

Zachary Adjou

Master 2

Travail de fin d'études

La double peau en réhabilitation

Une réponse face à la dépense énergétique des bâtiments ?

Professeur référent : Pascaline Faux & Bernard Wittevrongel

Expert : Robert Jan Van Santen

Remerciements

Je tiens à adresser mes sincères remerciements à toutes les personnes qui m'ont aidé de près ou de loin dans la réalisation de ce travail de fin d'études.

En premier lieu, merci à Eric Van Overstraenten, Pierre Accarain, Daniel Otero Pena Lucas Sgambi, mes professeurs d'atelier, pour m'avoir accompagnées dans le développement de ce projet.

Merci tout particulièrement à Pascaline Faux et Bernard Wittevrongel pour leurs précieux conseils, leur implication et leur disponibilité tout au long de ce travail.

Je tiens également à remercier Robert Jan Van Santen, Architecte spécialiste sur la question de la façade, pour le temps qu'il m'a accordé et le complément essentiel sur des notions aussi bien générales que techniques.

Et enfin je voudrais remercier mes proches qui m'ont soutenu durant toutes ces années d'études.

Merci à vous.

Sommaire

Introduction

Chapitre I - Le climat intermédiaire notions et concepts.

- 1 - Définitions des concepts.
 - a. La façade double-peau.
 - b. L'espace intermédiaire.
 - c. Le principe d'effet de serre.
- 2 - Exploitation de l'effet de serre en architecture.
 - a. La conception bioclimatique.
 - b. Double-peau passive / double-peau active
- 3 - Objectifs et principes de la double peau.
 - a. Capter et se protéger du rayonnement solaire.
 - b. Transformer et diffuser la chaleur.
 - c. Conserver la chaleur ou la fraîcheur.

Chapitre II -Etude de cas.

- 1 - Réhabilitation thermique du Campus Scientifique de l'Université de Bordeaux.
- 2 - Réhabilitation-extension de la tour Bois-le-Prêtre à Paris 17e (Lacaton & Vassal)

Chapitre III - Analyse du Tribunal de Grande Instance de Lille.

- 1 - Présentation du Tribunal.
 - a. Le contexte urbain.
 - a. Son histoire.
 - c. Les dispositifs architecturaux et le rapport à la ville.
 - d. L'organisation spatiale (programme et circulations).
- 2 - Diagnostic du bâtiment actuel.
 - a. Le climat et l'exposition.
 - b. Le dimensionnement des espaces disponibles.
 - c. La façade (composition et structure).
 - d. Les systèmes de contrôle du climat (chauffage, clim, ventilation..).

Chapitre IV -Réhabilitation du Tribunal, un climat intermédiaire créé.

1 - Le Programme en trois parties.

- a. La tour.
- b. Le socle.
- c. Les sous-sols.

2 - Les ambitions du projet.

- a. Connecter le Campus avec le contexte proche.
- b. Multiplier les interactions à travers le patio.
- c. Exploiter les espaces inaccessibles.
- d. Intégrer une échelle humaine au « Palais ».
- e. Améliorer le confort thermique et réduire la consommation d'énergie.

du bâtiment.

3 - Le traitement des façades.

- a. Le patio principal.
- b. Le petit patio.
- c. La périphérie du bâtiment.
- d. La tour.

4 - Les interventions sur l'existant.

- a. Le socle.
- b. Les patios.
- d. La toiture du socle.
- e. La tour.

5 - La sécurité et l'entretien de la double peau.

- a. La sécurité incendie d'une façade double peau.
- b. Maintenance et entretien de la double peau.

Conclusion

Panneaux A1 de présentation du projet

Anexes

Bibliographie

Sitographie

Iconographie

Introduction

Le réchauffement climatique auquel nous sommes actuellement confrontés, nous pousse depuis quelques années à revoir notre façon de vivre, de penser, de consommer et aussi de concevoir. Le secteur de la construction est l'un des principaux domaines responsables du phénomène de réchauffement climatique. En effet, d'après une étude publiée dans l'ouvrage Manifeste pour une frugalité heureuse et créative (Bornarel, Gauzin-Müller, Madec, 2018), le milieu de la construction représente une part considérable des rejets de gaz à effet de serre dans le monde. La pollution générée par ce secteur représente aujourd'hui environ 40% de la pollution globale. Sur ces 40%, 60% sont directement en lien avec la destruction et les déchets générés par la construction. Les 40 autres pour-cent sont liés au fonctionnement du bâtiment.

Avant de détruire et donc de polluer, il serait intéressant de chercher à donner une seconde vie aux bâtiments. Prenons l'exemple du Palais de Justice de Lille, actuellement occupé par la fonction de tribunal, qui sera prochainement déménagé dans de nouveaux locaux. Le bâtiment se retrouverait donc sans fonction et serait sujet à la démolition. La Ville de Lille se questionne d'ailleurs sur son avenir. Cet incroyable édifice propose une importante structure disponible en plein centre du Vieux-Lille. De plus, ce gigantesque Palais construit dans les années 70 a été conçu sans se préoccuper de sa consommation d'énergie.

L'objectif de ce travail est d'expérimenter la question de la double peau en réhabilitation et nous prendrons donc l'exemple du Palais de Justice de Lille.

Nous sommes donc face à la problématique suivante : la double peau en réhabilitation, une réponse face à la dépense énergétique des bâtiments?

Pour ce faire, nous allons dans un premier temps définir les notions et objectifs de la double peau. Dans un second temps nous nous intéresserons à des réhabilitations qui ont fait appel à ce genre de dispositif. Ensuite, nous allons analyser de plus près le Palais de Justice de Lille dans son état actuel. Enfin, nous proposerons une réponse qui vise à améliorer le comportement thermique de ce bâtiment.

L'intention est d'une part de montrer le potentiel de ce bâtiment en y intégrant un nouveau programme, et d'autre part de chercher à limiter sa consommation d'énergie en limitant les déperditions thermiques et en utilisant les apports naturellement disponibles sur le site.

Chapitre I - Le climat intermédiaire notions et concepts.

1 - Définition des concepts

a. La façade double-peau.

Selon le DICOBAT (2015), « La façade double peau est une façade légère constituée de deux parois séparées par une lame d'air ». La première paroi (extérieure) est généralement composée en grande partie de verre, la seconde (intérieure) peut être de différente nature. La façade double peau est utilisée principalement pour contrôler le climat des bâtiments, en les protégeant de leur environnement climatique de façon passive. Elle a le pouvoir de s'adapter aux changements de saison et aux besoins du bâtiment. Elle peut alors s'utiliser en deux modes différents : En hiver elle fonctionnera comme une machine à fabriquer de la chaleur par effet de serre¹, la double peau devra alors être la plus étanche à l'air possible pour conserver cette chaleur. En été elle sera utilisée comme protection contre l'apport de chaleur, où elle sera ventilée sur l'extérieur pour évacuer le surplus de chaleur produite.

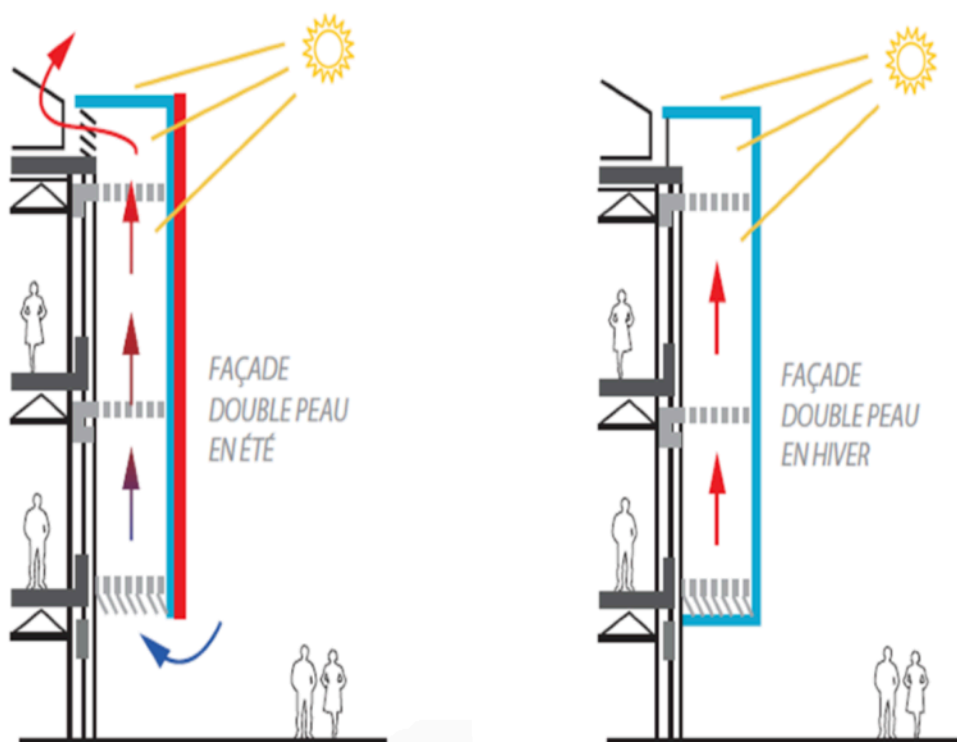


Figure 1 : Principe du fonctionnement de la double-peau en hiver et en été, Souchier Boullet.

¹ Voir la définition au Chapitre I - 1- b.

En hiver, la façade double peau va utiliser la chaleur produite par le phénomène d'effet de serre, former une lame d'air chaud autour de la façade intérieure et ainsi créer un climat intermédiaire entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment. Ce climat intermédiaire va permettre de réduire les échanges thermiques à travers la façade principale et donc limiter les déperditions de chaleur. La chaleur produite va également pouvoir être utilisée pour préchauffer l'air neuf introduit dans les locaux. Cet air sera conduit et diffusé de façon naturelle ou mécanique dans les espaces intérieurs.

Un système de chauffage en soutien reste parfois nécessaire.

En été, la double peau va fonctionner comme un écran contre le rayonnement solaire. Son rôle est alors d'éviter que l'effet de serre se produise dans le bâtiment (où il fera augmenter la température des espaces), mais plutôt dans l'espace de double peau (où la chaleur produite sera facile à évacuer par une ventilation naturelle ou mécanique). Des dispositifs de brises solaires peuvent aussi être installés pour créer de l'ombre sur la façade et ainsi limiter le phénomène de surchauffe. Cela permet donc de fortement limiter l'apport de chaleur produit par l'effet de serre.

En mi- saison, son fonctionnement sera adapté en fonction de la météo et des besoins internes du bâtiment. La double peau oscillera entre ses deux modes de fonctionnements. S'il fait froid, elle permettra donc de piéger l'effet de serre. En revanche, si la météo est plus clémente, elle basculera en fonctionnement d'été, c'est à dire comme un écran contre le rayonnement solaire. Cette oscillation entre les deux modes consiste à ouvrir ou fermer des entrées d'air. Un basculement qui peut se faire soit de façon manuelle, soit de façon mécanique.

Cependant, la température de l'air présente dans la façade double peau en hiver comme en été sera différente de la température intérieure. Cette différence de température va alors produire un échange thermique à travers la seconde façade et créer des déperditions de chaleur en hiver ou faire pénétrer la chaleur dans les locaux en été.

C'est à ce moment que l'inertie thermique par transmission² entre en jeu. Son rôle est de freiner le flux thermique provoqué par la différence de température de part et d'autre de la paroi et donc éviter les variations rapides de la température intérieure. Pour encore plus d'efficacité, il faudra utiliser une isolation thermique qui créera une barrière physique

² Voir la définition au Chapitre I - 3 - c.

entre les deux climats. De plus, les variations de la température des espaces intérieurs seront contenues par l'inertie par absorption³ des matériaux. Elle fait ainsi office de tampon thermique. L'association de tous ces éléments va permettre de fortement limiter la consommation d'énergie nécessaire pour conserver un climat agréable et constant tout au long de l'année.

L'éventuel manque de chaleur en hiver pourra être comblé par un dispositif de chauffage traditionnel. En été, le surplus de chaleur pourra être évacué dès que la température extérieure baissera, la nuit principalement.

³ Voir la définition au Chapitre I- 3 - c.

b. L'espace intermédiaire.

Comme le constate Venturi dans son ouvrage [De l'ambiguïté en architecture](#)⁴ (1976), la limite entre intérieur et extérieur est un élément fondamental en architecture. Elle crée un état de contradiction en architecture. Où est l'intérieur ? Où est l'extérieur ?

Généralement en architecture, la limite entre intérieur et extérieur est représentée par la façade ou encore la toiture. Le pouvoir de cette « ambiguïté », est de provoquer des connexions entre l'architecture et son contexte. Elles peuvent être créées par des dispositifs d'ouverture : porte, fenêtre, percement... Ils ont alors une position « intermédiaire » entre intérieur et extérieur. Quand ce dispositif de transition s'élargit pour proposer un espace, on dit alors qu'il devient un espace intermédiaire.

La notion d'intermédiaire est présentée par le LAROUSSE comme étant un élément « *Qui est entre deux choses et forme transition de l'une à l'autre, qui occupe une position moyenne* ». Ces espaces intermédiaires peuvent être matérialisés de différentes manières, comme par exemple une double-peau. Elle peut donc aussi être utilisée comme espace de transition climatique pour l'architecture et créer un climat intermédiaire, du froid extérieur vers le chaud intérieur. Celui-ci peut jouer un rôle intéressant dans l'amélioration thermique des bâtiments.

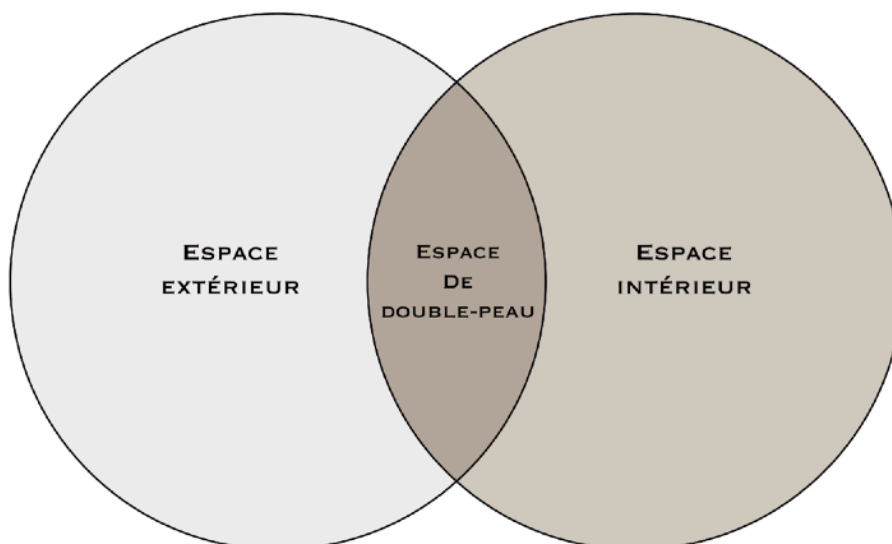


Figure 2 : La position occupée par l'espace la double-peau, (un entre deux),
Zachary ADJOU.

⁴ VENTURI Robert. *De l'ambiguïté en architecture*. 3e édition. 2020. Collection : Hors collection, 144p. Collection Dunod

c. Le principe d'effet de serre.

Pour illustrer le rôle que peut jouer l'énergie solaire sur un bâtiment, prenons comme exemple une expérience connue de tous: vous êtes déjà entré dans une voiture qui est restée un certain temps au soleil. Eté comme hiver la température à l'intérieur de l'habitacle est nettement supérieure à celle observée en extérieur. L'échauffement de l'atmosphère observé dans le véhicule clos est dû au phénomène d'effet de serre. D'après le DICOBAT (2019), il : « désigne le phénomène de « piégeage » de l'énergie calorifique du rayonnement solaire »⁵.

Rapporté à l'architecture, les surfaces vitrées des bâtiments vont être exposées au rayonnement solaire. Une partie de l'énergie électromagnétique transportée par ce rayonnement sous forme d'ultraviolets va traverser le vitrage des bâtiments. Cette énergie va être absorbée par les matériaux constituant les sols, les murs et les plafonds. En étant absorbés, ils vont subir un changement de longueur d'onde pour devenir des rayons infrarouges. Ces rayons infrarouges n'ont alors plus les mêmes caractéristiques physiques que les ultraviolets puisqu'ils ne peuvent pas traverser le vitrage, ils se retrouvent donc « coincés » à l'intérieur. Sur une certaine durée, ce phénomène a comme conséquence de faire augmenter la température ambiante : C'est ce qu'on appelle le phénomène d'effet de serre.

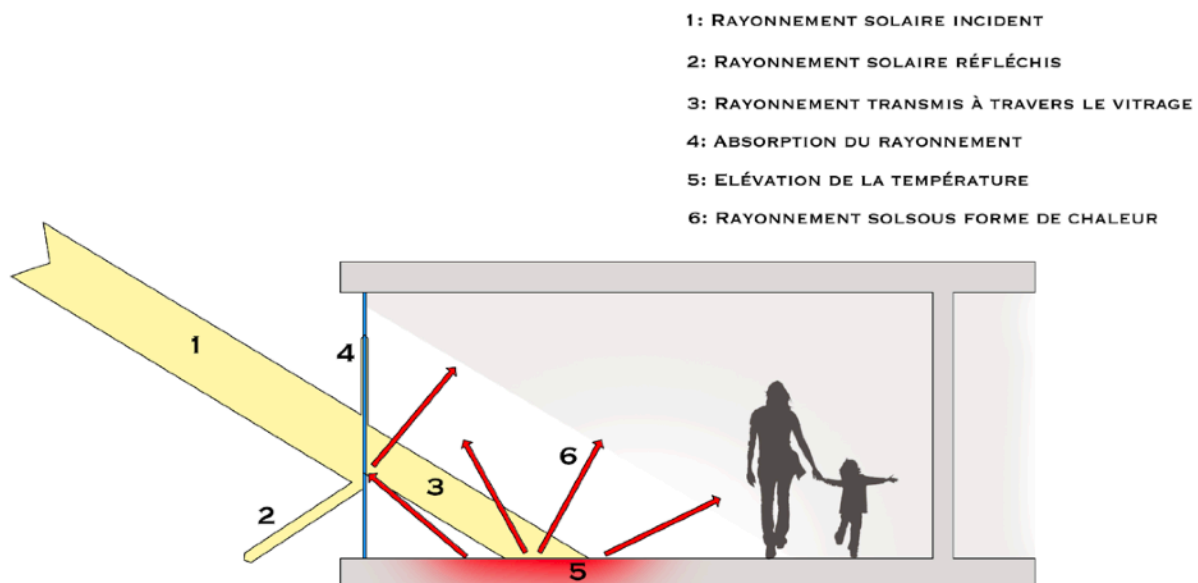


Figure 3 : Le phénomène d'effet de serre produit dans un espace clos,
Zachary ADJOU.

⁵ DE VIGAN, J. et A. *Dicobat dictionnaire général du bâtiment*. 10e édition. Arcature, 2019. 864p. Collection Dicobat. Page 699.

2 - Exploitation de l'effet de serre en architecture.

L'effet de serre est utilisé par l'homme depuis plusieurs siècles. Dans un premier temps, il a principalement été utilisé en agriculture pour abriter des plantes dans des serres botaniques lors des périodes de gel ou pour recréer un climat particulier.

Ce n'est qu'à la fin du XIXe siècle que le phénomène d'effet de serre commença à être expliqué par les scientifiques. Il a ensuite pas à pas commencé à être utilisé en architecture pour chauffer des bâtiments, toutefois, son efficacité n'a jamais été vraiment optimale. Aujourd'hui nous disposons de connaissances et de technologies suffisantes pour nous permettre d'en tirer tous les bénéfices pour le fonctionnement thermique des bâtiments à toutes les saisons.

a. La conception bioclimatique.

La façade double peau fait partie des procédés de conceptions bioclimatiques. *«On parle de conception bioclimatique lorsque l'architecture du projet est adaptée en fonction des caractéristiques et particularités du lieu d'implantation, afin d'en tirer le bénéfice des avantages et de se prémunir des désavantages et contraintes. L'objectif principal est d'obtenir le confort d'ambiance recherché de manière la plus naturelle possible en utilisant les moyens architecturaux, les énergies renouvelables disponibles et en utilisant le moins possible les moyens techniques mécanisés et les énergies extérieures au site. Ces stratégies et techniques architecturales cherchent à profiter au maximum du soleil en hiver et de s'en protéger durant l'été.»*⁶

Par conséquent, opter pour une conception bioclimatique permet de largement limiter la consommation en énergie d'un bâtiment voir de la supprimer. Ce type de conception architecturale demande une attention toute particulière à :

- L'orientation du projet : pour profiter le plus possible des apports solaires (chaleur et lumière).
- Aux caractéristiques du lieu : la conception architecturale bioclimatique s'adapte en fonction des différents climats.
- La conception : le pourcentage d'ouverture; la mise en place de brises solaires; l'organisation des espaces en fonction des usages et des besoins; le choix des matériaux, la compacité générale du bâtiment..

⁶ eRT2012, Les principes de base d'une conception bioclimatique

Utiliser au maximum les apports gratuits et naturels disponibles, c'est ce que l'architecture bioclimatique cherche à atteindre. En hiver, l'objectif est de capter un maximum le rayonnement solaire pour faire monter en température les espaces de vie, alors qu'en été on va chercher à protéger le bâtiment de ce rayonnement pour limiter la hausse de température.

b. Double-peau passive / double-peau active

La façade double peau consiste à créer de la chaleur en utilisant l'énergie solaire. Le principe est de recouvrir une façade traditionnelle (intérieure) par une façade essentiellement vitrée (extérieure). Ce système est dit « passif » : il permet de capter le rayonnement solaire, et de le transformer en chaleur par le phénomène d'effet de serre. Il existe trois types de double peau, la double peau passive, la double peau semi-passive, et la double peau active.

- La première utilise uniquement les trois mécanismes de transfert de chaleur naturelle : la conduction (un transfert d'énergie au sein d'une matière), la convection thermique (le transfert d'énergie thermique au sein d'un fluide provoquant sa mise en mouvement), et le rayonnement thermique (une émission de rayonnement électromagnétique par un corps chaud) . L'avantage de la double peau passive, est qu'elle transmet l'énergie qu'elle produit (sous forme de chaleur) à l'espace adjacent sans faire intervenir de machine. Cette transmission se fait lentement et avec un décalage dans le temps.

- La seconde (semi-passive) est une « optimisation » de la double peau passive. Elle fait appel à des technologies de régulation de l'air assez simple, en utilisant des systèmes de capteurs et d'ouvertures permettant de gérer automatiquement la ventilation naturelle, pour réguler la température au sein même de la double peau.

- La dernière, la double peau active, est différente. Elle fait intervenir en plus des systèmes de capteurs et d'ouvertures automatiques, un système de ventilation mécanique pour véhiculer directement l'air chaud vers les espaces intérieurs. Pour être intéressant énergétiquement et économiquement, la température de l'air doit atteindre 25 à 30°C au minimum afin de toujours être supérieure à la température ambiante des espaces. La serre active est donc efficace uniquement durant les heures d'ensoleillement, car la nuit l'air ne pourra pas atteindre une telle température.

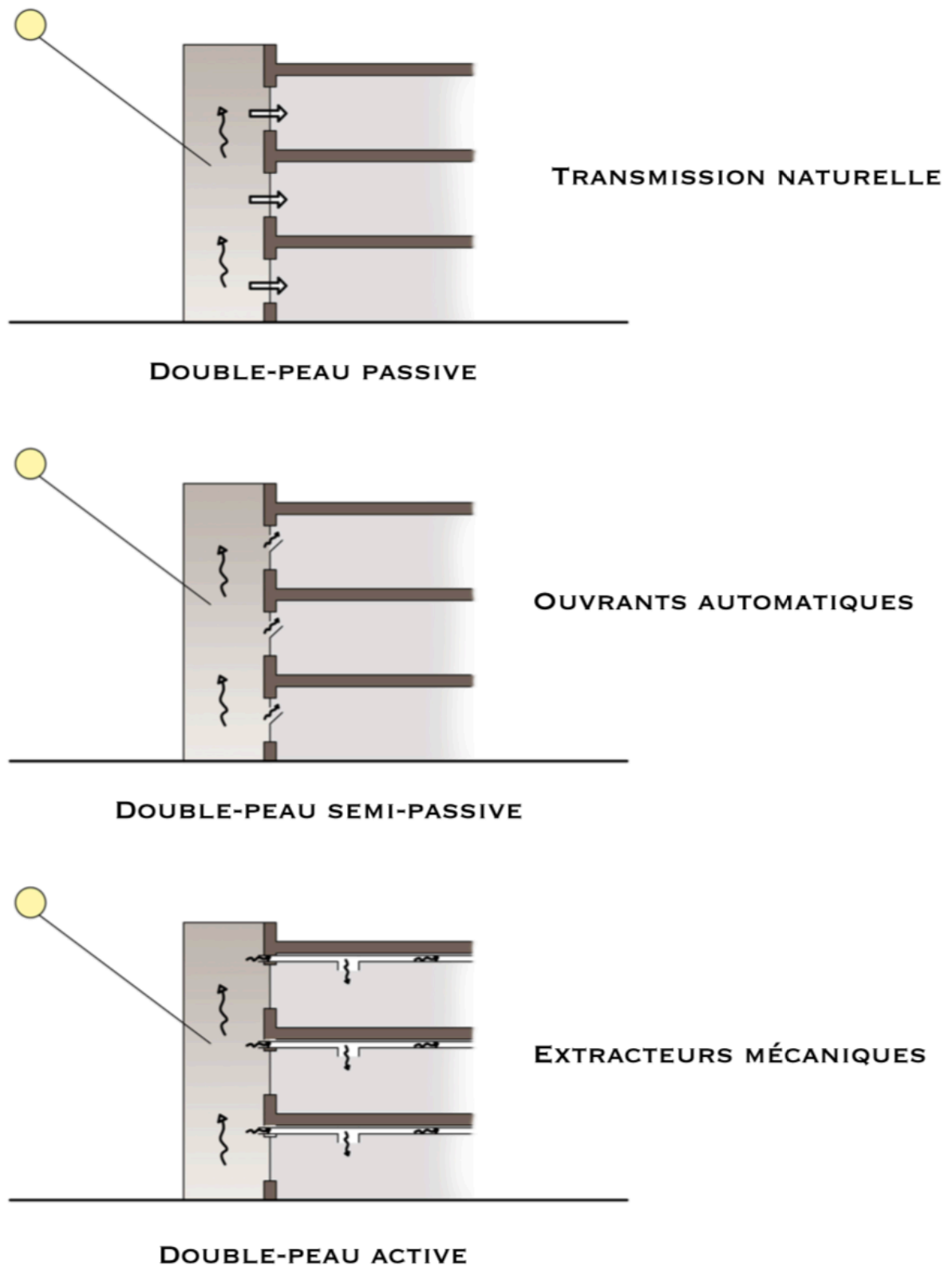


Figure 4: Les trois catégories de façades double peau, Zachary ADJOU.

3 - Objectifs et principe de la double peau.

En hiver, la température extérieure est inférieure à la température moyenne recherchée dans un bâtiment (soit environ 20°C). Les constructions dites « classiques » utilisent des systèmes de chauffage, couplés à une isolation thermique pour maintenir une température agréable. En été, le système de chauffage est remplacé par des systèmes de climatisation permettant de conserver la fraîcheur des locaux.

Le but de concevoir de façon bioclimatique, est de limiter le plus possible leurs utilisation en cherchant à capter le plus possible le rayonnement solaire. Pour cela, il faut maximiser les surfaces vitrées là où le soleil est le plus présent. C'est à dire au sud (dans l'hémisphère nord).

En été, la grande quantité de vitrage va devenir une contrainte puisque le rayonnement va avoir tendance à faire augmenter la température intérieure. C'est ce qu'on appelle la « surchauffe »

Alors comment profiter des apports en hiver tout en évitant cette surchauffe l'été ?

a. Capter et se protéger du rayonnement solaire.

Le choix et la position du vitrage.

Le type de façade qui nous intéresse est composé de deux couches : une façade intérieure traditionnelle (en maçonnerie, en béton...) généralement couplée d'un mur rideau à l'extérieur. Ce dispositif doit à la fois pouvoir capter un maximum le rayonnement solaire tout en étant le plus isolant possible. C'est toute la complexité de la façade multiple. Chaque couche a un rôle particulier à jouer. Les deux façades deviennent complémentaires pour assurer un confort thermique optimal. L'avancée technologique a permis aujourd'hui de proposer des vitrages de plus en plus performants.

Quel vitrage pour quel rôle ?

Trois coefficients sont importants à prendre en compte pour le choix du verre :

« - Le coefficient de transmission thermique surfacique moyen U s'exprimant en $W/(m^2.K)$, il permet de quantifier le flux d'énergie traversant le vitrage sur une quantité de surface. Plus ce coefficient sera grand plus le matériaux laissera passer l'énergie sous forme de chaleur.

- Le facteur de transmission de l'énergie solaire g (exprimé en %), il permet de quantifier la capacité du vitrage à laisser passer l'énergie produite par le rayonnement solaire. Plus la valeur sera petite moins le vitrage sera capable de transmettre l'énergie solaire.
- Le facteur de transmission lumineuse TL (exprimé en %), qui caractérise la capacité d'un vitrage à laisser passer la lumière naturelle. Plus la valeur sera grande plus le vitrage sera capable de laisser passer la luminosité naturelle. »⁷

Les enjeux sont différents en fonction de la position du vitrage (façade intérieure ou façade extérieure) :

- Le rôle de la façade extérieure est multiple : elle doit permettre de laisser passer un maximum les ondes du rayonnement solaire tout en étant isolante pour empêcher que la charge thermique produite par effet de serre ne puisse s'échapper. Elle doit également être capable de résister aux différentes sollicitations extérieures tel que le vent, la pluie, le gel, la sécurité du bâtiment...

Elle devra donc offrir un facteur de transmission énergétique g le plus grand possible (qui laisse passer le rayonnement), pour un plus grand apport en chaleur et un coefficient de transmission thermique U le plus petit possible (le plus isolant), pour conserver cette chaleur produite.

- La façade intérieure assurera surtout l'isolation thermique. Elle permet de limiter les échanges thermiques avec la double-peau afin de conserver une température la plus constante possible dans le bâtiment. Elle est aussi utile pour offrir un confort acoustique et une sécurité pour les usagers. Elle devra elle aussi proposer un coefficient de transmission thermique U le plus petit possible, pour éviter les déperditions de l'intérieur vers l'extérieur. Elle devra cependant offrir un facteur de transmission énergétique g le plus petit possible (qui ne laisse pas passer le rayonnement), pour un meilleur confort en été, par exemple en utilisant un vitrage réfléchissant.

Ces deux façades doivent avoir un facteur de transmission lumineuse le plus grand possible, afin de laisser passer un maximum de lumière naturelle.

⁷Règles de l'Art Grenelle Environnement (2012).

L'inclinaison du vitrage.

Lorsque l'énergie solaire rencontre par une paroi vitrée, une partie de cette énergie est réfléchiée, une partie est absorbée par le vitrage puis restituée de part et d'autre du vitrage, le reste sera directement transmis à l'intérieur.

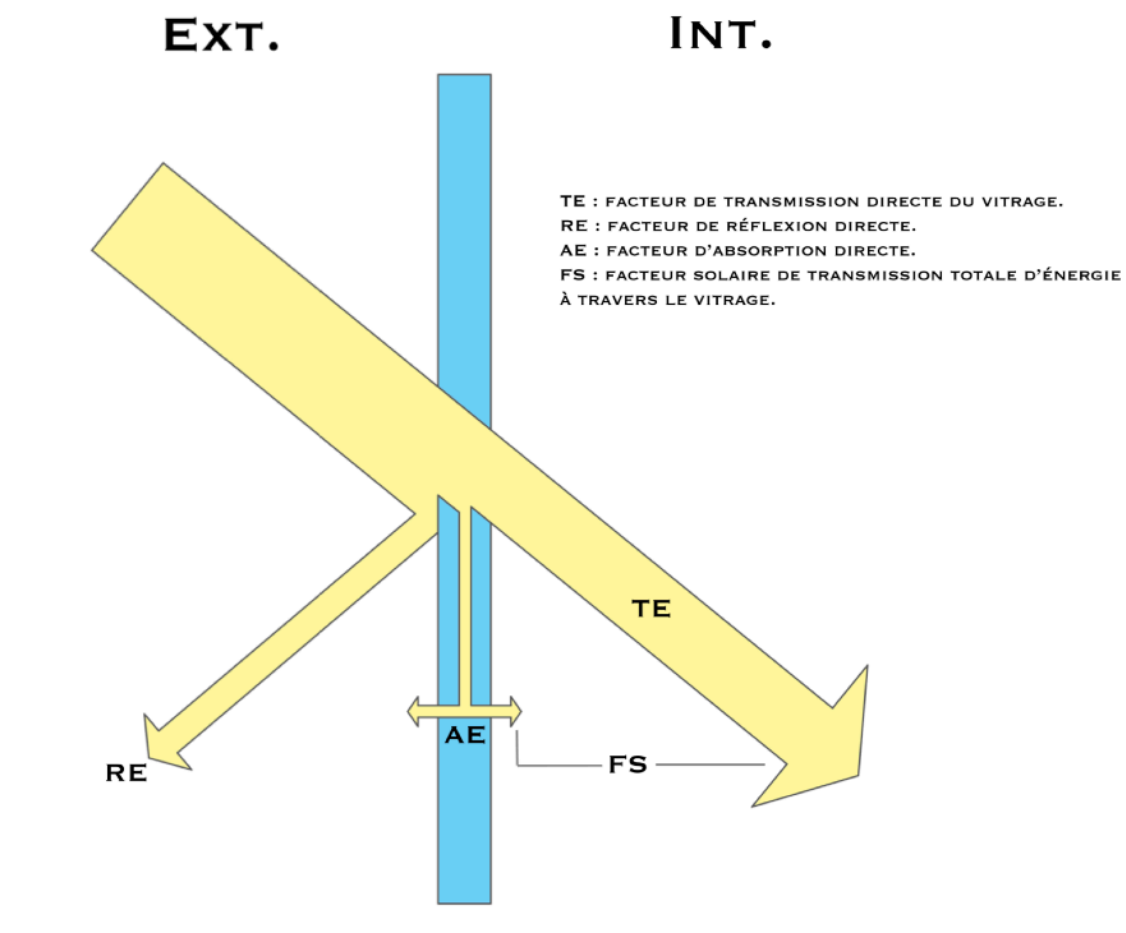


Figure 5 : Comportement du rayonnement solaire traversant un vitrage,
Zachary ADJOU.

Plus un vitrage sera orienté perpendiculairement par rapport au rayonnement solaire plus il transmettra l'énergie solaire à l'intérieur. Dans notre région, on va naturellement chercher à capter un maximum le rayonnement solaire en hiver pour profiter des apports gratuits et s'en protéger en été pour éviter la surchauffe.

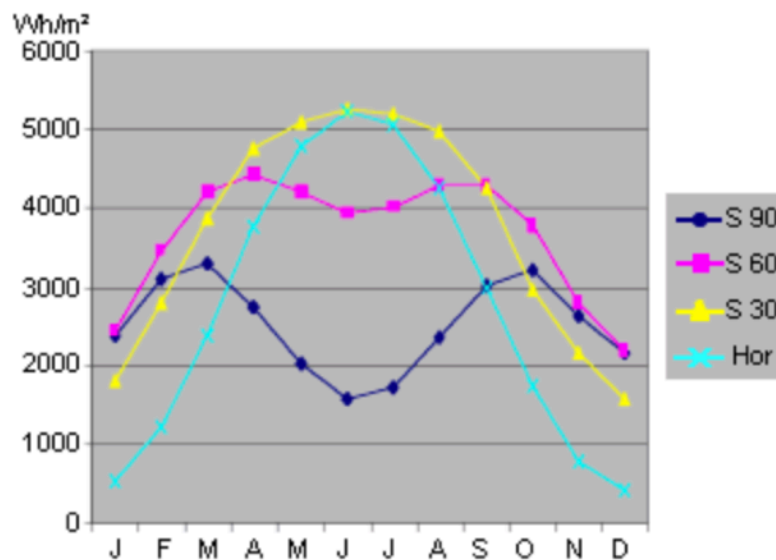


Figure 6 : Evolution de l'énergie captée en fonction de l'inclinaison du vitrage (orienté au sud dans l'hémisphère nord), energieplus.be

Ce graphique illustre l'énergie solaire captée en fonction des saisons et de l'inclinaison. D'après le graphique ci-dessus, les baies horizontales sont à proscrire dans notre région. Elles ne permettent ni de profiter au maximum du rayonnement en hiver ni de le limiter en été. L'inclinaison qui apparaît comme être la plus appropriée dans notre région est celle des baies verticales (90°). Ses caractéristiques vont dans le sens des attentes d'une conception bioclimatique, capter un maximum en hiver et peu l'été.

Se protéger du rayonnement solaire.

Comme évoqué précédemment, l'apport d'énergie par le rayonnement solaire se présente comme un élément intéressant pour réchauffer l'air au sein du bâtiment. Mais l'effet de serre pose question durant les périodes les plus chaudes.

Comment profiter des apports gratuits en hiver et de s'en protéger l'été ?

En général, quand la température de l'air intérieur devient trop importante, et qu'il n'est pas possible de rafraîchir en ouvrant les fenêtres, on va chercher à créer un apport d'air frais pour atteindre une température ambiante agréable, en installant des systèmes de climatisation. Cela permet effectivement une amélioration mais a un coût d'installation, d'entretien et de fonctionnement important. Sans oublier le sujet le plus préoccupant, les retombées écologiques : des gaz réfrigérant polluants, une grande consommation en énergie et aussi la question du recyclage des climatiseurs.

Le problème de surchauffe des espaces peut aussi être réglé par un autre moyen. Au lieu de chercher à rafraîchir l'air chaud produit par l'effet de serre avec de gros climatiseurs, on va s'intéresser à la source du problème. Il s'agit d'éviter que le rayonnement solaire n'atteigne les surfaces vitrées. C'est l'objectif principal des brises solaires utilisées pour empêcher le phénomène d'effet de serre de se produire.

Il existe à ce jour trois grandes catégories de protections solaires :

- Les systèmes mobiles : Ils permettent de s'adapter à souhait, manuellement ou automatiquement, peu importe la saison ou l'heure de la journée. Ils se présentent sous plusieurs formes : des stores ou toiles (enroulables), des ventelles (orientables et déployables en fonction de l'inclinaison du soleil). Ils peuvent être utilisés en intérieure pour empêcher que le rayonnement solaire soit capté par les matériaux lourds, tels que les murs et les sols. Mais ils n'empêchent pas l'échauffement qui se produit entre le vitrage et le store. Il est alors préférable de les placer en extérieur. Ils seront plus efficaces contre l'effet de serre, mais seront aussi soumis aux sollicitations et précipitations extérieures, le vent, la pluie, le gel... Aussi, les protections mobiles se présentent comme étant la meilleure alternative contre la question de l'éblouissement des occupants (réglable à souhait).



Figure 7 : Dispositif de store orientable extérieur. energieplus.be

- Les systèmes fixes : Ils se présentent sous deux formes, un dispositif ajouté à la façade de façon horizontale (une casquette au-dessus des baies), ou de façon verticale (de part et d'autre des baies). Ils peuvent aussi être le résultat de la conception architecturale elle-même par des éléments constructifs saillants (débord de toiture, balcon, porte à faux...). Etant donné que la position du soleil varie selon les moments de la journée et des saisons, les protections fixes doivent être dimensionnées et positionnées de telle façon à être les plus efficaces en été mais aussi à limiter la quantité d'ombre en hiver pour favoriser les apports. Le fait que la hauteur du soleil soit différente à ces deux périodes, permet de concevoir un dispositif efficace. En Belgique, l'inclinaison du soleil en hiver est d'environ 16° , en été de 63° et aux équinoxes (mi-saison) de 40° .



Figure 8 : Illustration de l'ombrage créé par un brise solaire fixe en fonction des saisons. (espace orienté au sud), Zachary ADJOU.

D'après le site energieplus.be : « Les façades d'orientation proches du sud seront les plus faciles à protéger. Une protection fixe est à même d'éliminer complètement le rayonnement direct estival sans pour autant porter une ombre indésirable en hiver. ». « Par contre, aucune protection fixe, horizontale ou verticale, ne permet de résoudre le problème propre aux façades est et ouest. Dans ces situations, une protection mobile sera de loin préférable. ».

- Les systèmes permanents : Ils se présentent quant à eux sous forme de traitement du vitrage ou de l'ajout d'un film plus ou moins filtrant. Ce filtre va limiter la transmission du rayonnement solaire mais également réduire l'apport de lumière naturelle. Les systèmes de protection permanents sont par conséquent principalement utilisés pour des espaces ne nécessitant que très peu de lumière naturelle ou d'apport de chaleur tels que les locaux informatiques.

b. Transformer et diffuser la chaleur.

Comme nous l'avons abordé dans la partie portant sur le « le principe de l'effet de serre », les matériaux exposés au soleil vont convertir l'énergie solaire en chaleur. En effet, ils vont absorber le rayonnement solaire puis le restituer sous forme de rayonnement infrarouge (de la chaleur). Cette chaleur va donc ensuite pouvoir être utilisée pour chauffer les locaux intérieurs.

La ventilation.

La ventilation est un aspect essentiel pour assurer un confort thermique. Dans le cadre d'un bâtiment recouvert d'une double-peau, la ventilation sera l'élément qui permettra l'hiver de véhiculer l'énergie sous forme de chaleur produite par l'effet de serre vers les espaces intérieurs. En été malgré les protections solaires, on observe quand même une production de chaleur par effet de serre. La ventilation sera à ce moment utilisée pour évacuer les résidus de chaleur indésirables.

Les types de ventilation :

- La ventilation naturelle : elle est produite par le phénomène de convection naturelle. L'air chaud moins dense que l'air frais, subit un déplacement naturel de bas en haut. Autrement dit dans un espace clos, l'air le plus chaud se retrouve en partie haute et l'air le plus frais en partie basse.

En hiver la double-peau va rester fermée en partie haute, pour conserver la chaleur. En hiver, l'air neuf va pénétrer par une petite ouverture en partie basse. Il est réchauffé par le rayonnement solaire, puis dirigé dans les espaces intérieurs du bâtiment par convection naturelle et conduction.

En été, on va chercher à faire évacuer l'air chaud présent dans cette double-peau. L'ouverture en partie basse sera plus largement ouverte, et on va de la même façon ouvrir la double peau en partie haute pour faire évacuer l'air le plus chaud par effet de cheminée (tirage thermique).

- La ventilation mécanique : autrement appelée la ventilation forcée. Ce procédé fait intervenir des extracteurs motorisés pour accélérer le mouvement de l'air. Comme nous l'avons vu, il s'agit d'un processus à faible température. Pour qu'il soit efficace, la température doit s'élever entre 25 et 30 °C avant d'être injectée dans les espaces adjacents.

- La ventilation hybride : Cette dernière est basée sur le principe d'une ventilation naturelle, complétée par de faibles extracteurs pour optimiser son efficacité.

Le compartimentage.

La façade double-peau comme son nom l'indique est composée de deux parties : l'une en contact avec l'intérieur du bâtiment et l'autre en contact direct avec l'environnement extérieur. L'espace intermédiaire qui en résulte peut être conçu de deux manières : Elle peut être interrompue à chaque niveau de plancher. Chaque cellule fonctionne indépendamment l'une de l'autre. Cette disposition permet de créer un espace directement accessible aux occupants. Cette solution sera préférable pour la sécurité incendie, elle limite l'effet de cheminée qui attise les flammes.

Il est aussi possible d'en faire un espace continu sur toute la façade du bâtiment. Ce positionnement évitera considérablement les ponts thermiques au niveau des planchers et offrira un plus grand tirage de l'air (effet de cheminée). Il se pose cependant la question du comportement au feu qui sera dans ce cas accentué par cet effet de cheminée. D'après l'article *Règles de l'Art Grenelle Environnement* (2012).

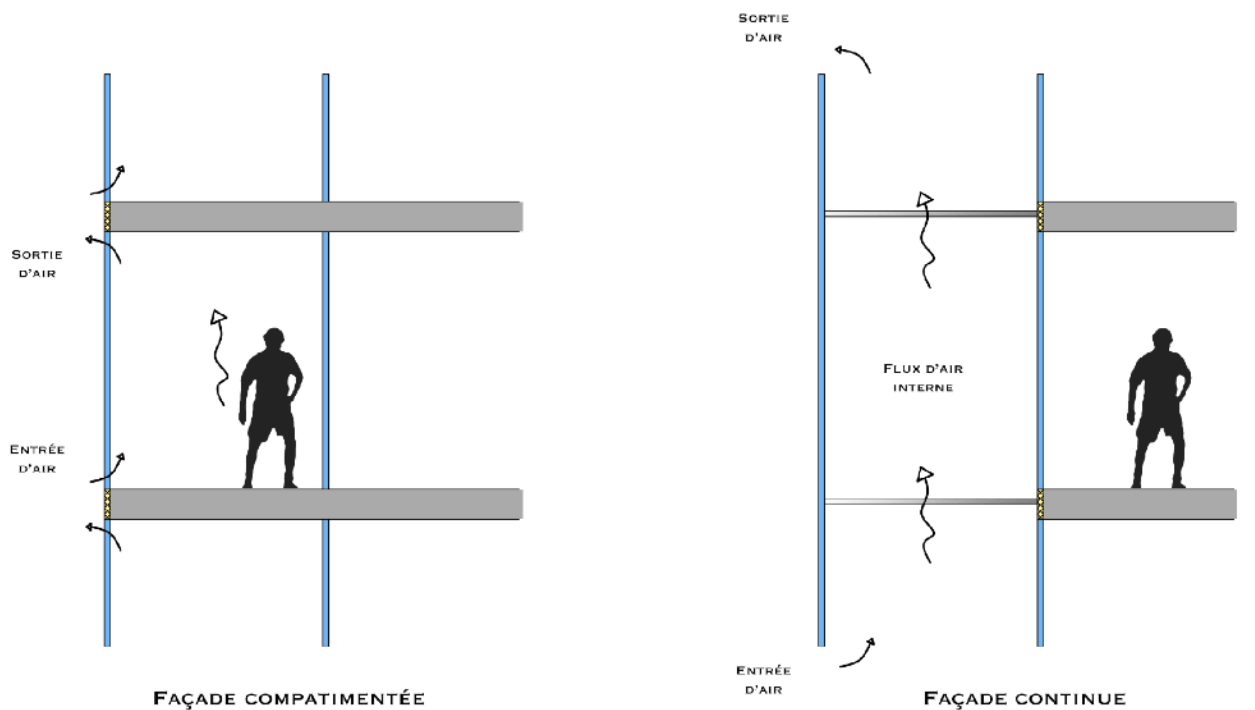


Figure 9 : Les deux possibilités d'installation de la double-peau, Zachary ADJOU.

c. Conserver la chaleur ou la fraîcheur.

Le principe d'inertie thermique.

Afin de limiter les variations rapides et importantes du climat intérieur, le principe d'inertie thermique va jouer un rôle important et ce de deux manières complémentaires :

L'inertie par transmission :

« Cette grandeur détermine la vitesse à laquelle un matériau est susceptible de transmettre la chaleur d'une face à l'autre d'une même paroi, en régime de température variable. » Elle se caractérise par son épaisseur et sa diffusivité, c'est à dire « sa capacité à ralentir le transfert de chaleur exprimée en m^2/s ». Autrement dit, plus un matériau aura une faible diffusivité et une forte épaisseur, plus il sera capable de freiner la transmission de chaleur.

Contrairement à un matériau isolant (qui est efficace tout le temps), l'inertie par transmission fonctionne uniquement si les variations de température entre l'air et le matériau sont importantes, comme par exemple lors des périodes de fortes chaleurs.

Elle va ralentir la vitesse de transmission et l'amplitude de la chaleur. Le ralentissement va provoquer ce qu'on appelle un déphasage. La chaleur captée le jour du côté extérieur va arriver à l'intérieur avec un décalage, une fois la nuit tombée, le moment où il est possible d'aérer les locaux pour faire baisser la température. La surface des matériaux de façade a tout intérêt à être la plus compact possible, afin de limiter les échanges thermiques.

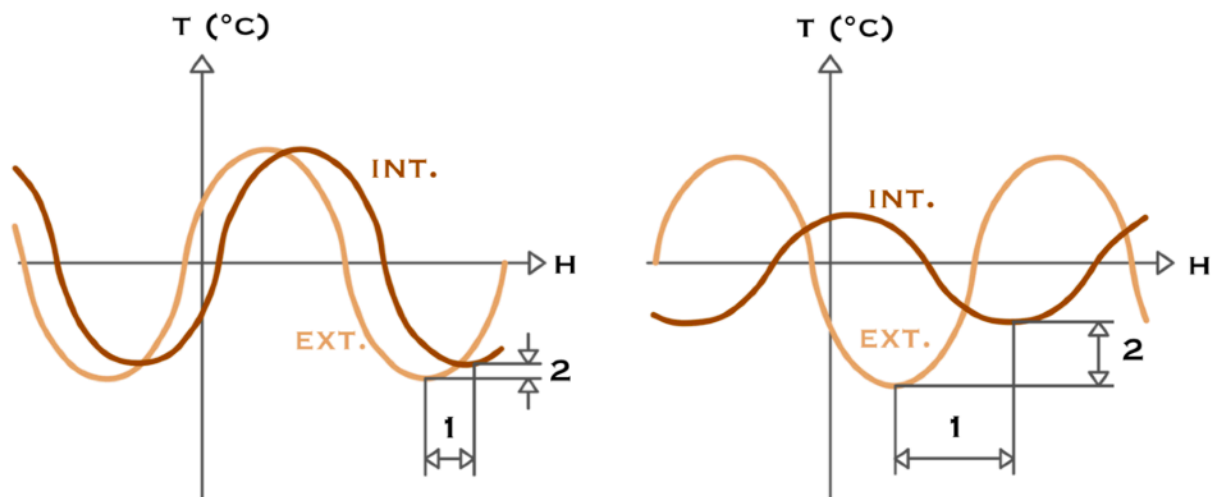
La baisse de l'amplitude est due au fait qu'une partie de la chaleur sera évacuée du côté extérieur de la façade. L'inertie thermique ne peut pas remplacer une isolation thermique, elle est surtout utilisée pour éviter la surchauffe des espaces en été.

L'inertie par absorption :

« Cette grandeur détermine la capacité d'un matériau à stocker ou déstocker rapidement une grande quantité d'énergie thermique en régime de température variable. » Elle se caractérise par sa surface de contact et son effusivité, c'est à dire « sa capacité à échanger de l'énergie thermique avec son environnement en $J/m^2/K/s^{1/2}$. » Autrement dit, plus un matériau aura une effusivité et une surface de contact importantes, plus il sera capable de stocker ou libérer l'énergie rapidement. Les surfaces irrégulières offriront plus de surface d'échange et donc stockeront et déstockeront la chaleur plus rapidement.

L'inertie par absorption fonctionne elle aussi lors d'importantes variations de température entre le matériau et son milieu. Cependant elle s'applique uniquement aux variations de températures intérieures. Elle fonctionne comme une éponge thermique, elle va stocker ou libérer de la chaleur en fonction des conditions climatiques jusqu'à retrouver un équilibre entre les deux. En été elle va donc stocker le surplus de chaleur présent dans l'air et ainsi éviter la surchauffe des locaux. En hiver elle va déstocker son énergie pour compenser le froid ambiant.

La conception bioclimatique utilise des matériaux à forte inertie thermique. Ce qui permet de limiter les variations rapides de température aussi bien en été qu'en hiver.



1: DÉPHASAGE
2: AMORTISSEMENT

Figure 10 : Comparaison respective de l'évolution de la température intérieure dans un bâtiment à faible et forte inertie thermique, Zachary ADJOU.

L'isolation thermique.

Elle est définie par le Dicobat comme étant « L'ensemble des techniques mises en oeuvre pour limiter les déperditions thermiques, c'est à dire ralentir les flux calorifiques allant de l'intérieur des locaux (chauffés) vers l'extérieur quand la température extérieure est inférieure à la température intérieure. (...) Une bonne isolation thermique doit aussi être efficace dans le sens inverse, pour améliorer le confort d'été, en contribuant au maintien d'une température inférieure à la température extérieure.»

L'ajout d'une isolation thermique est donc essentiel pour limiter les échanges thermiques avec l'extérieur qu'il soit chaud ou froid. Cependant son utilisation et sa mise en oeuvre doivent être maîtrisées. Pour plus d'efficacité, l'isolation doit être la plus continue possible sur l'ensemble du bâtiment. C'est pourquoi, il est également conseillé d'opter pour une isolation par l'extérieur, c'est à dire de faire en sorte que la structure soit du côté « chaud ». Cela permet d'une part de considérablement limiter les ponts thermiques au niveau des noeuds constructifs, mais aussi de profiter au mieux du pouvoir d'inertie par absorption des matériaux du gros oeuvre.

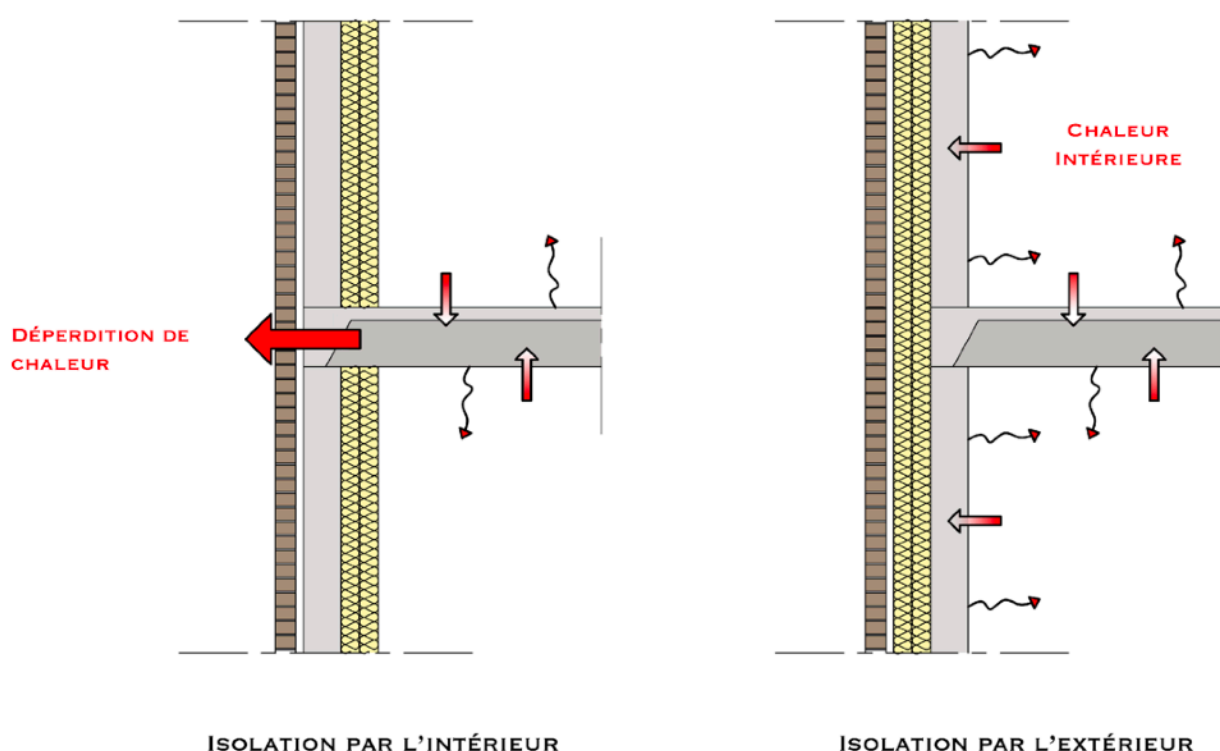


Figure 11 : Les possibilités de mise en oeuvre d'une l'isolation thermique, Zachary ADJOU.

Le free cooling

Comme nous l'avons vu, les matériaux à forte inertie vont absorber et stocker la chaleur produite en journée. La nuit, cette énergie va naturellement être rejetée dans l'air par les matériaux lourds et faire monter la température. C'est à ce moment précis que le « free cooling » est intéressant.

D'après le Guide Bâtiment Durable le free cooling « est une technique de rafraîchissement passif des bâtiments. Elle utilise l'air extérieur lorsque sa température est inférieure à la température ambiante du bâtiment. Elle peut être l'unique système de refroidissement choisi ou se combiner à d'autres. Ce free-cooling mécanique, naturel ou hybride selon les cas, a un potentiel de refroidissement limité en demi-saison et en période estivale durant la journée. »

Ce système est utilisé pour les périodes les plus chaudes de l'année. L'objectif est de faire circuler un maximum l'air frais prélevé en extérieur à travers tous les espaces pour faire baisser la température de l'air.

Dans un bâtiment sur plusieurs niveaux, il est conseillé de faire fonctionner chaque étage indépendamment en prenant en compte les facteurs suivants pour activer ou non l'ouverture des entrées d'air (système automatisé) : l'heure ; la température intérieure ; la température extérieure ; la température du béton ; la vitesse du vent.

Le free cooling est très efficace pour éviter que les matériaux se chargent en calorie au fil du temps et risquent de ne plus être efficaces pour conserver une fraîcheur dans les locaux.

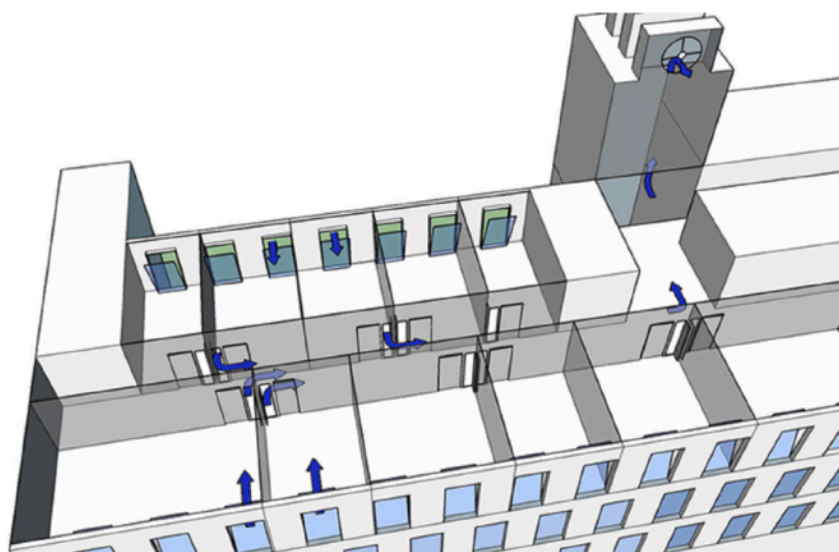


Figure 12 : Illustration du principe du free cooling, energieplus.be

Chapitre II – Etude de cas

1 - Réhabilitation thermique du Campus Scientifique de l'Université de Bordeaux.

L'intention des architectes de l'agence AUA Paul Chemetov était de travailler sur l'amélioration thermique et la valorisation des bâtiments vétustes qui composent le campus scientifique de Bordeaux.

Le projet concerne la rénovation de six bâtiments construits en 1961.

Comme la majorité des constructions de cette période, les façades sont conçues sans isolation thermique. Le confort thermique intérieur des espaces était assuré par le biais d'équipements de chauffages en hiver. Concernant le confort l'été, aucun système de climatisation n'a été installé.



Figure 13 : L'un des bâtiments avant l'intervention,
franckbottéconsultants.com

Leur démarche a été de chercher à diminuer considérablement les besoins énergétiques tout en augmentant le confort intérieur des espaces d'enseignement.

Contrairement à une réhabilitation thermique classique, c'est à dire en isolant le bâtiment, la solution a été de doubler les façades existantes d'une seconde peau en verre.

« Plutôt qu'une réponse plus normative qui aurait conduit à isoler par l'extérieur l'ensemble des bâtiments, ou d'une demi-mesure qui aurait consisté à les isoler par l'intérieur (...) nous avons développé le parti-pris d'un principe de façade bioclimatique.»

Ce procédé innovant consiste à ne pas modifier la façade du bâtiment mais le climat qui l'entoure :

En hiver, La double-peau va créer un climat intermédiaire entre l'intérieur et l'extérieur. L'effet de serre produit par la double-peau au sud forme un « coussin » d'air chaud, ce qui va considérablement réduire les pertes de chaleur par la façade existante et par la même occasion les besoins en chauffage du bâtiment. La grande particularité du projet est que l'énergie produite par la façade sud profite également à la façade orientée au nord (où il n'y a pas de soleil). Les ingénieurs de l'agence Franck Boutté ont imaginé un système de mise en mouvement de l'air autour du bâtiment. En se réchauffant, l'air de la façade sud va subir ce qu'on appelle la convection naturelle (mouvement du bas vers le haut). Cet air va être récupéré en partie haute et être transféré vers la façade nord par une ventilation mécanique. L'air arrivant dans un milieu plus froid va se refroidir et subir de nouveau la convection naturelle (cette fois-ci du haut vers le bas), elle sera alors une nouvelle fois transférée (en partie basse) vers la façade sud et continuer ce mouvement cyclique indéfiniment. Cette technique permet d'équilibrer la température entre les deux façades.

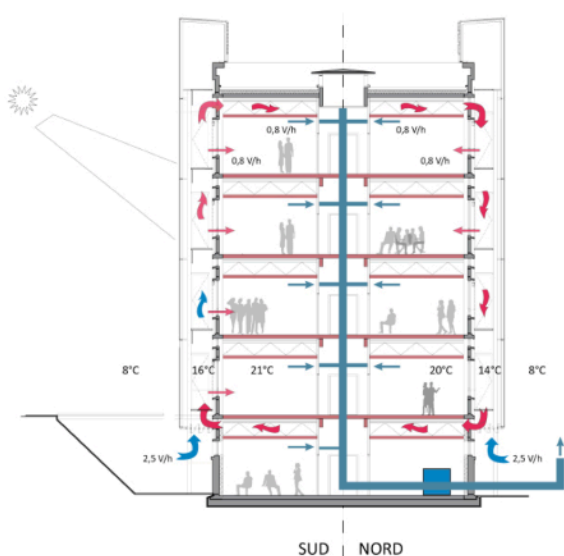


Figure 14 : Fonctionnement de la double peau en hiver, franckboutteconsultants.com

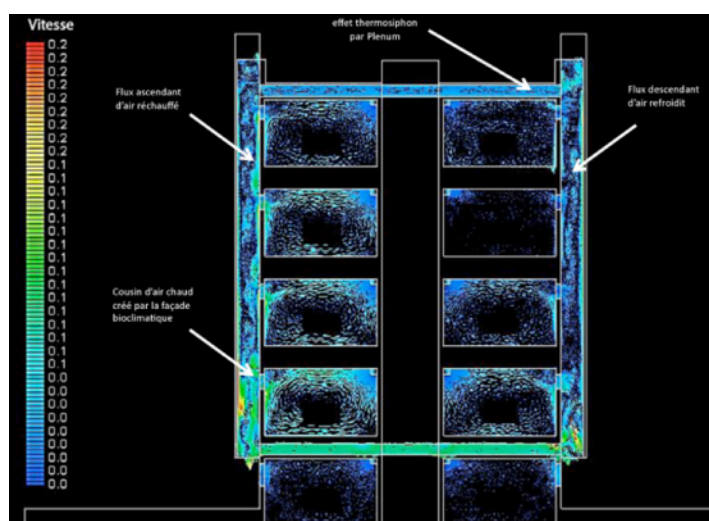


Figure 15 : Simulation informatique de la vitesse du vent, franckboutteconsultants.com

En été, pour éviter que la chaleur ne s'accumule dans la double peau, elle va fonctionner comme une cheminée. Des ventelles seront automatiquement ouvertes en partie basse et en partie haute. L'objectif est de ventiler au maximum la façade pour faire évacuer la chaleur produite par l'effet de serre. L'air neuf extérieur entre en partie basse et s'échappe en partie haute par le phénomène de convection naturelle.



Figure 16 : Ventelles en partie basse et haute, construction21.org

Cette nouvelle couche ajoutée à la façade existante repose sur une structure en acier. Elle est auto-portante et se stabilise en s'accrochant sur la façade initiale.



Figure 17 : Bâtiment après l'intervention, franckbouteconsultants.com

La façade bioclimatique permet à la fois d'améliorer le confort mais aussi de conserver la qualité intrinsèque des façades.

Paul Chemetov de l'agence d'architecture AUA déclarait : « Ainsi nous avons voulu profiter au maximum des spécificités des bâtiments existants ; il ne s'agit en aucun cas de gommer derrière un bardage isolant les modénatures, rythmes et tessitures mais au contraire d'utiliser les qualités intrinsèques de ces bâtiments. ».

Au-delà de son apport thermique, cette peau offre une nouvelle image pour le campus et de nouveaux usages : des jeux de reflets multiples de la peau vitrée, l'utilisation pour la signalétique - ou aussi des projections pour des événements - devient possible.

Ce dispositif a d'ailleurs été salué pour son caractère innovant et révélateur du patrimoine architectural existant.



Figure 18 : Utilisation de la peau à l'échelle du campus.

franckbottéconsultants.com

Les caractéristiques du projet

- **Le programme des espaces intérieur** : Bâtiment scolaire Université de Scientifique.
- **Programme de la double-peau** : pas de fonction pour la double-peau. Seulement des passerelles pour évacuation d'urgence.
- **L'orientation des façades double-peau** : Nord et Sud.
- **Dimensions du bâtiment** : 60m x 14m x 21m (5 étages).
- **Type de distribution des espaces** : Couloir central.
- **Le type de climat** : Climat océanique (tempéré sans saison sèche).
- **Le type de protection solaire** : Pas de dispositif particulier.
- **Le type de vitrage et inclinaison de la double-peau** : Verre feuilleté posé verticalement.
- **Système constructif du bâtiment** : Poteau/poutre en béton
- **Le type de façade existante** : Façade porteuse en maçonnerie avec allège, ouverte à 50%.
- **Intervention sur la façade existante** : Remplacement des menuiseries
- **Le type de ventilation** : Ventilation hybride : mécanique pour la rotation périphérique de l'air et la ventilation des espaces intérieurs. Naturelle pour l'évacuation de la chaleur en été.
- **Le système de chauffage** : Radiateurs à eau alimentés par un chauffage urbain couplé à une pompe à chaleur.
- **Le système de rafraîchissement** : Aucun dispositif.
- **L'étanchéité à l'air de la double-peau** : Etanche à 100%.
- **L'épaisseur de l'espace intermédiaire** : 2m.
- **Gain de consommation** : 40% de chauffage en moins
- **Plus-values** : Meilleur confort thermique, réduction de la consommation d'énergie, nouvelle image du bâtiment.

2 - Réhabilitation-extension de la tour Bois-le-Prêtre à Paris 17e (Lacaton & Vassal).

La tour Bois-le-Prêtre situé dans le 17e arrondissement de Paris est un immeuble de logements collectifs. Elle compte 96 appartements (T2, T3, T6) mono-orientés et distribués par une circulation centrale. Construite en 1961 elle n'était à cette époque soumise à aucune norme thermique. Le bâtiment a donc été conçu sans réfléchir à sa consommation d'énergie. Il a été équipé de chaudières très énergivores mais aucune isolation thermique n'avait été prévue.

Trente ans après sa construction, le bâtiment ne répondait plus aux normes en vigueur. La RT 1988 à l'époque imposait aux propriétaires de bâtiments collectifs d'isoler thermiquement les constructions pour réduire leur consommation d'énergie. La tour a alors subi une première réhabilitation thermique qui consistait à isoler les façades par l'extérieur et remplacer les chaudières vieillissantes par des plus performantes.



Figure 19 : La tour Bois-le-prêtre avant et après sa première réhabilitation thermique. lacatonvassal.com

Vingt-cinq ans plus tard, les objectifs environnementaux continuent d'évoluer. La première réhabilitation thermique ne suffit plus. Il se pose alors la question de démolir et reconstruire autrement ou de réhabiliter à nouveau. Ce dilemme fit l'objet d'un concours remporté par le binôme Lacaton & Vassal connu pour leur engagement écologique et social.

Leur proposition est totalement différente de la première réhabilitation. Le projet consiste à retirer les façades du bâtiment et de les recouvrir d'une nouvelle peau habitable. Une structure légère en acier préfabriquée proposant des balcons et des jardins d'hivers directement connectés aux espaces existants (séjour et chambres). L'intention du binôme d'architecte est d'offrir plus aux habitants tout en conservant le bâtiment actuel. Leur travail vise à améliorer le comportement thermique du bâtiment, le protéger des nuisances sonores causées par le boulevard bordant le site, mais aussi à améliorer la qualité spatiale des logements (augmenter la surface habitable, faire entrer la lumière naturelle, créer un rapport entre les appartements et le contexte urbain).

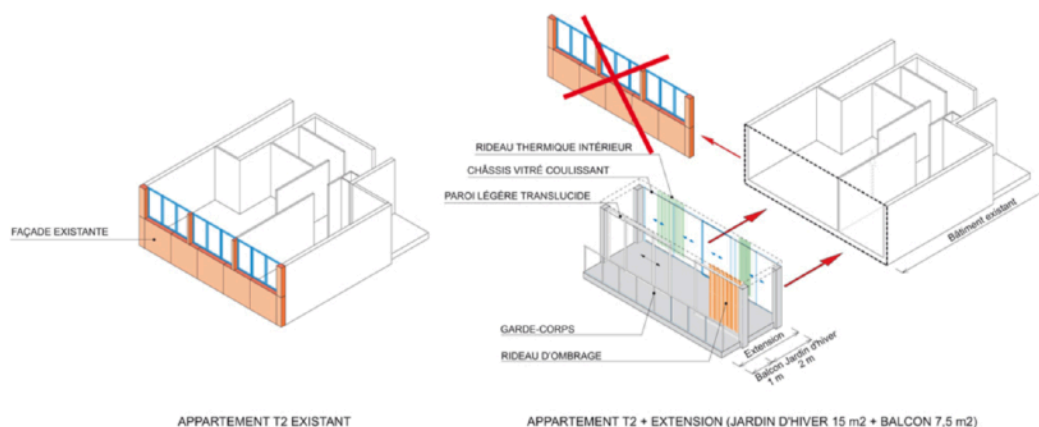
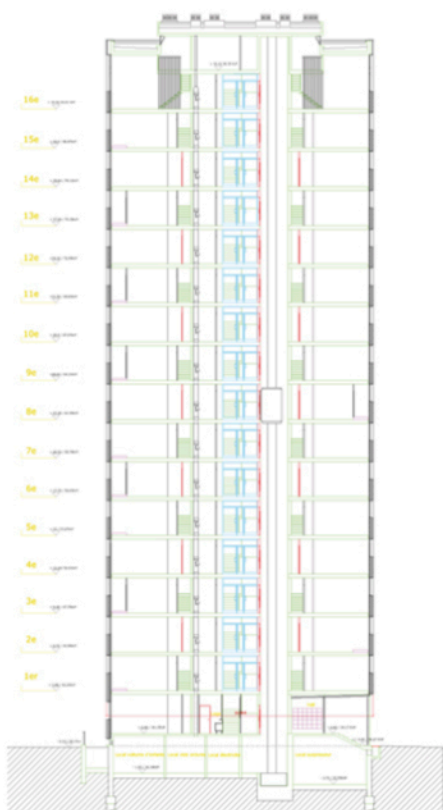


Figure 20 : Le principe d'intervention sur un appartement deux pièces. lacatonvassal.com



Figure 21 : La structure en cours d'assemblage. lacatonvassal.com

EXISTANT

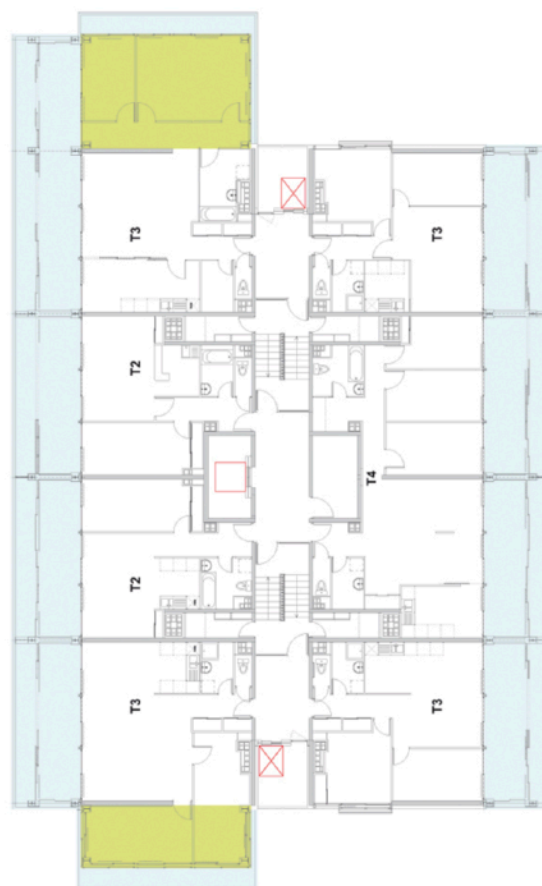
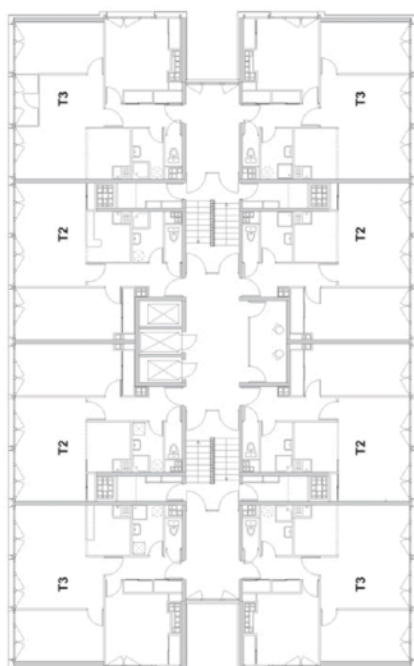


PROJET



Figure 22 : Avant, après l'installation, augmentation de la surface habitable, ouverture complète sur les jardins d'hiver et les balcons. lacatonvassal.com

Λ



En hiver, l'objectif est de profiter au maximum des apports gratuits en utilisant l'effet de serre. C'est tout le rôle du jardin d'hiver, il va capter le rayonnement solaire pour produire de la chaleur. Celui-ci va permettre de créer un tampon thermique qui protège la façade intérieure du froid. Une partie de la chaleur produite sera utile pour faire monter la température ambiante des appartements. Il suffit aux habitants d'ouvrir les baies intérieures pour laisser entrer la chaleur. Le reste des besoins en chauffage sera comblé par les radiateurs à eau existant (alimenté par des chaudières à gaz).

En été, l'objectif est de conserver la fraîcheur et éviter la surchauffe dans les espaces habités. Les balcons saillants vont servir de brises solaires fixes et produire de l'ombre pour protéger les parois en polycarbonate du rayonnement solaire. Des rideaux ont été ajoutés derrière ces parois translucides pour éviter que le rayonnement (qui pourrait éventuellement passer à certains moments de la journée) ne soit capté par les matériaux intérieurs. Des rideaux thermiques ont aussi été installés devant les baies intérieures pour limiter la transmission de chaleur aux espaces intérieurs par rayonnement. De plus, les baies de polycarbonate peuvent être ouvertes à souhait pour évacuer vers l'extérieur l'air chaud stagnant dans les jardins d'hiver.

Le choix des matériaux utilisés pour concevoir la nouvelle façade n'est pas un hasard. Les architectes ont utilisé comme vitrage extérieur des plaques de polycarbonate. Elles sont connues pour être isolantes et pour leur capacité à laisser passer une grande quantité du rayonnement solaire (ce qui va favoriser le phénomène d'effet de serre).

A l'intérieur, ils ont utilisé un double vitrage (pour une isolation optimale entre le jardin d'hiver et les espaces intérieurs). La structure autoportée en acier supporte des planchers en béton armé laissés sans revêtement de sol pour ne pas altérer leur capacité à stocker et déstocker la chaleur (c'est elles qui ont le rôle de réguler la température intérieure).

L'association de tous ces choix forme une peau capable de réguler la température des logements tout au long de l'année.

Au-delà des apports thermiques et acoustiques, cette structure offre un réel avantage aux logements. Elle prolonge les espaces intérieurs visuellement et spatialement.



Figure 23 : Vue intérieure d'un appartement avant l'intervention. lacatonvassal.com



Figure 24 : vue intérieure d'un appartement après l'intervention. lacatonvassal.com



Figure 25 : La tour après l'intervention. lacatovassal.com

Les caractéristiques du projet

- **Programme des espaces intérieurs** : Logements collectifs.
- **Programme de la double-peau** : Jardins d'hiver et balcons.
- **Orientation des façades double-peau** : Principalement Est et Ouest.
- **Dimensions du bâtiment** : 32.50m x 20m x 50m (16 étages)
- **Type de distribution des espaces** : Couloir central.
- **Type de climat** : Climat océanique (tempéré sans saison sèche).
- **Type de protection solaire** : Brise solaire fixe (débord de balcon).
- **Type de vitrage et inclinaison de la double-peau** : Polycarbonate posé verticalement.
- **Système constructif du bâtiment** : Voile et plancher béton.
- **Type de façade existante** : Façade libre ouverte à 50% (allège en maçonnerie)
- **Intervention sur la façade existante** : Suppression des allèges, ouverture à 100% des baies.
- **Type de ventilation** : Naturelle
- **Système de chauffage** : Radiateurs à eau alimenté par des chaudières au gaz individuelles.
- **Système de rafraîchissement** : Aucun dispositif.
- **Étanchéité à l'air de la double-peau** : 100%
- **Épaisseur de l'espace intermédiaire** : 3m (Jardin d'hiver 2m, balcons 1m).
- **Gain de consommation** : 50% de chauffage en moins
- **Plus-values** : Meilleur confort thermique, réduction de la consommation d'énergie, nouvelle image du bâtiment, apport de lumière, Augmentation de la surface habitable (intérieure et extérieure).

Chapitre III - Analyse du Tribunal de Grande Instance de Lille.

Le travail a débuté par la recherche d'un bâtiment ayant des qualités spatiales intéressantes, qui ne correspond plus aux normes écologiques et qui soit sujet à une réhabilitation. Le Palais de Justice dans le quartier du Vieux-Lille semble être une piste intéressante pour expérimenter la question de la double peau. En effet, ce bâtiment classé comme oeuvre majeure de la ville sera très prochainement sans fonction puisque qu'il sera dans quelques temps déménager dans de nouveaux locaux. La ville se questionne alors sur le devenir de cet édifice qui offre une vaste structure disponible en plein centre de Lille.

Une destruction ou réhabilitation ?

1 - Présentation du Tribunal.

a. Le contexte urbain.

Lille est la principale commune d'une agglomération de 95 villes qui forment la Métropole Lilloise au nord de la France. Elle se situe à proximité de la frontière belge. Ancien territoire du comté de Flandre, elle partage une identité croisée entre la culture picarde et flamande, elle est d'ailleurs encore aujourd'hui appelée la « Capitale flamande ». Lille était a son origine une ville flamande bourgeoise et commerçante. Suite à la révolution industrielle, elle devient au XVI^e siècle, l'une des grandes capitales industrielles, principalement dans le domaine du textile. Ce n'est qu'à partir des années 90 que Lille se tourne vers le secteur tertiaire. La métropole lilloise est aujourd'hui classée quatrième des agglomérations françaises.

La ville canalisée par sa citadelle et son boulevard périphérique bâti sur ses anciens remparts historiques, s'organise autour de sa Grand Place et se décompose en deux parties nord et sud. Le Tribunal de Grande Instance se situe dans la partie historique au nord, plus précisément dans le quartier du Vieux-Lille. Malgré l'évolution de la métropole, ce quartier a su garder son identité définie par une multitude de rues pavées et de l'alignement des maisons de ville longues et étroites. Les autres édifices et monuments reprennent ce même langage de façades en rang conçus dans des matériaux locaux : le grès, la brique et la pierre sculptée dans le style baroque flamand. Le tout crée un ensemble homogène et uniforme.

La seconde moitié au sud de la ville (en partie édifée par Sébastien Le Prestre de Vauban) est d'un autre registre. Elle se compose de grands boulevards tenus par d'imposantes façades de style classique en brique et en pierre.

Cependant, on retrouve le même principe d'îlots urbains clos et évidés en leurs centres pour proposer des jardins privés. Ces îlots ont des morphologies toutes différentes les unes des autres et sont occupés par de nombreux commerces et habitations.



Figure 26 : localisation du tribunal dans la ville de Lille. [googlemaps.com](https://www.google.com/maps)

b. Son histoire.

Le site actuellement occupé par le Tribunal de grande instance à connu de nombreuses occupations. Il fut dans un premier temps occupé par la collégiale Saint-Pierre, l'église principale de l'ancienne ville flamande. Construite au début du XVII^e siècle, elle a subi d'importants dégâts lors d'une attaque Autrichienne en 1792. Seule sa crypte a été conservée, elle a d'ailleurs été classée monument historique en 1971. Près d'un siècle plus tard un premier palais de justice voit le jour. Une construction de style néoclassique conçue par l'architecte Victor Leplus en 1839. Bordant les anciens quais de la Basse Deûle, cette bâtisse comptait également deux prisons où les condamnés étaient directement emprisonnés après leur jugement.



Figure 27 :Le premier Palais de Justice et ses prisons bordant les quais de la Basse Deûle, 1904. lilledantan.com

Après plus de cent ans de service, ce tribunal devenait trop petit et vieillissant. De plus, les prisons situées en plein coeur de Lille n'étaient pas rassurantes vis-à-vis des riverains, elles n'avaient plus leur place ici. Elles ont alors été déplacées en périphérie de Lille.

Au début du XIXe siècle les conditions sanitaires de Lille devenaient préoccupantes. Les quais de la Basse Deûle ont alors été réaménagés en 1930 pour devenir l'actuel Avenue du Peuple Belge. Son nom a été donné en souvenir du passé flamand de la ville.

En 1950, la ville lance un concours pour remplacer le premier Palais de Justice. « Le programme demandait quatre salles d'audiences principales, de 40 x 20 m., pour les Tribunaux civils et correctionnels et quatre salles secondaires de moindre importance, des salles de délibération, bureaux et bibliothèque, etc., les greffes du Tribunal Civil et du Tribunal de Commerce, de très importantes archives, (...) ainsi que des annexes (garages, chaufferie, etc.). »⁸. Le premier prix fut attribué en 1958 aux architectes Marcel Spender, Jean Willerval et Pierre-André Lagarde. Ils proposèrent une imposante œuvre moderne « brutaliste ». Le bâtiment sera mis en service le 2 janvier 1969.

Aujourd'hui la métropole lilloise ne cesse de se densifier. La surface qu'offre le tribunal ne suffit plus. De plus, les normes liées à l'écologie des bâtiments ont considérablement évolué en 50 ans.

Pour répondre à la demande, un nouveau tribunal situé à quelques rues de l'avenue du Peuple Belge est en cours de conception et verra prochainement le jour.

En parallèle, un projet de remise en eau de l'avenue du peuple belge est en cours de réflexion.



Figure 28 : Déménagement de l'actuel tribunal (en rouge) sur un terrain de sport plus au nord (en bleu)
[googlemaps.com](https://www.googlemaps.com)

⁸ L'architecture d'aujourd'hui, *Mies Van Der Rohe* n°79, 1958-59), p.23

Que deviendra l'actuel tribunal ?

Ce bâtiment classé comme oeuvre majeure de la ville se retrouvera dans quelques temps sans fonction. Aussi, ce mastodonte conçu sans préoccupation de sa consommation d'énergie ne correspond plus aux exigences actuelles. La ville envisage deux scénarios, le réhabiliter ou le détruire...



Figure 29 : L'actuel Palais de Justice, vu depuis l'avenue du Peuple Belge. Tomtom 3D

c. Les dispositifs architecturaux et le rapport à la ville.

Le palais de justice se situe en plein coeur du Vieux-Lille. Un quartier pittoresque, vivant et commerçant. Il occupe une position transitoire entre la rue de la monnaie, connue pour ses nombreuses boutiques et restaurants, et l'imposante avenue du peuple belge.

Le tribunal a été pensé dans l'esprit des cités judiciaires modernes. Il a été conçu dans une configuration particulière en socle-bloc très en vogue dans les années 70, c'est à dire une conception en deux volumes : une tour qui surmonte un socle plus étendu et moins haut.



Figure 30 : Position transitoire entre la rue de la monnaie et l'avenue du peuple, Zachary ADJOU.



Figure 31 : Le sous bassement crée une façade hermétique à la ville, Zachary ADJOU.

Le socle reprend la même morphologie que les îlots du quartier (figure 30). Complètement clos sur sa périphérie. Il se présente ainsi comme une maille du tissu urbain, une pièce urbaine qui occupe la totalité de l'îlot. Le socle joue le rôle d'accroche du palais à son contexte. Il respecte strictement la hauteur de référence des bâtiments voisins.



Figure 32 : L'acrotère du socle parfaitement aligné à la façade du Musée de l'Hospice Comtesse
[GoogleStreetView.com](#)

Les architectes ont proposé un soubassement en béton (variable en hauteur en fonction de l'importante topographie du site). Le dialogue répété sur les quatre façades périphériques n'a pas été interrompu pour marquer l'entrée principale. Elle est simplement définie par un porche indépendant déposé sur l'espace public. Ce sous-bassement met à distance les espaces intérieurs de leur contexte et ainsi sécurise l'enceinte du bâtiment à caractère sensible. Aussi, pour renforcer cette image de forteresse, les architectes ont choisi d'utiliser des « boucliers » de béton pour composer les façades qui reprennent le rythme des façades avoisinantes.

Pour contrebalancer ce geste fort, le socle a été évidé en son centre pour offrir un grand patio arboré autour duquel les différents espaces intérieurs gravitent. Ce dispositif permet à la fois de proposer des interactions à travers le bâtiment et également d'apporter un maximum de lumière naturelle dans les locaux. Un second patio, celui-ci plus petit permet d'éclairer les deux tribunaux se tournant vers l'intérieur.

La tour dressée au dessus du socle donne l'impression d'être en lévitation. Sur ses quatre cotés, les architectes ont voulu exprimer la verticalité du volume en utilisant des montants en béton et des baies verticales sur toute la hauteur. Sur la toiture le rapport au ciel à été travaillé par un couronnement, un volume d'un autre dialogue qui renferme les espaces techniques (ventilation et chauffage de la tour). Les neuf plateaux sont calqués sur un principe bien défini. Des espaces mono-orienté distribués par une circulation centrale.

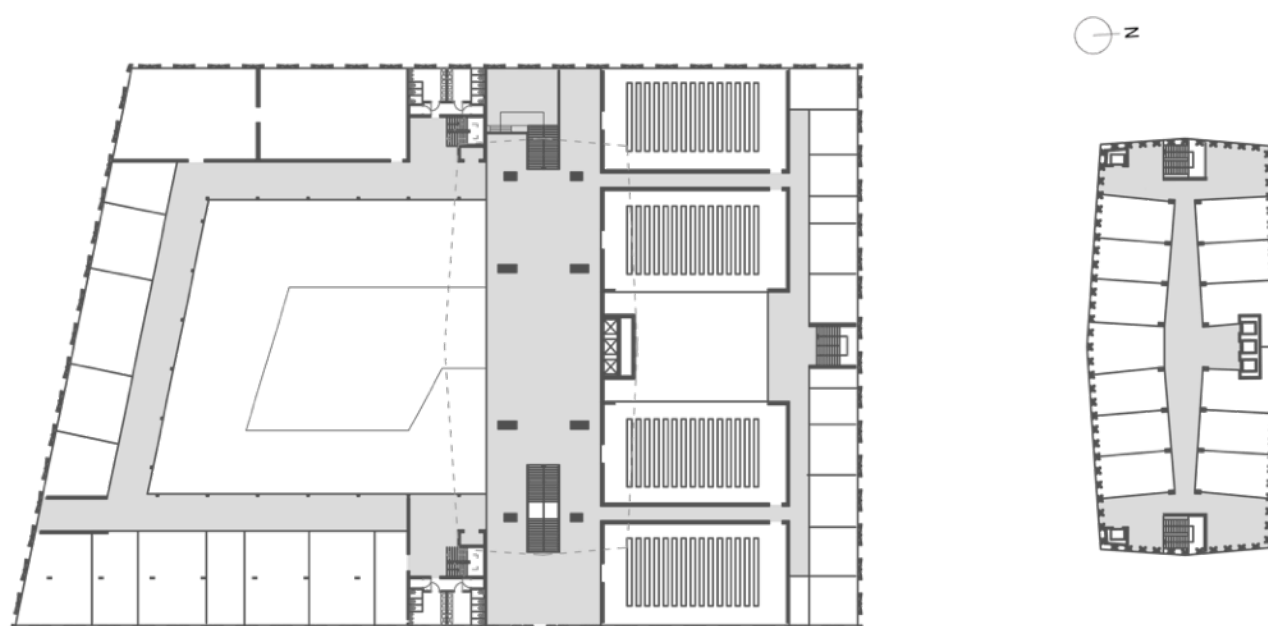


Figure 33: Plan du Rez -de-chaussé bas et plan type de la tour, Zachary ADJOU.

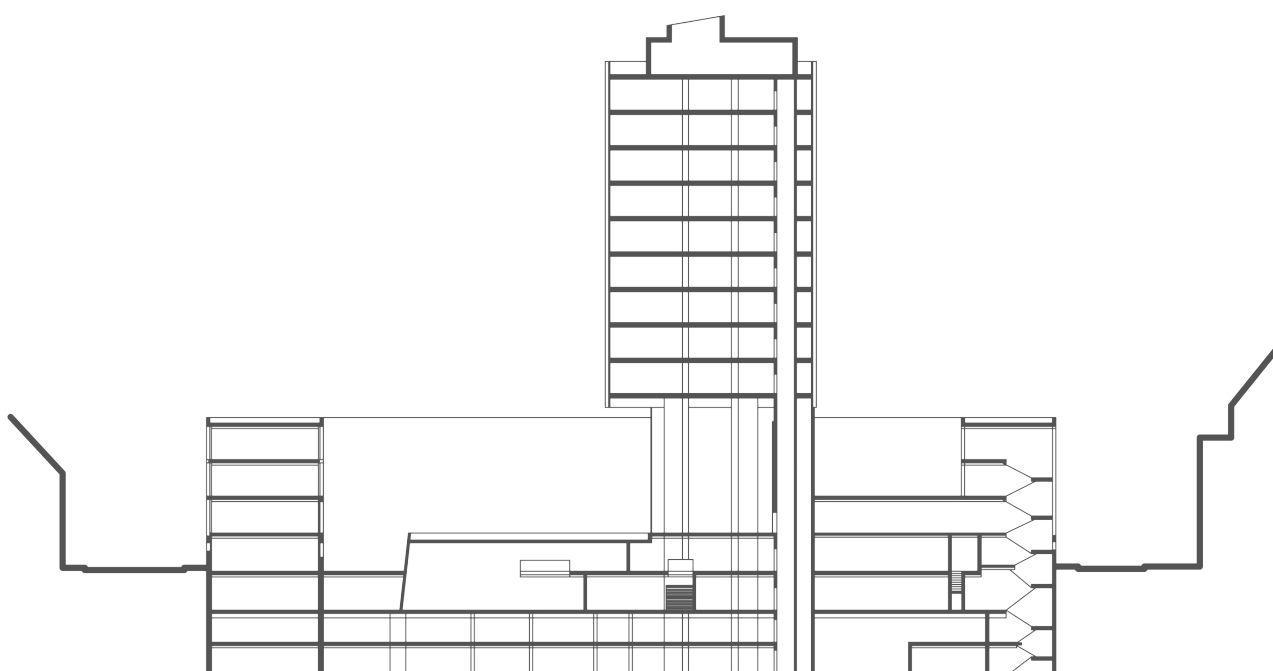


Figure 34 : Coupe longitudinale de l'ensemble du bâtiment, Zachary ADJOU.

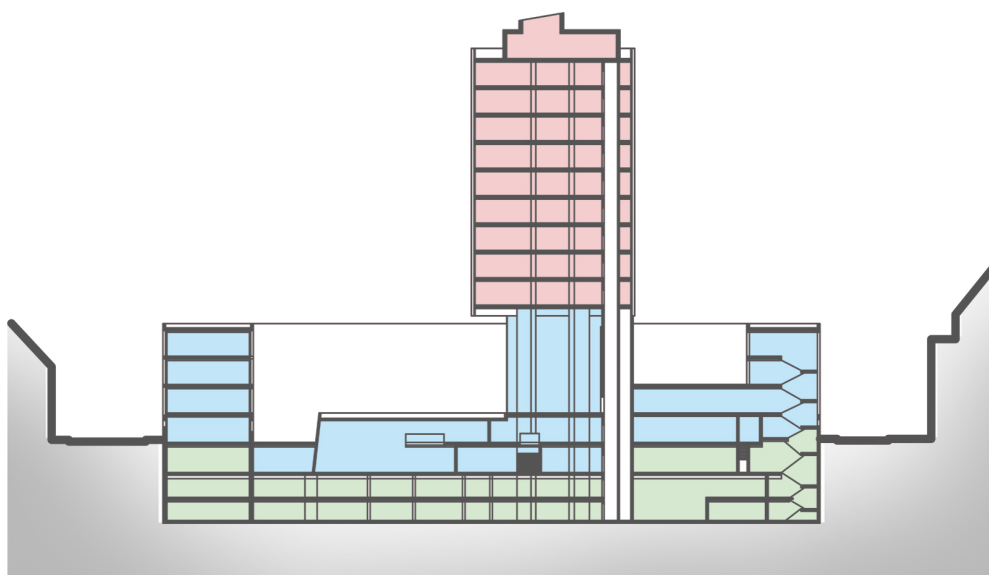
d. L'organisation spatiale (programme et circulations).

Le bâtiment renferme un programme mixte et une grande diversité spatiale. Il se divise en trois parties :

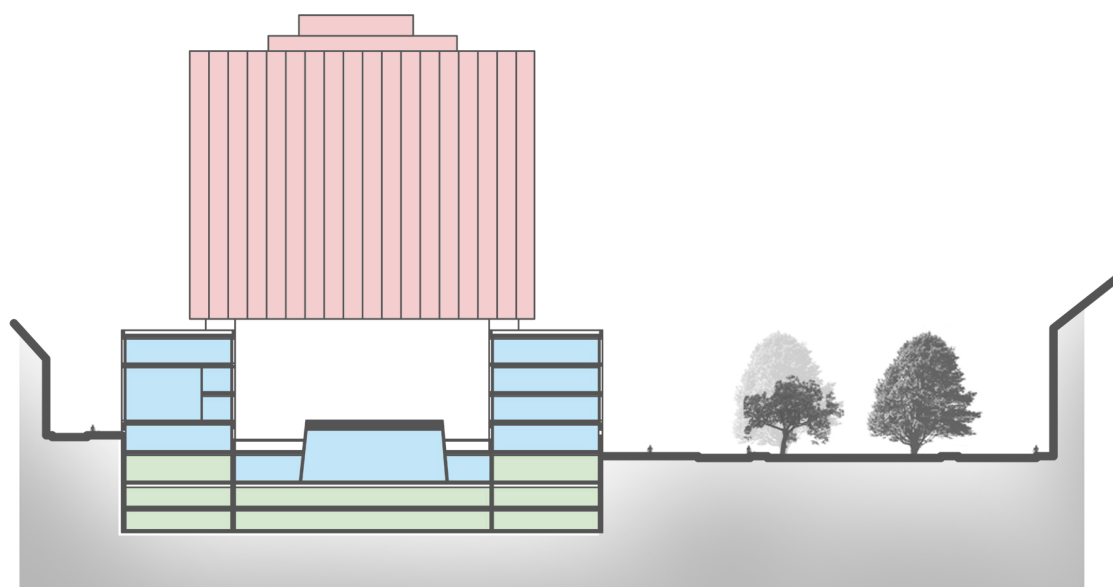
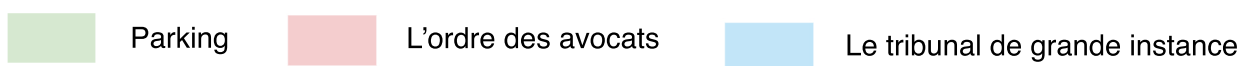
Le socle est occupé par le tribunal de grande instance. Autour du grand patio central on retrouve des espaces de bureaux, des petites salles d'audiences et une bibliothèque. Sous ce patio se loge le plus grand des tribunaux pour les jugements les plus importants. Sous la tour, on retrouve la traditionnelle salle des pas perdus, un grand atrium délimité du patio par un immense mur rideau. Accolé à cet atrium, on retrouve les quatre tribunaux principaux qui s'étirent en hauteur sur trois niveaux. Au nord sont disposées les loges des membres du jury. Le plan se répète ainsi sur les quatre niveaux supérieurs du socle.

En sous-sol on retrouve trois niveaux de parking ainsi que des locaux techniques tels que la chaufferie ou les archives du tribunal. La partie nord-ouest du sous-sol est occupée par la crypte de Saint-Pierre.

La tour qui semble être en lévitation sur le socle est occupée par les bureaux de l'ordre des avocats. Ils sont accessibles par trois ascenseurs centraux donnant directement sur la salle des pas perdus. Deux escaliers desservant les 9 étages relient la tour au tribunal.



Coupe longitudinale



Coupe transversale

Figure 35 : Organisation programmatique du Palais de Justice, Zachary ADJOU.

e. Le projet de re-canalisation de l'avenue du Peuple Belge.

Depuis que les canaux de la Basse Deûle ont été réaménagés en avenue, la vie qui était présente a disparue. Cette avenue qui était un lieu de vie du Vieux-Lille se retrouve sans fonction particulière. La voiture a envahi les lieux. Les espaces centraux sont occupés par des parkings en plein air et les espaces verts ne sont pas investis pas les Lillois.



Figure 36 : L'occupation de l'espace centrale de l'avenue du Peuple Belge par des parking, [googlestreetview.com](https://www.google.com/maps/@50.6344444,4.8333333,15t/data=!3m1!1e3!1sAvenue+du+Peuple+Belge,+Lille+50600,France)

La ville a l'ambition de redonner les qualités qui ont été perdues avec le projet d'avenue. D'après un article de Lavoixdunord⁹ le projet de remise en eau de l'avenue du Peuple Belge est en cours de réflexion.

⁹ Lavoixdunord par Patrick Seghi. (19/07/2016), *Mise en eau de l'avenue du Peuple-Belge à Lille : « Ça bouge »*, (en ligne) : <https://www.lavoixdunord.fr/24821/article/2016-07-19/mise-en-eau-de-l-avenue-du-peuple-belge-lille-ca-bouge>

2 - Diagnostic du bâtiment actuel.

a. Le dimensionnement des espaces disponibles.

Le Palais de Justice représente une séquence importante de l'avenue du Peuple Belge : une longueur totale de 85m par 56m de large. A l'intérieur, on retrouve une grande diversité spatiale avec : un patio central de 30m x 30m et un second de 11m x 13m.

La profondeur des espaces intérieurs est très variable, elle varie entre 7m à 22m. Les hauteurs sous dalle disponibles sont elles aussi variables, de 2.80m à 12.20m.

Sa tour avec ses neuf plateaux de 41.5m x 22m gravite à 50m de hauteur.

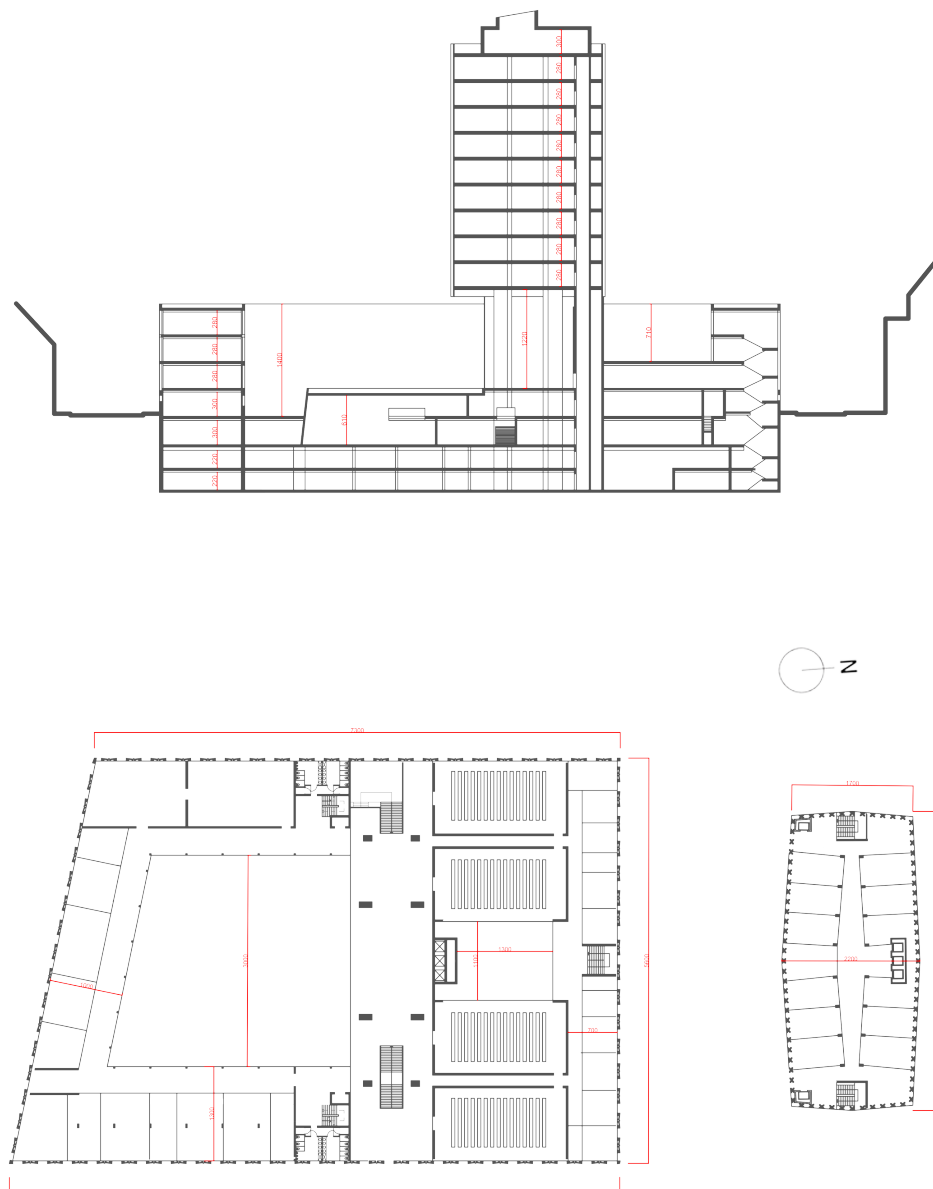


Figure 37 : Les dimensions principales du bâtiment, Zachary ADJOU.

b. La façade (composition et structure).

Le socle est constitué d'une structure poteaux/poutres en béton armée préfabriquée. Ce procédé en pleine expansion dans les années 70, permet d'avoir des modules aux dimensions précises et une finition de bonne qualité.

Les façades sont constituées de ces éléments préfabriqués supportant des poutres qui portent de façade à façade. Lorsque les façades sont trop éloignées il y a un appuis intermédiaire, soit un poteau soit un mur de refend.

Les dalles ont directement été coulées sur chantier pour solidariser l'assemblage des éléments préfabriqués.

Le contreventement est assuré par les voiles béton de refends (voir figure 42).

Les menuiseries sont des châssis fixes en aluminium et en simple vitrage, elles sont continues derrière les modules de béton (voir figure 39). L'ouverture des baies se fait par le biais de petits ouvrants verticaux disposés derrière les fentes des modules de béton.



Figure 38 : Les étroits ouvrants disposés derrière les modules de béton, Zachary ADJOU.

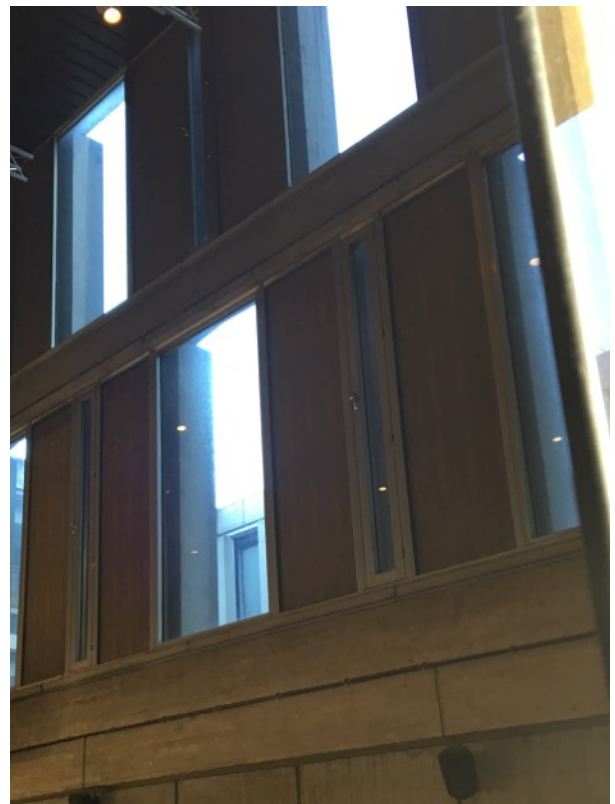


Figure 39 : Les menuisiers continues derrière les éléments porteurs, Zachary ADJOU.

La tour fonctionne sur le même principe : des montants en béton préfabriqués en façade qui viennent accueillir une poutre de ceinture sur laquelle les poutres transversales viennent se poser

Le contreventement est ici assuré par les circulations verticales, escaliers et ascenseurs.

L'ensemble de la tour repose sur un impressionnant réseau de poutre formant une base solide. Ce réseau vient être repris par deux poutres principales appuyées sur les huit piliers présents dans la salle des pas perdus.

Les menuiseries sont également en aluminium avec des chausse pivotants disposés entre chaque montants en bétons

Les façades du socle et de la tour sont dépourvues d'isolation thermique. La structure en béton fonctionne comme un exosquelette, les éléments porteurs sont directement en contact avec le climat extérieur. Les modules de béton extérieurs favorisent des ponts thermiques à travers les façades.

En hiver, on observe une déperdition de la chaleur présente à l'intérieur des espaces. Celle-ci est transmise par conduction thermique aux modules de béton qui compose les façades qui la diffuse à l'extérieur du bâtiment. C'est ce qu'on appelle un pont thermique.

En été, le système s'inverse. Ces mêmes éléments de béton captent la chaleur produite par le rayonnement solaire, puis par conduction elle sera transmise aux plancher qui la diffuseront aux espaces intérieurs.

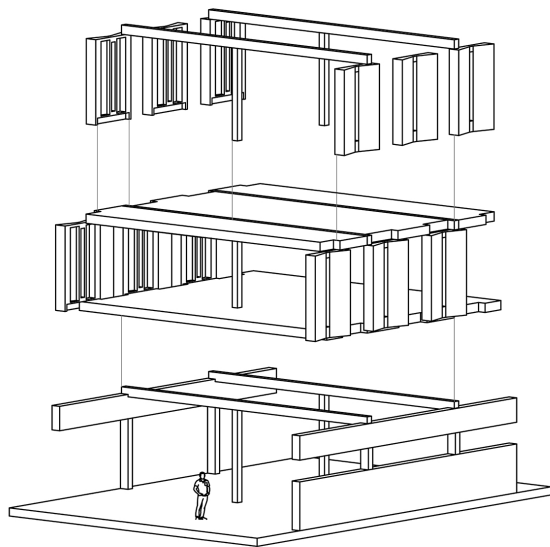


Figure 40 : Principe structurel du socle, Zachary ADJOU.



Figure 41 : Extrait de façade du socle, vue depuis le patio (les boucliers de béton), Zachary ADJOU.

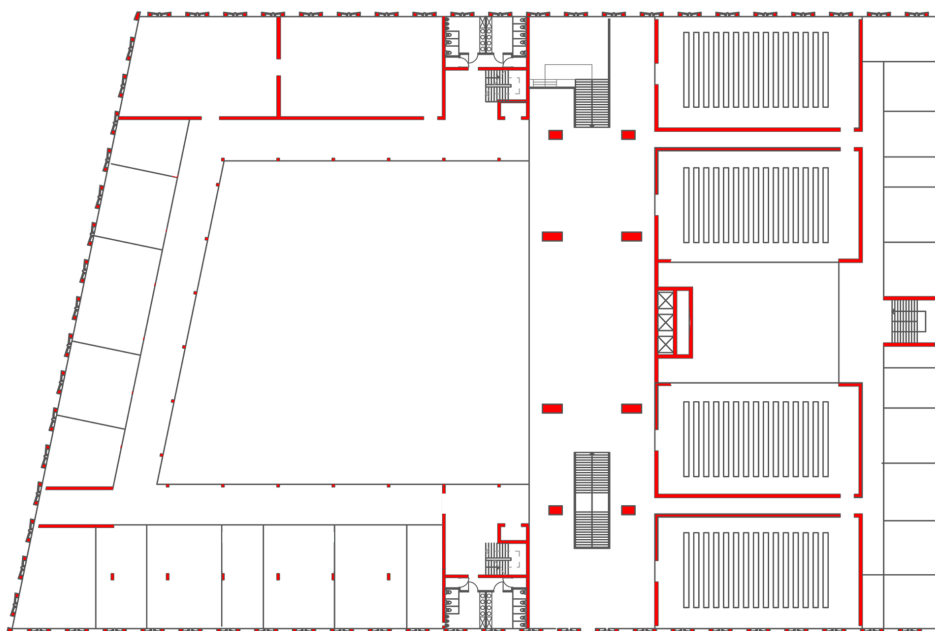


Figure 42 : Repérage des éléments porteurs au niveau du socle, Zachary ADJOU.

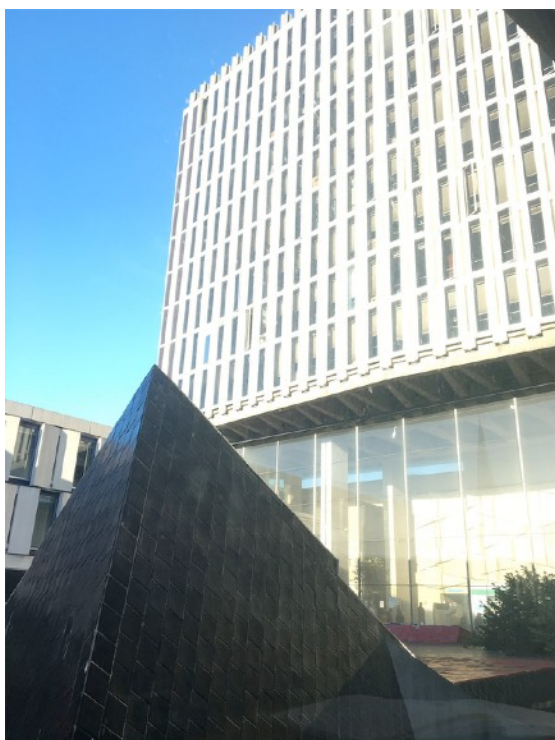


Figure 43 : Façade de la tour composée de montant en béton. vue depuis le patio, Zachary ADJOU.



Figure 44 : Réseau de poutres soutenant la tour. vue depuis la salle des pas perdus, Zachary ADJOU.

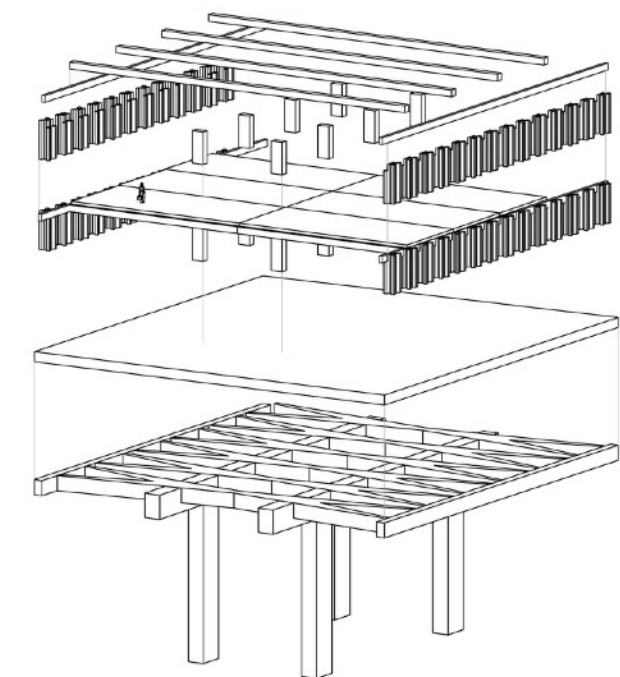


Figure 45 : Principe structurel de la tour, Zachary ADJOU.

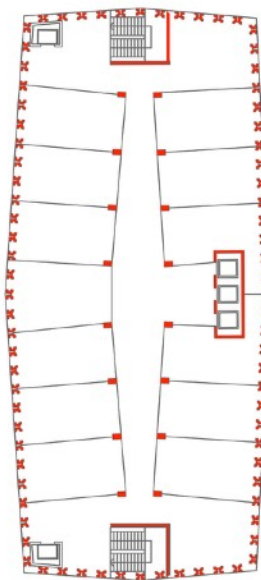


Figure 46 : Repérage des éléments porteurs répétés à chaque niveaux de la tour, Zachary ADJOU.

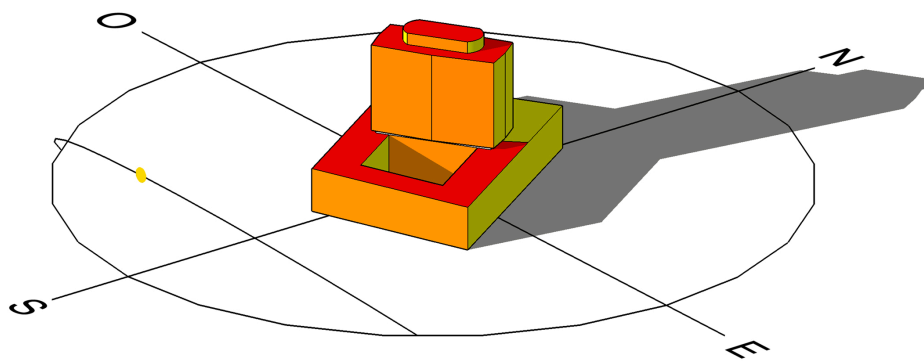
c. Le climat et l'exposition.

La région des Hauts de France a un climat similaire à celui observé dans la région parisienne. C'est un climat de type 3 : « océanique dégradé des plaines du Nord »¹⁰ où la pluviométrie annuelle est relativement élevée et les écarts de température entre hiver et été sont assez importants avec des minimums qui atteignent les - 10°C, et des maximums pouvant aller jusqu'à 40°C.

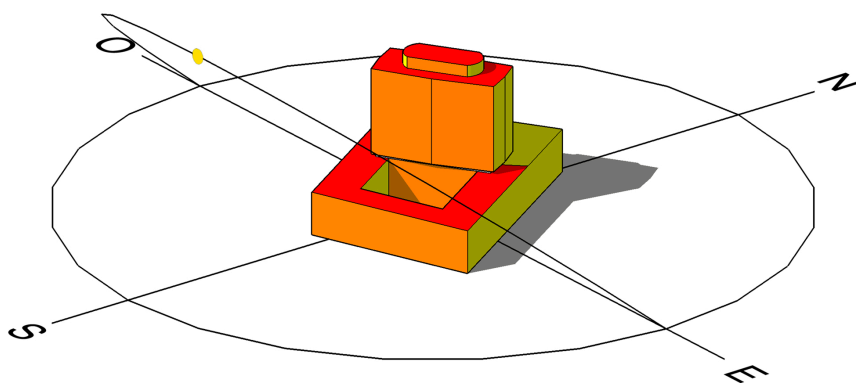
Sur les simulations ci-après, on observe que les surfaces les plus exposées au rayonnement solaire sont les toitures plates. En seconde position on retrouve les façades orientées au sud.

Cette exposition est bénéfique pour les périodes les plus froides, mais pose la question de la surchauffe en été.

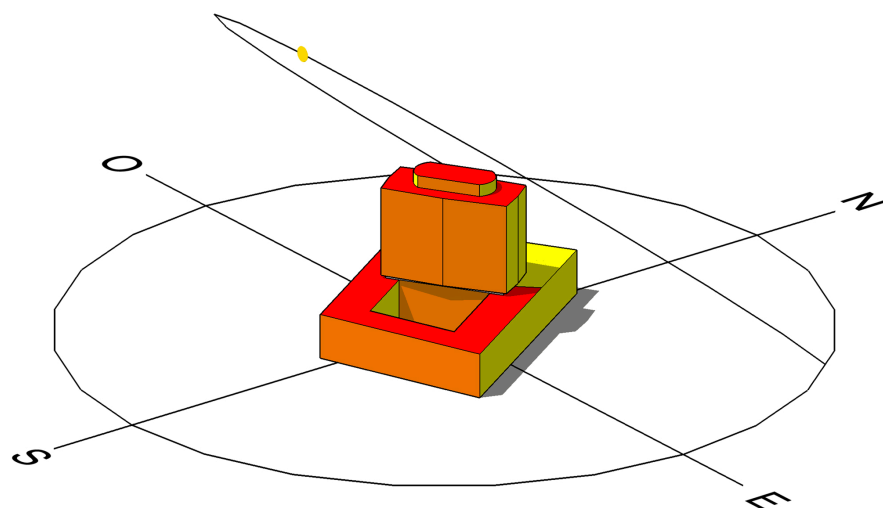
¹⁰<https://www.meteo-lille.net/climat.html>



Solstice d'hiver 14h : Elevation 16°



Equinoxes 14h : Elevation 40°



Solstice d'hiver 14h : Elevation 63°

Temps d'exposition des façades
100%
■ ■ ■

Figure 47 : Simulation de l'exposition des façade en fonction des saisons, Zachary ADJOU.

d. Les systèmes de contrôle du climat.

Chauffage centrale par des radiateurs à eau alimenté par trois immenses chaudières au gaz. Localisées au 3ème sous-sol, elles alimentent les espaces de bureaux et de tribunaux. Aucun système de chauffage n'est installé dans les espaces de circulations ou la salle des pas perdus. D'après le témoignage d'une hôtesse d'accueil, « les circulations totalement vitrées sont très froides en hiver et très chaude en été ». Aucun système de climatisation n'a depuis été installé. Pour essayer de faire baisser la température en été, les occupants ouvrent les baies pour créer un courant d'air.

De plus, les façades de la tour vitrée à 40 % sont directement exposées au rayonnement solaire en été ce qui cause des problèmes de surchauffe notamment dans les locaux orientés au sud.

La ventilation est assurée dans l'ensemble du bâtiment par un système mécanique d'extraction d'air en continu.



Figure 48 : Les espaces de circulation entièrement vitrée (simple vitrage) et sans système de contrôle du climat. Vu depuis le couloir au rez-de-chaussée haut.
Zachary ADJOU.

Chapitre IV -Réhabilitation du Tribunal, un climat intermédiaire créé.

Le déménagement du tribunal, pose la question du futur du Palais de Justice. Dans un souci de résilience architecturale, l'ambition est d'offrir une nouvelle vie au bâtiment. Certes, le bâtiment ne respecte pas les normes en vigueur, mais il représente une structure disponible et qualitative dans le quartier.

1 - Le Programme en trois parties.

Les espaces existants semblent être propices pour accueillir un programme mixte destiné à l'enseignement. L'ambition est d'y implanter un nouveau campus scolaire d'architecture dans le quartier du Vieux-Lille.

a. La tour.

La tour est composée de neuf plateaux totalement modulables avec des dimensions correspondant à l'aménagement de logements étudiants (un entre-axe de 3m entre les poteaux et une profondeur d'espace de 7.5m).

b. Le socle.

On y retrouve les espaces liés à l'enseignement de l'architecture.

Autour du patio on retrouve quatre plateaux avec peu d'éléments porteurs, ce qui seraient parfait pour accueillir les ateliers d'architecture.

Les quatre tribunaux donnant sur la salle des pas perdus seront réutilisés pour installer des auditoriums pour les cours théoriques.

Les petits bureaux orientés au nord seront destinés à intégrer les locaux pour l'administration, les salles des professeurs ainsi que les bureaux des chercheurs.

La toiture du socle sera exploitée pour offrir un extérieur aux logements étudiants.

c. Les sous-sols.

Ils resteront utilisés en tant que parking et locaux techniques.

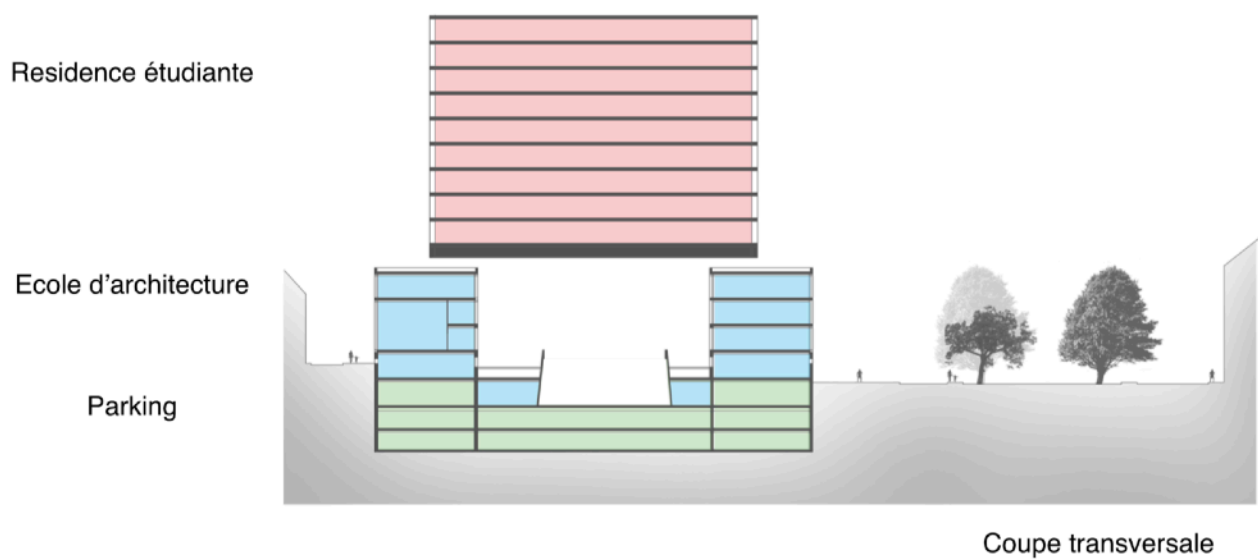
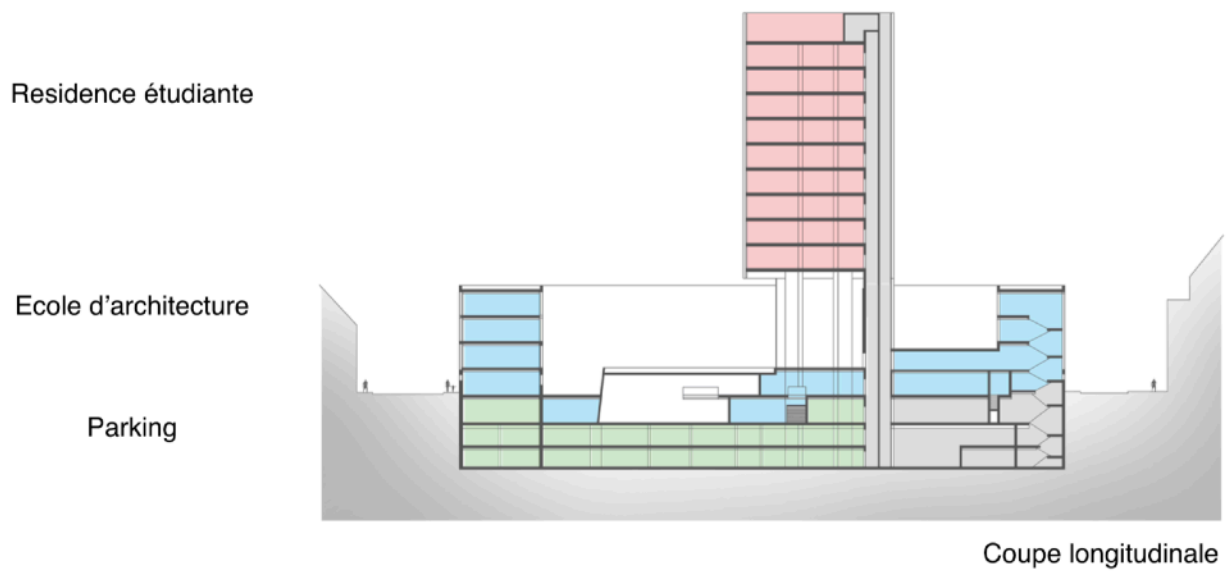


Figure 49 : Organisation programmatique du campus
Zachary ADJOU.

2- Les ambitions du projet.

a. Connecter le Campus avec le contexte proche.

Le bâtiment est actuellement fermé sur toute sa périphérie et ne crée pas d'interaction avec son contexte. Le nouveau programme de Campus scolaire doit être lié à la ville et chercher à interagir avec l'espace urbain. Sans dénaturer la façade existante, l'ambition est de créer de la porosité entre le bâtiment et la vie du quartier. Cette intervention consisterait à ouvrir la « rue intérieure » (atrium situé sous la tour) sur l'espace public. Cette intervention permettra de créer des accès de part et d'autre du bâtiment et ainsi de relier la rue de la monnaie à l'avenue du Peuple Belge par le campus.



Figure 50 : L'actuelle entrée principale du Tribunal, Zachary ADJOU.



Figure 51 : La rue intérieure traversant le bâtiment de part et d'autre, Zachary ADJOU.



Figure 52 : Rendre le bâtiment poreux au quartier, Zachary ADJOU.

b. Multiplier les interactions à travers le patio.

Le dialogue de la façade hermétique présente sur la périphérie du socle a été réutilisé pour composer les façades du patio avec une légère adaptation. En effet, le sous-bassement en béton présent sur le périmètre du bâtiment a été remplacé par un vitrage toute hauteur au niveau du rez-de-chaussée haut, pour créer des interactions à travers le patio. Au niveau des deux étages supérieurs on retrouve les modules de bétons qui reproduisent la rupture de lien.

L'ambition est de proposer un dispositif qui permettrait de retrouver à tous les niveaux la porosité qui a été introduite au rez-de-chaussée et ainsi multiplier les interactions à travers le patio.



Figure 53 : Perte de la porosité à travers la façade au R+1 et R+2, vue depuis le rez-de-chaussée bas, Zachary ADJOU.

c. Exploiter les espaces inaccessibles.

Dans le palais de justice, les espaces extérieurs ne sont pas accessibles. La toiture du socle qui offre un panorama sur le Vieux-Lille est inutilisée. De plus, les deux patios servent actuellement uniquement de dispositifs d'apport de lumière naturelles pour les espaces intérieurs. L'objectif est ici d'aménager et d'exploiter ces espaces, pour y intégrer de nouvelles fonctions extérieures disponibles pour les utilisateurs.

d. Intégrer une échelle humaine au « Palais ».

Comme son nom l'indique, le Palais de Justice est un lieu très vaste avec une échelle déconnectée du rapport à l'Homme. L'une des intentions est de chercher à retrouver, à des endroits précis, une référence à l'échelle humaine, notamment au niveau du patio qui est l'élément central visible en tous points du bâtiment.

e. Améliorer le confort thermique et réduire la consommation en énergie du bâtiment.

Comme nous l'avons abordé dans le chapitre précédent, ce bâtiment des années 70 a été conçu sans intégrer les préoccupations énergétiques et écologiques actuelles. Le résultat est qu'un tel bâtiment consomme une quantité d'énergie très importante pour son fonctionnement et plus particulièrement la dépense énergétique liée au chauffage. Une aberration qui n'est pas en phase avec la crise écologique que nous traversons. Le tribunal ne respecte d'ailleurs pas les réglementations thermiques en vigueur. De plus, nous avons également évoqué les problèmes de confort thermique en hiver et en été. Face à ces deux problématiques, la réhabilitation doit impérativement intégrer une conscience environnementale afin de réduire son impact écologique.

3 - Le traitement des façades.

Les façades du socle et de la tour sont composés à 40% de vitrage. Les 60 autres pourcent sont occupés par la structure en béton. Comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, ces modules de béton sont en contact direct avec l'atmosphère extérieure. Chacun des modules va jouer le rôle d'échangeur thermique entre le climat intérieur et extérieur, un phénomène dont il faut se protéger car il va engendrer des ponts thermiques importants dans l'ensemble des façades. Cela va engendrer des déperditions de chaleur en hiver et faire entrer la chaleur extérieure en été.

Les trois possibilités d'isolation de la façade existante.

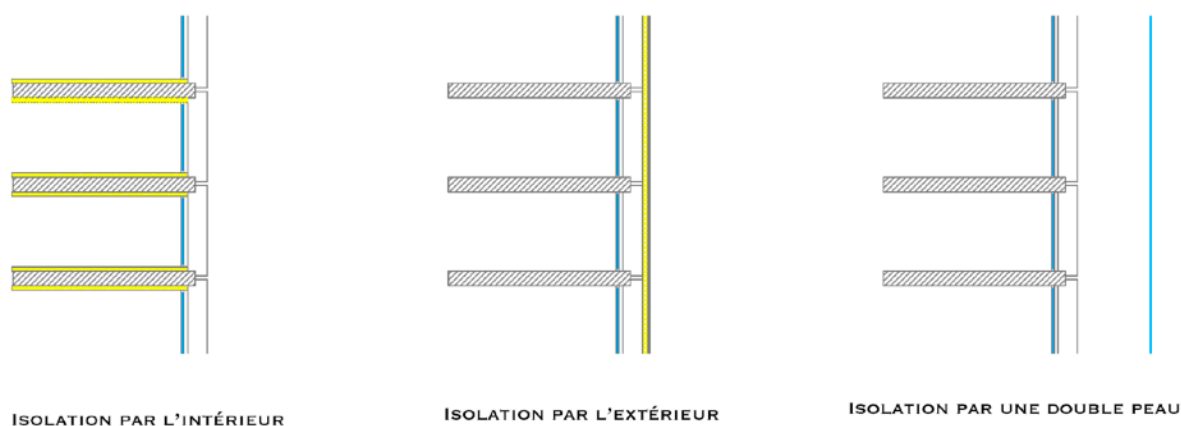


Figure 54 : Les trois possibilités pour isoler le bâtiment,
Zachary ADJOU.

- L'isolation thermique par l'extérieur :

Dans sa mise en oeuvre l'isolation doit être impérativement recouverte par un élément de parement (brique, bardage bois, cassettes métallique, etc..) Cette solution n'est pas envisageable en vue de la complexité de la façade et du caractère patrimonial du bâtiment (oeuvre majeure de la ville).

- L'isolation thermique par l'intérieur :

Cette solution est moins efficace qu'une isolation par l'extérieur, car elle n'évite pas les ponts thermiques au niveau des noeuds constructifs (raccords entre la façade et les planchers ou murs). Elle a cependant l'avantage de ne pas altérer l'aspect extérieur des bâtiments.

- L'isolation par une double-peau :

Cette alternative permet d'apporter un réel plus au bâtiment puisqu'elle tire profit de l'énergie solaire pour fabriquer de la chaleur. L'isolation par une double peau va donc être intéressante, pour répondre à l'objectif de réduire la dépense et la consommation énergétique du bâtiment en créant un climat intermédiaire. Enfin, elle a l'avantage de laisser transparaître la façade existante sans la dénaturer.

a. Le patio principal.

Les différentes façades qui composent le patio ne sont pas toutes exposées au rayonnement solaire de la même façon. La façade orientée à l'est reçoit le rayonnement solaire en début de journée. Celle orientée à l'ouest le reçoit en fin de journée. La troisième façade ne reçoit jamais le rayonnement solaire puisqu'elle est orientée au nord. L'idée est ici de travailler sur la complémentarité des expositions des trois façades avec une double peau continue sur les trois côtés. En fonction de l'heure, les façades vont capter à tour de rôle le rayonnement solaire et alimenter celles non exposées.

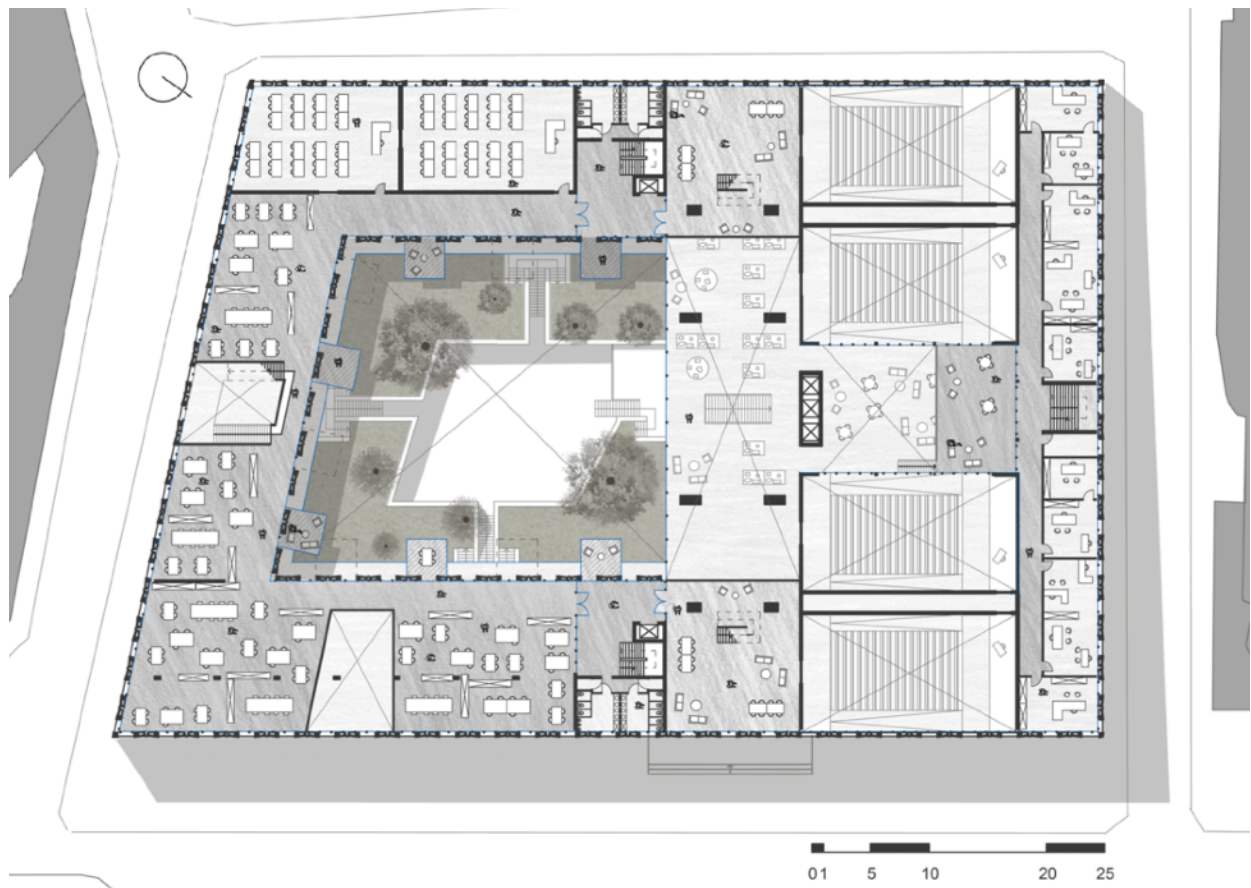


Figure 55 : Déploiement de la nouvelle façade autour du patio, cette-ci fait le lien entre l'intérieur et le patio à travers les jardins d'hiver,(plan R+1), Zachary ADJOU.

En hiver, l'espace intermédiaire formé par la double peau créera un coussin d'air chaud le long des façades et ainsi limitera les déperditions de chaleur. De plus, la chaleur présente dans l'espace tampon sera utilisée pour préchauffer l'air neuf avant que celui-ci soit diffusé dans les locaux, via le réseau de ventilation.

En été, l'objectif est de faire en sorte que l'effet de serre se produise dans la double peau plutôt que dans le bâtiment. La chaleur produite pourra alors facilement être ventilée à l'extérieur. Un système de stores modulables intégrés à la façade, permet de limiter l'exposition au rayonnement solaire.

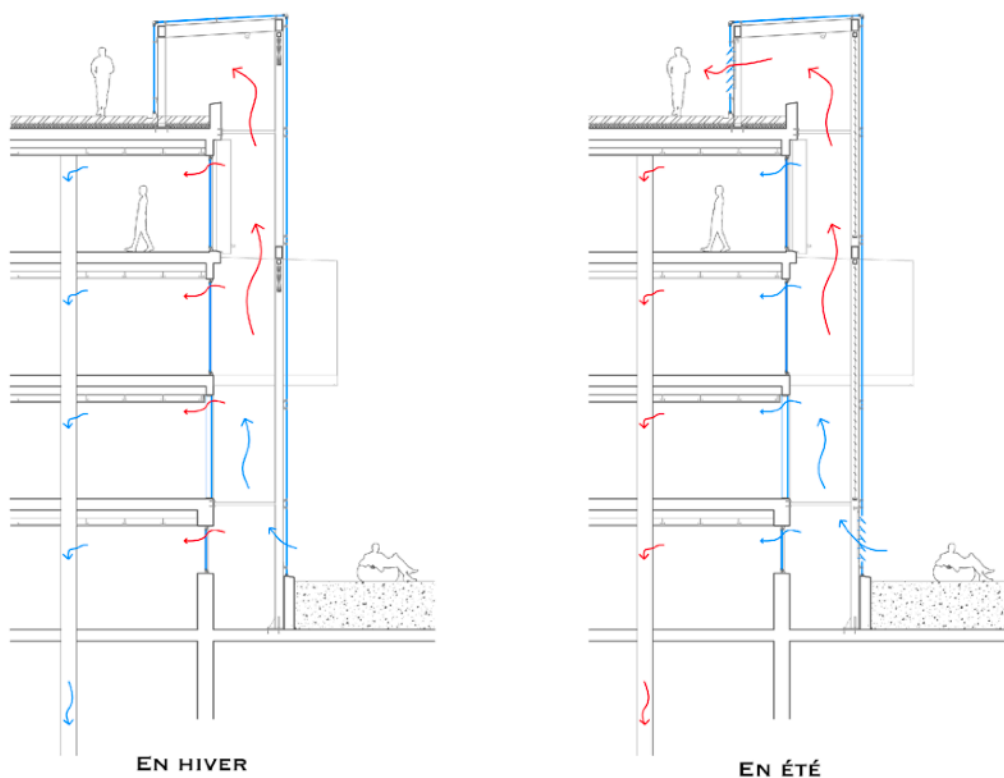


Figure 56 : Principe thermique de la double peau du socle en été et en hiver, Zachary ADJOU.

Les jardins d'hiver qui transpercent la façade double peau, permettent d'introduire de la porosité à travers la façade existante. Cela favorise les interactions entre les ateliers d'architecture et le patio. Les jardins d'hiver permettent également d'apporter une référence à échelle humaine au coeur du bâtiment.

Thermiquement, les jardins d'hiver sont totalement indépendant de la double peau. Le climat est géré manuellement en fonction des envies des utilisateurs.

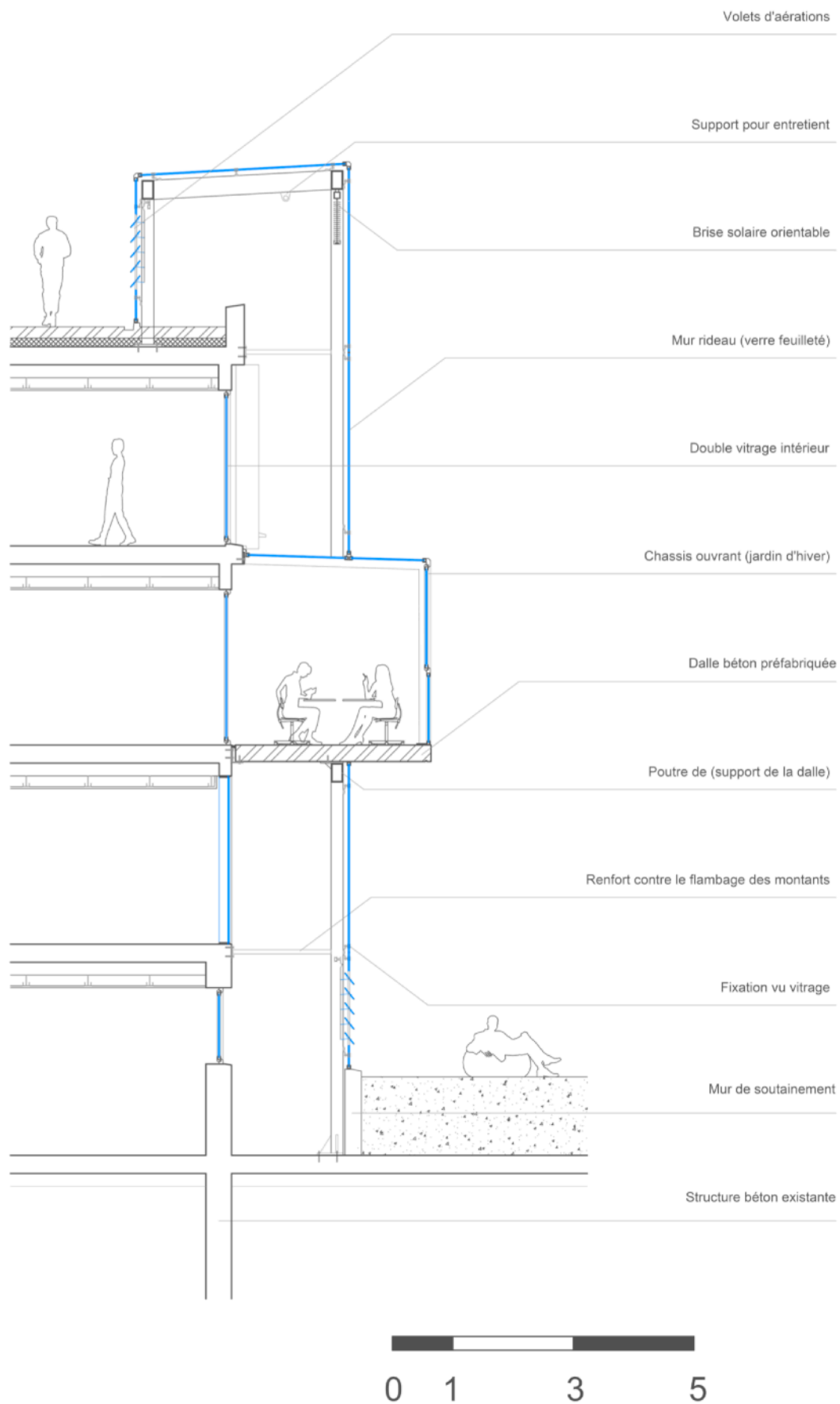


Figure 57 : Coupe technique du socle (coté patio),
Zachary ADJOU.

b. Le patio secondaire.

Etant orienté exclusivement nord, l'ajout d'une double peau à cet endroit n'est pas judicieux, puisqu'elle ne parviendrait pas à capter le rayonnement solaire. L'objectif est simplement de proposer une coupure thermique au sommet du patio, matérialisée par une verrière. Elle permettra d'intérioriser ce lieu, tout en continuant de profiter de la lumière naturelle.

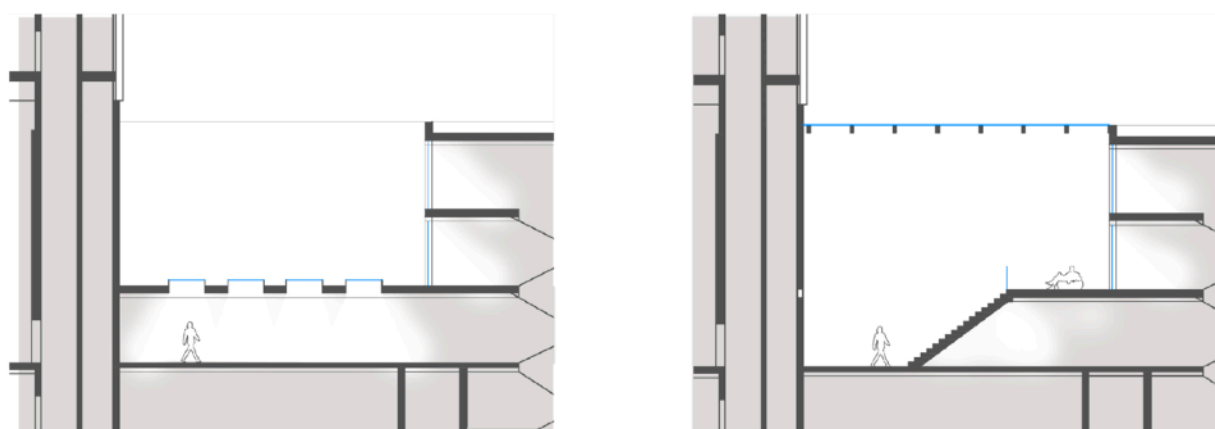


Figure 58 : Avant/après la réhabilitation du petit patio,
Zachary ADJOU.

c. La périphérie du bâtiment.

Comme nous l'avons vu, la façade du socle a été composée en reprenant le rythme et les proportions de son contexte proche. Dans un souci de conserver son expression architecturale, il était plus approprié de travailler avec une isolation par l'intérieur.

Les menuiseries étant continues derrière les modules de bétons, l'isolation consiste à remplacer les baies existantes par d'autres menuiseries thermiquement plus performantes. De plus, une isolation au niveau des planchers sera ajoutée afin limiter les ponts thermiques. (voir figure 54).

d. La tour.

Comme observé au niveau du patio, les façades de la tour ne perçoivent pas le rayonnement de la même façon. En effet la façade orientée plein sud reçoit l'énergie solaire tout au long de la journée, alors que la façade nord n'est jamais exposée.

En hiver, on observe une grande différence de température entre les espaces orientés au nord et ceux orientés au sud. De plus, les locaux orientés plein sud sont sujets à la question de la surchauffe durant les périodes les plus chaudes.

Le principe utilisé par L'agence UAU semble être intéressant dans ce cas de figure.

En hiver, la façade sud va capter l'énergie solaire qui sera utilisée pour alimenter la façade nord en chaleur. Cette technologie permet d'obtenir un équilibre de température entre les deux façades et donc offrir un climat homogène entre les espaces orientés au nord et ceux orientés au sud.

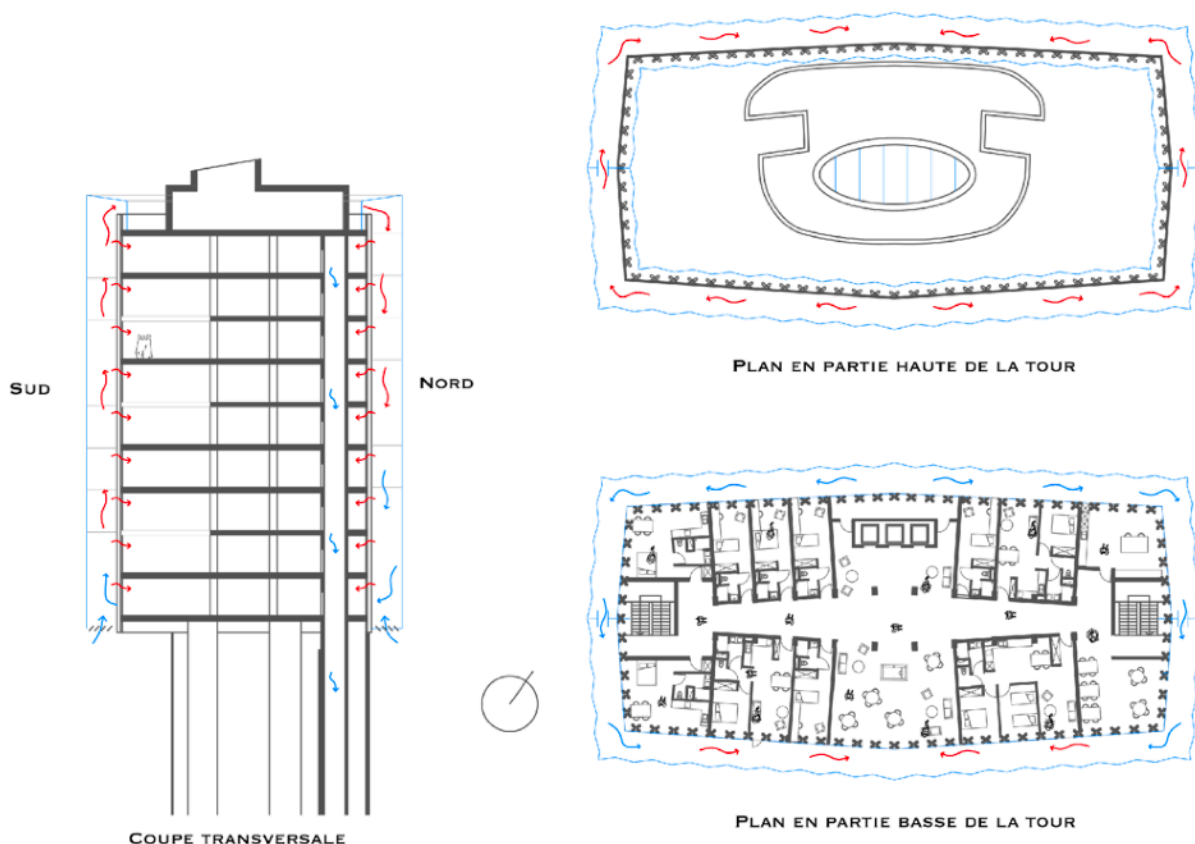


Figure 59 : Principe thermique de la tour en hiver, Zachary ADJOU.

En été les deux façades vont fonctionner indépendamment. Elles seront ouvertes en partie basse pour faire entrer l'air neuf et en partie haute pour évacuer l'air chaud. De plus, un dispositif de brises solaires orientables, permettra d'éviter que le rayonnement solaire ne rencontre les éléments de béton qui composent la façade. Ceci permet de faire baisser la température présente dans la double peau, de réduire l'apport de chaleur provenant de l'extérieur et donc de conserver la fraîcheur dans les locaux.

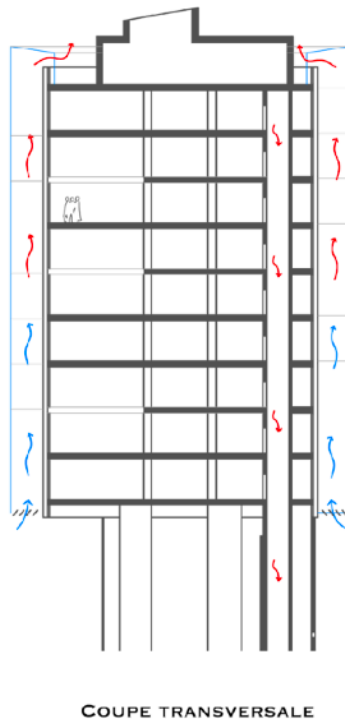


Figure 60 : Principe thermique de la tour en été, Zachary ADJOU.

La nouvelle façade s'inspire de la verticalité initialement exprimée sur la façade de la tour. Pour se faire, la façade est profilée en respectant le rythme des montants en béton. Le jeu de reflet du vitrage va ainsi créer des bandes verticales qui élanceront la façade de la tour.

Les jardins d'hiver de la tour sont également indépendants thermiquement de la double peau. Ils permettent de pouvoir aérer les logements en fonction des envies des résidents. De plus ils offrent des espaces supplémentaires aux logements étudiants, totalement ouverts sur la ville.

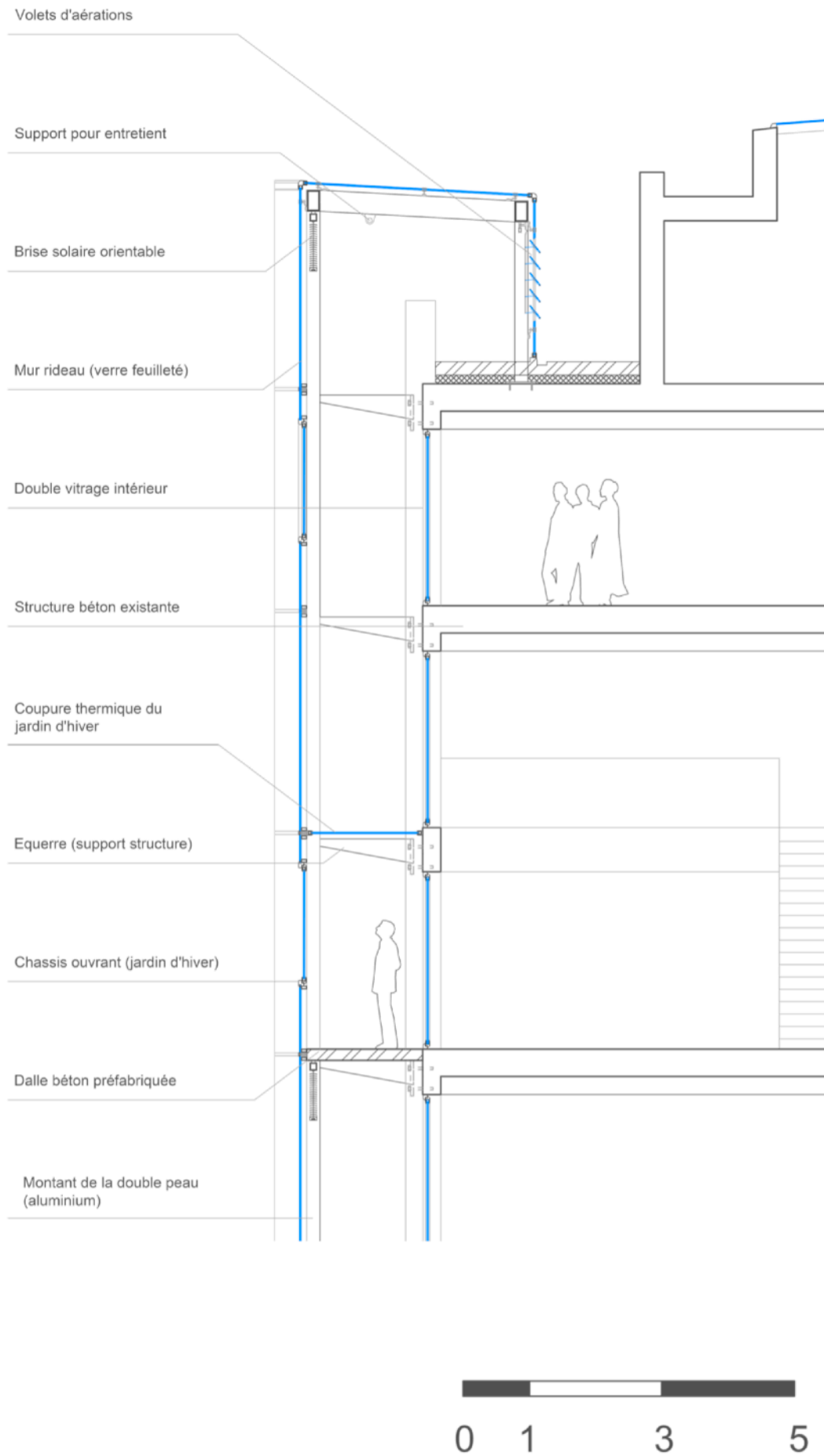




Figure 62 : Jeu de reflets marquant la verticalité de la tour (photo de maquette), Zachary ADJOU.

4 - L'aménagement des espaces.

a. Le socle.

Dans l'intention de créer de la porosité à travers la façade et de relier la rue intérieure à son contexte, l'intervention consiste à retirer certains modules de béton et de les remplacer par une façade totalement vitrée qui laissera transparaître l'intérieur du bâtiment depuis l'espace public. Cette façade vitrée se positionne en retrait pour proposer un porche d'entrée qui viendra marquer les deux entrées principales du campus.



Figure 63 : Création du porche d'entrée coté avenue du Peuple Belge, (Photo de maquette), Zachary ADJOU.

A l'intérieur des espaces, les planchers ont été évidés en deux points et intégreront une nouvelle circulation verticale, afin de multiplier les flux des occupants, créer des interactions entre les ateliers et une respiration entre tous les niveaux qui ont une hauteur sous dalle faible (280cm).

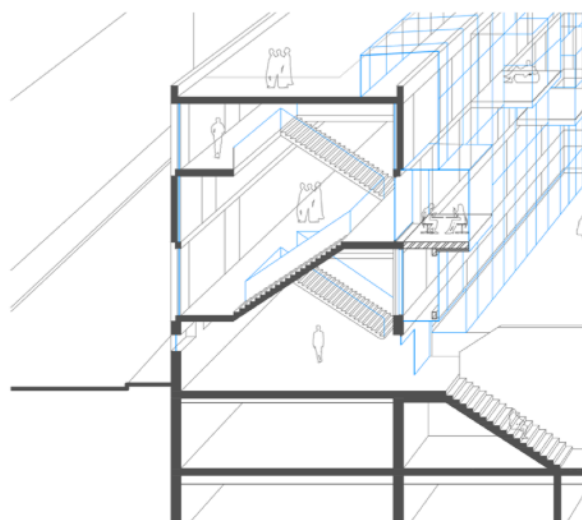
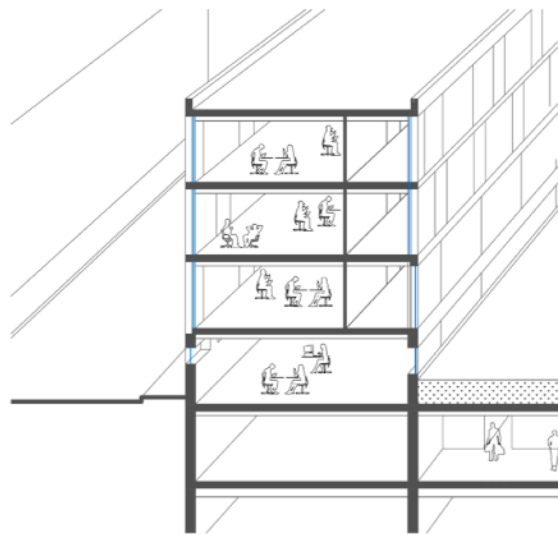


Figure 64 : Avant/après l'aménagement des plateaux, coupe longitudinale du socle, Zachary ADJOU.

b. Les patios.

L'ambition est de faire du patio central le lieu fédérateur du campus. L'intervention repose sur deux actions principales : La première est de le rendre accessible par toutes les ailes bordant le patio, la seconde est d'ouvrir l'espace situé au centre du patio afin d'y installer une cours centrale. Elle sera utilisable comme atelier extérieur en contre bas.

Au niveau du second patio, la proposition est de retirer une partie de la dalle pour éclairer directement l'espace situé sous le patio. Il sera vécu comme un petit atrium baigné de lumière faisant le lien entre la vie étudiante et l'administration.

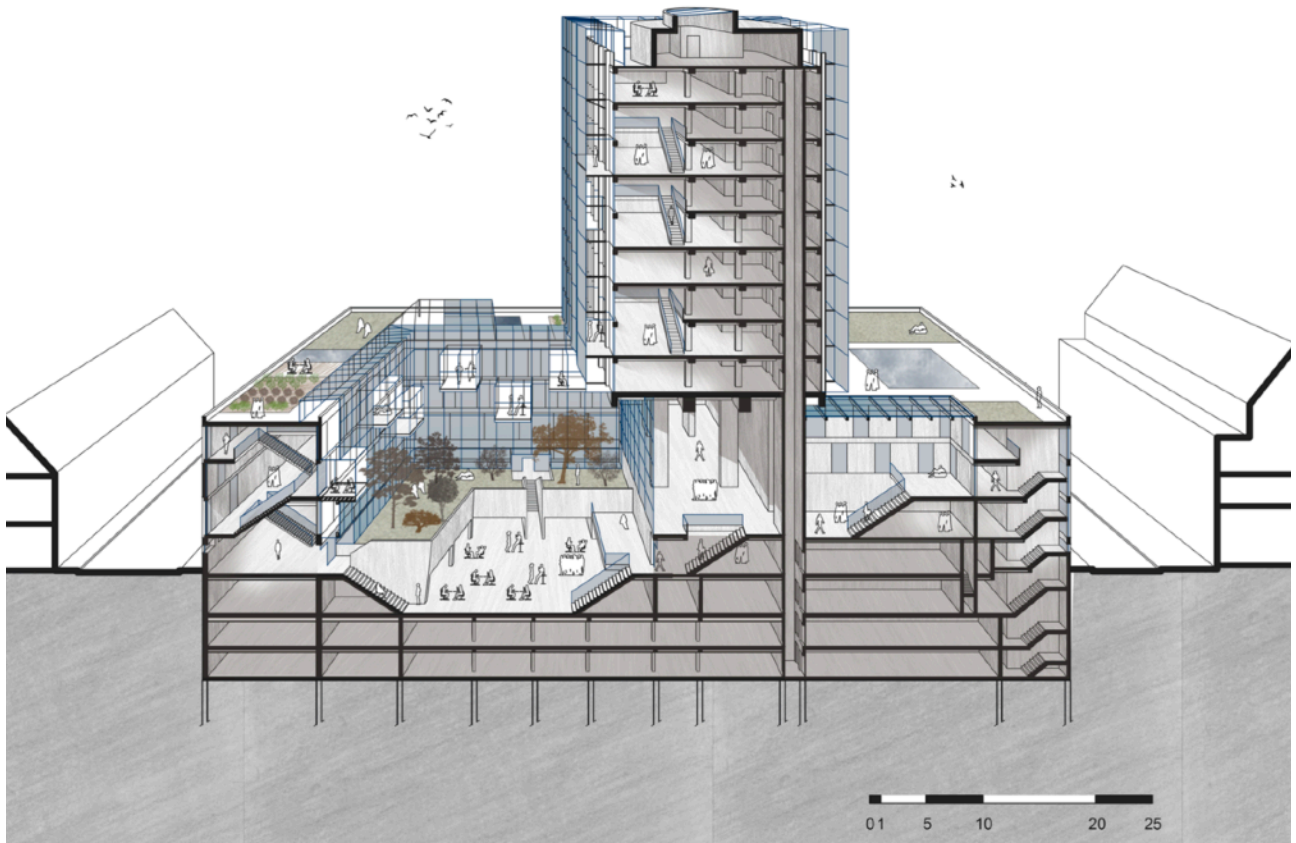


Figure 65 : Le patio principale comme lieu fédérateur du Campus,
Zachary ADJOU.

d. La toiture du socle.

L'agencement sur la toiture consiste à habiter la surface disponible. L'aménagement d'un roof garden offre une promenade traversant différents espaces et fonctions. On y retrouve des espaces de potagers pour cultiver, des espaces de détente ou encore un espace pour les activités sportives en plein air.

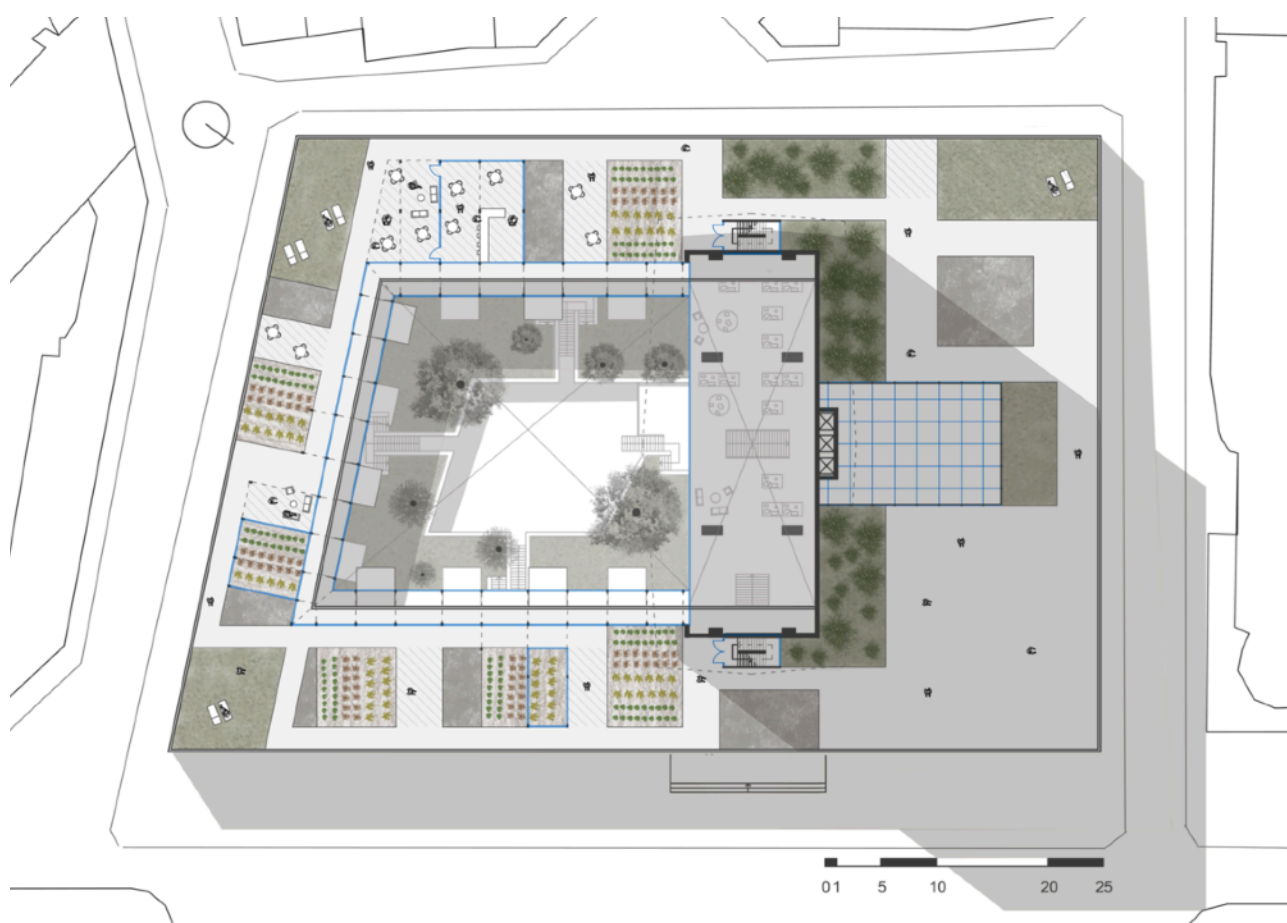


Figure 66 : Aménagement d'une promenade paysagère sur la toiture du socle ,
Zachary ADJOU.

e. La tour

La trame formée par les poteaux de la structure offre de grandes possibilités et une modularité intéressante. L'aménagement a été pensé avec l'esprit du logement partagé à différentes échelles. La première, à l'échelle de la tour, où des connexions entre les plateaux ont été apportées par des doubles hauteurs (voir figure 65). Ensuite à l'échelle des plateaux, où l'on retrouve des espaces partagés de cuisine, de travail, de buanderie, de salle de sport ou encore de détente. Enfin, le partage au sein même des trois typologies de logements.

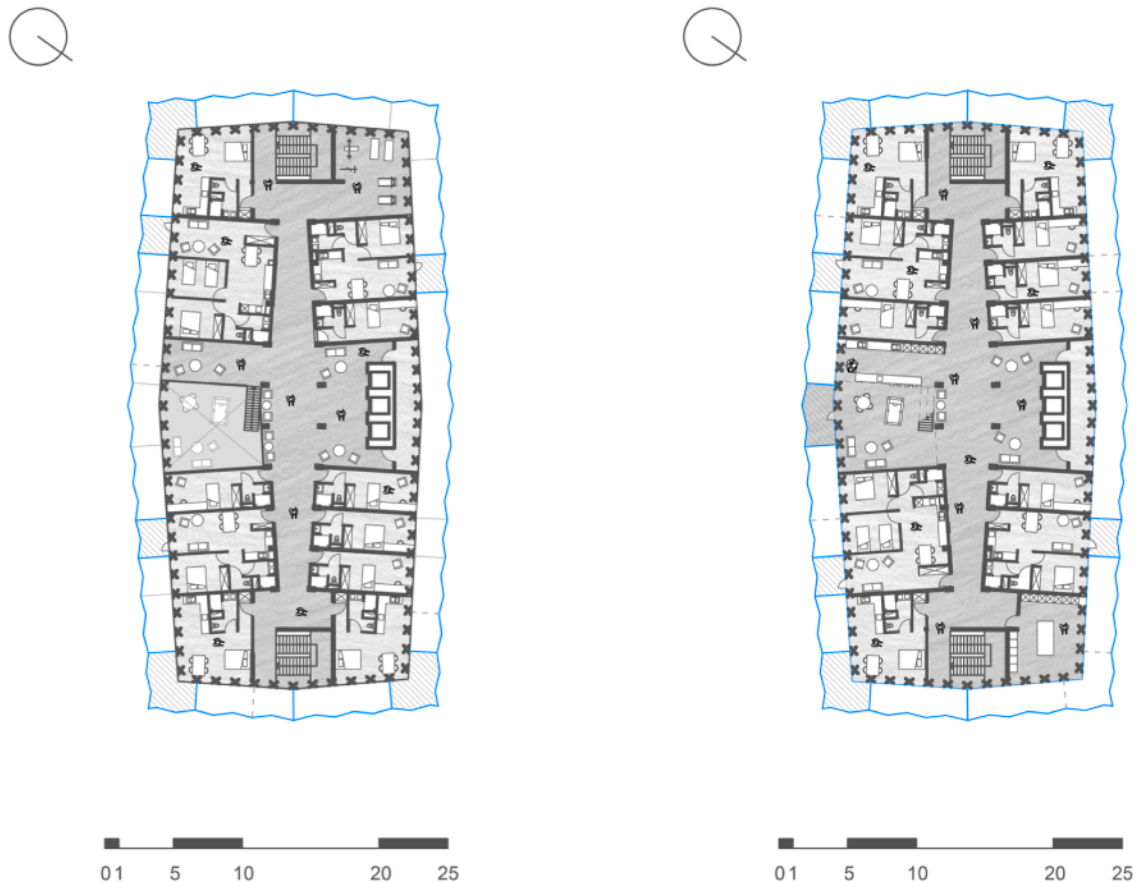


Figure 67 : Aménagement des logements partagés ,respectivement plan R+10 & R+9
Zachary ADJOU.

5- La sécurité et l'entretien de la double peau.

a. La sécurité incendie d'une façade double peau.

D'après le manifeste des [Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012](https://www.enviroboite.net/regles-de-l-art-grenelle-environnement-2012)¹¹

- « • l'installation d'un système d'extinction automatique de type sprinkleur ou tout autre système d'extinction validé par la commission de sécurité dans les locaux et compartiments adjacents à la façade double peau, dispense de toutes mesures.
- les façades intérieures de la double peau classées E(i → o) 60 ou au moins égal au degré de stabilité au feu du bâtiment dispense de toutes mesures ».

b. Maintenance et entretien de la double peau.

La lame d'air entre les deux façades étant peu importante (150cm), l'entretien de l'intérieur de la nouvelle façade peu se faire depuis le bâtiment avec une perche et une mise en sécurité du personnel. Seul la face en contact avec l'extérieur devra être entretenue par des grimpeurs.

Concernant la maintenance, elle sera effectuée par des grimpeurs professionnels, un système d'accroche de corde a été prévu à cet effet.

¹¹**Nicolas Guignard** - *Enviroboite*. [En ligne]. Programme PACTE. 10 avril 2019 [Page consultée le 21 mars 2020]. Disponible sur : <https://www.enviroboite.net/regles-de-l-art-grenelle-environnement-2012>-rage

Conclusion

L'objectif de ce travail était d'expérimenter la question de la double peau en réhabilitation. Notre problématique était la suivante : la double peau en réhabilitation, une réponse face à la dépense énergétique des bâtiments?

Nous avons dans un premier temps défini les notions et objectifs de la double peau. Dans un second temps nous nous sommes intéressés à des réhabilitations qui ont fait appel à ce genre de dispositif. Ensuite, nous avons analysé de plus près le Palais de Justice de Lille dans son état actuel. Enfin, nous avons proposé une réponse architecturale qui vise à améliorer le comportement thermique de ce bâtiment.

Pour mener à bien ce travail de recherche, nous sommes parti du principe que le bâtiment actuel, au vu de son année de construction, de ses propositions et du type de système constructif (structure extériorisée) était une « passoire thermique ». De plus, malgré le fait que nous avons cherché à obtenir le certificat PEB et au vu du caractère sensible du bâtiment nous n'avons aucune donnée chiffrée sur le réel comportement thermique du bâtiment actuel. Néanmoins, selon les différentes références analysées, on observe que l'utilisation d'une façade double peau sur un bâtiment existant permet de réduire la consommation énergétique liée à son fonctionnement de 40 à 50%. Aussi, afin de calculer le bénéfice qu'apporte une façade double peau à ce bâtiment, des logiciels complexes à manipuler sont nécessaires. Cela nous limite donc dans la mesure du bénéfice réel de l'intervention.

L'analyse de ce sujet nous permet de valider le fait qu'il est intéressant de travailler avec la double peau sur ce type de bâtiment tel que le Palais de Justice dans le cadre d'une réhabilitation, comme nous avons pu le faire pour le Palais de Justice de Lille. La double peau permet d'une part d'isoler efficacement le bâtiment en limitant un maximum de ponts thermiques, d'offrir de nouveaux espaces avec une certaine qualité architecturale. Elle permet également d'apporter une nouvelle image au bâtiment tout en conservant le caractère intrinsèque de la façade existante. Enfin, elle permet par ailleurs d'adapter d'anciens édifices aux ambitions écologiques actuelles.

Ce que nous retenons à la suite de ce travail c'est que le rôle de l'architecte est d'avoir une vision générale sur sa conception en ne mettant de côté aucun aspect.

La performance thermique est un sujet essentiel mais elle ne doit pas prendre le dessus sur la vision architecturale. Toute la complexité d'une telle réhabilitation repose sur le bon équilibre entre ces deux sujets.

Il ne s'agit pas de proposer le projet le plus performant thermiquement mais d'apporter une amélioration sur son comportement thermique. La mise en oeuvre d'une double peau totalement plane (sans les jardins d'hiver au niveau du socle et sans le profilage au niveau de la tour) aurait été plus performante puisque ces éléments multiplient la surface d'échange thermique avec l'extérieur, mais ne répond pas à l'expression architecturale du bâtiment.

Les jardins d'hiver saillants au niveau du patio forment une certaine faiblesse thermique à la nouvelle couche. Mais l'intention de retrouver une échelle humaine au niveau du patio et de créer de la porosité à travers cette façade hermétique aurait été mise de côté.

De même, une double peau sur la façade en lien avec l'espace public aurait pu apporter plus de bénéfice thermique. Mais ne va pas dans le sens de l'intégration du socle à son contexte urbain.

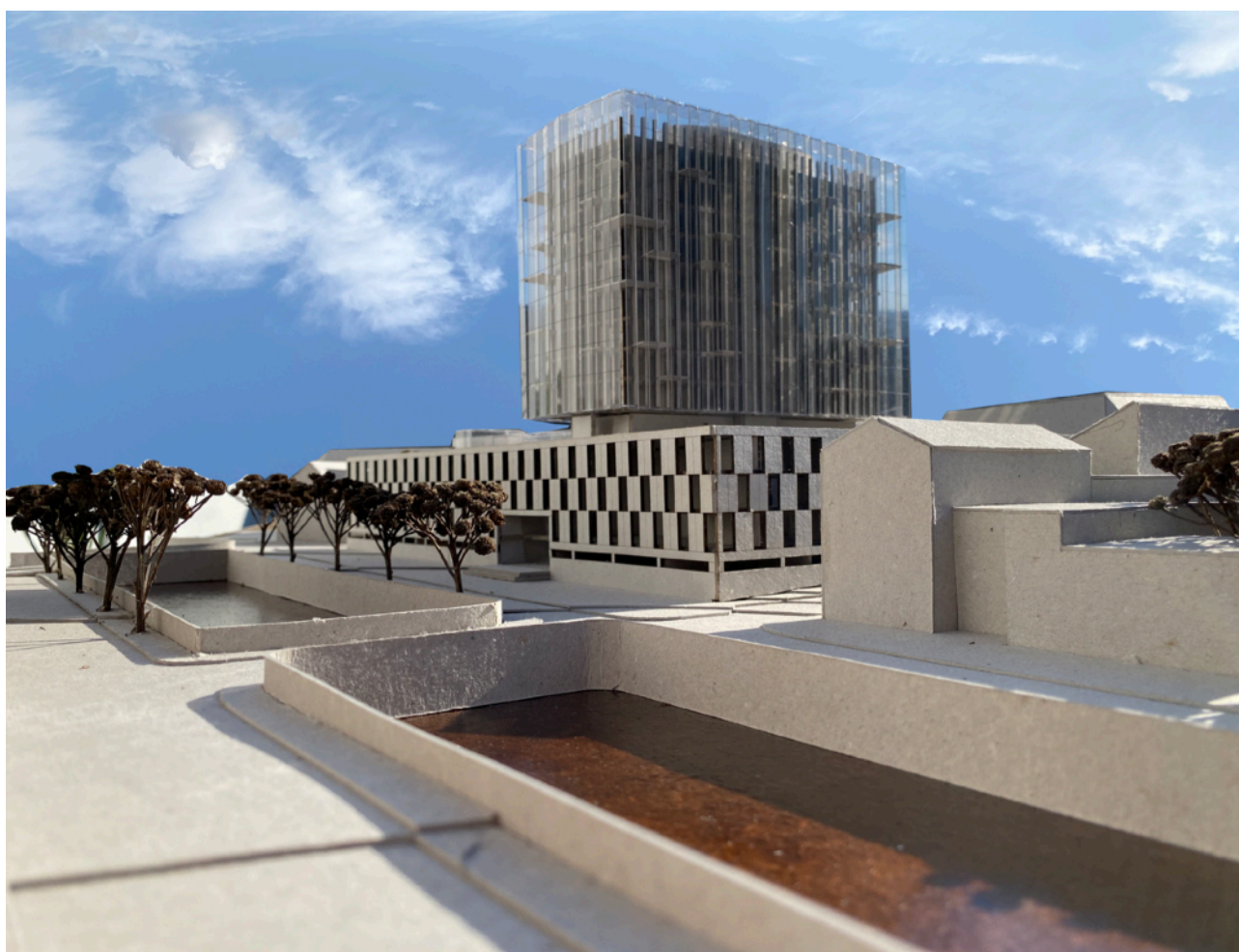
La façade profilée au niveau de la tour crée également des faiblesses du point de vue thermique. Elle permet cependant à cette nouvelle couche de s'intégrer en conservant l'expression de verticalité et le rythme introduit par les architectes.

L'utilisation de ce type de dispositif est intéressante dans certains cas comme celui-ci où la façade existante est un élément indissociable du bâtiment et où le risque d'utiliser une isolation par l'extérieur aurait dénaturé le bâtiment.

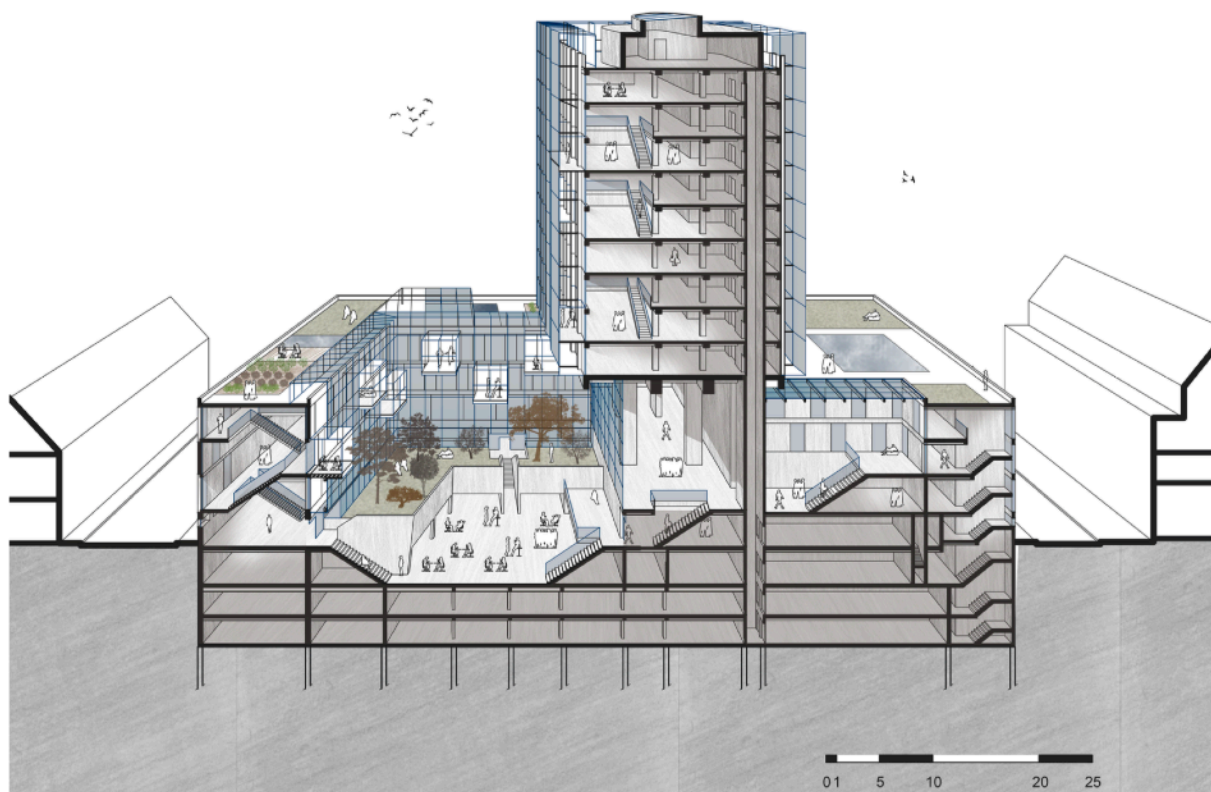
Une isolation par l'intérieur sur la totalité du bâtiment aurait pu être une solution mais elle n'intègre pas l'aspect positif recherché, c'est-à-dire l'apport d'énergie supplémentaire par le rayonnement solaire.

On retiendra que la double peau ne permet pas à elle seule d'assurer le confort thermique face aux climats extrêmes (chaud ou froid).

Comme nous l'avons abordé dans le premier chapitre, lors des périodes les plus froides un système de chauffage reste nécessaire pour assurer le confort thermique. En été on retrouve le même cas de figure. La ventilation de la double peau sera efficace pour lutter contre la chaleur extérieure mais lors des longs épisodes de canicule, le bâtiment aura besoin d'un système de refroidissement pour maintenir une température intérieure stable. En soutien aux autres dispositifs (double-peau, inertie thermique, free cooling, brises solaires), nous avons projeté de concevoir un système de refroidissement de l'air, en utilisant le futur projet de remise en eau de l'avenue du Peuple Belge. L'eau fraîche serait pompée directement dans les canaux, elle passerait par un échangeur thermique qui rafraichira l'air intérieur, puis, cette eau serait rejetée dans les canaux. Ce procédé permettrait de rafraichir l'air de façon écologique et de tirer profit au maximum des ressources disponibles sur le site, pour assurer un confort thermique tout au long de l'année. La question du chauffage en hiver pourrait elle aussi être optimisée en utilisant d'autres ressources du site.



Panneaux A1 de présentation du projet.



1. Coupe longitudinale du bâtiment.
2. Le projet vu depuis l'avenue du Peuple Belge.
3. Plan de l'implantation du bâtiment dans son contexte.



Le réchauffement climatique auquel nous sommes actuellement confrontés, nous pousse depuis quelques années à revoir notre façon de vivre, de penser, de consommer et aussi de concevoir. Le secteur de la construction est l'un des principaux domaines responsables du phénomène de réchauffement climatique. En effet, d'après une étude publiée dans l'ouvrage *Manifeste pour une frugalité heureuse et créative* (Bomarel, Gauzin-Müller, Madec, 2018), le milieu de la construction représente une part considérable des rejets de gaz à effet de serre dans le monde. La pollution générée par ce secteur représente aujourd'hui environ 40% de la pollution globale. Sur ces 40%, 60% sont directement en lien avec la destruction et les déchets

générés par la construction. Les 40 autres pour-cent sont liés au fonctionnement du bâtiment.

Avant de détruire et donc de polluer, il serait intéressant de chercher à donner une seconde vie aux bâtiments. Prenons l'exemple du Palais de Justice de Lille, actuellement occupé par la fonction de tribunal, qui sera prochainement démantelé dans de nouveaux locaux. Le bâtiment se retrouverait donc sans fonction et serait sujet à la démolition. La Ville de Lille se questionne d'ailleurs sur son avenir. Cet incroyable édifice propose une importante structure disponible en plein centre du Vieux-Lille. De plus, ce gigantesque Palais construit dans les années 70 a été conçu sans se préoc-

cuper de sa consommation d'énergie.

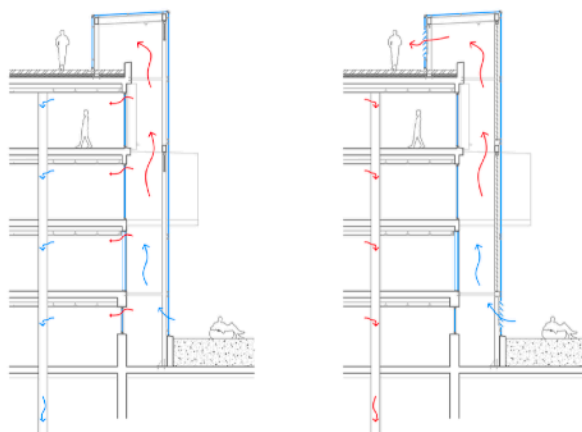
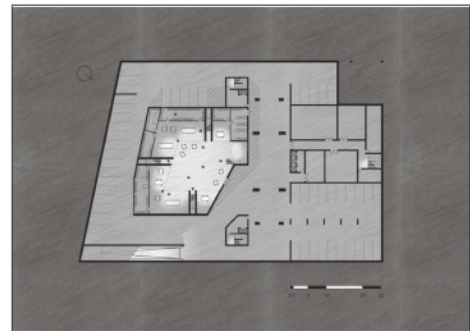
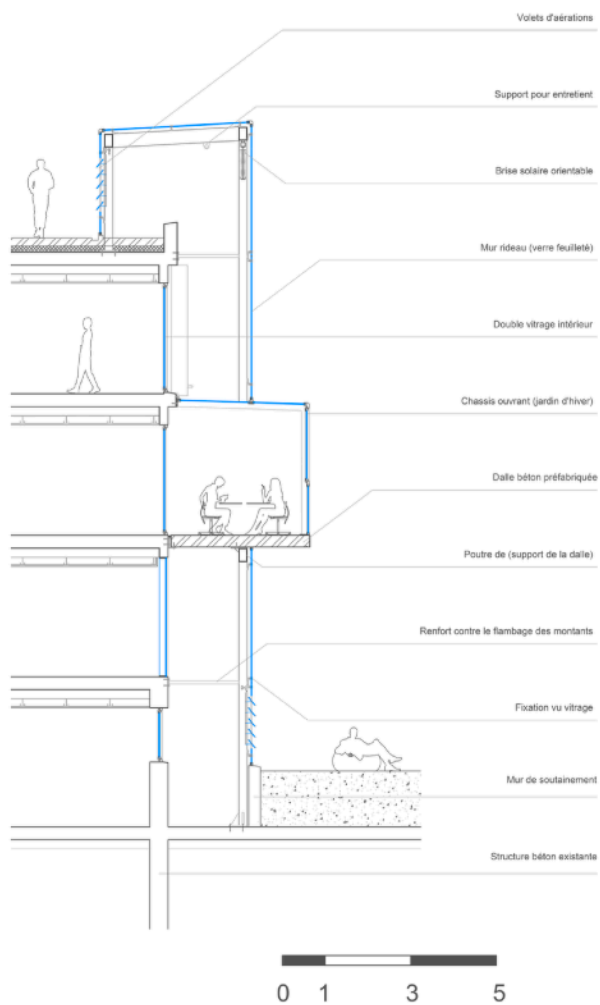
L'objectif de ce travail est d'expérimenter la question de la double peau en réhabilitation et nous prendrons donc l'exemple du Palais de Justice de Lille.

Nous sommes donc face à la problématique suivante : la double peau en réhabilitation, une réponse face à la dépense énergétique des bâtiments ? L'intention est d'une part de montrer le potentiel de ce bâtiment en y intégrant un nouveau programme, et d'autre part de chercher à limiter sa consommation d'énergie en limitant les déperditions thermiques et en utilisant les apports naturellement disponibles sur le site.

LA DOUBLE PEAU EN REHABILITATION Une réponse face à la dépense énergétique des bâtiments ?

Pascaline FAUX, Bernard WITTEVRONGEL, Robert Jan VAN SANTEN, Atelier 1.618

ZACHARY ADJOU



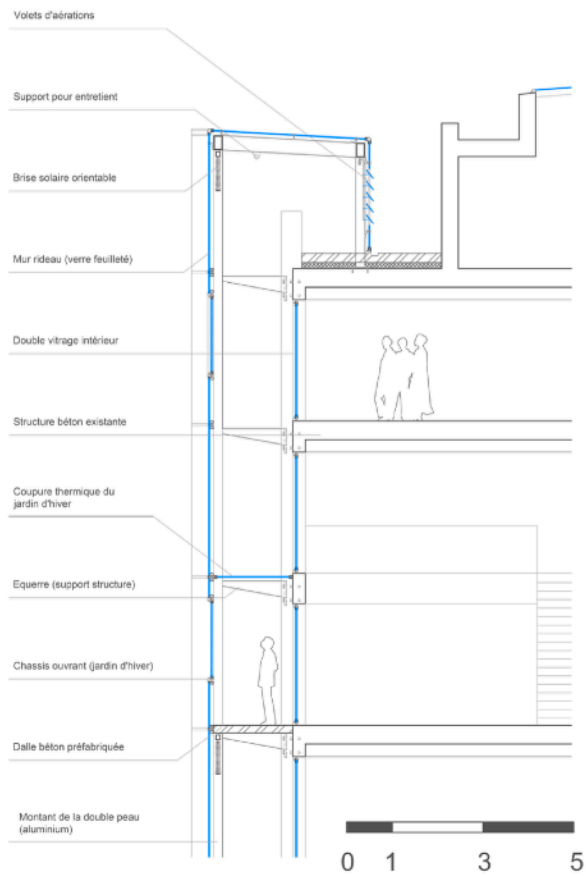
1. Détail technique de la façade double peau au socle
2. Plans du socle, du R+1, Rez-de-chaussée haut, R+1, et toiture
3. Principe thermique de la double peau au niveau du socle

LA DOUBLE PEAU EN REHABILITATION

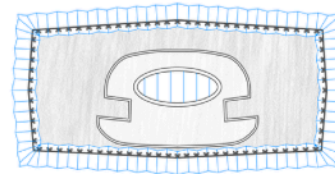
Une réponse face à la dépense énergétique des bâtiments ?

Pascaline FAUX, Bernard WITTEVRONGEL, Robert Jan VAN SANTEN, Atelier 1.618

ZACHARY ADJOU

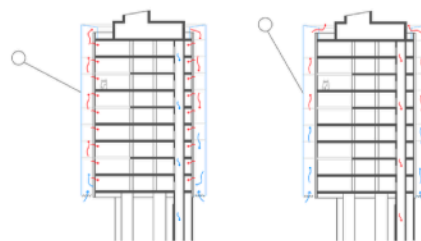


1. Détail technique de la façade double peau de la tour
2. Plans de la tour du R+3 à la toiture
3. Représentation de la double peau de la tour en maquette
4. Principe thermique de la tour en été et en hiver



0 1 3 5

0 1 5 10 20 25



LA DOUBLE PEAU EN REHABILITATION
Une réponse face à la dépense énergétique des bâtiments ?
 Pascaline FAUX, Bernard WITTEVRONGEL, Robert Jan VAN SANTEN, Atelier 1.618

ZACHARY ADJOU

Annexes

Histoire du site

- Annexe 1 : La crypte collégial Saint-Pierre présente sous le Palais de Justice
- Annexe 2 : Les trois occupations du site au cours de son histoire

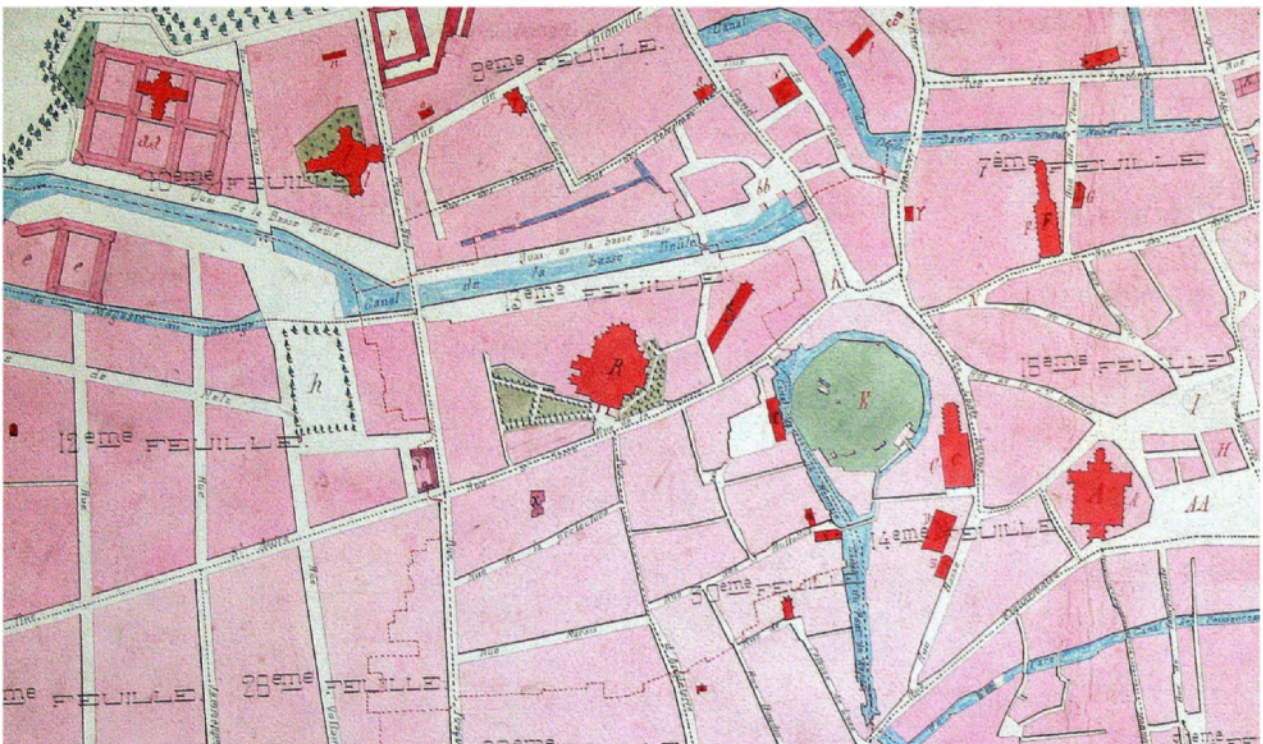
Données du site

- Annexe 3 : Documents graphiques déposés pour le permis de construire du tribunal
- Annexe 4 : Course du soleil sur le site pendant un an

Le projet

- Annexe 5 : Plan du R-1
- Annexe 6 : Plan du rez-de-chaussée bas
- Annexe 7 : Plan du rez-de-chaussée haut
- Annexe 8 : Plan du R+1
- Annexe 9 : Plan de la toiture de la tour & R+11
- Annexe 10 : Vue du site en plan
- Annexe 12 : Vue du site en contre plongé depuis le sud
- Annexe 13 : Vue du site en contre plongé depuis le sud-est
- Annexe 14 : Vue du site en contre plongé depuis le nord-ouest
- Annexe 15 : Vue du bâtiment depuis le sud-est
- Annexe 16 : Vue du patio depuis la toiture du socle
- Annexe 17 : Skyline du site vue depuis l'est
- Annexe 18 : Skyline du site vue depuis l'ouest
- Annexe 19: Skyline du site vue depuis nord
- Annexe 20: Skyline du site vue depuis sud

Histoire du site



La crypte collégiale Saint-Pierre présente sous le Palais de Justice, [wikipedias.org](https://en.wikipedia.org/wiki/Saint-Pierre_Crypt)



Vieux-Lille : Plan de l'état-major (1820-1866)



Vieux-Lille : Photographie aérienne (1950-1965)

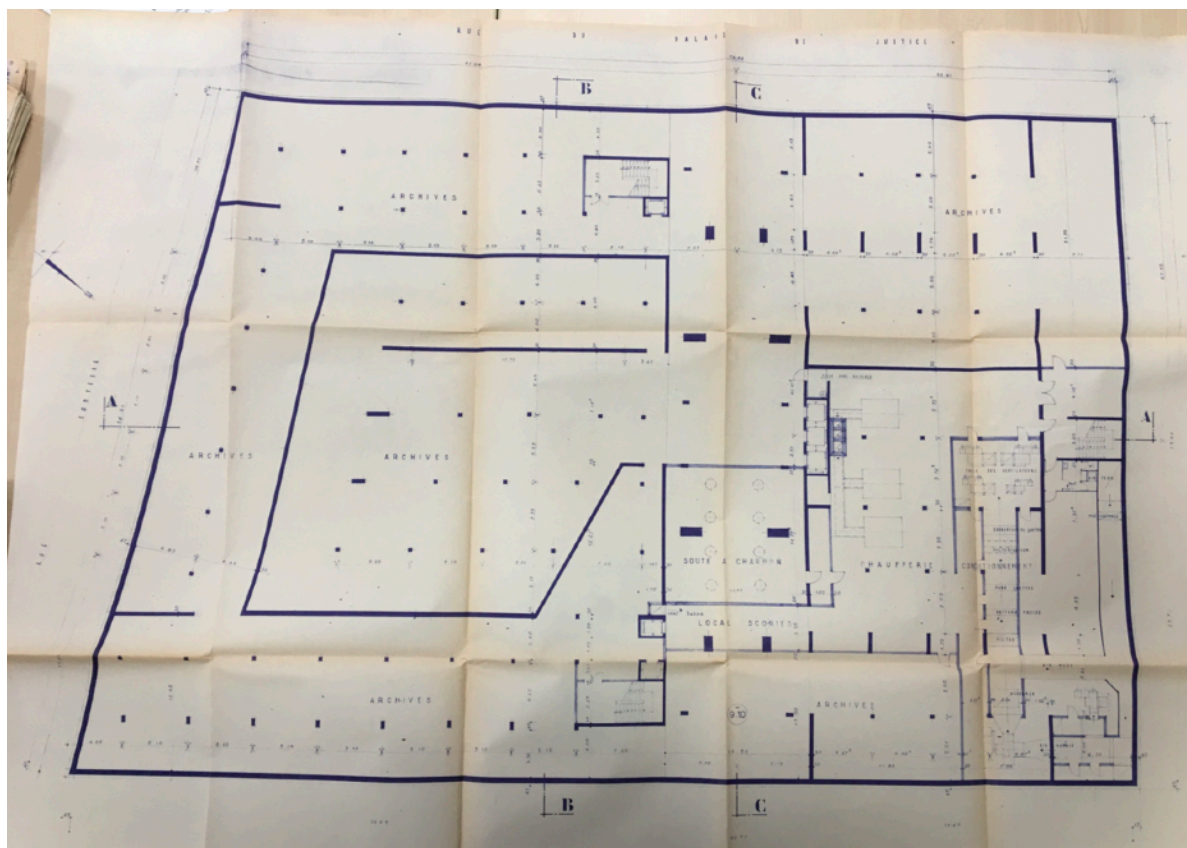
Page 1 sur 1



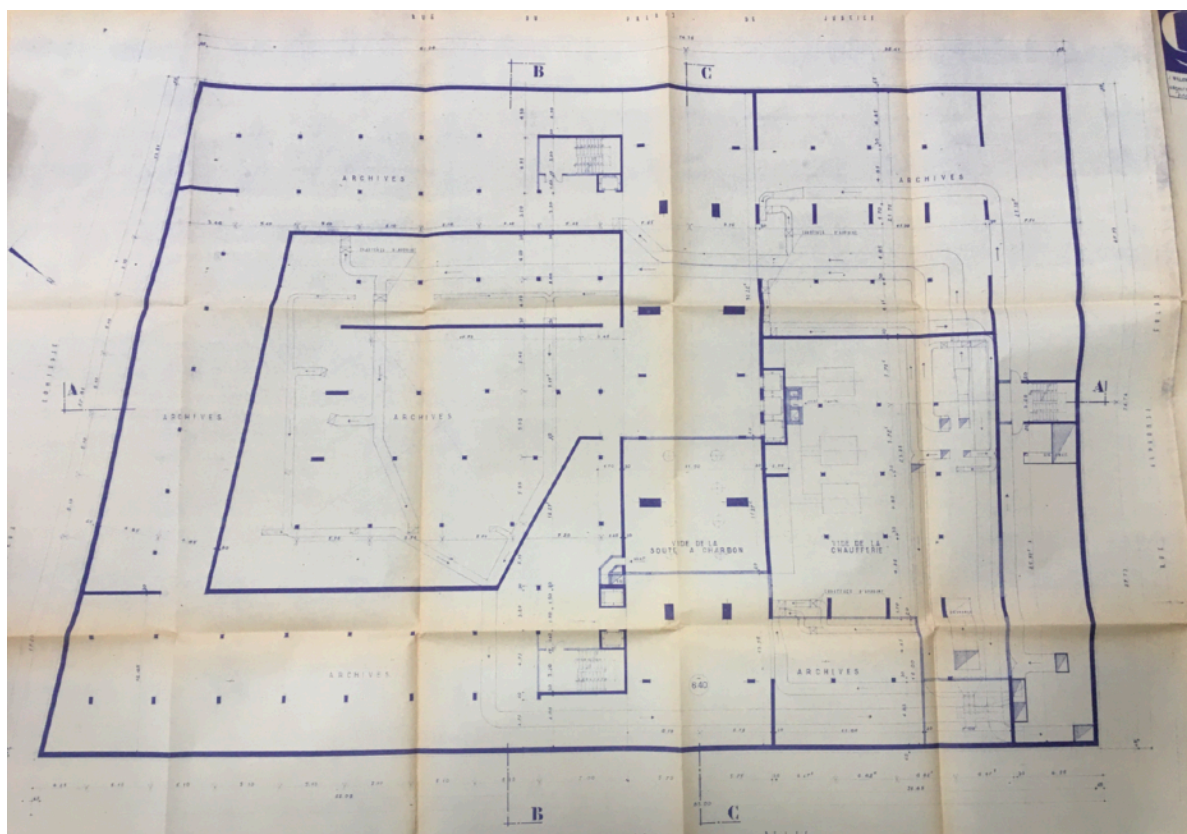
Vieux-Lille : Photographie aérienne (2018)

Les trois occupations du site au cours de son histoire, geoportail.gouv.fr

Données du site

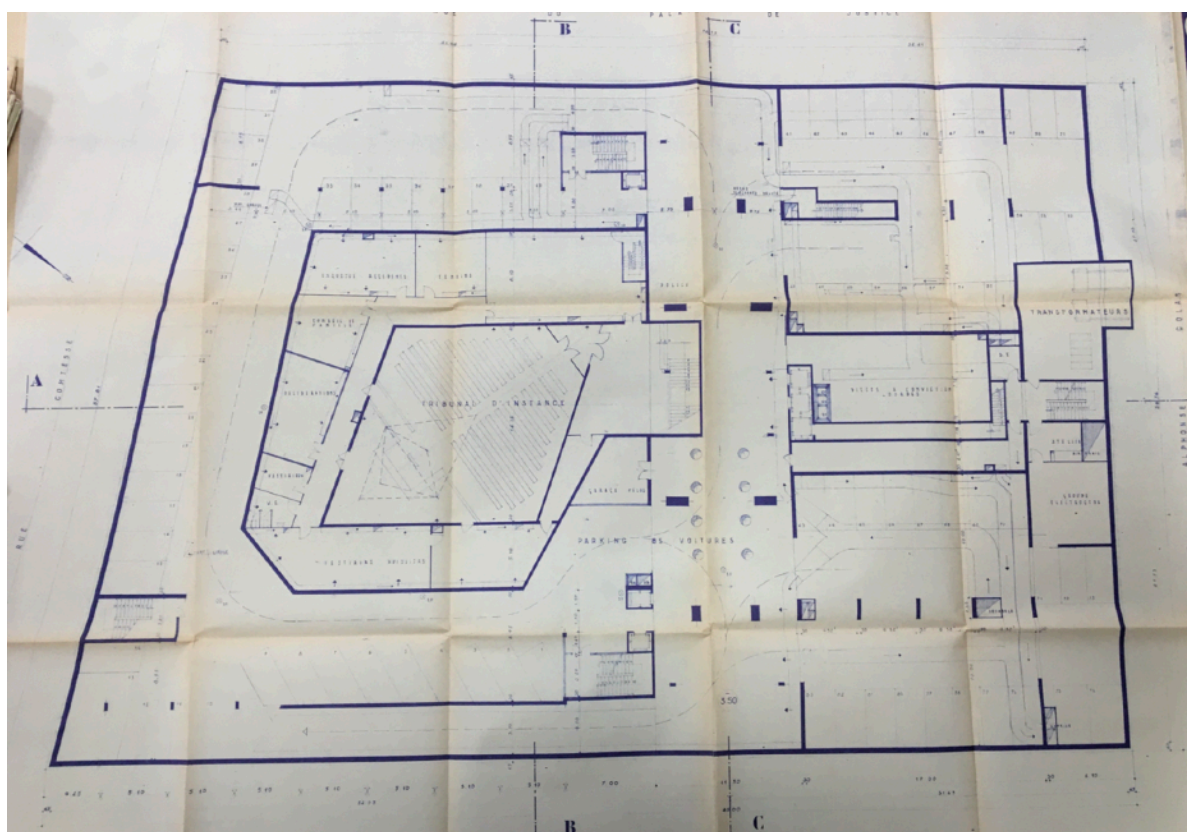


Plan R-3

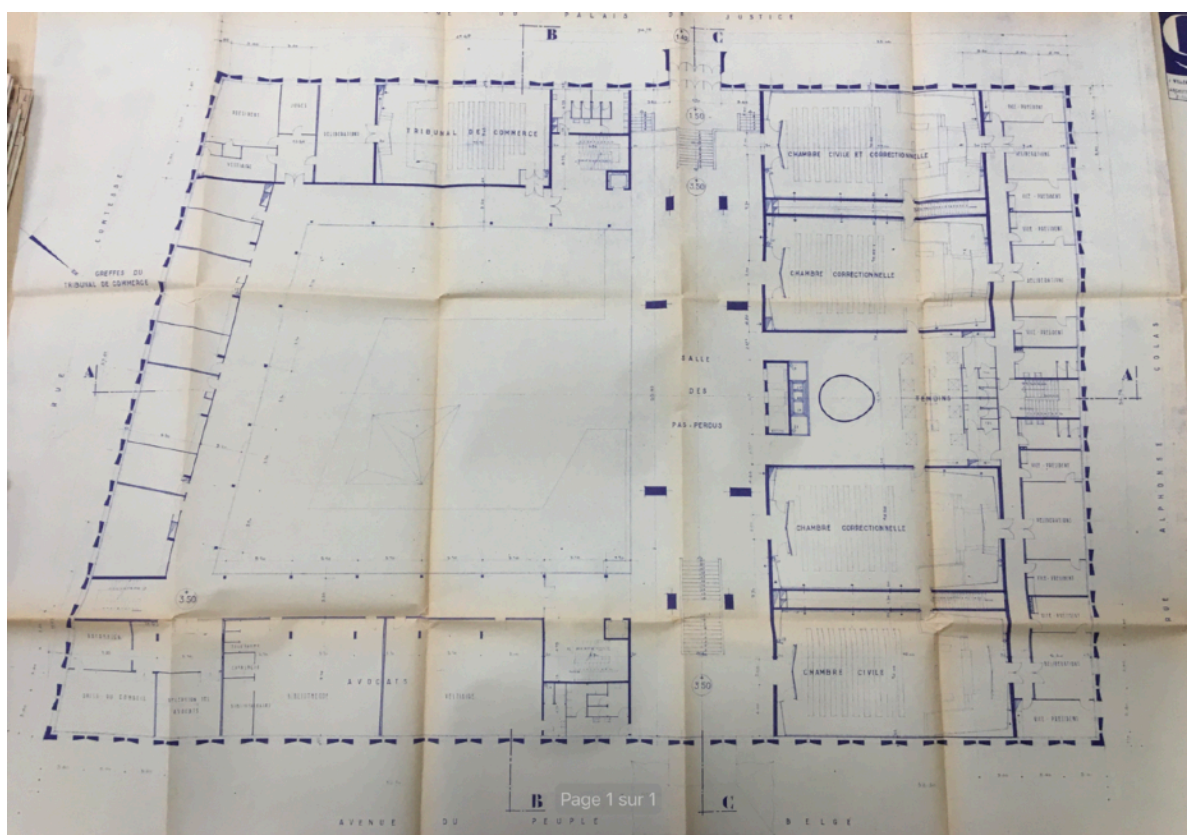


Plan R-2

Documents graphiques déposés pour permis de construire du Tribunal,
Disponibles aux archives municipales de Lille

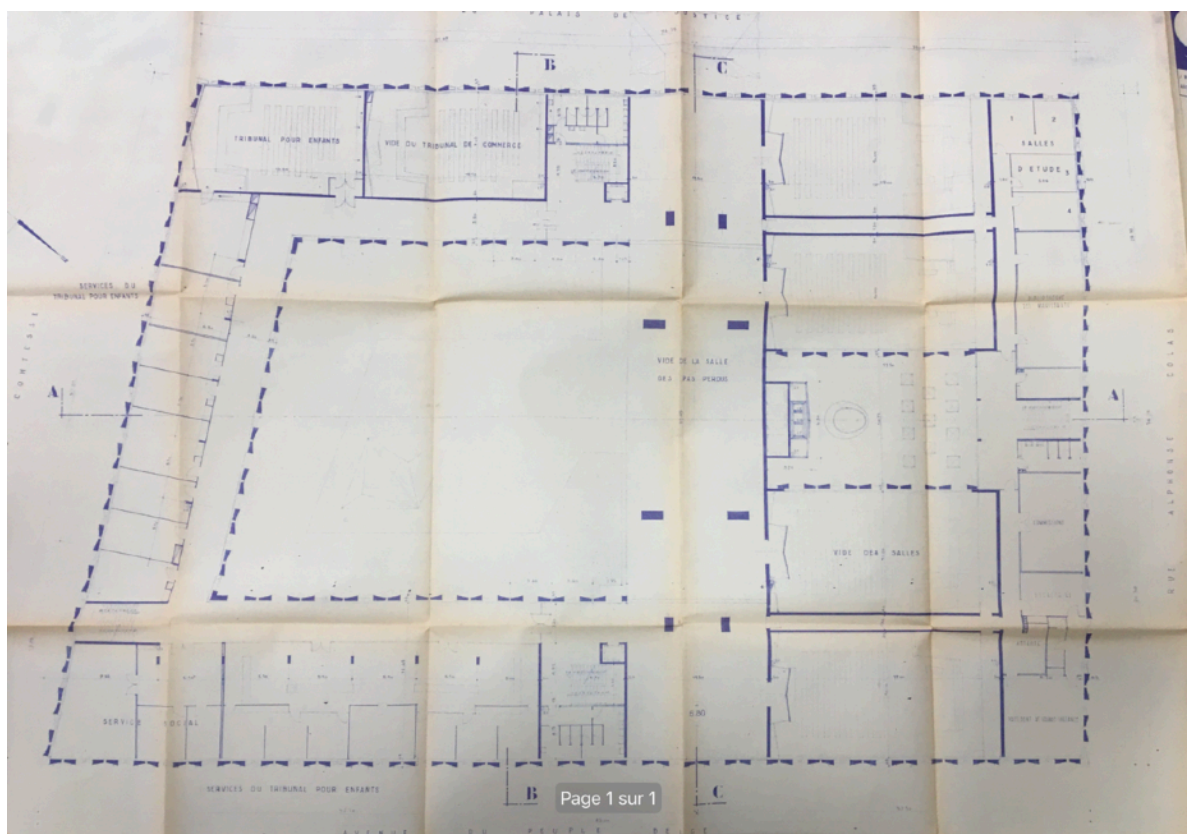


Plan R-1

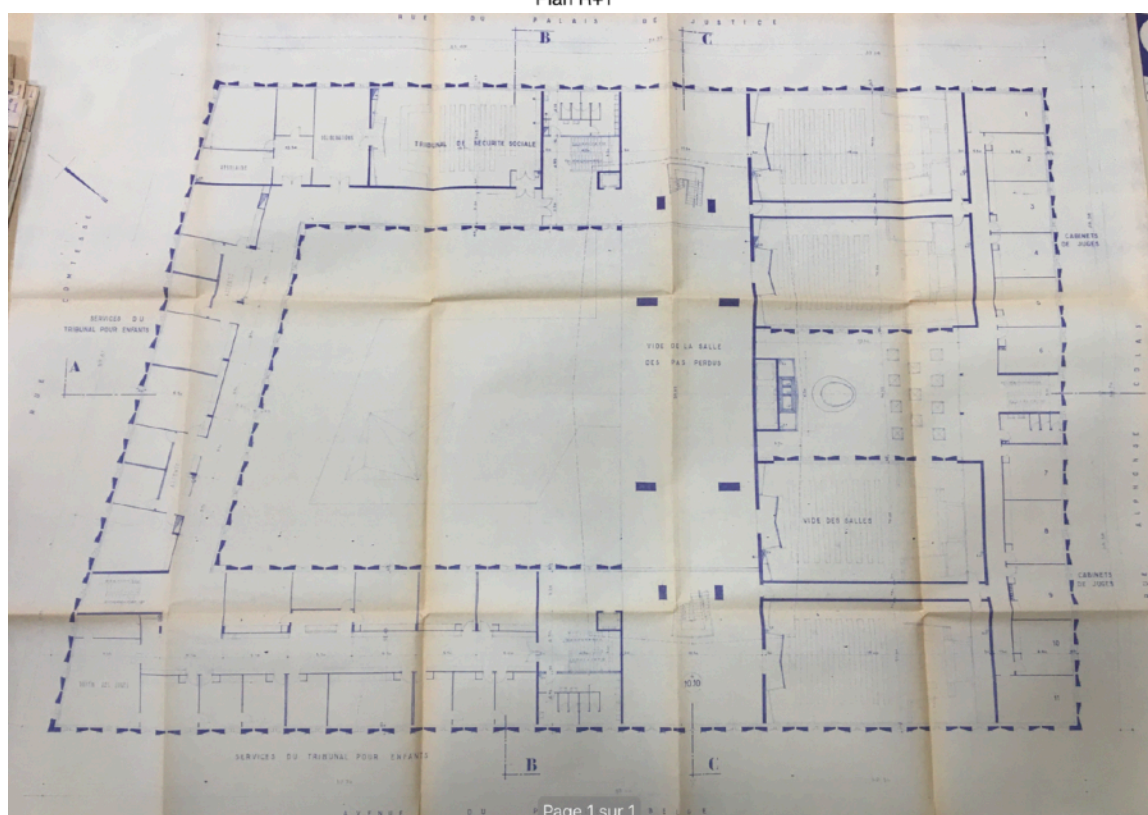


Plan Rez haut

Documents graphiques déposés pour permis de construire du Tribunal,
Disponibles aux archives municipales de Lille

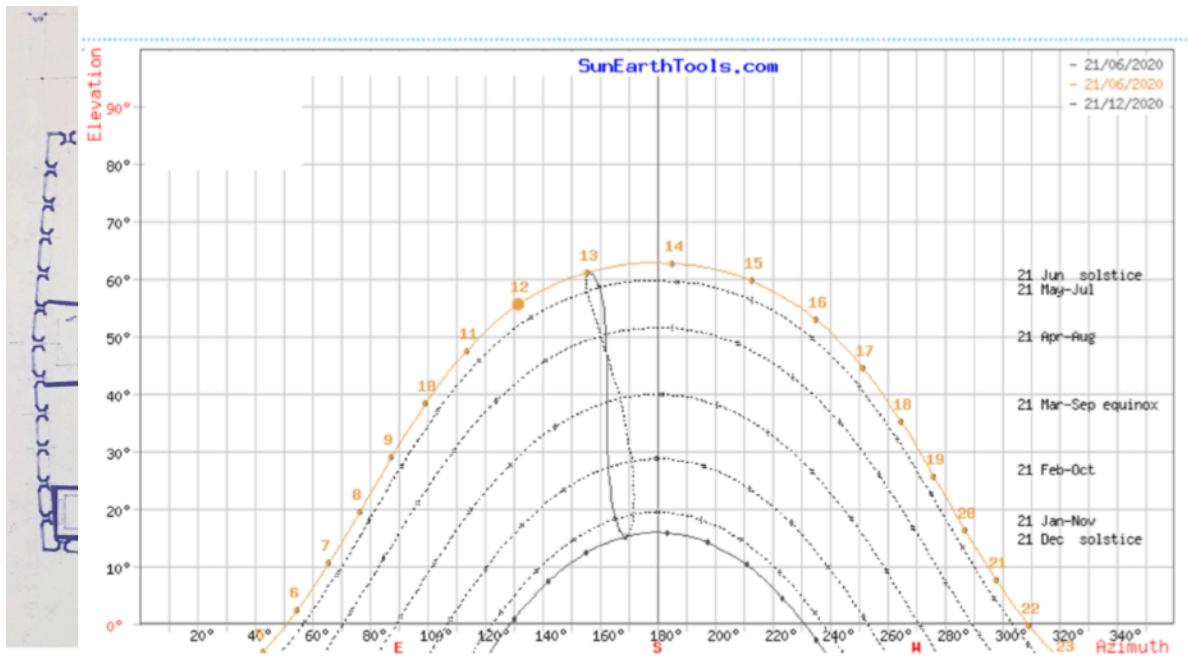


Plan R+1

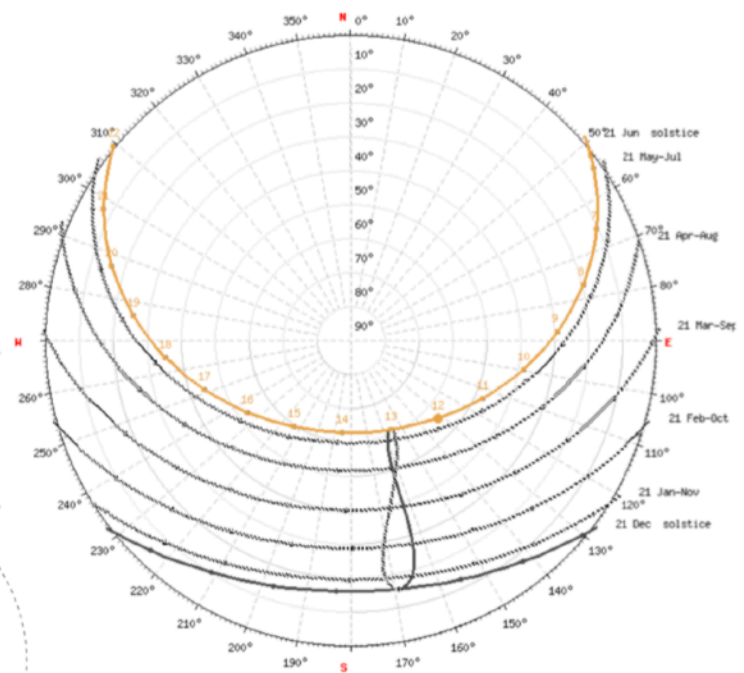


Plan R+2

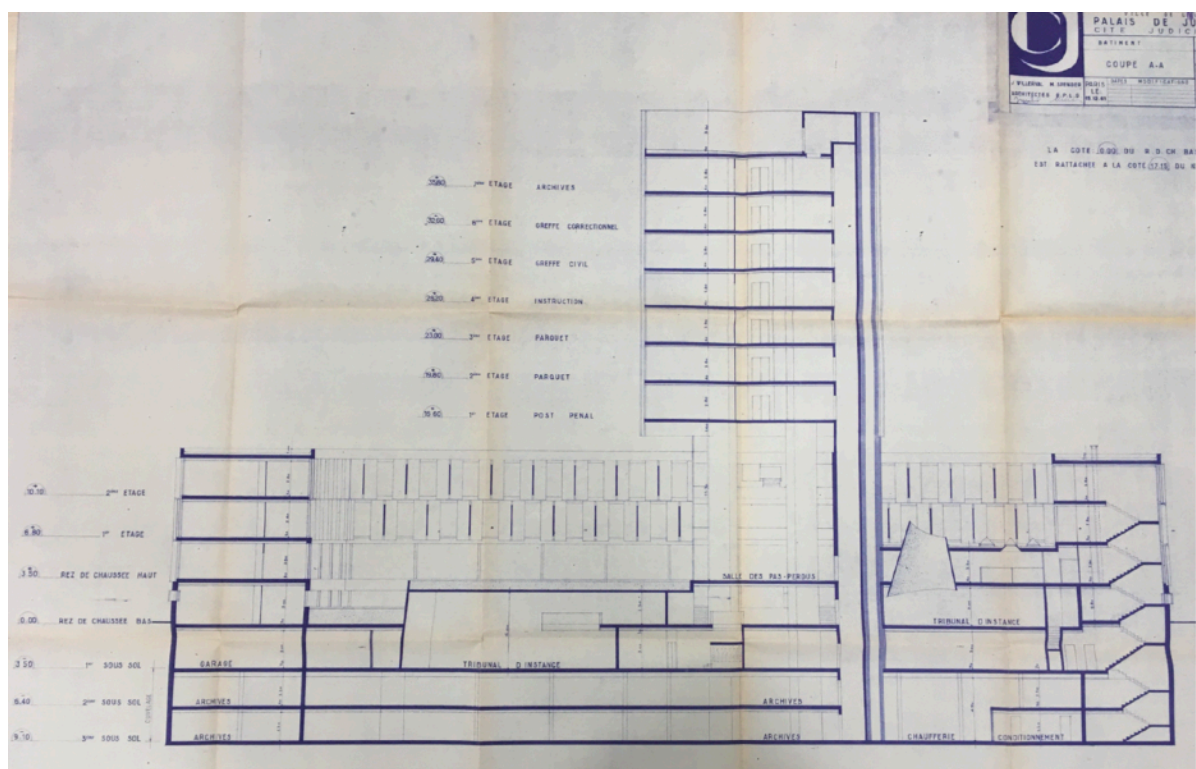
Documents graphiques déposés pour permis de construire du Tribunal,
Disponibles aux archives municipales de Lille



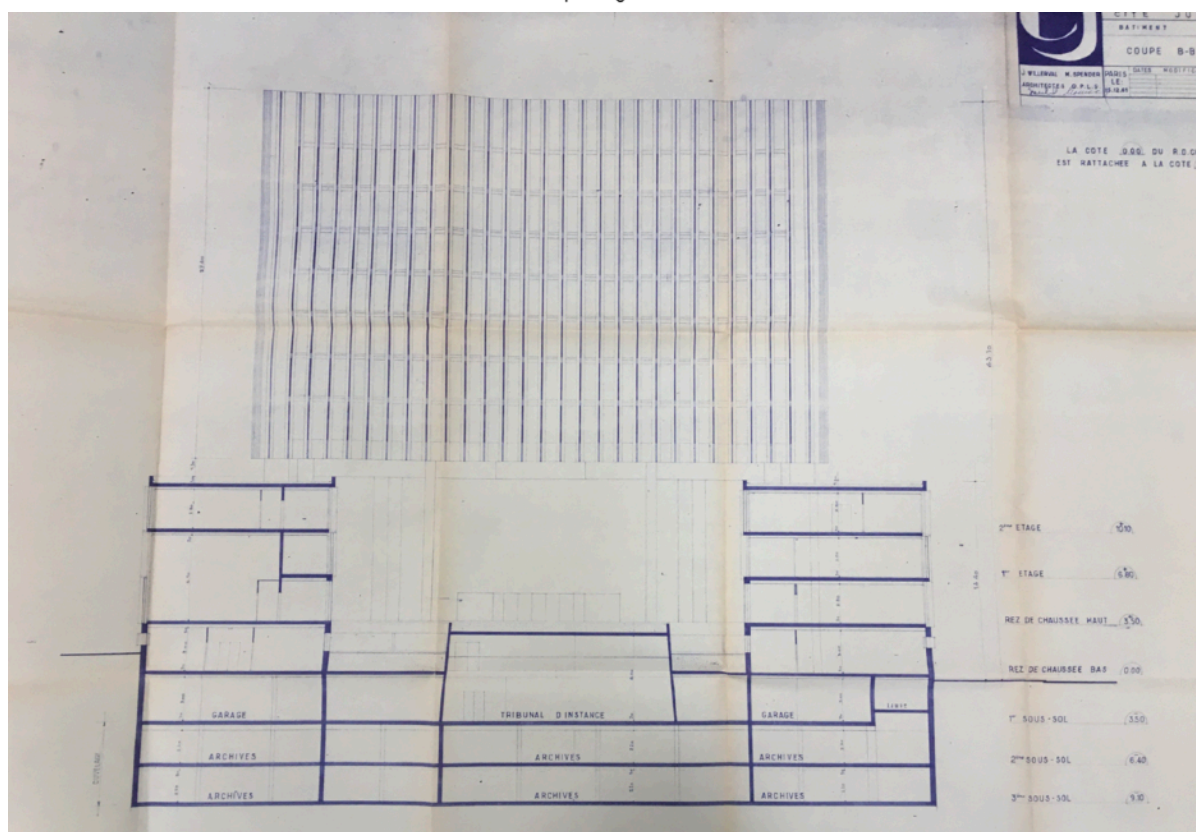
Latitude 50.64
Longitude 3.06



Course du soleil sur le site pendant un an, sunearthtools.com



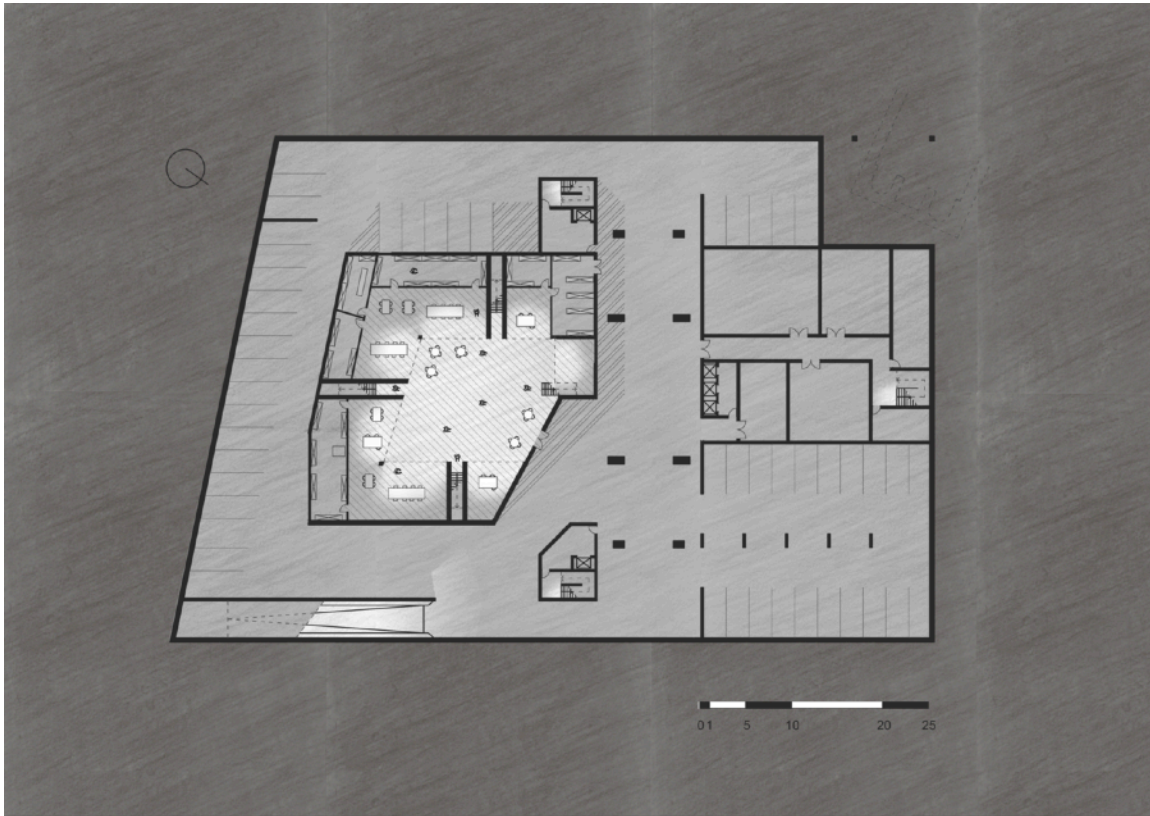
Coupe longitudinale



Coupe transversale

Documents graphiques déposés pour permis de construire du Tribunal,
Disponibles aux archives municipales de Lille

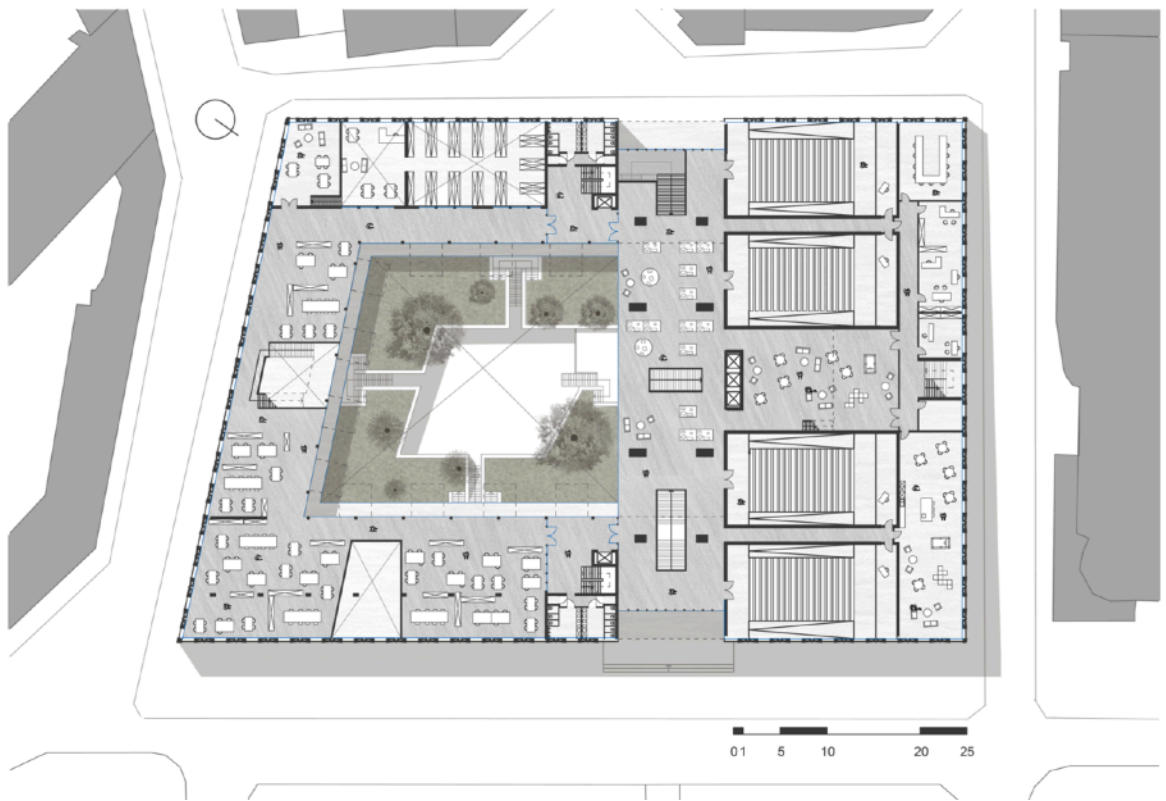
Le projet



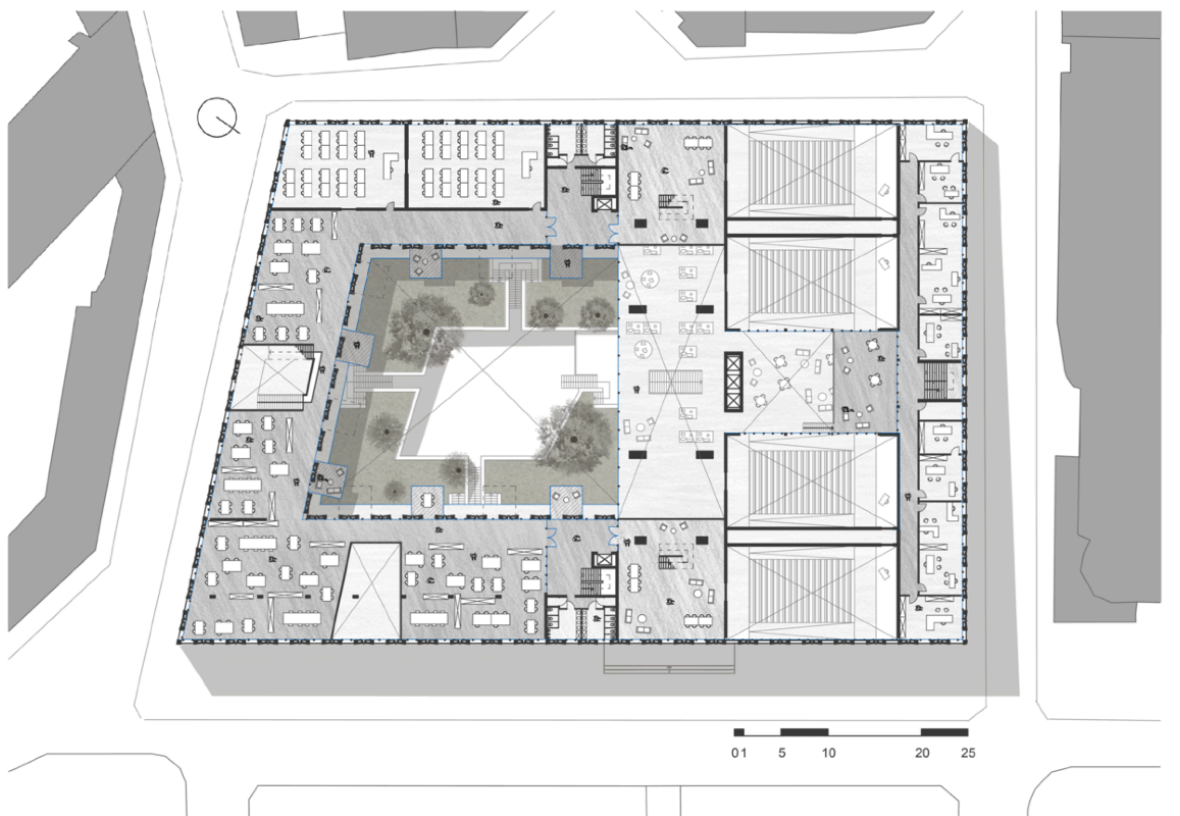
Plan du R-1, Zachary ADJOU



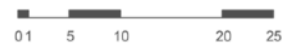
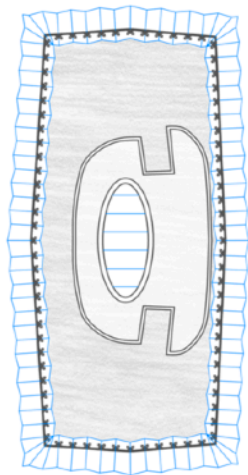
Plan du rez-de-chaussée bas, Zachary ADJOU



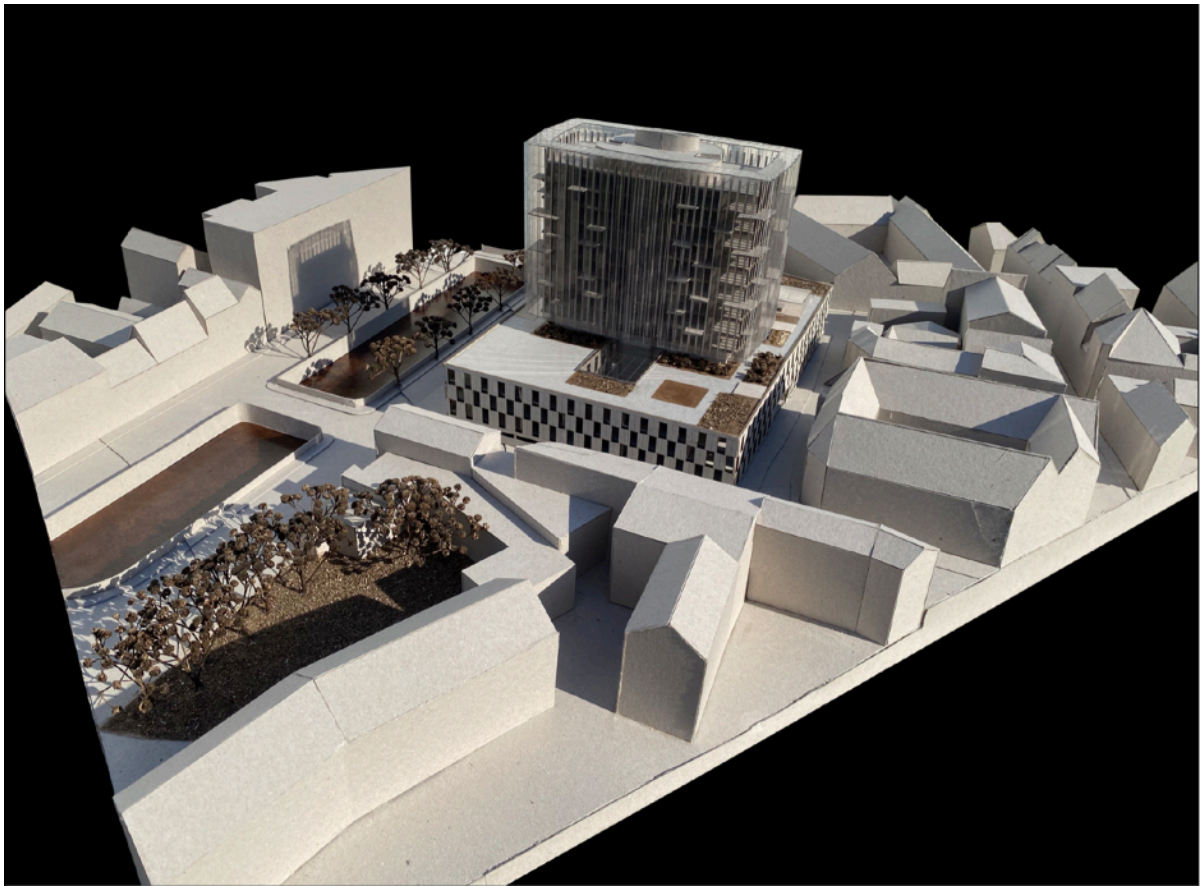
Plan du rez-de-chaussée haut, Zachary ADJOU



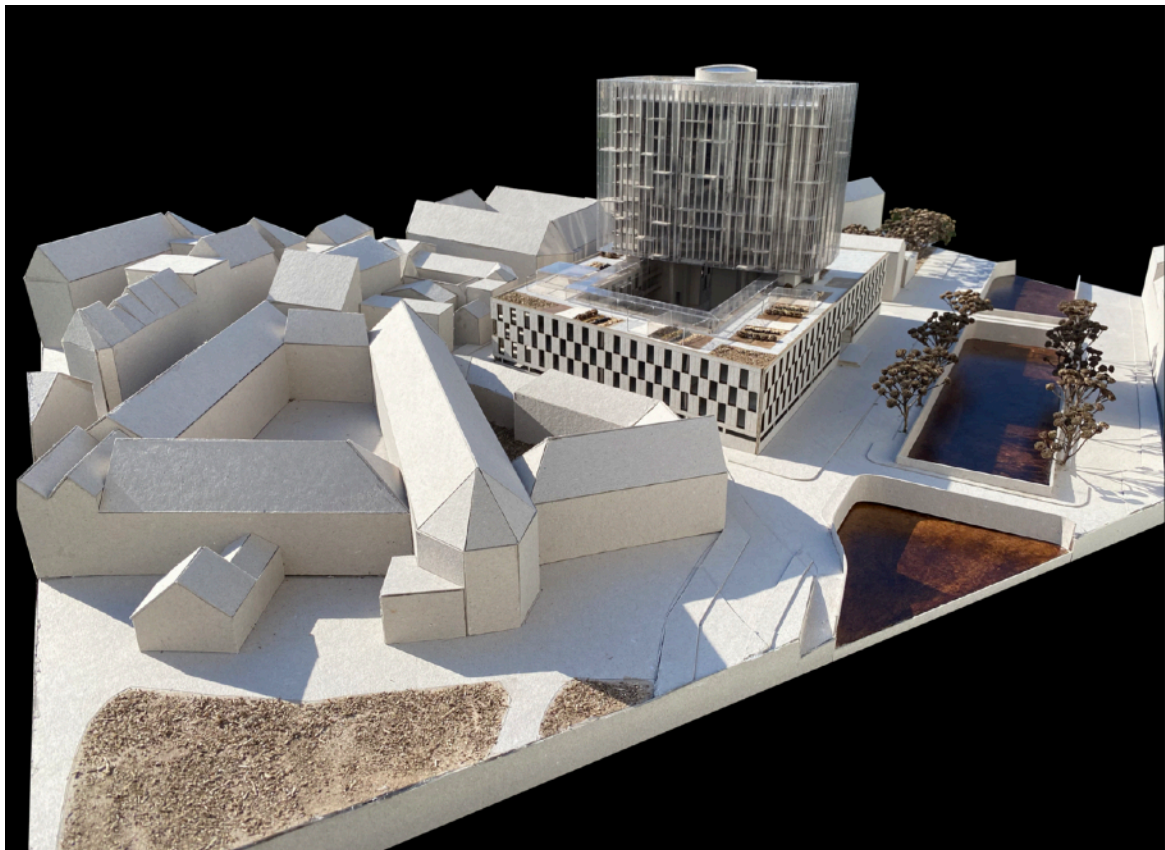
Plan du R+1, Zachary ADJOU



Plan de toiture de la tour & R+11, Zachary ADJOU



Vue du site en contre plongée depuis le Nord-ouest ,(photo de maquette), Zachary ADJOU



Vue du site en contre plongée depuis le Sud-est,(photo de maquette) Zachary ADJOU



Vue du site en plan, (photo de maquette), Zachary ADJOU



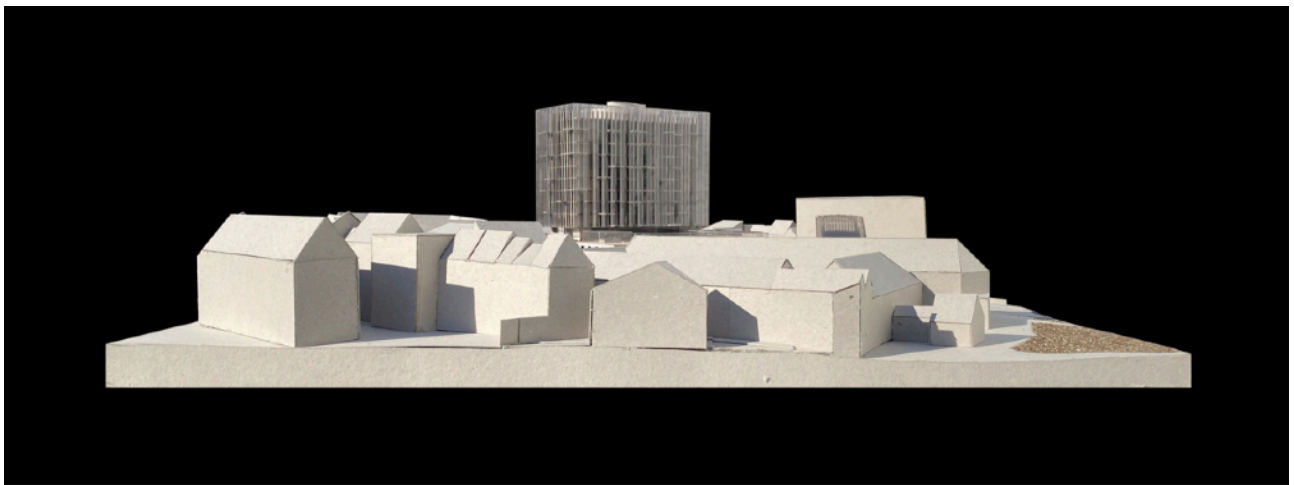
Vue du bâtiment depuis le Sud-est,
(photo de maquette), Zachary ADJOU



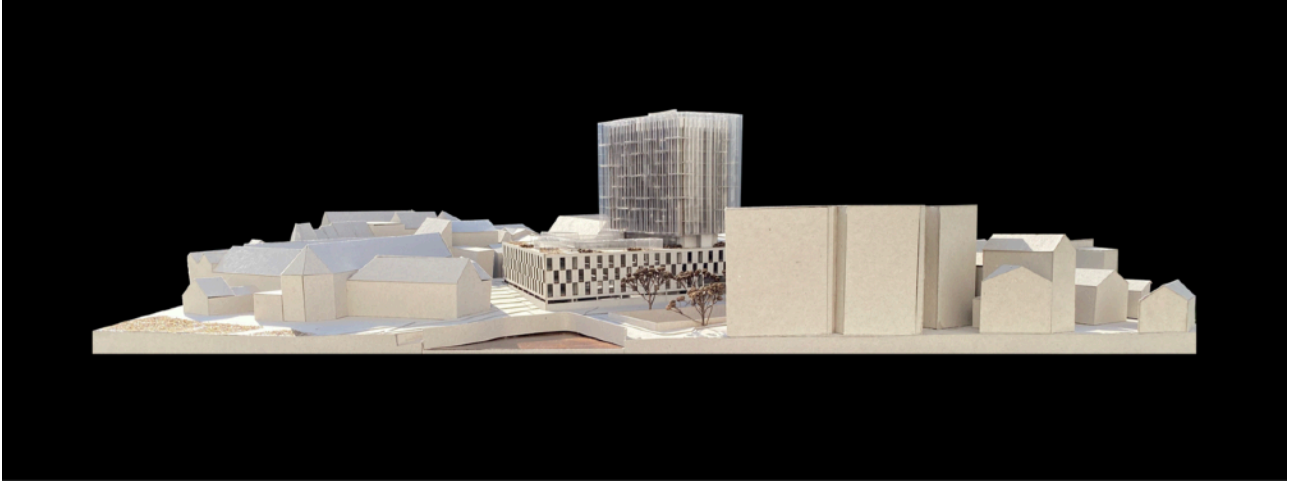
Vue du patio depuis la toiture du socle,
(photo de maquette), Zachary ADJOU



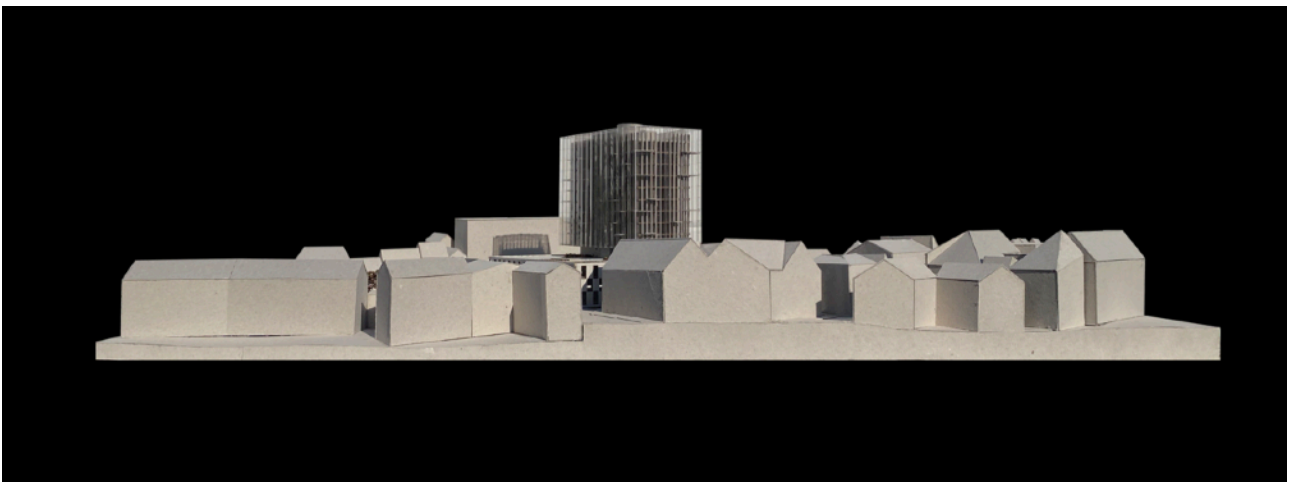
Skyline du site vue depuis le nord,(photo de maquette) Zachary ADJOU



Skyline du site vue depuis le sud,(photo de maquette) Zachary ADJOU



Skyline du site vue depuis l'est,(photo de maquette) Zachary ADJOU



Skyline du site vue depuis l'ouest,(photo de maquette) Zachary ADJOU

Bibliographie

Ouvrages et articles

- **VENTURI Robert.** *De l'ambiguïté en architecture.* 3e édition. 2020. Collection : Hors collection, 144p. Collection Dunod
- **RAMBERT (F.),** *Un bâtiment, combien de vies? : la transformation comme acte de création,* Silvana, 2015. 334p.
- **HERZOG Thomas, KRIPPNER Roland, WERNER Lang,** *Construire des façades,* Presses Polytechniques et Universitaires Romandes (PPUR). 2007. 324p Collection Atlas de construction.
- **SCHITTICH Christian, STAIB Gerald, BALKOX Dieter, SCHULER Matthias, SOBEK Werner.** *Construire en verre.* Edition PPUR. 2012 . 352p. Collection Broché
- **HURPY Nicolas.** *Effets de serres - Conception et construction des serres bioclimatiques.* Edition Edisud. 1981. 200p
- **HEGGER Manfred, FUCHS Matthias, STARK Thomas, Zeumer.** *Construction et énergie.* Edition PPUR. 280p. 2011. Collection détail.
- **WURM JAN.** *Glass Structures : Design and Construction of Self-supporting Skins.* Edition Birhauser. 2007. 255p
- **COLLEU Avril OLIVER ALLIBERT Christophe,** *12 solutions bioclimatiques pour l'habitat: Construire ou rénover : climat et besoins énergétiques (L'efficacité énergétique du bâtiment).* Edition Eyrolles.. 1er édition 2016. 230p. Collection Kindle

Sitographie

- **eRT2012.** *Les principes de base d'une conception bioclimatique.* Kalegos, 2020 [Page consultée le 8 mars 2020]. Disponible sur : <https://www.e-rt2012.fr/explications/conception/explication-architecture-bioclimatique/>
- **Energieplus.** *Architecture et Climat – Faculté d'architecture, d'ingénierie architecturale, d'urbanisme (LOCI) –* [En ligne]. *Université catholique de Louvain (Belgique).* [Page consultée le 4 mars 2020]. Disponible sur : <https://energieplus-lesite.be/concevoir/fenetres2/choisir-la-protection-solaire/choisir-une-protection-mobile-fixe-ou-permanente/>
- **Nicolas Guignard - Enviroboite.** [En ligne]. Programme PACTE. 10 avril 2019 [Page consultée le 21 mars 2020]. Disponible sur : <https://www.enviroboite.net/regles-de-l-art-grenelle-environnement-2012-rage>
- **J-M Pupille.** *PassivAct Actif pour construire passif.* [En ligne]. Mis à jour le 12 décembre 2019 [Page consultée le 22 février 2020]. Disponible sur : <https://passivact.fr/Concepts/files/InertiesThermiques-Comprendre.html>
- **Bruxelles Environnement.** *Guide du bâtiment durable.* [En ligne]. Mis à jour le 29/01/2016 [Page consultée le 13 mars 2020]. Disponible sur : <https://www.guidebatimentdurable.brussels/fr/mentions-legales.html?IDC=1515>
- **Franck Boutte Consultants.** *Construction21.* [En ligne]. Construction 21. [Page consultée le 10 janvier 2020]. Disponible sur : <https://www.construction21.org>

Iconographie

Figure 1 :

BOULLET SOUCHIER. Inconnue, « Principe du fonctionnement de la double-peau en hiver et en été ». Schéma, En ligne *In Souchier-boullet*, Adresse URL du site < [### **Figure 2 :**](https://www.souchier-boullet.com/prescription/prescription-gestion-energetique/facade-bioclimatique-intelligente-fci/#:~:text=MODE%20DE%20FONCTIONNEMENT&text=Une%20fonction%20automatique%20permet%20de,%20ext%C3%A9rieur%2C%20si%20n%C3%A9cessaire.> consulté le 18 janvier 2021</p></div><div data-bbox=)

ADJOU, Zachary. 20 décembre 2020. « La position occupée par l'espace de la double-peau (un entre deux) ». Schéma

Figure 3 :

ADJOU, Zachary. 28 décembre 2020. «Le phénomène d'effet de serre produit dans un espace clos ». Schéma

Figure 4 :

ADJOU, Zachary. 3 janvier 2021. « Les trois catégories de façades double peau ». Schéma

Figure 5 :

ADJOU, Zachary. 17 janvier 2021. « Comportement du rayonnement solaire traversant un vitrage ». Schéma

Figure 6 :

ENERGIEPLUS-LESITE. Inconnue. « Evolution de l'énergie captée en fonction de l'inclinaison du vitrage (orienté au sud dans l'hémisphère nord) ». Graphique, En ligne *In Energieplus-lesite* Adresse URL du site < [### **Figure 7 :**](https://energieplus-lesite.be/concevoir/fenetres2/position-et-la-dimension-fenetre/choisir-la-fenetre-comme-capteur-d-energie-solaire-d1/> consulté le 15 janvier 2021</p></div><div data-bbox=)

ADJOU, Zachary. 14 janvier 2021. «Dispositif de store orientable extérieur ». Schéma, En ligne *In Energieplus-lesite* Adresse URL du site < [### **Figure 8 :**](https://energieplus-lesite.be/techniques/enveloppe7/composants-de-l-enveloppe/protections-solaires/protections-exterieures/> consulté le 16 janvier 2021</p></div><div data-bbox=)

ADJOU, Zachary. 22 janvier 2021. « Illustration de l'ombrage créé par un brise solaire fixe en fonction des saisons (espace orienté au sud) ». Schéma

Figure 9 :

ADJOU, Zachary. 1 février 2021. « Les deux possibilités d'installation de la double-peau ». Schéma

Figure 10 :

ADJOU, Zachary. 5 février 2021. « Comparaison respective de l'évolution de la température intérieure dans un bâtiment à faible et forte inertie thermique ». Schéma

Figure 11 :

ADJOU, Zachary. 10 février 2021. « Les possibilités de mise en œuvre d'une l'isolation thermique ». Schéma

Figure 12 :

ENERGIEPLUS-LESITE. Inconnue. « Illustration du principe du free cooling,». Schéma, En ligne In *Energieplus-lesite* Adresse URL du site < <https://energieplus-lesite.be/etudes-de-cas/climatisation4/maitrise-de-la-surchauffe-grace-au-night-cooling/>> consulté le 18 janvier 2021

Figure 13 :

BOUTTE, Franck. « L'un des bâtiments avant l'intervention ». Photo, En ligne In *Frack-boutte* Adresse URL du site < <https://franck-boutte.com/campus-scientifique-bordeaux/>> consulté le 18 janvier

Figure 14 :

BOUTTE, Franck. « Fonctionnement de la double peau en hiver ». Schéma, En ligne In *Frack-boutte* Adresse URL du site < <https://franck-boutte.com/campus-scientifique-bordeaux/>> consulté le 18 janvier

Figure 15 :

BOUTTE, Franck. « Simulation informatique de la vitesse du vent ». Schéma, En ligne In *Frack-boutte* Adresse URL du site < <https://franck-boutte.com/campus-scientifique-bordeaux/>> consulté le 18 janvier

Figure 16 :

FRANCK BOUTTE CONSULTANTS. 2015 « Ventelles en partie basse et haute», *En ligne In Construction21France*. Adresse URL du site < <https://www.construction21.org/france/case-studies/h/universite-scientifique-de-bordeaux.html>> consulté le 18 janvier

Figure 17 :

BOUTTE, Franck. « Bâtiment après l'intervention». 3D, En ligne In *Frack-boutte* Adresse URL du site < <https://franck-boutte.com/campus-scientifique-bordeaux/>> consulté le 18 janvier

Figure 18 :

BOUTTE, Franck. « Utilisation de la peau à l'échelle du campus». Photo, En ligne In *Frack-boutte* Adresse URL du site < <https://franck-boutte.com/campus-scientifique-bordeaux/>> consulté le 18 janvier

Figure 19 :

LACATON VASSAL. 1959. « La tour Bois-le-prêtre avant et après sa première réhabilitation thermique» En ligne *In lacatonvassal*. Adresse URL du site < <http://www.lacatonvassal.com/?idp=56> > consulté le 19 janvier

Figure 20 :

LACATON VASSAL. 2011. « Le principe d'intervention sur un appartement deux pièces» Schema. En ligne *In lacatonvassal*. Adresse URL du site < <http://www.lacatonvassal.com/?idp=56> > consulté le 19 janvier

Figure 21 :

LACATON VASSAL. 2011. « La structure en cours d'assemblage» Photo. En ligne *In lacatonvassal*. Adresse URL du site < <http://www.lacatonvassal.com/?idp=56> > consulté le 19 janvier

Figure 22 :

LACATON VASSAL. 2011. « Avant, après l'installation, augmentation de la surface habitable, ouverture complète sur les jardins d'hiver et les balcons» Schéma. En ligne *In lacatonvassal*. Adresse URL du site < <http://www.lacatonvassal.com/?idp=56> > consulté le 19 janvier

Figure 23 :

LACATON VASSAL. 2011. « Vue intérieure d'un appartement avant l'intervention.» Photo. En ligne *In lacatonvassal*. Adresse URL du site < <http://www.lacatonvassal.com/?idp=56> > consulté le 19 janvier

Figure 24 :

LACATON VASSAL. 2011. « vue intérieure d'un appartement après l'intervention» Photo. En ligne *In lacatonvassal*. Adresse URL du site < <http://www.lacatonvassal.com/?idp=56> > consulté le 19 janvier

Figure 25 :

LACATON VASSAL. 2011. « La tour après l'intervention» Photo. En ligne *In lacatonvassal*. Adresse URL du site < <http://www.lacatonvassal.com/?idp=56> > consulté le 19 janvier

Figure 26 :

GOOGLE MAPS. 2021. « localisation du tribunal dans la ville de Lille.» Plan map. En ligne *In googlomap*. Adresse URL du site < <https://www.google.com/maps> > consulté le 20 janvier

Figure 27 :

C.L.C. 1904. « Le premier Palais de Justice et ses prisons bordant les quais de la Basse Deûle» Photo. En ligne *In lilledantan*. Adresse URL du site <

Figure 28 :

GOOGLE MAPS. 2021. « Déménagement de l'actuel tribunal (en rouge) sur un terrain de sport plus au nord (en bleu) ». Plan map. En ligne *In googlomap*. Adresse URL du site < <https://www.google.com/maps> > consulté le 22 janvier

Figure 29 :

Tomtom. 2021. « L'actuel Palais de Justice, vu depuis l'avenue du Peuple Belge ». Plan map 3D Application PLAN sur macOS, consulté le 22 janvier

Figure 30 :

ADJOU, Zachary. 3 février 2021. « Position transitoire entre la rue de la monnaie et l'avenue du peuple». Plan

Figure 31 :

ADJOU, Zachary. 5 février 2021 « Le sous bassement crée une façade hermétique à la ville.». Photo

Figure 32 :

ADJOU, Zachary. 5 février 2021. « L'acrotère du socle parfaitement aligné à la façade du Musée de l'Hospice Comtesse » Capture d'écran. En ligne In *Googlemap* Adresse URL du site < GoogleStreetView.com> Consulté le 5 février 2021

Figure 33 :

ADJOU, Zachary. 5 février 2021. « Plan du Rez -de-chaussé bas et plan type de la tour.».Schéma

Figure 34 :

ADJOU, Zachary. 5 février 2021. « Coupe longitudinale de l'ensemble du bâtiment. » Schéma

Figure 35 :

ADJOU, Zachary. 6 février 2021. « Organisation programmatique du Palais de Justice,» Schéma

Figure 36 :

ADJOU, Zachary. 5 février 2021. « L'occupation de l'espace centrale de l'avenue du Peuple Belge par des parking» Capture d'écran. En ligne In *Googlemap* Adresse URL du site < GoogleStreetView.com> Consulté le 5 février 2021

Figure 37 :

ADJOU, Zachary. 5 février 2021. « Les dimensions principales du bâtiment» Schéma

Figure 38 :

ADJOU, Zachary. 7 février 2021. « Les étroits ouvrants disposés derrière les modules de béton » Photo

Figure 39 :

ADJOU, Zachary. 7 février 2021. « Les menuisiers continues derrière les éléments porteurs,» Photo

Figure 40 :

ADJOU, Zachary. 8 février 2021. « Principe structurel du socle, Schéma

Figure 41 :

ADJOU, Zachary. 8 février 2021. « Extrait de façade du socle, vue depuis le patio (les boucliers de béton).» Photo

Figure 42 :

ADJOU, Zachary. 5 février 2021. « Repérage des éléments porteurs au niveau du socle» Plan

Figure 43 :

ADJOU, Zachary. 7 février 2021. « Façade de la tour composée de montant en béton. vue depuis le patio » Photo

Figure 44 :

ADJOU, Zachary. 7 février 2021. « Réseau de poutres soutenant la tour, vue depuis la salle des pas perdus » Photo

Figure 45 :

ADJOU, Zachary. 15 février 2021. « Principe structurel de la tour. » Schéma

Figure 46 :

ADJOU, Zachary. 15 février 2021. Repérage des éléments porteurs répétés à chaque niveaux de la tour,» Schéma

Figure 47 :

ADJOU, Zachary. 22 février 2021. « Simulation de l'exposition des façades en fonction des saisons. » Schéma

Figure 48 :

ADJOU, Zachary. 7 février 2021. « Les espaces de circulation entièrement vitrée (simple vitrage) et sans système de contrôle du climat. Vu depuis le couloir au rez-de-chaussée haut » Photo

Figure 49 :

ADJOU, Zachary. 3 mars 2021. « Organisation programmatique du campus» Schéma

Figure 50 :

ADJOU, Zachary 6 mars2021. « L'actuelle entrée principale du Tribunal,» Photo

Figure 51 :

ADJOU, Zachary 6 mars2021. « La rue intérieur traversant le bâtiment de part et d'autre » Photo

Figure 52 :

ADJOU, Zachary 8 mars2021. « Rendre le bâtiment poreux au quartier,» Shéma

Figure 53 :

ADJOU, Zachary 8 mars 2021. « Perte de la porosité à travers la façade au R+1 et R+2, vue depuis le rez-de-chaussée bas » Photo

Figure 54 :

ADJOU, Zachary 9 mars 2021. « Les trois possibilités pour isoler le bâtiment » Schéma

Figure 55 :

ADJOU, Zachary 9 mars 2021. « Déploiement de la nouvelle façade autour du patio, cette-ci fait le lien entre l'intérieur et le patio à travers les jardins d'hiver, (plan R+1), » Schéma

Figure 56 :

ADJOU, Zachary 20 mars 2021. « Principe thermique de la double peau du socle en été et en hiver » Schéma

Figure 57 :

ADJOU, Zachary 3 avril 2021. « Coupe technique du socle (coté patio) » Schéma

Figure 58 :

ADJOU, Zachary 5 avril 2021. « Avant/après la réhabilitation du petit patio » Coupe

Figure 59 :

ADJOU, Zachary 3 mai 2021. « Principe thermique de la tour en hiver » Coupe

Figure 60 :

ADJOU, Zachary 3 mai 2021. « Principe thermique de la tour en été » Coupe

Figure 61 :

ADJOU, Zachary 10 mai 2021. « Coupe technique du socle (coté patio) » Coupe

Figure 62 :

ADJOU, Zachary 6 mai 2021. « Jeu de reflets marquant la verticalité de la tour, (photo de maquette) » Photo

Figure 63 :

ADJOU, Zachary 11 mai 2021. « Création du porche d'entrée côté avenue du Peuple Belge, (Photo de maquette) » Photo

Figure 64 :

ADJOU, Zachary 15 mai 2021. « Avant/ Après l'aménagement des plateaux, coupe longitudinale du socle » Coupe

Figure 65:

ADJOU, Zachary 17 mai 2021. « Le patio principale comme lieu fédérateur du Campus » Coupe

Figure 66 :

ADJOU, Zachary 18 mai 2021. « Aménagement d'une promenade paysagère sur la toiture du socle» Coupe

Figure 67 :

ADJOU, Zachary 18 mai 2021. « Aménagement des logements partagés, respectivement plan R+10 & R+9 » Coupe