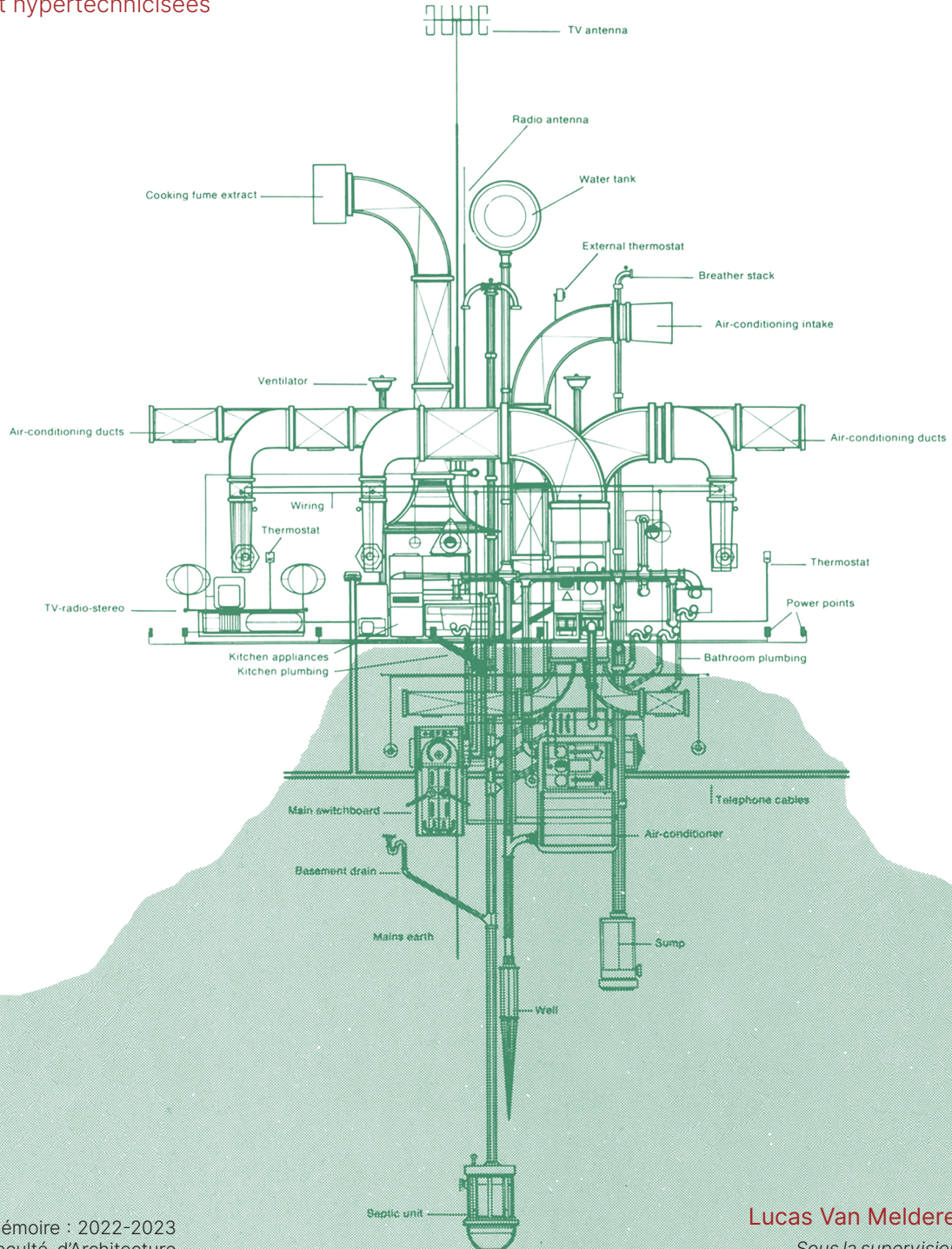


Repenser le confort pour transformer durablement

Critique des solutions écoénergétiques et hypertechnicisées



Mémoire : 2022-2023
Faculté d'Architecture
La Cambre Horta ULB

Lucas Van Melderren

Sous la supervision
de Bernard Deprez



Repenser le confort pour transformer durablement

Critique des solutions écoénergétiques
et hypertechnicisées



Remerciements

Les réflexions et considérations de nombreuses personnes ont contribué à l'élaboration de ce mémoire. Mes premiers remerciements vont à Bernard Depez. En tant que promoteur, il a su pertinemment diriger et alimenter mon travail de recherche. Ses remarques et conseils ont été essentiels à la rédaction de ce mémoire.

Je tiens également à remercier Pauline Lefebvre pour avoir pris part aux discussions en cours de route ; permettant ainsi d'ouvrir le sujet à de nouvelles perspectives.

Enfin, je souhaite exprimer ma reconnaissance envers mes proches qui ont contribué, de près ou de loin, à l'aboutissement de ce travail. Chaque action, de la relecture minutieuse au simple encouragement, a été d'une aide précieuse.



Sommaire

Avant-propos	009
Notion de confort	013
Evolution du confort	021
L'abri ou le feu de camp	
L'essor des dispositifs énergétiques	
Innovations évolutives et révolutionnaires	
La grande accélération	
Un confort pour tous	
Un confort normé	
Un confort convivial	
Repenser le confort	055
Un retour aux bases de la thermodynamique	
La sensibilité aux flux	
Commodité, maîtrise et réserve	
Chauffer le corps, pas son environnement	
Etude de cas	079
Latapie	
Verbiest	
Mouzaïa	
Conclusion	127
Annexes	133
Notice biographique	141
Bibliographie	147
Index	155



Avant-propos

Ce mémoire fait suite à ma visite de l'exposition *PREFIGURATIONS* organisée par *Architecture Workroom Brussels*. Différents projets représentatifs d'une transition vers une pratique architecturale en phase avec les enjeux énergétiques actuels y étaient exposés.

Jusque-là, ma conceptualisation d'une architecture basse consommation se tournait majoritairement vers les solutions écoénergétiques et hypertechnici-sées. Celles-ci visent à optimiser l'efficacité énergétique des dispositifs requis afin d'atteindre les températures symboliques des normes actuelles. Les questions de durabilité de la construction (consommation, pollution, etc.) sont alors abordées par le biais des techniques et technologies du bâtiment (isolation, chauffage, ventilation, etc.). C'est sûrement la démarche la plus développée à ce jour.

Le projet *Verbiest* [fig. 1] de l'agence bruxelloise *AgwA*, mis en avant lors de l'événement, propose une approche alternative. En limitant les volumes à chauffer et/ou à isoler et en structurant les différents espaces en fonction des besoins thermiques spécifiques, les architectes de cette agence questionnent les fondements mêmes de la modernisation du confort. Cette démarche consiste à élargir le spectre de nos attentes et à créer des climats intérieurs plus hétérogènes. Une des finalités est bien évidemment de réduire la consommation, directe et indirecte, d'énergie. Cela dit, cette pratique ne s'avère pas uniquement écologique ou économique. Elle est également l'opportunité de renouer avec des situations de confort dynamique tombées dans l'oubli. Elle permettrait de reconstituer une relation sémillante entre l'habitant, l'habitat et son environnement.

Ce mémoire a pour ambition d'explorer les fondements de cette approche et de s'intéresser aux réalisations qui ont adopté une stratégie similaire. Les études de cas se focaliseront sur l'analyse de projets de transformation (rénovation, réhabilitation, reconversion, etc.) à vocation résidentielle. Les interventions de transformations sont privilégiées (aux constructions neuves) dans le cadre de ce mémoire afin de rester cohérent avec les raisonnements et les enjeux énergétiques développés ci-dessus.

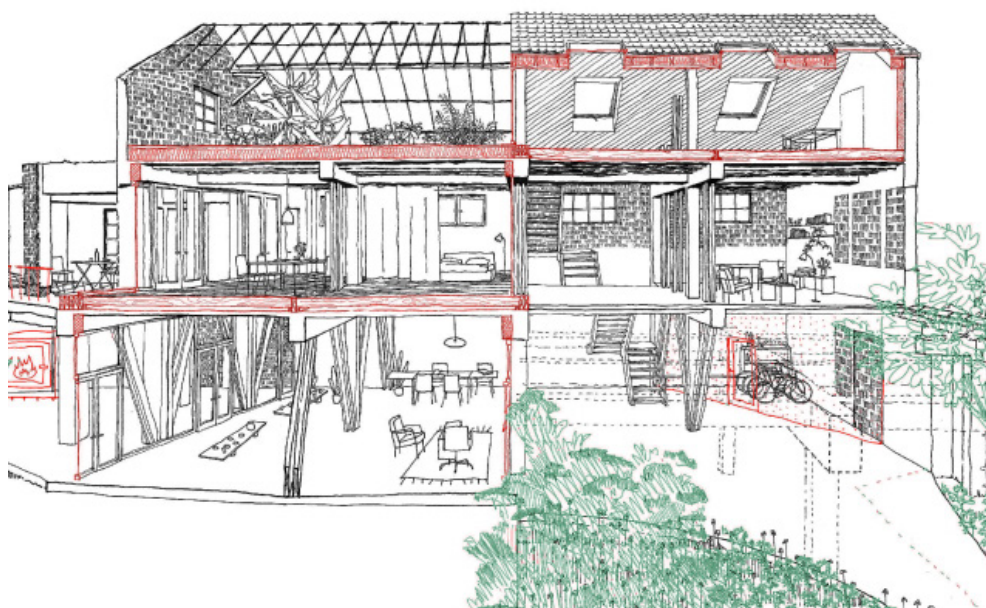


fig. 1 : Coupe perspective

Notion de confort

Notion de confort

À travers la pluralité et la diversité des ouvrages qui traitent de la notion de confort, une tendance dichotomique se révèle. Le confort paraît dépendre autant d'une perception physiologique personnelle que d'attentes sociales collectives. Son apport résulterait de facteurs quantitatifs tandis que son appréciation s'étendrait dans le domaine du qualitatif. Utilisée principalement au singulier, cette notion trouverait pourtant son sens au pluriel. Certains auteurs aiment l'appréhender comme quelque chose d'insaisissable et de flou. D'autres s'entêtent à déduire, de manière plus pragmatique, toutes les variables dont elle dépend.¹

Le terme « *confort* » remonte du terme latin « *confortare* », qui se compose du préfixe « *con* » (qui exprime une idée de réunion ou d'intensification) et du verbe « *fortis* » (qui signifie fort ou solide). À l'origine, cela avait donc le sens de renforcer, encourager ou donner de la force. Son apparition au XII^e siècle dans la langue française (au travers, entre autres, de la *Chanson de Roland*²) attendrit légèrement sa signification. « *Confort* » décrit alors l'idée de soulager, de calmer ou d'apaiser une personne dans un contexte difficile ou douloureux. Ce qui s'apparentait au registre de la vaillance, de l'audace prend ainsi un sens beaucoup plus pusillanime qui amorce l'idée d'une assistance (à laquelle le confort est associé de nos jours).³

Au fil du temps, la transition d'un confort majoritairement psychique vers un confort faisant également appel au spectre physique s'est opérée. C'est aux alentours du XIX^e siècle que la notion de confort trouverait, dans la culture anglaise, son sens domestique du bien-être du corps. Une première accroche au domaine architectural. Cette culture du confort domestique se retrouve dans le vocabulaire anglo-saxon. Le terme « *Home* » dépasse la signification très matérialiste du terme « *House* ». Le premier évoque le chez-soi confortable tandis que le second se limite à la description du bâtiment (et de sa fonction). La popularisation de ce contraste provient certainement de la chanson « *Home Sweet Home* » écrite par John Howard Payne en 1823, qui a ensuite introduit l'idiome du même nom dans le langage courant. En français, la différenciation se démarque comparablement entre les termes « *habiter* » et « *loger* » (habitat et logement). Cette distinction suscita (et suscite encore) l'intérêt de nom-

¹ Augoyard, J.-F. Du confort à la notion d'ambiance. in *13ème journée du CUEPE 2003 : Habitat, Confort et Energie* (Université de Genève, 2003).

² Paris, P. La Chanson de Roland. *Bibliothèque de l'École des chartes* 12, 297–338 (1851).

³ Pezeu-Massabuau, J. *Eloge de l'inconfort*. (Editions Parenthèses, 2004).

breux architectes. Le titre « *a Home is not a House* » d'un des articles écrits par Reyner Banham ^A en 1965 appuie cette allégation. ^{4,5}

Avec L'évolution des sociétés et des technologies, le confort va graduellement se matérialiser dans l'environnement physique. Cet aspect physique, conformément aux théories du confort développées au cours du XX^e siècle (qui feront l'objet d'une plus ample analyse dans le chapitre suivant), se développe sur trois domaines : thermique, respiratoire et lumineux. Le confort thermique, prépondérant dans ce mémoire, s'articule en fonction de trois principes essentiels. Le premier consiste à maintenir une température corporelle (interne) stable. Les perturbations thermiques majeures sont à éviter. Réguler efficacement la transpiration afin d'éviter une sudation excessive et de maintenir une température moyenne de la peau (dans une plage confortable) est la deuxième condition. Enfin, il est impératif d'éviter toute exposition localisée à des températures extrêmes sur certaines parties du corps. Pour satisfaire ces conditions, six paramètres sont ajustables. ⁶

Le métabolisme joue un rôle essentiel car il permet de maintenir la température corporelle interne aux alentours de 36,7°C. Au métabolisme de base du corps au repos s'ajoute un métabolisme spécifique à chaque activité (lorsque celles-ci sont pratiquées). L'habillement a également une influence sur les échanges de chaleur entre la surface de la peau et l'environnement. Il agit comme une résistance thermique. Les paramètres environnementaux tels que la température ambiante de l'air et celle des parois sont aussi déterminants. La température ambiante dirige les échanges de chaleur par convection, tandis que la température des parois guide les échanges par rayonnement et conduction. L'humidité relative de l'air, quant à elle, joue un rôle important dans l'évaporation cutanée et dans les échanges de chaleur par voie respiratoire. Elle exprime le rapport en pourcentage entre la quantité d'eau contenue dans l'air à une température donnée et la quantité maximale d'eau qu'il pourrait contenir à cette même température. Enfin, la vitesse de l'air est un facteur influençant les échanges de chaleur par convection. ⁷

La complétude de ces variables est représentative de l'expansion du champ physique de la notion de confort. Cependant l'aspect psychique reste une facette conséquente malgré les innovations incessantes des technologies. Jacques Pezeu-Massabuau ^B y fait allusion romantiquement dans son ouvrage « *Éloge de l'inconfort* » :

⁴ Banham, R. & Dallegret, F. *A Home is Not a House*. *Art in America* 2, 70–79 (1965).

⁵ Pezeu-Massabuau, J. *Eloge de l'inconfort*. (Editions Parenthèses, 2004).

⁶ Deprez, B. *De l'architecture durable à la compétence énergétique*. vol. 1 (Presses Universitaires de Bruxelles, 2021).

⁷ *Ibid.*

« Il n'est rien de tel qu'une vieille demeure (de préférence natale ou d'enfance) pour apprendre l'alchimie du bien-être. Et découvrir comment, dès leur stade le plus épidermique, le confort et son contraire s'associent irrévocablement, selon d'étranges compromis. Me voici dans la mienne, ancienne construction citadine du Rouergue, au moment où l'hiver la rend le moins accueillante. Dans ce royaume du froid, rongeurs et araignées ont établi leur domaine tandis que l'ascension de ses quatre étages me rappelle mon âge avec une insistance malvenue. Or je m'y trouve bien : mes pas en reconnaissent sans peine seuils et emmarchements, et chaque pièce où ils me conduisent recèle une odeur et un silence familiers ; il n'est pas jusqu'à cette glaciale humidité qui ne participe, sévère mais complice, à cette euphorie que je nomme mon bien-être. »⁸

Les deux déclinaisons, physique et psychique, sont donc ambivalentes à la notion de confort. L'évidente évolution du spectre physique et la consistance du spectre psychique (à travers les époques) seront développées au cours de ce mémoire.

L'extrait ci-dessus introduit également une autre réflexion répandue. Lorsque l'auteur écrit : *« le confort et son contraire s'associent irrévocablement »*, il illustre l'intérêt qu'ont eu un bon nombre d'auteurs à aborder le confort par le biais de son antonyme ; comme une quête contre l'inconfort. Si cela paraît plutôt convaincant à première vue, la binarité de la notion n'est pourtant pas si manifeste. Victor Candas dit à ce sujet :

« il n'est (...) pas évident de considérer que l'absence d'insatisfaction (d'inconfort) procure le confort. »⁹

L'auteur soutient qu'il existe diverses nuances de confort. Il explore alors les relations à la satisfaction, l'insatisfaction et l'indifférence des individus pour proposer une classification, une gradation du spectre du confort :

⁸ Pezeu-Massabuau, J. *Éloge de l'inconfort*. (Editions Parenthèses, 2004). p. 5

⁹ Candas, V. L'homme dans son environnement climatique Facteurs d'influence, thermorégulation, sensibilité et confort thermiques. in *13ème journée du CUEPE 2003 : Habitat, Confort et Energie* (Université de Genève, 2003). p. 13

• **Inconfort** : résulte d'une expression de l'insatisfaction ou du désagrément de façon continue ou répétitive, ne permettant pas à la nuisance de se «faire oublier» ;

Confort dégradé : résulte de l'apparition épisodique (temporelle) ou locale (spatiale) d'un certain inconfort non persistant ou ressenti localement mais de façon peu intense (par exemple, avoir légèrement froid aux pieds) ;

• **Confort** : peut résulter de 2 possibilités :

- se déduit de l'absence exprimée de désagrément ou d'insatisfaction (échelle affective),

- se déduit de l'incapacité qu'ont les gens à s'exprimer sur leur état thermique (échelle perceptive) ; cette notion est proche de l'indifférence.

• **Confort optimal** : résulte de l'expression de l'agrément du bien être exprimé par l'individu par rapport au climat perçu (l'exemple le plus convaincant est celui de la douche : on ajuste la température de l'eau pour une sensation recherchée d'agrément).

• **Confort maximal** : résulte d'une parfaite adéquation entre tous les souhaits de l'individu et son état thermique (le bain à température «parfaite» pour l'individu peut correspondre à cet état). Il n'est pas sûr que ce confort maximal puisse être durable, il correspond souvent à des phases transitoires suivant des inconforts notoires.¹⁰

Une certaine indétermination entre neutralité et agrément apparaît lorsqu'il s'agit d'évaluer le degré zéro du confort.

Certains ouvrages rétrospectifs présentent même le confort comme la quête fondamentale des sociétés modernes. C'est le cas, par exemple, de « *L'invention du confort : naissance d'une forme sociale* » d'Olivier Le Goff. Cette vision plus générique relate les enjeux conséquents qui se cachent derrière ce terme. Selon Olivier Le Goff, rares sont les actions entreprises qui n'ont pas convergé vers l'atteinte du confort au quotidien.¹¹

Les différentes facettes abordées dans ce chapitre rendent compte de la complexité et de la richesse de cette notion qui paraît être en perpétuelle mutation. À titre de conclusion, le confort représenterait une recherche de sécurité, de garantie contre « *l'aventure* » (terme de Pierre Mac Orlan).¹²

¹⁰ Candas, V. L'homme dans son environnement climatique Facteurs d'influence, thermorégulation, sensibilité et confort thermiques. in *13ème journée du CUEPE 2003 : Habitat, Confort et Energie* (Université de Genève, 2003). p. 14

¹¹ Le Goff, O. *L'invention du confort : naissance d'une forme sociale*. (Presses universitaires de Lyon, 1994).

¹² Pierre Mac Orlan cité dans : Côme, T. & Pollet, J. *L'idée de confort, une anthologie: du zazen au tourisme spatial*. (éditions B42, 2016). p. 102

Evolution du confort

Evolution du confort

L'abri ou le feu de camp

Pour analyser l'histoire du confort par le biais des technologies, il est intéressant de s'appuyer dans un premier temps sur les réflexions de Reyner Banham ^A. En guise d'entrée en matière, cet auteur met en évidence deux façons distinctes d'utiliser une ressource (lorsqu'il s'agit d'établir une situation confortable). Il qualifie la première de « *structurelle* ». Elle consiste à concevoir un habitacle, un abri avec la ressource en question. Sûrement la plus primitive des deux, elle permet de tirer parti de la matière sans pour autant la consommer. La seconde manière est nommée « *énergétique* ». Au contraire de la première, celle-ci vise à consommer la ressource pour profiter de son énergie calorifique [fig. 3]. Dans l'hypothèse où le matériau à disposition serait du bois, le processus *structurel* donnerait lieu à l'édification d'une cabane (par exemple). Le processus *énergétique*, quant à lui, susciterait sûrement l'élaboration d'un feu de camp. ¹³

Jusqu'à la découverte du feu, seule la première attitude (*structurelle*) était envisageable. Cet avènement marque un premier bouleversement dans l'histoire du confort. À travers les époques, différentes astuces et inventions ont été mises en œuvre pour tirer le meilleur profit de ce nouvel atout énergétique. L'historien évoque toutefois que, dans un premier temps, la consommation de matière nécessaire à la stratégie énergétique limitait son utilisation. En effet, la quantité de ressources (récoltées) dont disposaient les civilisations de cette époque ne leur permettaient pas d'utiliser cette solution énergétique à titre principal. Focalisées sur les artifices structurels, elles ont chacune œuvré pour le développement de dispositifs qui satisfaisaient leurs besoins et leurs envies en matière de confort. Ces artifices diffèrent en fonction de l'environnement dans lequel ils ont été conçus. Malgré la diversité de ces créations, deux sous-catégories structurelles se manifestent selon Reyner Banham. Le mode « *conservatif* » et le mode « *sélectif* ». ¹⁴

Ces 2 modes sont rarement dissociés. Ils sont exploités dans des proportions variables et complémentaires pour s'adapter au climat environnant. L'intérêt du premier mode est de capter et de conserver la chaleur, d'où sa dénomination de « *conservatif* ». Dans un second temps, cette stratégie permet aussi de stocker l'énergie afin de la redistribuer une fois que la température

¹³ Banham, R. *L'architecture de l'environnement bien tempéré*. (Hyx, 2011).

¹⁴ *Ibid.*

intérieure redescend. Elle est originaire des régions au climat sec et froid. Le mode « *sélectif* » assure plutôt un rôle de filtre. Développé dans les contrées humides et chaudes, cet ensemble de méthodes a pour but premier de protéger de la chaleur. Son application se base sur des réflexions autour de l'ombrage et de l'aération. Les préceptes de ces deux approches se retrouvent aussi sous le nom de « *stratégie du chaud* » et « *stratégie du froid* » dans la littérature bioclimatique.^{15, 16}

Les performances de ces inventions *structurelles* variées ont tout de même leur limite. En effet, aucune d'entre elles ne saurait drastiquement chauffer ou éclairer un environnement. Au cours du portrait que Reyner Banham dresse de l'humanité, celui-ci dit :

« (...) *L'humanité a besoin de plus de confort et de loisir que ne saurait lui offrir la simple lutte pour l'existence, à mains nues et sans protection. (...)* »¹⁷

C'est potentiellement cette avidité qui explique que le secteur *énergétique* a aussi eu droit à son lot d'innovations depuis la découverte du feu (alors qu'il n'était que considéré comme complémentaire au secteur *structurel* jusque-là). L'auteur qualifie de « *régénératif* » le mode des solutions *énergétiques*. Ce mode s'oppose donc aux modes *conservatif* et *sélectif* qui appartiennent eux aux solutions *structurelles*. Il faut appréhender le terme « *régénératifs* » à travers le prisme du confort et non pas des ressources. En effet, cela ne sous-entend pas que les ressources énergétiques se régénèrent, mais bien que le confort, lui, doit être constamment régénéré à cause de l'éphémérité des solutions *énergétiques*.¹⁸

D'une part, on retrouve donc une stratégie d'investissement, d'établissement qui tire parti des avantages physiques de la matière. De l'autre, une stratégie d'approvisionnement, d'alimentation qui s'intéresse, quant à elle, au potentiel calorifique de la matière. *L'abri* ou le *feu de camp* [fig. 3].

¹⁵ Banham, R. *L'architecture de l'environnement bien tempéré*. (Hyx, 2011).

¹⁶ Deprez, B. *De l'architecture durable à la compétence énergétique*. vol. 1 (Presses Universitaires de Bruxelles, 2021).

¹⁷ Banham, R., *op. cit.* p. 43

¹⁸ *Ibid.*

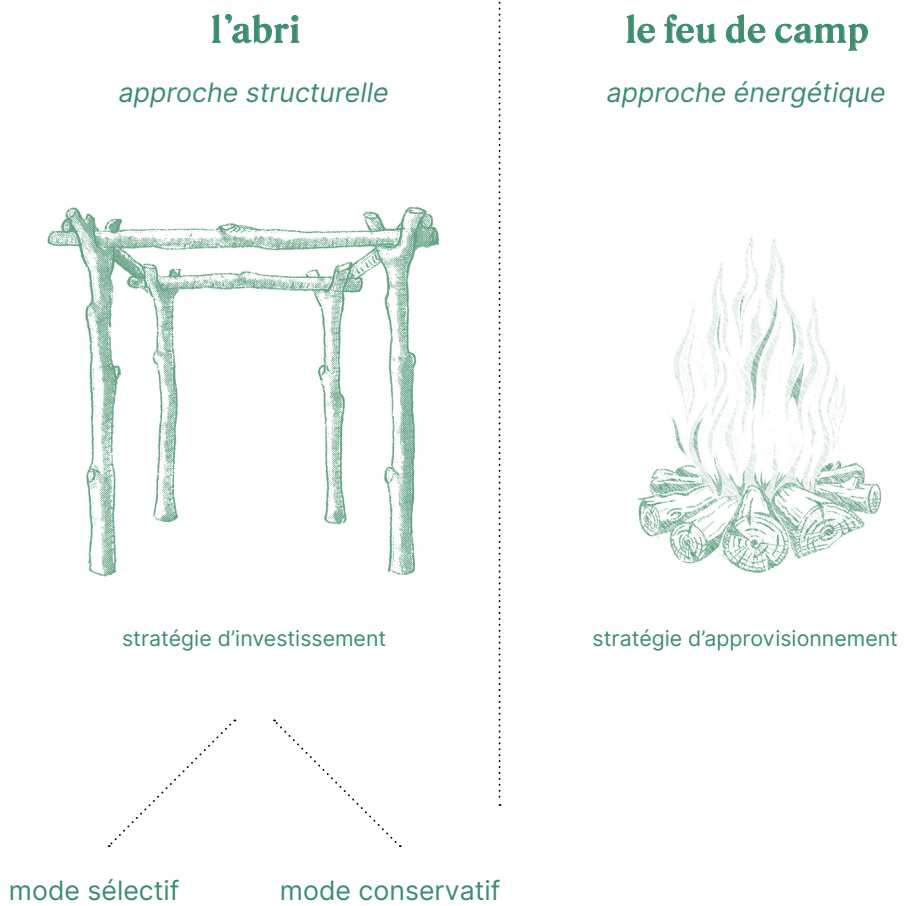


fig. 2 : Schéma synthétique des différentes approches et stratégies

L'essor des dispositifs énergétiques

L'Amérique du Nord serait le berceau de ces innovations énergétiques. Les causes restent imprécises, cependant l'hypothèse développée par Reyner Banham repose sur le fait que cette région n'a pas développé une culture de la « *structure massive* » telle que celle que l'Europe a connue. La légèreté de leur édifice les aurait poussés à développer davantage de dispositifs énergétiques.

Les premières démonstrations de cet élan novateur [fig. 3 & 4] sont le poêle Franklin (1745) et la cheminée Rumford (1790) si l'on s'autorise à les étiqueter avec le nom de leurs créateurs. Fonctionnant au bois, abondant dans cette région du monde, ces deux inventions représentent les premiers pas vers un contrôle de l'énergie. L'auteur relève que la possibilité d'un éclairage au gaz de charbon a également été démontrée fin du XVIII^e siècle. Néanmoins, cela ne devient intéressant que lorsque l'idée d'une distribution publique du gaz est amorcée un demi-siècle plus tard. Cette relation entre distribution énergétique et innovation matérielle est déterminante dans l'histoire de l'évolution du confort physique.¹⁹

L'arrivée d'un approvisionnement en gaz à grande échelle est une avancée remarquable. Pourtant son utilisation reste assez similaire au bois et au charbon ; il est toujours nécessaire de le brûler pour donner vie aux flammes et à la chaleur qui en résultent. Même si l'hypothèse de se chauffer avec des équipements qui dépendraient d'une source de chaleur délocalisée a été formulée dès le XVIII^e siècle, les bénéfices du gaz (à combustion directe) restaient plus attrayants. En effet, il était amplement disponible et permettait autant de se chauffer que de s'éclairer. L'introduction des gazinières dans les années 1860 plaça inéluctablement le gaz comme la ressource énergétique la plus avantageuse [fig. 5].²⁰

Ces premières innovations n'ont pas causé d'impact majeur sur la pratique architecturale. Leur disposition dans les pièces ainsi que leur encombrement (spatial) est relativement similaire à leurs prédécesseurs (bougies, chandeliers, etc.). De plus, la dimension des canalisations qui assuraient leur alimentation était négligeable. Elles pouvaient aisément se dissimuler sous les dalles.

L'ébauche du chauffage central est née de préoccupations de sécurité. Le poêle Franklin [fig. 3] étant alors plus performant que les modèles précédents, il était commun qu'il atteigne des températures auxquelles il ne fallait pas se coller. Certains usagers ont donc commencé à disposer celui-ci dans la cave,

¹⁹ Banham, R. & Bayley, S. Mechanical Services. *History of Architecture and Design 1890–1939* unit 21–22, (Open University Press, 1975).

²⁰ *Ibid.*

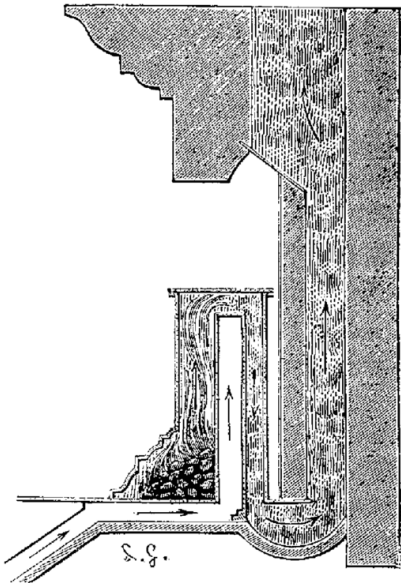


fig. 3 : Représentation du poêle Franklin

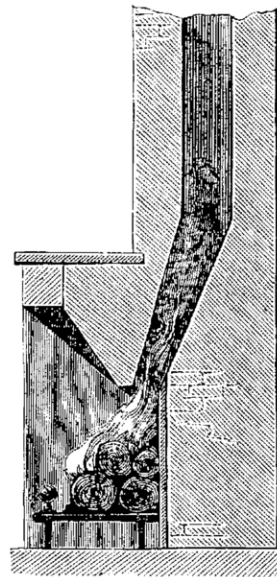


fig. 4 : Représentation de la cheminée Rudolf

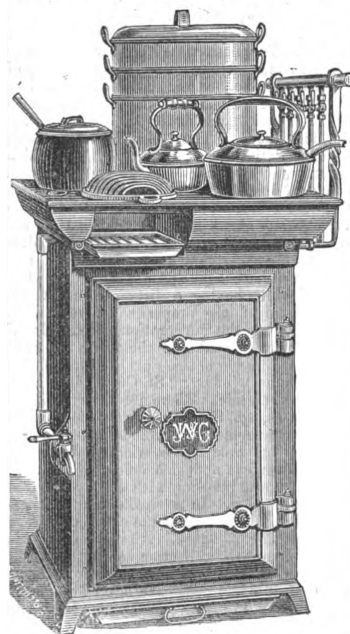


fig. 5 : Représentation d'une gazinière de la fin du XIX^e siècle

mettant en place des conduits pour faire parvenir la chaleur jusqu'aux espaces de vie situés à l'étage supérieur. Selon Reyner Banham, c'est là que les premières atteintes au caractère architectural peuvent s'observer. Effectivement, l'air étant un très mauvais conducteur thermique, la quantité nécessaire pour acheminer la chaleur jusqu'aux pièces voulues était conséquente. Cela impliquait d'aménager des conduits allant jusqu'à trente centimètres, un encombrement, cette fois-ci, non négligeable à l'échelle domestique.²¹

Cette délocalisation de l'espace de combustion est une avancée fondamentale. Produire l'énergie dans des lieux plus appropriés mit fin à la promiscuité avec les rejets néfastes dus à la combustion qui étaient libérés auparavant dans l'environnement domestique. Ce nouveau système distributif représente donc les prémices du chauffage centralisé qui émergea doucement fin du XIX^e siècle.²²

Pour ce qu'il est de la ventilation, l'auteur souligne que l'ouverture des fenêtres est longtemps restée la solution de choix. Leurs dispositions et proportions étaient réfléchies dès les premiers stades de conception. C'est pour cela, par exemple, qu'on a pu voir des hôpitaux qui n'étaient pas plus larges que la dimension d'une seule pièce afin de permettre une aération traversante. C'est le cas de l'hôpital général Satterlee à Philadelphie [fig. 6]. L'illustration met en évidence l'organisation en bande des salles pour les patients (annotées par le chiffre 2 sur le plan). Chacune de ces annexes de moins de 10m de large disposait de multiples ouvertures mises en regard qui assuraient l'efficacité de la ventilation naturelle.²³

Cependant, certaines questions d'hygiène restaient prépondérantes dans les bâtiments de grande envergure, entre autres celles liées aux odeurs et bactéries qui émanaient des installations sanitaires. Étant donné l'importance des investissements et des volumes mis en jeu dans ces bâtiments (hôpitaux, écoles, bureaux ou encore prisons), ceux-ci sont devenus des champs d'expérimentation pour les différentes innovations qui suivirent. D'autant plus qu'il n'existait pas de modèle traditionnel ni de principe de référence permettant de concevoir avec succès des édifices aussi monumentaux.

La ventilation artificielle est donc apparue comme une option pertinente pour venir à bout de ces problèmes hygiéniques. Tout comme les premières ébauches du chauffage centralisé abordé précédemment, la ventilation artificielle requiert des équipements volumineux. Cela augmenta une fois de plus la demande en espace (nécessaire aux techniques).

²¹ Banham, R. & Bayley, S. Mechanical Services. *History of Architecture and Design 1890–1939* unit 21–22, (Open University Press, 1975).

²² *Ibid.*

²³ *Ibid.*



fig. 6 : Plan de l'hôpital général Satterlee

Reyner Banham soutient que la domestication de l'électricité (vers 1880) n'a fait qu'accélérer le processus. De fait, cela a constitué un nouveau palier qui servira de fondements aux technologies qui lui succéderont. Plus qu'une simple invention, cet avènement établit un point de bascule dans la gestion environnementale. L'émergence de l'électricité entraîne avec elle l'hypothèse que les stratégies énergétiques (*le feu de camp*) pourraient largement dépasser, comme ça n'a jamais été le cas auparavant, les capacités des stratégies structurelles (*l'abri*).²⁴

Selon l'auteur, les changements les plus conséquents sont davantage dus à l'expansion des moyens d'alimentation et de distributions énergétiques (des nouvelles innovations) qu'aux équipements eux-mêmes. Cela se vérifie dans d'autres secteurs tels que celui des transports. L'invention de la locomotive (en tant qu'équipement) est sans aucun doute significative. Cela dit, il est raisonnable de supposer que l'impact du transport ferroviaire réside principalement dans le développement du réseau de chemin de fer.

Il n'a pas fallu longtemps pour que le premier système d'éclairage électrique fasse son apparition. Les propositions de Joseph Swan et de Thomas Edison [fig. 7 & 8] permirent de se débarrasser des effets néfastes des anciennes techniques d'éclairage tels que la pollution, la surchauffe, etc. L'éclairage électrique est un premier aperçu d'une invention initialement pensée pour les industries et qui s'est ensuite suffisamment perfectionnée pour se faire une place dans le secteur domestique. L'air conditionné est un exemple encore plus significatif qui a suivi le même cheminement. Willis Haviland Carrier est l'homme de référence derrière ce dispositif qui paraît si familier au XXI^e siècle. Il n'est certainement pas le seul ; cette technologie a demandé beaucoup d'astucieuses améliorations auxquelles maints scientifiques ont participé. Mené par ce leader principalement motivé par la rentabilité de son invention [fig. 9] (selon les écrits de l'auteur britannique), l'air conditionné a fini par s'imposer, à pas comptés, dans les habitations durant les années quarante. De ce fait, tout un chacun en mesure de financer cette technologie (et les ressources énergétiques qu'elle nécessitait), pouvait contrôler du bout des doigts la température, l'humidité et la pureté de l'air environnant.²⁵

La tour du secrétariat du siège des Nations Unies à New York [fig. 10], achevée en 1950, est un exemple qui illustre pertinemment l'essor de l'air conditionné et de la différence entre la culture architecturale européenne et nord-américaine (abordées au début de ce chapitre). Ce bâtiment emblématique, représentatif du style International tardif, se présente sous la forme d'un

²⁴ Banham, R. & Bayley, S. Mechanical Services. *History of Architecture and Design 1890–1939* unit 21–22, (Open University Press, 1975).

²⁵ *Ibid.*



fig. 7 : Ampoule expérimentale de Joseph Swan



fig. 8 : Ampoule de Thomas Edison

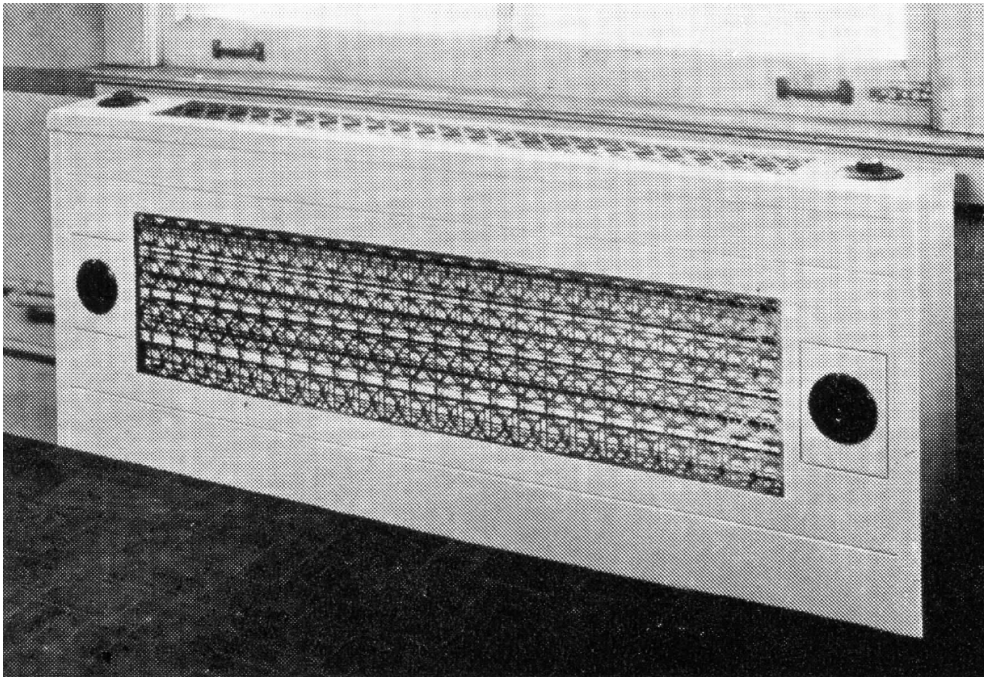


fig. 9 : Système « Weathermaster » de Willis Carrier

imposant gratte-ciel rectangulaire en verre entouré d'un jardin public. Cette expression architecturale avait déjà été utilisée pour le célèbre bâtiment du ministère de la Santé et de l'Éducation à Rio [fig. 12] de Janeiro conçu par Lucio Costa et Oscar Niemeyer, avec Le Corbusier comme consultant.

Le design de cet immeuble a suscité de vives controverses. Ce projet a été réalisé par une équipe d'architectes renommés dirigée par Wallace K. Harrison. Une fois dévoilé, il est apparu qu'il était largement inspiré des idées de Le Corbusier. Il était question plus précisément des ébauches antérieures du célèbre architecte suisse, dont une maquette d'esquisse en particulier, connue sous le nom de Projet 23A [fig. 13]. Il est important de noter que Le Corbusier n'a pas été membre de la commission de conception officielle. Des accusations de plagiat n'ont pas tardé à être formulées. La ressemblance entre les deux projets [fig. 10 & 13] est effectivement indéniable. ²⁶

Le Corbusier a affirmé (dans une lettre adressée au sénateur Warren Austin) avoir été plagié de manière absurde et que ses idées avaient été mal comprises au point que le bâtiment serait inhabitable. Sa critique principale portait sur l'absence de brise-soleils (ou autres dispositifs de protection solaire) sur les façades vitrées. Il déclara que les parois en verre sans protection solaire, orientées vers l'est et l'ouest, pourraient entraîner une accumulation de chaleur rendant les conditions de travail intolérables. Cependant, l'intervention de Willis Havilland Carrier dans le projet n'avait pas été prise en compte par Le Corbusier. C'est effectivement un des premiers bâtiments diplomatiques à accueillir un système de climatisation [fig. 11]. Grâce à cette installation d'air conditionné sophistiquée et discrète (capable de générer un effet de refroidissement phénoménal pour l'époque) ainsi qu'à l'utilisation de stores vénitiens derrière chaque centimètre carré de verre, la tour du Secréariat est devenue habitable sans avoir besoin de brise-soleils, quelles que soient les réserves émises par Le Corbusier. ²⁷

Ce bâtiment représente donc une rencontre entre l'architecture moderne et les avancées technologiques de l'air conditionné, reflétant les divergences d'idéologies entre la culture constructive européenne, qui cherche à exploiter les formes de construction massives traditionnelles (*l'abri*), et celle nord-américaine, qui préconise l'utilisation des stratégies énergétiques (*le feu de camp*), indépendamment de la structure du bâtiment.

L'attrait pour les dispositifs énergétiques prend forme de toutes autres manières en fonction des styles architecturaux. En Europe, l'essor de l'Art Nou-

²⁶ Banham, R. & Bayley, S. Mechanical Services. *History of Architecture and Design 1890–1939* unit 21–22, (Open University Press, 1975).

²⁷ *Ibid.*



fig. 10a : Siège des Nations Unies à New York

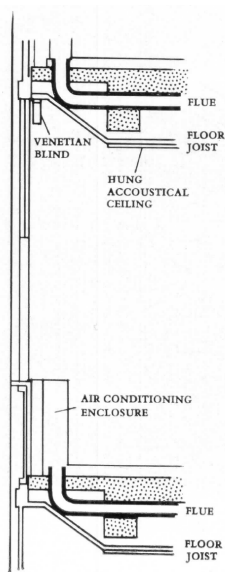


fig. 11 : Détail technique



fig. 10b : Siège des Nations Unies à New York



fig. 12a : Ministère de la Santé et de l'Éducation

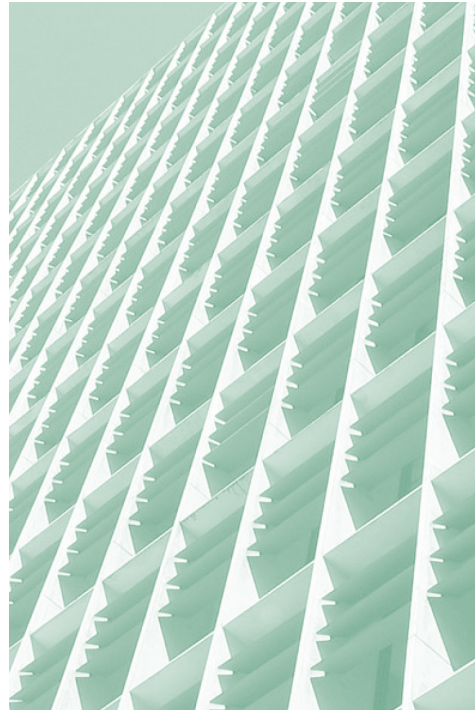


fig. 12b : Ministère de la Santé et de l'Éducation



fig. 12c : Ministère de la Santé et de l'Éducation

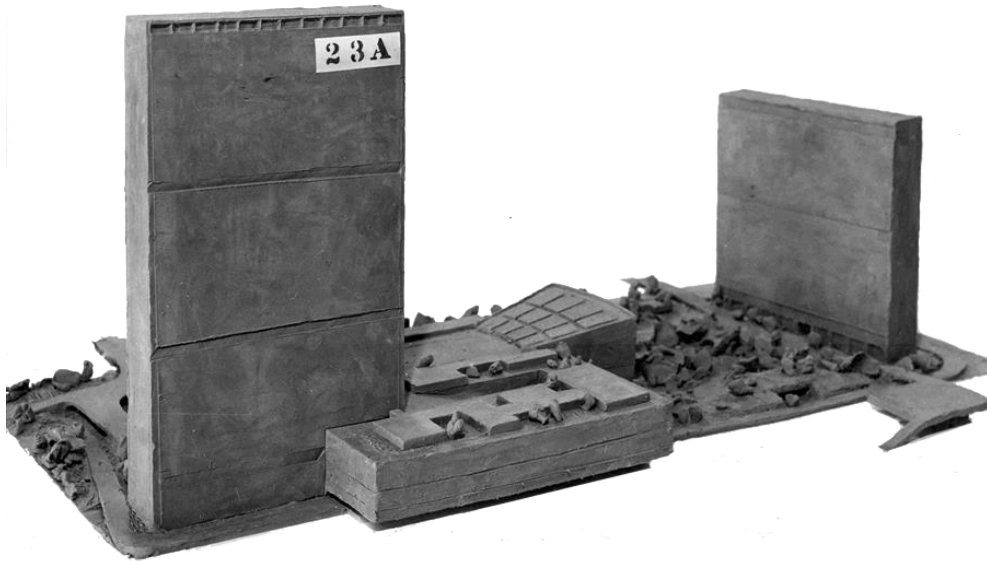


fig. 13a : Maquette d'esquisse du projet 23A

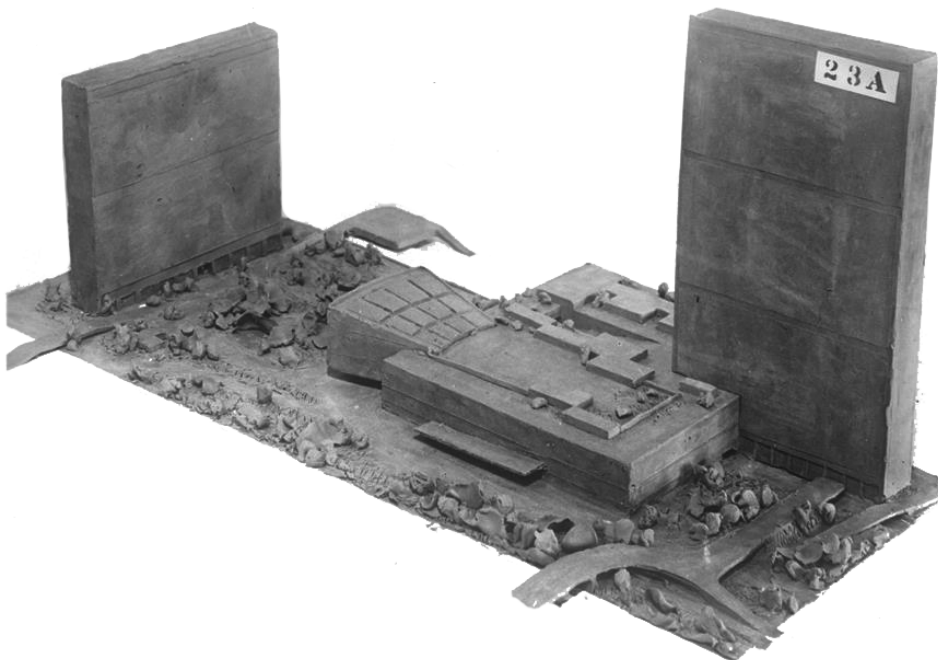


fig. 13b : Maquette d'esquisse du projet 23A

veau coïncide avec l'arrivée des dispositifs énergétiques. La dénomination de ce style mérite justement d'être analysée. S'il est considéré comme le pionnier des styles modernes (et non comme appartenant à la lignée de ce qui s'est fait précédemment), c'est certainement dû au lien intrinsèque qu'il entretient avec les nouvelles technologies.²⁸

À titre d'exemple, on peut observer l'importance des artifices énergétiques dans l'architecture de Victor Horta. Les illustrations [fig. 14] sont représentatives de l'intérêt porté aux dispositifs de chauffage. Ceux de l'hôtel Solvay étaient incorporés et travaillés avec un niveau de détail égal, voire supérieur, à ceux des autres éléments constitutifs de l'architecture d'Horta. La dernière image révèle l'intégration des bouches de chaleur dans les banquettes du hall d'honneur. Il y a là une forme d'adulation.

Les avancées technologiques ont eu une incidence significative sur la pratique architecturale, comme en témoignent les deux exemples précédents. Certains architectes ont exploité le potentiel des nouveaux dispositifs pour développer des typologies inédites. Le phénomène connu sous le nom de «Glass house» est le résultat de certaines de ces expérimentations (à l'échelle résidentielle). Avant la consécration des stratégies énergétiques (*le feu de camp*), l'enveloppe des édifices résultait principalement de l'expression des artifices structurels (*l'abri*). Par la suite, quelques architectes entreprenants ont tenté de désolidariser l'enveloppe de son rôle climatique. « *Farnsworth house* » [fig. 15] de Mies Van der Rohe et « *Glass house* » [fig. 16] de Philippe Johnson, figures emblématiques des années cinquante, amorcent l'idéologie d'une maison transparente, exclusivement enveloppée de verre. Ces premières réalisations ne se débarrassent pas totalement des préceptes structurels (*l'abri*). La ventilation reste naturelle et des stores sont déroulables en cas de nécessité. Cela dit, le chauffage de ces édifices est intégré au plancher et permet d'assurer l'habitabilité de ceux-ci en saison hivernale.²⁹

Werner Sobek conçoit, un demi-siècle après, un projet du nom de « *R128* » [fig. 17] qui s'inscrit dans la lignée de ces deux projets. L'ingénieur architecte allemand tente de pousser le raisonnement à son paroxysme. Cette résidence représente l'un des prototypes les plus élaborés de l'approche énergétique (*le feu de camp*).

Située dans les hauteurs de la ville de Stuttgart, cette maison de trois étages se distingue par son effet de transparence totale. Elle est entièrement vitrée et ne comporte aucune cloison intérieure. Une multitude de capteurs sont placés dans la résidence pour en assurer le bon fonctionnement. Dès lors, il n'y a aucun interrupteur ; ni même de poignées de porte. De plus, son sys-

²⁸ Banham, R. *L'architecture de l'environnement bien tempéré*. (Hyx, 2011).

²⁹ Abramsohn, J. Sobek House: '360° Transparency'. *Graphis* 60, 90-97 (2004).



fig. 14 : Système de chauffage de l'Hôtel Solvay de Victor Horta



fig. 15 : Farnsworth house de Mies Van der Rohe



fig. 16 : Glass house de Philippe Johnson

tème énergétique automatique peut également être paramétré à distance. La structure de la maison est enveloppée de parois vitrées, placées à quarante centimètres de l'ossature en acier. À l'exception de quelques panneaux vitrés ouvrants, la façade est exempte d'encadrements. Cette conception permet de maximiser la pénétration de la lumière tout en minimisant les ponts thermiques. Un système de ventilation mécanique assure un flux d'air constant (pour des raisons d'hygiène) et récupère la chaleur de l'air vicié [fig. 18]. Dans certains cas, de l'air est extrait d'un échangeur thermique situé sous la dalle de fondation. L'énergie nécessaire au fonctionnement de la maison est produite sur place grâce à des panneaux solaires installés sur le toit. Les câbles électriques, les canalisations d'eau et les conduits d'air frais sont protégés par un réseau de gaines apparentes (comprenant huit gaines verticales et une gaine horizontale le long de la façade). Les installations sanitaires sont regroupées dans un module et sont également contrôlées par des capteurs (chasse d'eau et robinets automatiques).

Cette combinaison d'équipements permet une organisation en plan libre qui procure une grande flexibilité dans l'aménagement des espaces de vie. Hormis la cuisine et les sanitaires, aucune fonction n'est véritablement assignée à un espace spécifique ; elles peuvent être interchangeables [fig. 19].³⁰

Ce modèle consiste en une application pointue des solutions écoénergétiques et hypertechnicisées. Il peut s'apparenter à l'illustration « *anatomy of a dwelling* » de François Dallegret dans l'article « *Home is not a House* » de Reyner Banham qui se retrouve sur la couverture de ce mémoire. L'hypothèse d'un logement dominé par les services mécaniques, au point où le logement lui-même peut être omis de sa propre représentation.³¹

Il convient tout de même de souligner que la volonté de l'architecte était surtout de proposer un bâtiment entièrement recyclable, ne rejetant aucune émission toxique et autosuffisant sur le plan énergétique. Ce projet a par conséquent une visée écologique qu'il ne faut pas non plus négliger.

L'aliénation progressive de l'approche structurelle (*l'abri*) a donc ouvert le champ des possibles et a donné naissance à de nombreux courants stylistiques. (Savoir si cela représente une libération ou un refoulement formel mériterait d'être développé indépendamment de cet ouvrage qui n'a pas pour ambition d'aborder ce débat-là).

³⁰ Lemoine, B. House R 128. *Architecture Steel Stahl Acier* 15, 1-16 (2003).

³¹ Banham, R. & Dallegret, F. A Home is Not a House. *Art in America* 2, 70-79 (1965).



fig. 17 : Maison R128 de Werner Sobek



fig. 18 : Système de ventilation du projet R128



fig. 19 : Organisation spatiale

Innovations évolutives et révolutionnaires

Comme évoqué ci-dessus, les innovations ne touchent pas que les équipements ; un changement des ressources énergétiques s'opère simultanément. Ce graphique [fig. 20] regroupant l'énergie dépensée par habitant à Paris selon les différentes ressources au fil des siècles met en évidence l'incidence des nouvelles technologies sur la consommation globale. Le passage du bois au charbon, représentatif de la première transition technologique, n'a pas eu de conséquences sur la quantité d'énergie consommée (entre 1810 et 1910, la consommation totale d'énergie reste autour des 20 Gj/an/hab). L'arrivée des poêles dans la majorité des ménages n'a donc pas poussé ceux-ci à changer leur habitude de consommation. Celle-ci est restée stable jusqu'à l'entre-deux-guerres. La seconde transition technologique, quant à elle, a eu une forte incidence sur la consommation moyenne par habitant. L'émergence du chauffage central, de la climatisation [fig. 21] et de l'éclairage, ainsi que les nouvelles ressources énergétiques qui en découlent a fait quadrupler le total de ressources énergétiques consommées (passant d'une moyenne de 20 Gj/an/hab au 19^e siècle à presque 80 Gj/an/hab en 1990). Il ne faut cependant pas faire abstraction de l'influence d'autres secteurs, tel que l'automobile, sur ces chiffres.³²

Cette différence d'impact peut s'expliquer par le caractère même de ces innovations. Les poêles ne sont en réalité qu'une évolution subalterne. Ils ne font pas appel à un changement de comportement. Ils continuent à procurer de la chaleur par radiation comme le faisait le feu de foyer et s'installent spatialement à la même place que ce dernier. L'introduction des nouvelles technologies du confort (chauffage, climatisation et éclairage centralisé), quant à elle, a plutôt le statut d'une révolution. Elle impose aux usagers de changer leurs modes de fonctionnement. Passant d'une chaleur *radiante* à une chaleur *convectante*, elle va définir des arrangements spatiaux inédits et de nouvelles pratiques architecturales (comme on a pu le voir au travers des exemples tels que la tour du secrétariat du siège des Nations Unies, de l'Hôtel Solvay et le projet R128). Cette distinction marque bien la différence entre les innovations qualifiables d'« évolutives » et de « révolutionnaires ».

Reyner Banham maintient que les innovations qui ont affecté drastiquement nos modes de vie (*révolutionnaires*) sont souvent celles qui ont amené autant de solutions que de problèmes. D'autres ont optimisé nos modes de vie sans causer d'effets secondaires particulièrement néfastes (*évolutives*). Il cite dans son ouvrage l'exemple de l'éclairage centralisé :

³² Kim, E. & Barles, S. The energy consumption of Paris and its supply areas from the eighteenth century to the present. *Reg Environ Change* 12, 295-310 (2012).

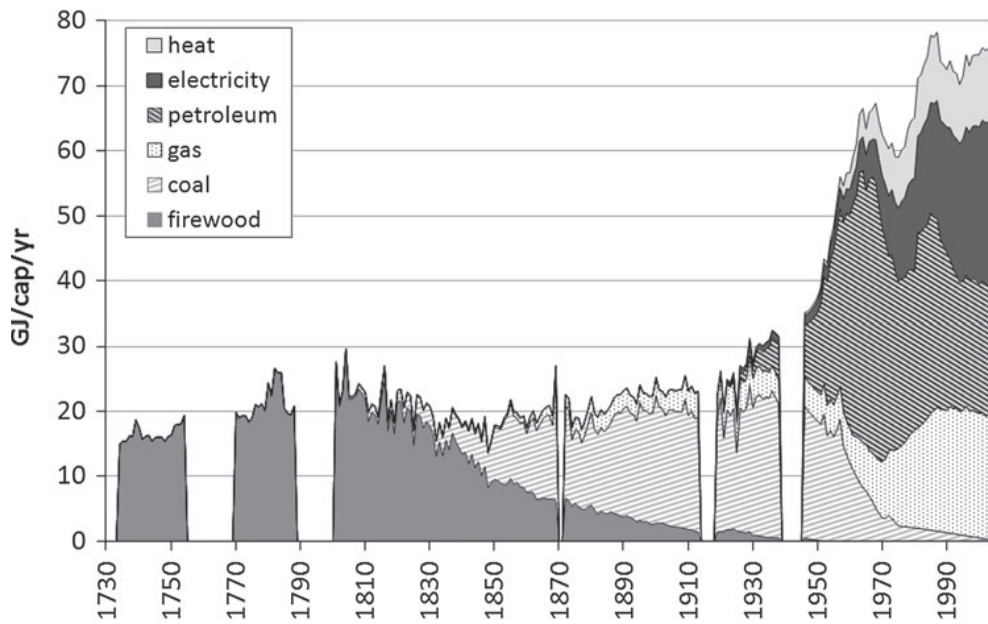


fig. 20 : Consommation finale totale d'énergie (TFEC), Paris, 1730-2000 (GJ/capita/an)

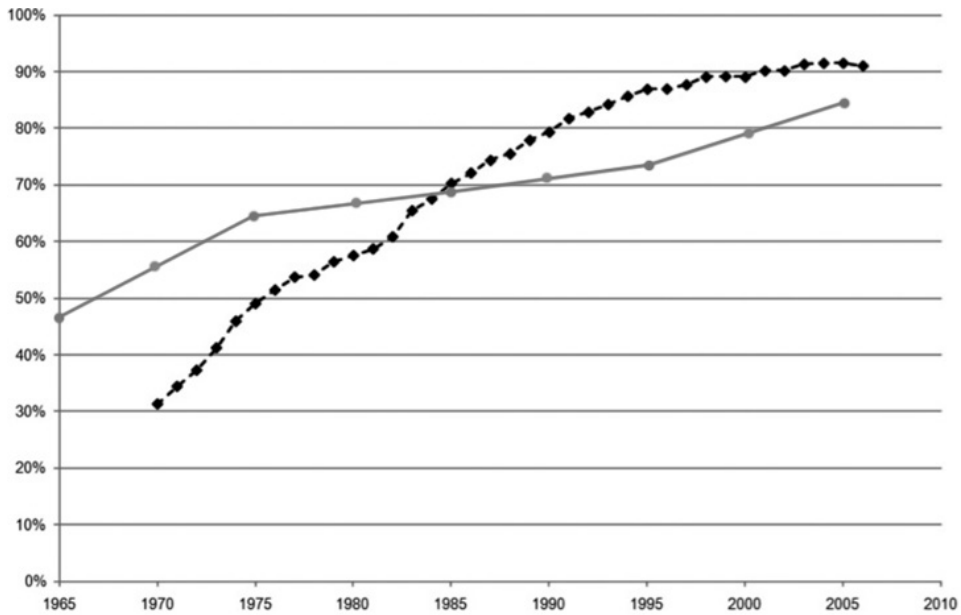


fig. 21 : Part d'habitations équipées d'un chauffage centralisé au Royaume-Uni (1970-2010) (noir) et d'air conditionné centralisé aux Etat-unis (1950-2015) (gris)

« L'usage de la lumière artificielle augmenta considérablement dans la seconde moitié du dix-neuvième siècle (...). Jusqu'au milieu du siècle, on peut douter que l'éclairage d'une habitation moyenne ait été plus fort qu'au Moyen Âge, ou presque : une unique bougie brûlait pendant une heure ou deux chaque soir, la vie de la famille était adaptée de façon à tirer le maximum du peu de lumière disponible (...). Des lampes à pétrole plus efficaces, telle celle inventée par Ami Argand, n'affectèrent pas matériellement cette situation (...) c'est la possibilité croissante de bénéficier d'un réseau de distribution pour le gaz de houille qui marqua le début de l'augmentation de la quantité de combustible consommé, du nombre de lampes et de sorties d'éclairage en service. Là où les chiffres ont pu être analysés*, on constate une augmentation allant jusqu'à vingt fois la quantité d'éclairage effectivement utilisée dans une maison moyenne d'une ville comme Philadelphie entre 1855 et 1895. »³³

* Chiffres donnés par le Dr Walton Clark dans le National Electric Light Association Bulletin Vol X (III, nouvelle série n°10), 1910

Pascal Amphoux^c aborde ce même contraste avec un autre regard. Selon lui, cela ne dépend pas spécialement du caractère isolé des innovations. Il émet l'idée qu'une tendance globale se dessine. Une transition progressive s'opèrerait d'une période régie d'innovations *techniques* vers une période dominée d'innovations *technologiques*. L'auteur voit l'innovation *technique* comme étant associée à une vision très matérielle des inventions. Elle est focalisée sur l'objet et les capacités de celui-ci, sa finalité étant quelque chose de palpable. L'innovation *technologique* vise à mettre en lien, à intégrer les techniques au sein des différents réseaux socio-économiques. Cela fait appel à des notions d'aménagement, d'agencement.³⁴

Cette mutation changerait également le statut des innovations par rapport à la notion de confort. Auparavant forgée par les innovations *techniques*, la notion du confort dirige désormais les récentes innovations *technologiques*. En d'autres termes, une interversion significative se serait produite graduellement. La notion de confort serait passée de « dirigé » à « dirigeant ». Pour illustrer cela, on peut observer que les compagnies du marché actuel de la domotique proposent davantage de nouveaux « écosystèmes » (termes

³³ Banham, R. *L'architecture de l'environnement bien tempéré*. (Hyx, 2011). p. 81

³⁴ Amphoux, P. Vers une théorie des trois comforts. *Annuaire 90* (1990).

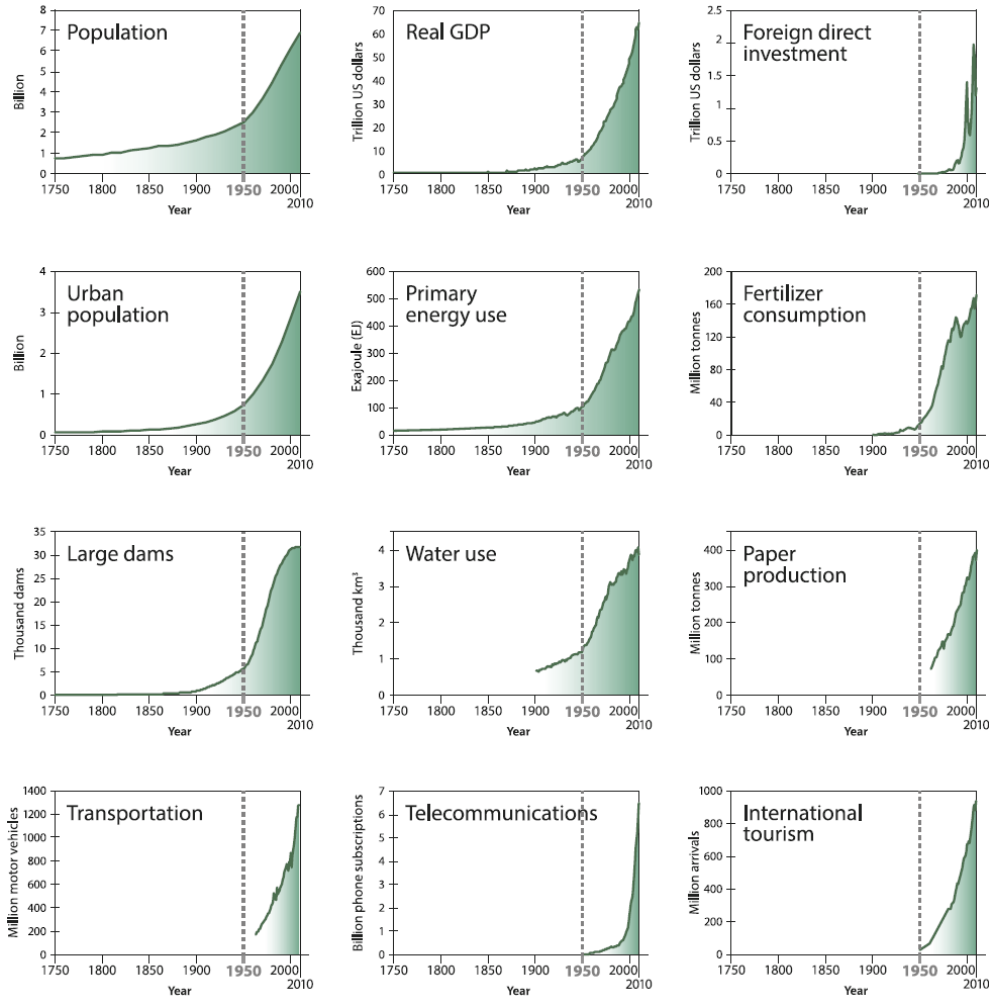


fig. 22 : Tendances socio-économique globale

fréquemment utilisés à tort pour parler d'un ensemble d'outils interactifs) que de nouvelles innovations techniques. Le récent mouvement « *smart home* » est bien représentatif de cela. Les outils ne sont pas drastiquement plus performants d'un point de vue technique. La plus-value dont les compagnies font l'éloge est l'interconnexion de leur gamme de produits.³⁵

La grande accélération

Les aspects qui composent la révolution technologique ont été les supports pour la plus importante application d'un effet caractérisé aujourd'hui de « *Rebond* ». Le premier à avoir théorisé cet effet est William Stanley Jevons. Il développa la théorie du même nom en se basant sur l'analyse de la consommation de charbon de l'industrie du fer britannique. Alors que la production de fer nécessitait de moins en moins de ressources, grâce notamment aux avancées technologiques appliquées aux hauts fourneaux de cette époque-là, la consommation globale ne diminua pas. Il apparait que l'attrait pour le profit ait été prépondérant. En effet, la rentabilité grandissante attira d'innombrables nouveaux investisseurs. Face à cette offre croissante, le prix du fer baissa et cela engendra encore plus de demandes de la part des consommateurs.³⁶

Bien que difficilement démontrable et/ou quantifiable, ce même effet a été observé suite à la révolution des technologies de confort. Se chauffer étant alors plus accessible, le nombre de chauffages centraux dans les logements crût [fig. 21]. Par réaction en chaîne, cela entraîna une hausse de la température intérieure moyenne des logements [fig. 23] et de la consommation qui s'en suit. Le citoyen moyen ne s'est pas contenté de consommer autant pour un prix réduit. Il a préféré obtenir plus de confort pour un même montant. [+ *Annexe A : Limite de l'effet rebond et de l'écoefficiente*]

De manière générale, c'est une tendance qui s'est répercutée sur la majeure partie des secteurs socio-économiques [fig. 22]. Will Steffen en fait la démonstration dans son ouvrage « *The trajectory of the Anthropocene : The Great Acceleration* ». Il met en corrélation différentes données qui montrent le bouleversement radical d'après-guerre du taux d'accroissement dans multiples domaines. En d'autres termes, les conséquences de la révolution industrielle.³⁷

³⁵ Amphoux, P. Vers une théorie des trois comforts. *Annuaire 90* (1990).

³⁶ Owen, D. *Vert paradoxe: le piège des solutions écoénergétiques*. (Écosociété, 2013).

³⁷ Steffen, W., Broadgate, W., Deutsch, L., Gaffney, O. & Ludwig, C. The trajectory of the Anthropocene: The Great Acceleration. *The Anthropocene Review* 2, 81–98 (2015).

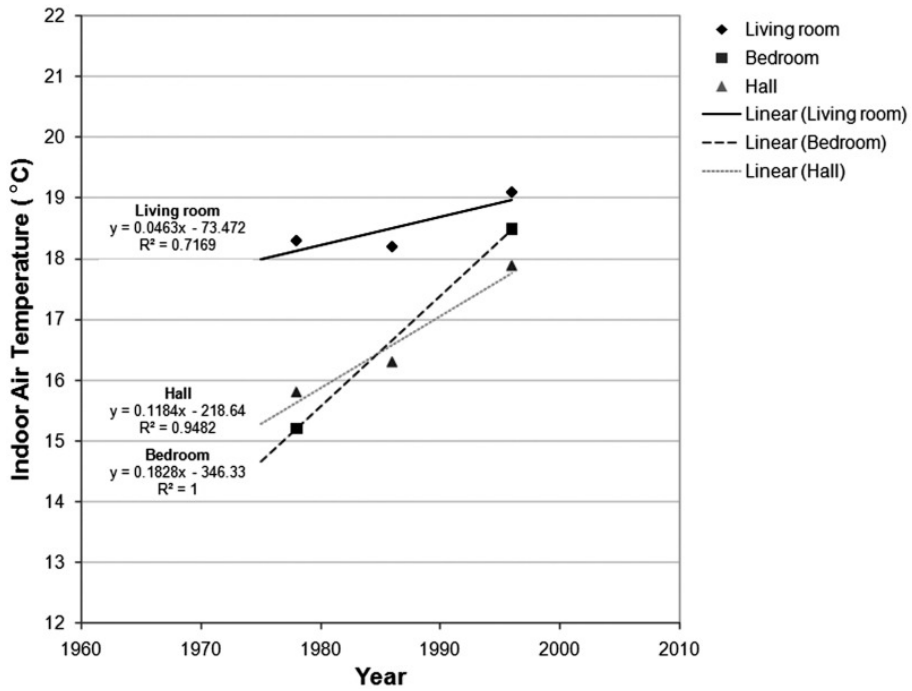
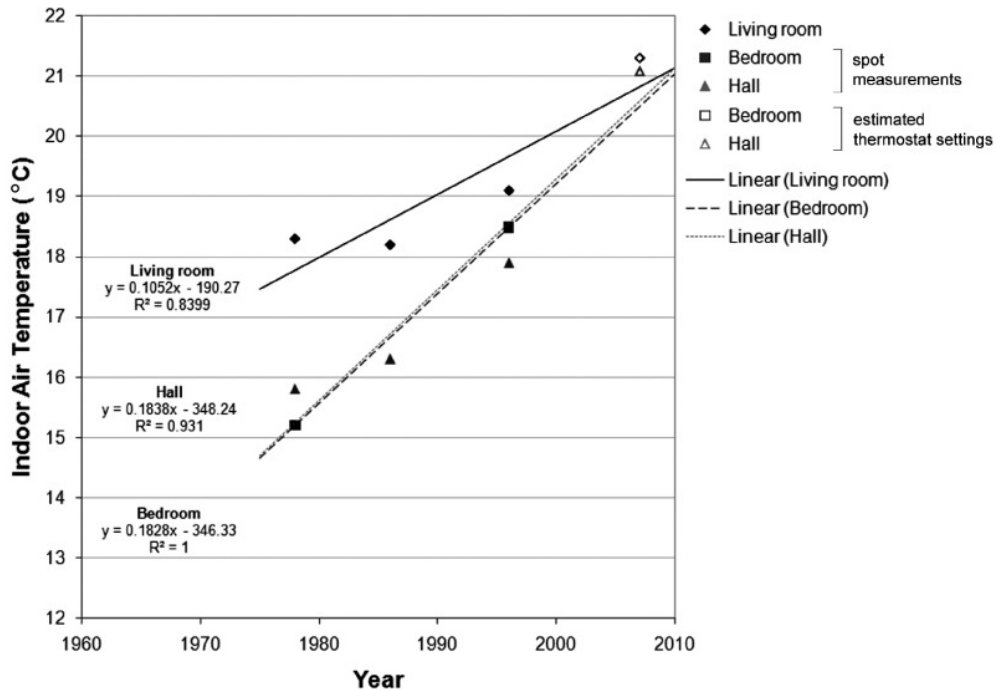


fig. 23 : Tendances des températures diurnes moyennes hivernales de l'air intérieur basées sur des enquêtes nationales auprès des ménages au Royaume-Uni (1978-1996)



En plus de l'augmentation globale de la consommation, une seconde conséquence majeure et indirecte de toutes les innovations en matière de confort a été observée : la hausse et l'homogénéisation des températures « de chauffe » [fig. 23]. Celle-ci est illustrée par l'étude menée par A. Mavrogianni et son équipe sur les températures moyennes intérieures (de l'air) en hiver au Royaume-Uni.

Le graphique montre que la température moyenne a augmenté pour les 3 catégories de pièces analysées. Prenons l'augmentation la plus significative comme exemple. Celle-ci a été observée dans les chambres. L'analyse y relève une température moyenne de 15,2°C en 1978. Deux décennies plus tard, celle-ci est passée à 18,5°C. Actuellement, les estimations situent cette même moyenne entre 21 et 22°C, soit une augmentation totale d'environ 6°C sur une quarantaine d'années (+ 140%).³⁸

Le deuxième aspect qui est mis en évidence est l'homogénéisation du climat intérieur. À la fin des années septante, les températures intérieures fluctuaient suivant la fonction des pièces. L'espace de séjour était sensiblement plus chaud que les chambres et les halls (d'environ 3°C). La convergence des tracés sur le second graphique [fig. 23] (le second qui comprend les estimations de températures récentes) manifeste cet effet d'uniformisation du climat intérieur.³⁹

Un confort pour tous

L'approche technique ayant été exposée dans la section précédente, il est désormais intéressant de se pencher sur des écrits qui étudient la facette sociale et économique de ce sujet tels que ceux de Lisa Heschong^D, Tony Côme ou encore Lionnel Engrand.

Les exemples d'architecture vernaculaire montrent bien qu'au XVIII^e siècle le confort résultait de connaissances élémentaires des matériaux et de principes scientifiques. Du bois à la pierre, un bon nombre d'individus avaient conscience de ce que ces matériaux (et leurs utilisations) pouvaient leur apporter comme agréments.⁴⁰

La révolution industrielle du XIX^e siècle marque le deuxième bouleversement majeur de notre rapport au confort (après l'avènement du feu). L'arrivée

³⁸ Mavrogianni, A. et al. Historic Variations in Winter Indoor Domestic Temperatures and Potential Implications for Body Weight Gain. *Indoor Built Environ* 22, 360–375 (2013).

³⁹ *Ibid.*

⁴⁰ Banham, R. *L'architecture de l'environnement bien tempéré*. (Hyx, 2011).

des nouvelles technologies fait vite basculer la limite entre luxe et nécessité ; elles réforment le barème du bien-être. Les cheminées laissent alors place aux systèmes de chauffage centralisés. Dans un premier temps, ces technologies deviennent un symbole de distinction sociale, elles ne sont destinées qu'à l'aristocratie. L'hôtel Solvay [fig. 14] est un exemple adéquat pour illustrer cela. En effet, le prix et l'encombrement que cela représentait étaient tels qu'il était inconcevable de se les procurer pour les classes de loisirs. À cette époque, le confort populaire était uniquement déterminé par des prescriptions hygiéniques (ensoleillement, ventilation, propreté, etc.). Après la guerre, les améliorations (évoquées au chapitre précédent) permettent alors au plus grand nombre de disposer de son lot d'installations et d'équipement [fig. 21]. Ces innovations se répandent jusqu'à devenir courantes, ordinaires.^{41, 42}

Si ce récit paraît remarquable et exclusif, certains auteurs font valoir que c'est au final l'essence même d'une innovation. C'est le cas de Pascal Amphoux:

« Le propre d'une innovation, c'est d'être vouée à disparaître. L'innovation n'est en effet nouvelle que par rapport à un état donné, local et circonstanciel, et n'apparaît pas (ou plus) comme telle dans un autre contexte, dans un autre lieu ou en un autre temps. L'histoire des techniques ne cesse de le montrer. Que ce soit l'objet qui s'use, l'usage qui se banalise ou la technique qui se diffuse, (innovation ne fait que passer quelle que soit d'ailleurs la sanction sociale que lui ait réservée le public. Dans certains cas, c'est le rejet pur et simple de l'innovation qui la fait disparaître ; dans d'autres, c'est au contraire son adoption rapide ou progressive qui la transforme en un élément standard d'utilisation courante, lequel ne tarde pas à se muer en « exigence de confort. »⁴³

Quoiqu'il en soit, ces nouveautés exclusivement technologiques vont donner lieu à l'établissement de normes chiffrables basées sur des réflexions scientifiques telles que la biologie, l'ergonomie, ou encore l'acoustique. Les températures dites « *de référence* » font leur apparition.

⁴¹ Côme, T. & Pollet, J. *L'idée de confort, une anthologie: du zazen au tourisme spatial*. (éditions B42, 2016)

⁴² Engrand, L. Le confort ou la démocratie du bien-être en question. in *13ème journée du CUEPE 2003 : Habitat, Confort et Energie* (Université de Genève, 2003).

⁴³ Amphoux, P. Vers une théorie des trois conforments. *Annuaire 90* (1990). p. 1

Un confort normé

Un pionnier dans ce domaine est l'architecte d'origine hongroise Victor Olgyay. Dans son ouvrage « *Design with Climate* » publié en 1963, il a introduit des graphiques d'analyse climatique qui intègrent la dimension climatique dans la conception des bâtiments. Un de ces graphiques est un graphe bioclimatique [fig. 24] qui représente, de manière accessible (voir ludique), une plage de confort dépendant des températures et de l'humidité relative. Ils permettent d'identifier une zone centrale de confort où les variables procurent un « *ressenti thermique idéal* ». Des zones d'extension de confort où des conditions supplémentaires s'y retrouvent aussi, elles comprennent des paramètres tels que l'ensoleillement ou la ventilation qui peuvent rendre l'environnement confortable malgré des températures moins favorables. Il tente de démontrer à travers ce travail que cette zone de confort se situerait entre 19 et 25°C pour une humidité relative variant de 30 à 70%.^{44, 45}

Un autre contributeur majeur dans le domaine de l'évaluation du confort thermique est l'ingénieur Danois Povl Ole Fanger. Il a développé des indices largement reconnus à l'échelle internationale pour évaluer le confort d'un environnement. L'un de ces indices est le PMV (Predicted Mean Vote), qui se base sur des enquêtes de confort réalisées en chambre climatique. Le PMV représente la sensation thermique moyenne prévisible d'un groupe de référence, en tenant compte de facteurs tels que le métabolisme, l'habillement, la vitesse de l'air et la température intérieure. Un indice PMV de 0 correspond à une sensation de neutralité thermique (c'est-à-dire un confort absolu selon lui), tandis qu'un indice PMV élevé indique une sensation de chaleur intense. Le PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) est un autre indice développé par Fanger. C'est un indice qui vise à prévoir le part de personnes insatisfaites (degré d'insatisfaction) en fonction des réponses au PMV. La mise en commun de ces deux types d'indices a donné lieu à un autre graphique célèbre [fig. 25]. Son analyse révèle une tendance plutôt constante des taux de satisfaction. Il faut tout de même noter qu'une satisfaction unanime n'est jamais atteinte (environ 5% de marge).⁴⁶

Baruch Givoni a également apporté une contribution importante à l'étude du confort thermique avec son point de vue d'architecte. Il a proposé des zones de confort étendu où des conditions supplémentaires peuvent permettre d'atteindre un confort optimal. Ces conditions supplémentaires comprennent le

⁴⁴ Olgyay, V. *Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism*. (Princeton University Press, 2015).

⁴⁵ Deprez, B. *De l'architecture durable à la compétence énergétique*. vol. 1 (Presses Universitaires de Bruxelles, 2021)

⁴⁶ *Ibid.*

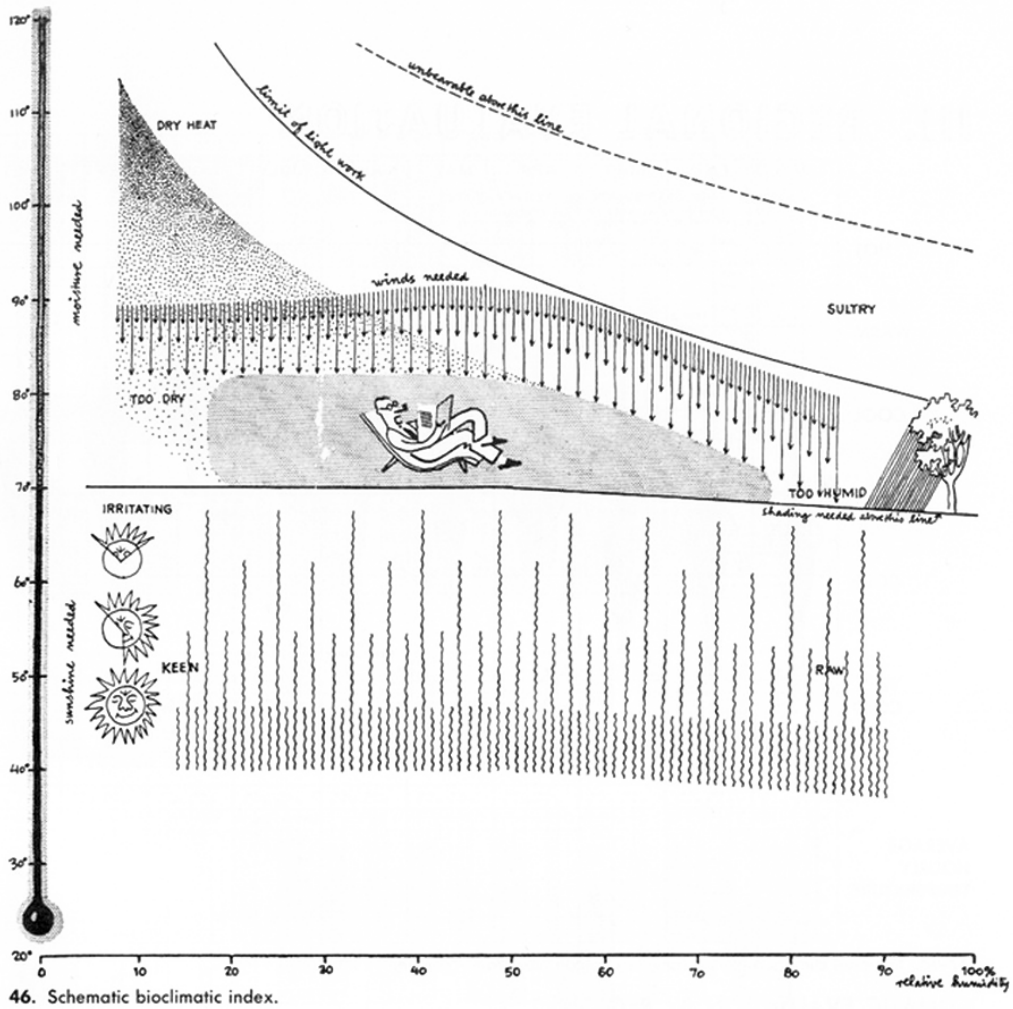


fig. 24 : Index bioclimatique schématique de Olgyay

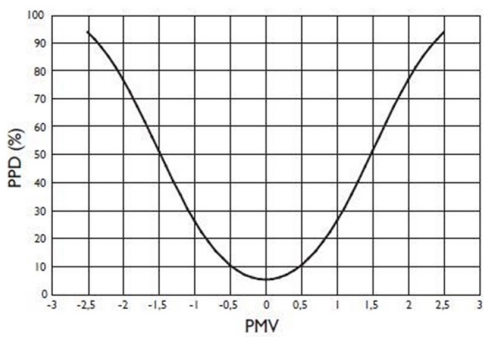


fig. 25 : Evolution du PPD en fonction du PMV de Fanger

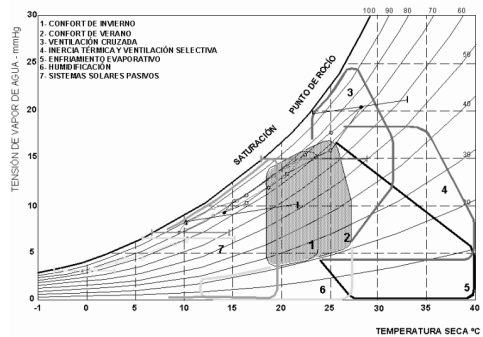


fig. 26 : Zonas de confort étendu de Givoni

rayonnement solaire, l'isolation, la ventilation ou encore le rayonnement provenant d'une surface froide [fig. 26].

Les concepts et les modèles développés par Povl Ole Fanger et les autres scientifiques de ce domaine ont servi de base à l'établissement des normes. Elles ont pris différentes formes en fonction des pays et/ou continent. Parmi les plus connues, on peut citer ISO 7730 (International), ASHRAE (États-Unis) et EN 15251 (Union européenne). Ces normes qui fournissent des recommandations sur les performances énergétiques, la qualité de l'air intérieur, le confort thermique, l'éclairage ou encore sur la sécurité se sont progressivement immiscées dans les réglementations de construction.⁴⁷

L'idée de confort, initialement axée sur des considérations hygiéniques, s'est progressivement soumise à diverses dimensions techniques. D'une certaine manière, l'établissement de ces réglementations et normes a conféré une légitimité au rôle des ingénieurs et des scientifiques dans la production d'un confort commun, créant ainsi un écart avec les autres dimensions du confort (social, spatial, etc.). L'institutionnalisation de ces invariants met en exergue la nouvelle visée quantitative de la notion de confort.⁴⁸

Un confort convivial

Au XIV^e siècle, les habitants d'un logement se retrouvaient couramment au coin du feu (ou du poêle) pour profiter ensemble du confort qu'il procurait. Cette coutume se manifeste au travers de différentes illustrations d'époques. Le peintre suisse Albert Anker (1831-1910) s'est particulièrement intéressé à ces moments de vie. Les peintures sélectionnées [fig. 27, 28 & 29] rendent compte du rôle social de ces dispositifs de chauffage.

Dans son ouvrage « *Architecture et volupté thermique* », Lisa Heschong infère :

*« Les lieux qui rassemblent des qualités thermiques recherchées tendent naturellement à devenir des espaces de sociabilités où les gens se retrouvent pour profiter des avantages du confort qu'ils peuvent y retrouver. »*⁴⁹

⁴⁷ Le Goff, O. *L'invention du confort: naissance d'une forme sociale*. (Presses universitaires de Lyon, 1994).

⁴⁸ *Ibid.*

⁴⁹ Heschong, L. *Architecture et volupté thermique*. (Parenthèses, 1981). Pg 64



fig. 27 : Die Bauern und die Zeitung - 1867



fig. 28 : Sonntagnachmittag - 1861

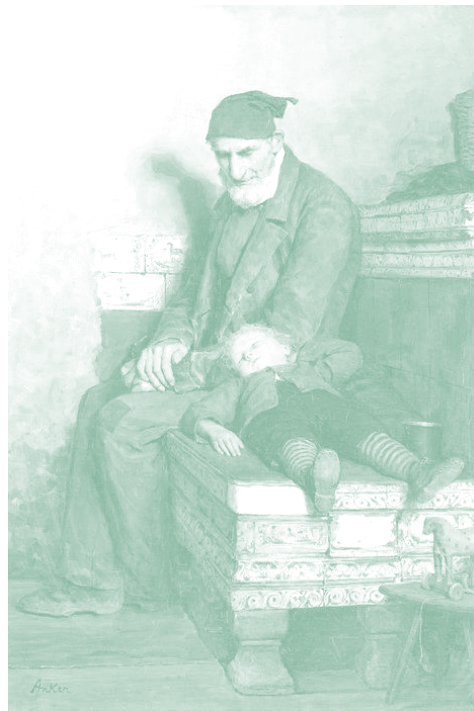


fig. 29 : Feissli mit Kind auf Ofenbank - 1898

Le confort serait un élément que l'on savoure plus amplement s'il est partagé. L'essence de ces principes persisterait, sous d'autres formes, dans la société actuelle selon l'auteur. Elle cite l'exemple des terrasses brumisées en été. Bien qu'utilisées dans un but économique, cela serait l'application au XXI^e siècle du même phénomène.

Cela dit, la situation de confort thermique pouvant désormais être atteinte en tout lieu (de l'habitation), les regroupements communautaires autour des espaces « chauds » ont perdu leur intérêt d'un point de vue physiologique. L'observation de ce phénomène s'est raréfiée à mesure que le climat intérieur s'est homogénéifié. Par conséquent, cette révolution du confort a également eu des impacts sur l'organisation sociale entre individus.⁵⁰

⁵⁰ Hescong, L. *Architecture et volupté thermique*. (Parenthèses, 1981).

Repenser le confort

Repenser le confort

L'évolution du confort présentée aux chapitres précédents a conduit à « *une confusion entre bien-être et abondance énergétique* »⁵¹. Néanmoins, certains auteurs les ont réprouvés à travers les époques. Ce chapitre se penchera sur les différentes réflexions et objections qui ont été formulées, dont la portée est toujours remarquablement actuelle.

Un retour aux bases de la thermodynamique

Philippe Rahm^E aborde ce sujet en blâmant le nouvel « *équilibre de l'invisible* » développé au cours du XX^e siècle. Selon son point de vue, l'architecture peut être caractérisée sous 2 angles : « *le visible* » et « *l'invisible* » - représentant respectivement le formel, l'apparence (l'extérieur) et le climat, l'ambiance (l'intérieur). En appuyant ses propos avec les lois de thermodynamique, il soutient que l'asymétrie, le désordre et le déséquilibre (*de l'invisible*) sont ce qui donne à un système son énergie et sa richesse. L'équilibre et/ou la neutralité représenteraient au contraire l'affaiblissement et le déclin (l'entropie) de celui-ci. Il va même jusqu'à rappeler que :⁵²

« (...) le déséquilibre thermique entre le soleil et la terre est à la base même de la vie (...) »⁵³

Le parallèle qui est alors fait avec la notion de confort est que ces nouvelles technologies, telles que le chauffage centralisé, l'isolation et la climatisation, ont réduit la diversité et la richesse de nos climats intérieurs. (Cela pourrait même avoir une incidence sur la prospérité de ceux-ci si l'on s'en réfère aux rappels thermodynamiques de l'auteur.)

La pratique architecturale de Philippe Rahm vise à développer la forme, la spatialité et l'organisation (des projets) en fonction des variables de climat et de confort [fig. 30 & 31]. Il propose une déclinaison de l'idiome « *form follow fonction* » énoncé à l'origine par Louis H. Sullivan pour appuyer sa vision : « *Form (and function) follow climate* »

⁵¹ Illich, I. *Oeuvres complètes*. (Fayard, 2003). p. 384

⁵² Rahm, P. *Architecture météorologique*. (Archibooks + Sautereau, 2009).

⁵³ *Ibid.* p.12

Le projet « *météorologie d'intérieur* » [fig. 30] est représentatif de cette reformulation. Ce projet architectural vise à explorer de nouvelles possibilités en créant une architecture où les fonctions émergeraient selon une équation basée sur l'arrangement des paramètres climatiques. Les fluctuations de l'environnement climatique entraîneront également une variation dans la programmation, générant ainsi différents usages pour chaque pièce. Cette installation constitue une étude approfondie sur la capacité des variations climatiques à suggérer intuitivement différentes fonctions et utilisations de l'espace, ouvrant ainsi de nouvelles perspectives dans le domaine architectural.⁵⁴

Philippe Rahm s'intéresse aussi à la notion de flux. Dans sa proposition « *Gulf Stream intérieur* » [fig. 31], l'architecte s'inspire du phénomène naturel du même nom pour rétablir une diversité climatique au sein du climat intérieur. Il met donc en place une source froide en hauteur et une source chaude sur la partie inférieure. La polarisation thermique entre ces deux sources donne naissance à un flux d'air que Philippe Rahm associe à un nouveau paysage thermique prometteur.⁵⁵

La sensibilité aux flux

Il est pertinent de rappeler que l'être humain est plus sensible aux différentiels qu'aux constantes. Le système nerveux ne permet pas d'identifier des valeurs absolues (suivant les différentes unités de grandeurs instituées telles que la température, le pourcentage d'humidité, la vitesse de l'air, etc.). Il n'est apte à juger une situation, un état qu'en ayant été confronté à ce qui précède. Par exemple, plonger son corps dans une eau à 12°C procurera un ressenti totalement différent en fonction de la situation extérieure (et antérieure). Comme tous les autres sens, celui thermique (sous-jacent à celui du toucher) a une capacité d'agrément, de satisfaction. Avant toute chose, il faut souligner que les sens procurent aux individus le sentiment d'exister. Les échanges et variations qu'ils ressentent au sein de leur environnement sont la démonstration qu'ils appartiennent à celui-ci. C'est au travers de cette corroboration (d'existence) que peut se développer le sentiment de bien-être.⁵⁶

Dans d'autres secteurs tels que celui de l'alimentation, la science démontre qu'une neutralité optimisée permet à un être de survivre par le biais de diverses

⁵⁴ Rahm, P. *Météorologie d'intérieur* - Philippe Rahm architectes. <http://www.philipperahm.com/data/projects/interiorweather/>.

⁵⁵ Rahm, P. *Interior gulf stream* - Philippe Rahm architectes. <http://www.philipperahm.com/data/projects/interiorgulfstream/>.

⁵⁶ Hescong, L. *Architecture et volupté thermique*. (Parenthèses, 1981).

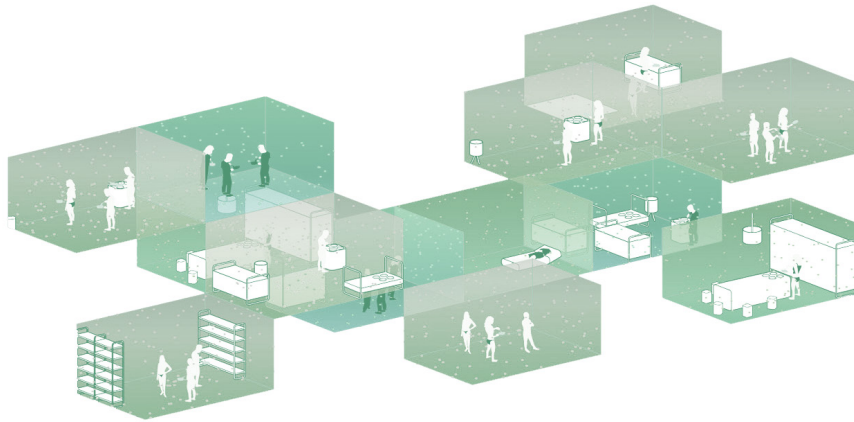


fig. 30 : Météorologie d'intérieur de Philippe Rahm

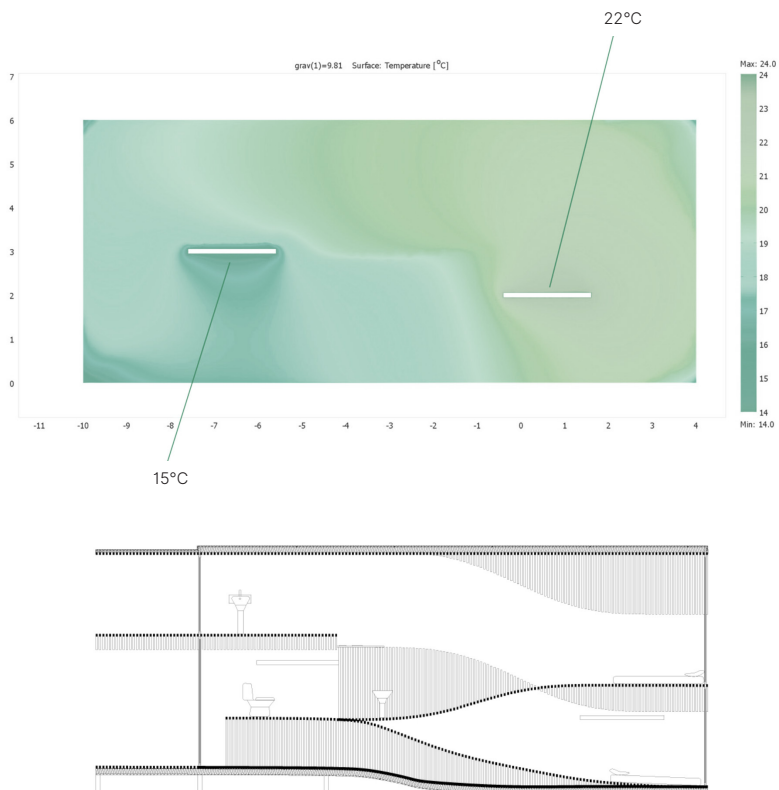


fig. 31 : Interior gulf stream de Philippe Rahm

pilules et injections. Toutefois, les individus finissent toujours par convoiter la diversification de leur nourriture. La quête anthropique de plaisir et d'expériences sensorielles est incessante. Cette sensibilité aux flux est donc directement liée au concept d'existence et de bien-être.⁵⁷

Il y a plus d'un exemple qui est représentatif de cet attrait pour la fluctuation des climats environnants. Le succès des plages en été en est un. Individuellement, ni le sable chaud ni l'eau fraîche ne sont considérés comme confortables (selon les standards conscientisés). Néanmoins, la conjonction des deux l'est dans le subconscient de beaucoup d'entre nous. Un deuxième exemple, aux antipodes du premier, est le sauna scandinave. Installé en extérieur, il n'y a d'autres moyens que de traverser un climat froid pour apprécier, un court instant, la remarquable chaleur qu'il délivre. Cela dit, il n'est pas nécessaire de se référer à des situations aussi exclusives et distantes. L'appréciation d'une boisson chaude en terrasse sous une brise hivernale rend compte de ce même phénomène.

Différentes critiques des normes établies se sont développées sur base de ces réflexions. En résonance avec les exemples cités ci-dessus (plage et sauna), Bernard Lachal met en évidence que les normes actuelles du confort ne tiennent pas compte du « *passé thermique récent et du futur thermique attendu* ». Ces facteurs, plus délicats à mesurer en laboratoire, auraient pourtant un impact crucial sur la plage d'appréciation.⁵⁸

D'autres avant lui ont insisté sur le fait que des facteurs complémentaires à ceux qui régissent les normes établies jusque-là influencent notre relation au confort. C'est le cas des études menées par Richard J. de Dear^F et Gail S. Brager^F. Ils reposent leur réflexion sur le concept « *d'alliesthésie* ». Ce terme « *alliesthésie* », introduit par Cabanac en 1971 dans un article clé sur le rôle du plaisir⁵⁹, décrit une situation où un stimulus donné peut provoquer une expérience agréable ou désagréable en fonction de l'état interne du sujet. L'alliesthésie joue un rôle dans les réponses comportementales des systèmes régulateurs du corps.⁶⁰

Les auteurs citent l'exemple de la faim. Un aliment semble avoir meilleur goût lorsque l'estomac d'un individu est vide. Une fois rassasié, le désir de manger s'estompe et l'aliment précédemment appétissant peut même deve-

⁵⁷ Heschong, L. *Architecture et volupté thermique*. (Parenthèses, 1981).

⁵⁸ Lachal, B. Confort d'été et énergie : une étude de cas à Genève. in *13ème journée du CUEPE 2003 : Habitat, Confort et Energie* (Université de Genève, 2003).

⁵⁹ Cabanac, M. Physiological Role of Pleasure. *Science* 173, 1103–1107 (1971).

⁶⁰ de Dear, R. Revisiting an old hypothesis of human thermal perception: alliesthesia. *Building Research & Information* 39, 108–117 (2011).

nir désagréable (alliesthésie négative). En résumé, tout stimulus externe ou environnemental qui contribue à ramener la variable régulée à sa valeur de référence est perçu comme agréable (alliesthésie positive), tandis que tout stimulus qui éloigne davantage la variable régulée de sa valeur de référence est perçu comme désagréable (alliesthésie négative). Il faut noter que la valeur de référence ne désigne pas ici une norme absolue généralisée. Elle représente la valeur subjective que chaque individu perçoit comme satisfaisante. Qui plus est, l'intensité de l'alliesthésie serait proportionnelle à l'écart entre la variable régulée et sa valeur de référence.⁶¹

Toutes ces réflexions amènent à supposer que le plaisir, la satisfaction est principalement observable dans les états transitoires, lorsque le stimulus aide le sujet à revenir à ce qu'il identifie comme point de consigne. À l'inverse, lorsqu'un individu reste dans la zone neutre de température, les stimuli perdent leur capacité d'agrément et mènent potentiellement à un sentiment d'apathie.

Richard J. de Dear rappelle qu'il faut ajouter à cela la distinction entre sensation thermique et confort thermique, entre sensation et perception. La sensation fait référence à la détection d'un stimulus dans l'environnement, tandis que la perception se réfère à la manière dont cette information est interprétée. La perception (confort thermique) est donc, elle, une étape plus complexe et propre à chaque individu. Elle peut aussi s'intégrer à une vision collective, s'incarner sous la forme d'une « *culture du confort* ». ⁶²

Ces chercheurs s'appuient sur cet article qui examine de manière approfondie les mécanismes physiologiques et perceptifs pour tenter d'expliquer pourquoi les occupants des bâtiments dits durables pourraient bénéficier d'une qualité environnementale intérieure positive, même lorsque les conditions thermiques ne correspondent pas aux normes de confort établies (ASHRAE, etc.). Dans un de leurs articles écrits antérieurement « *Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55* », ils démontrent les limites de la norme « *ASHRAE Standard 55* » et proposent d'y inclure de nouveaux standards de confort adaptatif (ACS) [fig. 32]. Leurs analyses se basent sur les données de 60 bâtiments soit équipés de systèmes d'air climatisé (a), soit ventilés naturellement (b), situés sur quatre continents dans des zones climatiques variées. Elles comparent les températures de confort intérieur observées et prédites pour ces 2 types de bâtiments. Les résultats montrent que la correspondance entre les lignes observées et les lignes prédites dans les différents types de bâtiments (à air conditionné et à ventilation naturelle) est radicalement différente [fig. 33a & 33b]. Dans le cas des

⁶¹ de Dear, R. Revisiting an old hypothesis of human thermal perception: alliesthesia. *Building Research & Information* 39, 108–117 (2011).

⁶² *Ibid.*

bâtiments équipés de système d'air conditionné, les températures de confort prédites et observées sont sensiblement similaires [fig. 33a] (les individus l'ont intégré comme tels). En revanche, une plus large gamme de température (que celle prédite sur base des résultats en laboratoires) convient aux individus des bâtiments à ventilation naturelle [fig. 33b]. Les chercheurs estiment que cette différence est due à deux facteurs : le niveau plus élevé de contrôle perçu dans les bâtiments ventilés naturellement (fenêtres ouvrables, etc.) et la plus grande diversité d'expériences thermiques (principe de l'alliesthésie). En somme, cela dirigerait les attentes et préférences de ces individus vers des conditions davantage en corrélation avec les climats extérieurs.⁶³

Commodité, maîtrise et réserve

Dans son ouvrage « *Architecture et volupté thermique* », Lisa Heschong explique que l'être humain aime associer ses ressentis à des phénomènes et/ou objets qu'ils lui sont compréhensibles. Il est facile d'associer son confort à la bouillotte laissée sous la couette, préalablement préparée par nos soins. A contrario, nous apprécions rarement les bienfaits produits par le système de chauffage centralisé caché dans les faux plafonds de nos locaux de travail. Cette discordance est due à différents phénomènes.

Le premier fait le parallèle avec l'importance de la sensibilité aux flux développée précédemment. En effet, l'individu n'est pleinement conscient des agréments engendrés par un phénomène et/ou un outil que si ceux-ci sont irréguliers. En d'autres termes, il ne prend intégralement connaissance de l'importance d'un dispositif qu'en son absence (dans la majorité des cas). La stabilité climatique permanente amenuiserait donc notre capacité de discernement. La conscience du fonctionnement et du rôle des dispositifs entre également dans l'équation.⁶⁴

« Il nous est également difficile d'apparenter notre bien-être thermique à un objet ou à un lieu précis sans que nous ayons conscience, à quelque niveau que ce soit, de la fonction thermique qu'il assure réellement. La chaleur radiante des tuyauteries d'eau chaude noyées dans le béton d'une dalle, peut effectivement nous procurer une sensation de chaleur et de confort, mais nous ne pouvons pas directement saisir la fonction thermique du plancher (...). Le manque d'indices

⁶³ De Dear, R. J. & Brager, G. S. Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55. *Energy and Buildings* 34, 549–561 (2002).

⁶⁴ Heschong, L. *Architecture et volupté thermique*. (Parenthèses, 1981).

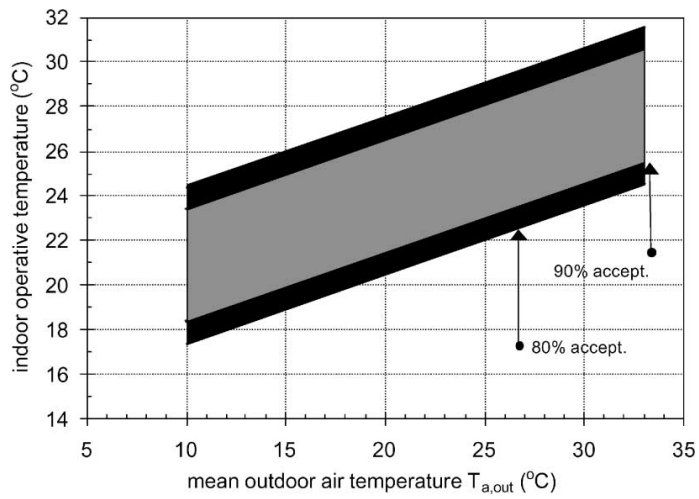


fig. 32 : Proposition de modèle de confort adaptatif de Richard J. de Dear et Gail S. Brager

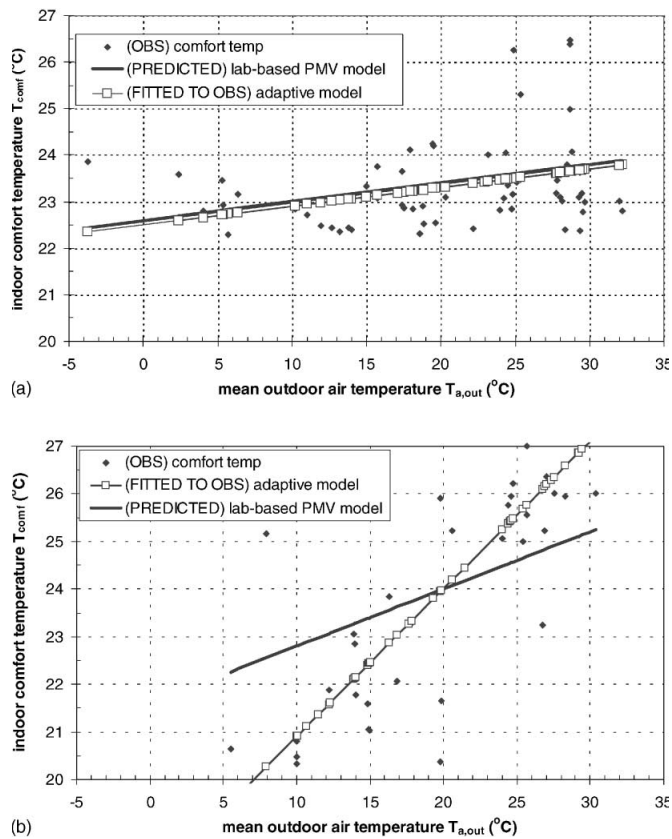


fig. 33 : Températures de confort intérieur observées et prévues pour les bâtiments climatisés (a) et pour les bâtiments à ventilation naturelle (b).

précis occulte cette association de la sensation de confort avec le plancher (...) »⁶⁵

Enfin, les équipements seront d'autant plus valorisés s'ils font appel à plusieurs sens. L'exemple du feu (de foyer) est le plus pertinent pour illustrer ce concept. Tout d'abord, sa mise en place demande une implication personnelle ainsi qu'une certaine expérience. Ensuite, une fois allumé, il stimule en plus du sens thermique, celui de l'ouïe par ses crépitements et celui de la vue par sa dansante luminescence.⁶⁶

Pascal Amphoux propose dans son écrit « *Vers une théorie des trois comforts* » de faire une distinction de ces différentes facettes du confort. Il en épingle trois : le confort de *commodité*, le confort de *maîtrise* et le confort de *réserve*. Le confort de *commodité* correspond à la capacité technique d'un équipement à assurer un niveau de confort nécessaire à une fonction spécifique. Il met l'accent sur la technicité de l'objet. C'est un confort utilitaire qui prône l'adaptation de l'innovation à l'utilisateur. Cette première catégorie renvoie à l'idée d'un foyer « *ergonomique* », à la mesure de son habitant. Il offre une possibilité d'action qui répond à des besoins formulés.

Il cite ensuite le confort de *maîtrise*. Celui-ci est lié à la possibilité de contrôler et régler le niveau de confort selon les préférences de chacun. Si le confort de *commodité* se réfère à l'adaptation de l'objet à l'usager, le confort de *maîtrise* suppose, lui, l'appropriation de l'objet par l'usager. C'est ce qui permet à tout un chacun de se composer son propre « *mode d'habiter* ».

Le dernier type est qualifié de confort de *réserve*. Cela fait référence à des questions d'éventualité. Les soucis de volume, de quantité sont également engagés. Il agit comme une forme de garantie. Selon Pascal Amphoux, c'est cet effet d'assurance qui procurerait à l'habitant le sentiment du « *chez soi* ». ⁶⁷

Ces trois types de confort ne doivent pas être considérés de manière isolée, ils s'articulent toujours en connexité. L'intégration d'une innovation technique passerait donc par ces trois dimensions successivement. L'auteur soutient que ces trois dimensions coexistent et contribuent à la représentation du sentiment de confort, dépassant ainsi une simple détermination technique ou normative. Si l'on prend un chauffage électrique à titre d'exemple, l'aspect commode se retrouve dans la facilité d'utilisation ; une fois branché il n'y a qu'à tourner la valve. Ça renvoie au concept d'ergonomie abordé précédemment. La maîtrise représente, quant à elle, le fait que l'usager puisse définir la température en toute indépendance ; rien ne lui est directement imposé. Il peut ajuster la valve

⁶⁵ Heschong, L. *Architecture et volupté thermique*. (Parenthèses, 1981). p. 56

⁶⁶ *Ibid.*

⁶⁷ Amphoux, P. *Vers une théorie des trois comforts*. *Annuaire 90* (1990)

jusqu'à la valeur qui lui convient. Cela ne se limite pas qu'à activer ou désactiver le chauffage, l'utilisateur dispose d'un spectre d'action plus étendu. Enfin, le confort de réserve résulte de l'assurance qu'à l'utilisateur de pouvoir activer le chauffage électrique à tout moment. Cet équipement n'est jamais bien loin et se met en action rapidement en cas de nécessité.

Le principe de contrôle, de maîtrise est inhérent aux différents exemples et idées illustrées jusqu'à présent. L'opportunité d'activer ou non un dispositif spontanément, telle une protection, procure un sentiment de sécurité. Cet effet est d'autant plus conséquent si le dispositif est « à portée de main ». Les volets en sont un autre bon exemple. Bien que généralement ouverts, ils sont véritablement appréciés du fait qu'ils soient refermables. Ils sont là *au cas où*.

D'autres perspectives sur le sujet ont également été explorées par des philosophes qui se sont intéressés à ces questions en dehors de la sphère (purement) architecturale. La notion d' « *outils maniables et manipulables* » présentée par Ivan Illich⁶⁸ fait partie de celles-ci. Selon ce philosophe, l'apport énergétique métabolique nécessaire aux outils *maniables* procurerait à ceux-ci une certaine authenticité, une valeur résultante de l'implication. L'outil *manipulable*, quant à lui, dépendrait d'une énergie externe qui désolidariserait l'utilisateur du processus. La nuance dépend donc de la source des énergies impliquée, ainsi que de leur proportion. Il est donc question d'une balance en énergie.⁶⁸

À titre d'exemple, la hache est un outil *maniable* par excellence car son utilisation requiert exclusivement de l'énergie métabolique (apporté par l'utilisateur). Comparablement, la tronçonneuse est à la limite d'être un outil *manipulable*, elle peut tout de même être considérée comme un outil *maniable* car l'énergie métabolique fournie par l'utilisateur reste plus significative que l'énergie externe. En revanche, pour une débiteuse automatique, l'énergie externe joue un rôle prépondérant. De ce fait, cette machine peut être classée parmi les outils *manipulables*. Pour en revenir au domaine du confort, ce contraste peut être à nouveau illustré par la distinction entre le feu de foyer (outil *maniable*) et le système de chauffage centralisé (outils *manipulable*).

En blâmant l'outil manipulable, Illich analyse aussi notre rapport à l'énergie et à la consommation. À travers ses théories, il démontre qu'une confusion a lieu entre bien-être et abondance énergétique. Même si la crise climatique (moderne) conscientise la nécessité de réduire la consommation d'énergie, celle-ci semble (encore) résonner comme une privation. Pourtant, cela pourrait être vu sous la forme d'une libération si l'on s'accorde à dire que la course immodérée

⁶⁸ Illich, I. *Oeuvres complètes*. (Fayard, 2003).

à la consommation assujettit le corps social à celle-ci. Au fil du temps et des innovations énergivores, on a pris l'opulence comme modèle de prospérité.⁶⁹

Il y a un parallèle intéressant à faire avec l'évolution du rapport à la médecine développé par l'auteur dans le même chapitre. L'évolution du secteur médical dans les années 1910-1920 s'est traduite par une meilleure détermination des maux. Cela a donné lieu à une nouvelle vague de dénominations de syndromes pour chacun desquels le corps médical s'est empressé de trouver des traitements spécifiques. Probabilité de guérison et dosage journalier sont des bons exemples de termes utilisés qui ont précipité les substances pharmaceutiques au rang de produit de consommation de masse. Ce même phénomène aurait affecté différents secteurs (tels que l'éducation, les transports ou encore l'assistance sociale). L'auteur expose ce dernier comme étant biphasique, articulé autour de « *deux seuils de mutation* » :

« Dans un premier temps, on applique un nouveau savoir à la solution d'un problème clairement défini et des critères scientifiques permettent de mesurer le gain d'efficacité obtenu. Mais dans un deuxième temps, le progrès réalisé devient un moyen d'exploiter l'ensemble du corps social, de le mettre au service des valeurs qu'une élite spécialisée, garante de sa propre valeur, détermine et révisé sans cesse. »⁷⁰

Ces deux seuils se retrouvent également dans l'histoire de l'évolution du confort développé au chapitre précédent. Le poêle comme réponse à une problématique précise ; la climatisation automatique comme intermédiaire pour assujettir les individus à des normes internationalisées.

L'intérêt de présenter la notion d'« *outils maniables et manipulables* » d'Ivan Illich est qu'il l'associe à celle de « *convivialité* ». Selon son point de vue, l'outil maniable serait plus propice à être convivial que l'outil manipulable. Selon sa théorie :

« L'outil est convivial dans la mesure où chacun peut l'utiliser sans difficulté, aussi souvent ou rarement qu'il le désire, à des fins qu'il détermine lui-même. L'usage que chacun en fait n'empiète pas sur la liberté d'autrui d'en faire autant. Personne n'a besoin d'un diplôme pour avoir le droit de s'en ser-

⁶⁹ Illich, I. *Oeuvres complètes*. (Fayard, 2003).

⁷⁰ *Ibid.* p. 466

*vir ; on peut le prendre ou non. Entre l'Homme et le monde, il est conducteur de sens, traducteur d'intentionnalité. »*⁷¹

Comme on a pu le découvrir au travers de l'ouvrage de Lisa Heschong (au chapitre précédent), le confort aurait perdu son caractère convivial au fur et à mesure des innovations techniques. Une piste intéressante peut donc se dégager si les réflexions de Lisa Heschong et de Ivan Illich sont mises bout à bout : *la reconvivialisation du confort (à l'aide d'outils maniables) comme pratique écologique.*

Chauffer le corps, pas son environnement

Parmi tous ces auteurs qui ont critiqué l'approbation de l'usage des solutions technologiques, les propos de Louis Bell sont certainement ceux qui résonneront pour le plus grand nombre. Dans l'extrait de 1912 qui suit, il exprime son opinion sur l'évolution de l'éclairage électrique :

*« Pour ce qui concerne l'éclairage électrique, on s'acharne sans cesse à vouloir améliorer l'efficacité de la lampe à incandescence de quelques degrés, et un gain ne serait-ce de 10% serait salué par un battage de publicité tel qu'on en a plus entendu depuis les balbutiements de ce nouvel art. Et pourtant, en matière d'éclairage en général, et d'éclairage domestique en particulier, un peu d'habileté et de tact dans l'utilisation des lampes dont nous disposons aujourd'hui peut permettre une économie bien plus importante que toutes les améliorations matérielles des vingt dernières années. La règle fondamentale consistant à placer la lumière seulement là où elle est la plus utile et à la concentrer aux seuls endroits où on en a le plus besoin est un précepte trop souvent oublié ou méconnu. Si on la garde à l'esprit, elle permettra non seulement de réduire le coût de l'éclairage, mais aussi d'améliorer son effet. »*⁷²

⁷¹ Illich, I. *Oeuvres complètes*. (Fayard, 2003). p. 485

⁷² Louis Bell cité dans : Banham, R. *L'architecture de l'environnement bien tempéré*. (Hyx, 2011) p. 93

Bien que cet écrit concerne l'éclairage, et non le chauffage, il est aisé d'établir un parallèle. Le précepte qu'il introduit consistant à disposer la source d'énergie uniquement là où elle est nécessaire et efficace pour se focaliser sur son utilisateur est le point de départ de mouvements plus récents.

Kris de Decker, fondateur du « *Low-tech Magazine* », est un de ces auteurs qui y participe. Il cherche à redonner aux systèmes de chauffage par radiation et par conduction leur juste valeur. Pour une même température environnante (de l'air), ces deux modes peuvent radicalement altérer notre ressenti. Pour la conduction, le contact de nos pieds et/ou mains sur une surface chaude procurera une perception confortable même si l'espace est chauffé à 18°C. Le meilleur exemple pour la radiation reste l'impact du soleil. Sous celui-ci on gagne quelques degrés sur le ressenti global qui sont perdus si l'on se trouve à l'ombre. De plus, seule une infime partie de l'énergie utilisée pour chauffer par convection contribue au bien-être des personnes au cours d'une journée. En effet, assis à son bureau, un travailleur n'a pas besoin que l'autre bout de la pièce soit climatisé. Les méthodes par radiation et conduction ont, à cet égard, un rendement bien plus intéressant.

Malgré le titre du chapitre « *Restoring the Old Way of Warming: Heating People, not Places* », Kris de Decker n'invite pas non plus ses lecteurs à retourner au poêle Franklin. Les évolutions technologiques ont permis la création d'alternatives (radiantes et conductrices) plus efficaces, pratiques et sûres qu'il ne faut pas repousser selon lui.⁷³

Une étude récente, qui s'inscrit dans la continuité de celle de Richard J. de Dear et Gail S. Brager, a tenté de prouver l'incidence de telles alternatives (et du phénomène d'alliesthésie) sur la notion de confort. Cette publication de 2021 a été menée par Yingdong He et son équipe, chercheurs à l'université de Berkeley.⁷⁴

Les membres de ce groupe de recherche ont mis en place une expérience qui soumet vingt individus à trois modes de chauffage (AC seul, AC avec PCS, et PCS seul). À partir de différentes températures initiales et options de contrôles, les sujets ont dû relater leur sensation thermique (chaud-froid) et leur confort thermique (agréable-désagréable) au fur et à mesure de l'expérience. La température de la peau et de l'air ambiant a également été relevée. Pour cette étude, les systèmes de confort personnel (PCS) regroupent une catégorie de dispositifs compacts et économes en énergie. Ils sont spécialement conçus pour offrir, par radiation ou par conduction, le refroidissement ou

⁷³ De Decker, K. Restoring the Old Way of Warming: Heating People, not Places. in *Low-tech Magazine* vol. 2 372–391 (Low-tech Magazine, 2019).

⁷⁴ He, Y. et al. Creating alliesthesia in cool environments using personal comfort systems. *Building and Environment* 209, article 108642 (2022).

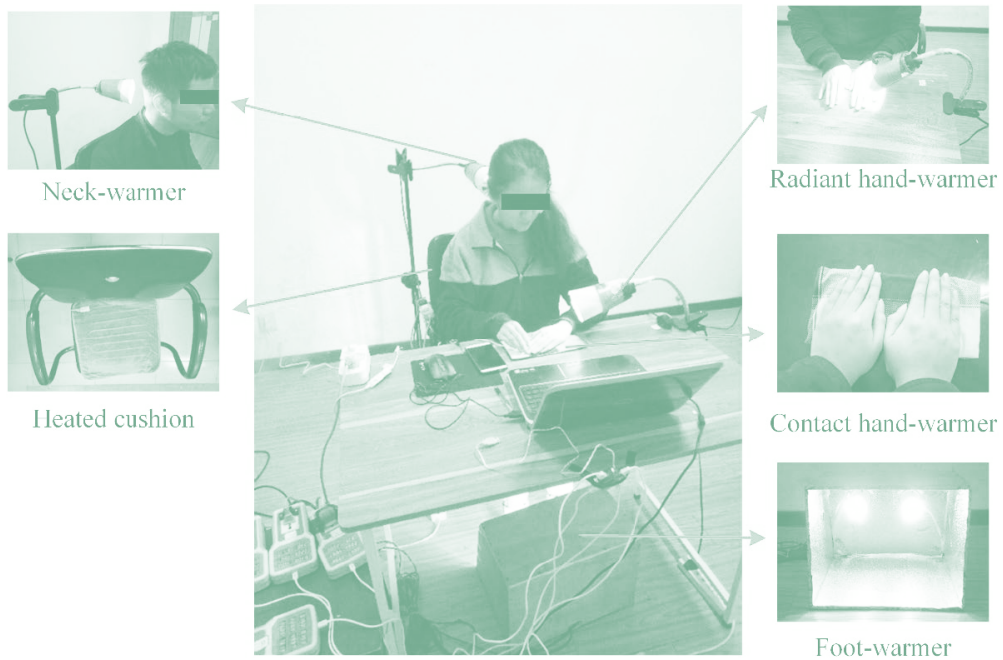


fig. 34 : Appareils de chauffage PCS utilisés dans l'étude

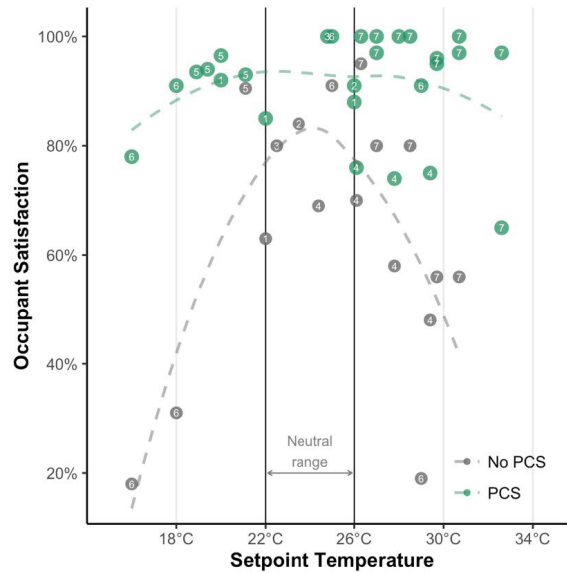


fig. 35 : Rassemblement de sept études montrant des niveaux de satisfaction thermique atteints avec PCS (vert) et sans PCS (gris).

le chauffage local ciblé des participants [fig. 34]. On retrouve des panneaux radiants, sièges chauffants et autres variantes équipées de mécanismes similaires.⁷⁵

Les résultats de cette expérience sont probants [fig. 36]. Globalement, le graphique montre que le chauffage par PCS s'est révélé plus efficace que la climatisation pour améliorer le confort des occupants. De manière plus détaillée, on peut tout d'abord observer qu'il y a une corrélation entre la sensation thermique et le confort thermique [fig. 36]. Et cela se vérifie quelle que soit la température initiale. Ensuite, l'analyse du graphe montre que la climatisation seule n'a pas produit de sensation de confort notable. Les chercheurs pointent comme raison la lenteur de changement de température (qu'induit ce type de dispositif). En revanche, le PCS a offert une expérience immédiate agréable grâce à son chauffage conductif et radiatif plus rapide, qui s'est étendu de manière non uniforme sur tout le corps. Cela témoigne des effets de l'alliesthésie. Par ailleurs, le fait de proposer un contrôle de la climatisation n'a visiblement pas eu d'impact sur les résultats. Enfin, le niveau de confort global du corps a suivi de près le confort des parties spécifiques du corps exposées à des stimuli thermiques [fig. 37].⁷⁶

Les caractéristiques temporelles et spatiales confèrent au PCS un avantage significatif par rapport aux systèmes de climatisation en termes de génération de plaisir thermique. Pour étayer leur résultat, la publication recense également sept autres analyses qui relèvent des niveaux de satisfaction thermique plus élevés grâce au PCS (Personal comfort system) [fig. 35]. Les données résultent de situations avec PCS (en vert) et sans PCS (en gris). Les lignes en traitillé établissent les moyennes. Les verticales au centre du graphique délimitent la plage de température neutre typique. On peut voir à travers ce graphique que les effets du PCS sont significatifs.

Slowheat est un autre acteur dans ce domaine. Inspiré par les propos de Kris de Decker, ce programme de corecherche développe des connaissances théoriques et pratiques pour tendre vers un mode de vie à basse énergie. Comme son nom l'indique, ce collectif s'intègre dans le mouvement « *Slow-...* » (slow food, slow school, etc.). Ce mouvement vise à réproposer l'aspect effréné de la croissance et de la consommation actuelle aux profits d'un effet de décroissance, de ralentissement. Voici la définition énoncée pour cette pratique :

« *Slowheating (n.m.) : Le slowheating est une pratique de chauffage qui transforme nos façons d'habiter au XXI^e* »

⁷⁵ He, Y. et al. Creating alliesthesia in cool environments using personal comfort systems. *Building and Environment* 209, article 108642 (2022).

⁷⁶ *Ibid.*

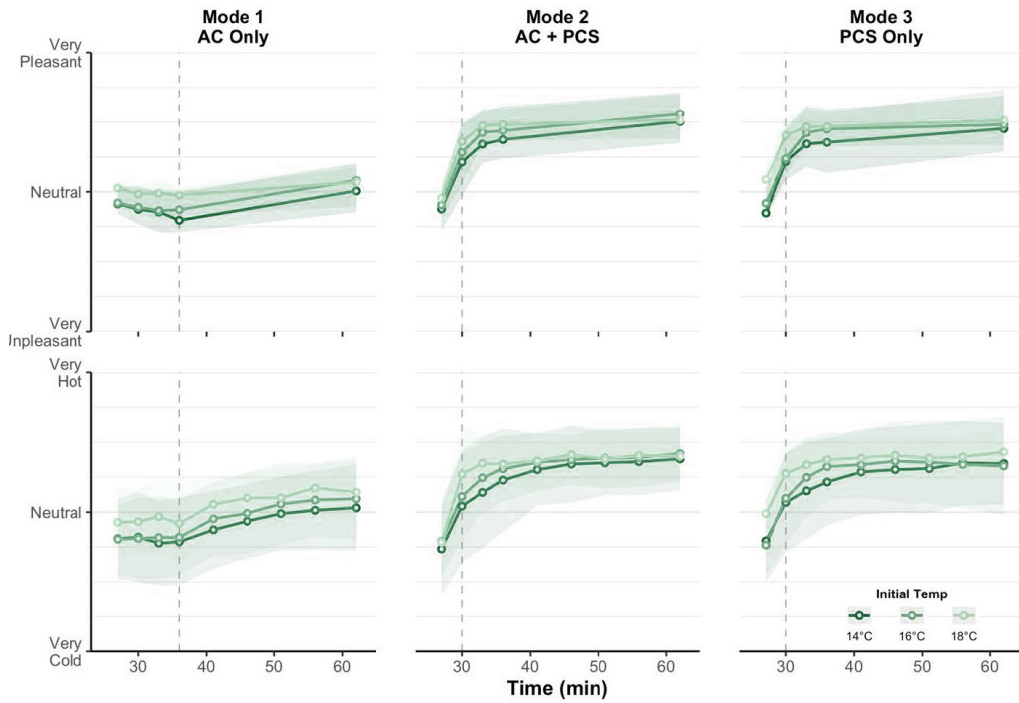


fig. 36 : Moyenne des votes d'agrément thermique (en haut) et de la sensation thermique (en bas). Les traitillés indiquent le point où les sujets pouvaient modifier leur environnement.

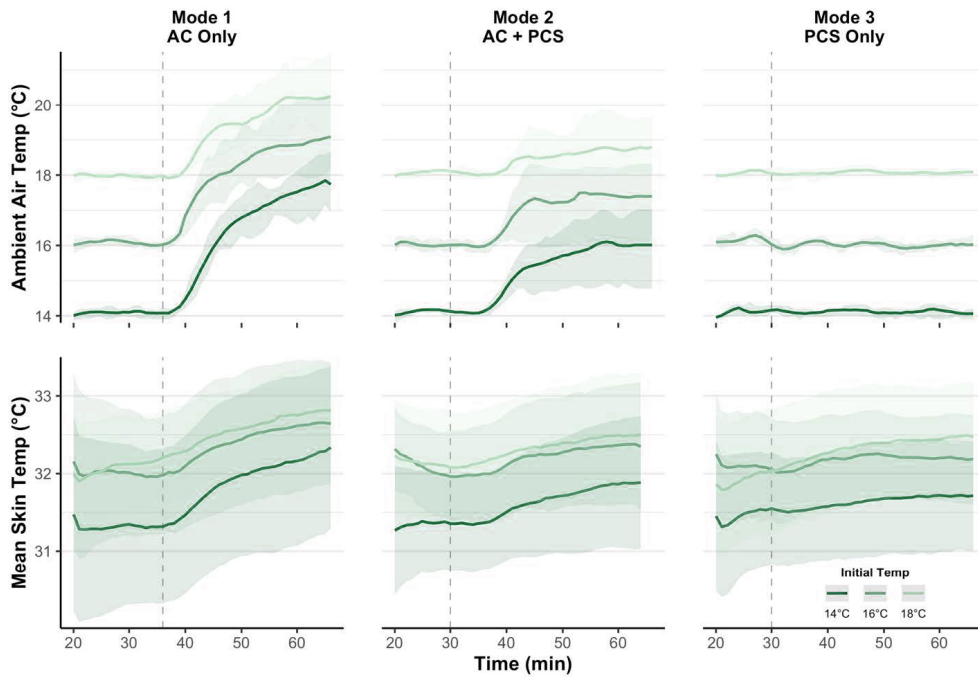


fig. 37 : Moyenne des températures de l'air ambiant (en haut) et des températures moyennes de la peau des sites de mesure locaux non-chauffés (en bas)

siècle autour de huit principes et d'une idée qui consiste à chauffer les corps au lieu des bâtiments par l'utilisation de chauffage de proximité. Elle poursuit l'objectif de concilier au mieux la modération de la consommation et l'amélioration du bien-être. Elle met empiriquement en œuvre de nouvelles représentations du confort et de nouveaux savoir-faire et participe en ce sens à l'émergence d'un nouveau modèle de société fondé sur la sobriété et la résilience. »⁷⁷

L'approche primordiale est de réformer les normes de confort actuelles en déconstruisant l'idée que le chauffage central est la seule solution qui vaille. Ce collectif met l'accent sur la pluralité des alternatives qui existent [fig. 38]. Il insiste aussi sur l'importance de reconscientiser tout acte de consommation. À l'heure où beaucoup de nos faits et gestes résultent d'automatismes, il est pertinent de revenir à des modes opératoires qui sont le fruit de décisions réfléchies et basées sur des ressentis effectifs. Une température figée à plus de 20°C (par exemple) n'est pas souhaitable tout au long de la journée. Que ça soit au retour d'un footing ou lors d'un repas de famille bien animé, cela sera malvenu.⁷⁸

Leur constat se base également sur les principes développés précédemment, entre autres ceux de Richard J. de Dear et Gail S. Brager et de Lisa Heschong. On retrouve les notions d'alliesthésie, de maniabilité et de convivialité. Cet ensemble de chercheurs s'engage dans la lutte contre la neutralité thermique au profit d'un CAP (confort adaptatif personnel). Ce concept se rapproche du PCS (personal comfort system) énoncé dans l'étude publiée par l'université de Berkeley pointée précédemment.⁷⁹

En pratique, cela peut également s'apparenter aux expérimentations faites par Yingdong He et son équipe [fig. 34]. Une série de dispositifs de chauffage par radiation ou par conduction sont ajoutés ponctuellement dans des espaces peu ou pas chauffés (de manière homogène). L'objectif est alors de pouvoir localiser la chaleur dans l'espace et dans le temps en fonction des besoins de l'usager. [fig. 39]

Même si la température environnante descend jusqu'à 18 °C près des fenêtres, la sensation qui en résulte restera confortable. Le corps étant chauffé, les températures environnantes ne sont pas aussi impactantes que dans un système de chauffage centralisé. Cela nous redirige une fois encore vers les

⁷⁷ Collectif Slowheat. *SlowHeat : Définition de la pratique.* (2022). p. 7

⁷⁸ Collectif Slowheat. *SlowHeat : Définition de la pratique.* (2022).

⁷⁹ *Ibid.*

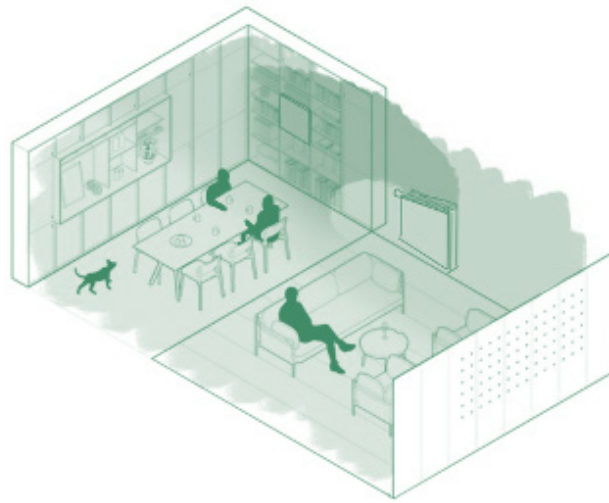


fig. 38 : Pratique actuelle (en haut) et pratique Slowheat (en bas)

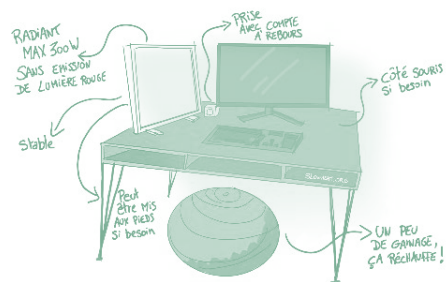
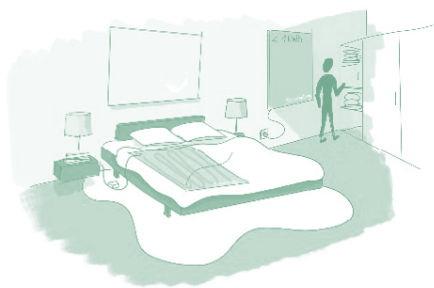
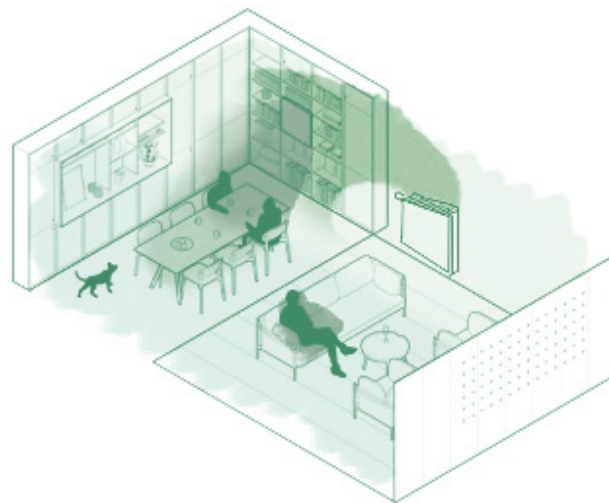


fig. 39 : Exemples d'équipements

expériences menées par l'université de Berkeley qui démontrent amplement l'efficacité de ces équipements [fig. 36]. Cela dit, les actions de Slowheat se démarquent des autres recherches car elles s'organisent dans des lieux de vie, au quotidien et sur une durée prolongée (plusieurs mois et/ou années). L'ensemble de ces facteurs fait de ces interventions des sujets d'étude potentiels. Bien qu'elles soient abordées dans ce chapitre par souci de cohérence, il faut noter qu'elles auraient également pu être traitées dans le chapitre suivant, consacré à l'analyse de différents projets de transformations.

Des participants à cette corecherche, logeant dans un duplex (139m² à Schaerbeek, Belgique), ont appliqué certaines des méthodes proposées durant l'hiver [fig. 40]. Les habitants ont alors vécu avec des températures intérieures moyennes entre 15 et 17°C en garantissant être restés dans des situations qu'ils jugeaient confortables. Ces stratégies ont fait passer leur estimation de consommation à $\pm 15\text{KWh}_{\text{ep}}/\text{m}^2.\text{an}$ alors que les calculs de la PEB l'estiment à $345\text{KWh}_{\text{ep}}/\text{m}^2.\text{an}$.⁸⁰

La récence de cette corecherche les amène à se soucier d'un aspect peu évoqué par les différents auteurs cités préalablement : la résilience. Les alternatives de chauffe qu'ils proposent (panneau radiant, couette chauffante, etc.) remplissent ces attentes. Nombreuses et indépendantes, celles-ci permettent tout d'abord l'alternance en cas de défaillances. Là où le dysfonctionnement d'un système de chauffage central peut mettre à mal les habitants de tout un immeuble. L'utilisateur lambda est plus à même de réparer ce qui peut s'apparenter à une bouilloire que tout un système de chauffage intégré aux murs, cloisons et dalles pour lequel il faudra sûrement faire appel à toute une armada d'experts. De plus, cela tient compte aussi des limitations des ressources utilisées. Le « slowheating » est majoritairement électrique, une ressource plus stable que le gaz en termes d'approvisionnement et d'indexation (financier). Le point de vue de Slowheat reste optimal même en cas de crises car les impacts seraient proportionnels à la consommation, qui se veut réduite. [+ *Annexe B : l'intérêt des systèmes résilients face à la situation climatique*]

En effet, ce collectif propose une analyse graphique [fig. 41] montrant les variations de consommations d'énergie par type en fonction des températures intérieures moyennes. Leur observation indique que la consommation de gaz diminue drastiquement. Le phénomène ne se répercute pas vraiment pour la consommation d'électricité. Toutefois, la consommation d'énergie primaire cumulée est représentative de la réduction de consommation recherchée. Il y a bien une corrélation directe entre la température intérieure moyenne et la consommation d'énergie.⁸¹

⁸⁰ Collectif Slowheat. SlowHeat : chauffer les corps, pas les bâtiments. (2022).

⁸¹ *Ibid.*

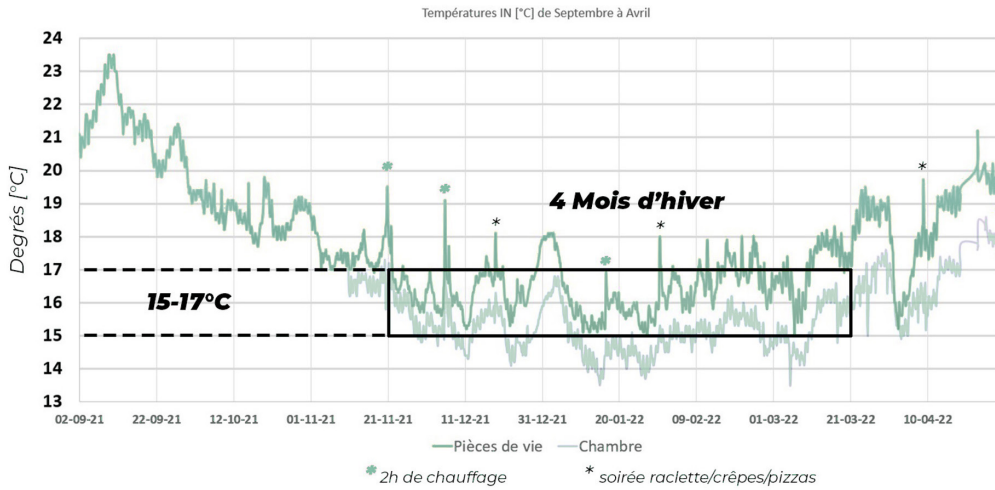


fig. 40 : Relevé des températures dans un duplex de septembre 2021 à avril 2022

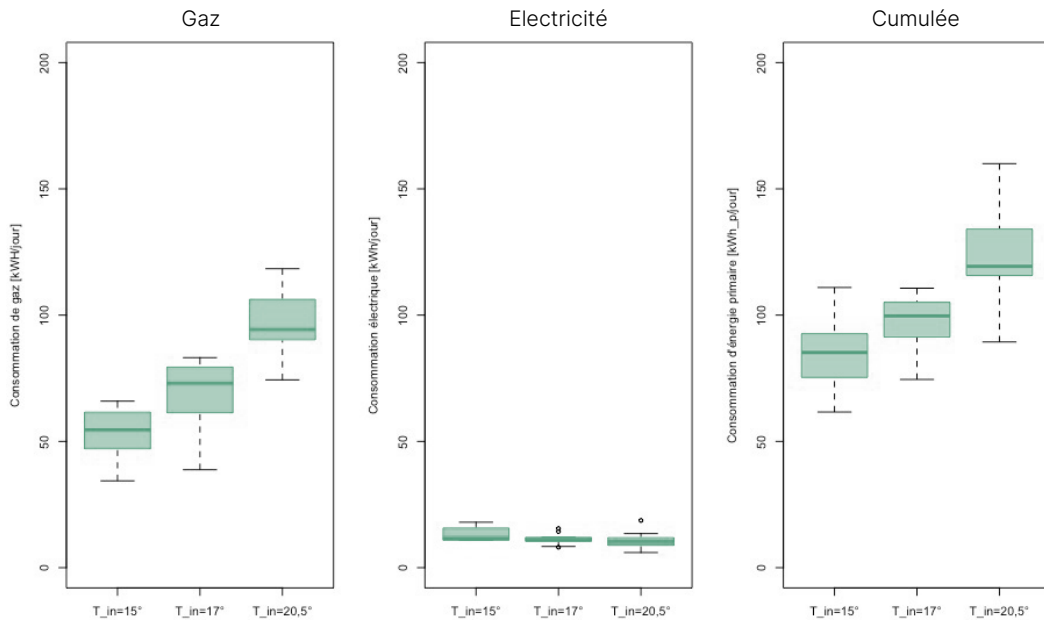


fig. 41 : Variations de consommations d'énergie par type en fonction des températures intérieures moyennes.

D'une certaine manière, ces réflexions nous ramènent à la base même des stratégies durables, d'autant plus si l'on s'en réfère au Trias Energetica (souvent mentionné comme fondement de ces stratégies en Europe) [fig. 42]. Développée fin du XX^e siècle par le bureau d'étude Urban Design and Environment de l'université technologique de Delft, cette stratégie met en place 3 règles hiérarchiques qui feraient office de guide à suivre pour toute conception durable. Le premier point vise à minimiser la consommation énergétique. Le deuxième point oriente vers l'usage d'énergie renouvelable. Enfin, le dernier point avise d'utiliser de manière efficace les ressources fossiles dans le cas où elles sont nécessaires. Si à l'origine le premier axe induisait une bonne isolation, une forme compacte et une étanchéité renforcée, il est de bon sens d'y inclure la diminution de consommation directe résultant du comportement de l'habitant, de la configuration des équipements (relatif au confort) et de l'organisation spatiale. Cela reste la forme la plus rudimentaire et cartésienne pour minimiser la consommation d'énergie.⁸²

Pour conclure, les différentes études et raisonnements abordés dans ce chapitre mettent en évidence l'importance de la sensibilité aux flux et du sentiment de contrôle. Le confort de vie s'améliorerait significativement en présence de ces deux facteurs. La diversité thermique et l'étendue de la maîtrise peuvent prendre diverses formes. Certains auteurs proposent de les mettre en œuvre en répartissant les espaces en zones chauffées et non chauffées. D'autres imaginent que ces variations peuvent s'opérer au sein de chaque pièce. Des combinaisons de ces approches sont également envisageables, donnant alors lieu à une organisation hybride entre des espaces chauffés (dans leur ensemble) et des espaces où l'on ne chauffe que le corps. De plus, chacune de ces méthodes se révèle prometteuse d'un point de vue écologique.

⁸² RVO Nederland. Infoblad Trias Energetica en energieneutraa bouwen. (RVO, 2013).

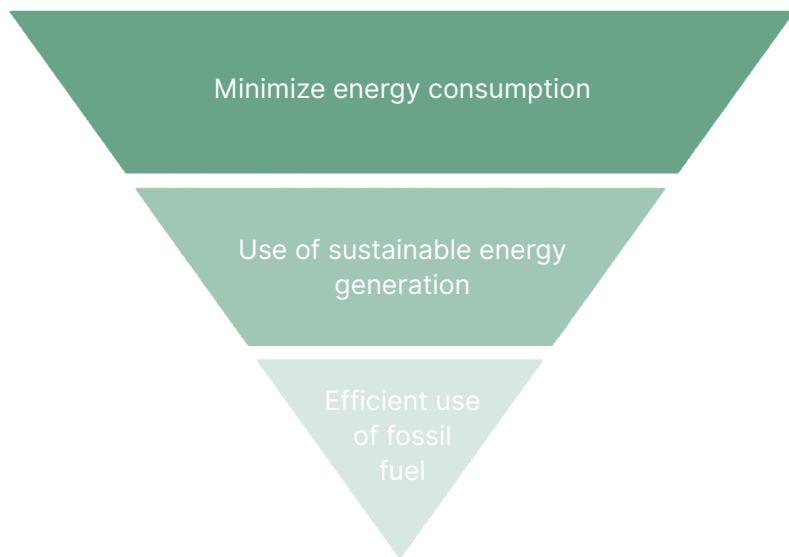
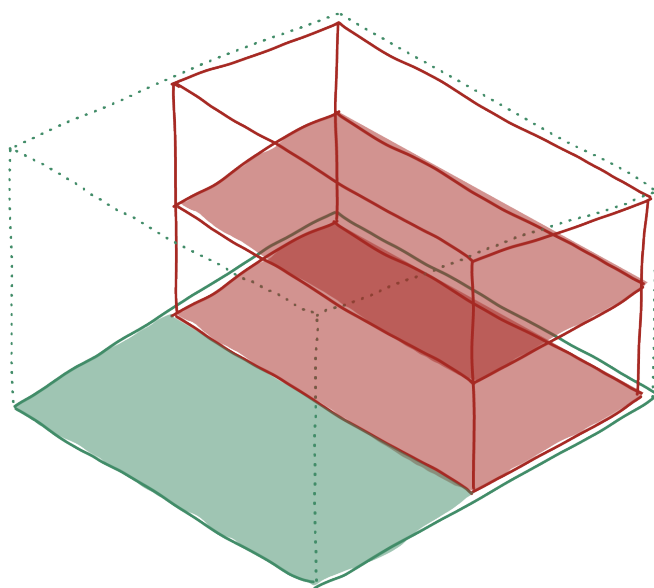


fig. 42 : Schéma du Trias Energetica

Etude de cas

Étude de cas / Latapie



Dénomination : *maison Latapie*

Architecte(s) : *Lacaton & Vassal architectes*

Date et lieu : *Gironde, France - 1993*

Surface : *185m² | 122m² (chauffé) | 63m² (non-chauffé)*

Ce bâtiment fait des projets précurseurs dans l'implémentation d'espaces non-chauffés au sein de l'habitat. Guidée initialement par l'économie de moyens, la conception de celui-ci fera ensuite émerger d'autres principes et réflexions qui serviront de fondements à bien d'autres projets.

Les architectes Anne Lacaton et Jean-Philippe Vassal se sont lancés le défi pour ce projet de proposer une habitation plus généreuse que les maisons conventionnelles proposées dans les catalogues, tout en respectant le même budget. Ils optent pour une ossature légère surplombée de matériaux peu coûteux. S'intéressant alors aux constructions de serres horticoles pour leur efficacité (spatiale et climatique) à bas coût, les architectes amorcent l'idée de n'isoler et chauffer qu'une partie de l'habitat. L'autre part serait alors sous serre et verrait son usage évoluer en fonction des saisons et des principes bioclimatiques. C'est l'une des premières démonstrations d'une division sélective du climat intérieur. Ils distinguent les espaces en fonction de leurs besoins climatiques. Une enveloppe en contreplaqué isolée ainsi qu'un système de chauffage est alloué aux zones essentielles qui nécessitent une chaleur constante telles que la cuisine, les chambres et les salles de bains. Les espaces de vie secondaires, de circulation et de service restent, quant à eux, non-chauffés.⁸³

La serre n'est pas pensée comme un petit espace adjacent utilisable qu'en cas de beau temps. Elle fait partie intégrante de l'habitat, elle apparaît le lieu de vie principal sur les photos d'époques [fig. 44 & 45]. Cela procure aux habitants plus de surface appropriable, et donc davantage de liberté. Cette notion de liberté sera ultérieurement revendiquée par Anne Lacaton et Jean-Philippe Vassal comme étant la clé d'un logement « *confortable* ». Les architectes conçoivent cet espace de sorte qu'il puisse s'adapter aux différents climats, moyennant l'intervention des usagers. Ils le qualifient d'espace « *tampon* ».

« (...) Des panneaux vitrés mobiles toute dimension (...) offrant la possibilité de moduler le degré d'ouverture et de choisir, selon le climat, la relation du volume de bois avec la serre et, au-delà, avec l'espace extérieur. »⁸⁴

Si ce projet est présenté dans le cadre de ce mémoire qui privilégie les projets de transformations, c'est parce qu'il introduit des préceptes qui seront ensuite repris par ces architectes dans de nombreux cas de réhabilitations. C'est le cas de leur proposition pour la tour Bois-le-Prêtre à Paris.

⁸³ Darmon, O. *Serre et habitat*. (Ouest-France, 2013).

⁸⁴ *Ibid.* p.24



fig. 44 : Vue extérieure



fig. 45 : Vue intérieure

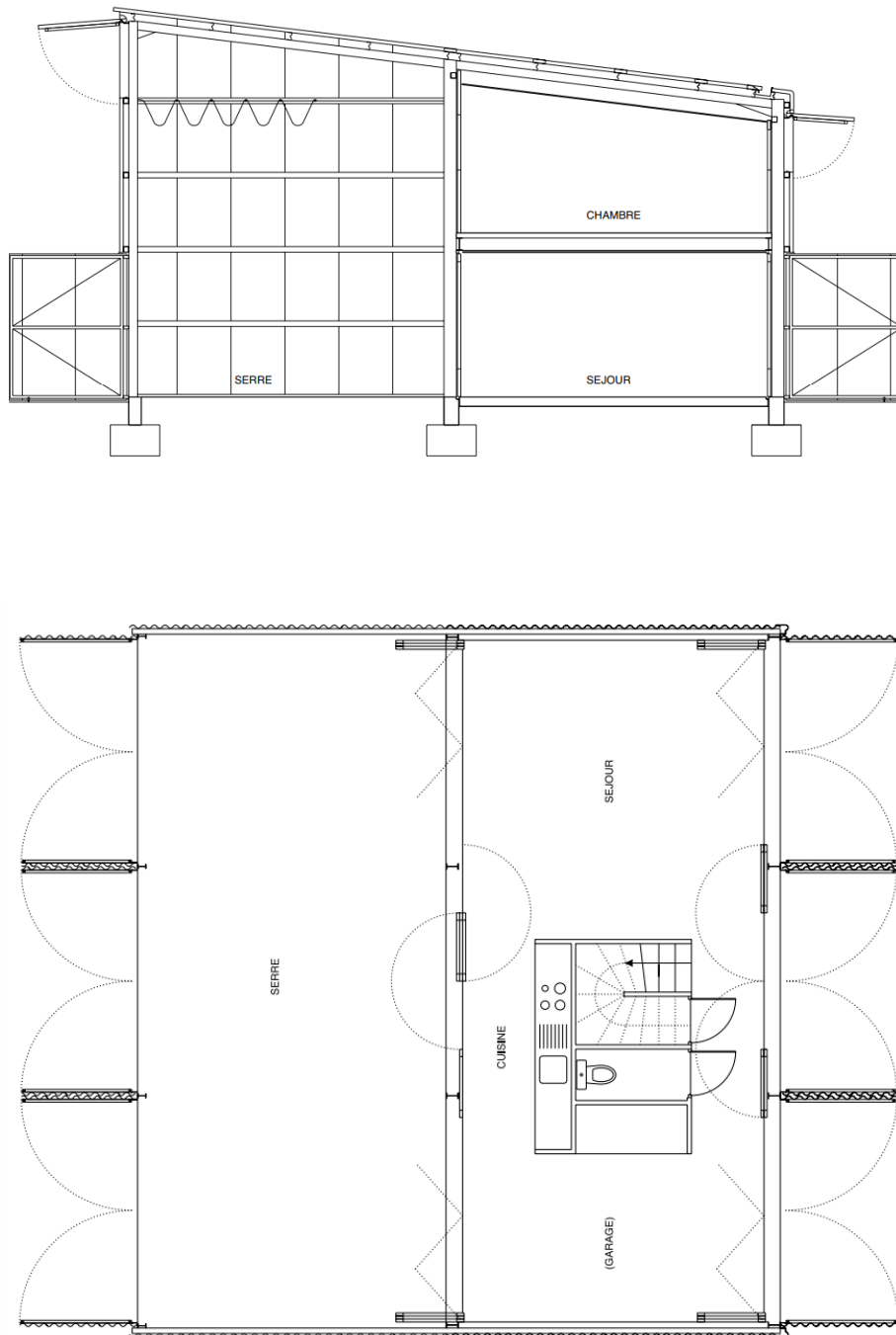


fig. 46 : Plan et coupe



fig. 47 : Vue intérieure

Les architectes bordelais vont prendre position sur l'acte de transformation au cours de ce projet. Ils proposent d'aborder les grands ensembles de logements comme des éléments existants à traiter plutôt qu'à démolir. L'idée est à la fois économique, écologique et symbolique. Ils envisagent ces ensembles comme des acteurs du projet, des paramètres avec lesquels composer. La rénovation de la tour Bois-le-Prêtre [fig. 48] illustre parfaitement cette approche. Construite en 1959 et rénovée une première fois en 1990, cette tour représentait un patrimoine moderne menacé de démolition.

Lacaton & Vassal soulignent l'importance des coûts financiers, énergétiques et écologiques élevés du processus de démolition et de reconstruction. Ils mettent aussi en cause l'aspect symbolique du « déjà-là ». Ils s'interrogent sur la façon dont les habitants appréhendent et habitent leur nouveau logement où les traces de l'ancien bâtiment, chargées d'émotions sont toujours présentes (comme dans le cas de la tour Bois-le-Prêtre). Ainsi, Lacaton & Vassal considèrent que ce qui existe doit devenir une condition du projet, malgré les circonstances différentes de chaque projet.

Le concept d'habiter le climat est souvent abordé dans cette agence. Au lieu de chercher à se protéger du climat en créant des « logements thermos », ils proposent de cohabiter avec l'environnement extérieur.⁸⁵

La proposition faite par les architectes dans le cadre de cette transformation est d'adjoindre/d'apposer des nouvelles loggias (jardin d'hiver+ balcon) aux façades existantes afin, entre autres, d'agrandir la surface des logements [fig. 50]. En plus de leur rôle spatial, ces extensions assurent un rôle climatique. Le bâtiment est mieux isolé thermiquement grâce à l'effet cumulé de la façade à double vitrage, des rideaux thermiques, des apports solaires passifs du jardin d'hiver et de la façade en polycarbonate ondulé. Cet assemblage représente un filtre climatique manœuvrable.

Pour cela, ils intègrent les dispositions atmosphériques de l'environnement dans le foyer en utilisant des ouvertures et des espaces de transition pour laisser entrer la lumière naturelle et le vent dans les logements. Par exemple, la tour Bois-le-Prêtre offre des espaces tampons entre les balcons et les séjours, qui sont plus domestiqués que les balcons mais ne bénéficient pas du même confort et de la même intimité que les séjours. Habiter ces espaces signifie habiter un entre-deux, entre le foyer et le climat.⁸⁶

Dans le chapitre « *Beyond regulation* » de l'ouvrage *The economy of sustainable construction*, les architectes reviennent sur la difficulté de faire valoir ce type d'interventions à cause des normes imposées de nos jours. En prescrivant une solution unique, axée sur l'efficacité énergétique et la réduction des

⁸⁵ Ruby, I., Ruby, A. & Janson, N. *The economy of sustainable construction*. (Ruby Press, 2014).

⁸⁶ *Ibid.*



fig. 48 : Vue extérieure



fig. 49 : Vue intérieure

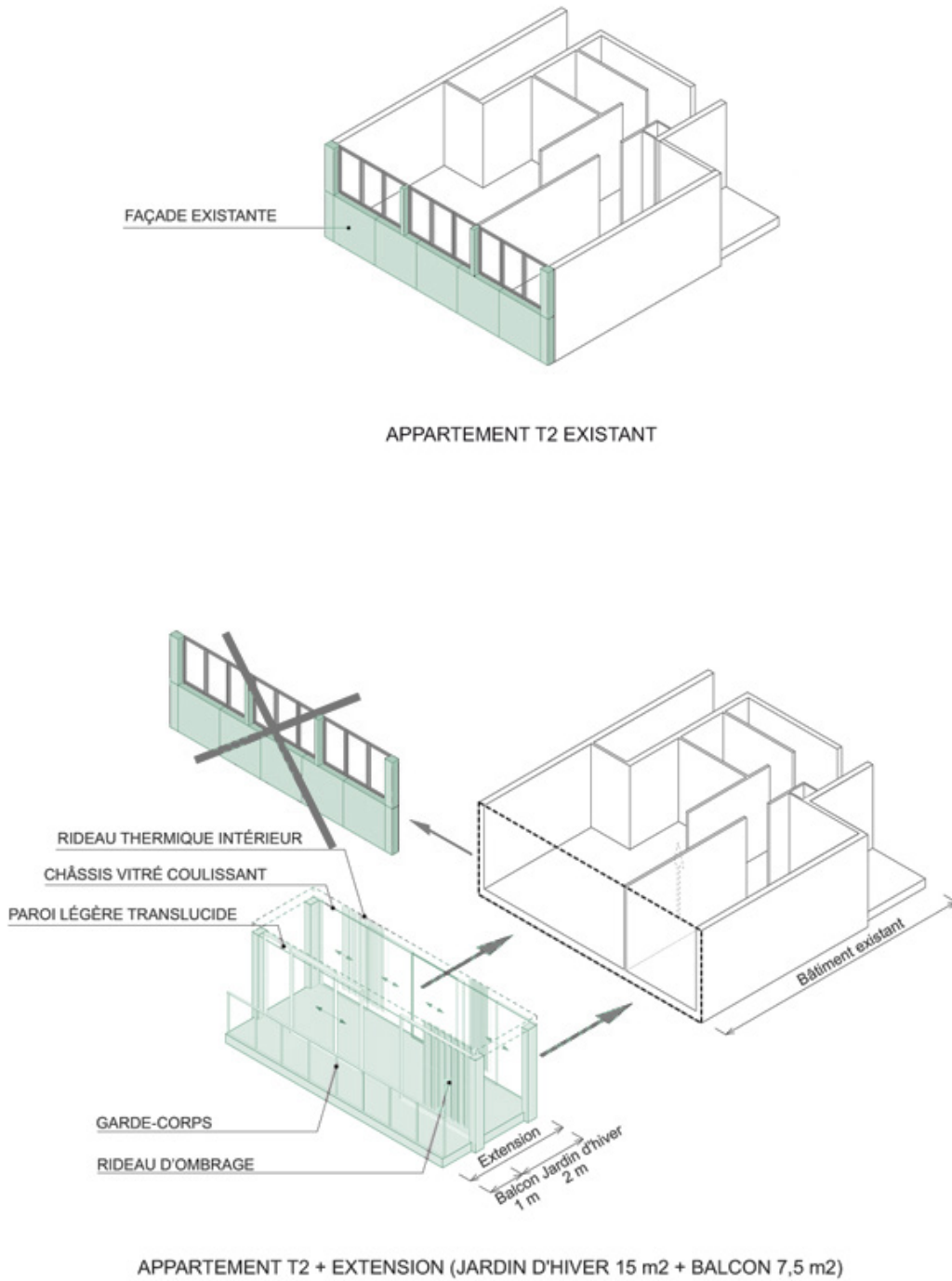


fig. 50 : Détail technique



fig. 51 : Vue intérieure

Total extension of floor area	+40% → 8900 sqm > 12460 sqm → 96 dwellings > 100 dwellings
Addition of winter gardens and balconies	+22 sqm to the existing 60 sqm/dwellings
Energy savings	-50% → 183 kWh ep/sqm > 80 kWh ep/sqm
Cost	11.25 million € net → compared to 20 million € for demolition + rebuilding
Extra	Building occupied during renovation

fig. 52 : Tableau récapitulatif

émissions carbone directes, elles peuvent limiter le potentiel d'un projet à être durable de manière bioclimatique et/ou économique. Toutefois, comme le dit Jean-Philippe Vassal :

*« It is a tough battle to get these alternative, non-standardized methods and approaches approved. But it is a battle worth fighting. »*⁸⁷

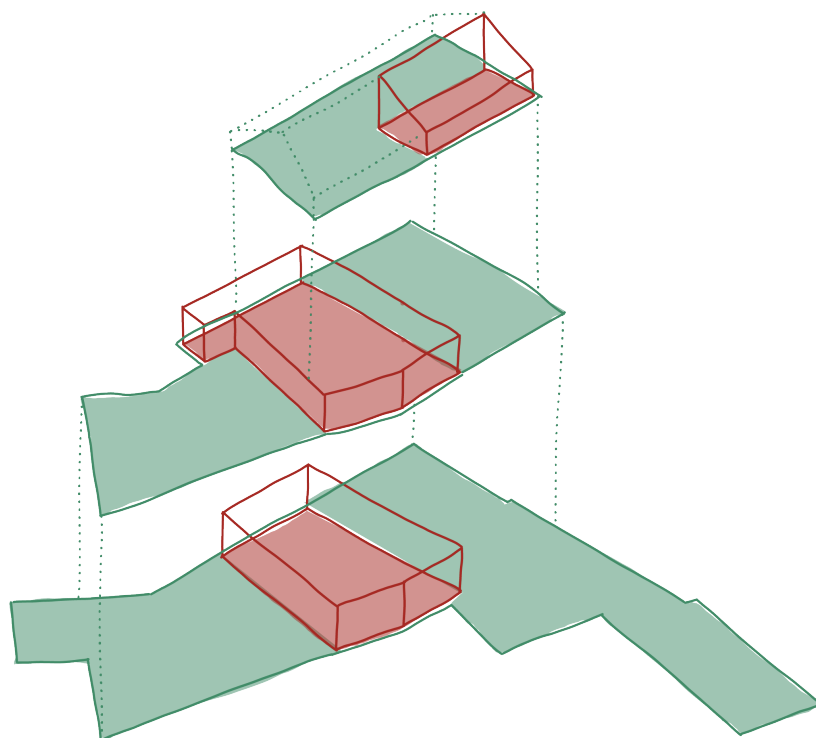
Les architectes soulignent un des problèmes majeurs des réglementations en matière de construction : elles se basent sur des bâtiments vides, ignorant ainsi la réalité vécue dans un bâtiment et le comportement des occupants, qu'il soit positif ou négatif. Malgré le climat généralement clément en France, il y a quelques jours par an où les températures sont plus extrêmes. Selon Lacaton & Vassal, adapter les stratégies thermiques à ces extrêmes climatiques fortuits reviendrait à mettre en place un confort uniforme pour les saisons hivernales et estivales. Cette méthode souvent basée sur la surestimation des systèmes de chauffage ou de l'isolation est inutile et peu attrayante pendant la majeure partie de l'année.⁸⁸

La limite des propositions de Lacaton & Vassal réside sûrement dans le comportement des usagers. Cela sera le cas dans la majorité des situations où les habitants n'ont pas fait partie du processus de conception et de réflexion des projets. Même si leurs espaces tampons ne sont pas pensés pour être chauffés. L'utilisation réelle dépend de l'attitude de l'habitant. Cela rappelle l'importance d'une potentielle sensibilisation préliminaire dans le but d'impliquer l'habitant dans la gestion de son habitat ; une approche participative.

⁸⁷ Ruby, I., Ruby, A. & Janson, N. *The economy of sustainable construction*. (Ruby Press, 2014). p. 185

⁸⁸ *Ibid.*

Etude de cas / Verbiest



Dénomination : *Verbiest*

Architecte(s) : *AgwA*

Date et lieu : *Bruxelles, Belgique - 2020*

Surface : *1010m² | 600m² (chauffé) | 410m² (non-chauffé)*

Le projet Verbiest, à l'initiative même de ce mémoire, est l'un des projets de réhabilitations qui s'emparent de la notion de confort comme moteur du projet. Les collaborateurs du bureau AgwA ne sont pas les premiers ou ni même les seuls à avoir proposé une telle approche. Largement mentionnée et récompensée, cette intervention tire avant tout son succès du cheminement qu'elle a suivi (et du partage de ce processus).

Le site se situe en bordure de Bruxelles, dans la commune de Molenbeek-Saint-Jean. La parcelle, imbriquée en intérieur d'îlots résidentiels, se déploie en forme de L [fig. 54]. Le bâtiment existant est un ancien atelier des années cinquante. Cette construction en béton de 1010 m² s'étend sur la totalité de la parcelle allant de 1 à 3 niveaux (surplombée d'un faitage pour les parties supérieures). Sa fonction d'origine a donné lieu à une structure poteau-poutre qui induit des espaces libres [fig. 56 & 57].

Harold Fallon et Evelia Macal, architectes de profession, sont à la fois les maîtres d'œuvre et d'ouvrage de cette réhabilitation. Ils projettent de faire de ce vieil atelier leur résidence. Ce projet comprend des chambres, sanitaires et espaces de vie (pour eux et leurs 3 enfants) ainsi qu'un atelier de céramique.⁸⁹

Comme abordé précédemment, l'engouement autour de ce projet résulte du processus par lequel il est passé. Dans un premier temps, les architectes ne se préoccupaient pas encore des principes qui font aujourd'hui la renommée de ce projet. Les premières esquisses révèlent l'implémentation de 2 jardins aux extrémités de la parcelle qui mettent le volume central (résultant) à distance de la rue et du voisinage. Une organisation pragmatique qui donne lieu à un volume parallélépipédique « *capable* » [fig. 58]. L'idée d'un jeu de terrasse « *productive* » permettant d'accueillir quelques plantations se démarque progressivement. Il en est de même pour la transformation (partielle) du faitage existant en serre [fig. 59].⁹⁰

Alors que le projet commençait à prendre forme [fig. 60 & 61], le contexte familial et climatique imposa aux architectes de prendre du recul. La perte de leur fils cadet et les successives manifestations pour le climat ont remis en question leur quotidien et leurs convictions. En cours de réalisation, Verbiest devint alors le terrain d'expérimentation pour mettre en pratique les différentes réflexions qui découlent de ces situations de crises. Les revendications sur le climat menèrent les auteurs du projet, premièrement en tant que citoyen, ensuite en tant qu'architectes à ré-évaluer les axes à suivre.⁹¹

⁸⁹ Macal, E. *Verbiest: approximations : a house and an artist's workshop in Molenbeek*. (Buchhandlung Walther und Franz König, 2022).

⁹⁰ *Ibid.*

⁹¹ *Ibid.*



fig. 54 : Vue extérieure du site existant



fig. 55 : Vue extérieure du site existant



fig. 56 : Vue intérieure du site existant



fig. 57 : Vue intérieure du site existant

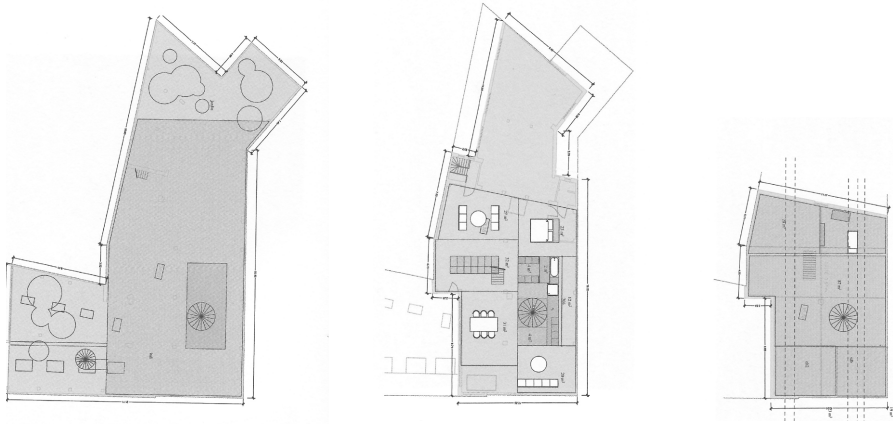


fig. 58 : Première esquisse du projet

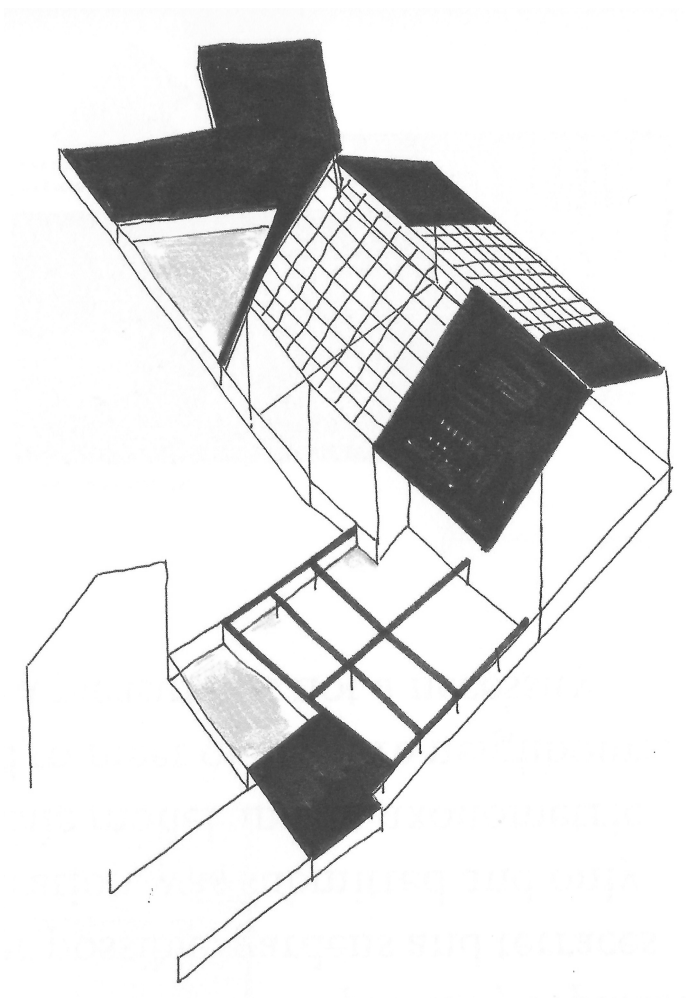


fig. 59 : Première esquisse du projet

La reprise du projet se fit sur base de ce qui avait déjà été fait (quelques démolitions partielles basées sur le permis d'urbanisme). Entre février et novembre de l'année 2019, les architectes ont établi de nombreuses fiches de calculs, toujours plus approfondies, afin de comparer les différentes options. Ils se sont particulièrement penchés sur les questions d'isolations et de consommations. Ces calculs prennent en compte des variables essentielles telles que les différents matériaux, l'énergie grise dépensée et la durée de dissolution du CO₂ émis. Bien qu'approximatifs, ils permettent malgré tout de se rendre compte des avantages et inconvénients de chaque option.⁹²

C'est lors de cette phase d'approximation que l'idée d'une nouvelle approche du confort est apparue. Dans une de ces fiches [fig. 62], on peut voir la consommation de chaque alternative sur une période de septante ans afin de mettre en évidence celles qui seront les plus durables. La légende mentionne alors les solutions les plus efficaces « sans changement de comportement » et « avec adoption d'un confort limité ». Cette fiche marquera le point de bascule de ce projet. L'analyse graphique de la consommation d'énergie cumulée intégrée [fig. 62] montre que l'option de ne pas rénover et de réduire parallèlement sa consommation de 50% (et donc son rapport confort) est la plus durable pendant les quarante premières années. Passée cette durée-là, les rénovations basse énergie (30kWh/m².an) et passive (15kWh/m².an) à base de chanvre prennent l'ascendant. Ces résultats ont donc dirigé le choix des architectes vers la solution hybride suivante : réduire la surface d'espaces chauffés de moitié et isoler les espaces chauffés subsistants avec 14 cm de blocs de chanvre (soit l'isolation minimale autorisée par le règlement sur l'énergie à Bruxelles (PEB/EPB) en 2019) [fig. 63].⁹³

« The most effective way to reduce consumption appeared to be simply to heat less. Even without insulation works, depending on the type of heating system, reducing the heated space by half seemed to be the best solution for decades. By moving one wall or another, with little or no additional material compared to the initial project, the heated spaces were drastically reduced. These reductions were not merely rational. There was something irrational about them. It was possibly a kind of retreat, a backward movement, or on the contrary, a wish for some kind of exposure, or maybe both at the same time.

(...)

⁹² Macal, E. *Verbiest: approximations : a house and an artist's workshop in Molenbeek*. (Buchhandlung Walther und Franz König, 2022).

⁹³ *Ibid.*

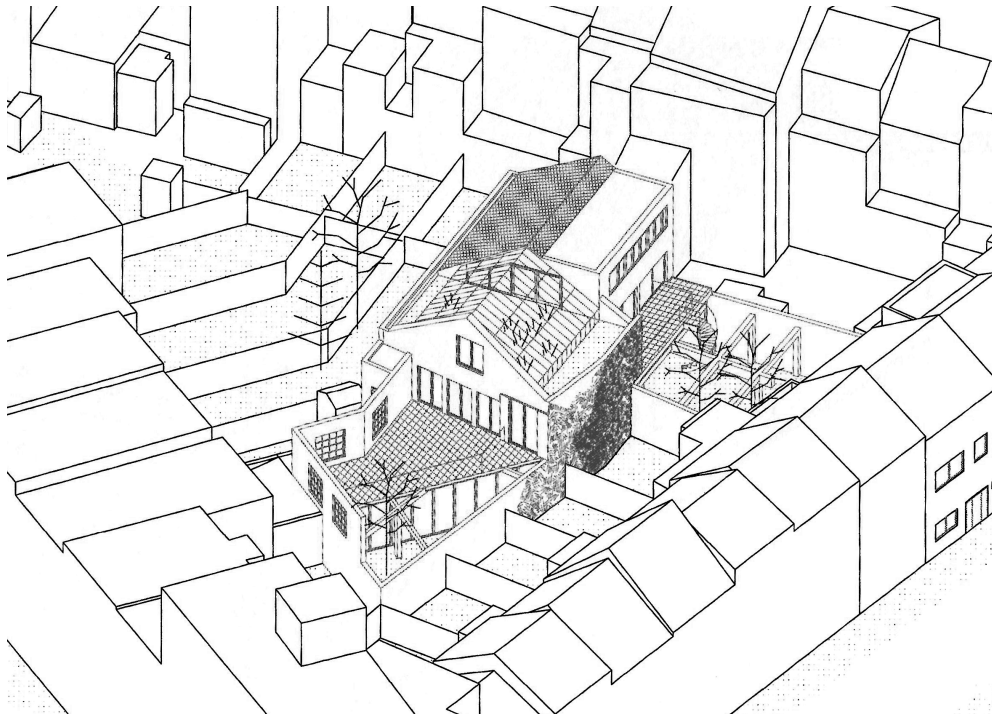
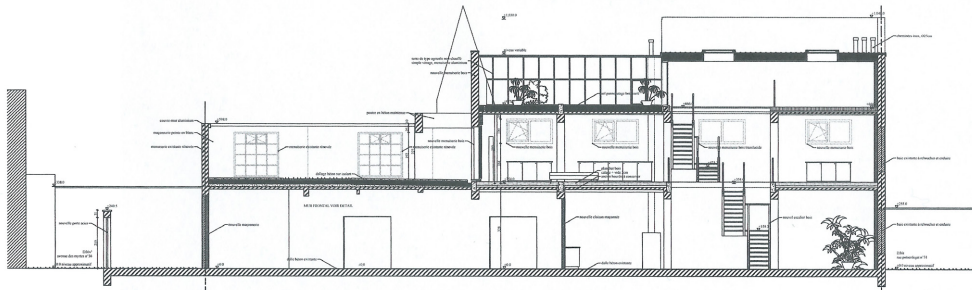
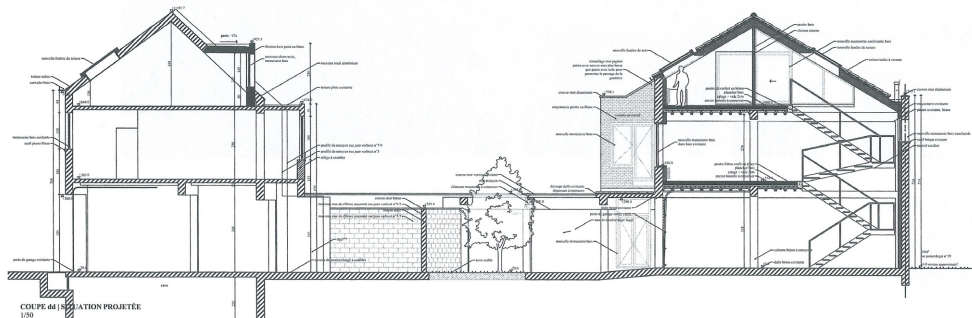


fig. 60 : Axométrie générique (permis d'urbanisme)



COUPE 01 (SITUATION PROJETÉE)
1/50



COUPE 04 (SITUATION PROJETÉE)
1/50

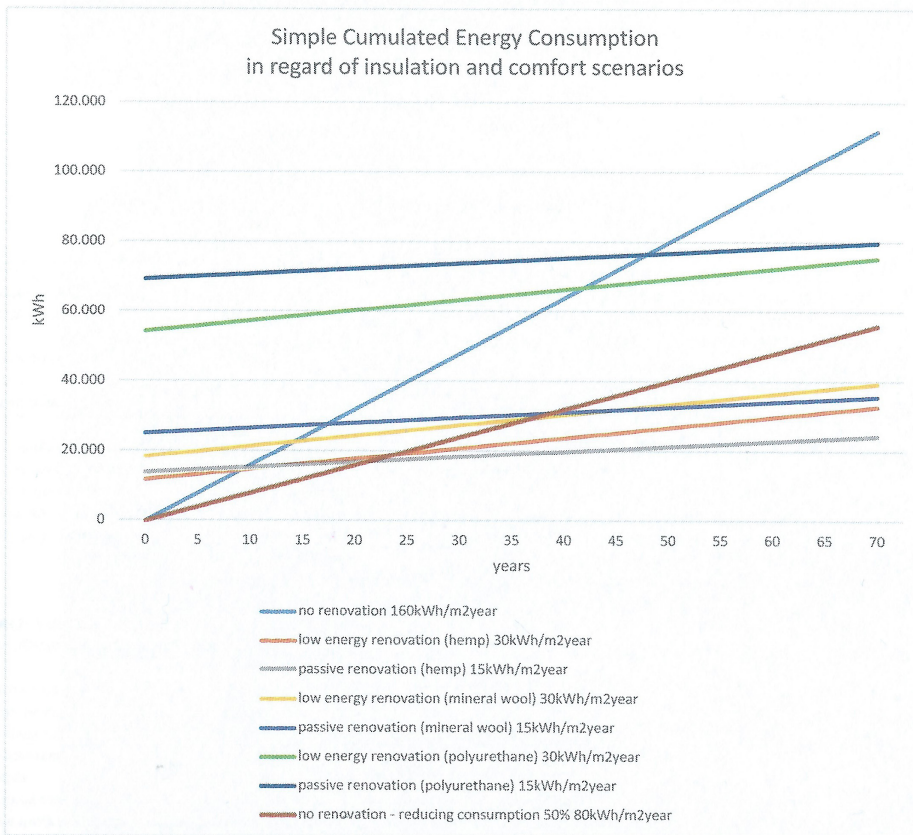
fig. 61 : Coupes (permis d'urbanisme)

most efficient solution in regard of "no insulation, no comportamental change"

most efficient solution in regard of "no insulation, acceptance of a limited comfort"

simple cumulated consumption	yearly consumption	0	5	10	15
no renovation	160kWh/m2year	0	8.000	16.000	24.000
low energy renovation (hemp)	30kWh/m2year	11.900	13.400	14.900	16.400
passive renovation (hemp)	15kWh/m2year	13.700	14.450	15.200	15.950
low energy renovation (mineral wool)	30kWh/m2year	18.500	20.000	21.500	23.000
passive renovation (mineral wool)	15kWh/m2year	25.250	26.000	26.750	27.500
low energy renovation (polyurethane)	30kWh/m2year	54.500	56.000	57.500	59.000
passive renovation (polyurethane)	15kWh/m2year	69.500	70.250	71.000	71.750
no renovation - reducing consumption 50%	80kWh/m2year	0	4.000	8.000	12.000

integrated consumption/1000	yearly consumption	0	5	10	15
no renovation	160kWh/m2year	0	20	80	180
low energy renovation (hemp)	30kWh/m2year	12	63	134	212
passive renovation (hemp)	15kWh/m2year	14	70	145	222
low energy renovation (mineral wool)	30kWh/m2year	19	96	200	311
passive renovation (mineral wool)	15kWh/m2year	25	128	260	396
low energy renovation (polyurethane)	30kWh/m2year	55	276	560	851
passive renovation (polyurethane)	15kWh/m2year	70	349	703	1.059
no renovation - reducing consumption 50%	80kWh/m2year	0	10	40	90



	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
	32.000	40.000	48.000	56.000	64.000	72.000	80.000	88.000	96.000	104.000	112.000
	17.900	19.400	20.900	22.400	23.900	25.400	26.900	28.400	29.900	31.400	32.900
	16.700	17.450	18.200	18.950	19.700	20.450	21.200	21.950	22.700	23.450	24.200
	24.500	26.000	27.500	29.000	30.500	32.000	33.500	35.000	36.500	38.000	39.500
	28.250	29.000	29.750	30.500	31.250	32.000	32.750	33.500	34.250	35.000	35.750
	60.500	62.000	63.500	65.000	66.500	68.000	69.500	71.000	72.500	74.000	75.500
	72.500	73.250	74.000	74.750	75.500	76.250	77.000	77.750	78.500	79.250	80.000
	16.000	20.000	24.000	28.000	32.000	36.000	40.000	44.000	48.000	52.000	56.000

	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
	320	500	720	980	1.280	1.620	2.000	2.420	2.880	3.380	3.920
	298	391	492	600	716	839	970	1.108	1.254	1.407	1.568
	304	389	479	571	668	768	873	980	1.092	1.207	1.327
	430	556	690	831	980	1.136	1.300	1.471	1.650	1.836	2.030
	535	678	825	976	1.130	1.288	1.450	1.616	1.785	1.958	2.135
	1.150	1.456	1.770	2.091	2.420	2.756	3.100	3.451	3.810	4.176	4.550
	1.420	1.784	2.153	2.524	2.900	3.279	3.663	4.049	4.440	4.834	5.233
	160	250	360	490	640	810	1.000	1.210	1.440	1.690	1.960

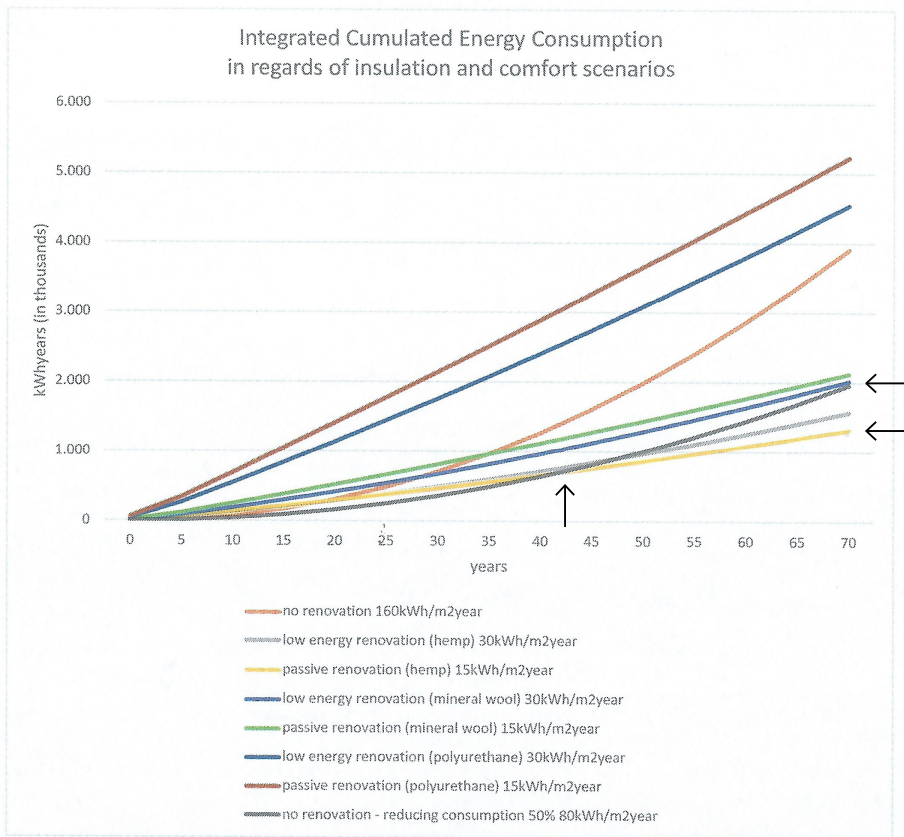


fig. 62 : Fiche de calcul comparant les différentes options

The consequence of reducing the heated living spaces was the release of vast undetermined spaces, whose use would change according to the season. Freed from a defined programme, these spaces expanded the diversity of possible uses. In the end, it was not really a reduction, but perhaps more a multiplication, a diversification. »⁹⁴

Harold Fallon revient sur ces deux aspects dans une série de 3 textes écrits pour WTC : Tower of Teaching en 2019. Il remet en question les modes d'expertises actuels qui cherchent à comparer l'écoefficient de chaque matériau d'isolation sans même vérifier en amont si isoler est vraiment nécessaire. (Re) faire l'isolation d'un édifice engendre une concentration d'émission de CO2 durant le chantier (énergie grise) qui ne devient écologiquement (et financièrement) rentable que longtemps après.

Avec sa casquette de professeur, il relate également son expérience d'enseignement dans des locaux inadaptés à cet effet pouvant être qualifié d'inconfortables. Selon lui, loin d'être un handicap, ce manque de confort (physique) serait un moteur pour la créativité et l'engagement. Cela pousserait les élèves à innover. Il se rapproche même des réflexions de SlowHeat quand il écrit : « *Let us wear woollen sweaters when we need to* ». ⁹⁵

Le projet, mené par ces nouvelles convictions, s'articule de la manière suivante. Au rez-de-chaussée [fig. 66], seule une partie de l'espace dédié à l'atelier de céramique est isolée. Deux jardins se déploient en bout de parcelle. Les espaces restants, accolés à l'espace central isolé, sont couverts mais pas chauffés. Cela comprend donc les espaces multifonctions et les zones de circulations. Au premier étage [fig. 69], la délimitation d'isolation suit un tracé similaire à celle de l'étage du dessous. L'espace chauffé comprend cette fois-ci un petit séjour, la cuisine, la chambre parentale et des sanitaires. Un espace de séjour plus généreux non-chauffé se situe dans la continuité de la cuisine. Une fois de plus, les extrémités de la parcelle sont destinées à des espaces extérieurs (balcons et terrasses). Au dernier étage [fig. 72], sous les combles, on retrouve les chambres destinées aux enfants. À ces espaces isolés s'ajoutent une zone de détente et une serre (tous deux non-chauffés). En somme, seuls 600m² des 1010m² couverts sont « *isolés-chauffés* ».

La nouvelle approche du confort n'est pas la seule stratégie mise en place pour réhabiliter durablement. Le travail de consolidation de la structure (qui

⁹⁴ Macal, E. *Verbiest: approximations : a house and an artist's workshop in Molenbeek*. (Buchhandlung Walther und Franz König, 2022). p.109, 113

⁹⁵ *Ibid.* p. 118

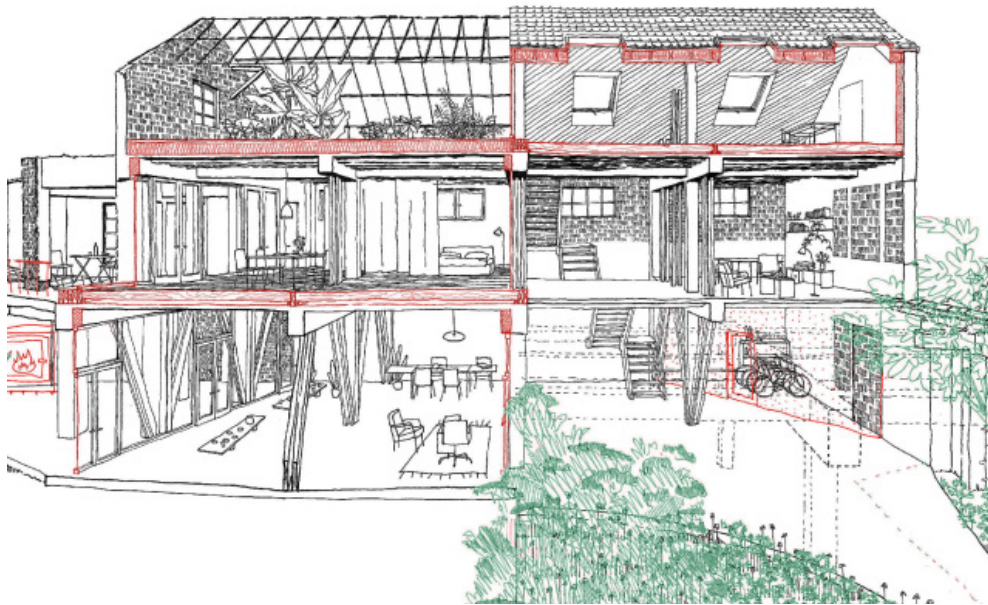


fig. 63 : Coupe perspective



fig. 64 : Vue extérieure (niv. 0)



fig. 65 : Vue intérieure (niv. 0)



fig. 66 : Plan niv. 0



fig. 67 : Vue intérieure (niv. +1)



fig. 68 : Vue intérieure (niv. +1)

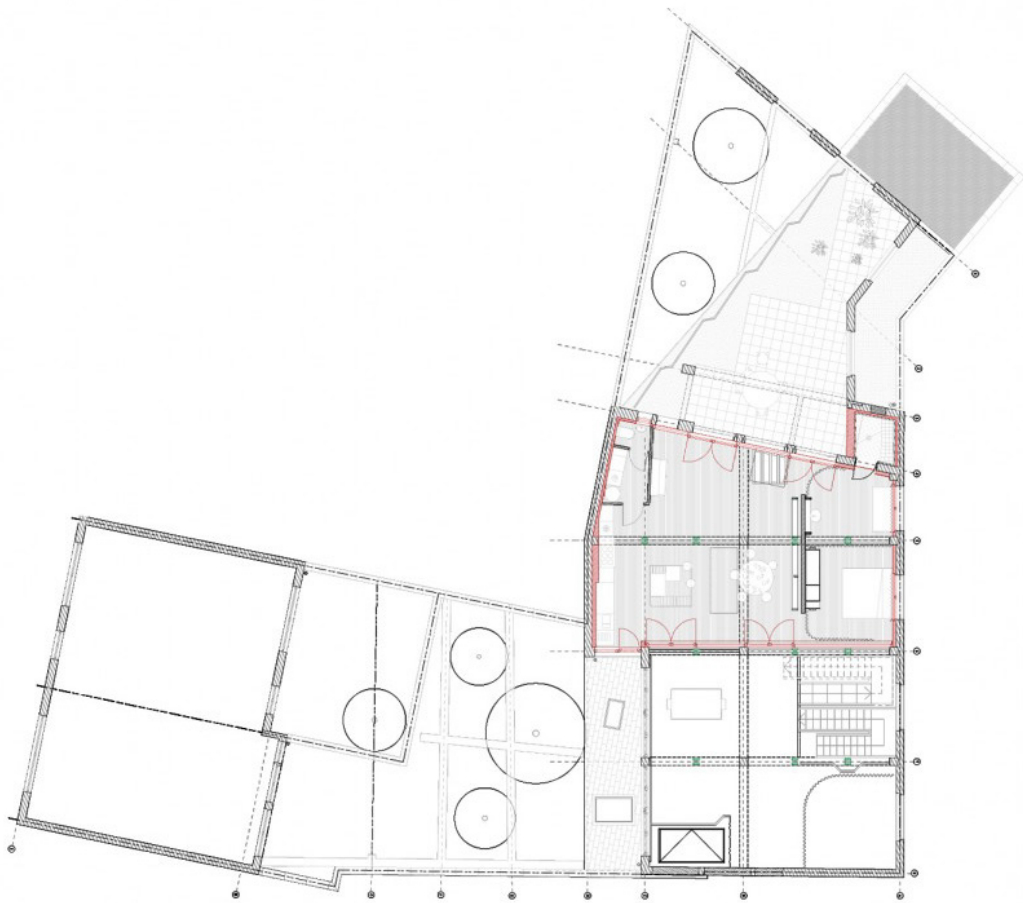


fig. 69 : Plan niv. +1



fig. 70 : Vue intérieure (niv. +2)



fig. 71 : Vue intérieure (niv. +2)

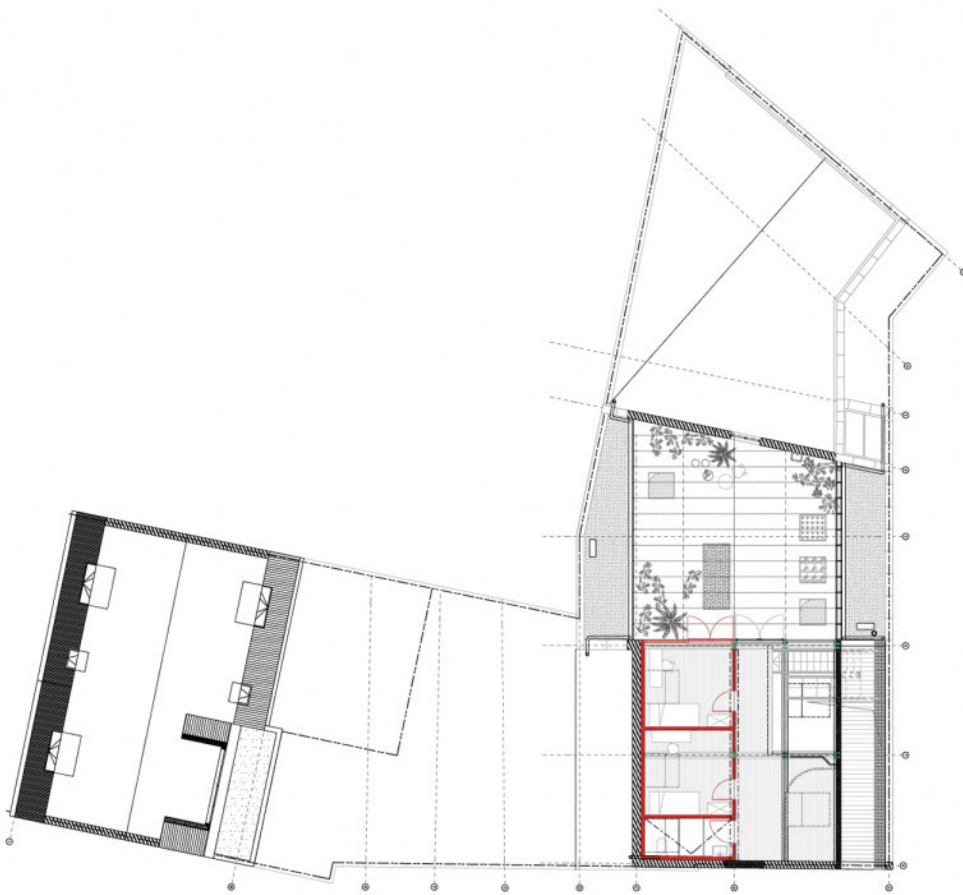


fig. 72 : Plan niv. +2

s'est révélé nécessaire) a été entrepris à l'aide de rajout de poutre et colonne en bois, ingénieusement disposées pour éviter la création de nouvelles fondations [fig. 65]. Tout un système de récupération de matériaux a également été pensé pour certains éléments tels que les garde-corps et le dallage des terrasses.⁹⁶

Le portrait qui vient d'être dressé de ce projet paraît presque idyllique. Son exemplarité comprend tout de même des limites. Les atouts de Verbiest ont vu le jour grâce au contexte très particulier dans lequel il s'inscrit. Tout d'abord, il faut se rendre compte qu'une surface de plus de 1000m² pour une habitation familiale (5 personnes) est bien loin des dimensions ordinaires (même en décomptant l'espace réservé à l'atelier de céramique). Rien que les 600m² chauffés sont largement supérieurs à la superficie moyenne d'un ménage similaire dans son entièreté (100 à 300m² usuellement). Par conséquent, ce projet ne démontre pas qu'il est concevable de diminuer la proportion d'espace chauffé pour des logements plus petits. Ensuite, les architectes ont construit pour eux, pour leur propre usage. De ce fait, ils tolèrent les potentielles faiblesses et imprévus qui découleraient de cette pratique. Des propriétaires privés seraient certainement moins indulgents. Leur complicité avec le projet assure aussi que leur comportement sera conforme aux attentes et prévisions (contrairement aux réserves émises précédemment sur les espaces tampons de Lacaton & Vassal). Ils ne chaufferont sûrement pas ou très peu les espaces non-isolés comme pourraient le faire des locataires moins investis dans leur logement. Ainsi, il ne faut pas non plus considérer ce projet comme un modèle absolu pour toutes les interventions de transformations à venir.

⁹⁶ Macal, E. *Verbiest: approximations : a house and an artist's workshop in Molenbeek*. (Buchhandlung Walther und Franz König, 2022).

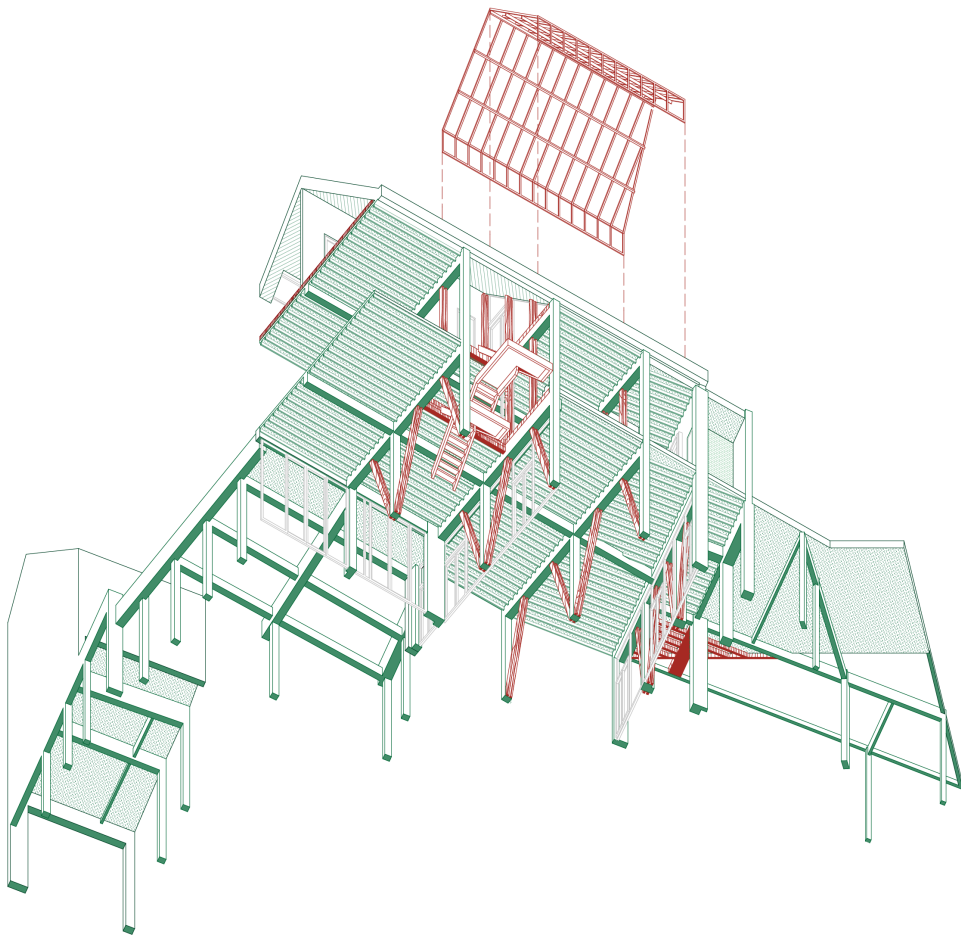
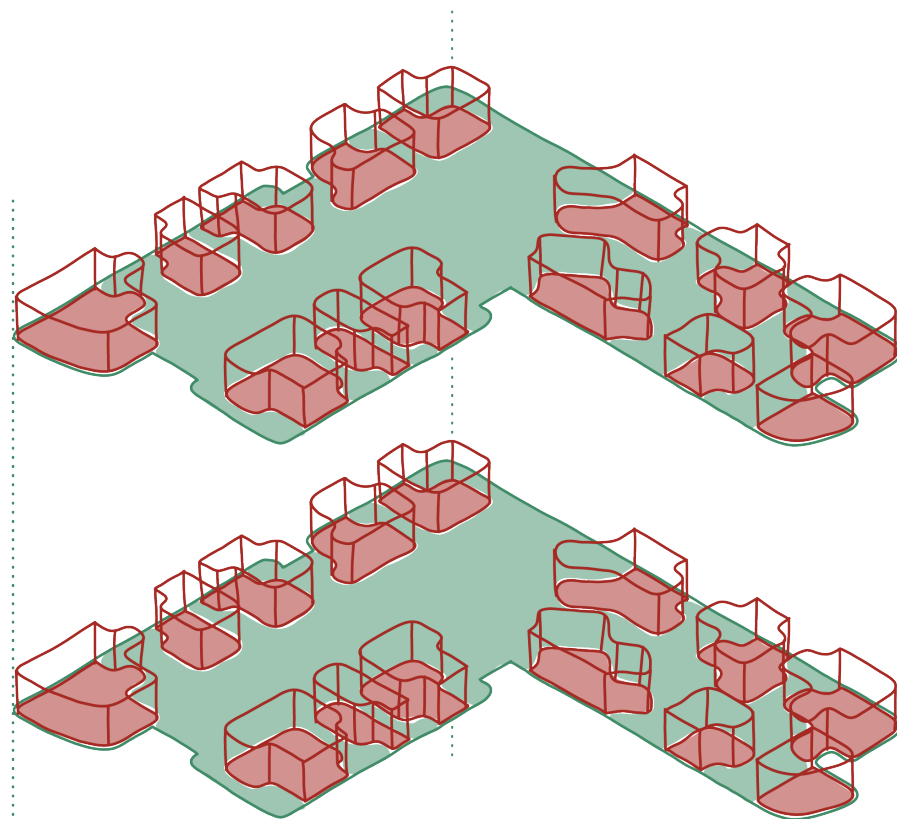


fig. 73 : axométrie structurelle renversée

Etude de cas / Mouzaïa



Dénomination : *Mouzaïa*

Architecte(s) : *Canal Architecture*

Date et lieu : *Paris, France - 2020*

Surface : *6200m² | 3720m² (chauffé) | 2480m² (non-chauffé)*

Cet exemple se démarque des autres par son échelle. Il est intéressant de voir comment les différents préceptes, introduits à travers les précédents exemples d'habitations unifamiliales, peuvent se transposer à l'échelle d'un habitat groupé.

Le projet de rénovation du complexe immobilier situé à Paris au 58-66 rue de Mouzaïa se développe dans le cadre d'une mesure visant à transformer des sites appartenant à l'État en logements sociaux. L'ancienne Direction Régionale des Affaires Sanitaires et Sociales (DRASS) [fig. 75] se voit attribuer de nouvelles fonctions. Le programme diversifié rassemble des résidences étudiantes, des résidences pour étudiants et jeunes travailleurs, des ateliers d'artistes et des espaces de coworking. Celui-ci est soutenu par le CROUS (Centre Régional des Œuvres Universitaires et Scolaires), établissement public s'occupant des services tels que les logements universitaires, les bourses et les soutiens sociaux.⁹⁷

Ce remarquable bâtiment brutaliste, protégé du fait de son statut patrimonial, est une œuvre des architectes Claude Parent et André Remondet. Ces architectes connus pour leurs opinions polémiques, projetaient déjà l'adaptation des larges surfaces de planchers dans leurs plans établis en 1974. Toutes les caractéristiques essentielles à sa réversibilité étaient déjà réunies.⁹⁸

L'intervention de l'agence Canal Architecture qui est intéressante dans le cadre de ce mémoire n'est pas celle réalisée (en 2020), mais bien l'alternative spéculative proposée pour 2030 [fig. 79]. Elle suggère d'implémenter ce qui pourrait être qualifié de module à hautes performances énergétiques sur seulement 60% de la superficie des planchers. Ces unités consciencieusement isolées, aux allures de capsules, comprendraient les espaces privatifs des usagers. Les espaces et services communs s'organiseraient dans 40% subsistants. Ceux-ci seraient alors transformés sommairement, à bas coût et s'apparenteraient ainsi au concept d'espaces non-chauffés abordé dans les exemples précédents. On peut donc imaginer que les usages (décrits dans les exemples de plus petite échelle) se prolongeraient, ou même s'enrichiraient au sein de ces espaces communautaires. De plus, la plus-value financière n'est pas négligeable. La combinaison d'unité performante à 1800 € HT/m² et de rénovation rudimentaire à 500 € HT/m² confère à cette réhabilitation un coût moyen à 1400 € HT/m². Un résultat d'autant plus remarquable s'il est comparé au prix moyen de la transformation réalisée en 2020 : 1700 € HT/m².⁹⁹

⁹⁷ Texier, S. & Rubin, P. *Bureaux → Logements: transformation 58 rue de Mouzaïa Paris XIXe*. (Archibooks + Sautereau., 2021).

⁹⁸ Rubin, P., Dessis, H., Calignon, V. de, Atelier Canal. *Transformation des situations construites*. (Canal architecture, 2020).

⁹⁹ *Ibid.*



fig. 75 : Vue extérieure



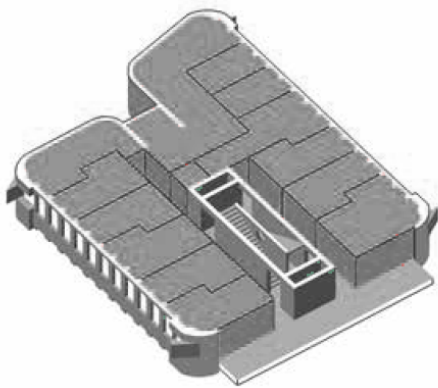
fig. 76 : Vue intérieure de l'existant



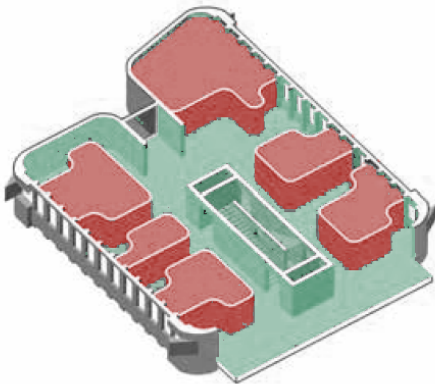
fig. 77 : Vue extérieure



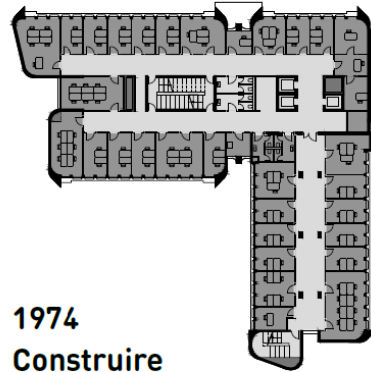
fig. 78 : Vue extérieure



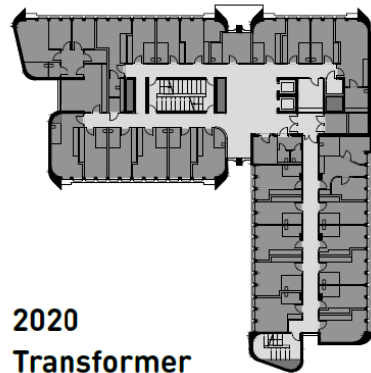
1 700 € HT/m²



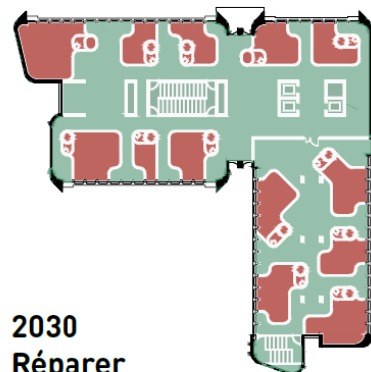
1 400 € HT/m²



1974
Construire



2020
Transformer



2030
Réparer



fig. 79 : Alternative proposée

Étude de cas / exemples subsidiaires

Résidences à Mergoscia - Philippe Rahm

Cet exemple supplémentaire suggère une proportion d'espaces chauffés/non-chauffés probablement plus réalistes.

Cette construction traditionnelle en pierre sèche de granite ne répondait pas aux normes d'isolation Suisse en vigueur. Malgré la massivité des murs d'origine, 10cm d'isolant supplémentaire était requis afin d'atteindre les standards. Le travail de Philippe Rahm consiste à remettre en question cette nouvelle couche d'isolation et son application. Selon lui, chercher une homogénéisation climatique reviendrait à se détacher de l'essence de cette bâtisse qui a toujours compris des climats spécifiques et déterminés. Les espaces humides et frais du niveau inférieur servaient au stockage. L'ambiance tempérée en son centre accueillait les espaces de vie. Les combles au climat chaud et sec permettaient le séchage des denrées appropriées.¹⁰⁰

L'architecte et ces collaborateurs proposent donc de déconnecter à certains endroits la nouvelle strate isolante du mur en pierre original [fig. 80 & 81]. Cet exemple met en évidence, une fois de plus, la création d'espaces intermédiaires, sensibles aux variations climatiques immédiates, établissant ainsi un dialogue avec les saisons, les mouvements météorologiques, l'exposition au soleil et les caractéristiques du sol. Ces ouvertures formeraient une «cheminée climatique» (conformément aux termes de Philippe Rahm) traversant la maison du bas vers le haut. Cette approche offrirait une diversité d'atmosphères et d'usages. Philippe Rahm considère ces cavités comme de nouveaux paysages, à mi-chemin entre l'intérieur et l'extérieur, entre nature et artificialité.¹⁰¹

¹⁰⁰ Rahm, P. Résidences à Mergoscia. <http://www.philipperahm.com/data/projects/thermalconductivity/index-f.html>.

¹⁰¹ *Ibid.*

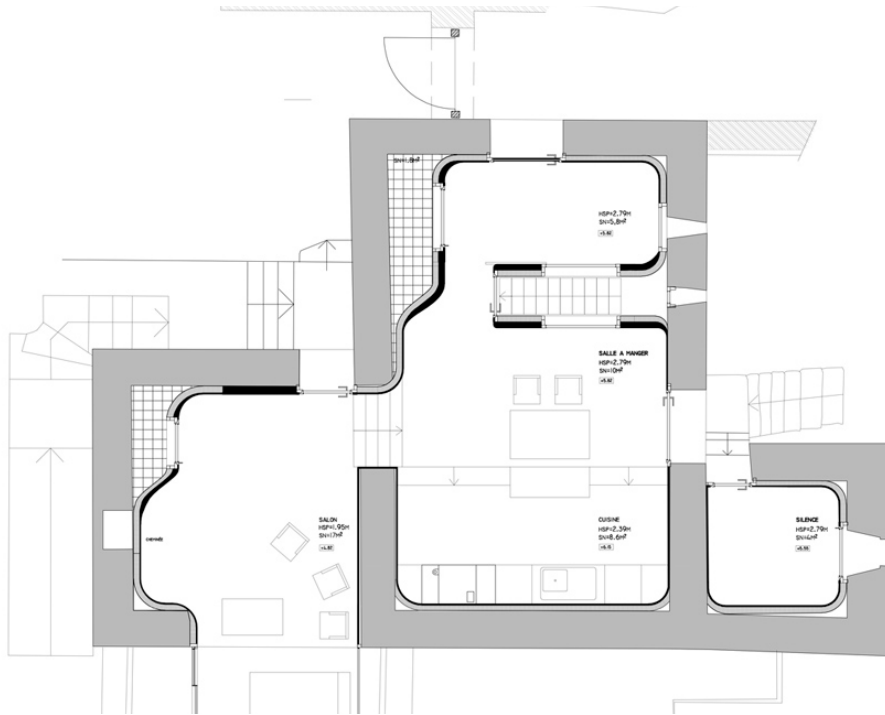


fig. 80 : Plan niv. +2

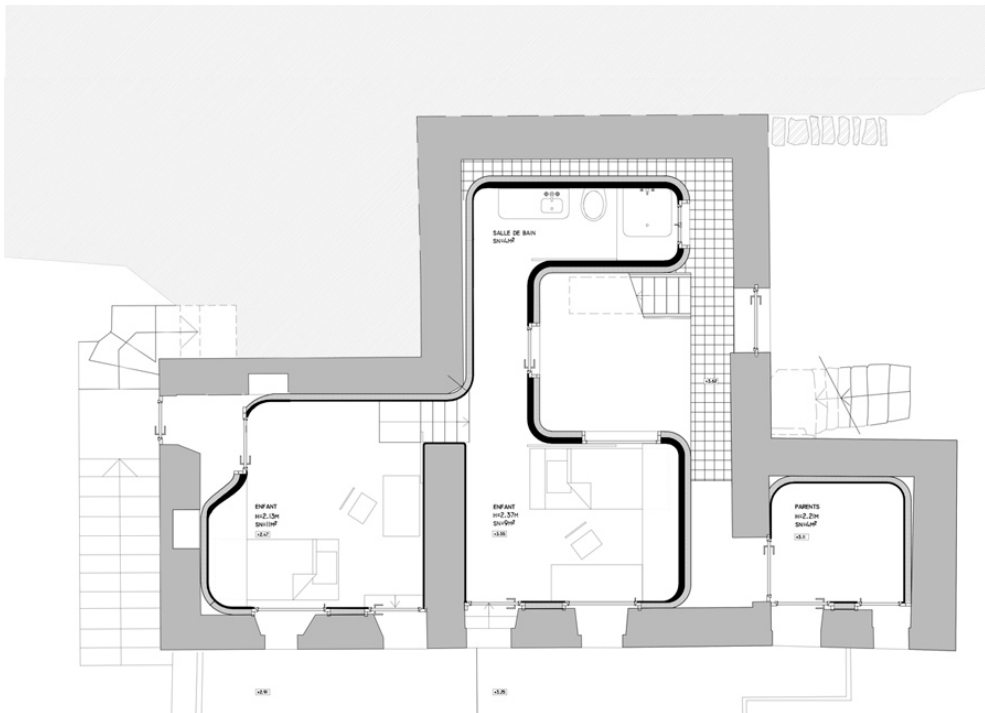


fig. 81 : Plan niv. +1

Antivilla - B+

Ce projet, connu aujourd'hui sous le nom d' « Antivilla », met en avant l'usage de dispositif « léger » pour reconfigurer, au besoin, le ratio entre espaces chauffés et non-chauffés.

Après 20 ans d'inoccupation, cette ancienne usine de lingerie Ernst Lück, située au sud-ouest de Berlin (dans l'ancienne RDA) va être racheté par Arno Brandhuber, architecte responsable du Bureau d'Architecture allemand B+. Par manque de moyens (coûts élevés de démolition) et ensuite par conviction, cet ancien bâtiment de 500 m² a été transformé en un atelier et un logement résidentiel. Des trous s'apparentant à des destructions par bombardement ont été percés dans l'enveloppe extérieure (inspiré par le film « Themroc » de Claude Faraldo) afin de faire un parallèle avec la signification historique de cet édifice. À l'intérieur, les cloisons non porteuses ont été démolies pour créer un noyau central de 20 m² en béton qui soutient la nouvelle toiture. À l'étage supérieur, ce noyau abrite une salle de bains, une cuisine, un sauna et une cheminée. Cette cheminée se veut être la seule option de chauffage du bâtiment. Le bâtiment n'étant pas isolé (à l'exception du nouveau toit), le niveau résidentiel a été divisé en différentes zones climatiques à l'aide de rideaux thermiques qui s'articulent autour de cette cheminée [fig. 82 & 83]. Ces dispositifs translucides en PVC permettent de configurer une zone isolée et chauffée de 70m² autour du noyau pendant les mois froids. En été, lorsque l'espace ne nécessite pas d'être chauffé, le séjour peut s'étendre sur les 270 m². Cette approche offre une flexibilité climatique tout en maintenant une impression d'espace généreux. L'architecte n'a cependant pas réussi à s'affranchir de la réglementation allemande sur l'énergie ; et a dû placer un chauffage au sol qu'il déclare ne jamais utilisé. ^{102, 103}

Cela reste une fois de plus un exemple à considérer avec du recul. Construit par et pour l'architecte, les mêmes réserves que celle émises pour le projet *Verbiest* sont de mises. En effet, c'est une résidence secondaire, à titre de loisirs pratiquement. Cela ne démontre donc pas la commodité au quotidien de cette pratique.

¹⁰² B+. 0131 Antivilla. <https://bplus.xyz/projects/0131-antivilla>.

¹⁰³ Rubin, P., Dessis, H., Calignon, V. de, Atelier Canal. *Transformation des situations construites*. (Canal architecture, 2020).



fig. 82 : Vue intérieure

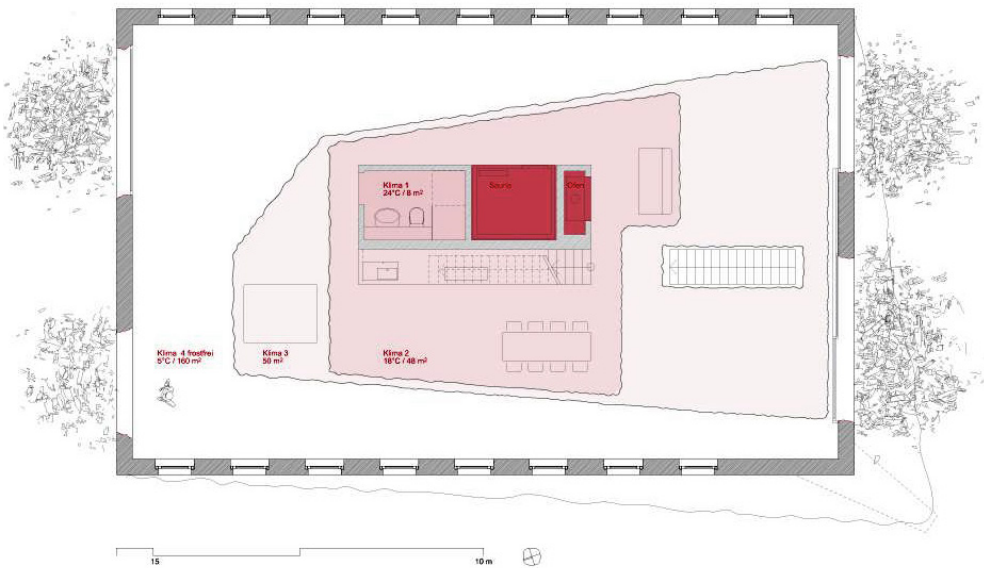


fig. 83 : Plan niv. +2

Arsenal - LRArchitectes

La composition de certains projets se rapproche de la stratégie de « *la boîte dans la boîte* » sans pour autant manifester quelconques convictions écologiques ou économiques relatives à cette méthode. La transformation de l'ancien hall industriel de l'Arsenal de Pont-à-Celles en logements sociaux appartient à cette catégorie. L'enjeu principal mis en avant par l'agence belge LRArchitectes est de prioriser la dimension humaine.

Pour concrétiser cette intention, une rue intérieure [fig. 84] partagée est aménagée. Cet espace se développe dans l'espace résultant de l'ancien volume qui abritait à l'époque la chaudronnerie. Ce « vide » communautaire est spatialement façonné par les espaces privés qui l'entourent [fig. 85]. On retrouve un jeu de décrochement des façades intérieures qui donnent au lieu son identité. Cet espace partagé favorise les rencontres fortuites entre les résidents, encourageant ainsi les interactions sociales.¹⁰⁴

La présentation de ce projet vise à souligner une fois de plus que cette approche ne se limite pas à des préoccupations écologiques ou économiques. L'absence de mentions à cet égard dans le projet « *Arsenal* » appuie cette allégation. En effet, cette réhabilitation témoigne purement et uniquement de l'intérêt social de cette typologie.

¹⁰⁴ LRArchitectes. Arsenal. <https://www.lrarchitectes.com/projets/arsenal>.



fig. 84 : Vue intérieure

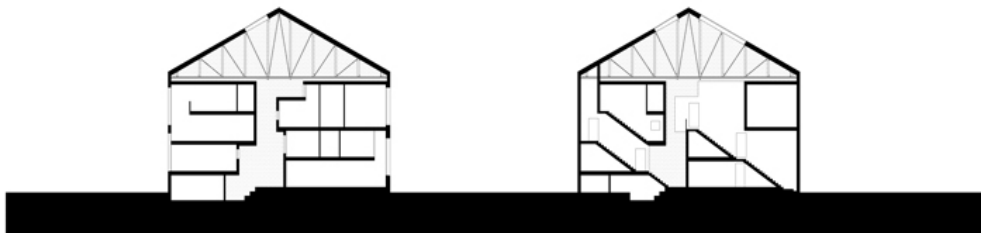


fig. 85 : Coupes

Conclusion

Conclusion

La notion de confort, bien qu'elle puisse sembler usuelle, se révèle être le sujet d'une multitude d'ouvrages qui mettent en évidence sa complexité et sa tendance dichotomique. À la fois relatif à la perception individuelle et aux attentes collectives, le confort résulterait d'un équilibre délicat entre des aspects quantitatifs et qualitatifs. Certains lui trouvent un caractère insaisissable et ambigu tandis que d'autres l'approchent de manière plus pragmatique et scientifique.

Avec l'évolution des sociétés et des technologies, le confort, à la sémantique initialement psychique, s'est graduellement matérialisé dans l'environnement physique. Des paramètres tels que la température ambiante, l'humidité, le métabolisme ou encore l'habillement ont pris part à sa définition.

L'histoire du confort a connu différentes étapes marquantes, allant de l'utilisation d'artifices structurels (*stratégie de l'abri*) à l'adoption de solutions énergétiques (*stratégie du feu de camp*). Les premières inventions telles que les cheminées et les poêles furent peu à peu remplacées par le chauffage centralisé. Les systèmes de climatisation automatisée prirent ensuite la relève permettant d'aisément contrôler la température, l'humidité et la pureté de l'air environnant. L'invention de ces équipements a été étroitement liée au développement de nouvelles ressources énergétiques (gaz, l'électricité, etc.). Cette conjonction entraîna une hausse significative de la consommation moyenne d'énergie au cours du XX^e siècle.

À cette époque émerge alors l'hypothèse inédite que l'approche énergétique (*stratégie du feu de camp*) pourrait l'emporter sur l'approche structurale (*stratégie de l'abri*). Cette conscientisation servit de fondements pour bon nombre de courants architecturaux (dans lesquels le confort est assuré par le biais des dernières technologies en date.)

Ces dispositifs qui étaient autrefois des symboles de distinction sociale se popularisent durant la période d'après-guerre. Auparavant déterminé par des prescriptions hygiéniques (ensoleillement, ventilation, propreté, etc.), le confort se voit alors régi par des préceptes scientifiques qui donneront lieu à l'établissement de normes chiffrées. Du luxe à la nécessité, le confort est devenu autant normal que normé.

Suite à cette réforme du confort, le bien-être a été ambiguement associé à l'abondance énergétique. La hausse et l'homogénéisation des températures moyennes intérieures est une autre conséquence majeure qui a été observée.

Certains auteurs ont remis en question les effets de cette révolution. À travers les différentes objections qui ont été formulées, trois réflexions se démarquent.

La première d'entre elles est écologique. Les nouveaux standards (de confort) demandent des apports énergétiques toujours plus conséquents. Lorsque les solutions se veulent écoéfficiences, leur empreinte carbone globale n'en est pas pour autant réduite (énergie grise). Afin de réduire la consommation énergétique sans faux-fuyants, beaucoup font appel au facteur comportemental. La participation des habitants dans la gestion de leur habitat et de leur confort serait un facteur clé pour diminuer l'impact écologique (de ces secteurs).

La seconde réflexion concerne la sensibilité aux flux. L'organisme est plus réceptif aux variations qu'aux constantes. Le système nerveux évalue les situations en fonction de ce qui les précède. Cette faculté s'amenuise lorsqu'il est exposé à un environnement invariant. Le concept d'alliesthésie, qui repose sur ce fait, souligne que le sentiment de satisfaction se manifeste lorsqu'un stimulus ramène une variable régulée à sa valeur de référence. En d'autres termes, la sensation de plaisir est principalement observée dans des états de transition. Il paraît donc opportun de (ré)introduire une diversité climatique au sein des bâtiments.

Le dernier point fréquemment abordé est l'intérêt de la compréhension et de la maîtrise. Avoir conscience de la fonction et du fonctionnement d'un dispositif joue un rôle essentiel dans l'appréciation du confort. L'importance de l'implication personnelle est aussi pointée dans les écrits. Des études montrent que les individus qui ont un niveau plus élevé de contrôle (perçu) se complaisent sur une plus large gamme de température. La possibilité de régler un dispositif selon ses ressentis offre donc un sentiment de confort accru. À une époque où notre confort dépend de systèmes automatiques (voir autonomes), il serait pertinent de revenir à des méthodes qui résultent d'actions délibérées.

Plusieurs architectes proposent des approches qui s'alignent avec ces réflexions. Une de ces démarches consiste à privilégier le chauffage du corps plutôt que de son environnement. Cela suggère que des variations climatiques peuvent s'opérer au sein même de chaque pièce. Pour se faire, les auteurs exploitent les avantages des systèmes de chauffage par radiation et par conduction (panneaux radiants, sièges chauffants et autres variantes technologiquement similaires). Focalisées sur l'utilisateur, ces alternatives au chauffage centralisé sont particulièrement efficaces car l'entièreté de l'énergie utilisée contribue directement au bien-être (de l'individu). Ces équipements offrent également plus de résilience grâce à leur indépendance par rapport à l'habitat. Par ailleurs, cette stratégie de chauffage ciblé peut s'avérer particulièrement

satisfaisante (si l'on s'en réfère aux réflexions évoquées précédemment). D'autres praticiens avancent l'idée de répartir l'espace en zones chauffées et non-chauffées. Dans ce cas, ce sont souvent les espaces essentiels tels que les chambres et les sanitaires qui sont privilégiés pour l'isolation et le chauffage. Les pièces de vie et de service, quant à elles, sont alors qualifiées de « non-chauffées ». L'usage et la fonction de ces espaces évoluent en fonction des saisons et des envies de chaque occupant. Malgré leur dénomination, ces espaces sont souvent régulés par le biais des stratégies et procédés bioclimatiques.

Pour conclure, les diverses réflexions et théories exposées dans ce mémoire mettent en évidence l'intérêt de repenser la notion du confort comme moteur de projet durable. Certaines approches pourraient ainsi améliorer le confort tout en réduisant significativement la consommation d'énergie. Certaines visent également à renforcer la connexion entre l'habitant et son habitat en l'impliquant de manière active dans son environnement.

Ces méthodes sont cependant difficiles à faire valoir en raison des mœurs actuelles et des normes de construction en vigueur. Elles peuvent du moins servir d'inspirations. Les principes qu'elles invoquent sont transposables à diverses échelles, en fonction de chaque cas.

Annexes

Annexe / A

Limite de l'effet rebond et de l'écoefficiente

David Owen prend part aux débats en critiquant les solutions écoénergétiques par le biais de la théorie sur l'effet *rebond* dans son ouvrage « *Vert paradox* ».

Il tente de démontrer que les gains d'efficacité glorifiée au cours des vingt dernières années n'ont pas participé à réduire la consommation d'énergie, mais à la démultiplier. Il est vrai qu'à première vue, l'écoefficiente a tout pour plaire : « *moins de consommation nécessaire à une même action* ». Mais s'arrêter à cela rendrait l'analyse incomplète. Les impacts de second plan sont d'autant plus conséquents. Il s'avère que les économies réalisées par le gain de consommation sont souvent réinjectées dans d'autres activités énergivores ; rendant toutes économies énergétiques insignifiantes.¹⁰⁵

L'auteur développe ceux-ci au travers de divers exemples tirés de ces expériences personnelles ainsi que d'ouvrage tel que « *Losing our cool* » de Stan Cox. Il développe ainsi les répercussions en chaînes qu'a causées l'invention des différents systèmes de refroidissements ; représentative du paradoxe de Jevons. Il s'appuie sur ses observations pour mettre en évidence que les gains d'efficacité des réfrigérateurs, à titre d'exemple, ont poussé les utilisateurs à en acheter un second, sans se débarrasser de l'ancien, le laissant alors à la cave en usage secondaire. Cette tendance annule en effet tous les bienfaits espérés en additionnant la consommation d'énergie du nouveau réfrigérateur (certes moindre) à celle actuelle.¹⁰⁶

À plus grande échelle, il constate que l'évolution des capacités de refroidissements a rendu possible l'expansion du marché du réfrigéré et du surgelé, et de la consommation d'énergie qui en résulte. Les durées de conservations à rallonge sont devenues monnaies courantes, tout comme la consommation de sodas frais. L'auteur souligne que :

« (...) mon accès à des aliments en provenance des quatre coins du Globe, 12 mois par année, est en grande partie attribuable à l'amélioration des systèmes de refroidissement dont sont maintenant équipés les agriculteurs, les camion-

¹⁰⁵ Owen, D. *Vert paradox: le piège des solutions écoénergétiques*. (Écosociété, 2013).

¹⁰⁶ *Ibid.*

neurs, les expéditeurs, les grossistes, les distributeurs, les détaillants et moi-même. (...) »¹⁰⁷

L'invention de la climatisation a elle aussi son lot de répercussions. L'introduction de la « *clim* » dans les moyens de transport à élever drastiquement leur niveau de confort. À tel point que cela a incité les conducteurs à se déplacer sur de plus longues distances, et plus souvent. Une résultante consumériste, une fois de plus. Stan Cox rejoint les propos de R. J. de Dear et G. S. Brager en évoquant la dépendance croissante, aussi bien physique que physiologique, à la climatisation (et plus généralement aux systèmes de refroidissement).¹⁰⁸ Gwyn Prins, anthropologue de l'université de Cambridge, ira jusqu'à déclarer que :

« Cette dépendance est la plus envahissante et la plus méconnue des épidémies sévissant dans l'Amérique du Nord. »¹⁰⁹

Certains auteurs défenseurs de l'écoefficient ont tenté de discréditer l'incidence des effets de Jevons. La réplique de Amory Lovins en 2010 en est représentative :

« (...) peu importe l'efficacité énergétique de votre maison ou de votre laveuse, vous ne transformerez pas votre demeure en sauna et vous ne laverez pas à nouveau vos vêtements propres (...) »¹¹⁰

Cette approche directe est effectivement convaincante. Elle démontre crûment les limites de l'effet rebond observé des années 50 à aujourd'hui. Comme abordé au chapitre sur l'évolution du confort, l'exaucement le plus conséquent de cet effet fait sûrement partie du passé. Il est peu probable que la situation économique, sociale, climatique, etc. d'après-guerre se représente à nouveau (tenant comptes des technologies et connaissances actuelles).¹¹¹

¹⁰⁷ Owen, D. *Vert paradoxe: le piège des solutions écoénergétiques*. (Écosociété, 2013). p.

¹⁰⁸ Cox, S. *Losing our cool: uncomfortable truths about our air-conditioned world (and finding new ways to get through the summer)*. (New Press, 2010).

¹⁰⁹ Owen, D., *op. cit.* p. 116

¹¹⁰ *Ibid.* p. 101

¹¹¹ *Ibid.*

Annexe / B

Banaliser l'exceptionnalité climatique

L'évolution de la situation climatique au XXI^e siècle va également demander de faire appel à plus de résilience. En effet, les études et prévisions climatiques annoncent, en plus d'une hausse globale de la température, une croissance des événements extrêmes ponctuels, des catastrophes hors-normes (canicules, inondations, cyclones, etc.). Le graphique [fig. 86] illustre candidement des données scientifiques climatiques qui quantifient ces augmentations (en prenant en compte l'aspect générationnel dans leur méthodologie). Le réchauffement climatique s'accompagne donc d'une hausse de l'imprévisibilité et de la fréquence des catastrophes naturelles.

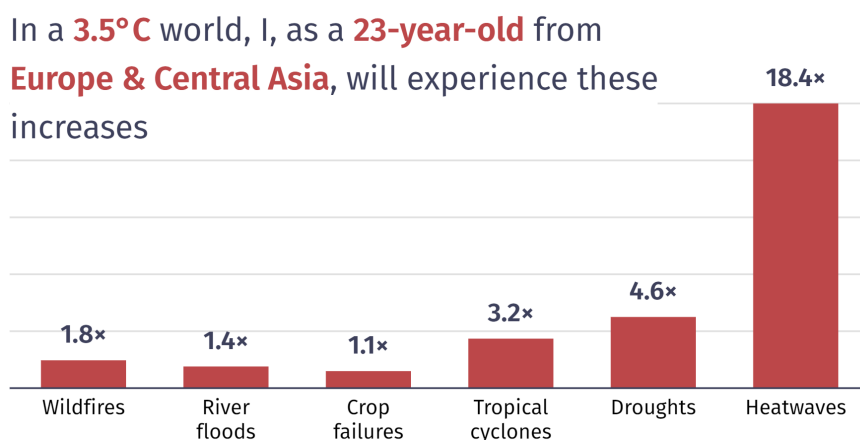


fig. 86 : graphique de la croissance des catastrophes climatiques futures

De ce fait, il est difficilement imaginable de continuer à aborder le climat comme une moyenne, une constante. Les pics présagés seraient trop éloignés des unités de références pour être couverts par les dispositifs normalisés.

Les opinions et principes développés dans la partie « *Chauffer le corps, pas son environnement* » pourraient alors être étendus à ce nouveau domaine. En reprenant le concept américain de « Panic Room », il pourrait être pertinent, par exemple, de développer des dispositifs « Cool/Heat equipment » aptes à faire face aux futures vagues de chaleur/froid. Ces dispositifs représenteraient une solution résiliente et économe aux futures problématiques climatiques.

Notice biographique

Notice biographique

A/ Reyner Banham

Reyner Banham (1922-1988) était un critique d'architecture et historien britannique. Il a poursuivi ses études à la Courtauld Institute of Art à Londres, où il a obtenu une maîtrise en histoire de l'art. Il a enseigné dans plusieurs institutions prestigieuses, dont l'Université de Londres, l'Université de Manchester et l'Université de Californie à Santa Cruz. Reyner Banham est reconnu pour ses approches novatrices dans l'analyse des bâtiments modernes et des environnements urbains.

B/ Jacques Pezeu-Massabuau

Jacques Pezeu-Massabuau (1930-) est historien, géographe et écrivain français. Il s'est établi au Japon et a enseigné là-bas. Il est également impliqué dans divers comités d'urbanisme de Tokyo. Son expertise se concentre sur la maison japonaise et, plus généralement, sur l'anthropologie de l'habitat.

C/ Pascal Amphoux

Pascal Amphoux (1952-) est un architecte, sociologue, géographe et chercheur franco-suisse. Il enseigne à l'École polytechnique de Lausanne (IREC) et à l'École d'architecture de Grenoble. Impliqué dans de nombreux projets architecturaux, urbains et environnementaux, il travaille au sein du Bureau CONTREPOINT à Lausanne.

D/ Lisa Heschong

Lisa Heschong (1952-) est une architecte, chercheuse et autrice américaine. Elle a étudié à l'école d'architecture du MIT et s'est spécialisée dans le design durable, l'éclairage naturel et l'efficacité énergétique des bâtiments. Co-fondatrice de Heschong Mahone Group (HMG), une entreprise de conseil en science du bâtiment et en efficacité énergétique, elle a laissé une marque significative dans le domaine.

E/ Philippe Rahm

Philippe Rahm (1967-) est un architecte suisse dont l'approche innovante se concentre sur l'utilisation intelligente des conditions climatiques et environnementales pour créer des espaces architecturaux et urbains novateurs. Il a étudié à l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) et enseigne à son tour dans plusieurs universités suisse et française.

F/ Richard J. de Dear & Gail S. Brager

Richard J. de Dear (1960/70-) est un chercheur australien. Il a obtenu une maîtrise en sciences de l'architecture et un doctorat en ingénierie du bâtiment à l'Université du Michigan. Il est également enseignant à l'Université de Sydney. Gail S. Brager (1960/70-) est une chercheuse américaine également une experte dans ce domaine. Elle a obtenu une maîtrise en architecture et un doctorat en architecture à l'Université de Californie à Berkeley (où elle est actuellement enseignante). En travaillant ensemble et en collaborant avec d'autres chercheurs, Richard J. de Dear et Gail S. Brager ont apporté une contribution majeure au domaine de l'architecture durable et du bien-être des occupants

G/ Ivan Illich

Ivan Illich (1926-2002) était un penseur, philosophe, écrivain et critique social autrichien. Il a étudié la philosophie, la théologie et l'histoire à l'université pontificale grégorienne de Rome. Il a ensuite été enseignant dans diverses universités. Il est particulièrement connu pour ses critiques du système éducatif, de la médecine moderne et du développement technologique.

Bibliographie

Bibliographie

Abramsohn, J. Sobek House: '360° Transparency'. *Graphis* 60, 90–97 (2004).

Ackermann, M. E. *Cool comfort: America's romance with air-conditioning*. (Smithsonian Institution Press, 2010).

Amphoux, P. Vers une théorie des trois comforts. *Annuaire 90* (1990).

Augoyard, J.-F. Du confort à la notion d'ambiance. in *13ème journée du CUEPE 2003 : Habitat, Confort et Energie* (Université de Genève, 2003).

B+. 0131 Antivilla. <https://bplus.xyz/projects/0131-antivilla>.

Banham, R. *L'architecture de l'environnement bien tempéré*. (Hyx, 2011).

Banham, R. & Bayley, S. Mechanical Services. *History of Architecture and Design 1890–1939* 21–22, (1975).

Banham, R. & Dallegret, F. A Home is Not a House. *Art in America* 2, 70–79 (1965).

Barber, D. A. *Modern architecture and climate: design before air conditioning*. (Princeton University Press, 2020).

Boni, S. *Homo confort: le prix à payer d'une vie sans efforts ni contraintes*. (l'Échappée, 2022).

Cabanac, M. Physiological Role of Pleasure. *Science* 173, 1103–1107 (1971).

Candas, V. L'homme dans son environnement climatique Facteurs d'influence, thermorégulation, sensibilité et confort thermiques. in *13ème journée du CUEPE 2003 : Habitat, Confort et Energie* (Université de Genève, 2003).

Clément, G., Rahm, P., Borasi, G., & Centre canadien d'architecture. *Gilles Clément, Philippe Rahm: environ(ne)ment : manières d'agir pour demain = approaches for tomorrow*. (Skira, 2006).

Collectif Slowheat. *SlowHeat : Définition de la pratique*. (2022).

Côme, T. & Pollet, J. *L'idée de confort, une anthologie: du zazen au tourisme spatial*. (éditions B42, 2016).

Cox, S. *Losing our cool: uncomfortable truths about our air-conditioned world (and finding new ways to get through the summer)*. (New Press, 2010).

Darmon, O. *Serre et habitat*. (Ouest-France, 2013).

Darmon, O. *Ré:habiter : réutiliser, transformer, expérimenter*. (Alternatives Editions, 2021).

de Dear, R. Revisiting an old hypothesis of human thermal perception: alliesthesia. *Building Research & Information* 39, 108–117 (2011).

de Dear, R. J. & Brager, G. S. Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55. *Energy and Buildings* 34, 549–561 (2002).

De Decker, K. Restoring the Old Way of Warming: Heating People, not Places. in *Low-tech Magazine* vol. 2 372–391 (Low-tech Magazine, 2019).

Deprez, B. *De l'architecture durable à la compétence énergétique*. vol. 1 (Presses Universitaires de Bruxelles, 2021).

Engrand, L. Le confort ou la démocratie du bien-être en question. in *13ème journée du CUEPE 2003 : Habitat, Confort et Energie* (Université de Genève, 2003).

Fanger, P. O. *Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering*. (McGraw Hill book company, 1970).

Figuier, L. L'art du chauffage. in *Les Merveilles de la science ou description populaire des inventions modernes* vol. 4 241–348 (Furne, Jouvot et Cie, 1870).

Fitch, J. M. *American building*. (Schocken books, 1973).

Givoni, B. *L'homme, l'architecture et le climat*. (Éditions du Moniteur, 1978).

Gonzalez Rodriguez, B. L'architecture à la recherche du bien-être: critique du confort : le confort est-il un frein dans la transition socio-écologique ? (Université libre de Bruxelles, 2021).

He, Y. et al. Creating alliesthesia in cool environments using personal comfort systems. *Building and Environment* 209, (2022).

Heschong, L. *Architecture et volupté thermique*. (Parenthèses, 1981).

Illich, I. *Oeuvres complètes*. (Fayard, 2003).

Kim, E. & Barles, S. The energy consumption of Paris and its supply areas from the eighteenth century to the present. *Reg Environ Change* 12, 295–310 (2012).

Lachal, B. Confort d'été et énergie : une étude de cas à Genève. in *13ème journée du CUEPE 2003 : Habitat, Confort et Energie* (Université de Genève, 2003).

Le Goff, O. *L'invention du confort: naissance d'une forme sociale*. (Presses universitaires de Lyon, 1994).

Lemoine, B. House R 128. *Architecture Steel Stahl Acier* 15, 1–16 (2003).

LRArchitectes. Arsenal. <https://www.lrarchitectes.com/projets/arsenal>.

Macal, E. *Verbiest: approximations : a house and an artist's workshop in Molenbeek*. (Buchhandlung Walther und Franz König, 2022).

Mavrogianni, A. et al. Historic Variations in Winter Indoor Domestic Temperatures and Potential Implications for Body Weight Gain. *Indoor Built Environ* 22, 360–375 (2013).

Olgay, V. *Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism*. (Princeton University Press, 2015).

Owen, D. *Vert paradoxe: le piège des solutions écoénergétiques*. (Écosociété, 2013).

Papanek, V. J. *Design pour un monde réel: écologie humaine et changement social*. (Les presses du réel, 2021).

Paris, P. La Chanson de Roland. *Bibliothèque de l'École des chartes* 12, 297–338 (1851).

Pezeu-Massabuau, J. *La maison: espace réglé, espace rêvé*. (Reclus, 1993).

Pezeu-Massabuau, J. *Eloge de l'inconfort*. (Editions Parenthèses, 2004).

Rahm, P. Interior gulf stream - Philippe Rahm architectes. <http://www.philipperahm.com/data/projects/interiorgulfstream/>.

Rahm, P. Météorologie d'intérieur - Philippe Rahm architectes. <http://www.philipperahm.com/data/projects/interiorweather/index-f.html>.

Rahm, P. Résidences à Mergoscia. <http://www.philipperahm.com/data/projects/thermalconductivity/index-f.html>.

Rahm, P. *Architecture météorologique*. (Archibooks + Sautereau, 2009).

Rahm, P. *Histoire naturelle de l'architecture: comment le climat, les épidémies et l'énergie ont façonné la ville et les bâtiments*. (Pavillon de l'Arsenal, 2020).

Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. Infoblad Trias Energetica en energieneutraal bouwen. (2013).

Rollot, M. & Guérant, F. *Repenser l'habitat: des alternatives, des propositions*. (Libre et Solidaire, 2018).

Rubin, P., Dessis, H., Calignon, V. de, & Atelier Canal. *Transformation des situations construites*. (Canal architecture, 2020).

Ruby, I., Ruby, A. & Janson, N. *The economy of sustainable construction*. (Ruby Press, 2014).

Schittich, C. *Building in existing fabric: refurbishment, extensions, new design*. (Edition Detail, 2003).

Shove, E. *Comfort, cleanliness and convenience: the social organization of normality*. (BERG, 2003).

Steffen, W., Broadgate, W., Deutsch, L., Gaffney, O. & Ludwig, C. The trajectory of the Anthropocene: The Great Acceleration. *The Anthropocene Review* 2, 81–98 (2015).

Texier, S. & Rubin, P. *Bureaux → Logements: transformation 58 rue de Mouzaïa Paris XIXe*. (Archibooks + Sautereau., 2021).

Thiery, W. *et al.* Intergenerational inequities in exposure to climate extremes. *Science* 374, 158–160 (2021).

Toussaint, T. *Technic as Space: the Room x the Machines*. *Theo Toussaint* (2022).

Van Moeseke, G. *Slowheat : chauffer les corps, pas les bâtiments*. (2022).

Index

Index

Couverture : Dallegret, F. *Anatomy of a dwelling*. (1965) | consultable : Banham, R. & Dallegret, F. A Home is Not a House. *Art in America* 2, 70–79 (1965)

fig. 1 : AgwA. *Coupe perspective* (2020) | consultable : <https://ica-wb.be/node/1684>

fig. 2 : Auteur, *schéma synthétique des différentes approches et stratégies*. (2023) | adapté de : Rahm, P. *Histoire naturelle de l'architecture: comment le climat, les épidémies et l'énergie ont façonné la ville et les bâtiments*. (Pavillon de l'Arsenal, 2020).

fig. 3 : Figuier, L. *Représentation du poêle Franklin* (1870) | consultable : Figuier, L. L'art du chauffage. in *Les Merveilles de la science ou description populaire des inventions modernes vol. 4* 241–348 (Furne, Jouvet et Cie, 1870).

fig. 4 : Figuier, L. *Représentation de la cheminée Rudolf* (1870) | consultable : Figuier, L. L'art du chauffage. in *Les Merveilles de la science ou description populaire des inventions modernes vol. 4* 241–348 (Furne, Jouvet et Cie, 1870).

fig. 5 : *Représentation d'une gazinière de la fin du XIX^e siècle* (n. d.) | consultable : <http://historicaltidbits.blogspot.com/2015/10/1879-gas-stove.html>

fig. 6 : *Plan de l'hôpital général Satterlee* (n. d.) | consultable : <https://www.civilwarmed.org/surgeons-call/pavilionhospitals/>

fig. 7 : *Photo de l'ampoule expérimentale de Joseph Swan* (n. d.) | consultable : <https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co42487/swan-electric-lamp-electric-lamp>

fig. 8 : *Photo de l'ampoule de Thomas Edison* (n. d.) | consultable : <https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co42487/swan-electric-lamp-electric-lamp>

fig. 9 : *Photo du système « Weathermaster » de Willis Carrier* (1937) | consultable : Banham, R. & Bayley, S. Mechanical Services. *History of Architecture and Design 1890–1939* unit 21–22, (Open University Press, 1975).

fig. 10a : Nagata, Y. *Photo de la tour du secrétariat du siège des Nations Unies à New York* (1985) | consultable : www.unmultimedia.org/photo/

fig. 10b : Acker, D. *Photo de la tour du secrétariat du siège des Nations Unies à New York* (2010) | consultable : https://www.flickr.com/photos/nguyen_ngoc_chinh/5287084144/in/photostream/

fig. 11 : Carrier, W. *Détails de technique de la façade du siège des Nations Unies* (n. d.) | consultable : Banham, R. & Bayley, S. *Mechanical Services. History of Architecture and Design 1890–1939* unit 21–22, (Open University Press, 1975).

fig. 12a : Gautherot, M. *Photo de ministère de la Santé et de l'Éducation à Rio* (n. d.) | consultable : Armesto Aira, A., Cortés, J. A., Labarta, C. & Gastón Guirao, C. *Click 1 : fotografía como arquitectura*. (Iniciativa Digital Politècnica, 2015).

fig 12b : *Photo de ministère de la Santé et de l'Éducation à Rio* (n. d.) | consultable : <https://www.darchitectures.com/palacio-capanema-un-chef-uvre-ven-du-encan-a5556.html>

fig 12c : Weintraub, A. *Photo de ministère de la Santé et de l'Éducation à Rio* (n. d.) | consultable : <https://www.mrporter.com/en-us/journal/travel/rios-most-striking-buildings-464534>

fig. 13 : Hervé, L. *Photo de maquette d'esquisse projet 23A* (n. d.) | consultable : <http://www.fondationlecorbusier.fr/corbuweb/>

fig. 14 : *Photo du système de chauffage de l'Hôtel Solvay de Victor Horta* (n. d.) | consultable : <https://patrimoine.brussels/>

fig. 15 : Plano, I. *Photo de la Farnsworth house de Mies Van der Rohe* (n. d.) | consultable : <https://www.behance.net/gallery/75078729/Farnsworth-House>

fig. 16 : Garcia, S. *Photo de la Glass house de Philippe Johnson* (n. d.) | consultable : <https://archeyes.com/philip-johnsons-glass-house-an-icon-of-international-style-architecture/>

fig. 17 : Braun, Z. *Photo de la maison R128 de Werner Sobek* (n. d.) | consultable : <https://www.wernersobek.com/projects/r128/>

fig. 18 : Halbe, R. *Photo de la maison R128 de Werner Sobek* (n. d.) | consultable : <https://rolandhalbe.eu/portfolio/house-r128-by-werner-sobek/>

fig. 19 : Halbe, R. *Photo de la maison R128 de Werner Sobek* (n. d.) | consultable : <https://rolandhalbe.eu/portfolio/house-r128-by-werner-sobek/>

fig. 20 : Kim, E. & Barles, S. *Graphique de la consommation finale totale d'énergie (TFEC), Paris, 1730-2000* (2012) | consultable : Kim, E. & Barles, S. The energy consumption of Paris and its supply areas from the eighteenth century to the present. *Reg Environ Change* 12, 295–310 (2012).

fig. 21a : Utley, J. & Shorrock, L. *Graphique de la part d'habitations équipées d'un chauffage centralisé aux Royaume-Uni entre 1970 et 2008* (2008) | consultable : http://www.bre.co.uk/filelibrary/pdf/rpts/Fact_File_2008.pdf

fig 21b : Montgomery, D. & City Lab. *Graphique de part d'habitations équipées d'air conditionné (par type) aux Etat-unis entre 1950 et 2015* | consultable : <https://www.bloomberg.com/news/articles/2019-07-10/why-we-always-fight-over-air-conditioning>

fig. 22 : Steffen, W. *Graphique des tendances socio-économique globales* (2015) | consultable : Steffen, W., Broadgate, W., Deutsch, L., Gaffney, O. & Ludwig, C. The trajectory of the Anthropocene: The Great Acceleration. *The Anthropocene Review* 2, 81–98 (2015).

fig. 23 : Mavrogianni, A. et al. *Graphique des tendances des températures diurnes moyennes hivernales de l'air intérieur basées sur des enquêtes nationales auprès des ménages au Royaume-Uni (1978-1996)* | consultable : Mavrogianni, A. et al. Historic Variations in Winter Indoor Domestic Temperatures and Potential Implications for Body Weight Gain. *Indoor Built Environ* 22, 360–375 (2013).

fig. 24 : Olgyay, V. *Index bioclimatique schématique* (1963) | consultable : Olgyay, V. *Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism*. (Princeton University Press, 2015).

fig. 25 : Fanger, P. *Graphique de l'évolution du PPD (en %) en fonction du PMV* (1970) | consultable : Fanger, P. O. *Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering*. (McGraw Hill book company, 1970).

fig. 26 : Givoni, B. *Climogramme (zones de confort étendu)* (n. d.) | consultable : https://www.urbipedia.org/hoja/Baruch_Givoni

fig. 27 : Anker, A. *Die Bauern und die Zeitung* (1867) | consultable : <https://www.artnet.com/artists/albert-anker/>

fig. 28 : Anker, A. *Sonntagnachmittag* (1861) | consultable : <https://centrealbertanker.ch/de/albert-anker/werkauswahl/>

fig. 29 : Anker, A. *Der Alte Feissli mit Kind auf Ofenbank* (1898) | consultable : <https://www.flickr.com/photos/hen-magonza/39896267112>

fig. 30 : Rahm, P. *Représentation de météorologie d'intérieur* (2006) | consultable : <http://www.philipperahm.com/data/projects/interiorweather/>

fig. 31 : Rahm, P. *Représentation de Interior gulf stream* (2006) | consultable : <http://www.philipperahm.com/data/projects/interiorgulfstream/>

fig. 32 : De Dear, R. J. & Brager, G. S. *Proposition de standard adaptatif du confort* (2002) | consultable : De Dear, R. J. & Brager, G. S. Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55. *Energy and Buildings* 34, 549–561 (2002).

fig. 33 : De Dear, R. J. & Brager, G. S. *Graphique des températures de confort intérieur observées et prévues pour les bâtiments climatisés et pour les bâtiments à ventilation naturelle* (2002) | consultable : De Dear, R. J. & Brager, G. S. Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55. *Energy and Buildings* 34, 549–561 (2002).

fig. 34 : He, Y. et al. *Photo des appareils de chauffage PCS utilisés dans l'étude* (2022) | consultable : He, Y. et al. Creating alliesthesia in cool environments using personal comfort systems. *Building and Environment* 209, article 108642 (2022).

fig. 35 : He, Y. et al. *Graphique rassemblant sept études qui montrent des niveaux de satisfaction thermique* (2022) | consultable : He, Y. et al. Creating alliesthesia in cool environments using personal comfort systems. *Building and Environment* 209, article 108642 (2022).

fig. 36 : He, Y. et al. *Graphique de la moyenne de groupe des votes d'agrément thermique du corps entier et de la sensation thermique* (2022) | consultable : He, Y. et al. Creating alliesthesia in cool environments using personal comfort systems. *Building and Environment* 209, article 108642 (2022).

fig. 37 : He, Y. et al. *Graphique de la séries temporelles des températures de l'air ambiant et des températures moyennes de la peau des sites de mesure locaux non chauffés* (2022) | consultable : He, Y. et al. Creating alliesthesia in cool environments using personal comfort systems. *Building and Environment* 209, article 108642 (2022)

fig. 38 : Collectif Slowheat. *Représentation de la pratique actuelle et de la pratique slowheat* (n. d.) | consultable : Collectif Slowheat. *SlowHeat : Définition de la pratique*. (2022).

fig. 39 : Collectif Slowheat. *schéma d'exemples d'équipements* (n. d.) | consultable : Collectif Slowheat. *SlowHeat : Définition de la pratique.* (2022).

fig. 40 : Collectif Slowheat. *Graphique du relevé des températures dans un duplex de septembre 2021 à avril 2022* (2022) | consultable : Collectif Slowheat. *SlowHeat : chauffer les corps, pas les bâtiments.* (2022).

fig. 41 : Collectif Slowheat. *Graphique des variations de consommations d'énergie par type en fonction des températures intérieures moyenne.* | consultable : Collectif Slowheat. *SlowHeat : chauffer les corps, pas les bâtiments.* (2022).

fig. 42 : Auteur, *Schéma du Trias Energetica* [adapté] (2023)

fig 43 : Auteur, *Axonométrie schématique du projet « Latapie »* (2023)

fig. 44 : Ruault, P. *Photo extérieure* (n. d.) | consultable : <https://www.lacatonvassal.com/index.php?idp=25>

fig. 45 : Ruault, P. *Photo intérieure* (n. d.) | consultable : <https://www.lacatonvassal.com/index.php?idp=25>

fig. 46 : Lacaton & Vassal. *Plan et coupe* (n. d.) | consultable : <https://www.lacatonvassal.com/index.php?idp=25>

fig 47 : Ruault, P. *Photo intérieure* (n. d.) | consultable : <https://www.lacatonvassal.com/index.php?idp=25>

fig 48 : Druot, F. *Photo extérieure* (n. d.) | consultable : <https://www.lacatonvassal.com/index.php?idp=56>

fig 49 : Ruault, P. *Photo intérieure* (n. d.) | consultable : <https://www.lacatonvassal.com/index.php?idp=56>

fig 50 : Lacaton & Vassal. *Détail technique de façade* | consultable : <https://www.lacatonvassal.com/index.php?idp=56>

fig. 51 : Ruault, P. *Photo intérieure* (n. d.) | consultable : <https://www.lacatonvassal.com/index.php?idp=25>

fig. 52 : Lacaton & Vassal. *Tableau récapitulatif* [adapté] (n. d.) | consultable : Ruby, I., Ruby, A. & Janson, N. *The economy of sustainable construction.* (Ruby Press, 2014).

fig. 53 : Auteur, *Axonométrie schématique du projet « Verbiest »* (2023)

fig. 54 : AgwA. *Photo extérieure* (n. d.) | consultable : Macal, E. *Verbiest: approximations : a house and an artist's workshop in Molenbeek*. (Buchhandlung Walther und Franz König, 2022).

fig. 55 : AgwA. *Photo extérieure* (n. d.) | consultable : Macal, E. *Verbiest: approximations : a house and an artist's workshop in Molenbeek*. (Buchhandlung Walther und Franz König, 2022).

fig. 56 : AgwA. *Photo intérieure* (n. d.) | consultable : Macal, E. *Verbiest: approximations : a house and an artist's workshop in Molenbeek*. (Buchhandlung Walther und Franz König, 2022).

fig. 57 : AgwA. *Photo intérieure* (n. d.) | consultable : Macal, E. *Verbiest: approximations : a house and an artist's workshop in Molenbeek*. (Buchhandlung Walther und Franz König, 2022).

fig. 58 : AgwA. *Première esquisse du projet* (n. d.) | consultable : Macal, E. *Verbiest: approximations : a house and an artist's workshop in Molenbeek*. (Buchhandlung Walther und Franz König, 2022).

fig. 59 : AgwA. *Première esquisse du projet* (n. d.) | consultable : Macal, E. *Verbiest: approximations : a house and an artist's workshop in Molenbeek*. (Buchhandlung Walther und Franz König, 2022).

fig. 60 : AgwA. *Axonométrie générique pour le permis d'urbanisme* (2018) | consultable : <https://ica-wb.be/node/1684>

fig. 61 : AgwA. *Coupe pour le permis d'urbanisme* (2018) | consultable : Macal, E. *Verbiest: approximations : a house and an artist's workshop in Molenbeek*. (Buchhandlung Walther und Franz König, 2022).

fig. 62 : AgwA. *Fiche de calcul comparant les différentes options* (2018) | consultable : Macal, E. *Verbiest: approximations : a house and an artist's workshop in Molenbeek*. (Buchhandlung Walther und Franz König, 2022).

fig. 63 : AgwA. *Coupe perspective* (2020) | consultable : <https://ica-wb.be/node/1684>

fig. 64 : AgwA. *Photo extérieure* (n. d.) | consultable : http://www.agwa.be/en/projects/1718_verbiest/201/

fig. 66 : AgwA. *Plan niv. 0* (n. d.) | consultable : http://www.agwa.be/en/projects/1718_verbiest/201/

fig. 67 : AgwA. *Photo intérieure* (n. d.) | consultable : http://www.agwa.be/en/projects/1718_verbiest/201/

fig. 68 : AgwA. *Photo intérieure* (n. d.) | consultable : http://www.agwa.be/en/projects/1718_verbiest/201/

fig. 69 : AgwA. *Plan niv. +1* (n. d.) | consultable : http://www.agwa.be/en/projects/1718_verbiest/201/

fig. 70 : AgwA. *Photo intérieure* (n. d.) | consultable : http://www.agwa.be/en/projects/1718_verbiest/201/

fig. 71 : AgwA. *Photo intérieure* (n. d.) | consultable : http://www.agwa.be/en/projects/1718_verbiest/201/

fig. 72 : AgwA. *Plan niv. +1* (n. d.) | consultable : http://www.agwa.be/en/projects/1718_verbiest/201/

fig. 73 : AgwA. *Axonométrie structurelle renversée* (n. d.) | consultable : http://www.agwa.be/en/projects/1718_verbiest/201/

fig. 74 : Auteur, *Axonométrie schématique du projet « Mouzaïa »* (2023)

fig. 75 : L'excellent, P. *Photo extérieure* (n. d.) | consultable : Texier, S. & Rubin, P. *Bureaux → Logements: transformation 58 rue de Mouzaïa Paris XIXe*. (Archibooks + Sautereau., 2021).

fig. 76 : Canal Architecture. *Photo intérieure* (n. d.) | consultable : Texier, S. & Rubin, P. *Bureaux → Logements: transformation 58 rue de Mouzaïa Paris XIXe*. (Archibooks + Sautereau., 2021)

fig. 77 : L'excellent, P. *Photo extérieure* (n. d.) | consultable : Texier, S. & Rubin, P. *Bureaux → Logements: transformation 58 rue de Mouzaïa Paris XIXe*. (Archibooks + Sautereau., 2021).

fig. 78 : L'excellent, P. *Photo extérieure* (n. d.) | consultable : Texier, S. & Rubin, P. *Bureaux → Logements: transformation 58 rue de Mouzaïa Paris XIXe*. (Archibooks + Sautereau., 2021).

fig. 79 : Canal Architecture. *Schéma d'alternatives proposées* (n. d.) | consultable : Texier, S. & Rubin, P. *Bureaux → Logements: transformation 58 rue de Mouzaïa Paris XIXe*. (Archibooks + Sautereau., 2021)

fig. 80 : Rahm, P. *Plan niv. +2* (2008) | consultable : <http://www.philipperahm.com/data/projects/thermalconductivity/>

fig. 81 : Rahm, P. *Plan niv. +1* (2008) | consultable : <http://www.philipperahm.com/data/projects/thermalconductivity/>

fig. 82 : Overmeer, E. *Photo intérieure* (n. d.) | consultable : <https://bplus.xyz/projects/0131-antivilla>.

fig. 83 : B+. *Plan niv. +1* (n. d.) | consultable : <https://miesarch.com/work/2458>

fig. 84 : Delvaux, M. *Photo intérieure* (n. d.) | consultable : <https://www.lrarchitectes.com/projets/arsenal>

fig. 85 : LRArchitectes. *Coupes* (n. d.) | consultable : <https://www.lrarchitectes.com/projets/arsenal>

fig. 86 : *Graphique de la croissance des catastrophes climatiques futures* (n. d.) | consultable : <https://myclimatefuture.info/>

* Certaines illustrations ont été retouchées colorimétriquement



Colophon

Ce mémoire de fin d'étude a été réalisé dans le cadre du Master en Architecture à la Faculté d'Architecture La Cambre Horta ULB.

/Auteur

Lucas Van Melderen

/Promoteur

Bernard Deprez

/Année d'étude

2022-23

/Impression

The Print Agency

