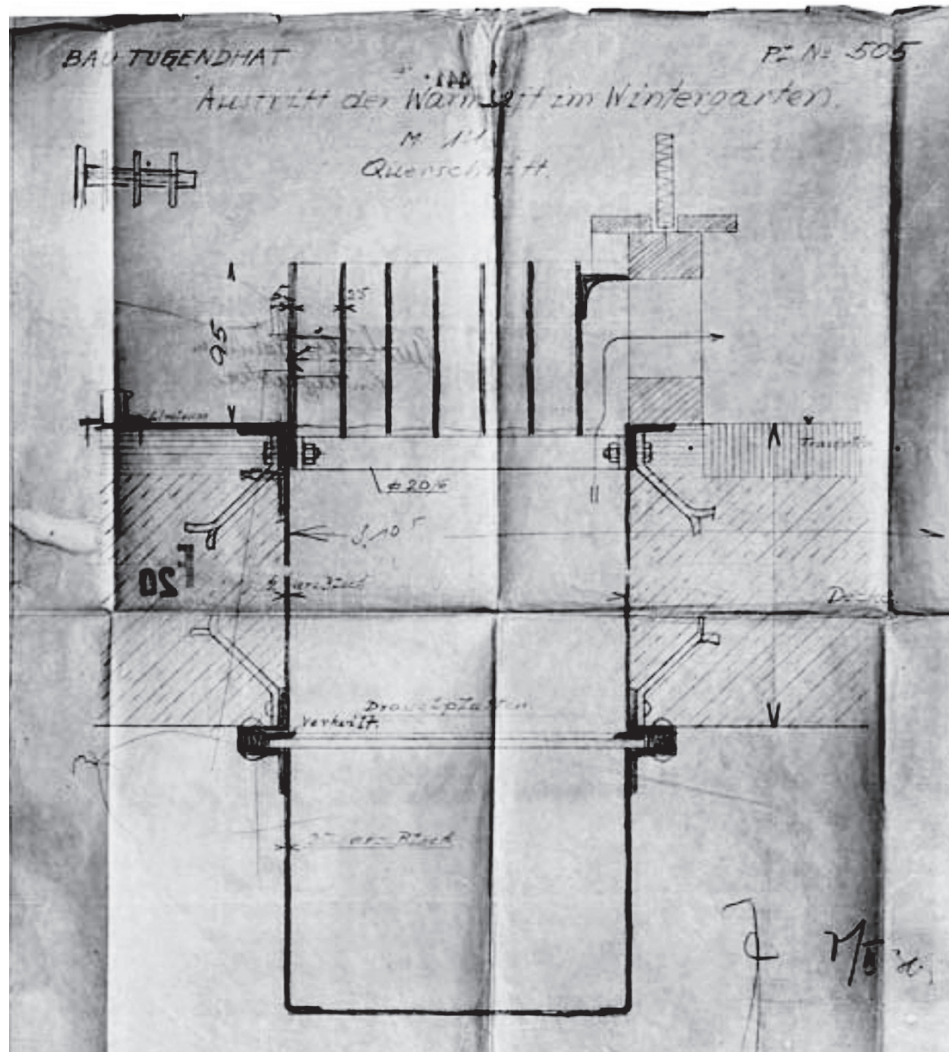


Illustration 4: Détail 1:1, coupe longitudinale de la bouche d'air pour la circulation de l'air chaud par la vitre du solarium vers la zone de séjour principale © collections du département d'histoire de l'architecture et de l'urbanisme de Brno.

Une fois la chaleur captée par les fenêtres, il s'agit de la stocker dans la masse thermique. On trouve plusieurs éléments à forte inertie permettant d'accumuler la chaleur. Tout d'abord, les murs épais contre le terrain et les dalles en béton armé forment la plus grande masse de stockage thermique. Au-dessus de ces dalles, les revêtements de sol ont été choisis en fonction de l'intention de chaque pièce. Il y a du travertin d'Italie et des carreaux de céramique dans la cuisine et du linoléum dans les salons. La capacité thermique des différents éléments permet d'accumuler la chaleur du soleil en hiver et la restituer la nuit.

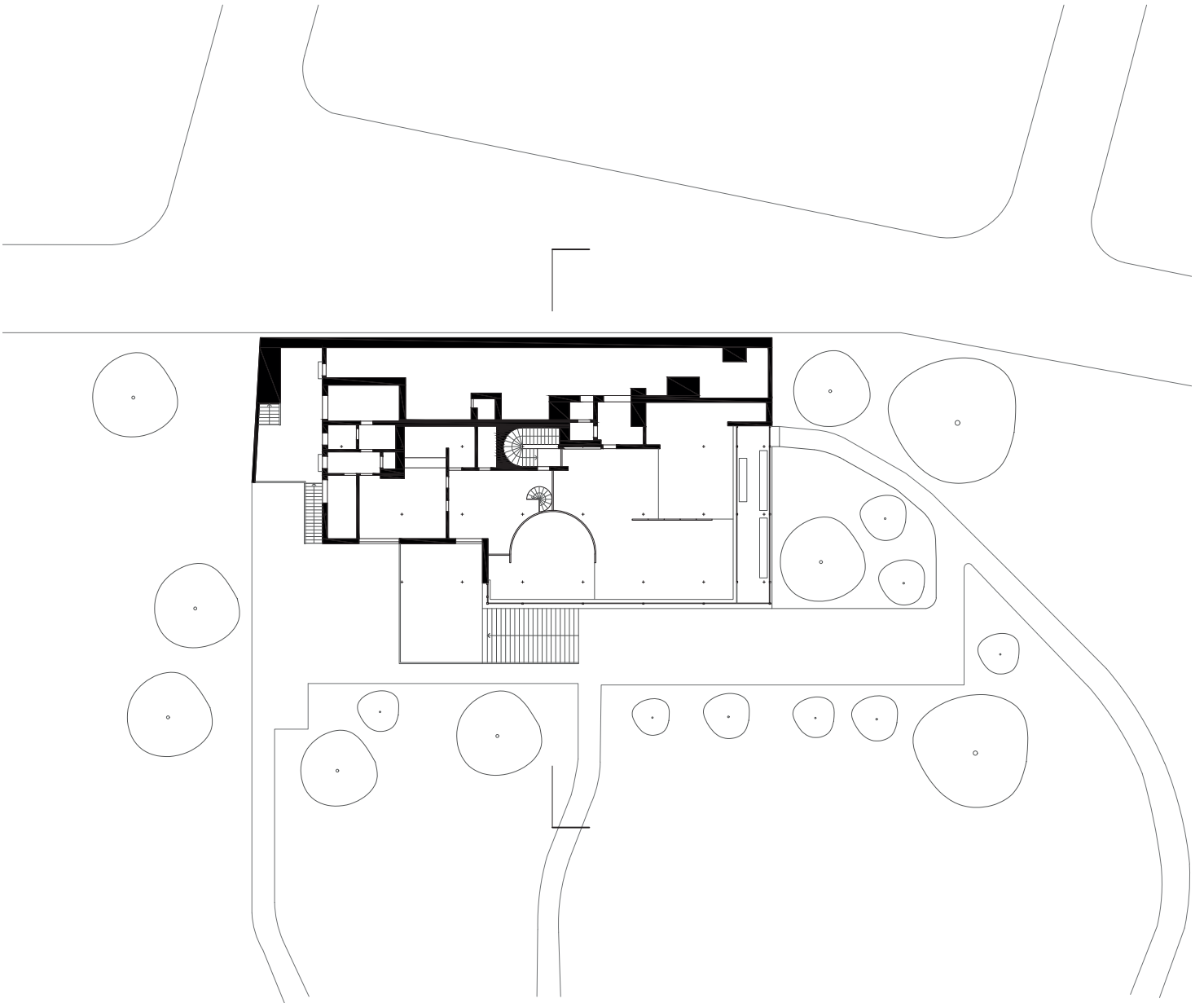
L'organisation des pièces est réfléchié selon la logique d'utilisation des pièces mais aussi selon un zonage thermique. Le sous-sol contient les services, tels que la citerne d'eau de pluie, la cave pour les réserves de nourriture, la pièce pour les outils de

jardin. Le rez-de-chaussée comprend les principaux espaces de vie avec la véranda et la terrasse, ainsi que la cuisine et les chambres des domestiques. Le premier étage détient l'accès principal à la rue avec une connexion à la terrasse, le hall d'entrée, les chambres des parents, des enfants et de la nounou. Les pièces de vie sont plutôt au sud et dans les étages, alors que les pièces requérant de la fraîcheur, telles que les pièces de stockage et de rangement, sont disposées au nord ou au sous-sol.

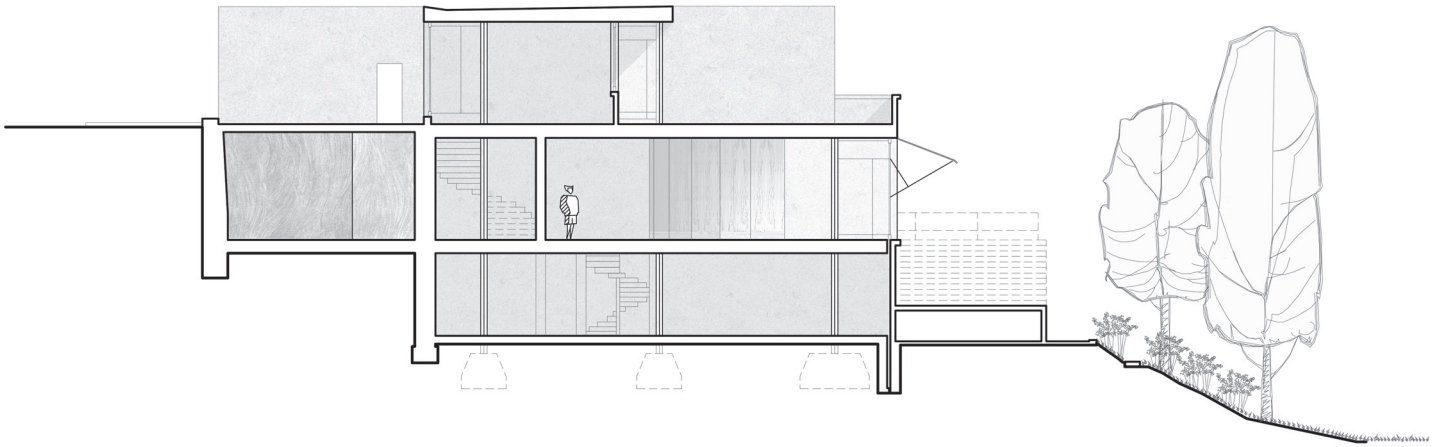
Enfin, les différentes zones du rez sont divisées par des cloisons, telles qu'un mur en onyx à la couleur miel. La cloison en pierre dorée provient du Maroc et le mur semi-circulaire en ébène vient de l'île des Célèbes en Asie du Sud-Est. De lourds rideaux de soie et de velours peuvent également séparer les espaces entre eux. Dans sa passion pour la matière, Ludwig Mies van der Rohe recourt également à des matériaux luxueux et peu communs pour le pavillon de Barcelone, conçu à la même époque. L'hiver lorsque le soleil est bas, les parois derrière les grandes baies vitrées de la villa Tugendhat sont illuminées par les rayons. Au passage, elles retiennent la chaleur à l'avant de la salle à vivre principale dans les espaces de réception. Selon l'étude énergétique de la simulation numérique des ingénieurs civils tchèques, les éléments en ébène et en onyx fonctionnent comme capteurs solaires toutefois, on peut émettre un doute sur le fait que Mies les ait choisis pour cette fonction-là.

Au cours de l'année 1924, Mies déclare: "The location of the structure, its location in relation to the sun, the layout of the spaces and the construction materials are the essential factors for creating a dwelling house. A building organism must be created out of these conditions." C'est ce qu'on peut lire sur la page de la villa Tugendhat.³² Ces principes énoncés par l'architecte lui-même sont pleinement utilisés dans le projet de la villa. En revanche, il importe des matériaux précieux de l'autre bout du monde et utilise des matériaux industriels comme les colonnes en acier que l'on sait maintenant à forte empreinte environnementale. On peut également lui reprocher son excès de luxe représenté par des matériaux coûteux et un espace excessivement vaste. On ne peut donc pas ranger Mies van der Rohe dans les architectes modèles de l'architecture écologique. Cependant, lors de sa phase européenne, on peut tout de même lui concéder une réelle réflexion bioclimatique, dans le sens d'une architecture consciente et interactive avec son environnement.

32.
Atelier Zidlicky. 2020.
The Architect. © 2010-
2021 Vila Tugendhat
[en ligne]. 18 décembre
2020.



0 5 15m



0 5 15m



Illustration 5: Jacobs House II en hémicycle © Bill Taylor.

1948, Jacobs House II, Middleton, Wisconsin, Etats-Unis, Frank Lloyd Wright

Frank Lloyd Wright, né en 1867 dans le Wisconsin, est un des architectes les plus influents dans l'Histoire de l'architecture moderne. Il est connu pour ses nombreux bâtiments aux grandes qualités spatiales et esthétiques. Il privilégie la relation à l'environnement en ouvrant le bâti par de grandes baies vitrées sur les paysages alentours. En approchant son travail selon un point de vue bioclimatique, on relève la haute qualité environnementale de ses réalisations.³³ Parmi elles, un exemple représentatif est la 'Jacobs House II' de 1948. Il construit cette maison pour ses amis, la famille Jacobs, qui habitent la 'Jacobs House I' non loin de là, dans la ville de Madison. La Jacobs House II se situe dans une prairie de Middleton dans le Wisconsin, proche d'une colline. Ils se déplacent expressément pour pouvoir profiter de la nature. La région où ils s'installent offre des étés chauds et pluvieux et des hivers glaciaux, secs et venteux. Cela correspond au climat continental humide.³⁴ Pour que la famille Jacobs s'y sente bien, l'architecte développe plusieurs stratégies passives.

D'abord, la maison est composée de deux étages, les pièces à vivre au rez-de-chaussée et les chambres en haut. Si on observe la morphologie de la maison en plan, il s'agit d'une longue pièce en hémicycle dont les dimensions sont de 5 mètres de large par 24 mètres de long. Cet hémicycle est dessiné selon la trajectoire du soleil. Le jour le plus court de l'année, l'inclinaison du premier rayon solaire tape dans l'angle est de la maison et le dernier jour, l'angle ouest. Complètement ouverte au sud, la maison maximise le potentiel solaire pour se chauffer. Cependant, en été le soleil est plus haut et les vitres sont protégées par l'avant-toit généreux, dépassant de deux mètres la façade. Les fenêtres peuvent également être obscurcies par de lourds rideaux.

Ensuite, Wright propose un nivellement du terrain. Le mur nord est enterré jusqu'à la hauteur des fenêtres des chambres de l'étage afin d'être protégé au maximum du vent. L'avantage du talus est principalement de détourner le vent mais aussi d'avoir une grande capacité d'accumulation de chaleur dans ce terrain adossé à la maison car le sol a une bonne capacité thermique et la température varie très peu. Le jardin devant la maison est creusé pour accumuler les gains solaires en hiver. Embrassé par les pièces à vivre, le jardin en contrebas est protégé du vent. Ce geste crée une zone de refuge où règne un microclimat tempéré dès qu'il y a du soleil. Le bâti en hémicycle

33.
Beltran, Maria Angeles, Garcia, Julian et Dufrasnes, Emmanuel. 2015. *Analyse Bioclimatique de la Maison Jacobs II de Frank Lloyd Wright*.

34.
Merkel, Alexander. 2020. MIDDLETON CLIMAT (Etats-Unis d'Amérique). Climate-Data.org [en ligne].

et semi-enterré réduit la surface d'exposition aux vents froids du nord et diminue ainsi les pertes de chaleur internes en hiver. L'air circule par les ouvertures de la façade sud, monte dans les chambres et sort par les fenêtres nord de 60 centimètres de haut. Cette technique de ventilation croisée permet une bonne circulation de l'air et de la chaleur. Pour l'attention portée aux différents dispositifs climatiques de cette maison, on peut dire que Wright est un précurseur du mouvement passif solaire.³⁵

35.
Barber, Daniel A., Kevin Bone, Steven Hillyer, et Sunnie Joh. 2014. *Lessons from modernism: environmental design strategies in architecture, 1925-1970*. New York: The Cooper Union Institute for Sustainable Design, The Irwin S. Chanin School of Architecture of The Cooper Union : The Monacelli Press.

Aussi, le toit possède une pente très légère qui permet à la pluie d'irriguer la végétation du talus. La charpente est en bois du Wisconsin. Les chambres à l'étage ont une structure en bois et sont en porte-à-faux au-dessus du rez. Pour y arriver, la structure est suspendue aux poutres du toit par des câbles d'acier dissimulés dans les parois. Il y a un recul de 1,20 mètres à l'intérieur qui éloigne la mezzanine de la baie vitrée orientée au sud. En effet, ce glissement de coupe offre une double hauteur devant les vitres et permet à la lumière naturelle d'entrer jusqu'au fond de la pièce principale.

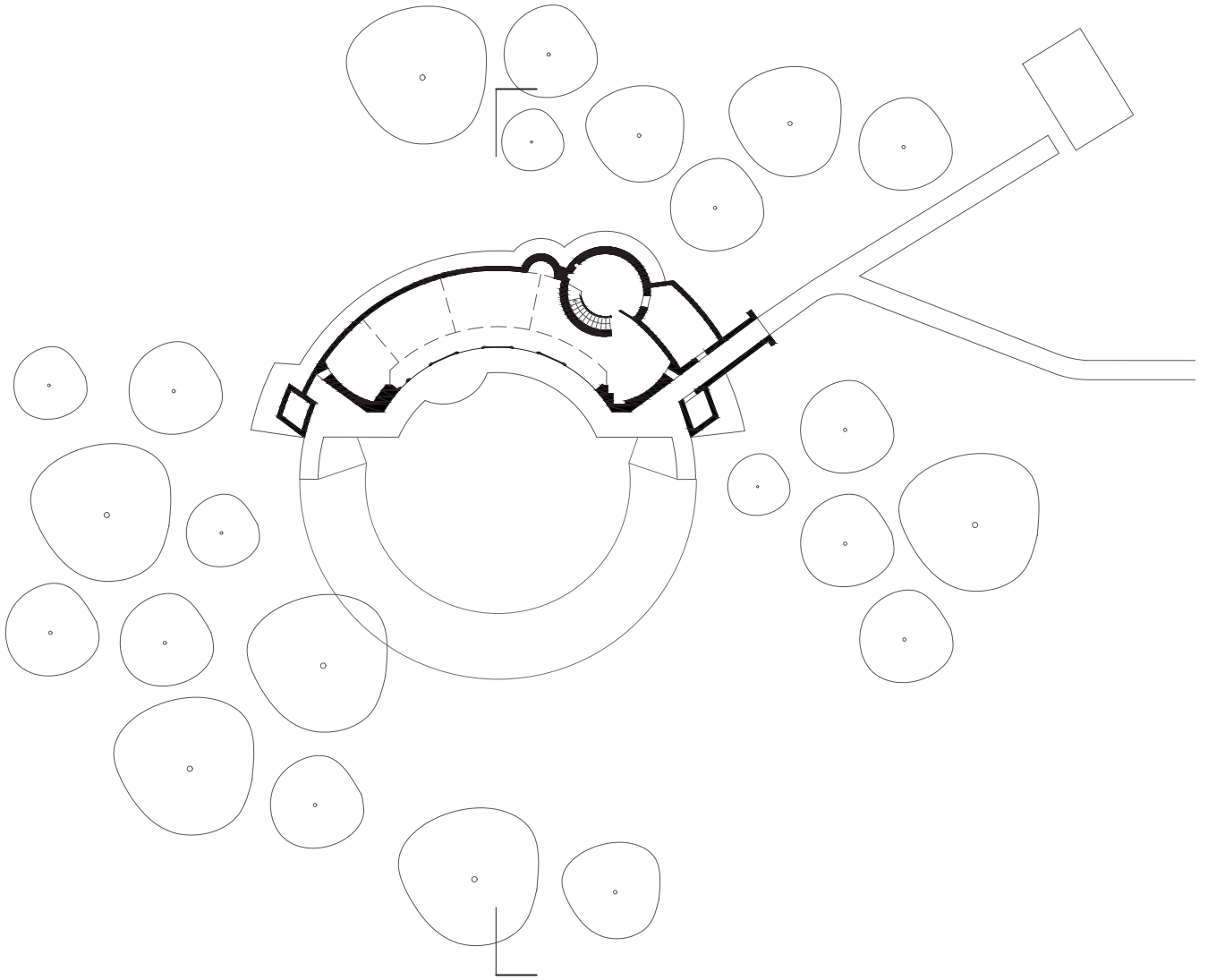
A l'exception de la dalle et des fondations en béton armée, l'architecte privilégie des matériaux naturels. Les façades sont constituées d'une double couche de pierres calcaires attachées par des clefs métalliques, les piliers porteurs de la baie vitrée sont en bois. Le sol est également en pierre calcaire. L'énergie accumulée dans la pierre du niveau inférieur rayonne jusqu'à la mezzanine et chauffe les chambres à coucher de l'étage. La pierre provient d'une carrière voisine. L'inertie thermique de la pierre et du terrain contre lequel est appuyée la maison garde la chaleur et la distribue pendant les nuits d'hiver. Elle fonctionne comme un bon isolant et amène une stabilité thermique tout au long des journées de l'année. Cette stratégie passive fonctionne aussi en été.³⁶

36.
Beltran, Maria Angeles, Garcia, Julian et Dufrasnes, Emmanuel. 2015. *Analyse Bioclimatique de la Maison Jacobs II de Frank Lloyd Wright*.

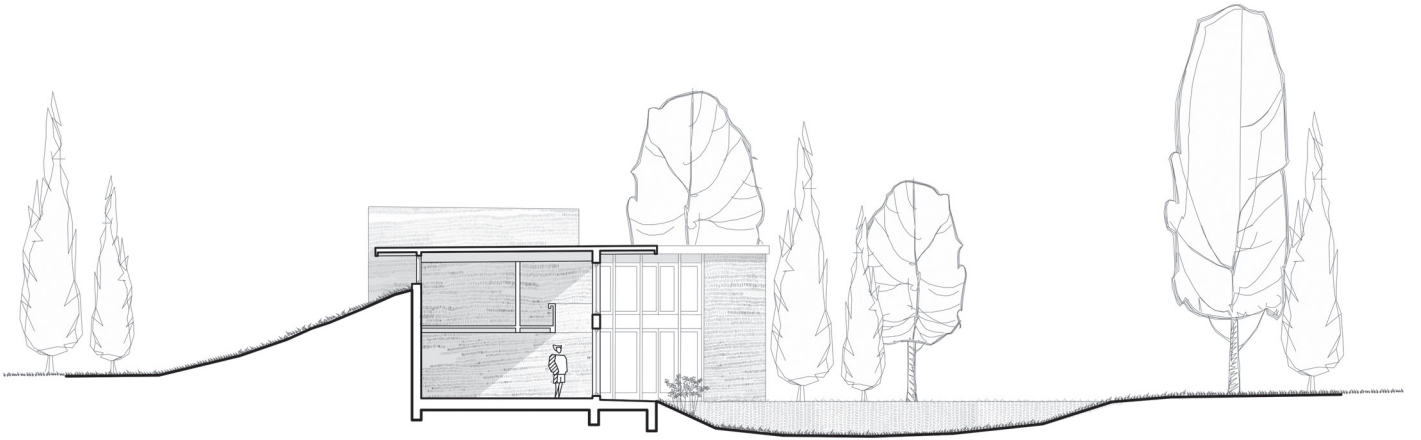
Ainsi, la grande prairie et les arbres qui entourent cette maison font d'elle un cadre de vie agréable à habiter au fil du temps. Sans doute sa beauté est liée à la prise en considération du contexte climatique. Les différents dispositifs bioclimatiques décrits dans ce chapitre sont pensés et mis en place par l'architecte. La maison offre un grand confort thermique, tel un refuge ancré dans son territoire. Elle plonge les habitants dans une relation intime à leur environnement.



Illustration 6: Relation entre l'intérieur et l'extérieur de la maison © Ezra Stroller - Esto.



0 5 15m



0 5 15m

STRATÉGIES FORMELLES

FERMÉES



Illustration 7: Accès au vignoble Dominus traversant la bâtiment en gabions © Courtesy of Architekturzentrum Wien, Collection/Margherita Spiluttini.

1997, Dominus Winery, Napa Valley, Californie, Jacques Herzog et Pierre de Meuron

Le vignoble Dominus possède 42 hectares dans la Napa Valley. La vallée offre un climat tempéré qui ressemble à un climat méditerranéen extrême. Les étés ensoleillés, chauds et secs ainsi que la qualité du sol sont des paramètres idéaux pour la culture d'un raisin de qualité. Les hivers sont pluvieux et plus froids et conservent bien la végétation.³⁷ La propriété est orientée parallèlement à la topographie du site. Elle se trouve sur une légère pente entre les Enchanted Hills à l'est et les montagnes Mayacamas au nord-ouest. L'édifice se situe en retrait de la route d'accès principale. La chaleur est très présente le jour et il fait très froid la nuit. Pourtant, la conservation du vin requiert une grande précision au niveau de la stabilité thermique. C'est un bâtiment significatif de la réflexion bioclimatique car la régulation de la température est essentielle au processus de vinification. Ainsi, le paramètre du climat est une donnée initiant le projet. Les architectes pensent la structure afin qu'elle sache tirer profit de ces conditions et assurer le contrôle de la température. Dès le départ, on souhaite trouver une alternative à l'utilisation habituelle d'air climatisé et réduire la proportion de technique dans le bâti. Les architectes proposent une enveloppe thermique de gabions, c'est-à-dire des cages en acier galvanisé remplis de pierres, pour protéger les pièces intérieures en béton et former l'enceinte monolithique du bâtiment. La composante est intégrée dès le début du projet.³⁸

Le vignoble est marqué par deux allées traversant le domaine ainsi que la cave. Le bâtiment fait le pont avec le chemin principal et sert de lieu d'accueil pour les visiteurs. La cave fait 100 mètres de long par 25 mètres de large et 9 mètres de hauteur. Elle est composée de trois unités fonctionnelles au rez-de-chaussée, toutes séparées mais reliées par des passages couverts. D'abord, il y a la salle des cuves où se déroule la première étape de fermentation. Cette pièce contient d'immenses cuves chromées. Ensuite, la cave à barriques accueille le vin en fûts de chêne pendant deux ans. Dans cette unité, la dalle de sol est plus basse et perméable à l'humidité afin que celle de la terre puisse agir sur les tonneaux et apporter les conditions hygrothermiques idéales. Les barils ayant une grande proximité avec le sol créent plus facilement les bactéries servant à la maturation du vin. Enfin, dans le cellier, le vin est mis en bouteille, emballé dans des caisses en bois et stocké jusqu'à sa vente.

37.
Merkel, Alexander.
2020. NAPA CLIMAT
(Etats-Unis d'Amérique).
Climate-Data.org [en
ligne].

38.
Yu, Mayine. 2014.
«Part 1, Load-bearing
construction». Dans:
Skins, envelopes, and
enclosures: concepts
for designing building
exteriors. New York:
Routledge.

39.
Herzog & de Meuron.
1997. *137 Dominus
Winery. Projects
Complete Works* [en
ligne].

A l'étage au-dessus de l'unité d'entreposage, se trouvent les bureaux administratifs possédant de longues baies vitrées et une terrasse panoramique offrant des perspectives sur le domaine.³⁹

40.
Levene, Richard C. 2005.
*Herzog & de Meuron:
1981 - 2000*. El Croquis,
2000, 60 + 84. Madrid: El
Croquis Ed.

Malgré sa grande taille, la Dominus Winery se veut peu imposante. C'est un bâtiment long et bas, reprenant l'horizontalité des vignes alentour. Sa matérialité unifie les trois unités entre elles et permet une intégration discrète et harmonieuse avec l'environnement. Intégrer le contexte dans un projet architectural peut avoir de nombreuses significations. Celle des architectes suisses est de mettre en valeur les caractéristiques locales du territoire. Au lieu de faire des grands gestes urbanistiques, ils soulignent et mettent en avant les traits de caractère du paysage environnant.⁴⁰

41.
The Hyatt Foundation.
2021. *Jacques Herzog
and Pierre de Meuron.
2001 Laureates.
Biography*. The Pritzker
Architecture Prize [en
ligne].

C'est la première réalisation de Herzog et de Meuron aux Etats-Unis. Les deux architectes sont basés à Bâle mais sont reconnus dans le monde entier. Ils défendent une architecture à la géométrie simple dans plusieurs de leurs projets. Plutôt que souhaiter un bâti qui se distingue par la forme, ils donnent du sens à l'architecture à travers le matériau; l'enveloppe donne une nouvelle perception de la réalité: "Andy Warhol is an artist we would most like to have known. He transcended categories. It is too simple to call him a Pop artist. He used common Pop images to say something new. That is exactly what we are interested in: to use well known forms and materials in a new way so that they become alive again." explique Jacques Herzog.⁴¹ Le développement conceptuel de la matérialité est une alliance entre les qualités bioclimatiques et la dimension sensorielle des pierres de basalte. La peau texturée et minimaliste rend le bâtiment vibrant. Sur tout le périmètre du bâtiment se trouvent des gabions. Ces murs de pierres sont thermiquement efficaces. Ces cages font 90 centimètres de largeur et 45 centimètres de hauteur et de profondeur. Ils détournent un dispositif utilisé conventionnellement dans le domaine du génie hydraulique ou dans le génie civil pour les terrassements. Les dimensions des cages en acier ont été choisies en fonction de la charge limite pouvant être supportée ainsi que pour la pénétration de la lumière.

Au moment de la mise en œuvre, les cages sont installées sur une assise en béton, puis remplies manuellement sur place pour éviter toute déformation. On procède étage par étage afin d'avoir une meilleure continuité. Le montage du mur en gabions a duré environ trois mois. Le treillis a une épaisseur de 7,5 centimètres. La paroi de gabions étant un refuge de fraîcheur au milieu de la vallée pour toutes les espèces vivantes, les trois premiers étages de cages du bas du mur ont été renforcées par un treillis plus dense afin d'éviter que les rongeurs, serpents et autres petits animaux s'installent à l'intérieur du parement. Sur le toit également, on trouve une couche de pierres protectrices. Cette épaisse maçonnerie forme un régulateur thermique qui retient la fraîcheur de la nuit pour compenser la chaleur du jour et protège les murs en béton des pièces intérieures qui doivent garder une température stable et fraîche pour la cave à vin.

Par ailleurs, l'origine des matériaux est locale. Les architectes choisissent le basalte qui possède une couleur allant du vert foncé au noir et qui se fond parfaitement dans le paysage et devient transparent pour l'oeil. La pierre provient d'une carrière voisine. Deux formats de pierres sont utilisés pour composer le parement. Le premier format de pierre est utilisé au rez-de-chaussée et possède un diamètre qui varie de 10 à

20 centimètres. Il permet un entassement rapproché des pierres. L'espace résiduel entre chacune d'elles est très réduit, ce qui renforce la barrière thermique au niveau des pièces sensibles. A l'étage, les pierres possèdent un plus grand volume. Elles font entre 20 et 35 centimètres de diamètre. Cette fois, l'empilement des pierres de basalte génère de plus nombreux espaces vides. Ces espaces permettent de laisser passer la lumière et assurent une certaine forme de ventilation naturelle. Ainsi, lorsqu'on circule entre les bureaux, on peut voir les étendues de vignes sur la Napa Valley. La nuit tombée, c'est la lumière intérieure qui transparait depuis l'extérieur. La façade révèle l'abstraction de la construction: les pierres les plus lourdes se retrouvent suspendues à l'étage du dessus et celles plus légères et amassées sont au-dessous. Par rapport au contreventement, les cages sont maintenues en place de façon latérale par un système de profilés en acier pris à même la structure principale du bâtiment. Il y a une distanciation anti-sismique entre les gabions et le béton pour assurer sécurité et stabilité. En outre, les gabions donnent une texture et une respiration à la façade, comme un épiderme. Ils sont remplis plus ou moins densément selon les besoins, de sorte que certaines parties des murs sont très opaques tandis que d'autres permettent le passage de la lumière : la lumière naturelle entre dans les pièces pendant la journée et la lumière artificielle s'infiltré à travers les pierres la nuit. On pourrait décrire l'utilisation des gabions comme une sorte de broderie de pierre avec différents degrés de transparence, plus proche du tissu que de la maçonnerie traditionnelle.⁴²

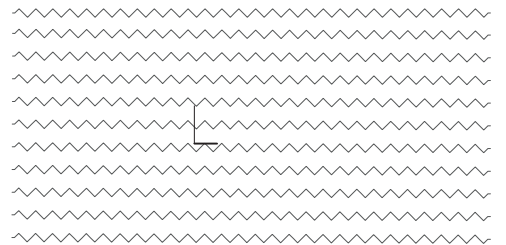
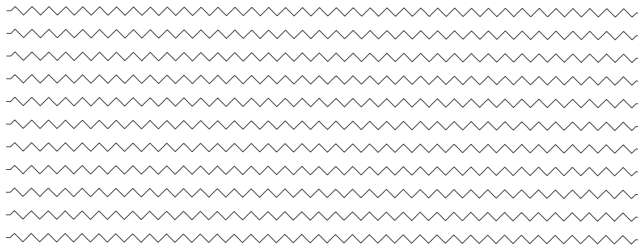
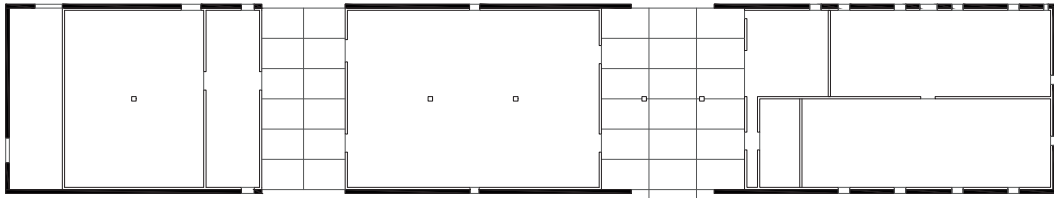
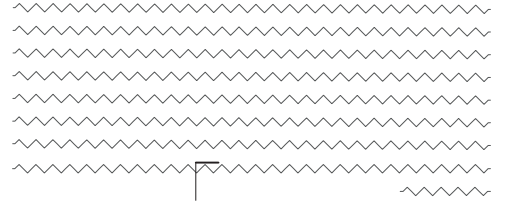
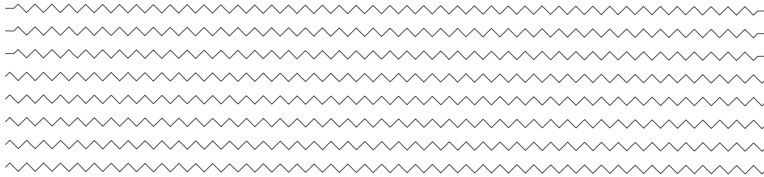
42.
Levene, Richard C. 2005.
*Herzog & de Meuron:
1981 - 2000*. El Croquis,
2000, 60 + 84. Madrid: El
Croquis Ed.

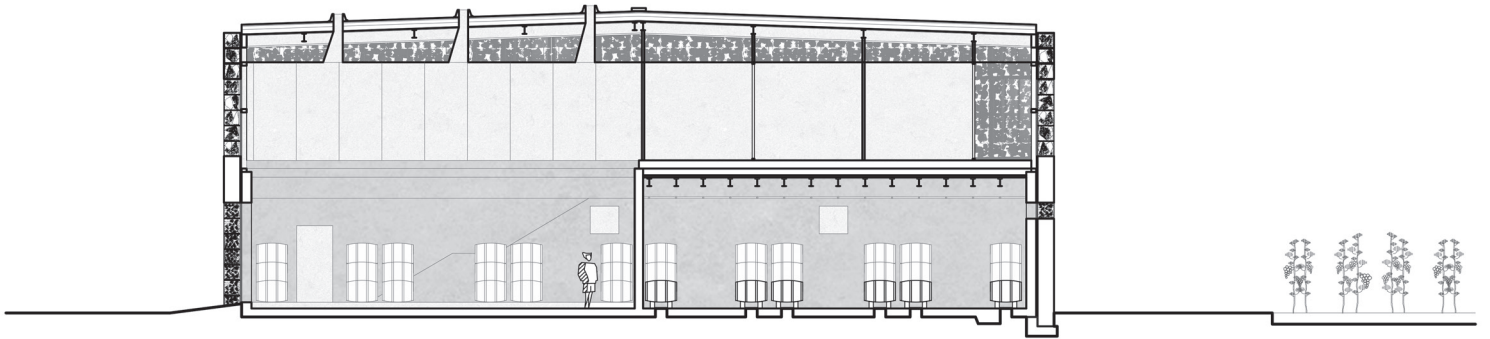


Illustration 8: Ambiance lumineuse à l'étage de la Dominus Winery © El Croquis.

43.
Herzog & de Meuron.
1997. *137 Dominus
Winery*. Projects
Complete Works [en
ligne].

En somme, cet édifice se veut durable, audacieux et fonctionnel. Bien que ce ne soit qu'une variante d'un simple mur en maçonnerie, deux échantillons tailles réelles ont été nécessaires pour se familiariser avec cette technique de construction. Un premier en Suisse pour comprendre le paramètre de transparence entre les pierres et le second de 9 mètres de haut sur place en Californie pour se rendre compte de la faisabilité technique.⁴³ On peut relever la capacité des architectes à innover dans leurs techniques constructives et à valoriser tout type de matériaux. Par ailleurs, les cages métalliques permettent de maintenir les roches ensemble sans aucun mortier. Les gabions sont une solution pertinente de stabilité thermique pour un programme sensible, tel qu'une cave à vin. De même, le programme de la cave à vin se laisse deviner derrière la façade en pierres locales. Toutefois, les cages en acier galvanisé ont été importées de Suisse pour avoir une couche spéciale appelée 'Galfon'. Cette couche ajoute de l'aluminium et du zinc sur l'acier galvanisé. Ce choix a été dicté par l'acidité des sols agricoles que l'on retrouve dans la vallée de Napa, acidité dont sont caractérisées les pierres de basalte tirées de ce milieu. La décision de faire traverser des cages en acier à travers un océan reste discutable d'un point de vue écologique.





0 5 15m



Illustration 9: Centre des plantes Ricola, éléments en pisé préfabriqués © Daniel Lüthi

2014, Kräuterzentrum Ricola à Laufen, Bâle, Suisse Jacques Herzog et Pierre de Meuron

La halle des bonbons Ricola accueille les feuilles de menthe provenant de la moraine glaciaire du Valais. Ces herbes ont besoin de conditions stables pour être conservées. Dans le monde, beaucoup de personnes habitent des constructions en pisé mais, en Europe, depuis la révolution industrielle, on semble avoir oublié ce savoir-faire. De nos jours, on porte un nouvel intérêt aux nombreux avantages de la terre crue, matériau abondant et bon marché. On cherche maintenant à éliminer les isolants muraux qui coupent l'habitant d'une respiration avec l'environnement naturel. Dans la revue suisse 'Tracés' on peut lire : «La terre crue arrive à maturité auprès du public, elle résonne à l'unisson avec nos préoccupations contemporaines: préservation du patrimoine et des savoir-faire, retour au 'local', écologie, réappropriation des modes de fabrication et de production pour lutter contre les dérives d'un système économique mondialisé.»⁴⁴ L'entrepôt pour les séchoirs à plantes de Ricola sert d'ambassadeur à la terre crue en tant que plus grand édifice d'Europe en pisé. Le matériau est là pour caractériser le bâtiment, et avec autant de poids, le bâtiment révèle le matériau aux yeux de tous. L'édifice expose le matériau qui le constitue et démontre la crédibilité de la terre en tant qu'alternative solide à la construction.⁴⁵ Les dimensions de l'entrepôt sont imposantes mesurant 110 mètres de long par 30 mètres de large et 11 mètres de hauteur. Il s'agit d'un plan rectangulaire simple laissant une grande flexibilité à l'intérieur. Une grande fenêtre ronde découpée sur chaque façade amène la lumière naturelle à l'intérieur. Le bâtiment se situe sur le plateau de Laufen et est orienté nord-est, sud-ouest. La campagne bâloise jouit d'un climat tempéré chaud avec des averses abondantes tout au long de l'année.⁴⁶

La façade est en terre comprimée autoporteuse mais elle est tout de même soutenue par une structure porteuse faite de poteaux-poutres en béton armé préfabriqués. Le pisé de terre crue est en fait un béton d'argile. Il est composé d'agrégats agglomérés par un liant: du sable, des cailloux et de l'argile provenant directement des alentours. C'est un matériau très dense. On compte 2,3 tonnes par m³. Il agit comme régulateur naturel d'humidité et de chaleur. Ici, les murs régulent l'air ambiant entre 40 et 60 % d'humidité.⁴⁷ En effet, l'argile absorbe facilement l'eau et la restitue en fonction de l'humidité de la pièce. Il possède également de bonnes propriétés d'isolant acoustique et résiste parfaitement au feu. Avec une enveloppe efficace et réfléchie en fonction de

44. Sonnette, Stéphanie. 2016. «Retour à la terre». Dans: Tracés n°17/2016. Zürich: espazium.

45. Levene, Richard C. 2005. *Herzog & de Meuron: 1981 - 2000*. El Croquis, 2000,60 + 84. Madrid: El Croquis Ed.

46. Merkel, Alexander. 2020. BÂLE CLIMAT (Suisse). Climate-Data.org [en ligne].

47. Von Hunnius, Yvonne. 2015. «Le nouveau Kräuterzentrum de Ricola allie nature et économie». Dialogue économie verte de la Confédération suisse [en ligne]. 11 août 2015.

son climat, l'édifice peut se permettre de réduire les besoins techniques au strict minimum. Enfin, l'usage de la terre crue amoindrit les transports liés à l'évacuation de la terre d'excavation et utilise des ressources locales. L'apparence extérieure de la halle est assurément massive mais la terre ne triche pas sur sa véritable nature et s'intègre dans le paysage de la campagne bâloise.⁴⁸

48.
Herzog & de Meuron.
2014. *369 Ricola*
Kräuterzentrum.
Projects Complete
Works [en ligne].

Lors de la construction de l'entrepôt Ricola, pour que le chantier soit des plus efficaces, les ouvriers ont eu accès à une halle de préfabrication pendant tout l'hiver. Cela a permis de réaliser les éléments préfabriqués à moins de 5 kilomètres du site du projet. Il s'agit de morceaux d'enveloppe de 336 centimètres de long, 130 centimètres de haut et 45 centimètres d'épaisseur pour un poids de 4,6 tonnes. Les dimensions sont liées à la capacité des outils. En l'occurrence, le pont roulant ne peut soulever plus de 5 tonnes, ce qui a donné le volume maximal d'une unité préfabriquée. L'été suivant, on a pu procéder à l'assemblage sur site pendant les beaux jours. Les jonctions entre les différents modules laissent apparents des joints négatifs qu'ils ont humidifié et comblé avec la même terre.

Ensuite, le bâtiment démontre une performance manifeste de durabilité. La façade en pisé apparent de 11 mètres de hauteur sans grand débord de toiture prend le parti ambitieux de montrer la terre et de ne pas la protéger des intempéries. De par cette application, l'architecte et l'artisan piseur révèlent le pouvoir esthétique de la terre qui s'érode jusqu'au point de stabilisation que l'on appelle 'érosion contrôlée'. C'est-à-dire que le mur s'érode au début, au cours des deux premiers hivers principalement, et perd 1 à 2 centimètres d'épaisseur. Les particules fines sont lavées par les pluies ruisselantes mais l'eau et le vent n'ont pas la force de défaire le mélange d'agrégats qui sont agglutinés les uns aux autres. Le mélange est savamment choisi par l'artisan. Pour ralentir le ruissellement de l'eau, le piseur utilise une technique qui consiste à incorporer des 'lignes d'érosion' tous les 60 centimètres. Elles forment des gouttes pendantes pour éviter une érosion excessive.

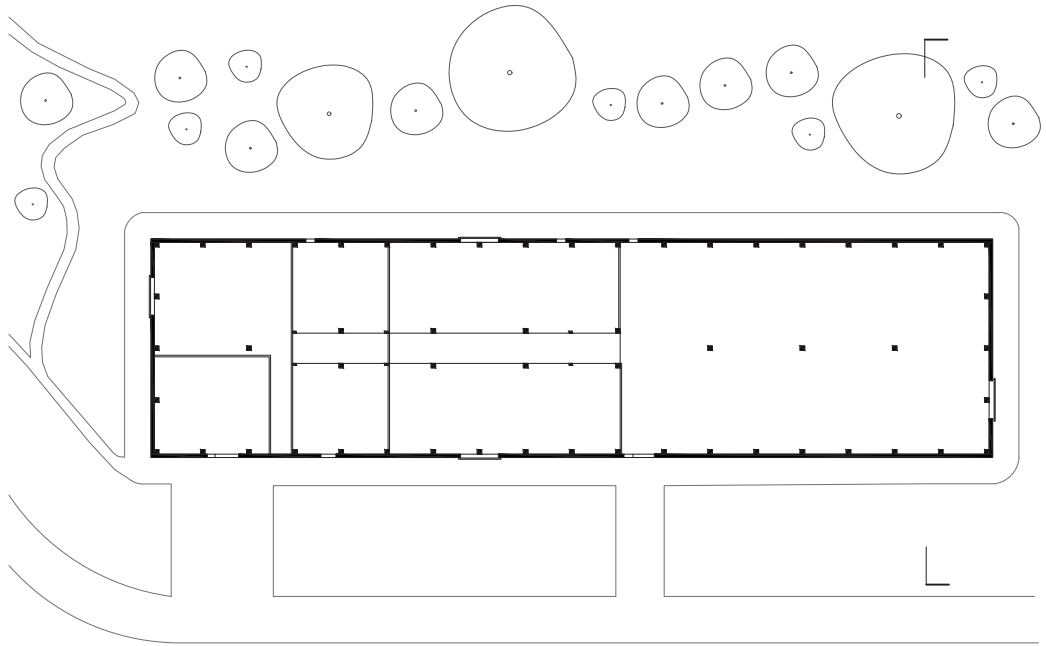
De plus, la terre non 'stabilisée' est recyclable à 100%, c'est-à-dire la terre non mélangée à un autre liant que celui qui est naturellement présent dans le sol. En outre, toute réparation s'avère des plus faciles: il faut humidifier et colmater avec la même terre que celle qu'on utilise pour l'assemblage des éléments en pisé. Martin Rauch, représentant de l'entreprise de construction en pisé de cet édifice ne souhaite en aucun cas stabiliser la terre. Il est vrai que la plupart des réalisations dans le monde en terre sont stabilisées au ciment ou à la chaux. Cependant, il affirme qu'on gagne très peu d'apport en résistance mécanique en réalité. Par ailleurs, cela change la nature du matériau et réduit les principaux avantages de la terre crue.⁴⁹ Ainsi, en plus d'annuler la possibilité de réparation de recyclage, cela diminuerait aussi sa propriété de régulateur naturel d'hygrométrie. Et finalement, un des aspects les plus importants que ce matériau assure est l'absence totale de substances nocives pour ses occupants.

49.
Atelier Timur Ersen.
2016. *La maison des*
plantes de Ricola by
Herzog & de Meuron.
Atelier Kara [en ligne].

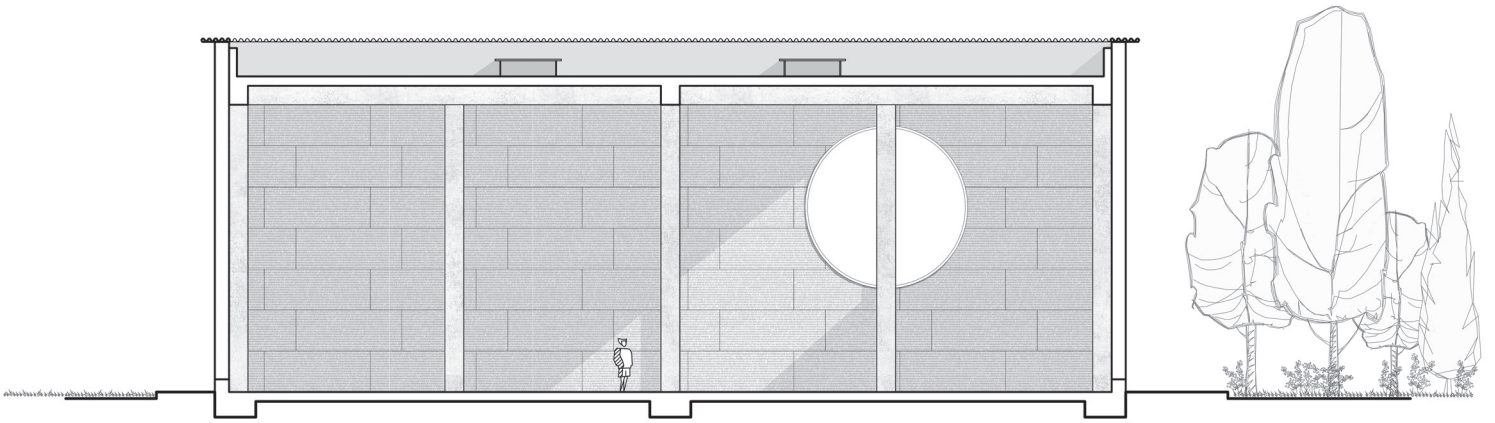
50.
Levene, Richard C. 2005.
Herzog & de Meuron:
1981 - 2000. El Croquis,
2000, 60 + 84. Madrid: El
Croquis Ed.

Enfin, selon Herzog et de Meuron, la façade d'un bâtiment doit créer un lien avec ce qu'il s'y passe à l'intérieur.⁵⁰ Ici, la façade en terre sèche comprimée est d'une part un matériau des plus naturels en accord avec les herbes fraîches qui sèchent à l'intérieur. D'autre part, la texture du pisé dégage une impression de respiration

saine, peut-être même une odeur de terre agréable et assez neutre, pour pouvoir bien conserver la menthe des futures confiseries. Construire une aussi grande structure, avec une enveloppe cent pourcent pisé et pour autant robuste et très qualitative, sert de référence aux futurs bâtiments en terre comprimée. Cet entrepôt a un programme spécifique et sensible thermiquement. C'est un modèle de stabilité se servant d'une technique expérimentale. Le prochain objectif est de diffuser l'usage de la terre crue dans l'architecture contemporaine locale. Plus on construira avec la terre, mieux on saura la manier.



0 10 40m



0 5 15m

STRATÉGIES FORMELLES

OUVERTES



Illustration 10: Les patios se reflétant dans le canal © El Croquis.

1998, Patios ou murs à fruits, Pavillon du Portugal, Lisbonne, Alvaro Siza

Siza, dont le nom complet est Alvaro Joaquim de Meio Siza Vieira, est une des grandes figures de l'architecture contemporaine. Ses réalisations se caractérisent par une clarté formelle, une intégration sensible à l'environnement et un engagement envers les connaissances vernaculaires. Juste après ses études, entre 1955 et 1958, il est l'élève puis le collaborateur de Fernando Távora, de qui il retient une philosophie architecturale maintenant un respect pour les traditions vernaculaires tout en visant leur perpétuation dans un contexte contemporain.⁵¹

Il devient un grand architecte d'abord au Portugal, puis internationalement. De nombreuses universités du monde entier l'invitent comme professeur.⁵² Dans le numéro 95 d'El Croquis, l'historien et critique William J.R Curtis écrit: "Lorsqu'il recherche l'identité et la direction d'un nouveau projet, Siza entrecroise plusieurs 'contextes' en plus du site considéré. Il a tendance à considérer chaque lieu comme un ensemble incomplet de couches dans lequel les strates et les fragments - historiques et géographiques - se rejoignent dans de multiples schémas d'ordre et de désordre'. Insérer un bâtiment, c'est réarranger les forces préexistantes et éventuellement les clarifier. [...] Siza n'a jamais hésité à affirmer que les architectes 'n'inventent rien' mais 'transforment' l'existant. Dans ce cas, l'inventivité repose sur le pouvoir de synthèse, qui à son tour suggère une tension intérieure, une lutte pour réconcilier les polarités dans la réalisation de la tâche ou même dans le projet lui-même. [...] L'espoir est de rassembler les divers éléments en un tout imprégné d'un caractère particulier et d'une clarté d'idée : «un point de stabilité et une forme de silence, le territoire atemporel et universel de l'ordre»."⁵³

Pour l'exposition universelle de 1998 à Lisbonne, Alvaro Siza est sélectionné pour réaliser le Pavillon du Portugal. Il a fallu combiner une image emblématique avec un rôle urbain sur la durée car il n'était pas prévu de le démonter à la fin de l'exposition. Lisbonne possède un climat tempéré chaud avec un été sec.⁵⁴ Le pavillon du Portugal est remarquable entre autres pour sa couverture suspendue au-dessus de la Ceremonial plaza. Cette place ombragée et rafraîchie par le vent du fleuve est sans doute bienvenue pendant les chaudes et lumineuses journées d'été. Il s'agit d'une dalle de béton renforcée très fine de 65 x 58 mètres pour seulement 20 centimètres

51.
The Editors of
Encyclopaedia
Britannica. 2020. *Álvaro
Siza*. Encyclopædia
Britannica. 21 juin 2020.

52.
The Hyatt Foundation.
2021. *Alvaro Siza
Biography*. The Pritzker
Architecture Price [en
ligne].

53.
[Traduction non
officielle] p. 25. Suzuki,
Hisao et Curtis, William
J.R. 1999. *Alvaro Siza
1995-1999 : notes on
invention = notas sobre
la invención*. El croquis,
N. 95. Madrid : El
Croquis Ed.

54.
Merkel, Alexander. 2020.
LISBONNE CLIMAT
(Portugal). Climate-
Data.org [en ligne].

d'épaisseur. Ce voile blanc est suspendu par des câbles d'acier à deux portiques massifs. La place couverte possède une hauteur minimale de 10 mètres et cadre sur le fleuve Tage. Le pavillon est comme amarré au quai, le long du port. L'édifice est orienté nord-sud. Sa position asymétrique dans la parcelle lui donne une relation dynamique entre l'avenue principale, le bord du quai magnifié par un grand un portique et les autres projets de l'exposition. De par sa proximité avec la rivière et le canal, deux façades se reflètent dans le miroir de l'eau.⁵⁵

55. et 58.
Suzuki, Hisao et Curtis,
William J.R. 1999. *Alvaro
Siza 1995-1999 : notas
on invention = notas
sobre la invención*. El
croquis, N. 95. Madrid :
El Croquis Ed.

Or, la qualité la plus étonnante du pavillon se trouve sans doute dans l'interaction entre délicatesse et monumentalité. Siza choisit un bâtiment d'une présence aussi imposante qu'accueillante. On le lit tout spécialement dans l'installation d'espace public à l'extrémité nord du bâti. C'est un bel et agréable dispositif de patios imaginé par Siza. Il s'agit de murs blancs très sobres. Ils forment trois enceintes basses en 'U', ouvertes ponctuellement, orientées est-ouest. Elles protègent en leur sein les passants et quelques arbres disposés librement comme dans un jardin. La fraîcheur de la végétation, l'épaisseur de la pierre et la blancheur des murs tempèrent le lieu. Ces patios abritent des oliviers, référence à l'ancienne oliveraie qui a donné le nom Olivais au quartier et le nom du canal sur lequel les patios débouchent: 'Rossio dos Olivais'.⁵⁶ Cette promenade au motif de sol ondulant est remarquable pour ses peupliers se reflétant dans l'eau et les drapeaux de tous les pays présents à EXPO'98. Elle nous guide de l'eau jusqu'à l'environnement urbain de la ville.⁵⁷

56.
L'histoire des
Expositions
Universelles. 1998. *Le
Pavillon du Portugal*.
Worldfairs Forum -
Expositions Universelles
et Internationales [en
ligne]. 12 janvier 2017.

Le processus de création de Siza implique une permanente remise en question de son propre langage et une transformation du type architectural. Le thème des patios est notamment un sujet récurrent dans l'œuvre de Siza. Les patios se retrouvent dans de nombreuses réalisations, telles que les typologies des maisons à cour de la Quinta de Malagueira (1973-77) ou encore dans le bâtiment du rectorat de l'Université d'Alicante (1997). Les murs ouverts des patios cadrent la vue à une extrémité et capturent ainsi le paysage. Ce dispositif rappelle également l'organisation des murs à fruits développés au XVI^e siècle dans le nord-ouest de l'Europe. Ces murs à peine plus hauts qu'un homme encadrent les parcelles des jardins pour rendre les arbres et autres plantes plus vigoureux. Alvaro Siza est un architecte extrêmement savant qui intègre dans son œuvre un savoir-faire populaire. Il repense l'architecture vernaculaire dans un langage moderne, le rendant ainsi à nouveau accessible aux architectes.⁵⁸

57.
Alameda dos Oceanos.
2020. *Rossio Dos Olivais*.
Parque Das Naçoes [en
ligne].

Le dispositif des murs à fruits mérite d'être étudié de plus près. Effectivement, c'est une technique qui permet pendant plusieurs siècles aux agriculteurs citadins de cultiver des fruits et légumes méditerranéens en Angleterre, au nord de la France, en Belgique ou encore aux Pays-Bas. Pour cela, ils utilisent exclusivement des techniques solaires passives. Le principe est simple: les plantes sont entourées de murs épais qui captent la chaleur pendant le jour et la restituent la nuit. Ce stratagème permet de maintenir un microclimat tempéré autour de ces végétaux originaires de régions d'habitude plus douces au sud de l'Europe. La nuit, on observe jusqu'à 10°C de plus à proximité de ces murs à fruits que dans les alentours.⁵⁹

59.
Kris De Decker. 2015.
«Les Murs à Fruits:
l'Agriculture Urbaine au
17^e Siècle». Dans: Solar
Low Tech Magazine [en
ligne]. 24 décembre
2015.

La proximité d'un mur amenant une meilleure productivité et croissance à certains arbres fruitiers a été démontrée par le botaniste suisse Conrad Gessner dans ses



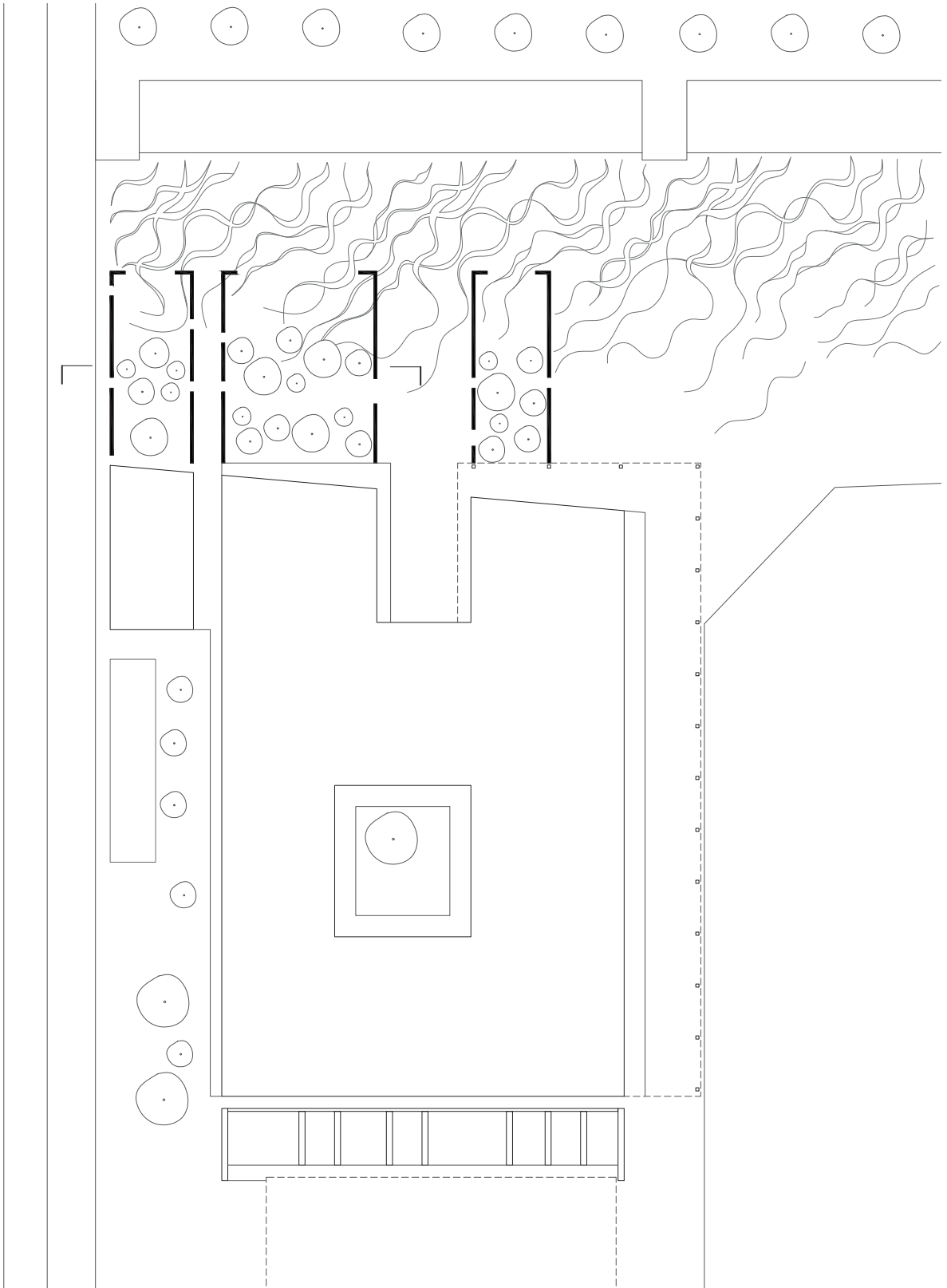
Illustration 11: Le jardin des oliviers © António Bracons.

écrits en 1561. comment certains arbres fruitiers poussent et produisent mieux à proximité d'un mur. L'idée se répand au XVII^e siècle. Au début, on les trouve dans les châteaux et les jardins des aristocrates, puis cela devient une technique commune du secteur agricole urbain. Ses études ont mené à la construction des murs à fruits dans plusieurs pays du nord-ouest de l'Europe.

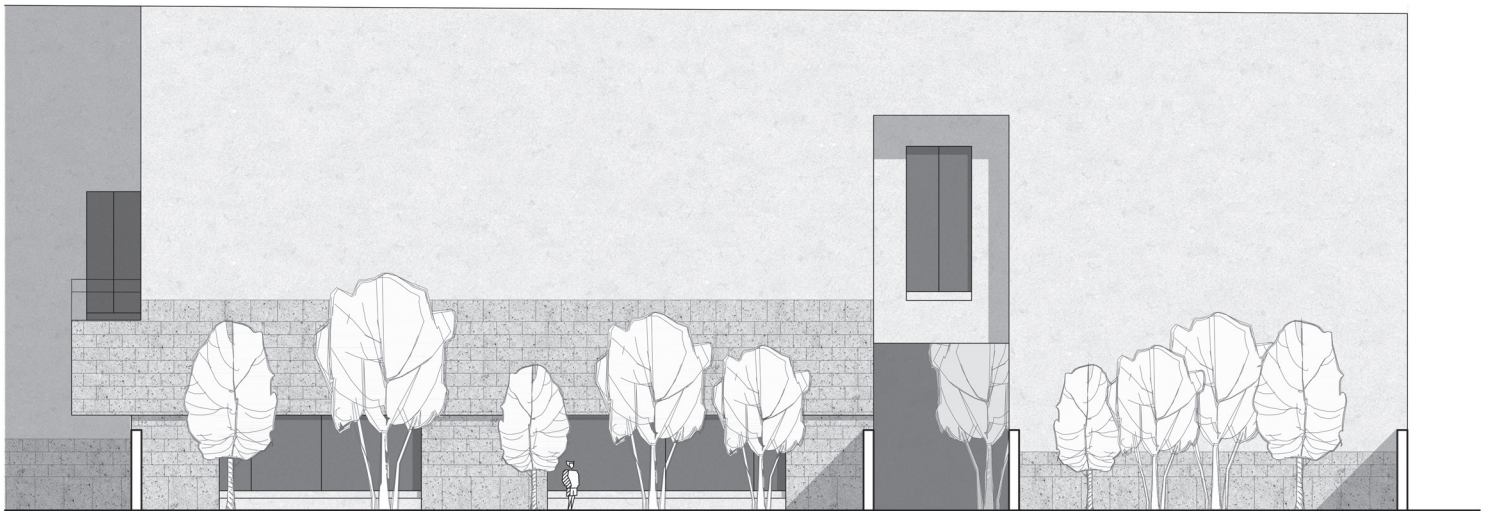
À Montreuil, par exemple, non loin de Paris, on a construit plus de 600 kilomètres de murs à fruits et une partie de cet héritage a résisté jusqu'à nos jours. Les parcelles rectangulaires de ce vaste plateau étaient toutes délimitées par des murs en pierres de silex et de gypse, issues de gravières situées à moins de deux kilomètres de distance (emplacement actuel des parcs des Guilands et des Beaumonts). À son apogée, la production de Montreuil était presque industrielle avec 17 millions de pêches par an. Aujourd'hui, certaines associations s'affairent à restaurer les parcelles de murs à pêches afin de valoriser le patrimoine et de transmettre cette technique aux prochaines générations.⁶⁰

Ces murs horticoles font entre 50 centimètres et 1 mètre d'épaisseur et jusqu'à 3 mètres de hauteur. Les moellons sont recouverts de plâtre et de chaux pour augmenter l'inertie thermique. Le jour, le mur reflète la lumière du soleil et la nuit la chaleur restituée prévient les dégâts du gel. Ils protègent également du vent. La plupart des parcelles sont orientées nord-sud et les murs sont séparés d'environ 10 mètres de distance. Le but est d'avoir une production sur les deux versants d'un seul mur, successivement ensoleillés au cours de la journée. Au sommet se trouve

60.
Léon, Vincent. 2019.
Qui nous sommes. Les pierres de Montreuil [en ligne]. 27 juillet 2019.



0 10 40m



0 5 15m

un auvent de tuiles nommé ‘chaperon’ dont le rôle est de protéger les cultures des déjections d’oiseaux, de la grêle et de la forte pluie. Parfois, les paysans ajoutent des toiles ou des tapis contre les murs en cas de grosses intempéries ou pour retenir la chaleur.

Afin de faire pousser les arbres fruitiers nécessitant le plus de chaleur, on place le tronc proche du mur, puis on fixe les branches à plat contre la paroi. Il s’agit de la technique de taille en espalier. Elle sert à optimiser l’occupation de la surface du mur, à avoir un appui pour la croissance des branches et à favoriser la maturation des fruits. Au centre des parcelles, on cultive les plantes qui se contentent de moins de chaleur.

Il existe des variantes de murs horticoles ‘ondulés’ ou ‘en zig-zag’ aux Pays-Bas. Cette déclinaison de murs en briques permet une économie de matériaux comparée à celle de Montreuil car l’ondulation amène une meilleure statique. Le microclimat le plus favorable pour les arbres se trouve alors dans le creux de la vague. Au XIXe siècle, on construit les premières ‘serres solaires’ en appuyant des pans de verre contre ces murs et on observe que cela favorise la production. On les construit de plus en plus grandes avec des murs à fruits de plus en plus perfectionnés à l’intérieur. Ces derniers, grâce à leur masse thermique, régulent naturellement le climat en accumulant et distribuant la chaleur.

Seulement, à la fin du XIXe siècle, accompagné de la révolution industrielle, on se tourne vers les serres entièrement en verre. On utilise de nouveaux matériaux comme le fer, la fonte ou le verre étiré. Cela permet de construire des structures nouvelles, à l’ossature fine et métallique et à l’enveloppe d’une luminosité et d’une transparence nouvelles. Il faut souvent installer des systèmes de chauffage actifs car les surfaces en verre ont une déperdition de chaleur bien plus élevée qu’un mur massif. On commence alors à consommer beaucoup d’énergie pour chauffer et climatiser ces structures transparentes installées dans des pays où les saisons font varier les températures. Dans les serres comme dans le logement, ce n’est pas une solution constructive durable et aujourd’hui il n’est plus possible de compenser une conception inadaptée au climat uniquement par de l’énergie active.⁶¹

Cette époque de l’industrialisation annonce aussi le déclin du mur à fruit qui nécessite énormément de main d’œuvre pour son entretien. Il paraît à l’époque plus simple et moins cher d’importer les fruits et légumes grâce au développement des chemins de fer. Or, dans la recherche actuelle de solutions low-tech, pourquoi ne pas réintroduire les murs à fruits pour continuer à jouir d’aliments ayant besoin d’un climat plus chaud pour pousser? L’enseignement à tirer d’une telle installation passive réside sans doute dans son potentiel énergétique et sa productivité. Les gens sont habitués à consommer une grande variété d’aliments mais tous ne sont pas locaux. S’ils sont cueillis presque à maturation, les fruits exotiques doivent la plupart du temps être transportés en avion, et s’ils voyagent en train ou en bateau, ils sont récoltés avant maturité et soumis à une maturation artificielle.⁶² En inversant la tendance et en faisant pousser les fruits et légumes sur les murs adaptés de la ville, leur bilan écologique et leurs saveurs n’en seront que meilleurs.

61.
Kris De Decker. 2015.
«Les Murs à Fruits:
*l’Agriculture Urbaine au
17e Siècle*». Dans: Solar
Low Tech Magazine [en
ligne]. 24 décembre
2015.

62.
Vogt, Claudia. 2017.
«13 fruits exotiques:
lesquels avez-vous déjà
goûtés?». Dans: iMpuls
[en ligne].

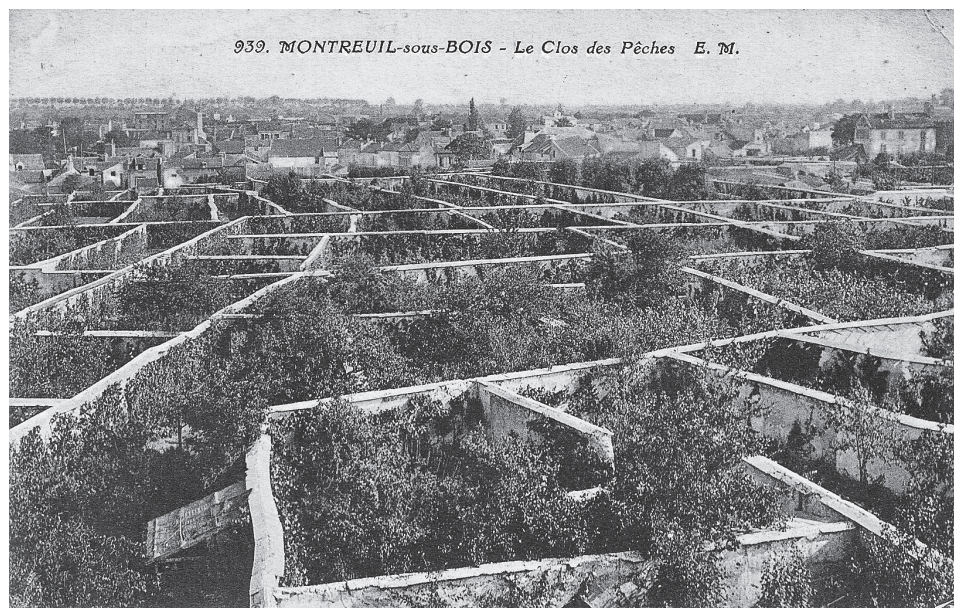
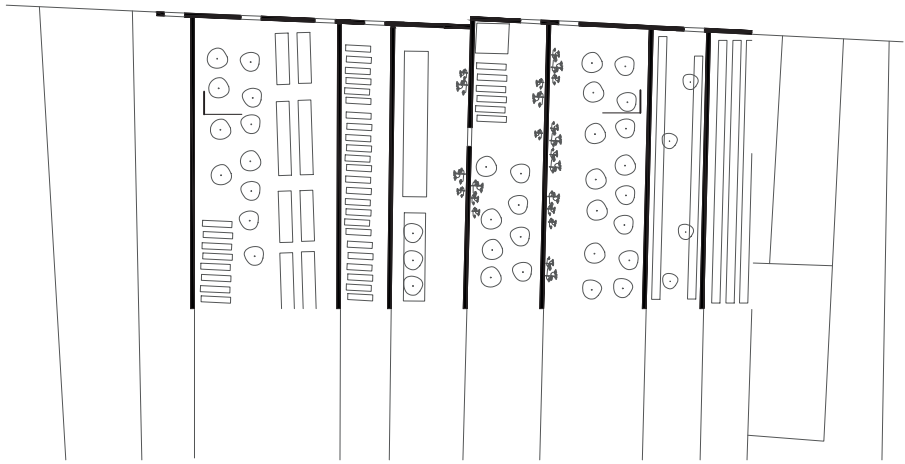
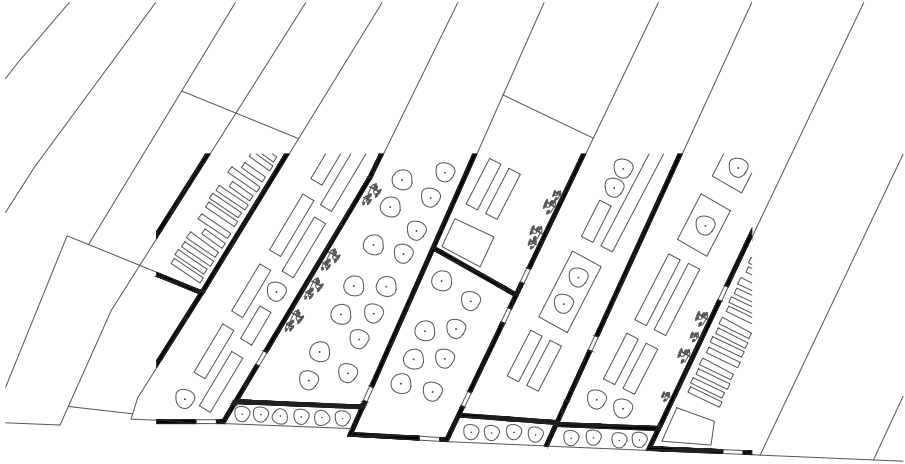
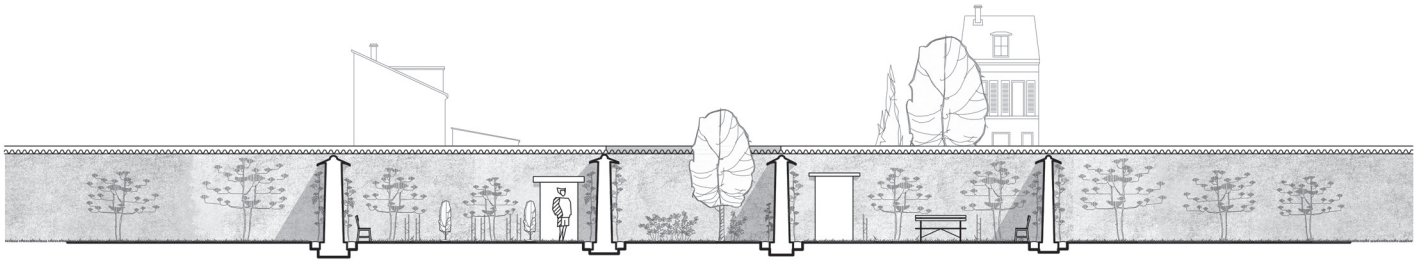


Illustration 12: Carte postale du XXe siècle: le clos des pêches à Montreuil, édité par E.M.





0 5 15m



Illustration 13: Façade en pierre calcaire massive, côté loggias © Kevin Dolmaire

2011, Logements sociaux collectifs, Cornebarrieu, France, Perraudin Architecture

Cet immeuble en pierre se trouve à Cornebarrieu, une commune non loin de Toulouse. Le climat y est chaud et tempéré. Dans la région toulousaine, il y a de grandes chaleurs en été et des hivers modérés.⁶³ Il s'agit d'un nouveau quartier d'habitation, à l'orée d'une forêt, entre le village de Cornebarrieu et la nature environnante. Possédant un rez et deux étages, l'immeuble est composé de deux entités similaires, une orientée plein sud et l'autre sud-est. Elles forment un angle ouvert sur le parc du paysagiste Michel Desvignes, proposant une large promenade avec des voies d'accès pour la mobilité douce, des noues pour la gestion des eaux de ruissellement et une végétation généreuse. Cet édifice est imaginé et conçu selon des principes architecturaux régulièrement développés dans les projets de l'équipe lyonnaise, qui dévoue ses recherches à trouver "des solutions pour l'amélioration et la conservation de conditions de vie sur terre".⁶⁴

Catherine Séron-Pierre écrit dans le n°211 du magazine AMC: "L'agence Gilles Perraudin est en effet très attachée à développer une architecture répondant à des principes de confort, sains et efficaces. [...] [Ici,] la stratégie environnementale s'appuie sur une conception bioclimatique et des principes écologiques tels l'effet de tampon thermique qu'apportent les loggias profondes protégées de volets, la gestion de l'eau de pluie par des toitures végétalisées pour la rétention d'eau, la mise en place de capteurs photovoltaïques sur les toits des garages."⁶⁵ Perraudin Architectes élaborent tout le projet dans cette même optique. Ils pensent à l'organisation thermique des pièces dans le bâtiment. Au nord, les chambres donnent sur la limite boisée. Les ouvertures sont d'étroites fenêtres verticales s'ouvrant sur la façade la plus fraîche et la plus calme. Au sud, on accède à chaque logement par les grandes loggias, donnant elles-mêmes sur le parc central animé. Elles sont protégées par des volets à persiennes laissant filtrer l'air. Les menuiseries et les volets sont en bois brut. Les loggias servent de transition thermique ainsi que de transition privative entre public et privé. Dès qu'il fait beau, la surface habitable est 'augmentée'. Les vingt typologies de logement sont traversantes. Grâce à l'orientation favorable du bâti, cela permet une ventilation naturelle.⁶⁶ La vie dans cette unité d'habitation se déplace avec le climat, les espaces changent dynamiquement de l'intérieur vers l'extérieur en fonction du confort saisonnier.

63.
Merkel, Alexander.
2020. CORNEBARRIEU
CLIMAT (France).
Climate-Data.org [en
ligne].

64.
Perraudin, Gilles. 2018.
Présentation de l'agence.
perraudin architecture
© [en ligne].

65.
Séron-Pierre,
Catherine. 2011.
*«Les 100 bâtiments
de l'année: 2011 une
année d'architecture
en France».* Dans:
AMC, n°211. Paris: Le
Moniteur.

66.
Perraudin Architecture.
2019. *Logements sociaux
ZAC Monges-Croix-
du-Sud, Cornebarrieu.*
darchitectures.com [en
ligne]. 19 septembre
2011.

Les murs porteurs sont en pierre massive de 40 centimètres d'épaisseur. Ils sont laissés sans traitement et fonctionnent comme un système de climatisation naturelle car ils sont capables d'absorber l'excès de chaleur et de le restituer progressivement. La pierre a de nombreuses vertus, telles que l'inertie thermique, le déphasage et la régulation hygrothermique. C'est un matériau sain et pérenne. On peut dire que cet édifice est remarquable pour sa ré-introduction de la pierre comme matériau principal d'une architecture banale et confortable car elle intègre une réflexion climatique dès sa conception. Perraudin Architectes déclarent: "Elle [la construction en pierre calcaire] tend à éliminer les isolants muraux qui coupent l'habitant d'une respiration avec l'environnement naturel. Elle remet l'homme dans une relation dynamique avec l'environnement, dans une relation respectueuse."⁶⁷

67.
Perraudin Architecture.
2019. *Logements sociaux ZAC Monges-Croix-du-Sud, Cornebarrieu*.
darchitectures.com [en ligne]. 19 septembre 2011.

Dans le magazine publié suite à l'exposition «Pierre, révéler la ressource, explorer le matériau», que proposait le Pavillon de l'Arsenal et l'agence d'architecture Barrault Pressacco en 2018, on comprend que la pierre mérite toute l'attention des constructions à proximité de carrières pour de multiples raisons. D'abord, les ressources minérales sont très variées. Ici, l'agence Perraudin travaille avec du calcaire de Beaulieu, une roche de couleur beige clair. Ensuite, la roche dans nos sols est généralement abondante. Utiliser la pierre comme matière première à la place du béton par exemple, peut éviter l'importation de sable, ce dernier étant une ressource dangereusement en baisse.⁶⁸ La proximité des gisements est une donnée fondamentale pour éviter de longs transports aux blocs de pierre. Ceux des logements collectifs proviennent d'une carrière proche de Montpellier. La dimension des blocs dépend de l'extraction en gravière. Ce paramètre peut varier selon la hauteur des bancs, c'est-à-dire les assises de sédimentation, et selon les machines d'extraction.⁶⁹ Il faut procéder à la coupe et cela demande de la main d'œuvre dotée d'un certain savoir-faire. Utiliser la pierre valorise les ouvriers dotés de ces connaissances, tels que le carrier et le maçon. En outre, la taille est l'unique opération nécessaire à la préparation de la pierre: aucune cuisson ni mélange n'est requis. Ainsi le peu d'énergie consommée lors de l'extraction et du transport allège l'empreinte carbone des constructions en pierre par rapport à la plupart des chantiers. Finalement, son impact écologique est facilement compensé par une durée de vie très longue du matériau.

68.
Nouyrigat, Vincent.
2019. «Faut-il craindre la pénurie de sable?». Dans: *Science&Vie* [en ligne]. 13 avril 2019.

69.
Sonnette, Stéphanie.
2019. «L'aventure de la construction en pierre massive». Dans: *Tracés* n°07/2019. Zürich: espazium.

Sur place, aucune finition ou revêtement n'est nécessaire. Le matériau a une grande valeur intrinsèque et est exploitable en l'état. La pierre est durable et résistante. Elle se patine au fil du temps. La couleur de la roche donne à la façade un caractère naturel minéral. De plus, ses propriétés démontrent sa robustesse face au climat. Du fait d'emmagasiner la chaleur ou la fraîcheur et de la libérer ensuite, la pierre offre un climat plus tempéré à son environnement interne et externe; c'est le déphasage. En effet, on observe un micro climat influencé par les matériaux et l'ensoleillement devant les façades. Pour une meilleure isolation, les murs sont renforcés par une isolation naturelle de chanvre ou de laine de bois.

70.
Séron-Pierre, Catherine. 2011. «Les 100 bâtiments de l'année: 2011 une année d'architecture en France». Dans: *AMC*, n°211. Paris: Le Moniteur.

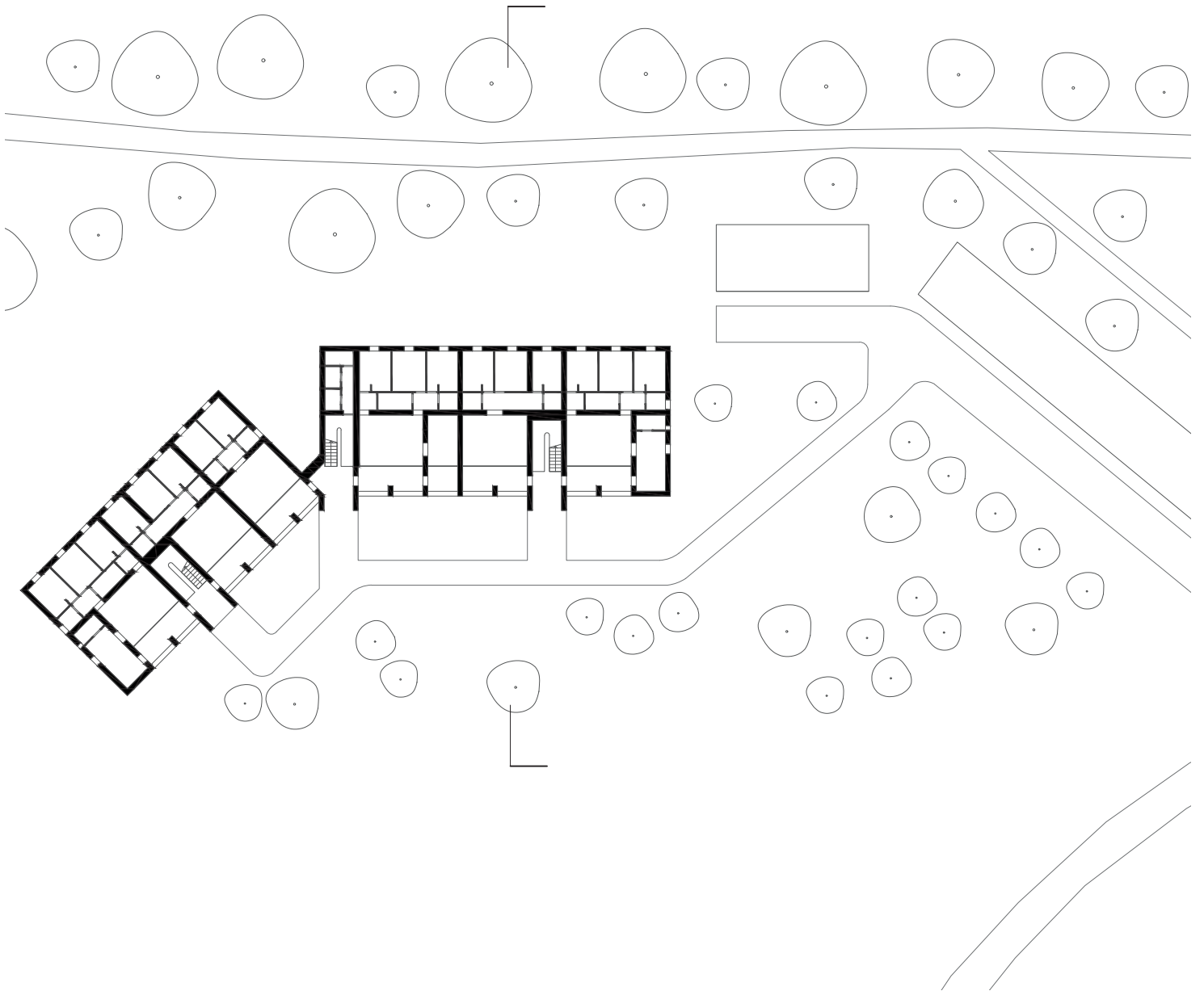
Un chantier en pierre ressemble à celui d'un bâtiment préfabriqué dans son efficacité car les éléments arrivent sur site prêts à être posés. En effet, on procède au montage des assises et on lit l'immédiateté de sa mise en œuvre. A Cornebarrieu, les blocs sont montés avec l'aide d'une grue et les joints sont faits à la chaux.⁷⁰ Les nuisances

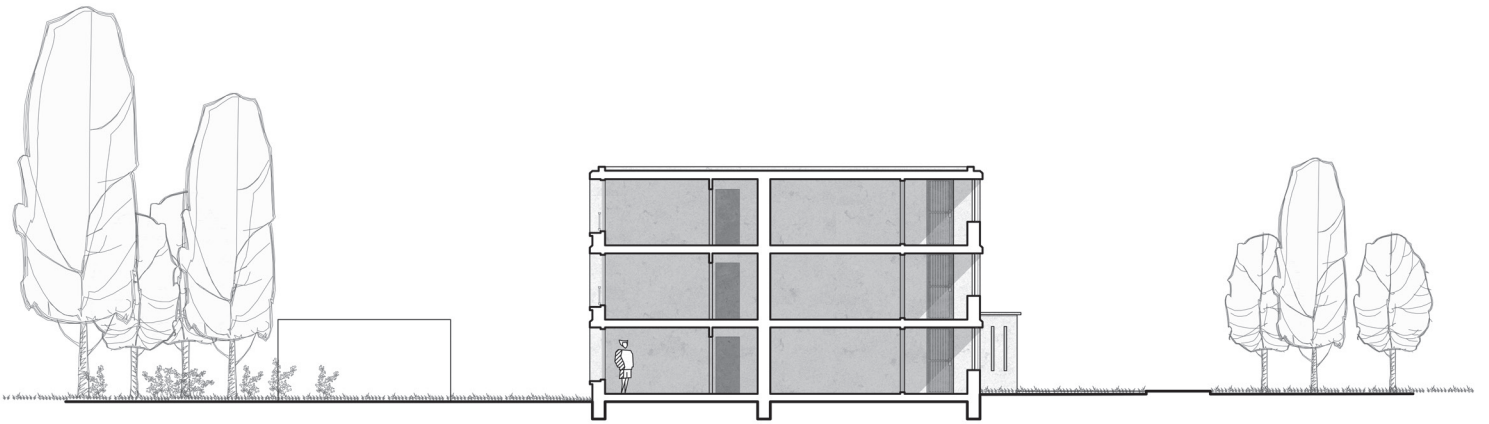
dues au chantier sont très faibles. Les ajustements *in situ* sont possibles en taillant de façon plus précise la roche. Des joints et un calepinage soignés révèlent un travail fin et précis. La logique des modules et de l'empilement des blocs de pierre conduit à une architecture très lisible. De par sa compréhension structurelle évidente sans artifice, le matériau est familier. Sa sobriété lui vaut la plupart du temps une adhésion populaire. La construction minérale possède une bonne résistance à la compression. Cependant, une association à d'autres matériaux est requise pour la flexion ou la traction. La pierre est depuis toujours le matériau du bâtisseur par excellence. Ici, l'innovation n'est pas dans un matériau nouveau mais dans la redécouverte d'une technique développée en adéquation avec la donnée du climat.

Lorsqu'on traite la question du cycle de vie du matériau et de son impact environnemental, le démontage total sans destruction est possible. On peut même envisager une réutilisation en l'état. Selon Elioth Ingénierie, 95% de la pierre est réemployée contre seulement 25% du béton: "Ses calculs et les données qui en résultent rapprochent de façon significative la valeur énergétique de la pierre de celle, exemplaire, du bois et devancent très largement les solutions 'tout béton.'"⁷¹

Ainsi, quelques architectes, tels que Perraudin, s'avancent comme pionniers de l'architecture en pierre massive revisitée. Avec cette matière première, ils explorent le potentiel d'hier et entreprennent d'écrire le vocabulaire de demain. Les logements sociaux à Cornebarrieu sont une des références récentes pour les réalisations en pierre. La filière de la pierre mérite d'être valorisée comme solution locale et durable pour l'architecture de demain. Présage de pérennité, elle a un grand potentiel d'utilisation et de nombreuses qualités à faire valoir.⁷²

71. et 72.
Labasse, Alexandre,
Carrega, Marianne et
Pansu, Julien. 2018.
*Pierre: révéler la
ressource, explorer le
matériau*. Paris: Pavillon
de l'Arsenal.





0 5 15m



Illustration 14: Perspective sur les pièces de la Casa 1219 © Adrià Goula.

2014, Casa 1219, Palau-Solità i Plegamans, Espagne, Harquitectes

Harquitectes est un bureau catalan qui a pour but de proposer des bâtiments avec un bon comportement passif. Les quatre associés tiennent compte des matériaux et de leurs implications dans les stratégies constructives. Ils ne les cachent pas sous des revêtements illusoires mais les révèlent bruts aux yeux de tous. De même, les dispositifs passifs sont fièrement affichés afin de les faire entrer peu à peu dans les habitudes constructives. Pour démarrer leurs projets, ils prennent toujours en compte les paramètres visibles et invisibles du territoire. Le basique devient essentiel dans leur recherche vers la simplicité des éléments fondamentaux, tels que toit, structure ou ouvertures. Ils proposent des solutions synthétiques qui répondent pourtant à de nombreuses données. Ils veulent un bâtiment complet, pas compliqué. Ils s'inspirent du savoir vernaculaire pour l'honnêteté de sa construction et la transposent dans des bâtiments contemporains. Ils appliquent une organisation minimale et efficace pour obtenir des conditions optimales d'utilisation. Leurs œuvres ne sont pas figées dans le temps mais évoluent, vieillissent et se transforment au fil des saisons et des années. En résumé, leur intérêt porte sur le comportement du bâtiment: l'utilisation au quotidien, la réduction de la demande de consommation, les stratégies passives, le cycle de vie du bâti, les matériaux. Ensuite, Harquitectes considère comme essentiel le comportement des matériaux: la traçabilité, la capacité de stockage et la faculté à respirer. Finalement, ils accordent une grande importance au comportement des personnes qui habitent l'architecture et qui ont une véritable influence sur la durabilité d'un bâtiment.⁷³

Sur la page web de Harquitectes, ils décrivent leur projet comme une maison familiale qui répond aux besoins fondamentaux mais offre un grand potentiel d'appropriation. La maison est construite sur un seul étage et possède une surface au sol de 209 mètres carrés. Son plan est composé de 10 rectangles identiques de 3,5 x 5,12 mètres. Leur interchangeabilité et les relations généreuses entre les pièces offrent une grande liberté d'aménagement. Pour autant, la taille des pièces n'est pas démesurée, elles sont bien proportionnées et tempérées, adaptées au corps humain. Cette grande flexibilité permet d'imaginer que la maison peut être utilisée de manière très différente au fil des saisons et des années.

73.
Márquez Cecilia,
Fernando, MGM,
Estudio Barozzi
Veiga, Harquitectes
et Selgas Cano.
2015. *MGM, Barozzi
Veiga, Harquitectes,
Selgascano: cuatro
estrategias - four
strategies 2015*. El
Croquis, 2015, 181.
Madrid: El Croquis Ed.

Au tout début du projet, lors de l'étude du site d'intervention, l'étude géotechnique montre que le sol a une faible capacité de résistance. En réponse, les architectes choisissent d'utiliser un système structurel linéaire organisé en grille pour répartir proportionnellement les charges du toit jusqu'au sol. C'est-à-dire qu'ils ne font pas de dalle de fondation uniforme sous la surface du bâti, mais des fondations en grille uniquement sous les murs porteurs. On calcule la charge maximale que peut supporter le terrain afin que les utilisateurs puissent jouir d'une grande capacité thermique. Les murs porteurs à courte portée donnent une réponse structurelle simple et évidente.⁷⁴ Le volume libéré sous le plancher est rempli avec un lit généreux de gravier afin de créer un collecteur thermique. Le collecteur prétraite le renouvellement de l'air dans la maison. L'inertie thermique des graviers réchauffe l'air en hiver et le rafraîchit en été avant de le distribuer. Les espaces sont constitués de matériaux bruts et standards : des murs porteurs en briques de terre cuite, un sol en béton, des menuiseries en bois et des plafonds composés de petites voûtes en tuiles de terre cuite. La structure et le revêtement ne font qu'un. Ils peuvent stocker à la fois chaleur, fraîcheur et humidité. La qualité des surfaces apparentes affecte directement la perception de l'utilisateur. La sensation tempérée et honnête du matériau se ressent au visuel comme au toucher. La compréhension de la logique constructive et l'identification des différents matériaux renforce la familiarité entre l'utilisateur et son habitat.

74.
Harquitectes. 2013.
Casa 1219. ©H2015 [en
ligne].

La parcelle se situe dans la province de Barcelone dans une zone résidentielle de faible densité. Le climat est tempéré chaud. Cela correspond à la région méditerranéenne, c'est-à-dire que les hivers sont doux et pluvieux et les étés très chauds et ensoleillés.⁷⁵ Le terrain est en pente douce et profite d'un excellent ensoleillement tout au long de la journée. La façade longitudinale donnant sur la parcelle voisine verte et le jardin est orientée sud-est afin de recevoir le plus d'ensoleillement en hiver et d'être protégée par les arbres durant l'été. Les ouvertures en façades sont de grandes porte-fenêtres vitrées placées dans la continuité des encadrements assurant les relations interpièces. Elles sont pourvues de stores vénitiens intérieurs. Par cette même orientation, la maison jouit d'une ventilation naturelle croisée et se protège des vents du nord-ouest grâce au bâti de l'autre parcelle attenante. Pour créer un seuil de rafraîchissement de l'air, la maison possède un jardin vertical organisé avec une structure en bois légère sur le même rythme de grille que celle du plan. Les plantes grimpantes forment une protection solaire pour les façades en été. La structure végétale empêche le soleil d'été méditerranéen de surchauffer la maison. L'hiver, les arbres sont dépouillés de leurs feuilles et la lumière naturelle pénètre plus loin dans le bâti. Toutes les stratégies combinées assurent une excellente régulation thermique sans ventilation mécanique. Sans air conditionné, on peut ouvrir les fenêtres et rompre avec le bâti hermétique, souvent trop sec et trop froid. Concernant le confort en l'architecture, il se trouve dans la possibilité de choisir parmi une variété de pièces aux températures ambiantes et d'un accès direct au jardin. Sous la chaleur de l'été méditerranéen, la possibilité de s'abriter à l'ombre rafraîchissante des plantes le jour et de dormir dans une pièce fraîche la nuit tombée offre un grand confort à l'utilisateur. Philip Ursprung dit: "Luxury is not the distance from the environment but one's proximity to and exchange with the environment."⁷⁶

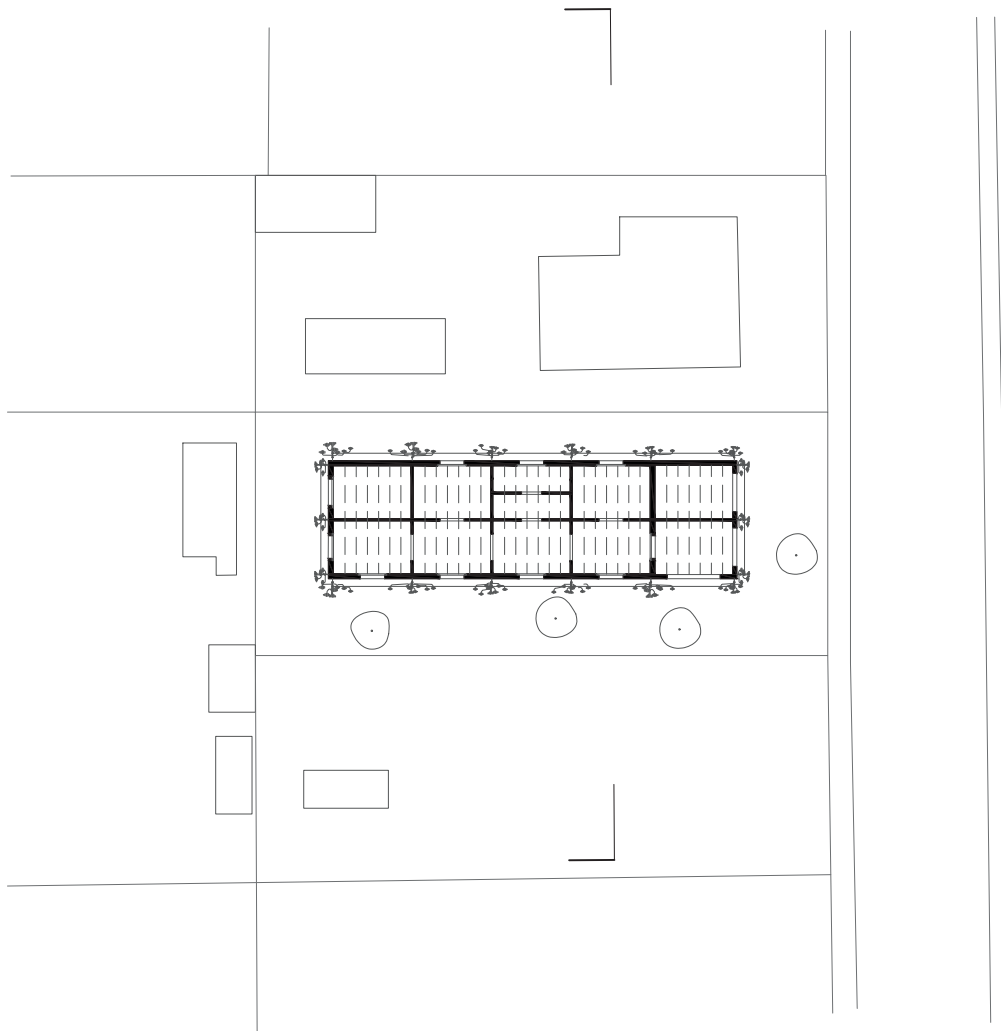
75.
Merkel, Alexander. 2020.
BARCELONE CLIMAT
(Espagne). Climate-Data.
org [en ligne].

76.
Ursprung, Philip.
2020. «Un Viaje
por los Edificios de
Harquitectes». Dans:
Harquitectes 2010
2020: aprender a
viver de otra manera
= learning to live in a
different way. Madrid: El
Croquis.

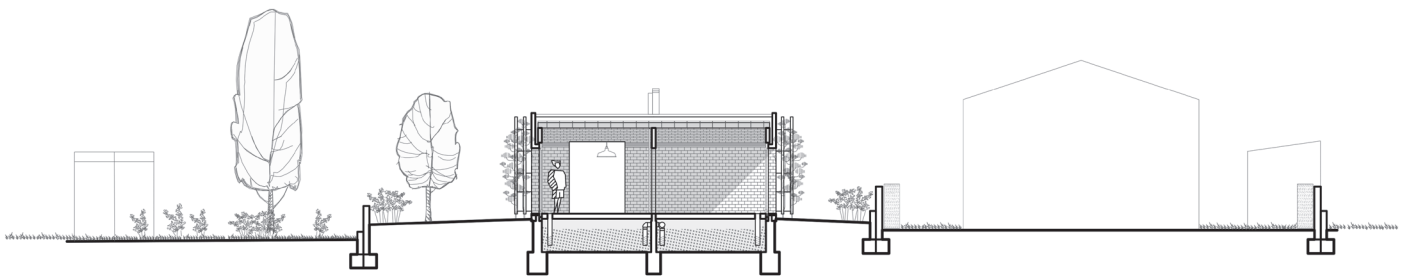
La terre d'excavation des fondations sert à compenser la très légère pente du terrain afin de privilégier la relation directe entre l'intérieur et l'extérieur. La forme basse et discrète du bâti ainsi que son camouflage derrière les végétaux rendent son impact visuel plus léger. Le jardin et la maison forment une unité, on habite la maison comme le jardin. Le lieu de vie est une seule et même chose, les habitants vivent en utilisant toute la parcelle.

Pour finir, la philosophie qui rassemble toutes ces idées est la façon de Harquitectes à articuler la relation entre l'architecture et le terrain. Il y a un lien étroit entre le sol de la maison et celui du jardin. On retrouve ce principe dans la Casa 1219 comme dans d'autres réalisations du même bureau. Dans l'article 'Aires de Cambio', Philip Ursprung, le professeur d'Histoire de l'art et de l'architecture écrit : "Rather than separating the indoor from the outdoor areas, they connect them. And rather than defining spaces —and colonizing the ground— they produce spaces which respect the ground. The ambivalence that this concrete element produces undermines the traditional binary opposition between house and landscape that is typical in the design of villas since Antiquity. This ambivalence also subverts the authoritarian domination of the land by architecture. Harquitectes critically reflect the power relation that is embodied in the binary opposition between the house and the land."⁷⁷ En ce sens, Harquitectes change la façon d'aborder le projet. Les paramètres du territoire et du climat ne sont pas soumis à l'architecture, mais mis en avant pour donner l'impulsion à la créativité.

77.
Ursprung, Philip.
2020. «Un Viaje
por los Edificios de
Harquitectes». Dans:
Harquitectes 2010
2020: aprender a
viver de otra manera
= learning to live in a
different way. Madrid: El
Croquis.



0 5 15m



0 5 15m

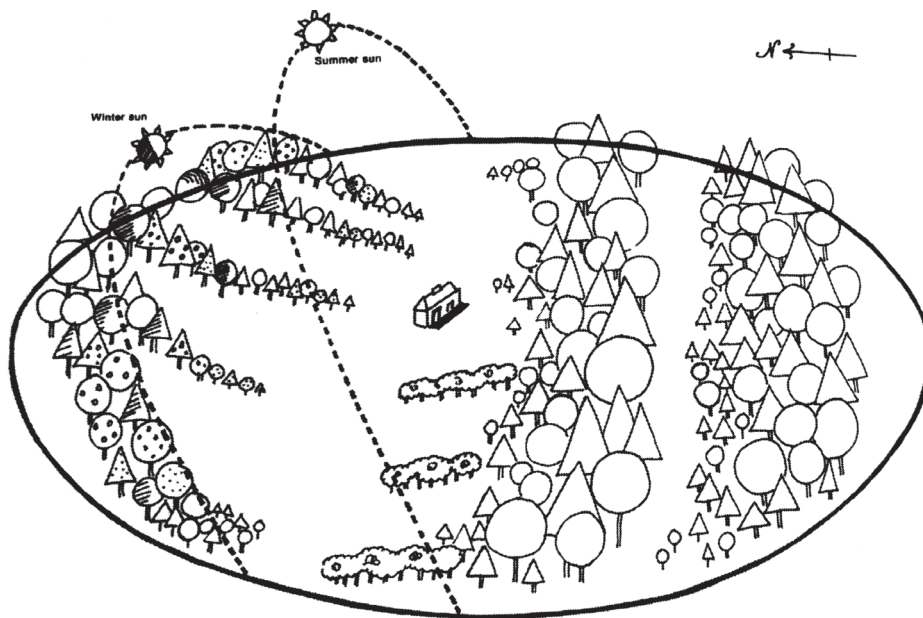


Illustration 15: Planification climatique, les angles du soleil en hiver et en été décident de la hauteur des arbres à planter © Mollison, Bill. Holmgren, David. 1978. *Permaculture One*.

CONCLUSION

En conclusion, les ouvrages mêlent tous de grandes qualités architecturales et des dispositifs solaires passifs ingénieux. D'autres d'exemples pourraient être présentés, mais ce *corpus* se veut non exhaustif et espère déjà soulever les bonnes réflexions.

A travers chaque projet, on observe un co-développement entre architecture et machine à climat. Ce ne sont pas deux canaux de pensée autonomes avec une écriture architecturale d'un côté et des dispositifs techniques de l'autre mais justement des projets où les deux s'entremêlent. Ce qu'il faut en retenir c'est la manière dont un dispositif technique lié au climat donne lieu à une réflexion architecturale particulière. Cette mission nouvelle est une formidable possibilité de renouveau et de continuation des questions architecturales universelles. Ce n'est pas une contrainte négative, mais la possibilité pour toute une génération d'architectes d'être face aux mêmes objectifs pour la première fois depuis longtemps. Au XIXe siècle et au XXe siècle, on s'intéressait au logement de masse, puis à l'urbanisme des villes et aux tissus urbains. Ces sujets sont devenus des thèmes exaltants car ils avaient une réelle nécessité. Quelque part, les questions environnementales sont une opportunité de prolonger et de renouveler l'architecture de qualité.

La passivité de l'architecture peut être appliquée à toute fonction de bâtiment mais dans l'idéal, les simples dispositifs dont on va se lasser sont à éviter. Les projets traités dans cet énoncé présentent des programmes sensibles comme la cave à vin, l'entrepôt de séchage à herbes ou l'orangerie. Ces cas extrêmes de stabilité sont significatifs par leur immense inertie thermique. L'exploitation maximum d'une solution, tel qu'envelopper de pisé l'entièreté d'un entrepôt, nous permet d'en tirer de vrais enseignements. Dès lors, on peut s'en servir de références pour d'autres programmes plus communs comme le logement. On n'habite pas une boîte aveugle comme le Kräuterzentrum de Ricola, mais on combine plusieurs stratégies plus légères afin d'amener le confort adéquat à du logement. Dans une optique de pérennité, la grande architecture est préférée car elle garde une permanence formelle même si la fonction évolue. Les espaces permanents trouvent une résilience dans le temps.

Ensuite, pour tracer les perspectives de l'avenir d'un point de vue environnemental, certains cas d'études représentent des références plus crédibles que d'autres. Lorsqu'on importe de l'autre bout du monde un matériau, aussi utile soit-il, on perd en cohérence. On parle plutôt de réussite au moment où les réponses climatiques produisent non seulement une architecture vertueuse mais surtout une architecture de qualité. La plupart des bâtiments emblématiques de l'architecture durable sont encore expérimentaux. Cela doit tenir à cœur aux architectes comme aux citoyens de les rendre de plus en plus communs. Il faut quitter le champ de l'expérimentation pour arriver à celui de l'ordinaire. Pour que l'architecture responsable soit la norme, cela demande certaines conditions. De la même manière qu'à l'ère industrielle, il faut réintroduire une standardisation des solutions architecturales pour sortir du côté artisanal, tout en ne généralisant pas les paramètres environnementaux cette fois-ci, mais plutôt en valorisant la diversité des solutions. Ainsi, au lieu d'utiliser des éléments préfabriqués en béton ou des profilés métalliques types, on peut notamment développer un système de récupération et compression de la terre d'excavation, comme l'entreprise Terrabloc⁷⁸ ou proposer des assemblages simples de briques de terre cuite pour les grandes portées, comme les systèmes de voûtes catalanes.⁷⁹ Le dernier cas d'étude sort précisément du statut spécifique pour entrer dans le statut courant. La Casa 1219 est un ouvrage simple dans une zone résidentielle banale. Pourtant, à l'échelle d'un bâtiment ordinaire, il démontre une architecture responsable mais surtout confortable et pleine de possibilités. Dans cette maison familiale, plusieurs dispositifs passifs qui fonctionnent ensemble sont développés.

78.

Péca, Servan. 2020. «*La terre crue s'invite dans les intérieurs*». Dans: *Le Temps*. 4 novembre 2020.

79.

Araguas, Philippe. 1998. «*L'acte de naissance de la Boveda Tabicada ou le certificat de naturalisation de la 'voûte catalane'*». Dans: *Bulletin Monumental*, tome 156, n°2.

L'analyse climatique et environnementale est particulière à chaque site. Sébastien Marot décrit dans son cours une nouvelle approche du territoire prenant en compte les différentes caractéristiques d'un lieu: "la vision biorégionaliste ou l'art d'habiter la Terre" de Kirkpatrick Sale. L'organisation des territoires serait établie selon la diversité écologique et culturelle. Cette optique propose une conception alternative de la société actuelle organisées en 'biorégions', toutes gérées à une échelle régionale. Cette approche insiste sur le caractère d'identité géographique particulière, comme le système du bassin-versant ou celui de la vallée. En restant à une échelle moyenne, les citoyens sont attentifs aux systèmes renouvelables à l'intérieur de la communauté. Par le biais d'une bonne connaissance des ressources locales, on vise une meilleure cohérence écologique et climatique.⁸⁰

80.

Marot, Sébastien. *Cours «Projet urbain contemporain, Agriculture (Architecture) et Urbanisme»*, Semestre d'automne 2019.

Enfin, la relation à l'environnement change: l'humain avait une relation de domination sur l'environnement, souvent signifiée par une frontière marquée entre le dehors et le dedans ou une surélévation triomphante. Dorénavant, on vise plutôt une harmonie durable entre l'humain et son écosystème. La partie construite d'un bâtiment se situe dans une relation continue et respectueuse avec le monde extérieur.⁸¹ En effet, l'architecture n'est pas seulement un moyen de se protéger de l'environnement et des conditions climatiques, c'est aussi un dispositif permettant de mettre en relation l'Homme avec son milieu.

81.

Ursprung, Philip. 2020. «*Un Viaje por los Edificios de Harquitectes*». Dans: *Harquitectes 2010 2020: aprender a vivir de otra manera = learning to live in a different way*. Madrid: El Croquis.

Finalement, je retiens de cette étude un savoir en soi éclairé par les huit projets précédemment analysés, mais également la capacité d'appliquer ces principes sur un projet en particulier: une architecture qualitative et climatique. Une bonne compréhension des paramètres visibles et invisibles du site d'intervention donne une

architecture située et en harmonie avec son territoire, c'est pourquoi il vaut mieux se rendre sur place et accorder du temps à cette exploration. De plus, l'architecte est capable de guider le bâtiment vers une longévité plus importante qu'elle ne l'est aujourd'hui en lui donnant d'une part, une échelle plus adaptée à la taille humaine et d'autre part, une qualité d'abri tempéré pouvant s'adapter au divers usages au fil des années. Pour ne pas tomber dans l'anecdotique et surtout pour rendre plus commune et visible l'architecture passive, le projet devrait servir au quotidien et être accessible au public; un lieu fréquenté régulièrement, tel un marché, une école ou un restaurant. Enfin, pour la matérialité du bâti, de nombreuses solutions sont possibles mais comme la pierre, la terre, la brique appliquées aux projets précédemment étudiés, leur utilisation doit être locale, sensée et, si possible, créer un lien avec ce qu'il s'y passe à l'intérieur.

BIBLIOGRAPHIE

LIVRES

Allain, Yves-Marie. 2010. *De l'orangerie au palais de cristal: une histoire des serres*. Versailles: Éditions Quæ.

Bainbridge, David A. et Haggard, Kenneth L. 2011. *Passive solar architecture: heating, cooling, ventilation, daylighting and more using natural flows*. White River Junction, Vt: Chelsea Green Pub.

Banham, Reyner, Luc Baboulet et Antoine Cazé. 2011. (1^{ère} édition en 1964.) *L'architecture de l'environnement bien tempéré*. Orléans: HXX

Barber, Daniel A., Kevin Bone, Steven Hillyer et Sunnie Joh. 2014. *Lessons from modernism: environmental design strategies in architecture, 1925-1970*. New York: The Cooper Union Institute for Sustainable Design, The Irwin S. Chanin School of Architecture of The Cooper Union : The Monacelli Press.

Jestaz, Bertrand. 2008. *Jules Hardouin-Mansart*. Librairie de l'architecture et de la ville. Paris: Picard.

Labasse, Alexandre, Carrega, Marianne et Pansu, Julien. 2018. *Pierre: révéler la ressource, explorer le matériau*. Paris: Pavillon de l'Arsenal.

Levene, Richard C. 2005. *Herzog & de Meuron: 1981 - 2000*. El Croquis, 2000, 60 + 84. Madrid: El Croquis Ed.

Márquez Cecilia, Fernando, MGM, Estudio Barozzi Veiga, Harquitectes et Selgas Cano. 2015. *MGM, Barozzi Veiga, Harquitectes, Selgascano: cuatro estrategias - four strategies 2015*. El Croquis, 2015, 181. Madrid: El Croquis Ed.

Noisette, Louis. 1825. *Manuel complet du jardinage*, Rousselon, Paris. [Consulté le 19 novembre 2020]. Disponible à l'adresse: <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k98031943.texteImage>

Olgay, Victor. 1992. *Design with climate: bioclimate approach to architectural regionalism*. New York: Van Nostrand Reinhold.

M. Piganiol de La Force. 1742. *Description de Paris, de Versailles, de Marly, de Meudon, de S. Cloud, de Fontainebleau, et de toutes les autres belles maisons & châteaux des environs de Paris*. Tome 8. Paris: Nouvelle édition. [Consulté le 19 novembre 2020]. Disponible à l'adresse: <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k65706361.texteImage>

Saudan-Skira, Sylvia et Saudan, Michel, 1994. *Orangeries. Splendeurs et métamorphoses*, atelier d'édition « le septième fou », Genève.

Suzuki, Hisao et Curtis, William J.R. 1999. *Alvaro Siza 1995-1999 : notes on invention = notas sobre la invención*. El croquis, N. 95. Madrid : El Croquis Ed.

CHAPITRES DE LIVRE

Vitruve, 1673. « Livre VI, Chapitre I, De la différente manière de disposer les maisons selon les différentes qualités des régions & selon les aspects du Ciel ». Dans: Les dix livres d'architecture [Reproduction]. Paris: Coignard. [Consulté le 22 octobre 2020]. Disponible à l'adresse: <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k57787h/f8.item.r=vitruve%20les%20dix%20livres>

Yu, Mayine. 2014. «Part 1, Load-bearing construction». Dans: Skins, envelopes, and enclosures: concepts for designing building exteriors. New York: Routledge.

ARTICLES DE PRESSE

Araguas, Philippe. 1998. «L'acte de naissance de la Boveda Tabicada ou le certificat de naturalisation de la 'voûte catalane'». Dans: Bulletin Monumental, tome 156, n°2.

Péca, Servan. 2020. «La terre crue s'invite dans les intérieurs». Dans: Le Temps. 4 novembre 2020. [Consulté le 22 décembre 2020]. Disponible à l'adresse: <https://static1.squarespace.com/static/56f11c090442628377d7f98e/t/5fa4255522f78c62be421ba8/1604592985839/LeTemps-20201104.pdf>

Séron-Pierre, Catherine. 2011. «Les 100 bâtiments de l'année: 2011 une année d'architecture en France». Dans: AMC, n°211. Paris: Le Moniteur.

Sonnette, Stéphanie. 2016. «Retour à la terre». Dans: Tracés n°17/2016. Zürich: espazium. [Consulté le 17 décembre 2020]. Disponible à l'adresse: <https://espazium.s3.eu-central-1.amazonaws.com/files/migration/documents/57f4aab00aab7.pdf>

Sonnette, Stéphanie. 2019. «*L'aventure de la construction en pierre massive*». Dans: Tracés n°07/2019. Zürich: espazium. [Consulté le 17 décembre 2020]. Disponible à l'adresse: <https://espazium.s3.eu-central-1.amazonaws.com/files/migration/documents/5c9243145d2bb.pdf>

Ursprung, Philip. 2020. «*Un Viaje por los Edificios de Harquitectes*». Dans: Harquitectes 2010 2020: aprender a vivir de otra manera = learning to live in a different way. Madrid: El Croquis.

COURS ET CONFÉRENCES

ARUP Engineering. *Conférence «Hyper-technology cycle»*, 27 octobre 2020.

Lucan, Jacques. *Cours «théorie de l'architecture I&II»*, Année scolaire 2014-2015.

Marot, Sébastien. *Cours «Projet urbain contemporain, Agriculture (Architecture) et Urbanisme»*, Semestre d'automne 2019.

ARTICLES EN LIGNE

ATS. 2020. *Climat: le mois de juin 2020 a été le plus chaud jamais enregistré, à égalité avec juin 2019*. Dans: Le Nouvelliste [en ligne]. 7 juillet 2020. [Consulté le 23 octobre 2020]. Disponible à l'adresse: <https://www.lenouvelliste.ch/articles/monde/climat-le-mois-de-juin-2020-a-ete-le-plus-chaud-jamais-enregistre-a-egalite-avec-juin-2019-954187>

Beck, H., Zimmermann, N., McVicar, T. et Al. 2018. *Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution*. *Sci Data* 5, 180214. [Consulté le 23 décembre 2020]. Disponible à l'adresse: <https://www.nature.com/articles/sdata2018214>

Beltran, Maria Angeles, Garcia, Julian et Dufresnes, Emmanuel. 2015. *Analyse Bioclimatique de la Maison Jacobs II de Frank Lloyd Wright*. [Consulté le 22 octobre 2020]. Disponible à l'adresse: http://oa.upm.es/46391/1/INVE_MEM_2015_256926.pdf

Iveta Černá, Dagmar Černoušková, Ivan Wahla, Milan Žáček, David Židlický. 2011. *The Villa Tugendhat during the Course of Monument Renovation Work*, *Průzkumy památek*, roč. XVIII. [Consulté le 23 décembre 2020]. Disponible à l'adresse: <https://www.tugendhat.eu/en/the-villa-tugendhat-during-the-course-of-monument.html>

Kris De Decker. 2015. «*Les Murs à Fruits: l'Agriculture Urbaine au 17e Siècle*». Dans: *Solar Low Tech Magazine* [en ligne]. 24 décembre 2015. [Consulté le 13 novembre 2020]. Disponible à l'adresse: <https://solar.lowtechmagazine.com/fr/2015/12/fruit-walls-urban-farming.html>

Kris De Decker. 2020. «*L'Enveloppe Solaire: comment chauffer et rafraichir les villes sans energie fossile*». Dans: *Solar Low Tech Magazine* [en ligne]. 5 août 2020. [Consulté le 20 décembre 2020]. Disponible à l'adresse: <https://solar.lowtechmagazine.com/fr/2020/08/solar-oriented-cities-1-the-solar-envelope.html>

Maurerová, L. et J. Hirš. 2014. «*Villa Tugendhat as a Technical Monument - Elements of Passive Solar Architecture*». Dans: *GSTF Journal of Engineering Technology (JET)*. [Consulté le 19 novembre 2020]. Disponible à l'adresse : https://www.researchgate.net/publication/278847526_Villa_Tugendhat_as_a_Technical_Monument_-_Elements_of_Passive_Solar_Architecture

Nouyrigat, Vincent. 2019. «*Faut-il craindre la pénurie de sable?*». Dans: *Science&Vie* [en ligne]. 13 avril 2019. [Consulté le 16 décembre 2020]. Disponible à l'adresse: <https://www.science-et-vie.com/questions-reponses/faut-il-craindre-la-penurie-de-sable-49009>

Rollet, Pascal. 2015. «*COP21 : quelle architecture à l'heure du réchauffement climatique ?*». *Actualités du Ministère de la Culture* [en ligne]. 30 novembre au 11 décembre 2015. [Consulté le 21 décembre 2020]. Disponible à l'adresse: <https://www.culture.gouv.fr/Actualites/COP21-quelle-architecture-a-l-heure-du-rechauffement-climatique>

The Editors of Encyclopaedia Britannica. 2020. *Álvaro Siza*. *Encyclopædia Britannica*. 21 juin 2020. [Consulté le 28 décembre 2020]. Disponible à l'adresse: <https://www.britannica.com/biography/Alvaro-Siza>

The Hyatt Foundation. 2021. *Jacques Herzog and Pierre de Meuron. 2001 Laureates. Biography*. The Pritzker Architecture Price [en ligne]. [Consulté le 14 décembre 2020]. Disponible à l'adresse: https://www.pritzkerprize.com/sites/default/files/inline-files/2001_bio_0.pdf

The Hyatt Foundation. 2021. *Alvaro Siza Biography*. The Pritzker Architecture Price [en ligne]. [Consulté le 28 décembre 2020]. Disponible à l'adresse: <https://www.pritzkerprize.com/biography-alvaro-siza>

Vogt, Claudia. 2017. «*13 fruits exotiques: lesquels avez-vous déjà goûtés?*». Dans: *iMpuls* [en ligne]. 13 décembre 2019. [Consulté le 2 janvier 2021]. Disponible à l'adresse: <https://www.migros-impuls.ch/fr/alimentation/aliments/fruits/fruits-exotiques>

Von Hunnius, Yvonne. 2015. «*Le nouveau Kräuterzentrum de Ricola allie nature et économie*». Dialogue économie verte de la Confédération suisse [en ligne]. 11 août 2015. [Consulté le 16 novembre 2020]. Disponible à l'adresse: <https://www.gruenewirtschaft.admin.ch/grwi/fr/accueil/economie-verte-en-pratique/Le-nouveau-Kraeuterzentrum-de-Ricola-allie-nature-et-economie.html>

PAGES WEB

Alameda dos Oceanos. 2020. *Rossio Dos Olivais*. Parque Das Nações [en ligne]. [Consulté le 28 décembre 2020]. Disponible à l'adresse: https://www.jf-parquedasnacoes.pt/p/jardins_rossio_dos_olivais

Atelier Timur Ersen. 2016. *La maison des plantes de Ricola by Herzog & de Meuron*. Atelier Kara [en ligne]. [Consulté le 16 novembre 2020]. Disponible à l'adresse: <https://www.timureresen.com/rammed-earth-facade-martin-rauch-ricola-house-of-plant-design-by-herzog-and-de-meuron->

Atelier Zidlicky. 2020. *The Architect*. © 2010-2021 Vila Tugendhat [en ligne]. 18 décembre 2020. [Consulté le 17 décembre 2020]. Disponible à l'adresse: <https://www.tugendhat.eu/en/villa-tugendhat/the-architect.html>

Coutterand, Sylvain. 2017. *Le Petit-âge Glaciaire*. Glaciers-climat [en ligne]. [Consulté le 27 octobre 2020]. Disponible à l'adresse: <https://www.glaciers-climat.com/clg/petit-age-glaciaire/>

Jeuge-Maynard, Isabelle. 2020. *Définition 'écologie'*. Larousse.fr : encyclopédie et dictionnaires [en ligne]. Disponible à l'adresse: <https://www.larousse.fr/encyclopedie/divers/écologie/45580>, consulté le 22 décembre 2020.

Harquitectes. 2013. *Casa 1219*. ©H2015 [en ligne]. [Consulté le 16 décembre 2020]. Disponible à l'adresse: <http://www.harquitectes.com/projectes/casa-barcelona-harquitectes/>

Herzog & de Meuron. 1997. *137 Dominus Winery*. Projects Complete Works [en ligne]. [Consulté le 14 décembre 2020]. Disponible à l'adresse: <https://www.herzogdemeuron.com/index/projects/complete-works/126-150/137-dominus-winery.html>

Herzog & de Meuron. 2014. *369 Ricola Kräuterzentrum*. Projects Complete Works [en ligne]. [Consulté le 14 décembre 2020]. Disponible à l'adresse: <https://www.herzogdemeuron.com/index/projects/complete-works/351-375/369-ricola-kraeuterzentrum.html>

Léon, Vincent. 2019. *Qui nous sommes*. Les pierres de Montreuil [en ligne]. 27 juillet 2019. [Consulté le 13 novembre 2020]. Disponible à l'adresse: <https://lespierresdemontreuil.fr>

L'histoire des Expositions Universelles. 1998. *Le Pavillon du Portugal*. Worldfairs Forum - Expositions Universelles et Internationales [en ligne]. 12 janvier 2017. [Consulté le 2 janvier 2020]. Disponible à l'adresse: <https://www.worldfairs.info/forum/viewtopic.php?t=3471>

Merkel, Alexander. 2020. *VERSAILLES CLIMAT (France)*. Climate-Data.org [en ligne]. [Consulté le 27 octobre 2020]. Disponible à l'adresse: <https://fr.climate-data.org/europe/france/ile-de-france/versailles-8197/>

Merkel, Alexander. 2020. *BRNO CLIMAT (Tchéquie)*. Climate-Data.org [en ligne]. [Consulté le 17 décembre 2020]. Disponible à l'adresse: <https://fr.climate-data.org/europe/tchequie/brno/brno-6284/>

Merkel, Alexander. 2020. *MIDDLETON CLIMAT (Etats-Unis d'Amérique)*. Climate-Data.org [en ligne]. [Consulté le 6 janvier 2021]. Disponible à l'adresse: <https://fr.climate-data.org/amerique-du-nord/etats-unis-d-amerique/wisconsin/middleton-56049/>

Merkel, Alexander. 2020. *NAPA CLIMAT (Etats-Unis d'Amérique)*. Climate-Data.org [en ligne]. [Consulté le 14 décembre 2020]. Disponible à l'adresse: <https://fr.climate-data.org/amerique-du-nord/etats-unis-d-amerique/californie/napa-16172/>

Merkel, Alexander. 2020. *BÂLE CLIMAT (Suisse)*. Climate-Data.org [en ligne]. [Consulté le 16 novembre 2020]. Disponible à l'adresse: <https://fr.climate-data.org/europe/suisse/bale-ville/bale-437/>

Merkel, Alexander. 2020. *LISBONNE CLIMAT (Portugal)*. Climate-Data.org [en ligne]. [Consulté le 28 décembre 2020]. Disponible à l'adresse: <https://fr.climate-data.org/europe/portugal/lisbonne/lisbonne-3308/>

Merkel, Alexander. 2020. *CORNEBARRIEU CLIMAT (France)*. Climate-Data.org [en ligne]. [Consulté le 16 décembre 2020]. Disponible à l'adresse: <https://fr.climate-data.org/europe/france/midi-pyrenees/cornebarrieu-66884/>

Merkel, Alexander. 2020. *BARCELONE CLIMAT (Espagne)*. Climate-Data.org [en ligne]. [Consulté le 2 janvier 2021]. Disponible à l'adresse: <https://fr.climate-data.org/europe/espagne/catalogne/barcelone-1564/>

Nicolas-Vullierme, Lucie et Nouailhat, Clotilde. 2020. *L'orangerie*. Château de Versailles [en ligne]. [Consulté le 19 novembre 2020]. Disponible à l'adresse: <http://www.chateauversailles.fr/decouvrir/domaine/jardins/orangerie#le-batiment>

Perraudin Architecture. 2019. *Logements sociaux ZAC Monges-Croix-du-Sud, Cornebarrieu*. darchitectures.com [en ligne]. 19 septembre 2011. [Consulté le 16 décembre 2020]. Disponible à l'adresse: <https://www.darchitectures.com/logements-sociaux-zac-monges-croix-du-sud-cornebarrieu-a193.html>

Perraudin, Gilles. 2018. *Présentation de l'agence*. perraudin architecture © [en ligne]. [Consulté le 17 décembre 2020]. Disponible à l'adresse: <http://perraudinarchitecture.com/presentation/presentation.html>

SOURCES DES ILLUSTRATIONS

Ill. 1: carte actuelle du monde selon la classification Köppen-Geiger (1980-2016) et légende. [Consulté le 23 décembre 2020]. Disponible à l'adresse: <https://www.nature.com/articles/sdata2018214>

Ill. 2: Stéréotomie de la galerie principale de l'orangerie © Charles Guy. [Consulté le 4 janvier 2021]. Disponible à l'adresse: <https://charlesguy.photo/tag/orangerie/>

Ill. 3: Pièce à vivre du premier étage avec vue sur les arbres extérieurs, les stores rétractables et en fond le jardin d'hiver © bright nomad. [Consulté le 5 janvier 2021]. Disponible à l'adresse: <https://brightnomad.net/villa-tugendhat-brno/>

Ill. 4: Détail 1:1, coupe longitudinale de la bouche d'air pour la circulation de l'air chaud par la vitre du solarium vers la zone de séjour principale © collections du département d'histoire de l'architecture et de l'urbanisme de Brno. [Consulté le 23 décembre 2020]. Disponible à l'adresse: https://www.tugendhat.eu/data/Pruzkumy_Pamatek_%201-2011.pdf

Ill. 5: Jacobs House II en hémicycle © Bill Taylor. [Consulté le 5 janvier 2021]. Disponible à l'adresse: <http://www.solarhemicyclo.org>

Ill. 6: Relation entre l'intérieur et l'extérieur de la maison © Ezra Stroller - Esto. [Consulté le 5 janvier 2021]. Disponible à l'adresse: <https://www.artforum.com/print/reviews/200908/frank-lloyd-wright-23753>

Ill. 7: Accès au vignoble Dominus traversant la bâtiment en gabions © Courtesy of Architekturzentrums Wien, Collection/Margherita Spiluttini. [Consulté le 5 janvier 2021]. Disponible à l'adresse: <https://www.architecturaldigest.com/story/herzog-and-de-meuron-donate-portion-of-archive-to-moma>

Ill. 8: Ambiance lumineuse à l'étage de la Dominus Winery © El Croquis. Levene, Richard C. 2005. *Herzog & de Meuron: 1981 - 2000*. El Croquis, 2000, 60 + 84. Madrid: El Croquis Ed.

Ill. 9: Centre des plantes Ricola, éléments en pisé préfabriqués © Daniel Lüthi [Consulté le 5 janvier 2021]. Disponible à l'adresse: <https://www.timurersen.com/rammed-earth-facade-martin-rauch-ricola-house-of-plant-design-by-herzog-and-de-meuron->

Ill. 10: Les patios se reflétant dans le canal © El Croquis. Suzuki, Hisao et Curtis, William J.R. 1999. *Alvaro Siza 1995-1999: notes on invention = notas sobre la invención*. Madrid: El Croquis Editorial. El croquis, N. 95.

Ill. 11: Le jardin des oliviers © António Bracons. [Consulté le 5 janvier 2021]. Disponible à l'adresse: <https://fasciniodafotografia.wordpress.com/2018/08/20/antonio-bracons-expo98-os-pavilhoes-de-portugal-e-do-territorio-1998/>

Ill. 12: Carte postale du XXe siècle: le clos des pêches à Montreuil, édité par E.M. [Consulté le 5 janvier 2021]. Disponible à l'adresse: https://fr.wikipedia.org/wiki/Mur_à_pêches#/media/Fichier:MONTREUIL_-_Le_clos_des_peches.jpg

Ill. 13: Façade en pierre calcaire massive, côté loggias © Kevin Dolmaire [Consulté le 5 janvier 2021]. Disponible à l'adresse: <https://www.espazium.ch/fr/actualites/poser-la-premiere-pierre>

Ill. 14: Perspective sur les pièces de la Casa 1219 © Adrià Goula. [Consulté le 5 janvier 2021]. Disponible à l'adresse: <https://www.metalocus.es/en/news/a-brick-house-without-corridors-house-1219-harquitectes#>

Ill. 15: Planification climatique, les angles du soleil en hiver et en été décident de la hauteur des arbres à planter © Mollison, Bill. Holmgren, David. 1978. *Permaculture One*. Marot, Sébastien, Garagem Sul et Trienal de Arquitectura. 2019. *Taking the Country's Side: Agriculture and Architecture*. p.156.

REDESSINS

À propos des plans et coupes transversales sur les pages 10-11, 18-19, 26-27, 32-33, 42-43, 48-49, 56-57, 60-61, 66-67 et 72-73. Le matériel graphique a été redessiné à partir de différentes sources. Les plans et coupes de *corpus* se basent sur ceux fournis directement par les architectes, via la page web du bureau ou via un article publié sur les projets présentés.

À Arlette.

REMERCIEMENTS

A l'ensemble de mon groupe de suivi,
Eric Lapierre, Elena Cogato Lanza,
Tanguy Auffret-Postel et Fosco Lucarelli,
pour leurs conseils nombreux et leurs références inspirantes.
A ma famille pour leur aide et leurs encouragements tout au long du semestre.
A mes amis, pour leur soutien indéfectible et leur présence au quotidien.
Aux lecteurs pour le temps qu'ils m'ont offert.