
Mémoire de fin d'études: Ventiler naturellement les lieux d'enseignement : Implications architecturales et enjeux sociotechniques

Auteur : Ehrmann, Sambre

Promoteur(s) : Neuwels, Julie; Voglaire, Corentin

Faculté : Faculté d'Architecture

Diplôme : Master en architecture, à finalité spécialisée en art de bâtir et urbanisme

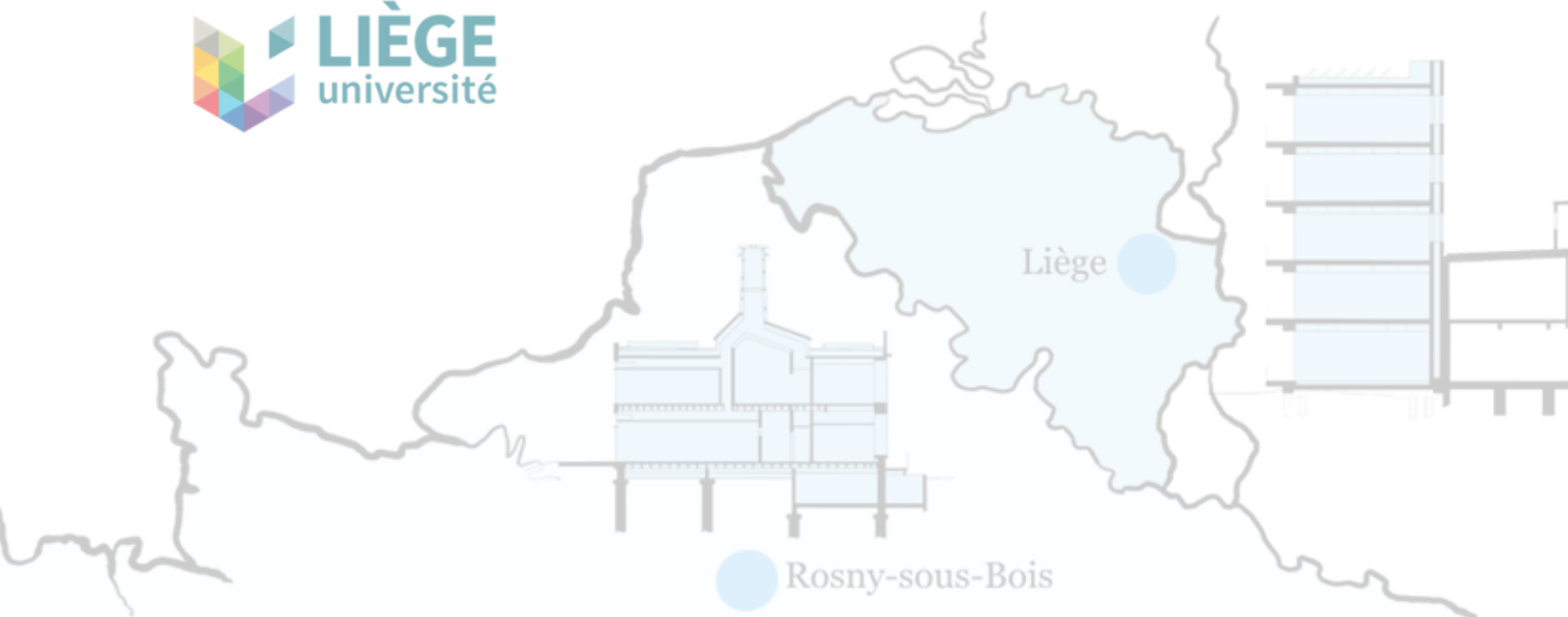
Année académique : 2024-2025

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/23121>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.



VENTILER NATURELLEMENT LES LIEUX D'ENSEIGNEMENT : IMPLICATIONS ARCHITECTURALES ET ENJEUX SOCIOTECHNIQUES

Travail de fin d'études présenté par Sambre EHRMANN,
en vue de l'obtention du grade de Master en Architecture.



Sous la direction de Madame Julie NEUWELS et Monsieur Corentin VOGLAIRE
Année académique 2024-2025
Première partie

**VENTILER NATURELLEMENT LES LIEUX D'ENSEIGNEMENT :
IMPLICATIONS ARCHITECTURALES
ET ENJEUX SOCIOTECHNIQUES**

Travail de fin d'études présenté par Sambre EHRMANN,
en vue de l'obtention du grade de Master en Architecture.

Sous la direction de Madame Julie NEUWELS et Monsieur Corentin VOGLAIRE
Année académique 2024-2025

Remerciements

Ce travail de fin d'études représente pour moi l'aboutissement de cinq années d'apprentissage, de réflexion et de construction personnelle autour de multiples thématiques liées à l'architecture. Il n'aurait jamais pu voir le jour sans le soutien de plusieurs personnes, que je tiens ici à remercier.

Je tiens tout d'abord à remercier ma promotrice Julie Neuwels pour sa confiance, ses conseils et son accompagnement tout au long de ce travail. Depuis le début de mon master, elle a su m'orienter, nourrir mes réflexions et m'encourager à approfondir ma démarche avec rigueur et curiosité. Son soutien a été déterminant dans l'élaboration de ce mémoire.

Merci aussi à mon promoteur, Corentin Voglaire, pour sa disponibilité et pour l'exigence technique avec laquelle il a enrichi ce travail.

Je tiens à exprimer ma gratitude à mes lecteurs pour le temps qu'ils ont consacré à ce mémoire : Jean-Baptiste Possoz, Michel Prégardien et Matthieu Delatte.

Un grand merci aussi aux architectes qui ont accepté de partager leur expérience et leur temps pour les entretiens : Charlotte Picard, Pierre Tourre, Jules Eymard, Benoît Rougelot et Hugo Mazza. Leurs témoignages ont été essentiels pour alimenter ma réflexion.

Au sein de l'Université, je remercie Damien Remen de l'ARI, Daniel Delgoffe, ainsi que François Laurent pour leur aide. Leurs explications m'ont permis de mieux comprendre le futur bâtiment de la faculté d'architecture et les enjeux associés.

Enfin, je tiens à remercier tout particulièrement mes parents et ma famille. Leur soutien constant, leurs encouragements et, surtout, leur aide précieuse pour relire et corriger ce mémoire m'ont été d'une grande aide. Merci de toujours me pousser en avant et de m'encourager tout au long de mon parcours. Merci à mon frère (même si tu es loin en ce moment), je chéris profondément chacune de nos retrouvailles. Et pour finir, un immense merci à toi, Antoine, pour ta présence et ton soutien tout au long de ce travail : merci pour tes relectures, ta patience et tes repas.

Résumé

Le phénomène est bien documenté dans le domaine de la sociologie mais aussi bien connu des architectes : la mise en œuvre des politiques environnementales, en particulier énergétiques, dans le secteur de la construction a favorisé la technicisation des bâtiments. Notamment, elle a renforcé le recours à la ventilation mécanique contrôlée (VMC), présentée comme un équipement indispensable au bon fonctionnement des bâtiments dits « performants ». En parallèle, l'intérêt pour le low-tech a gagné du terrain dans le domaine de l'architecture et au-delà. Se sont ainsi développées des productions architecturales proposant des voies alternatives aux logiques technico-centrées, notamment en matière de ventilation.

Ce travail de fin d'études analyse des bâtiments d'enseignement énergétiquement efficaces et ventilés naturellement, en croisant la théorie de l'acteur-réseau, le concept « d'innovation par retrait » et la recherche par le projet. Il poursuit plusieurs objectifs :

- Il s'agit de comprendre en quoi la ventilation naturelle participe à « faire architecture », en analysant les implications spatiales et matérielles à l'œuvre ;
- Considérer ces projets comme des espaces d'expérimentation, dans lesquels se jouent des tentatives de reformulation de la construction éco-responsable, il s'agit de rendre compte du processus de conception, en insistant sur les innovations à l'œuvre, les difficultés rencontrées et les stratégies déployées pour les surmonter.

La première partie de ce travail repose sur l'analyse de quatre cas d'étude, mêlant entretiens semi-directifs et analyses documentaires. Un système de ventilation naturelle adapté au futur bâtiment de la Faculté d'Architecture de l'Université de Liège a été développé sur la base des enseignements tirés de ces analyses.

Abstract

The phenomenon is well documented in the field of sociology and equally well known to architects: the implementation of environmental policies –particularly those related to energy– in the construction sector has led to the increasing technologization of buildings. This has notably reinforced the use of mechanical ventilation systems (MVS), often presented as essential to the functioning of so-called “high-performance” buildings. At the same time, interest in low-tech approaches has grown within architecture and beyond, giving rise to alternative design strategies, particularly in the field of ventilation.

This master's thesis focuses on energy-efficient educational buildings that rely on natural ventilation. It combines Actor-Network Theory, the concept of “innovation through subtraction,” and research by design. The study pursues two main objectives:

- To examine how natural ventilation contributes to architectural design by analyzing its spatial and material implications ;
- By considering these buildings as experimental spaces where new approaches to sustainable construction are explored, the aim is to document the design processes, highlighting the innovations developed, the challenges faced, and the strategies employed.

The first part of this work is based on the analysis of four case studies, using semi-structured interviews and document review. Drawing on the findings from these cases, a natural ventilation system has been designed for the future building of the Faculty of Architecture at the University of Liège.

Table des matières

Introduction	9
1. Problématique	9
2. Objectif de la recherche	11
3. Positionnement de la recherche	11
4. Méthodologie	12
5. Plan de rédaction	19
Chapitre 1 - Contexte normatif	21
1. Normes et réglementation de la ventilation	21
2. La réglementation wallonne en matière de ventilation	28
3. Typologies de ventilation naturelle	29
Chapitre 2 - État de l'art	35
1. Héritages	35
2. Époque actuelle	39
3. Conclusion	43
Chapitre 3 – Terrain d'étude	45
1. Cas d'étude, le lycée Jean Jaurès – Tourre Sanchis	45
2. Cas d'étude, le centre de loisirs Jacques Chirac – Mairie de Rosny-sous-Bois	54
3. Cas d'étude, le groupe scolaire Frida Kahlo – Compagnie Architecture	69
4. Cas d'étude, l'Espace Novateur en milieu Rural – Landfabrik	81
5. Les liens entre les projets	91
Chapitre 4 - La barre, un nouveau bâtiment pour la faculté d'architecture de Liège	94
1. Contexte	95
2. Présentation du projet	96
3. Les acteurs du projet	99
4. Le système de ventilation et sa mise en œuvre	103
5. Limites et retours d'expérience	106
6. Maintenance et appropriation du bâtiment	107
7. Conclusion	107
Conclusion	109
Bibliographie	111
Liste des abréviations	116
Annexes	117
Liste des tableaux	117
Liste des illustrations	117
Guide d'entretien semi-directif	119

Introduction

1. Problématique

Ma recherche s'inscrit dans la lignée des travaux de Julie Neuwels (2023 ; 2024) qui analysent des productions architecturales relevant de l'«innovation par retrait» (Goulet et Vinck, 2012), à partir de scènes dans lesquelles des agences d'architecture et bureaux d'études s'engagent, non sans difficulté, dans la production de logements collectifs énergétiquement efficaces *et* ventilés naturellement. Cherchant à approfondir les perspectives ouvertes par ces recherches, ce travail de fin d'études se concentrera sur l'analyse de bâtiments d'enseignement énergétiquement performants, eux aussi ventilés naturellement.

La ventilation a toujours été un enjeu majeur dans le secteur du bâtiment (Neuwels, 2023), étant donné sa fonction primordiale qui est d'assurer le renouvellement constant de l'air intérieur et donc d'assurer un environnement sain et agréable pour les utilisateurs. Une ventilation bien pensée permet d'évacuer les polluants, les odeurs désagréables, la chaleur en été et l'humidité, mais également de réguler efficacement le confort thermique, réduisant ainsi le recours aux systèmes de climatisation et permettant des économies d'énergie significatives à long terme (Requena-Ruiz, 2016). À travers l'histoire, de nombreux dispositifs passifs ont été utilisés afin de ventiler les bâtiments.

Actuellement, la ventilation ne peut être pensée sans considérer la performance énergétique des bâtiments. En réponse à une prise de conscience croissante des enjeux environnementaux et économiques liés à la consommation d'énergie fossile, l'amélioration de la performance énergétique est devenue un objectif majeur des politiques publiques d'application dans les secteurs de la construction et de l'immobilier (Gournet et Beslay, 2015 ; Kalk, 2016). Bien entendu, ces politiques ne sont pas neutres : elles s'inscrivent dans une logique technico- et énergético- centrée, témoignant d'une confiance accordée à la haute technologie pour résoudre les problématiques environnementales et d'une primauté donnée à la limitation des émissions carbone liées aux usages faits des bâtiments (Beslay, Gournet et Zélem, 2015). Elles se traduisent par des constructions caractérisées par une isolation thermique poussée et une étanchéité à l'air renforcée. Cette dernière, favorise, jusqu'à parfois imposer, la mise en œuvre de systèmes de ventilation mécanique dans les bâtiments, non sans controverses (Neuwels, 2023).

Dans le domaine des sciences et technique (Attia et De Herde, 2011) et dans celui de la sociologie (Zélem, 2016), divers auteurs critiquent cette approche technico-centrée pour sa tendance à restreindre les choix des usagers et à négliger les aspects sociaux à l'œuvre dans les usages faits des bâtiments. Du point de vue social, cette approche technico-centrée est critiquée pour son impact sur les dynamiques et les pratiques des usagers. Elle tend à homogénéiser les modes de vie et à réduire les choix individuels, transformant les utilisateurs en consommateurs passifs de technologies. Cela peut entraîner un sentiment de

perte de contrôle sur leur environnement et masquer des inégalités sociales plus profondes, telles que les disparités dans l'accès aux technologies et aux ressources. En négligeant ces dimensions sociales, l'approche technico-centrée risque de renforcer les inégalités et de manquer des opportunités pour des solutions plus inclusives et adaptées aux besoins des habitants (Beslay, Gourmet et Zélem, 2015). À cela s'ajoutent des problèmes d'inconfort et des risques sanitaires liés à l'automatisation et à la dépendance excessive des technologies (Brisepierre, 2012), ainsi que leurs impacts environnementaux (Hoxha et al., 2021).

Peu en phase avec les réalités sociales, les bâtiments à hautes performances énergétiques consomment bien plus que prévu (Daumas, 2020). Les dépenses d'énergie effectives (notamment des équipements) dépassent les dépenses conventionnelles, définies sur la base des caractéristiques des équipements techniques et l'utilisation théorique qui en est faite. Ce phénomène, appelé effet rebond, est dû à des défauts de mise en œuvre, à l'impossibilité d'évaluer avec justesse les conditions climatiques réelles, à un manque d'entretien ou des défauts de réglage des équipements techniques et aux usages réels faits des bâtiments (Jevons, 1865). Dans certains cas, des usagers profitent de la baisse des charges énergétiques liée à l'amélioration de la performance de leur logement pour « améliorer » leur confort, par exemple, chauffer plus et/ou disposer de plus d'équipements consommateurs d'énergie. Comme William Stanley Jevons le théorise dans son ouvrage de 1865 « Sur la question du charbon », « C'est une complète confusion d'esprit que de supposer que l'utilisation économique de combustible équivaut à une réduction de consommation. En vérité, c'est tout le contraire » (Jevons, 1865).

Estimant l'approche technico-centrée peu efficace et peu cohérente, certains architectes et ingénieurs cherchent à développer de nouvelles solutions « low-tech » notamment, en cherchant à développer des bâtiments qui seraient à la fois performants et ventilés naturellement. Le concept du low-tech a été popularisé avec l'ouvrage de Philippe Bihoux : « L'âge des Low Tech. Vers une civilisation techniquement soutenable » en 2014. Ce concept privilégie l'utilisation des systèmes dits passifs, c'est-à-dire, qui ne consomment pas d'énergie, afin de réguler le confort d'un bâtiment. Cette approche s'inscrit dans un courant plus large qui vise à « faire mieux avec moins ». C'est ce que Goulet et Vinck (2012) nomment « l'innovation par retrait ». Dans leurs études, ils explorent différentes situations où ce retrait se manifeste. Cela inclut le fait de tenter de faire sans certains objets ou pratiques, voire de ne rien faire du tout (par exemple, ne pas construire).

Faire avec moins ou sans peut paraître simple à première vue. Cette démarche est en réalité complexe. Notamment, la ventilation naturelle de bâtiments performants s'inscrit à contre-courant du système sociotechnique qui régit le secteur de la construction (performante) (Neuwels, 2023). Autrement dit, les pratiques, les représentations, le cadre réglementaire et normatif, les outils, le marché ou encore les savoir-faire ne sont pas toujours adaptés et doivent être ajustés, non sans difficulté. De même, les exigences actuelles de performance énergétique et de confort impliquent que nous ne pouvons pas simplement nous contenter de retirer des machines ou d'appliquer des méthodes anciennes. Ou encore, il est nécessaire de repenser le rapport entre les habitants et leur environnement bâti, en accordant une

confiance accrue à leur intelligence énergétique plutôt que de les considérer avec méfiance. De ce fait, la mise en place de ces solutions low-tech nécessite que les acteurs de la construction remettent au travail leur logique de conception, nouent de nouvelles alliances, voire rusent ou tentent d'obtenir – lorsque cela est possible - des dérogations (Neuwels, 2023).

2. Objectif de la recherche

Ce travail vise à montrer et à comprendre les innovations sociotechniques à l'œuvre dans la production de bâtiments performants ventilés naturellement. Il a aussi pour objectif de mettre en évidence les situations de verrouillage sociotechnique qui empêche le développement de pratiques architecturales s'inscrivant à contre-courant de l'optimisme technologique qui caractérisent actuellement l'institutionnalisation du bâtiment « durable ».

À cette fin, il se concentrera sur le cas des bâtiments d'enseignements. Ce travail s'effectuera en deux grands temps. Il s'agira d'abord de comprendre comment fonctionne la ventilation naturelle d'une série de cas d'étude, situés en France, en étudiant les innovations techniques à l'œuvre, les négociations, ruses et stratégies déployées par les concepteurs pour les mettre en œuvre, ainsi que les obstacles rencontrés. Dans un second temps, les possibilités d'implémentation de ventilation naturelle dans le nouveau bâtiment de la Faculté d'Architecture de l'Université de Liège seront étudiées en s'appuyant sur les cas étudiés précédemment.

3. Positionnement de la recherche

L'urgence liée aux problématiques environnementales autant que l'implication du secteur de la construction dans ces problématiques amènent des architectes, des ingénieurs et des chercheurs à (re)questionner la manière dont nous équipons nos bâtiments, les usages qu'on en fait, les idéologies à l'œuvre ou encore les implications environnementales et sociales à l'œuvre. Parmi les équipements qui auraient pu être étudiés dans le cadre de ce travail, la ventilation est apparue assez évidente pour plusieurs raisons.

Tout d'abord, et comme dit rapidement en début d'introduction, la ventilation est un enjeu majeur de la conception des bâtiments. Elle conditionne la qualité de l'air respiré par les usagers, et influence la durée de vie de l'ouvrage et de ses composants, en renouvellement l'air intérieur qui, au fil de l'exploitation d'un bâtiment, se charge en CO₂, en humidité (liée à la respiration et à la transpiration des usagers), en particules volatiles (issues des matériaux et des techniques), et en agents pathogènes divers. La ventilation conditionne également le ressenti thermique et hygrométrique, et donc, plus globalement, le confort intérieur. Une ventilation bien pensée permet d'améliorer significativement le confort thermique des utilisateurs, surtout durant les périodes estivales où l'air intérieur accumule

de la chaleur qu'il faut pouvoir dissiper. Face à l'augmentation annoncée des épisodes de forte chaleur (GIEC, 2023), la mise en place de stratégies de ventilation devient cruciale pour que nos bâtiments restent habitables.

Ensuite, la ventilation constitue un témoin privilégié de la logique technico-centrée des politiques de performance énergétique des bâtiments, les équipements mécanisés de ventilation étant souvent présentés comme indispensables. Inversement, la ventilation naturelle peut aussi être considérée comme un élément significatif des approches low-tech qui se développent dans le domaine de la construction frugale (Madec, 2021). Les stratégies de ventilation naturelle apparaissent comme un moyen d'éviter la dépendance à des systèmes techniques complexes. Inspirées de solutions vernaculaires, elles misent sur les phénomènes physiques (vent, convection thermique...) pour assurer la circulation de l'air sans avoir recours à des dispositifs mécaniques.

Ainsi, depuis une vingtaine d'années, plusieurs bâtiments se lancent dans des projets d'innovation en ventilation naturelle, en France comme à l'étranger. Parmi les plus connus, l'îlot résidentiel BedZED (Beddington Zero Energy Development, 2002) conçu par le cabinet d'architectes Bill Dunster, qui a développé un système de ventilation passive double-flux avec récupération de chaleur, à l'aide de cheminées réceptives à l'énergie cinétique du vent. Le bureau d'études français TRIBU est aussi connu pour son travail sur la ventilation naturelle, avec des projets tels que le centre oenotouristique à Saint-Christol ou le parc de logements collectifs Delzieux, de Saint-Nazaire par exemple. Ou encore, la Direction Recherche et Innovation (DRI) de la Ville de Rosny-sous-Bois travaille depuis plusieurs années à la conception de systèmes de ventilation naturelle avec récupération de chaleur (VNRC) dans ses écoles.

4. Méthodologie

Pour répondre aux objectifs fixés, mon travail se structure en deux grandes étapes. La première consiste en l'analyse d'études de cas, via une perspective sociotechnique, portant sur des bâtiments d'enseignement performants ventilés naturellement. La seconde étape est une mise en application des principes issus de ces cas d'étude dans le projet d'extension de la faculté d'architecture de l'ULiège.

Analyses de cas

Les analyses de cas visent à comprendre comment fonctionnent les dispositifs de ventilation étudiés, et d'identifier les difficultés rencontrées par les acteurs concernés ainsi que les leviers qu'ils ont su activer pour les lever. L'objectif était de comprendre les processus de conception et de mise en œuvre, y compris les stratégies et ruses déployées pour surmonter les obstacles, qu'ils soient réglementaires, économiques ou techniques et le fonctionnement des systèmes de ventilation naturelle.

Terrain d'étude

Mon terrain d'étude porte sur des bâtiments d'enseignement situés en France. Il m'a semblé pertinent de concentrer la recherche sur un seul pays afin d'assurer une similarité vis-à-vis des normes et réglementations en vigueur, facilitant ainsi les comparaisons. De plus, la France est l'un des pays où les débits de ventilation exigés pour ce type de bâtiment sont les plus faibles, rendant la mise en œuvre de la ventilation naturelle plus aisée. Enfin, la proximité géographique et la facilité de communication ont également été des critères importants pour pouvoir, lorsque cela a été possible, rencontrer directement les personnes interrogées.

Dans un premier temps, une liste de cas d'étude potentiels a été établie à partir d'une recherche documentaire sur internet et dans des ouvrages papier spécialisés. Ont été identifiés :

- Le bâtiment Max Weber, par l'atelier Pascal Gontier à Nanterre ;
- L'université régionale des métiers de l'artisanat, par l'agence Jean Luc Collet Architectes Urbanistes à Saint-Saulve ;
- La préfabrique de l'innovation, par Z Architecture à Villeurbanne ;
- La médiathèque et maison des réfugiés, par l'atelier Philippe Madec à Paris ;
- L'écoloise, par Huitorel et Morais Architectes à la Selle-Craonnaise ;
- L'espace Novateur en Milieu Rural, par Landfabrik à Brangues ;
- L'école Claudie Haigneré, par l'atelier Philippe Madec à Achères ;
- L'école Jules Ferry, par l'agence Jean Luc Collet Architectes Urbanistes à Aulnoy-lez-Valenciennes ;
- Le lycée HQE Jean Jaurès, par Tourre Sanchis Architectes à Saint-Clément-de-Rivière ;
- L'ARIA, par l'atelier Philippe Madec à Cornebarrieu ;
- L'espace 1, 2, 3, par NUNC Architectes à Alex ;
- Le centre de loisirs Jacques Chirac, par la mairie de Rosny-sous-Bois à Rosny-sous-Bois ;
- L'école maternelle des Boutours, par la mairie de Rosny-sous-Bois à Rosny-sous-Bois ;
- Le groupe scolaire Simone Veil, par la mairie de Rosny-sous-Bois à Rosny-sous-Bois ;
- Le groupe scolaire Jean Mermoz, par la mairie de Rosny-sous-Bois à Rosny-sous-Bois ;
- Le groupe scolaire Frida Kahlo, par Compagnie Architecture à Bruges.

Parmi les projets identifiés, quatre cas d'étude ont été retenus, considérant les implications pour la seconde étape de la recherche, en fonction des critères suivants :

1. La proximité géographique, afin de travailler sur des contextes climatiques proches de la Belgique ;
2. La présence de systèmes de préchauffage de l'air entrant, considérant qu'il s'agit d'un élément intéressant à étudier, d'autant plus en vue d'une mise en application dans le contexte belge ;

3. La diversité des systèmes de ventilation à étudier ;
4. L'accord des concepteurs concernés.

Les cas d'étude retenus sont :

Nom du projet	Localisation	Taille	Architecte	Interlocuteur	Date de livraison	Type de ventilation
Lycée HQE Jean Jaurès	Saint-Clément-de-Rivière	15000 m ²	Tourre Sanchis Architectes	Pierre Tourre	2003	Ventilation naturelle simple flux : double plancher avec préchauffage
Centre de loisirs Jacques Chirac	Rosny-sous-Bois	1000 m ²	Mairie de Rosny	Charlotte Picard	2020	Ventilation naturelle double flux : échangeurs avec préchauffage
Groupe Scolaire Frida Kahlo	Bruges	2800 m ²	Compagnie Architecture	Jules Eymard	2022	Ventilation simple flux : puits canadiens avec préchauffage
Espace Novateur en Milieu Rural	Brangues	600 m ²	Landfabrik	Benoit Rougelot	2019	Ventilation naturelle simple flux : grilles sous les fenêtres avec préchauffage

Tableau 1 : Le terrain d'étude

Pour chaque cas d'étude, des entretiens semi-directifs ont été menés auprès des architectes. Pour deux d'entre eux, le bureau d'études SWITCH a également été sollicité, via Mathieu Le Bourhis. Chaque projet a également fait l'objet d'une analyse documentaire approfondie à partir des documents transmis par les architectes.

Entretiens semi-directifs

Les entretiens semi-directifs réalisés dans le cadre de cette recherche permettent d'approfondir certains aspects soulevés dans l'analyse documentaire. Grâce à un déroulement libre et à des questions cadrées préparées à l'avance, cette méthode s'avère essentielle à ce travail (Imbert, 2010). L'entretien semi-directif permet de récolter des données qui, à la différence des questionnaires, vont chercher à mettre en évidence les singularités ou non dans les variations d'opinion (Pin, 2023). Contrairement aux questionnaires standardisés avec des questions fermées, utilisés pour des études statistiques (Rondeau et al., 2023), l'entretien semi-directif permet d'explorer les choix, actions, ressentis et processus mis en œuvre des personnes interrogées. Ainsi l'expérience peut être retranscrite telle qu'elle a été vécue et non à travers une grille de questions fermées.

Dans le cadre de ce travail, les entretiens semi-directifs visaient à produire des données qui, une fois analysées, aident à mieux saisir les particularités des projets et des relations professionnelles. L'objectif était notamment de comprendre les valeurs sous-jacentes aux

démarches des architectes et concepteurs, en explorant leur perception de la massification technique des bâtiments durables et leur vision de l'habitabilité. Les entretiens sont semi-structurés, permettant une flexibilité qui encourage des réponses détaillées tout en assurant la couverture de tous les points essentiels.

Chaque guide a été adapté en fonction du projet concerné par l'entretien. Mais les questions du guide d'entretien réalisées préalablement aux interviews suivaient une trame similaire, répartie en 7 catégories (Annexe) :

- Présentation de la personne interrogée : situer le rôle, le parcours et la position de l'intervenant dans le projet ;
- Présentation du bureau d'architecture : comprendre le fonctionnement du bureau, sa philosophie de travail et sa posture en matière d'environnement ;
- Rapports généraux à la ventilation naturelle : identifier les expériences antérieures et la posture générale de l'intervenant face à ce mode de ventilation ;
- Rapports aux politiques publiques et à la conformité : analyser la manière dont les exigences réglementaires ont influencé les décisions de conception ;
- Choix de la ventilation naturelle dans le projet : saisir les motivations, contraintes et les enjeux liés à l'intégration liés au choix de la ventilation naturelle ;
- Rapports aux autres professionnels : explorer les dynamiques de collaboration entre les collaborateurs du projet ;
- Suivi et évaluations post-construction : prendre connaissance des retours des usagers, des ajustements éventuels réalisés et de la manière dont le dispositif est évalué après livraison.

Pour que l'entretien prenne la forme de la conversation plutôt que celle de l'interrogatoire (Pin, 2023), ce guide n'a pas été suivi de manière rigide : de nouvelles questions ont émergé au cours des échanges. Parmi les quatre entretiens pour les études de cas, le premier s'est déroulé en présentiel et les trois autres en distanciel. Chaque entretien a été enregistré, puis retranscrit mot à mot pour assurer la robustesse des données récoltées.

Analyse documentaire

Le corpus de documents analysés pour chaque cas d'étude provient à la fois de ressources internet et d'autres transmises par les bureaux d'architectes après les entretiens.

Pour le centre de loisirs Jacques Chirac, la mairie de Rosny-sous-Bois m'a transmis l'intégralité du rapport ADEME dédié à ce centre et à l'école des Boutours (Annexe), qui contient les rapports de conception, de dimensionnement, les cahiers des charges et d'autres documentations. La mairie m'a également transmis son dossier de communication extérieur contenant des photos du bâtiment fini et durant le chantier, des photos du chantier participatif, des articles et des publications sur le projet, ainsi que les coupes et les plans des différents niveaux. Ces dossiers très complets m'ont permis de bien comprendre le fonctionnement et les enjeux du bâtiment.

Le bureau Compagnie Architecture m'a transmis les plans des bâtiments pour le rez-de-chaussée et le premier étage. J'ai également pu consulter les quatre cahiers de chantier, consacrés aux origines et aux principes du projet, à la thématique de la frugalité, ainsi qu'à différentes présentations autour du groupe scolaire. Des diaporamas d'une conférence de novembre 2024 et une présentation du projet pour le colloque Bâtifrais 2023 présenté par Compagnie architecture m'ont été également transférés.

Concernant l'Espace Novateur en milieu Rural, Landfabrik m'a transmis le Dossier des Ouvrages Exécutés (DOE) qui regroupe le plan d'ensemble, le plan de masse, le plan du RDC, du +1, du +2, le plan de toiture, quatre coupes longitudinales, les détails de la passerelle, les façades, différents détails techniques, les plans de la chaufferie, les détails d'isolations, et ceux des fenêtres. Ils m'ont transmis un PowerPoint, une coupe schématique du système de ventilation ainsi que le diaporama de leur bureau d'étude SWITCH, qui illustre et explique leur choix de système de ventilation. Sur internet, j'ai trouvé un livret contenant différentes fiches projets et décrivant leurs missions.

Le bureau Tourre Sanchis m'a transmis les plans et j'ai aussi eu accès à un dossier de retour d'expérience réalisé par la région Languedoc Roussillon. En plus de cela, j'ai récupéré un dossier de présentation du projet pour les écoles d'architecture qui reprend l'explication du contexte, différents éléments de conception tels que les protections solaires, l'éclairage naturel, le système de ventilation, une description du chantier et une conclusion sur la consommation du bâtiment post construction.

En plus de tous ces documents, j'ai aussi eu accès sur internet à : la présentation Bâtifrais qui présente différents projets de la mairie de Rosny-Sous-Bois ; le catalogue d'exposition « Respirer sans machine » où l'on retrouve parmi les présentations, celles du Lycée HQE Jean Jaurès, de l'Espace Novateur en milieu Rural et du centre de loisirs Jacques Chirac ; et les actes du colloque Bâtifrais 2023 où l'on retrouve deux articles sur la mairie de Rosny-sous-Bois et sur le groupe scolaire Frida Kahlo.

Grâce à la mise en commun des documents transmis ainsi que des données issues des interviews, j'ai pu réaliser un portrait de chaque projet. Afin de structurer ces données et permettre la comparaison entre les études de cas, j'ai choisi d'établir une structure de rédaction comme suit :

- Le contexte, qui pose le cadre général du projet, les spécificités territoriales et les intentions de départ ;
- Le bâtiment, qui aborde les grandes lignes du projet, avec sa forme, ses matériaux, sa typologie ;
- Les acteurs du projet, qui présentent les architectes responsables du projet, les BET impliqués et comment leur collaboration s'est organisée ;
- Le système de ventilation et sa mise en œuvre, qui traitent du fonctionnement technique du système, de la manière dont l'air circule, et de l'influence de cette installation sur le bâtiment ;

- Limites et retours d'expérience, qui parle des écarts entre pratique et théorie, des systèmes de surveillance mis en place et du ressenti des usagers ;
- Maintenance et appropriation du bâtiment, qui met en avant ce qui se déroule après la livraison, tant au niveau de l'entretien que de la formation des utilisateurs.

L'analyse conjointe des entretiens et des documents m'a permis de dégager plusieurs pistes de systèmes de ventilation naturelle et de mieux comprendre les enjeux conceptuels et les difficultés que chacun pouvait engendrer.

Mise en projet

Le second volet de ce travail (dont la mise en projet se trouve dans le deuxième manuscrit de ce TFE) concerne la mise en application des informations issues de l'analyse des cas, à la future extension de la faculté d'architecture de Liège. Conçu par le bureau d'architecture Office et le bureau en techniques spéciales ATMOS LAB, ce nouveau bâtiment sera ventilé en partie naturellement, mais sans système de préchauffage. La ventilation naturelle n'était pas prévue à l'origine, et est arrivée tardivement dans le processus de conception, sans que cela ait modifié l'architecture (spatialité, organisation des fonctions, façades, etc.)

La recherche par le projet vise à tester l'hypothèse que le système de ventilation naturel pourrait être amélioré, et que cette amélioration peut être pensée comme un levier pour améliorer plus largement l'architecture du projet.

Analyse du projet

La première partie de ce second volet visait à comprendre le processus de conception du nouveau bâtiment de la faculté d'architecture de Liège : les intentions, les contraintes, les choix techniques, les ambitions environnementales, le jeu d'acteurs, les éléments ayant fait l'objet de négociation, etc. Ce travail d'analyse a été mené sur base d'entretiens et de divers documents.

Trois entretiens semi-directifs ont été réalisés. Le premier avec Daniel Delgoffe, directeur administratif des bâtiments de la faculté d'architecture de Liège. Il est, avec Pierre Hallot, doyen de la faculté, une des figures qui représentent la faculté dans ce processus. Le deuxième entretien a été mené avec Hugo Maza, architecte chez Office, membre de l'équipe qui s'occupe de ce projet. Enfin, j'ai rencontré Damien Remen, administrateur des ressources immobilières de l'ULiège (ARI) chargé des bâtiments de l'université.

Le guide d'entretien utilisé pour ces échanges, bien que fortement similaire à celui des études de cas présentait néanmoins des différences. Le bâtiment de La Barre étant encore au stade de la demande de permis, la question du suivi et du retour post-livraison ne pouvait pas être abordée. Le reste des sujets est cependant similaire, et traite des personnes en charge, du bureau d'architecture, du système de ventilation naturelle et des enjeux soulevés par le projet.

L'analyse documentaire a été menée à partir de divers documents. Le permis d'urbanisme, transmis par Daniel Delgoffe, m'a permis de bien comprendre le projet et le contexte dans lequel il était prévu. Cela fut très utile afin de préparer les entretiens qui suivirent.

Après mon entretien avec Damien Remen de l'ARI, j'ai eu accès : aux notes APD TS qui contiennent une étude qui compare les impacts de consommation entre un système de ventilation simple flux et un système double flux ; à un rapport sur le développement durable de ATMOS LAB, un bureau d'étude spécialisé en conception environnementale et bioclimatique, qui reprend leur étude du site ; ainsi, qu'aux notes d'orientation du projet qui regroupe ses ambitions.

Recherche par le projet

La recherche par le projet peut être définie comme «tout type d'enquête dans laquelle (...) le processus de conception architecturale constitue le cheminement à travers lequel de nouveaux savoirs, perceptions, pratiques ou produits voient le jour» (Ledent et De Visscher, 2018). Dans le cas de ce travail, le projet est utilisé comme un moyen de recherche visant à montrer des possibilités.

À la différence du travail d'étude qu'établissent généralement les concepteurs, ce travail de fin d'études n'est pas le produit d'un travail vertical, mais une recherche où les différentes études de cas viennent se positionner horizontalement. Chacune d'entre elles créant ainsi différents possibles, différentes possibilités réflexives qui vont permettre la mise en projet ultérieure (Ledent et De Visscher, 2018). La recherche en architecture doit être comprise comme une production intellectuelle, ainsi, la recherche par le projet est composée d'une partie écrite et d'un projet. La partie écrite n'étant pas une note explicative du projet, mais fonctionne indépendamment à celui-ci (Rambert, 2019)

Étant donné les limites temporelles liées au TFE, ce travail ne s'inscrit pas pleinement dans la logique de la recherche par le projet, telle que définie par Gérald Ledent et Jean-Philippe De Visscher (2018). Je n'explore pas toutes les hypothèses et les scénarios comme cela serait attendu dans une recherche de plus grande ampleur. Ma démarche s'inscrit plutôt dans une dynamique où la recherche vient nourrir mon projet architectural. Elle repose sur une analyse croisée de sources scientifiques, de retours d'expériences, de cas d'études, et sur une réflexion critique autour de la mise en œuvre de la ventilation naturelle.

Ce qui différencie ce travail d'un projet classique, c'est l'importance donnée à l'exploration théorique en amont. Le manque de données disponibles sur la ventilation naturelle dans le contexte architectural m'a poussée à approfondir des lectures scientifiques et à étudier des exemples existants. Il s'agit, en tant qu'étudiante, d'acquérir un socle de connaissances qui me permet d'aborder le projet avec une conscience des enjeux techniques et environnementaux.

Mon intention n'est donc pas de produire un projet « fini », mais de proposer une réflexion architecturale nourrie par les apports de la recherche. C'est dans cette optique que j'ai analysé les différents cas d'étude, en mettant en parallèle leurs dispositifs de ventilation naturelle avec les problématiques spécifiques du projet d'extension de la faculté d'architecture de l'ULiège. Ce travail comparatif m'a permis d'identifier les systèmes les plus pertinents à approfondir, non pas dans une logique de reproduction, mais dans une tentative de les adapter à un contexte particulier, en lien avec des valeurs de sobriété, de frugalité et de cohérence constructive.

À travers cette mise en projet, je cherche donc à explorer comment un système technique low-tech, comme la ventilation naturelle, peut influencer la forme, la structure et le langage architectural.

5. Plan de rédaction

Le premier chapitre «Contexte normatif» retrace l'évolution des exigences en matière de qualité de l'air, depuis la fin du XIXe siècle jusqu'à aujourd'hui. Il commence par exposer la prise de conscience progressive en France ainsi que les différents arrêtés et normes qui ont été instaurés au fil du temps. Ensuite, il décrit les normes actuelles et leur application concrète. Une seconde section est consacrée à la Belgique, avec un point d'attention sur la Région wallonne : Les différentes ordonnances en vigueur, les seuils de qualité de l'air ainsi que ses exigences spécifiques en matière de ventilation. Enfin, le chapitre se clôt par un panorama des principales typologies de ventilation naturelle pouvant être mises en œuvre dans les bâtiments.

Le second chapitre «État de l'art» propose une revue critique de la littérature existante sur la ventilation, dans le but d'identifier et d'analyser les travaux réalisés sur le sujet. Il explore l'idéal du climat intérieur, l'émergence des normes visant à le réguler, ainsi que le rôle que joue la transition énergétique sur l'évolution des systèmes de ventilation. Ce chapitre met en lumière les apports majeurs, les controverses scientifiques, mais aussi les manquements encore présents dans les approches actuelles.

Le troisième chapitre «Terrain d'étude» présente les quatre bâtiments analysés dans le cadre de ce travail de fin d'études. Pour chacun d'eux, il détaille les acteurs impliqués – architectes et ingénieurs -, la démarche de conception, les caractéristiques du projet, et les spécificités liées aux dispositifs de ventilation naturelle. Il analyse le fonctionnement des systèmes mis en place, leur impact sur l'architecture, ainsi que les difficultés rencontrées lors de leur conception et de leur mise en œuvre. Ce chapitre intègre également le suivi post-occupation : analyse des performances réelles, enquêtes, entretien des dispositifs, et formation des usagers.

Le dernier chapitre «La barre, un nouveau bâtiment pour la faculté d'architecture de Liège» est consacré à l'analyse de ce projet. Il est étudié selon la même méthodologie que les

différentes études de cas. L'objectif est de comprendre le processus de conception : les intentions initiales, les contraintes rencontrées, les choix techniques, les ambitions environnementales portées par le projet, ainsi que les interactions entre les différents acteurs du projet.

La conclusion présente propose une synthèse des enseignements issus de l'ensemble du mémoire, en formulant des pistes de réflexion sur la place de la ventilation naturelle dans l'architecture contemporaine.

Chapitre 1 - Contexte normatif

À l'heure actuelle, les exigences de qualité de l'air, de confort et d'hygiène sont très importantes. Afin d'assurer une ventilation qui répond à ces exigences, il existe des normes concernant les débits des systèmes de ventilation minimum à respecter, définies différemment en fonction des secteurs d'activité et des pays ou régions. Mais ce ne fut pas toujours le cas. Effectivement, depuis le début du 20^{ème} siècle, le cadre réglementaire et normatif de la ventilation des bâtiments a beaucoup évolué en Europe. Influencé à la fois par la prise de conscience progressive l'importance d'un air sain et d'une bonne ventilation sur la santé et sur la longévité du bâti, puis de la montée des exigences de performance énergétique, les normes – techniques et sociales – ont évolué au fur et à mesure des années.

Pour bien saisir le contexte dans lequel s'inscrit ce travail, il est intéressant de revenir rapidement sur la construction progressive de ce cadre normatif, en France (le contexte des cas d'étude) et en Région wallonne (le contexte du travail de projet).

Ces deux contextes sont traités différemment pour des raisons de logiques documentaires et historiques distinctes et d'application. En France, la ventilation fait l'objet d'un encadrement normatif ancien et documenté, ce qui permet d'en retracer les grandes étapes depuis le 19^{ème} siècle, d'en comprendre les évolutions techniques et les logiques sous-jacentes. À l'inverse, en Belgique, et plus particulièrement en Wallonie, le cadre réglementaire en matière de ventilation est plus récent. Les informations disponibles antérieures aux années 2000 sont rares. Il est nécessaire de prendre en compte cette différence pour comprendre comment articuler au mieux les enseignements tirés des cas français à une application concrète dans un projet situé en Belgique.

1. Normes et réglementation de la ventilation

En France

À la fin du 19^{ème} siècle, le développement rapide des industries a profondément affecté la qualité de l'air dans les villes et l'environnement autour. Malgré les nombreuses nuisances générées par les manufactures, les autorités ont la priorité à leur essor économique, souvent au détriment de la santé publique (Fressoz, 2012 ; Neuwels, 2015 ; Zimmer, 2013). Les rares réglementations mises en place visaient davantage à justifier l'implantation des industries qu'à en limiter les effets. Toutefois, certains décrets ont tenté d'encadrer l'implantation des manufactures dans le but de réduire leur impact sur la ville, mais celles déjà établies n'ont pas été déplacées. Les courants hygiénistes de l'époque, sans remettre en question le modèle industriel, se sont plutôt concentrés sur l'amélioration des conditions de salubrité urbaine, participant ainsi à accompagner l'expansion industrielle plutôt qu'à la freiner (Fressoz, 2012). Les plaintes et les témoignages sur les effets nocifs des émanations se multipliaient, cependant, les discours des autorités et des médecins continuaient à nier leur impact. La

faute fut attribuée à la misère des populations ouvrières et à leurs conditions de vie. Cette détérioration de la qualité de l'air a poussé à se tourner vers des stratégies menant à améliorer les espaces intérieurs : La ventilation et l'ensoleillement ont été présentés comme des leviers d'assainissement, à la fois moral et physique (Fressoz, 2012 ; Neuwels, 2015 ; Zimmer, 2013).

En 1893, une loi définit les premières règles de salubrité applicables aux locaux de travail. Elle a été comptée un an plus tard par le Décret sur l'évacuation des poussières produites dans les ateliers et sur l'installation de ventilations aspirantes. Ces dispositions seront étendues aux usines, chantiers, ateliers de quelque nature que ce soit, publics ou privés, en 1903. Ces décrets seront ensuite précisés, notamment par le décret de 1913 qui prescrit son article 6 : « Les poussières ainsi que les gaz incommodes, insalubres ou toxiques seront évacués directement en dehors des locaux de travail au fur et à mesure de leur production. [...] L'air des ateliers sera renouvelé de façon à rester dans l'état de propreté nécessaire à la santé des ouvriers » (Bâtiment Ventilation, s. d.).

C'est en 1906 que la ventilation des logements commence à faire l'objet d'une réglementation, par l'Ordonnance de la police de Paris imposant aux logements chauffés au charbon ou au bois de disposer d'un conduit de fumée dans la cuisine et d'un conduit par pièce principale. Le renouvellement d'air s'effectue en partie via ces conduits de fumée et par aération grâce aux ouvertures de fenêtres et aux défauts d'étanchéité des parois et menuiseries. Les flux d'air ne sont donc pas contrôlés et dépendent des conditions climatiques (Bâtiment Ventilation, s. d.).

En 1937, la publication du premier Règlement Sanitaire Départemental Type (RSDT) prévoit une aération par pièce d'habitation réalisée par des ouvrants. À ce jour, les RSD continuent de fixer les exigences applicables à l'équipement et à l'aménagement des locaux d'habitation existants ainsi que les exigences d'aération applicables à la construction des bâtiments autres que d'habitation.

Après la Seconde Guerre mondiale, la ventilation du logement en France commence à faire l'objet d'une attention accrue. Le contexte de reconstruction du pays, associé à une volonté de garantir un logement salubre pour tous, participe à renforcer les normes et réglementations en la matière. Sous l'influence de l'idéologie hygiéniste et des préceptes modernistes, les exigences en matière de ventilation et de confort se précisent. C'est dans cette période d'après-guerre qu'on voit l'émergence d'une mécanisation progressive de la ventilation des logements.

En 1955, le décret fixant des règles générales de construction des bâtiments d'habitation prévoit toujours une aération par pièce (cuisine et pièces principales) ainsi qu'une surface minimum de la partie ouvrante des baies. En cas de fenêtre étanche dans une pièce, il y a obligation d'aération permanente de cette pièce hors ouverture de baie. Il est prévu également une obligation d'aération permanente en cas de logement dont toutes les baies donnent sur une même façade. Ces exigences seront précisées trois ans plus tard, par un

Arrêté, notamment pour les cas où une aération permanente par pièce est requise (ouvertures d'entrée d'air et de sortie d'air). En même temps, le chauffage central et les conduits d'évacuation des fumées/de ventilation collectifs à raccordement individuel (shunts) se généralisent. Les prescriptions à l'époque étaient les suivantes :

- Si le bâtiment était équipé d'un chauffage central, il devait comporter un conduit de fumée dans chaque cuisine et un second conduit si l'appartement comprenait plus de 3 pièces,
- S'il n'y avait pas de chauffage central, l'ordonnance de 1906 était appliquée soit un conduit dans la cuisine et par pièce principale (Bâtiment Ventilation, s. d.).

L'Arrêté ministériel de 1969, relatif à l'aération des logements amène le principe d'une aération générale et permanente à réaliser par balayage (entrée d'air neuf dans les pièces principales, transfert vers les pièces de service, évacuation). Cet arrêté marque l'apparition des premiers systèmes de ventilation mécanique contrôlée (VMC) qui ne sont pas encore rendus obligatoires.¹ L'entrée de l'air neuf doit, depuis lors, se faire par des orifices en façade des pièces principales, tandis que la sortie d'air vicié s'effectue dans les pièces de service (cuisines, toilettes, salles de bains) par conduits à tirage naturel ou par extraction mécanique. L'aération permanente pouvait, sous certaines conditions, être limitée à la cuisine en maisons individuelles d'une part ou aux immeubles collectifs d'autre part. Le renouvellement d'air alors requis est de 1 vol/h des pièces principales (Bâtiment Ventilation, s. d.).

Dans un contexte de crise énergétique liée aux « chocs pétroliers », les années 1970 marquent le début de la considération pour les questions énergétiques liées à la gestion du confort dans les logements. En France, c'est en 1974 qu'est adopté le premier décret portant sur la réglementation thermique. Le calcul de la déperdition globale d'énergie d'un bâtiment rapportée à son volume habitable intègre depuis lors les pertes thermiques causées par le renouvellement d'air. Dès lors, la ventilation, le chauffage et l'isolation deviennent inhérents à la conception architecturale. Malgré de bons résultats de coopération entre les différents acteurs, un problème va rapidement voir le jour : les temps entre la recherche et l'édification sont trop décalés (Bastoen et Popescu, 2023). Les politiques vont donc commencer à élaborer des normes dans le but de certifier la performance technique de certains produits. De là, les industriels vont progressivement en profiter pour introduire leurs produits comme bases des futurs règlements et les rendre obligatoires (Bastoen et Popescu, 2023 ; Bâtiment Ventilation, s. d.).

Quelques années plus tard, en 1982, l'Arrêté relatif à l'aération² des logements vient préciser certaines dispositions relatives à la ventilation des logements, en les précisant en fonction des typologies de logement. Il maintient le principe d'une aération générale et permanente, et fixe des débits minimums à extraire par pièce de service (cuisines, toilettes, salles de bains), par conduits à tirage naturel ou par extraction mécanique, pour chaque type de

¹ Arrêté du 22 octobre 1969 relatif à l'aération des logements : <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000000826659/>

² Maîtriser la ventilation : <https://www.batiment-ventilation.fr/a-propos/maitriser-la-ventilation>

logement suivant le nombre de pièces principales qu'il comporte. Un autre arrêté fixe les dispositions applicables aux logements-foyers, tels que foyers de jeunes travailleurs et foyers pour personnes âgées. Cet Arrêté sera modifié un an plus tard, pour un autre qui inclut, sous certaines conditions, la possibilité de modulation des débits de renouvellement d'air en cas de recours à un système de régulation automatique dans les logements (Bâtiment Ventilation, s. d.).

Les liens entre ventilation et questions énergétiques seront quant à eux reformulés et renforcés avec la montée progressive de l'intérêt pour le « développement durable » et des premiers accords internationaux visant à limiter le phénomène de réchauffement climatique. À la suite de l'accord de Kyoto en 1997, la majorité des pays adhérant à l'OCDE (Organisation de Coopération et de Développement Economique) ont adopté des politiques de « performance énergétique des bâtiments » visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre liées aux usages faits des bâtiments. De nombreuses dispositions ont été mises en place dans ce cadre et exercent maintenant une grande influence sur la production architecturale, notamment en matière de ventilation.

Afin d'accompagner progressivement la transition écologique, l'État a élaboré des réglementations thermiques (RT2012) et environnementales (RE2020), dans le but de se rapprocher de l'objectif de « neutralité carbone à l'horizon 2050 ». Toutefois, les pouvoirs publics continuent d'investir dans une sorte d'ingénierie des normes malgré le fait que ce modèle ne garantisse pas une « transition » écologique dans le secteur de la construction et ne prenne pas en compte les contextes écologiques spécifiques (Bastoen et Popescu, 2023).

Parallèlement, la France a mis en place des lois permettant de faciliter la réalisation de projet innovant. Par exemple, la loi LCAP, relative à la liberté de création, à l'architecture et au patrimoine est votée en 2016. Cette loi instaure un premier mécanisme dérogatoire aux normes établies. Elle est mise en application lors de l'AMI, l'Appel à la Manifestation d'Intérêt, de 2018, qui permettra de tester les différentes propositions faisant suite cette loi. Ce permis d'innover permet de mettre en place certaines méthodes de ventilation qui sortent du cadre réglementaire et qui peuvent être légitimées à condition que leurs concepteurs démontrent leur capacité à atteindre les obligations de résultat concernées (Neuwels, 2024). Celui-ci permet donc depuis l'AMI, et ce pour une durée de 12 ans, d'encourager l'innovation dans la construction.³ Néanmoins, depuis leur mise en place, ces « permis d'innover » n'ont que très peu été utilisés. En effet les complexités administratives qu'elles entraînent poussent plus les architectes à se tourner vers de nouvelles expérimentations qui n'entrent pas dans les normes établies. Une action qui déroge donc au cadre légal, mais qui leur permet de tester de nouvelles thématiques telles que la réversibilité des bâtiments, le confort thermique personnalisé ou encore la réutilisation des eaux usées (Bastoen et Popescu, 2023).

³ AMI : <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000037639478>

En 2006, un système semblable à la PEB qu'on retrouve en Belgique fut créé en France. Il s'agit du DPE, le Diagnostic de Performance Energétique qui permet d'évaluer la performance énergétique et climatique d'un bâtiment en le classant de A à G. Si au début il était seulement informatif, il a subi en 2021 une refonte visant à accélérer la rénovation énergétique des logements. En effet, les logements n'atteignant pas une certaine classe feront l'objet de sanctions et de restrictions. Il fut aussi modifié afin de mieux prendre en compte les enjeux climatiques, en affichant par exemple les émissions de gaz à effet de serre, ainsi que l'estimation des coûts en énergies.⁴ Le DPE reconnaît la ventilation naturelle comme système de renouvellement d'air, mais des incohérences subsistent dans leur diagnostic de consommations et de coefficient (Hauet, 2024).

Ainsi, différentes réglementations ont été mises en place au fil du temps, selon les secteurs d'activité concernés et les usages des bâtiments. On distingue notamment :

- Le Règlement Sanitaire Départemental Type (RSdT), qui comporte des exigences en fonction du type de bâtiment ;
- Le Code du Travail (CdT), qui s'applique aux bâtiments où des salariés sont appelés à séjourner ;
- Différents arrêtés, qui s'appliquent aux logements ;

Dans le cadre de ce mémoire, je me concentrerai sur ceux du tertiaire, plus particulièrement les locaux d'enseignement et les bureaux, régis à la fois par le RSdT et le CdT.⁵

Le RSdT exige les débits suivants⁶ :

Typologie de pièce	Débit
Locaux d'enseignement : classes, salles d'études, laboratoires, (à l'exclusion de ceux à pollution spécifique) maternelle, primaire et secondaire du 1er cycle	15 m ³ /h par occupant
Locaux d'enseignement : classes, salles d'études, laboratoires, (à l'exclusion de ceux à pollution spécifique) secondaire du 2e cycle et universitaire	18 m ³ /h par occupant
Bureaux et locaux assimilés : tels que locaux d'accueil, bibliothèques, bureaux de postes, banques	18 m ³ /h par occupant
Locaux de réunion : tels que salles de réunion, de spectacle, de culte, clubs, foyers	18 m ³ /h par occupant

Tableau 2 : Débit du RSdT – Tiré des tableaux du ministère de l'Éducation nationale

⁴ DPE: <https://www.ecologie.gouv.fr/politiques-publiques/diagnostic-performance-energetique-dpe>

⁵ Ventilation et qualité de l'air intérieur : [notice-ventilation-2022-04-04-pdf-38171.pdf](#)

⁶ Ventilation des bâtiments tertiaires : <https://www.france-air.com/guides-et-documents/regles-de-l-art-vmc/la-ventilation-des-batiments-tertiaires/>

Le CdT exige les débits suivants :

Typologie de pièce	Débit
Bureaux, locaux sans travail physique	25 m ³ /h par occupant
Locaux de restauration, locaux de vente, locaux de réunion	30 m ³ /h par occupant

Tableau 3 : Débit du Code du Travail – Tiré de France Air

Ces normes sont différentes selon les pays. Par exemple, le débit du CdT dans les bureaux en général est bien inférieur en France qu'en Belgique.

Pays	France	Grande Bretagne	Etat Unis	Belgique
Réglementation	RSDT 78	CIBSE	ASHRAE	NBN D50 001
Taux de renouvellement d'air demandé en non résidentiel	25 m ³ /h par occupant	29 m ³ /h par occupant	29 m ³ /h par occupant	32 m ³ /h par occupant

Tableau 4 : Réglementation en fonction du pays – Tiré de France Air

Néanmoins, l'ICEB (Institut pour la Conception Écoresponsable du Bâti) préconise, elle-même, plutôt un taux de renouvellement d'air de 30 m³/h par occupant pour les bâtiments non résidentiels étant donné que les normes actuelles en France datent de 1978 (ARENE, 2012).

Si l'on ne suit pas les recommandations de l'ICEB, le débit d'une salle de classe par exemple peut être calculé comme ceci : un enseignant qui dépend du Code du Travail et 30 élèves qui dépendent du RSDT. $18 \times 30 + 25 = 565$. Il faut donc un renouvellement de 565m³ par heure.

En Belgique

La question de la ventilation et de ses enjeux commencera à apparaître vers la fin du 19ème siècle dans les textes des réformateurs sur les logements de la classe ouvrière et dans les textes hygiénistes (Énergie Wallonie, s. d.). Au fil du temps, seules les cuisines et les sanitaires ne disposant pas de fenêtres étaient dotées de petits systèmes d'extraction d'air mécanisés dans les logements. Les infiltrations d'air, liées aux défauts d'étanchéité de l'enveloppe, constituaient la principale source de ventilation des logements. Cela devient de moins en moins le cas avec les bâtiments plus récents qui se doivent de disposer d'une bonne étanchéité à l'air pour augmenter leur « performance énergétique » en réduisant les besoins en consommation de chauffage. En même temps, les émanations des « nouveaux » matériaux issues de l'industrialisation des composants des bâtiments renforcent encore plus le besoin d'une véritable ventilation des pièces (formaldéhyde, composés organiques

volatils, styrène, etc.). La ventilation mécanique est alors apparue comme le meilleur moyen d'améliorer la qualité de l'air, tout en permettant de construire des logements disposant d'une enveloppe très étanche à l'air.

Très peu d'informations au sujet des mesures et réglementation antérieures au 21^{ème} siècle sont disponibles concernant la ventilation des bâtiments en Belgique. Celles liées à la performance énergétique sont plus accessibles. Celles-ci sont régies par des directives européennes, mais différentes cependant en fonction des régions. Les plus ambitieuses se trouvent en Région de Bruxelles-Capitale.

La première Ordonnance bruxelloise relative à la performance énergétique et au climat intérieur des bâtiments (OPEB) est entrée en vigueur en 2008, sans que cela modifie drastiquement la conception de la ventilation des bâtiments. Depuis lors, elle a été modifiée à diverses reprises. La modification la plus importante, fait écho à la directive européenne 2010/31/EU sur la performance énergétique des bâtiments, qui prévoit que tous les bâtiments neufs devront être à consommation d'énergie quasi nulle fin 2020.

La région de Bruxelles-Capitale adopte alors une nouvelle ordonnance en 2013 qui intègre l'ensemble des mesures à respecter en matière de qualité de l'air, de climat, et de maîtrise de la consommation énergétique : le Code Bruxellois de l'Air, du Climat et de la maîtrise de l'Énergie ou, de manière abrégée, CoBrACE. Ce texte réglementaire inclut et modifie l'ordonnance PEB et est entré en vigueur le 1er janvier 2015. Cette réglementation – dites PEB 2015 – impose des exigences proches de la « construction passive » pour une série de constructions neuves et rénovations lourdes ; dans la lignée d'exigences déjà d'application pour les constructions portées par des institutions publiques alors en vigueur depuis peu (Génard et Neuwels, 2016 ; Génard et Neuwels, 2021). La réglementation PEB 2025 a ainsi introduit des exigences de performance favorisant la mise en œuvre d'enveloppes étanches à l'air et de systèmes de ventilation mécanique double flux avec récupération de chaleur.

Conformément à la Directive européenne de 2021, toutes les nouvelles constructions ou assimilées à du neuf doivent désormais atteindre un niveau de consommation d'énergie quasi nul. Dans cette dynamique, la réglementation Travaux PEB continue d'évoluer. En 2022, les exigences relatives à la Consommation d'Énergie Primaire (CEP) ont notamment été renforcées pour les unités PEB à rénover. Cette tendance se poursuit avec l'obligation de rénovation énergétique étendue à l'ensemble du parc immobilier, en vue d'atteindre au minimum un CPEB C+. Par ailleurs, une exigence de ventilation hygiénique, portant sur les évacuations d'air, a été rétablie pour les rénovations, soulignant l'importance croissante accordée à la qualité de l'air intérieur en parallèle de la performance énergétique.⁷

⁷ Historique de la réglementation PEB : <https://guidebatimentdurable.brussels/vademecum-reglementation-travaux-peb-partir-juillet-2017/lhistorique-reglementation-peb>

2. La réglementation wallonne en matière de ventilation

Les exigences de ventilation des pièces sont différentes en fonction des régions, mais aussi des fonctions du bâtiment. Ici, vu les objectifs et besoins liés au volet « projet » de ce travail, je me concentrerai sur les exigences liées à l'affectation « non résidentielle » (NR), en particulier en matière de ventilation hygiénique, en Région wallonne. Afin de les respecter, les unités PEB NR neuves doivent être équipées d'un système complet de ventilation et suivre des exigences définies en fonction de l'occupation des espaces. Quand on parle d'un système de ventilation complet, cela comprend : une amenée d'air neuf, une évacuation de l'air vicié ainsi qu'un transfert de l'air entre les espaces où l'air est amené et ceux desquels il est évacué (Hauglustaine et Simon, 2018).

Les normes et réglementations établissent les exigences minimales imposées en vue d'obtenir une qualité d'air saine dans les bâtiments, en fonction du secteur et du nombre de personnes présentes. Elles ne mentionnent pas l'utilisation d'un système de ventilation spécifique. En France comme en Belgique, la ventilation dans les bâtiments tertiaires est donc réglementée via une obligation de résultat et non de moyen. Ainsi, s'il est possible de justifier ce taux de renouvellement, tout type de ventilation est possible, mais les objectifs fixés peuvent parfois induire, indirectement, une obligation de moyen.

En Région wallonne, le débit d'air neuf (m^3/h par personne) nécessaire par personne dans un bâtiment non résidentiel, bâtiment d'enseignement compris, est défini en fonction de l'estimation de la qualité de l'air et du taux d'occupation des lieux :

Catégorie	Qualité de l'air (PPM)	Débit d'air neuf (m^3/h par p)
INT 1 – Qualité excellente	350	72
INT 2 – Qualité moyenne	500	45
INT 3 – Qualité modérée	800	29
INT 4 – Qualité basse	1200	18

Tableau 5 : Qualité de l'air intérieur – tiré de la norme européenne NBN EN 13 779 (2007)

Il est largement admis qu'un air intérieur de qualité favorise la réussite scolaire des élèves. Au contraire, un air insalubre et riche en CO_2 peut mener à des difficultés de concentration, des maux de tête et des difficultés respiratoires. La qualité de l'air est donc un enjeu très important à prendre en compte dans la conception de nouveau bâtiment scolaire (Dhalluin, 2012).

En Belgique, la loi établit deux seuils différents⁸ qui permettent d'évaluer la qualité de l'air intérieur :

- Le seuil A : la concentration de CO₂ doit être inférieure à 900 ppm (ce qui signifie que le CO₂ représente 0,09% du volume de l'air considéré) ; ou le taux de renouvellement doit être égale ou supérieure à 40 m³/h par occupant ;
- Le seuil B : la concentration de CO₂ doit être inférieure à 1200 ppm ; ou le taux de renouvellement doit être égale ou supérieure 25 m³/h par occupant.

Lors du dimensionnement du système de ventilation d'un nouveau bâtiment, le débit de renouvellement d'air ne peut pas être inférieur que le débit minimal de INT 3, soit 22 m³/h par personne qui permet une qualité modérée de l'air. Par ailleurs, le débit minimal dans les sanitaires est de 25 m³/h par WC ou 15 m³/h par m² de surface. Dans les salles de bains et les salles de douches, ce débit est de 5 m³/h par m² avec un minimum de 50 m³/h. Enfin, l'évacuation de l'air vicié doit se faire principalement par des gaines verticales qui peuvent dévier au maximum de 30° par rapport à ladite verticalité (Hauglustaine et Simon, 2018).

3. Typologies de ventilation naturelle

Bien que la « performance énergétique » des bâtiments favorise l'installation de systèmes de ventilation mécaniser, la montée en intérêt pour les questions environnementales dans le secteur de la construction à en même temps favoriser le développement de l'intérêt pour les systèmes de ventilation naturelle des bâtiments. Les différentes typologies sont aussi relativement bien documentées. Elles mobilisent, différemment en fonction des cas, les principes physiques suivants :

- La convection : Mouvement interne qui anime un fluide ou un gaz dû à des différences de température. L'air chaud, plus léger, s'élève et l'air froid, plus lourd, descend ;
- La dépression : Baisse de pression due au vent ou à l'ensoleillement. L'air se déplace de la haute pression vers la basse pression ;
- Le tirage thermique : Dispositif qui permet d'évacuer l'air chaud par convection. L'air va remonter naturellement pour s'échapper en partie haute. Cela va créer une dépression en partie basse ce qui va favoriser l'arrivée d'air frais de l'extérieur.

⁸ Cadre légal pour la qualité de l'air : <https://www.health.belgium.be/fr/vers-un-cadre-legal-pour-la-qualite-de-lair-interieur#:~:text=le%20d%C3%A9bit%20minimal%20de%20ventilation%20avec%20de%20l'air%20ext%C3%A9rieur,par%20heure%20et%20par%20personne>

La ventilation monolatérale

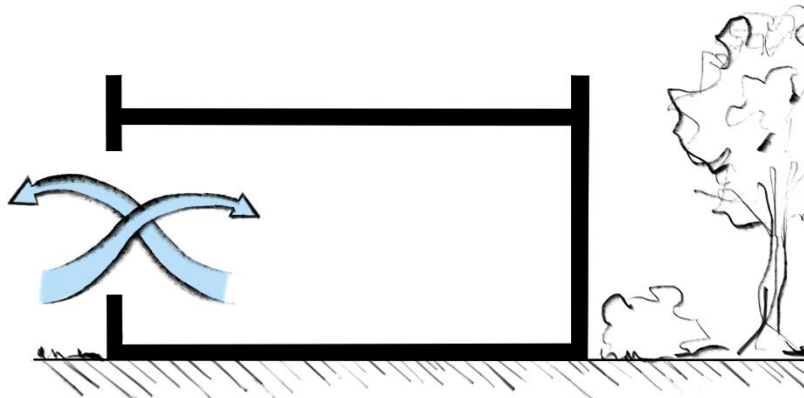


Illustration 1: La ventilation monolatérale – Sambre Ehrmann sur base d'une illustration tiré de ARENE Île-de-France, 2012

La ventilation monolatérale est une stratégie passive de renouvellement de l'air qui s'effectue par l'ouverture de baies situées sur une même façade d'un local ou d'un bâtiment. Elle repose sur la différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur pour favoriser les échanges d'air, mais son efficacité est limitée à des profondeurs de pièce relativement faibles. Pour assurer une ventilation efficace dans toute la pièce, il faut que la profondeur de la pièce soit inférieure ou égale à deux fois sa hauteur et, quoi qu'il en soit, cette profondeur ne peut pas dépasser 6 mètres. Il est aussi recommandé que les ouvrants soient placés à au moins 1m50 de haut.

Le débit de renouvellement d'air obtenu par l'ouverture d'une fenêtre peut être calculé comme ceci : $Q[\text{m}^3/\text{h}] = 260 \times A \times (0,5H \times \Delta T)^{1/2}$.

Avec A la surface d'ouverture en m^2 et H la hauteur de la fenêtre en mètres.

Il est aussi possible de renforcer le tirage dans cette disposition en plaçant deux ouvertures à des hauteurs différentes sur la même façade. La profondeur d'une pièce ne doit alors pas être supérieure à 2,5 fois sa hauteur et les deux bouches doivent être séparées par 1.5m de hauteur.

On peut ainsi calculer le taux de renouvellement comme ceci : $Q [\text{m}^3/\text{h}] = 520 \times A \times (H \times \Delta T)^{1/2}$

Avec : A = surface du plus petit ouvrant [m^2] et

H = différence de hauteur entre les deux ouvrants [m].

ΔT = différence de température entre l'air de la pièce et l'air extérieur [$^{\circ}\text{C}$].

La ventilation transversale

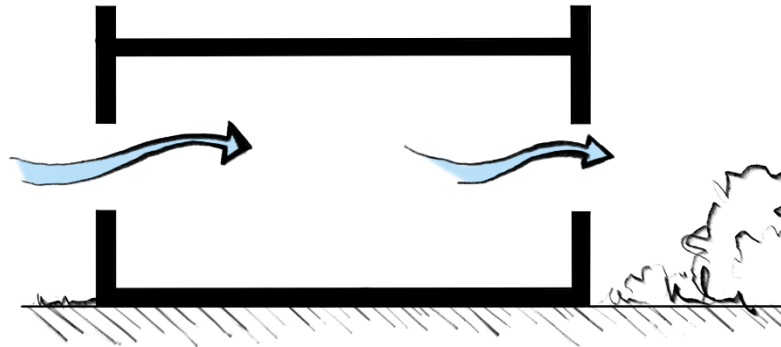


Illustration 2 : La ventilation transversale – Sambre Ehrmann sur base d'une illustration tiré de ARENE Île-de-France, 2012

La ventilation transversale désigne un mode de ventilation naturelle reposant sur la présence d'ouvertures sur des façades opposées d'un bâtiment, permettant à l'air de circuler librement d'un côté à l'autre grâce aux différences de pression. L'air entre par une façade et ressort par une autre, le plus souvent du côté opposé du bâtiment. Ici, le renouvellement de l'air va surtout dépendre de la force du vent dans le cas d'ouverture simple. La profondeur de la pièce peut atteindre jusqu'à 5 fois la hauteur sous plafond, au-delà la ventilation perdrait en efficacité et les occupants situés au fond de la salle pourraient ne pas avoir accès à de l'air neuf. Cette conception demande une certaine réflexion de la part des architectes sur l'exposition et l'agencement du bâtiment. Les obstacles présents sur site sont aussi à prendre en compte, car ils pourraient perturber le flux du vent, et donc mettre à mal le bon fonctionnement de la ventilation.

Dispositifs et variantes

En plus de ces possibilités de ventilation, des variantes et des dispositifs peuvent être mises en place afin d'améliorer la ventilation (ARENE, 2012).

Capteurs de vent

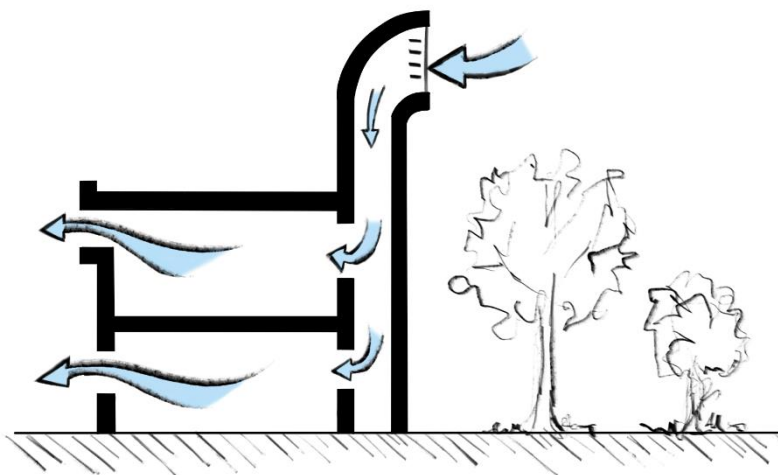


Illustration 3 : Le capteur de vent – Sambre Ehrmann sur base d'une illustration tiré de ARENE Île-de-France, 2012

Si les fenêtres sont le moyen le plus commun pour assurer l'arrivée et la sortie de l'air, d'autres approches ont aussi fait leurs preuves. Les bādgers notamment sont souvent cités pour leur ingéniosité. Les bādgers, ou tours à vent, sont des cheminées traditionnelles utilisées principalement dans l'architecture vernaculaire des régions chaudes et arides, notamment en Iran. Ils captent le vent à une hauteur élevée, là où sa vitesse est généralement plus importante, et le dirigent vers l'intérieur du bâtiment. Ce dispositif repose sur une différence de pression entre l'extérieur et l'intérieur, ce qui permet d'induire un débit d'air important. En plus de rafraîchir l'air ambiant, les bādgers peuvent également favoriser l'évacuation de l'air chaud intérieur, jouant ainsi un rôle essentiel dans le confort thermique sans recours à l'énergie mécanique. Ce dispositif est cependant moins efficace si la vitesse du vent est faible ; dans ce cas, le sens de ventilation s'inverse et fonctionne grâce au tirage thermique (ARENE, 2012).



Illustration 4 : Attrape-vent de la ville de Yazd en Iran - Atta Kenare

Des versions plus modernes existent avec une cheminée compartimentée qui capte le vent à 360 degrés. Le compartiment face au vent en surpression fait office d'entrée d'air, tandis que celui opposé en dépression fait office de sortie (ARENE, 2012).

Cheminées

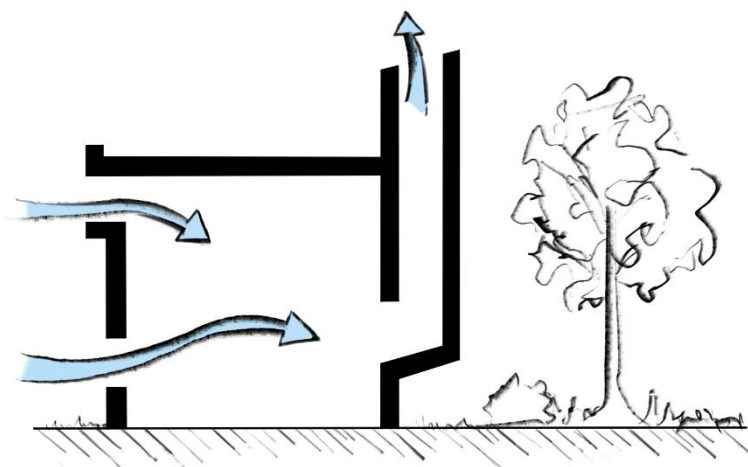


Illustration 5 : Cheminée de tirage – Sambre Ehrmann sur base d'une illustration tiré de ARENE Île-de-France, 2012

La ventilation par cheminée repose sur le principe du tirage thermique. L'air neuf entre au niveau des façades, pénètre dans les pièces et est extrait par les cheminées. Ce système dépend énormément des conditions climatiques pour fonctionner, ce qui implique que les concepteurs doivent prendre une série de mesures pour garantir le bon fonctionnement du système (ARENE, 2012). Pour maximiser le tirage, les cheminées sont souvent très hautes (+/-4m de haut), ce qui permet de garantir un écart des forces de pression entre l'entrée de l'air et la sortie en toiture.

Dans cette configuration, il importe aussi que l'air dans la cheminée soit plus chaud que l'air ambiant. C'est pourquoi certains concepteurs ont recours à des cheminées solaires. Permettant d'améliorer la circulation de l'air à l'intérieur des bâtiments, ces cheminées fonctionnent en utilisant l'énergie solaire pour chauffer l'air à l'intérieur d'une cheminée verticale, peinte en noir, en métal et/ou équipée d'un vitrage pour maximiser l'absorption de chaleur.

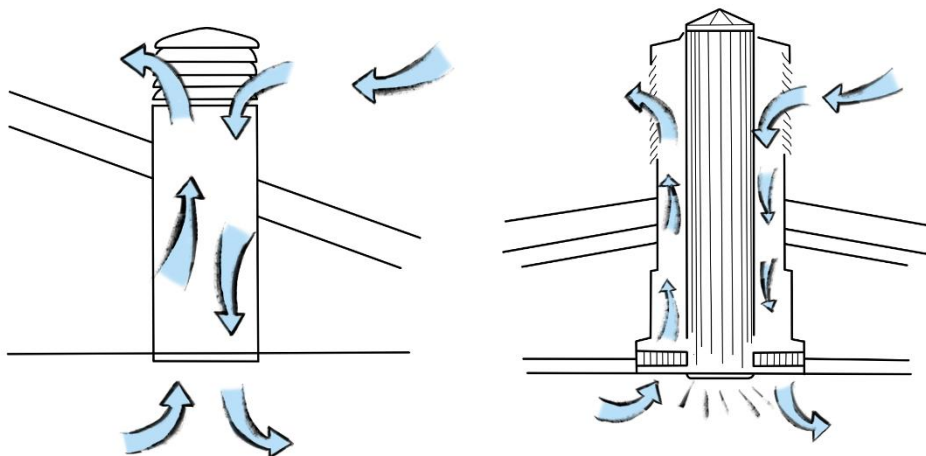


Illustration 6 : La cheminée classique et la cheminée solaire – Sambre Ehrmann sur base d'une illustration tiré de ARENE Île-de-France, 2012

Atrium

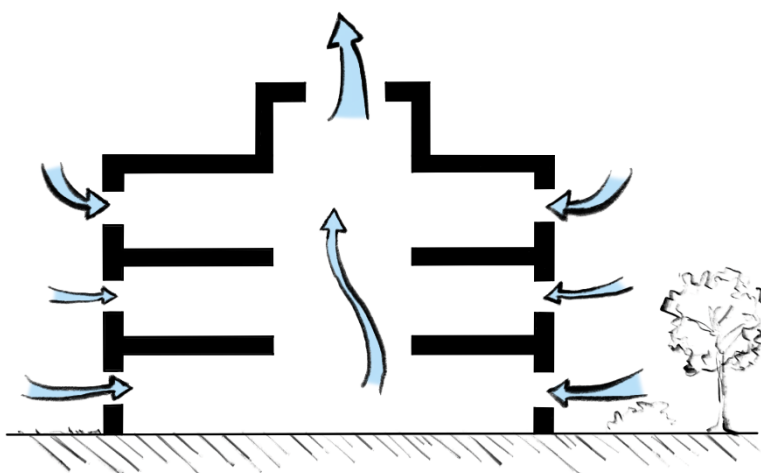


Illustration 7 : L'atrium – Sambre Ehrmann sur base d'une illustration tiré de ARENE Île-de-France, 2012

Fonctionnant comme un énorme puits de lumière, ce dispositif permet à la fois d'amener de la lumière naturelle et de fonctionner comme une grande cheminée solaire. Ce système n'est

pas toujours facile à combiner avec le respect des normes incendies. De plus, les températures dans les hauts niveaux de l'atrium peuvent devenir inconfortables pour les occupants, mais ce problème peut être contourné de diverses manières en séparant les étages supérieurs de l'atrium grâce à des cloisons ou en installant des éléments de protection tels que des cloisons ou des volets (ARENE, 2012).

Fenêtres à doubles peaux

Les fenêtres à double peau, dans le contexte de la ventilation naturelle, sont des systèmes architecturaux passifs composés de deux couches de vitrage séparées par un espace d'air (appelé cavité ou intercalaire). Ce dispositif est parfois utilisé dans des bâtiments tertiaires. L'air entre par des ouvertures basses dans la façade intérieure ou extérieure, puis circule dans la cavité entre les deux vitrages. En se réchauffant au contact de la façade exposée au soleil, l'air monte par effet de tirage thermique. L'air chaud est ensuite évacué par des ouvertures hautes, ce qui crée une ventilation naturelle verticale continue.

De nombreux paramètres sont à prendre en compte lors de la mise en place de ce système, tels que la hauteur et la largeur de la cavité, sa ventilation, le type de vitrage... (ARENE, 2012).

Puits canadiens

Souvent présentés comme des dispositifs passifs, les puits canadiens utilisent l'inertie thermique du sol, dont la température reste relativement constante à partir de deux mètres de profondeur. Le principe repose sur la captation de l'air extérieur par des prises d'air, avant que celui-ci ne circule dans un réseau de conduits enterrés à une profondeur généralement comprise entre 2 et 3 mètres. Ce passage souterrain permet de préchauffer l'air en hiver ou de le rafraîchir en été, avant son introduction dans le bâtiment. Pour optimiser les échanges thermiques, les tuyaux, de faibles diamètres, environ 30 cm, doivent être étendus sur une certaine longueur (ARENE, 2012). Toutefois, malgré leur caractère passif, ces systèmes nécessitent souvent l'appui d'un moteur mécanique. En effet, les pertes de charge causées par les frottements dans les conduits ralentissent fortement la circulation de l'air, rendant difficile un fonctionnement uniquement par tirage naturel. De plus, ces installations nécessitent beaucoup de tuyaux à mettre en œuvre pour ne gagner que quelques degrés.

Chapitre 2 - État de l'art

Avant de réaliser les entretiens, il a été nécessaire de constituer une base de connaissances solide sur la ventilation naturelle des bâtiments, en explorant à la fois son histoire, son fonctionnement, les représentations dont elle fait l'objet et son actualité. Pour ce faire, j'ai consulté la littérature scientifique et technique, afin de comprendre comment ce sujet est abordé dans le milieu scientifique. Cette revue de la littérature m'a permis d'identifier les principaux apports issus de plusieurs disciplines qui abordent, chacune à leur manière, la question de la ventilation (notamment naturelle) dans les bâtiments. L'analyse est structurée en deux grandes parties :

- La première aborde la construction de l'idéal de maîtrise du climat intérieur en architecture, en identifiant quelques grandes idéologies qui ont notamment guidé la recherche de maîtrise des flux d'air dans les bâtiments. Cet appui sur des études historiques permet ainsi de comprendre le processus de mécanisation de la ventilation ;
- La seconde partie se concentre sur la période actuelle liée aux politiques de performance énergétique des bâtiments. Elle aborde la manière dont la ventilation des bâtiments performants est traitée dans le domaine des sciences sociales et dans celui des sciences appliquées au bâtiment.

1. Héritages

Se protéger

Dans la théorie de l'architecture, le climat est considéré comme une donnée inhérente de la constitution des premières architectures, leur origine étant attribuée au besoin des humains de se protéger des intempéries, de la chaleur, des vents et autres dangers (Joseph, 1972). Au fil du temps, de nombreuses théories se sont succédé au sujet de la façon dont le climat influe sur les constructions humaines, tant dans leur morphologie que dans leur rôle au sein des modes de vie et des organisations sociales.

D'après Vitruve notamment, la ville devait avant tout être pensée comme un espace de protection contre les vents (Mandoul, 2012), perçus comme une menace en raison de leur supposée capacité à véhiculer le « mauvais air » conformément à la théorie des miasmes qui postule que les maladies sont propagées par les mauvaises odeurs, les brouillards et les émanations nocives issues de matières en décomposition. Cette croyance a profondément influencé les pratiques d'aménagement du territoire, incitant à l'éloignement de certaines activités, le recours au drainage dans les zones humides, ou encore à des murs de protection dans les zones exposées au vent (Mandoul, 2012).

Cette attention portée à la maîtrise des éléments naturels, en particulier au vent et à l'humidité, fait effectivement l'objet de développements approfondis depuis bien longtemps. Elle trouve ses origines dans des traités philosophiques et médicaux, où se développe l'idée d'un lien intrinsèque entre les sociétés humaines et les conditions climatiques. Cette idée apparaît au moins dès l'Antiquité, avec Hippocrate qui, environ 400 av. J.-C., explique, dans *Des Airs, des eaux, des lieux*, les différences morales et physiques entre peuples par les conditions environnementales (Pinna, 1989). Cette thèse, reprise par Aristote, Galien ou encore saint Thomas d'Aquin, traversera les siècles jusqu'à la Renaissance puis jusqu'au siècle des Lumières où elle s'imposera progressivement dans les discours savants.

Influencer les comportements

Le livre *De l'esprit des lois*, rédigé au 18^{ème} siècle par Montesquieu, constitue à ce titre un ouvrage fondateur. L'auteur y développe la théorie du « déterminisme climatique », selon laquelle le climat influence la nature de l'homme et l'organisation de la société. Il reprend ainsi l'idée que certains climats seraient plus favorables que d'autres, en façonnant les mœurs, les comportements collectifs, voire les formes de gouvernement. Cette perspective sera ensuite à nouveau reprise et approfondie par des penseurs tels que Rousseau, Hegel, Cousin et Stendhal (Mandoul, 2012). La « théorie du milieu » connaîtra ainsi une influence considérable : elle sera enseignée à partir de 1864 dans des écoles des Beaux-Arts en France et apparaîtra dans plusieurs livres consacrés à l'histoire de l'architecture (Mandoul, 2012).

Ces théories ont influencé les productions architecturales. Au moment de la Renaissance et de la Période classique, « les considérations climatiques sont toujours évoquées pour justifier un état présent de l'architecture dans son rapport à la société, mais aussi pour construire l'avenir » (Mandoul, 2012). Le climat est alors considéré comme l'élément essentiel à l'interprétation historique de l'architecture : les particularités architecturales propres à chaque région sont reconnues comme la résultante du climat local. Dans son traité *De Re AEdificatoria*, Alberti affirme quant à lui que les êtres humains doivent agir sur leur environnement en corrigeant les défauts climatiques de leur lieu de vie, plutôt que de s'y soumettre passivement. Par des aménagements ciblés, ils se doivent d'améliorer des conditions de vie souvent rendues difficiles par les éléments naturels.

La Renaissance constitue effectivement une période charnière où la théorie du déterminisme climatique se renforce, tout en coexistant avec d'autres modèles hérités de l'Antiquité. Parmi ceux-ci, on peut citer la théorie des cinq zones terrestres de Parménide, qui divise le globe selon des ceintures climatiques (torrides, tempérées et glacées), ou encore la géographie en sept bandes de Ptolémée, qui propose une classification des climats et des peuples en fonction de leur position par rapport à l'équateur (Rouiller, 2021). Ces schémas de pensée, mêlant observations géographiques, jugements moraux et spéculations philosophiques, servent à interpréter les différences entre peuples. Ainsi, certains auteurs de la Renaissance, comme Jean Bodin ou Louis Le Roy, attribuent des comportements sociaux, voire extrêmes comme le cannibalisme, à l'influence du climat sur les

tempéraments humains. Cette approche s'inscrit dans une vision essentialiste des peuples, postulant que les conditions naturelles conditionneraient leurs valeurs et leurs pratiques. D'autres, en revanche, cherchent à s'éloigner de cette pensée déterministe et défendent la capacité d'acclimatation de l'être humain à différentes conditions climatiques. C'est le cas de Montaigne qui suggère que le confort - loin d'être simplement dicté par le milieu - peut être compris comme le résultat d'un ajustement actif des humains aux contraintes du monde (Rouiller, 2021). Autrement dit, la théorie du déterminisme climatique évolue à la Renaissance, entre réactivations d'anciennes théories par certains penseurs et leur remise en question par d'autres.

Assainir

Elle connaîtra une autre évolution majeure au 19^{ème} siècle. Par suite des découvertes de Louis Pasteur et plus largement aux progrès réalisés dans la compréhension des maladies contagieuses, la théorie des miasmes fait place à l'hygiénisme. Progressivement, le rapport au climat n'est plus uniquement abordé sous l'angle de la morale, mais aussi de la santé publique. En même temps, le vent et le soleil commencent à être considérés comme des procédés de prévention des maladies. Ces théories vont influencer l'architecture, mettant en avant un climat idéalisé, tempéré et aseptisé (Mandoul, 2012).

L'hygiénisme apparaît dans un contexte de « chaos urbain » (Choay, 1996). À la suite de la révolution industrielle au 18^{ème} siècle, de nombreuses villes ont connu une croissance démographique rapide et incontrôlée, ce qui a augmenté les problèmes d'hygiène. Les conditions de vie dans les quartiers ouvriers, en particulier, étaient précaires, insalubres, les logements surpeuplés et les infrastructures sanitaires insuffisantes. L'hygiénisme a notamment orienté les théories et opérations d'assainissement en mettant en lumière l'importance des flux de lumière naturelle, d'eau, mais aussi d'air et donc la ventilation des lieux de vie, du territoire aux bâtiments (Mandoul, 2012). Ainsi, le vent, auparavant perçu comme un facteur perturbateur ou hostile, est petit à petit associé à la purification. Par-là, ce sont aussi nos représentations du confort d'habiter en intégrant des exigences de salubrité à l'idéal de maîtrise du climat intérieur de nos bâtiments.

Mécaniser et standardiser

L'idéal de maîtrise du climat des bâtiments est par ailleurs rendu nettement plus accessible par les « progrès » techniques qui se développent depuis la révolution industrielle. Chauffage central, équipements électriques ou encore réseaux de distribution et évacuation d'eau augmentent notre capacité à modeler l'environnement de nos lieux de vie : « La fascination de cette puissance [l'électricité] de maîtrise de notre environnement a permis l'invention de systèmes mécaniques qui ont éclipsé les stratégies thermiques naturelles, les posant comme obsolètes par comparaison. » (Heschong, 1981).

La ventilation aussi, d'abord exclusivement naturelle, fait l'objet de recherches et développements, permettant une régulation plus maîtrisée de l'air intérieur. Dans ce prolongement, les premières techniques de ventilation mécanique des bâtiments apparaissent au cours du 19^e siècle. Le premier dispositif moderne de climatisation apparaît quant à lui en 1902 aux États-Unis, bien que les premières tentatives remontent à 1830. Ces différents dispositifs mécanisés de confort sont d'abord réservés aux grands bâtiments qui accueillent un grand public (établissements hospitaliers, industriels, hôpitaux, théâtres...). En Europe, ils se diffuseront progressivement dans les logements d'abord chez ceux qui disposent des moyens financiers suffisants, puis plus largement durant les Trente Glorieuses. Depuis lors, le confort domestique est lié à l'équipement du bâtiment, à l'acquisition de biens matériels et à une consommation (croissante) d'énergie (Daumas, 2018).

Une rupture s'est également opérée dans notre rapport au climat au profit de l'idéal du climat artificiel. Les équipements techniques permettent aux habitants de s'affranchir des conditions climatiques naturelles. Ils peuvent moduler la température, la luminosité, l'humidité et le renouvellement de l'air à leur guise. Au fur et à mesure du développement et de la diffusion de ces équipements, mais aussi des normes d'habitabilité, s'est ainsi formée une conception de l'architecture qui ne dialogue plus avec les particularités locales, mais qui cherche à produire artificiellement des climats homogènes et indépendants des variations extérieures (Neuwels, 2023 ; Mandoul, 2012 ; Floret, 2024).

Le confort des bâtiments s'est standardisé et mécanisé. En même temps s'est créée une dépendance aux équipements techniques et aux sources énergétiques qui les alimentent. Ainsi, durant le 20^{ème} siècle, l'augmentation du niveau d'exigence de confort, sa normalisation et sa mécanisation ont entraîné une augmentation de la consommation d'énergie des bâtiments (Road et al., 2010).

Écologiser

Cette conception du confort est quelque peu remise en question depuis les années 1970. D'une part, les chocs pétroliers ont obligé à questionner notre dépendance énergétique notamment celle de nos bâtiments. D'autre part, cette époque marque le développement de plusieurs travaux qui pointent les impacts et limites d'une société basée sur la croissance et les progrès techniques, à l'image du célèbre rapport «The limit of Growth» publié en 1972.

Cette prise de conscience a mené aux premières réglementations visant à améliorer l'isolation thermique des bâtiments, et à quelques recherches portant sur l'autonomie énergétique des bâtiments (Lopez, 2014). Elle a notamment favorisé le (re)développement de l'intérêt pour l'architecture solaire ou le bioclimatisme, aboutissant à la conception d'expérimentations architecturales et de dispositifs tels que les murs trombes. Cependant, ces préoccupations étaient principalement portées par les milieux alternatifs et marginaux,

tandis que les pouvoirs publics, une fois l'approvisionnement en énergies fossiles rétabli, se sont largement désintéressés de ces enjeux (Maniaque, 2014).

Il aura fallu attendre la publication du rapport Brundtland de 1987 et son concept de « développement durable » pour que les préoccupations environnementales commencent à être réellement prises en compte dans les politiques publiques et les discours institutionnels, avec une prédominance très nette pour la limitation du réchauffement climatique. Concernant le secteur de la construction, en Europe, elles commenceront réellement à faire l'objet de régulations dans les années 2000. En même temps, ces mesures se concentreront exclusivement sur l'amélioration de la « performance énergétique des bâtiments », soit la diminution des consommations d'énergie liées à l'usage des bâtiments (Neuwels, 2015).

2. Époque actuelle

Techniciser les bâtiments au nom de la performance

Aujourd'hui, en Europe, la réglementation PEB (Performance Énergétique des Bâtiments) impose d'atteindre des bâtiments zéro énergie pour toute construction neuve ou rénovation lourde. Ces standards sont souvent atteints grâce à une isolation thermique très poussée, une étanchéité à l'air rigoureuse et le recours à divers dispositifs techniques. Dans le domaine de la sociologie de l'énergie, il est effectivement admis que ces politiques favorisent une « massification technique » des bâtiments (Subrémon, 2011), qui se traduit la présence de pompes à chaleur, compteurs communicants, systèmes de production d'énergie dite renouvelable, sondes, ventilations mécaniques double flux avec récupération de chaleur... (Neuwels 2017).

Ce mouvement s'inscrit dans une tendance plus large qui fait la part belle au techno-solutionnisme : les innovations techniques sont privilégiées pour résoudre les problèmes environnementaux et sociaux. À cela s'ajoute le fait qu'il est très complexe de se défaire des macro-systèmes techniques qui se sont progressivement mis en place depuis la révolution industrielle, ceux-ci tendant à s'auto-entretenir et à orienter les choix sociaux et économiques, limitant ainsi les possibilités d'alternatives (Gras, 1997). Ainsi, l'idéal du climat artificiel et le recours aux équipements techniques pour assurer le confort des bâtiments ne sont pas questionnés (Mandoul, 2012). L'approche techno-solutionniste de la transition énergétique n'est pourtant pas sans faille, notamment dans le cas des bâtiments dits performants.

D'une part, leurs équipements imposent aux habitants un ensemble de règles d'usage, reposant sur l'idée qu'ils seront capables de s'adapter à la complexité des équipements et d'adopter un modèle de vie plus frugal en énergie. Cette vision suppose un habitant modèle, rationnel, prêt à collaborer avec les systèmes installés, sans prendre en compte la diversité des usages réels, des cultures domestiques ou des aspirations au confort. Cependant, tous

les habitants n'adhèrent pas nécessairement à ce projet et à ce mode de vie. Ces dispositifs sociotechniques génèrent donc fréquemment des contre-performances : les systèmes sont contournés, débranchés ou mal utilisés, et la consommation énergétique moyenne reste élevée parfois bien au-delà des estimations (Zélem, 2016 ; Brisepierre et al., 2014). En même temps, les exigences en termes de confort augmentent tandis que les situations d'inconfort - dû au choix des équipements, à des défauts de réglage ou à leur défaillance - ne sont pas rares (Renauld, 2014 ; Brisepierre et al., 2017). Enfin, ces difficultés d'appropriation (ou plus simplement de fonctionnement) des équipements de ventilation peuvent mener à une dégradation de la qualité sanitaire des espaces, voire mettre en péril la durabilité dans le temps des bâtiments (Zélem, 2016 ; Brisepierre et al., 2014).

D'autre part, le techno-solutionnisme pose question quant à sa capacité à réellement permettre une « transition » sans remise en cause de l'idéal de croissance. Jean-Baptiste Fressoz a démontré dans son livre *Sans Transition* que l'histoire de l'énergie n'est pas celle de transitions successives d'une ressource à une autre, mais plutôt une histoire d'additions et d'interdépendance de nouvelles sources d'énergie. Ainsi, au lieu de remplacer le bois par le charbon, puis par le pétrole, les humains ont cumulé ces ressources, augmentant continuellement leur consommation énergétique globale (Fressoz, 2024). Autrement dit, l'idée d'une transition vers des énergies plus durables ne serait qu'un leurre sans remise en question profonde de nos usages, besoins, modes de production, d'habiter.

De la frugalité en technicité

Les architectes abordent différemment les enjeux environnementaux et le recours aux technologies. Ces points de vue variés entraînent une diversité de pratiques architecturales et d'engagements (Guy et Moore, 2007). Dans le milieu, le techno-solutionnisme fait ainsi l'objet de discussions, débats voire de résistances (Neuwels, 2023 ; 2024). Cette remise en question s'inscrit dans une approche holistique des questions environnementales, qui questionne la priorité donnée à la performance énergétique telle que définie dans les réglementations PEB (Kalck, 2016). Elle s'inscrit aussi dans une approche qui défend l'intérêt de l'architecture low-tech.

Le mouvement pour la « Frugalité heureuse et créative » constitue un exemple d'espace de remise en cause de la confiance accordée aux techniques actives (Madec, 2021). Ce mouvement explore quatre principes fondamentaux pour repenser l'architecture et l'habitat contemporains. Ces principes incluent l'engagement plutôt que l'administration, la satisfaction plutôt que la consommation, la réhabilitation plutôt que la construction, et la préservation plutôt que l'aménagement. L'objectif de cette approche est de simplifier les systèmes, d'éliminer les fonctionnalités superflues et de prolonger la durée de vie des bâtiments. Le « manifeste pour une Frugalité heureuse et créative »⁹ appelle spécifiquement au développement de bâtiments qui soient frugaux en énergie, en matière et en technicité :

⁹ <https://frugalite.org/manifeste/>

« **FRUGALITÉ EN TECHNICITÉ** : La frugalité en énergie, matières premières, entretien et maintenance induit des approches low-tech. Cela ne signifie pas une absence de technologie, mais le recours en priorité à des techniques pertinentes, adaptées, non polluantes, ni gaspilleuses, comme des appareils faciles à réparer, à recycler et à réemployer. En réalisation comme en conception, la frugalité demande de l'innovation, de l'invention et de l'intelligence collective. La frugalité refuse l'hégémonie de la vision techniciste du bâtiment et maintient l'implication des occupants. Ce n'est pas le bâtiment qui est intelligent, ce sont ses habitants. »

La frugalité en technicité concerne notamment la question de la ventilation des bâtiments, comme l'illustre l'exposition « Ventiler sans machine » organisée par l'École Nationale d'Architecture Paris La Villette en 2023 (Ville de Rosny-sous-Bois & ENSAPLV, 2023). Lors cet événement, de nombreux projets portés par des acteurs de la frugalité ont été présentés. Cette exposition montrait une nouvelle manière de faire architecture, à travers des exemples anciens comme contemporains, illustrant divers développements concrets autour de la ventilation naturelle.

La ventilation du point de vue des sciences sociales

La ventilation mécanique contrôlée (VMC) n'échappe donc pas aux critiques adressées aux approches techno-centrées en architecture (Neuwels, 2023 ; 2024). La VMC assure le renouvellement de l'air intérieur des bâtiments de plus en plus étanches à l'air, en assurant l'entrée et/ou la sortie d'air qui s'effectuaient autrefois en grande partie par les défauts d'étanchéité de l'enveloppe des constructions. Lorsqu'elle est couplée à un système d'échange de chaleur, la VMC permet d'introduire de l'air neuf et d'extraire l'air vicié, tout en récupérant la chaleur de l'air sortant pour préchauffer l'air entrant afin de réduire les besoins en chauffage. Le renouvellement de l'air, autrefois naturel, devient alors un processus artificialisé, piloté par des dispositifs techniques censés concilier efficacité énergétique et qualité de l'air intérieur (Floret, 2024 ; Neuwels, 2023).

De plus en plus présente dans les bâtiments et complexe, la VMC illustre la tendance à privilégier des solutions techniques, au détriment de dispositifs passifs plus sobres et mieux intégrés aux réalités climatiques locales. La ventilation devient un symbole des contradictions et des limites d'une approche centrée sur la technologie, de la distance entre l'objectif de durabilité et la réalité d'une technologie énergivore, consommatrice de ressources matérielles et sujettes à obsolescence, ou encore de la distance qui s'amplifie entre nos lieux de vie bâtis et l'environnement dans lequel ils s'implantent (Neuwels, 2023 ; 2024).

Pourtant, dans le domaine des sciences humaines et sociales, les travaux abordant la ventilation (naturelle) des bâtiments énergétiquement performants sont rares et disparates. Plus encore, la question de la ventilation est généralement abordée en second plan, traitée dans des études analysant plus largement la réception que les habitants font des bâtiments performants et de leurs équipements techniques (Gournet et Beslay, 2015 ; Zélem, 2016). Ces recherches révèlent souvent les problèmes d'inconfort associés à la ventilation

mécanique. Chez Zélem (2016), cette ventilation mécanique apparaît aussi comme emblématique des logiques techniciennes qui, pensées pour assurer une efficacité énergétique, s'avèrent souvent éloignée de la réalité des usages ce qui entraîne des effets pervers : mauvaise qualité de l'air, recours accru à des désodorisants polluants, obstructions volontaires des bouches d'aération... Les défauts de ventilation détériorent les performances globales du bâtiment et exposent les habitants à des risques sanitaires. Gournet et Beslay (2015) insistent, quant à eux, sur les difficultés rencontrées par les professionnels pour régler les systèmes de ventilation. Ces ajustements, parfois très longs, révèlent l'inadéquation entre les dispositifs techniques et les modes d'habiter. L'arrivée des occupants rend régulièrement visibles les écarts entre les instructions techniques et les pratiques habitantes, souvent sources de dysfonctionnements.

À notre connaissance, la seule étude en sciences sociales qui aborde explicitement la ventilation naturelle des bâtiments performants comme objet d'étude à part entière et du point des architectes et ingénieurs, est celle de Neuwels (2023 ; 2024). Celle-ci met plus particulièrement en lumière les effets du verrouillage sociotechnique qui met à mal, voire empêchent, le développement de productions architecturales low-tech.

La ventilation naturelle du point de vue des sciences appliquées au bâtiment

Dans le milieu scientifique, la ventilation naturelle est principalement étudiée dans le domaine des sciences et techniques du bâtiment. De nombreux travaux portent sur l'analyse et l'amélioration des stratégies de mise en œuvre de cette ventilation. Ils s'appuient sur différentes catégories d'espaces intérieurs et de profils de consommation énergétique afin de définir des critères adaptés à divers contextes climatiques. L'objectif est d'identifier les modèles de ventilation les plus performants selon les situations (Dhalluin, 2012). D'autres recherches utilisent les principes de la mécanique des fluides numériques pour réaliser des simulations précises, dans le but de mieux comprendre le fonctionnement de la ventilation naturelle et d'améliorer les modèles correspondants (Brangeon, 2012 ; Bastide et al., 2012 ; Chen et Gorlé, 2022).

Ces études ont pour objectif d'objectiver les mécanismes physiques à l'œuvre. Pour le cas de la ventilation naturelle, deux dynamiques majeures sont identifiées et régulièrement mobilisées lors de conception de bâtiments dits passifs :

- L'effet de tirage thermique, qui s'appuie sur les différences de température et de densité de l'air, favorisant une circulation verticale. L'air chaud plus léger va s'élever et permettre ainsi à l'air de se renouveler. Ce principe est appliqué notamment dans le cas de la ventilation par cheminées solaires (Santamouris et Wouters, 2006) ;
- La vitesse du vent, plus précisément sa pression dynamique, qui est un facteur clé dans la conception des bâtiments ventilés naturellement. Des recherches mettent en évidence les interactions entre le flux de l'air et les ouvertures des façades démontrant

l'importance de l'orientation du bâtiment et de la disposition des ouvertures dans l'efficacité du renouvellement d'air (Santamouris et Wouters, 2006).

Les connaissances actuelles de ces mécanismes montrent que l'efficacité de la ventilation naturelle dépend de chaque situation de projet, notamment des conditions climatiques locales du site du bâtiment. De même, elles montrent que l'étude de la ventilation naturelle doit être intimement intégrée à la conception des bâtiments, car elle impacte leur morphologie (largeur, hauteur...) et ouvertures (Santamouris et Wouters, 2006).

L'utilisation d'outils de simulation et de modélisation a aussi permis de mieux comprendre les performances réelles des systèmes de ventilation naturelle. La dynamique des fluides numériques (CFD) est aujourd'hui une étape importante dans l'analyse des flux d'air en environnement bâti. De nombreuses études (Santamouris et al., 2006) montrent que la CFD permet d'optimiser les configurations d'ouvertures pour maximiser l'efficacité du renouvellement d'air. Les logiciels de simulation thermique des bâtiments, tels qu'Energy+, Virtual Environment et TRNSYS, sont couramment utilisés pour évaluer l'impact de la ventilation naturelle sur la consommation énergétique. Les tests en soufflerie et les maquettes expérimentales restent essentiels pour valider les modèles numériques. Plusieurs recherches (Jones et al., 2019) ont montré que les résultats en soufflerie permettent d'affiner les calculs CFD et de prendre en compte les effets d'interactions complexes entre vent et bâtiment.

Les recherches et avancées en ingénierie et en simulation numérique visent ainsi à mieux définir les méthodes de conception des bâtiments à ventilation naturelle. Plusieurs approches sont actuellement bien établies. La ventilation unilatérale fait l'objet de nombreuses études expérimentales (Santamouris et al., 2006), qui montrent qu'elle est particulièrement efficace pour les espaces peu profonds et bien exposés. La ventilation traversante est largement considérée comme l'une des stratégies les plus performantes, le taux de renouvellement d'air pouvant être multiplié par un facteur de 2 à 5 en optimisant les ouvertures sur des façades opposées, notamment dans les climats tempérés et tropicaux (Song et al., 2021). L'effet cheminée, utilisé dans les bâtiments à grande hauteur et les atriums, a notamment été étudié par Khan et al. (2008) et vise à optimiser la hauteur des conduits pour maximiser l'extraction de l'air chaud. D'autres études (Song et al., 2021) montrent que les puits climatiques et conduits géothermiques peuvent réduire la demande énergétique de climatisation de 30 à 50 % dans les climats chauds et arides. Ou encore, les façades ventilées et les systèmes de régulation des ouvertures sont en pleine évolution, avec des recherches sur les matériaux adaptatifs et les brise-soleil (Song et al., 2021).

3. Conclusion

Bien que les publications scientifiques portant sur la ventilation naturelle restent encore peu nombreuses, elles semblent connaître un certain développement dans le domaine des sciences appliquées au bâtiment. La ventilation demeure cependant peu étudiée dans celui des sciences sociales, si ce n'est de manière indirecte. Il est toutefois admis que la ventilation

mécanique peut induire de l'inconfort et faire l'objet de difficultés d'appropriation par les habitants. La manière dont les architectes et les ingénieurs praticiens conçoivent et intègrent la ventilation (naturelle) dans leurs projets fait également l'objet de peu de recherches à ce jour.

Comme annoncé en introduction, ce travail a pour objectif de participer à combler ce manque, dans la lignée des travaux de Julie Neuwels. Ceux-ci montrent que les praticiens engagés dans cette approche ne se contentent pas de proposer des alternatives techniques, mais œuvrent aussi à la remise en question des récits dominants autour du progrès technique. Au-delà de leurs projets, ils diffusent l'intérêt du low-tech en architecture par des conférences ou des. Ce travail d'intéressement nourrit une pensée technos-écologique, dans laquelle chaque solution constructive engage une réflexion sur nos liens avec le vivant et nos formes de dépendance à la technique (Neuwels, 2023 ; 2024). Enfin, ce travail, par le volet recherche par le projet, vise aussi à questionner la manière dont des conceptions low-tech des équipements de confort impliquent des questions d'architecture.

Chapitre 3 – Terrain d'étude

1. Cas d'étude, le lycée Jean Jaurès – Tourre Sanchis



Illustration 8 : Le lycée Jean Jaurès - H. Abbadie

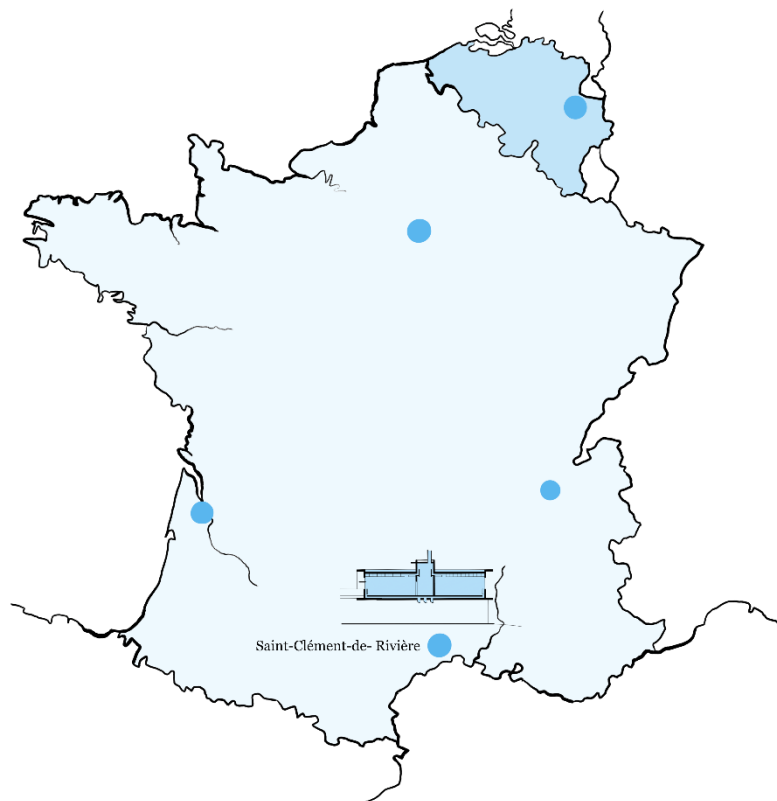


Illustration 9 : Saint-Clément-de-Rivière – Sambre Ehrmann

Le contexte

La région du Languedoc-Roussillon

Depuis les années 1990, confrontée à un problème de surchauffe, notamment dans ses lycées à façades vitrées, la région Languedoc Roussillon lance un programme environnemental ambitieux. Elle développe une politique de réduction des consommations d'énergie et de prise en compte des impacts environnementaux dans ses bâtiments publics. C'est dans ce cadre qu'est lancé, en 1999, le concours pour la construction du lycée du Pic Saint-Loup, à Saint-Clément-de-Rivière. Il s'agit du premier projet Haute Qualité Environnementale (HQE) de la région.

Le concours et ses ambitions

Ce concours se distingue par un programme précis et innovant pour l'époque, avec une forte implication de la région, en tant que maître d'ouvrage, qui a fixé plusieurs objectifs pour sa construction :

- Limiter la température dans les salles de classe à 28°C maximum plus de 10 jours par an, sans recours à la climatisation ;
- Garantir un bon niveau d'éclairage naturel dans les classes, pour un meilleur confort visuel ;
- Réduire la consommation d'énergie, en particulier l'électricité, en privilégiant les dispositifs passifs plutôt que les solutions techniques complexes ou énergivores.

En 2002, à une époque où peu d'établissements scolaires intègrent des solutions de ventilation naturelle ou d'inertie thermique, l'équipe de conception doit revoir les paradigmes traditionnels de l'architecture scolaire pour répondre aux exigences de la région (Faure et al., 2004).

Le lycée Jean-Jaurès



Illustration 10 : Plan de masse - Pierre Tourre

Situé à vingt minutes de la ville de Montpellier, le lycée Jean-Jaurès a été choisi par la région Languedoc-Roussillon comme chantier pilote en matière de Haute Qualité Environnementale. Il s'agit du premier d'une série de quatre établissements scolaires ayant pour but d'élaborer un référentiel de construction environnementale pour l'enseignement secondaire. En plus de ceux cités précédemment, le projet se structure autour de plusieurs axes :

- L'orientation des bâtiments, dans le but d'optimiser le confort d'été et la qualité de l'éclairage naturel ;
- Le respect de la topographie du site, afin de limiter l'impact sur le terrain rocheux ;
- La mise en place d'un système de ventilation naturelle ;
- Le choix de matériaux nécessitant un entretien minimal.

Le lycée Jean-Jaurès se distingue par sa grande simplicité, avec deux niveaux, un rez-de-chaussée et un étage. Plutôt que de suivre les principes de l'architecture high-tech, en tête dans les années 2000, Tourre Sanchis, en collaboration avec l'ingénieur Alain Bornarel, a opté pour une architecture "low-tech" axée sur des principes de frugalité, qui ont guidé tous les choix constructifs et environnementaux du projet.

Pour Tourre Sanchis, il est essentiel de considérer tous l'ensemble des spécificités du projet avant sa conception. Ils ont ainsi pris en compte l'implantation et la morphologie du site, tout en accordant une grande importance à la compréhension du fonctionnement de l'air sur le site. Le facteur de jour, c'est-à-dire la qualité de la lumière naturelle, constitue une contrainte importante du projet, car une bonne luminosité favorise l'apprentissage.

L'objectif est donc d'assurer un maximum de lumière naturelle de qualité dans les classes. Les brise-soleils, réduisant ce facteur, ont été écartés du projet, bien qu'il soit resté essentiel de gérer l'ensoleillement intense des classes au sud pour éviter les surchauffes. Pour cela, des étagères à lumière ont été mises en place. Il s'agit de brise-soleil blancs et horizontaux placés aux deux tiers des ouvertures. Ils réfléchissent la lumière du soleil vers le plafond des classes, permettant ainsi de maintenir une forte luminosité naturelle tout en évitant que le soleil frappe directement sur les fenêtres. Ce système contribue à limiter à la fois les risques de surchauffe et la consommation d'électricité.



Illustration 11 : Étagère à lumière - H. Abbadie

Les acteurs du projet

Le bureau et ses architectes

Pierre Tourre a commencé sa carrière d'architecte en 1971, en s'associant avec deux autres architectes sous le nom d'AUA Montpellier. Ensemble ils ont réalisé plusieurs projets emblématiques tels que le nouvel hôtel du département de l'Hérault, l'immeuble Le Triangle qui est au cœur de Montpellier et l'hôpital de Biézienne, ainsi que beaucoup de programmes de logement, des collèges, des lycées et autres bâtiments.

Après leur séparation en 1991, Pierre Tourre réalise la réhabilitation de la faculté de droit et de la faculté d'odontologie à Montpellier, ainsi qu'un certain nombre de bâtiments hospitaliers. Déjà à cette époque, Pierre Tourre accordait une attention particulière à l'environnement dans ses réalisations, et son intérêt pour le développement durable ne cessa de croître. Dans les années 2000, il réalise de nombreuses formations en qualités environnementales et continue encore maintenant à se tenir informé. Il fait partie de ces architectes pionniers qui portaient un discours écologique à une époque où l'écologie était principalement perçue comme une contrainte réglementaire (Mosconi, 2018). Pour lui, l'amélioration ne réside pas seulement dans le travail en bureau, mais dans le rassemblement d'un ensemble d'acteurs sur différents projets, chacun cherchant à faire progresser les choses et à améliorer les techniques. Pierre Tourre n'hésite pas à se remettre

en question, mais aussi à critiquer l'architecture traditionnelle « des lycées où il y avait des façades totalement vitrées, et totalement vitrées dans notre région, dans le Languedoc, ça ne pardonne pas ».

En 2009, Pierre Tourre s'associe à Serge Sanchis, son principal collaborateur depuis 1994 afin de créer le bureau Tourre Sanchis. Pierre Tourre, véritable précurseur, cherche à transmettre ses connaissances et, fort de celles-ci, a su les mettre à profit pour remettre en question des « normes » de construction, notamment l'isolation thermique. Ensemble, ils réalisent le premier lycée en ventilation naturelle en France. Le bureau Tourre Sanchis compte aujourd'hui une vingtaine de collaborateurs qui participent aux réflexions sur la qualité du cadre de vie, les dimensions sociale et urbaine, formelle et fonctionnelle ou encore environnementale. Leurs domaines d'interventions sont principalement, l'urbanisme, l'habitat, la santé et l'enseignement.

Le partenariat avec TRIBU et Alain Bornarel

La première collaboration entre Tourre Sanchis et Alain Bornarel, remonte à 2002, lors du concours lancé par la région Languedoc Roussillon pour la construction du lycée du Pic Saint-Loup. Ce concours à forte orientation environnementale, pousse l'architecte Pierre Tourre à s'associer au bureau d'études TRIBU pour proposer un projet en accord avec les ambitions du maître d'ouvrage.

Cette collaboration marquera le début d'un partenariat fructueux, particulièrement axé sur les enjeux environnementaux que Pierre Tourre qualifie lui-même d'« extrêmement intéressants ». Dès les premières étapes du projet, ils travaillent étroitement, et se rencontrent régulièrement à Montpellier pendant la phase de conception pour définir ensemble les grandes lignes du projet. Leurs échanges portent notamment sur les aspects techniques liés à la ventilation naturelle et à la gestion de la chaleur dans les salles de classe. Le projet bénéficie également d'un solide soutien de la part de la maîtrise d'ouvrage ainsi que du bureau Adret, représenté par Daniel Fauré, particulièrement impliqué dans les problématiques environnementales à l'échelle européenne.

Ingénieur spécialisé dans le développement durable, Alain Bornarel débute sa carrière dans les structures avant de se tourner, dans les années 1980, vers la thermique du bâtiment. En 1986, il fonde le bureau d'études TRIBU, avec Bernard Sésolis et Pascale Maes. TRIBU est l'un des premiers bureaux à se positionner dès les années 1990 sur les enjeux environnementaux dans le bâtiment. Depuis sa création, ce bureau d'études intervient régulièrement sur des projets à vocation durable, tant en architecture qu'en urbanisme. Partisan d'une approche «low-tech», TRIBU a notamment participé aux premières opérations «zéro énergie» en France, et a conçu de nombreux bâtiments basés sur la ventilation naturelle ainsi que le rafraîchissement passif.

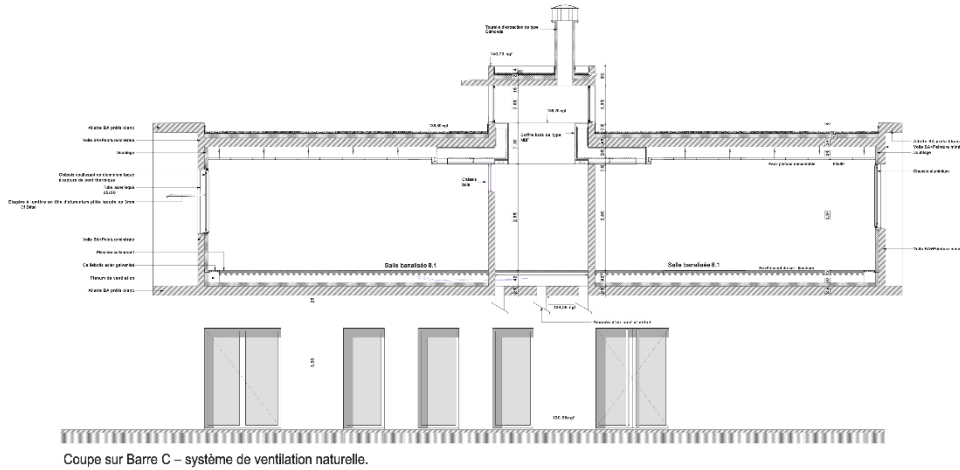
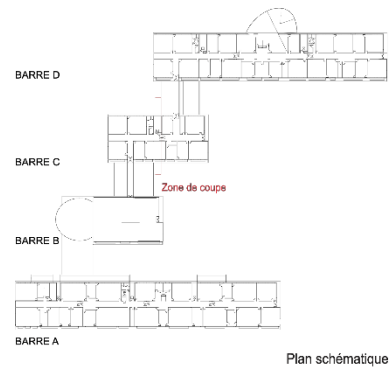


Illustration 12 : Plan de situation et coupe du lycée Jean Jaurès – Pierre Tourre

Le système de ventilation et sa mise en œuvre

Le double plancher

Inspiré des principes de pièges à vent de l'architecture du Moyen-Orient, ce système de ventilation repose sur un principe simple de doubles planchers et de prise d'air à l'ombre. L'air extérieur, capté par des prises situées en zone ombragée pour profiter d'un air naturellement plus frais, circule sous la pièce via un double plancher où il est tempéré au contact du béton, puis est diffusé dans chaque salle de classe par une grille placée au sol, le long de la façade. L'air traverse ensuite la salle, porté par la différence de pression et la convection naturelle, avant d'être repris du côté opposé par une grille en partie haute, donnant sur une coursive centrale. L'air est ensuite guidé vers la partie supérieure de la circulation, où il est évacué par des cheminées de ventilation dites « Edmonds » placées au-dessus des circulations. Ces tourelles, importées d'Australie, sont des cylindres de 40cm de diamètre, surmontés d'une turbine horizontale mise en rotation par le vent. Ce mouvement génère une dépression, ce qui permet d'aspirer l'air chaud accumulé dans la coursive.

Ce système utilise l'inertie thermique du bâtiment et le principe du double plancher afin de gérer la température du bâtiment. Lorsqu'il fait chaud, la nuit, l'air plus frais qui entre dans les classes permet de faire baisser la température du bâtiment, tandis que durant journée, l'air est rafraîchi par l'inertie du béton lorsqu'il passe dans le double plancher. Pendant les

périodes plus froides, l'air entrant est d'abord tempéré en passant dans le double plancher, puis réchauffé par les radiateurs situés à la sortie avant d'être diffusé dans la classe.

Le seul élément mécanique du dispositif est un registre motorisé situé à la base de la tourelle, au plafond de la circulation, permettant de régler l'ouverture et le débit d'extraction en fonction des conditions climatiques. Cela permet d'éviter évacuation excessive de l'air chaud en hiver, dans une région soumise à des vents violents comme le mistral. Pendant la journée, les élèves génèrent de la chaleur, ce qui rend nécessaire de maintenir une bonne ventilation, même si l'air est un peu moins frais qu'à la nuit tombée. Il n'y a jamais eu de problème de surventilation, le seul véritable enjeu étant les vents violents, dont l'impact doit être modulé à l'aide des registres, en ajustant leur ouverture en fonction de la vitesse du vent. Le bureau a opté pour un système sans électronique, sans détecteurs de CO₂ ni ajustement automatique des registres en fonction du taux d'occupation des locaux, afin d'assurer une utilisation simple, sans risque de dysfonctionnement ou de panne.

Circulation de l'air

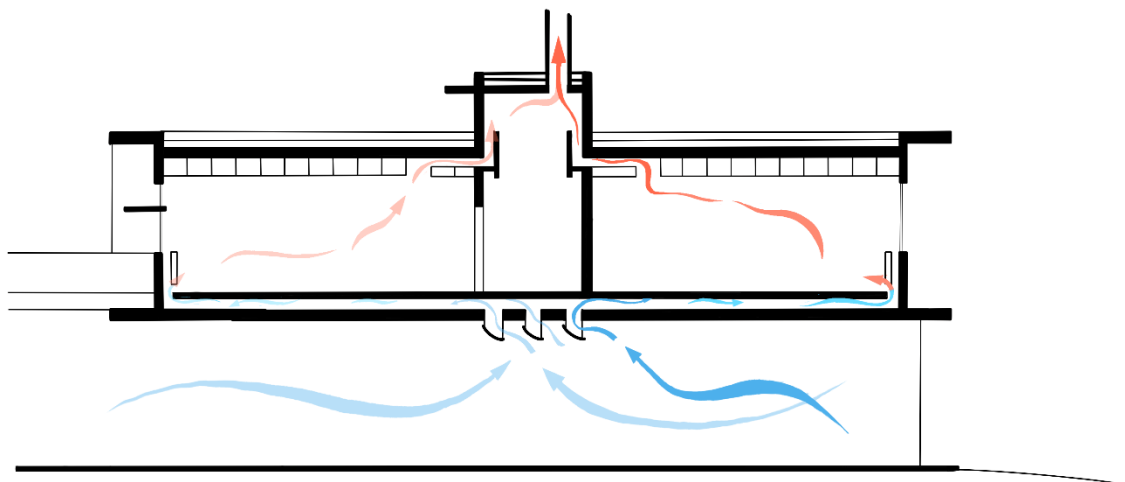


Illustration 13 : La circulation de l'air dans le lycée Jean Jaurès – Sambre Ehrmann sur base d'une illustration tiré de Pierre Tourre

Les impacts sur l'architecture

Dès l'implantation du bâtiment sur le site, en tenant compte de sa morphologie et des spécificités du terrain, la mise en place de la ventilation naturelle a eu un impact direct sur la conception architecturale du lycée. C'est pourquoi comprendre la circulation de l'air, identifier les vents dominants et les facteurs influençant leur trajectoire sont des éléments essentiels à prendre en compte. Une fois ces éléments analysés, il a fallu définir un principe de captation de l'air dans des zones fraîches, organiser sa traversée des salles de classe par le biais de grilles, puis son extraction. L'orientation du bâtiment, son exposition au soleil et au vent ont été pensées de façon à optimiser cette circulation naturelle de l'air. Ce type de conception nécessite une réflexion dès les premières phases du projet architectural. Par exemple, les planchers doivent être conçus pour favoriser l'arrivée d'air frais et leur

dimensionnement doit permettre l'intégration d'un double plancher, élément clé de cette stratégie de ventilation passive.

Limites et retours d'expérience

Les limites du projet

Bien que la démarche visait à être économe en énergie, l'importation des tourelles d'extraction d'Australie, un équipement indisponible sur le marché européen à l'époque, a considérablement augmenté le bilan carbone du projet.

Retour d'expérience et analyse de performances réelles

La région Languedoc-Roussillon a souhaité mettre en place pour le lycée Jean Jaurès une mission d'évaluation post-construction. Cette mission fut confiée au bureau Tourre Sanchis et avait pour objectif de vérifier, sur une période de deux ans, si les performances annoncées lors du concours étaient effectivement atteintes dans l'usage réel du bâtiment.

Les capteurs de température, installés dans plusieurs salles témoins, étaient reliés à un dispositif de gestion technique centralisée, permettant un suivi continu des conditions intérieures tout au long de l'année. Des enquêtes ont été réalisées en parallèle, auprès des élèves et du personnel éducatif, afin d'évaluer leur perception du confort. Les résultats ont confirmé les attentes initiales du projet : les performances du bâtiment se sont avérées satisfaisantes et les retours des utilisateurs ont été largement positifs. Aucun problème majeur n'a été relevé concernant la qualité de l'air ou le confort thermique. Livré en 2007, le lycée Jean Jaurès continue, plus de quinze ans après sa mise en service, de bénéficier de retours très favorables de la part de ses usagers.

Dans le secteur du bâtiment, il est fréquent que les performances théoriques annoncées à l'esquisse du projet ne soient pas totalement respectées une fois le bâtiment livré. La région a donc fait preuve d'une volonté de transparence et d'exigence en voulant confronter les prévisions à la réalité du terrain. Durant ce suivi, des capteurs ont été installés dans plusieurs salles de classe pour enregistrer les températures tout au long de l'année. Les résultats ont été positifs : même pendant les périodes les plus chaudes (de mai à début septembre), les températures intérieures restaient le plus souvent inférieures à 28 °C, et atteignaient en général 25 à 26 °C. Le seuil fixé dans le programme, qui prévoyait de ne pas dépasser 28 °C plus de 10 jours par an, a donc été respecté. Lors de cette mission d'évaluation, il a également été révélé que la consommation énergétique était bien inférieure aux estimations initiales. Cela est notamment dû à l'usage très faible de lumière artificielle, les salles bénéficiant d'un excellent apport en lumière naturelle.

Maintenance et appropriation du bâtiment

Entretien du système

L'entretien des systèmes de ventilation mécanique est complexe et souvent négligé, même dans des bâtiments très réglementés. Comme le souligne Pierre Tourre, « Ce n'est pas évident du tout, même dans les hôpitaux ». Si le nettoyage des grilles, des filtres, des entrées et des sorties d'air est généralement assuré, l'intérieur des conduits, quant à lui, reste difficile d'accès et rarement entretenu. Ce projet a pour avantage d'avoir un réseau de ventilation simple, ce qui permet de réduire le nombre de conduits et limite ainsi les zones inaccessibles à l'entretien. Cependant, celui-ci se limite aux grilles, registres et filtres des entrées et sorties d'air.

Formation des utilisateurs

Les utilisateurs n'ont pas reçu de formation spécifique liée à l'utilisation du bâtiment.

2. Cas d'étude, le centre de loisirs Jacques Chirac – Mairie de Rosny-sous-Bois



Illustration 14 : Le centre de loisirs - Juan Sepulveda

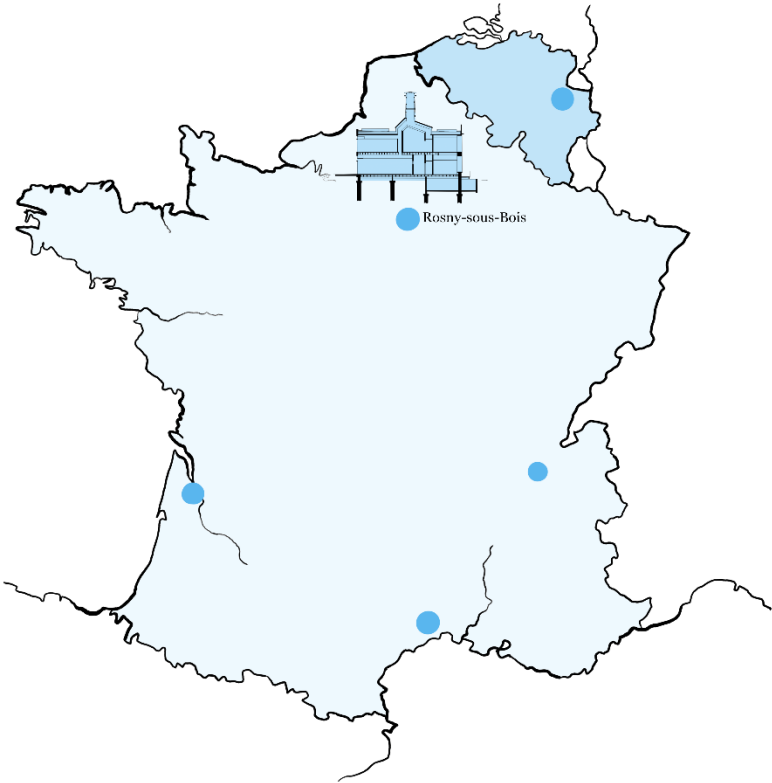


Illustration 15 : Rosny-sous-Bois – Sambre Ehrmann

Le contexte

La ville de Rosny-sous-Bois

Face à la forte augmentation de la population, la ville de Rosny-sous-Bois a dû construire plusieurs écoles et centres d'accueil. Le centre de loisirs Jacques Chirac est le troisième établissement de ce type à voir le jour. Lors du lancement des premières constructions scolaires, Emmanuel Pezrès, directeur adjoint de la direction des bâtiments à la mairie, a choisi de constituer une équipe interne plutôt que de recourir à une maîtrise d'œuvre externe. Cette décision a permis de gagner du temps et de simplifier les démarches administratives. C'est dans ce contexte qu'a commencé la collaboration avec les futurs membres du bureau d'études SWITCH.

L'objectif de la municipalité était non seulement de répondre aux besoins immédiats de la population, mais aussi d'anticiper les besoins futurs. Dans cette perspective, la mairie a très tôt intégré une réflexion sur l'impact environnemental de ses constructions. Le travail n'est pas totalement plat et les angles ne sont pas parfaitement droits. Le bâtiment ne cherche pas la perfection industrielle : il ne sort pas d'une usine. Il marque une rupture avec l'esthétique dominante du béton, souvent standardisée et rarement interrogée (Madec, 2021). Du fait du recours à des matériaux peu courants, il arrive que les entreprises se forment au fur et à mesure du chantier. Cette logique d'apprentissage en temps réel a un impact direct sur l'apparence architecturale du produit fini, le résultat porte les traces des expérimentations. Elle a ainsi fait le choix d'utiliser des matériaux locaux et des techniques « low-tech » afin de limiter leur empreinte écologique. Bien que les considérations budgétaires aient sans doute joué un rôle, elles n'ont pas été mises en avant dans les discours. Cette démarche, fruit d'un travail pointu mené depuis plusieurs années, a conduit la mairie de Rosny-sous-Bois à chercher et engager des personnes soucieuses de se lancer dans ce projet de recherche.

Les différents projets scolaires de Rosny-sous-Bois :

- Boutours 1 : école élémentaire (2014) ;
- Boutours 2 : école maternelle (2017) ;
- Jacques Chirac : centre de loisirs (2020) ;
- Simone Veil : école primaire (2021) ;
- Jean Mermoz : école maternelle et centre de loisirs (2023/2024) ;
- Bois-Perrier : école maternelle (2024).

Le centre de loisirs Jacques Chirac

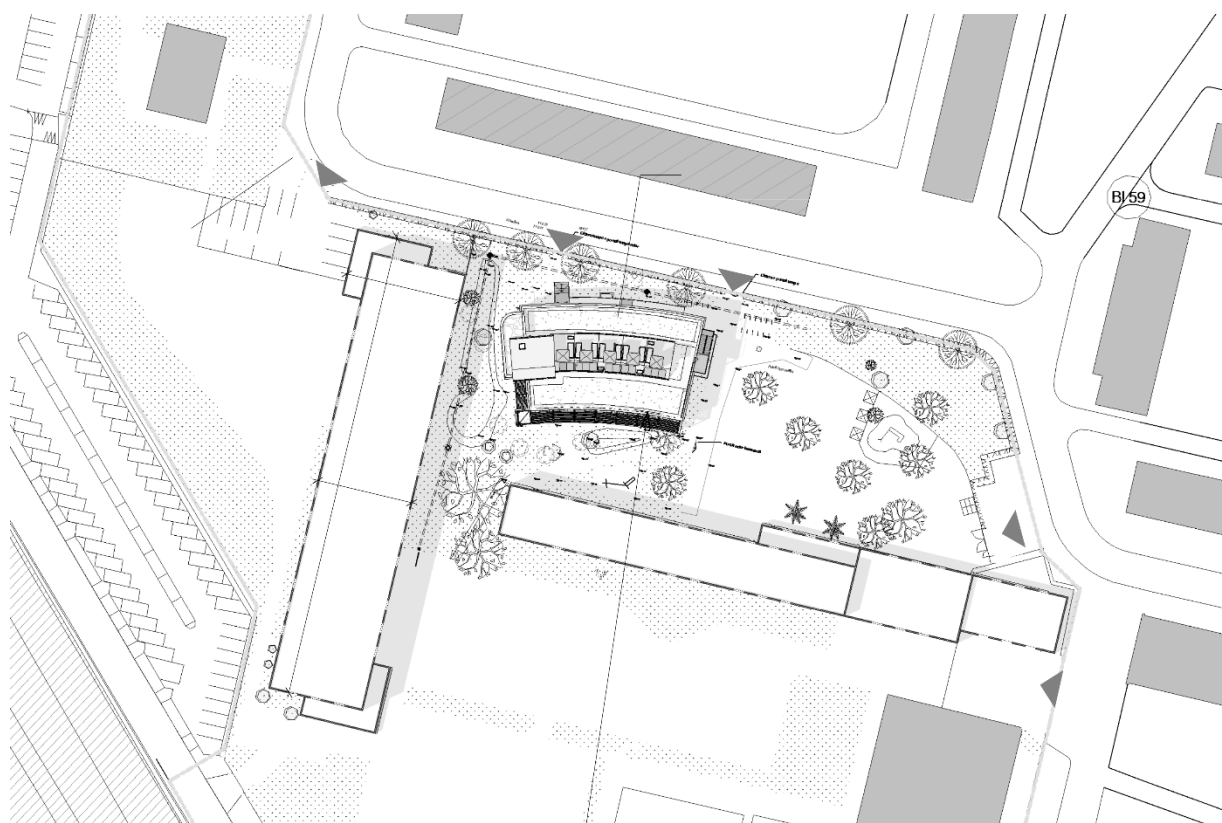


Illustration 16 : Plan de masse - Mairie de Rosny-sous-Bois

Le projet du Centre de Loisirs Jacques Chirac s'inscrit dans une démarche expérimentale et évolutive. Il s'appuie sur deux projets précédents qui ont permis des réflexions et des évolutions concernant le système, notamment les deux écoles des Boutours, et surtout Boutours 1. L'équipe de la mairie de Rosny-sous-Bois a tiré des enseignements de cette première réalisation, notamment en matière de choix des matériaux, de décisions de conception et d'autres aspects liés à l'impact environnemental. L'approche du projet n'a donc pas été seulement centrée sur le bilan carbone d'un bâtiment fini, mais aussi sur l'analyse de l'ensemble du processus de conception et de mise en œuvre.

Lors de la conception de Boutours 1, la décision a été prise d'utiliser du bois reconstitué, du KLH, ainsi que de la paille pour l'isolation dans des caissons en bois. La fabrication des caissons s'est faite en usine, ce qui a permis un assemblage rapide sur site. Sur le papier, ces choix semblaient vertueux. Cependant, bien que l'entreprise responsable du chantier soit française, son origine autrichienne a impliqué l'usage de bois non local, et le recours à une main-d'œuvre venue principalement d'Europe de l'Est. Ces travailleurs ne bénéficiaient pas des mêmes conditions de travail ou de protection sociale qu'en France, ce qui a mis en lumière certaines limites sociales et éthiques du projet initial. C'est avec ces retours d'expérience en tête que le projet du Centre de Loisirs Jacques Chirac a été repensé, afin d'éviter ces erreurs et de mieux répondre aux enjeux environnementaux, locaux et sociaux.

Le Centre de Loisirs Jacques Chirac, situé dans l'enceinte du groupe scolaire Bois-Perrier, accueille jusqu'à 180 enfants en période périscolaire et pendant les vacances. Sa construction a permis de regrouper toutes les activités du centre de loisirs dans un seul bâtiment, libérant ainsi des espaces dans les écoles maternelles et élémentaires voisines pour d'autres usages. Le programme du projet a été élaboré à partir des échanges entre les futurs usagers et l'équipe de conception, tous membres de la Mairie. L'accent a été mis sur la faisabilité opérationnelle du bâtiment dès la phase de conception, avec des choix techniques innovants discutés en amont avec le bureau de contrôle afin d'anticiper et de résoudre les éventuels obstacles. Le bâtiment, d'une superficie de 1000 m² répartis sur deux niveaux, a été conçu pour répondre aux besoins spécifiques des enfants et du personnel. Le centre comprend une salle polyvalente de 180 m², 8 salles d'activités de 30 à 90 m², dont une salle d'activités manuelles, une salle d'expression corporelle, une cuisine pédagogique, un hall d'accueil, un bureau de direction et une salle des animateurs. Les études ont commencé en 2017 et le bâtiment a été livré en 2020.

Le choix des matériaux de construction s'est porté sur des ressources durables et locales. Ainsi, la superstructure du bâtiment est principalement composée de bois et de paille provenant d'Île-de-France et d'Eure-et-Loir, dans le but de limiter l'empreinte écologique et de soutenir les filières locales. La paille, bien que moins conventionnelle, a été utilisée de manière optimale pour ses propriétés isolantes et porteuses, notamment pour les trois murs périphériques du centre, à l'exception de la façade sud qui est un mur-rideau. Toutefois, son utilisation présente certaines contraintes, notamment en ce qui concerne les ouvertures : afin de garantir la stabilité structurelle, ces dernières ont dû être réduites et orientées verticalement. Les fondations du bâtiment restent encore en béton, faute de solution alternative viable à ce jour. Le projet minimise également l'usage de matériaux métalliques, préférant des ossatures en bois pour les cloisons intérieures. En raison de l'expérimentation de la paille porteuse, la hauteur et la taille du bâtiment ont été limitées afin d'éviter des contraintes trop complexes en matière de sécurité. L'architecture bioclimatique a également guidé la conception, privilégiant des formes simples et compactes. Concernant la toiture, celle-ci n'est pas accessible au public, permettant l'installation de panneaux solaires thermiques pour compléter le système de chauffage. Elle est également végétalisée, constituant ainsi une réserve de biodiversité.

Les acteurs du projet

La mairie et ses architectes

Rosny-sous-Bois est située dans l'est parisien, à seulement 9 kilomètres de la capitale, et compte plus de 45 000 habitants. La commune bénéficie d'un excellent réseau de transports et est réputée pour son dynamisme commercial, mais également pour l'important tissu pavillonnaire qui s'étend sur son territoire. Depuis plusieurs années, la municipalité s'engage dans une démarche de transition écologique, notamment à travers la construction d'établissements scolaires plus respectueux de l'environnement. Elle mène également

diverses actions en faveur du développement durable : sensibilisation à l'écologie, entretien du mobilier urbain, propreté urbaine... Ainsi, de nombreux projets de rénovation énergétique ont vu le jour dans la ville et des bâtiments innovants utilisant des matériaux naturels comme la paille et la terre crue ont été construits.

Charlotte Picard a obtenu son diplôme d'architecte en 2000, délivré par le gouvernement français. Elle a étudié à l'École d'Architecture de Paris-La Villette, où elle a eu la chance d'être formée par des enseignants passionnés par le bioclimatisme, un domaine dans lequel elle a approfondi ses connaissances à travers plusieurs cours spécialisés. Durant ses études, elle a développé un intérêt particulier pour l'architecture vernaculaire, notamment l'adaptation des habitats traditionnels aux conditions climatiques locales. Cet attrait, toujours présent dans sa pratique actuelle, vise une idée de conception collective, où tous les acteurs — habitants, maîtres d'œuvre, élus, usagers — travaillent ensemble pour concevoir des bâtiments adaptés aux besoins réels et durables.

Dans le cadre de sa pratique professionnelle, Charlotte Picard a cherché à intégrer des agences d'architecture sensibles aux enjeux environnementaux. Elle a ainsi exercé dans plusieurs bureaux d'architecture parisiens, avec une parenthèse en Irlande lors d'un échange Erasmus. Cependant, malgré ses convictions, elle a vite été confrontée à un décalage entre ses valeurs écologiques et la réalité du terrain. En effet, bien que ses études lui aient permis de se familiariser avec des concepts comme l'utilisation de matériaux locaux et l'adaptation au climat et au contexte géographique, elle a constaté que dans les agences, l'approche était souvent centrée sur des matériaux comme le béton, sans réelle réflexion sur les enjeux environnementaux.

C'est dans ce contexte que Charlotte Picard a accepté de participer au projet du Centre de Loisirs Jacques Chirac à Rosny-sous-Bois. Ce projet représentait pour elle une véritable opportunité de s'initier à l'utilisation de la paille dans la construction, un matériau qu'elle n'avait encore jamais expérimenté, malgré une expérience préalable dans une agence spécialisée dans les constructions en bois. Cette opportunité lui a été offerte par son directeur, un ancien camarade de l'École d'Architecture, qui l'a contactée après lui avoir présenté l'École Maternelle des Boutours, un projet qu'il avait supervisé.

Charlotte Picard critique la pratique professionnelle actuelle, où les architectes sont souvent contraints par les commandes qu'ils reçoivent. Selon elle, si une approche bioclimatique n'est pas explicitement demandée, il devient difficile, voire impossible, pour les architectes de l'intégrer au projet. Le projet du Centre de Loisirs Jacques Chirac a ainsi constitué une véritable chance de concilier ses valeurs personnelles avec la réalité de son métier, et de pouvoir, enfin, expérimenter des solutions écologiques concrètes. Elle souligne également le décalage entre ce qu'on enseigne dans les écoles d'architecture et la réalité du terrain. Les projets sont fréquemment encadrés par des cahiers des charges très rigides, laissant peu de place à l'innovation ou à la prise en compte de l'impact environnemental. Les bureaux d'architecture restent souvent bloqués dans des logiques conventionnelles, peu propices à

l'expérimentation durable. C'est pourquoi elle considère l'engagement de la mairie de Rosny-sous-Bois comme essentiel pour faire évoluer les pratiques architecturales.

En tant qu'architecte, Charlotte Picard adopte une vision holistique de la conception. Elle ne se limite pas à la forme du bâtiment, mais prend également en compte dans sa réflexion l'ensemble des facteurs qui l'ont conduit à cette conception : l'accessibilité, les matériaux, l'intégration dans le paysage et les usages futurs. Sa démarche s'inscrit pleinement dans une perspective écologique tant dans le choix des matériaux que dans la manière dont elle conçoit l'architecture de manière durable, avec une attention particulière à l'impact à long terme de chaque projet. Elle rejette l'idée de "maîtriser" les matériaux, préférant au contraire "faire avec" ce que l'environnement met à disposition. Cette posture critique soulève une interrogation plus large sur la nature même de l'acte architectural. Peu de temps après la livraison du bâtiment, une réflexion menée par un architecte a soulevé les questions suivantes : Faire des tentatives vertueuses suffit-il à faire architecture ? Qu'est-ce qui fonde une forme architecturale digne de ce nom ? Sa valeur esthétique ? Ou bien les contraintes, les efforts, la volonté de faire autrement ?

Ce projet s'inscrit dans une critique de la prédominance de la valeur esthétique qui domine l'architecture contemporaine. Loin de chercher une continuité stylistique, la mairie de Rosny a embauché un architecte différent pour chacun de ses projets, dans une volonté constante de pousser plus loin l'expérimentation en matière d'architecture écologique.

La vision à long terme de Charlotte Picard : « une action bénéfique pour les citoyens aujourd'hui, mais aussi pour demain », lors de la conception d'un bâtiment, est en réel décalage avec la réalité actuelle qui privilégie la démolition dès lors qu'un bâtiment ne correspond plus aux usages (Goldstein, 2017). Dans cette démarche, elle reconnaît que l'architecture écologique est encore mal perçue par une grande partie de la profession. Le secteur de la construction reste largement dominé par des pratiques classiques, où la recherche esthétique prime souvent sur l'intégration écologique. Pourtant, la mairie de Rosny-sous-Bois démontre qu'un autre modèle est possible, en jouant un rôle moteur dans l'évolution des mentalités et des pratiques.

L'écosystème des techniques

Dans la mairie de Rosny-sous-Bois, les architectes travaillent de concert avec les ingénieurs, comme l'explique Charlotte Picard : « Les ingénieurs sont là avec nous dans le bureau », « C'est la meilleure chose à faire parce qu'on a vraiment un rapport direct ». Cette coopération a été renforcée par le fait que, tout au long des différents projets, les ingénieurs sont restés les mêmes, assurant ainsi une continuité technique. Malgré une grande diversité dans l'architecture des bâtiments, l'évolution progressive et cohérente des systèmes de ventilation est clairement visible.

Ici l'écosystème des acteurs est très différent de ce dont on a l'habitude. Les savoir-faire techniques sont tous présents en interne, dans l'administration de la ville. Cette organisation est le résultat d'un choix politique fort. Si, du côté des pouvoirs publics, le but était avant tout de répondre au besoin croissant de scolarisation en construisant de nouvelles écoles

rapidement, la mairie de Rosny-sous-Bois a décidé de constituer sa propre équipe pluridisciplinaire pour mener ces projets. Devant naviguer au milieu des choix politiques, ce positionnement structurel permet d'aborder les projets de manière intégrée, sans dépendre d'acteurs extérieurs. C'est un travail qui ne peut et ne doit pas se faire seul, aussi bien du côté des ingénieurs que des architectes. Le mode de conception collaborative adopté ici est vraiment adapté à la recherche : « On est tous avec le même calendrier, on avance ensemble. » Ce modèle facilite également l'intégration des contraintes techniques dès les premières étapes de la conception. Charlotte Picard témoigne : « Dès que j'avais une idée, que je faisais un croquis, j'avais des collègues qui pouvaient regarder et me dire ce qui allait ou non. Et donc en fait, le fait de travailler en interaction, pour moi, ça n'a pas été pénible du tout de devoir intégrer ces contraintes techniques. »

Le développement de la recherche au sein d'une mairie

Sous l'impulsion de Monsieur Pezrès, auparavant directeur adjoint de la gestion du patrimoine, et de sa vision très novatrice alliant architecture et recherche, le rôle de la fonction publique est perçu d'une autre manière. L'un des objectifs de la mairie est de réaliser une synthèse de toutes les recherches menées au cours de ces dix années de construction, afin de partager les découvertes et bonnes pratiques. C'est une démarche peu commune pour une institution publique, traditionnellement perçue comme éloignée d'un lieu de recherche. Ce travail est rendu possible grâce aux personnes présentes, qui mènent un travail d'intéressement, développent des leviers et assurent la diffusion des connaissances. Comme le souligne Charlotte Picard : « j'espère voir arriver, voire fleurir en France et peut-être au-delà, des bâtiments avec ce système de ventilation. » Grâce à ce travail, des subventions ont pu être obtenues, et un document de synthèse a été rédigé pour formaliser et diffuser les recherches menées.



Illustration 17 : Plan RDC - Mairie de Rosny-sous-Bois



Illustration 18 : Plan +01 - Mairie de Rosny-sous-Bois

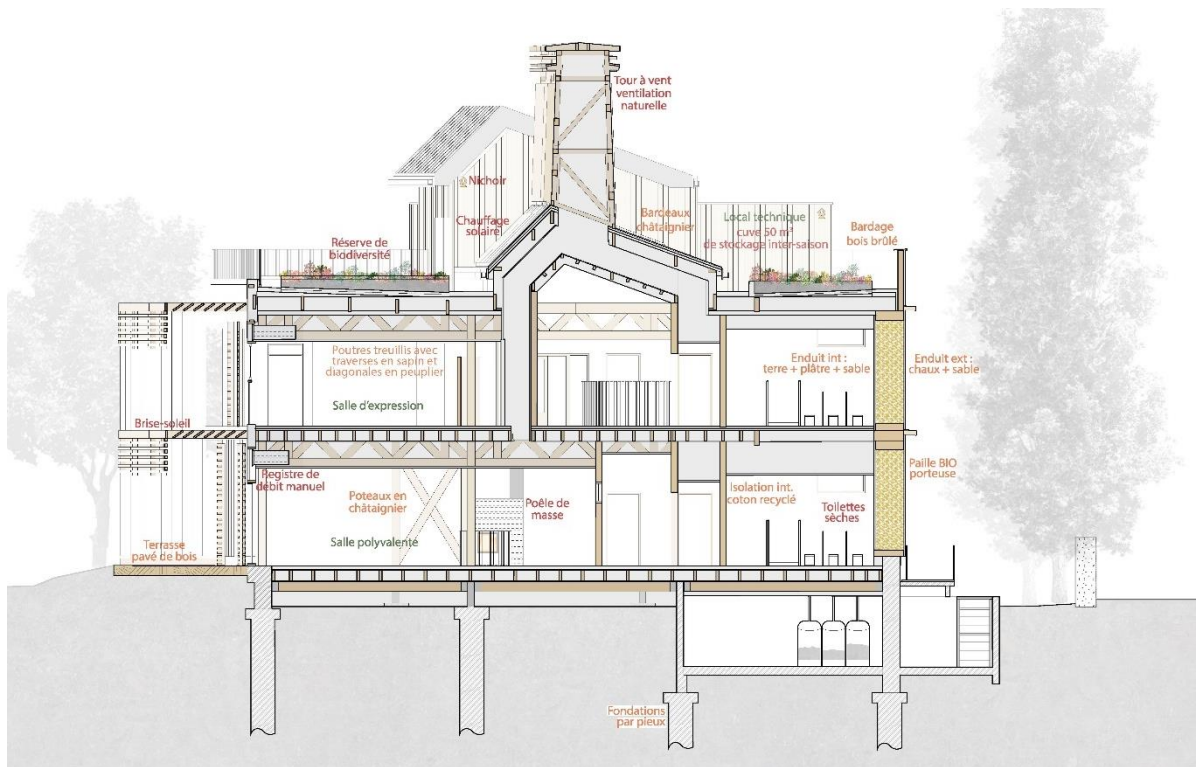


Illustration 19 : Coupe de principe - Mairie de Rosny-sous-Bois

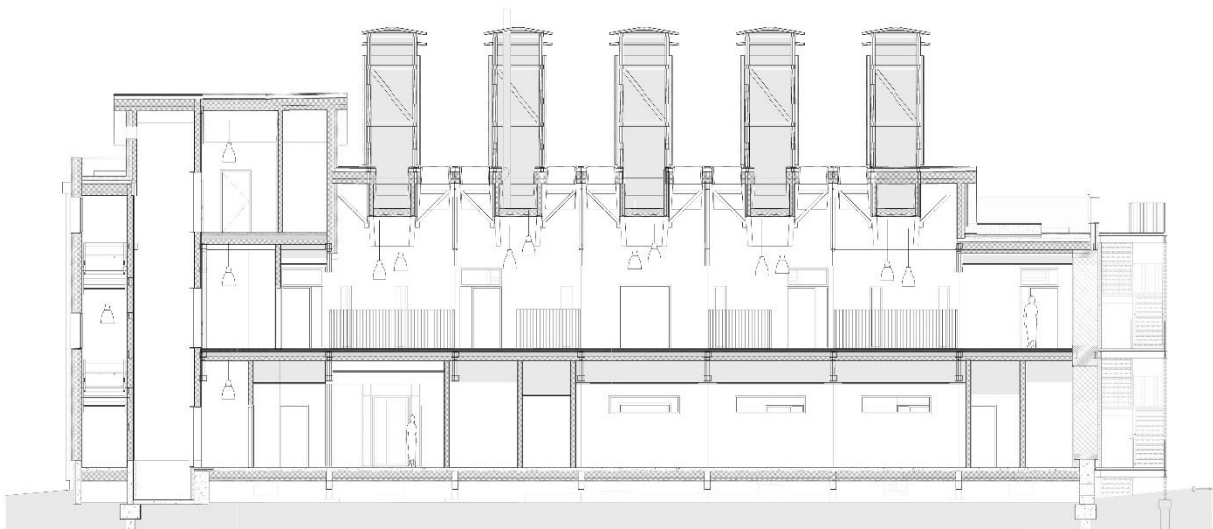


Illustration 20 : Coupe longitudinale - Mairie de Rosny-sous-Bois

Le système de ventilation et sa mise en œuvre

Les échangeurs double-flux

Chaque projet réalisé par la mairie de Rosny-sous-Bois est particulier. La ventilation naturelle est conçue sur mesure pour chaque bâtiment, et elle a évolué en fonction des retours d'expérience et des réflexions menées. Deux réflexions principales ont guidé le choix des techniques de ventilation utilisées :

- La possibilité qu'une machine mécanique tombe en panne ;
- La capacité des équipes d'entretien à assurer les réparations.

En effet, les appareils mécaniques peuvent rencontrer divers problèmes lors des réparations, comme la perte de mots de passe, des connexions dysfonctionnelles, ou encore des composants qui ne sont plus produits en France. Ces problématiques ont conduit à un questionnement sur la viabilité à long terme des systèmes mécaniques. Comme le souligne l'équipe de Rosny : « Construire sans impacter l'environnement aujourd'hui et demain, c'est aussi savoir entretenir les bâtiments que l'on construit ». Si les bâtiments sont trop complexes pour que les équipes puissent les gérer, alors ils ne sont pas viables.

Le système de ventilation a donc évolué de projet en projet. L'école des Boutours 1 était équipée d'une VMC double flux couplé à des puits canadiens, ce qui rendait l'installation très complexe. Pour l'école des Boutours 2, la mairie a souhaité se libérer de cette contrainte technique en développant une ventilation naturelle double flux contrôlable manuellement. Des ingénieurs ont été recrutés spécifiquement pour répondre à cette problématique. Néanmoins, son entretien reste très complexe en raison de sa taille.

Ce travail de ventilation naturelle double flux a vu le jour avec le Centre de loisirs Jacques Chirac, pour lequel la mairie a obtenu des subventions de l'ADEME (Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie) afin de soutenir cette démarche à la fois écologique et fonctionnelle. Une des innovations apportées par la mairie a été le retrait des éléments métalliques du système de ventilation. Ce choix a permis de simplifier la maintenance et de limiter les risques de corrosion. Il est important de noter que certaines prises d'air ont été modifiées en cours de projet, mais les raisons exactes de ce changement restent floues. Cette évolution illustre la flexibilité du projet et sa capacité d'adaptation aux besoins émergents.

Le réseau est divisé en salle individuelle de 60m². Les échangeurs sont intégrés dans le faux plafond, placés directement contre la façade et mesurent 1m sur 1m. L'air entre par les registres extérieurs, puis est canalisé dans un plénum en faux plafond délimité par la partie basse des panneaux rayonnant jusqu'à des grilles de soufflage. L'extraction se fait sur le côté de l'échangeur et l'air refoulé est ramené via un conduit en faux plafond jusqu'à un conduit vertical en fond de classe qui assure le raccordement à la tour à vent. Une tour à vent collecte jusqu'à quatre réseaux d'extraction. L'installation est régulée au moyen de registres qui peuvent neutraliser à la fois le soufflage et l'extraction. Ces registres peuvent être ouverts et fermés manuellement par un levier actionné par les enseignants, en fonction des instructions données par la sonde CO₂ murale. Le débit cible du système, dans des conditions hivernales moyennes sans vent, est de 25 m³/h par personne. L'installation ne garantit toutefois pas un débit constant ; les objectifs sont donc fixés en termes de résultats, notamment en ce qui concerne les concentrations de CO₂.



Illustration 21 : Les échangeurs durant le chantier - Mairie de Rosny-sous-Bois

Le système repose sur cinq tours à vent, bien visibles, qui dépassent de plusieurs mètres du bâtiment. Leur hauteur génère une dépression créant un tirage thermique naturel grâce aux différences de température. L'air circule ainsi sans mécanisme actif, réduisant la consommation énergétique. Ce système de ventilation permet un transfert de chaleur entre l'air vicié et l'air sain, sans mélange des flux, avant insufflation dans les classes ou évacuation vers l'extérieur. L'air neuf (frais) pénètre dans le bâtiment par les grilles des registres situées dans les faux plafonds des classes. Cet air neuf traverse un échangeur à plaques, au contact duquel il est préchauffé avant d'être insufflé (chaud) dans les salles. En parallèle, l'air vicié (chaud) est extrait par le tirage des cheminées, traverse aussi l'échangeur où il transmet ses calories sans se mélanger à l'air entrant grâce à un système de plaques croisées, puis est évacué vers l'extérieur. Cette récupération de chaleur n'est pas spécifique à la ventilation naturelle. Elle reprend les principes utilisés dans la ventilation mécanique, mais a ici été adaptée pour un système sans moteur. À proximité de ces tours, de gros échangeurs à plaques en aluminium assurent un transfert thermique efficace entre l'air sortant et l'air entrant. Cela permet de préchauffer l'air neuf avant sa diffusion dans les espaces intérieurs.



Illustration 22 : Les tours à vent - Mairie de Rosny-sous-Bois

Circulation de l'air

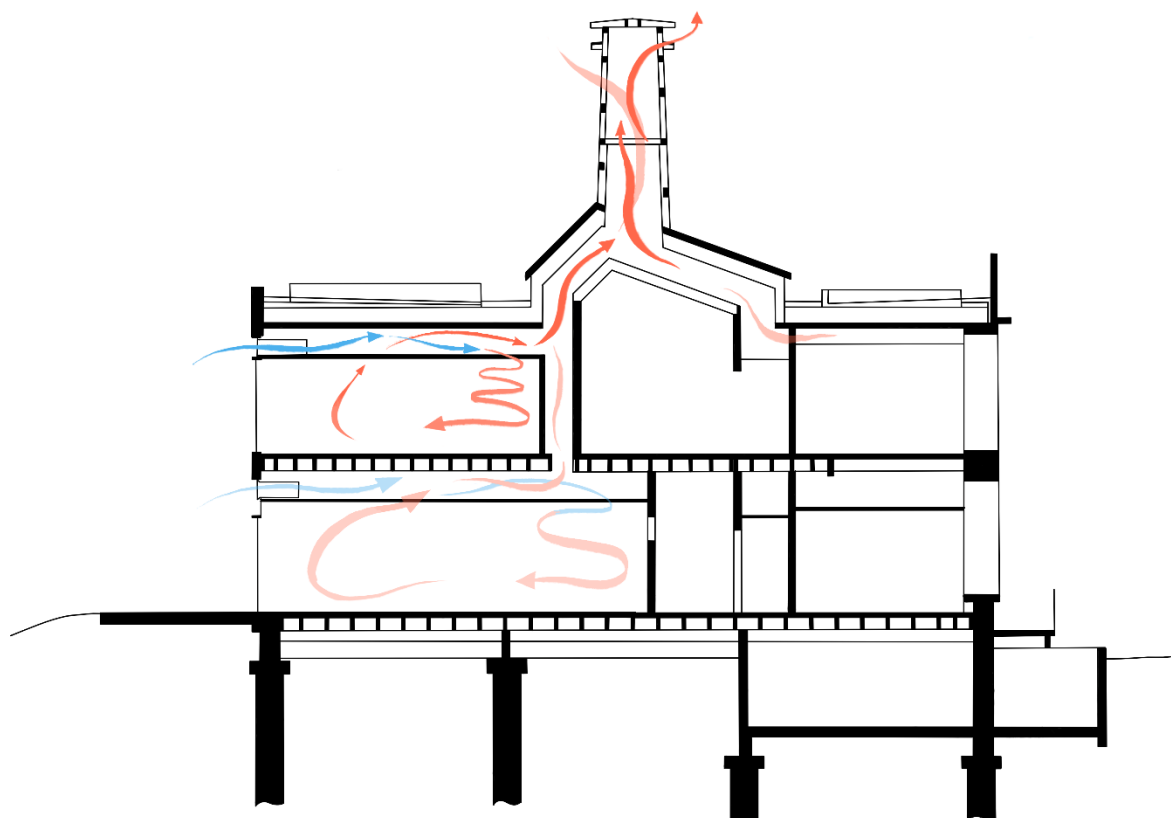


Illustration 23 : La circulation de l'air dans le centre de loisirs Jacques Chirac - Sambre Ehrmann sur base d'une illustration tiré de la mairie de Rosny-sous-Bois

Les impacts sur l'architecture

L'architecture du centre de loisirs Jacques Chirac a été directement influencée par les contraintes techniques liées au système de ventilation naturelle. La conception s'est faite de manière simultanée, grâce à une collaboration entre Charlotte Picard, l'architecte du projet, et les ingénieurs. Ce travail en équipe a permis une optimisation du processus, réduisant les délais d'attente et de réalisation tout en assurant une bonne intégration des équipements dans le projet architectural.

Dans le but de faciliter l'entretien et de limiter les interventions lourdes, l'équipe a choisi d'abandonner les gros échangeurs centraux utilisés dans le projet Boutours 1, au profit d'échangeurs plus petits, répartis dans chaque classe. Cela a permis de simplifier les interventions d'entretien, en évitant de devoir démonter des structures complexes pour accéder aux équipements.

Dans le centre Jacques Chirac, la ventilation est intégrée aux plafonds techniques, qui regroupent dalles, éclairage, panneaux rayonnants (chauffage et préchauffage de l'air) et plénums. Ce système a un impact direct sur les hauteurs sous plafond du bâtiment, car chaque classe possède son propre échangeur. Le système repose sur cinq tours à vent, dont la hauteur et la présence marquent fortement la silhouette du bâtiment. Leur dimension a influencé la volumétrie générale du projet, tout en affirmant visuellement l'identité du centre.

Limites et retours d'expérience

Les limites du projet

Dans le cadre du centre de loisirs Jacques Chirac, certains locaux ne sont pas ventilés naturellement. Il s'agit des sanitaires et de la cuisine du réfectoire. Ce choix a été motivé par les exigences de débits d'air imposées par les normes et par la configuration de ces pièces, de petite taille. Ces espaces sont ventilés avec une ventilation de type C, avec une prise d'air en façade. L'un des problèmes majeurs de ces installations reste leur tendance à tomber en panne, ainsi que le délai nécessaire pour effectuer les réparations. Un autre obstacle rencontré concerne l'encombrement des faux plafonds, le système y occupe beaucoup de place, rendant le calepinage des dalles de luminaires assez délicat à réaliser.

En hiver, le bâtiment entre parfois en conflit avec son mode d'usage. En effet, dans les écoles, les portes restent régulièrement ouvertes, que ce soit durant la journée ou durant l'entretien des équipes de nettoyage, il faut donc accompagner davantage les utilisateurs du bâtiment. Cela ne fonctionne pas bien avec le système étant donné qu'il est construit pour être très compact avec une enveloppe très bien isolée, afin de limiter les besoins énergétiques, tout en assurant un bon confort thermique. Les changements d'habitudes des usagers ont donc un impact direct sur la performance du bâtiment. En effet, l'usager, traditionnellement passif, devient ici acteur de son propre confort. Certaines pièces posent encore des problèmes, car la température y est légèrement inférieure à la moyenne. Des employés de la mairie mènent actuellement une étude pour comprendre et résoudre cette situation.

Retour d'expérience et analyse des performances réelles

En ce qui concerne le retour d'expérience global du bâtiment, celui-ci remplit tous les objectifs vis-à-vis du confort d'été, y compris lors des épisodes de canicule. Pendant le chantier, les enfants ont été impliqués dans le suivi de la construction et ont exprimé leur enthousiasme à l'idée d'intégrer un bâtiment unique, différent de ceux qu'ils connaissaient jusque-là. De manière générale, les retours ont été positifs. Ce qui est le plus fréquemment ressenti par les utilisateurs, c'est le confort thermique en période estivale, bien supérieur à celui des bâtiments scolaires traditionnels.

Une analyse de la concentration en CO₂ a été menée dans plusieurs salles du bâtiment dans le cadre d'un rapport commandé par l'ADEME. Cette analyse, réalisée sur un an entre octobre 2020 et octobre 2021, montre un fonctionnement globalement positif de l'installation. La majorité des salles observées affichent des concentrations de CO₂ très bien maîtrisées, le plus souvent inférieures à 1000 ppm, avec quelques pics ponctuels avoisinant les 1200 ppm. Certaines salles enregistrent toutefois des pointes plus élevées, pouvant atteindre jusqu'à 1700 ppm.



Illustration 24 : L'intérieur du centre - Juan Sepulveda

Toutes les salles du Centre de loisirs Jacques Chirac sont équipées d'un boîtier mesurant le taux de CO₂ dans l'air. Ce dispositif est doté d'un système de voyants lumineux vert, orange et rouge, indiquant en temps réel la qualité de l'air dans la pièce. Tant que le voyant est vert, cela signifie que le taux de CO₂ est conforme aux normes et aucune action n'est requise. En revanche, si ce seuil est dépassé, le voyant change de couleur pour avertir les usagers qu'il est temps d'activer la ventilation. Dans d'autres écoles, un petit moteur automatique pilote l'ouverture et la fermeture des volets du système de ventilation en fonction du taux de CO₂. À l'inverse, le Centre de loisirs Jacques Chirac, le système reste entièrement manuel. Il repose sur un mécanisme de poignées et de câbles, ce qui le rend plus simple et moins susceptible de tomber en panne. L'utilisateur doit actionner lui-même le levier pour enclencher la ventilation. Ce choix d'un dispositif manuel a été fait en toute connaissance de cause. Les architectes ont jugé cette solution adaptée au contexte spécifique du centre. Ils savaient en effet que le personnel encadrant serait formé et accompagné par la mairie, ce qui garantit que cette tâche simple peut être réalisée efficacement, sans risque d'oubli ou de défaillance.

Maintenance et appropriation du bâtiment

Entretien du système

Étant donné la différence de vitesse de l'air et de régularité entre un échangeur naturel et une VMC, des recherches sont en cours afin de déterminer l'impact de la vitesse de l'air sur le dépôt de poussière dans les échangeurs et les conduits. La mairie a réalisé un premier entretien dans l'école Simone Veil dont les boîtes d'échangeurs sont très similaires à celle du centre Jacques Chirac, mais plus facilement démontables grâce à un travail de simplification

de la structure. Les observations ont montré qu'il y avait peu de poussière à l'intérieur, l'ensemble était relativement propre.

Étant donné que les échangeurs de Simone Veil sont en service depuis trois ans, la mairie de Rosny estime qu'il reste encore un peu de temps avant de procéder à l'entretien des échangeurs du centre de loisirs Jacques Chirac, en fonctionnement depuis seulement un an de plus. Pour le reste du dispositif, aucun autre point d'accumulation de poussière n'a été identifié, ce qui confirme que l'entretien reste limité, comme prévu dès la conception.

Un autre point de vigilance concerne les risques de condensation liés aux écarts de température. Afin de pallier toutes les éventualités, un système de récupération des condensats a été intégré à chaque échangeur. Lors du démontage à Simone Veil, aucune trace de condensation n'a été relevée, ce qui constitue un indicateur très positif. Pour ce qui est des gaines, l'équipe chargée de l'entretien n'a relevé aucun élément préoccupant. Cependant, dans le cas du centre de loisirs Jacques Chirac, des résidus de poussière de chantier ont été détectés dans les engrenages des registres. Un léger entretien serait donc nécessaire pour éliminer les frottements et garantir leur bon fonctionnement. La mairie a pour objectif de continuer ces études d'entretien afin de développer un cahier des charges précis.

Formation des utilisateurs

La mairie a pris le temps de former les premiers utilisateurs du bâtiment à son fonctionnement. Les animateurs du centre ont ainsi bénéficié d'une formation pédagogique afin de les aider à s'approprier leur nouvel espace de travail et à enrichir leur projet pédagogique. Toutefois, le renouvellement fréquent du personnel limite l'efficacité de ces formations sur le long terme. L'objectif en 2025 est que chacun des bâtiments dispose de son propre guide de l'utilisateur afin de faciliter le fonctionnement quotidien et de garantir la transmission des consignes, même en cas de changement d'équipe. La mairie prévoit également d'installer de la signalétique fixe, par exemple à proximité des poignées et des capteurs.

3. Cas d'étude, le groupe scolaire Frida Kahlo – Compagnie Architecture



Illustration 25 : Le groupe scolaire Frida Kahlo - Compagnie Architecture

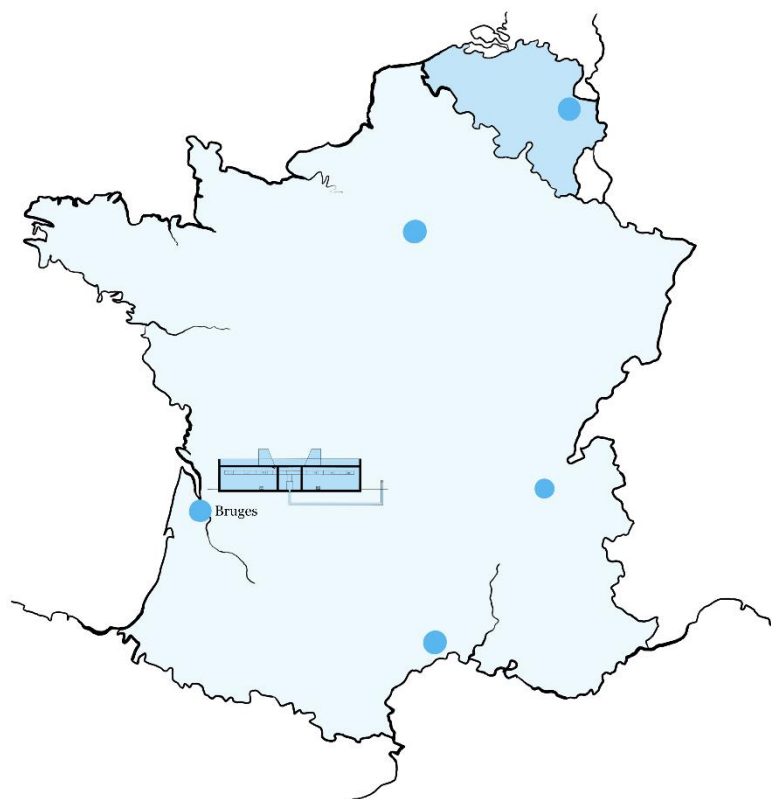


Illustration 26 : Bruges – Sambre Ehrmann

Le contexte

La ville de Bruges

Le groupe scolaire Frida Kahlo a été initié par la Ville de Bruges et Bordeaux Métropole, en co-maîtrise d'ouvrage, avec un budget estimé entre 5 et 15 millions d'euros. La maîtrise d'ouvrage souhaitait un projet innovant, à la fois sur le plan pédagogique et environnemental. Toutefois, la commande initiale était relativement ouverte : aucun programme fonctionnel précis ni demande de surfaces spécifiques. Néanmoins, plusieurs objectifs majeurs étaient fixés :

- Un bâtiment exemplaire et innovant ;
- Un espace favorisant la sociabilité et une réflexion sur les paysages et les circulations ;
- Une approche pédagogique intégrée à l'architecture du projet.

En termes de performances environnementales, le projet devait atteindre le niveau E4C2, soit le plus haut standard du label E+C-, garantissant un bâtiment autonome en énergie et à très faible empreinte carbone lors de sa construction. La nécessité d'agir sur le confort d'été a été un enjeu central exprimé par le commanditaire, avec une exigence forte : maintenir les températures inférieures à 28°C au moins 95 % du temps, intégrant des scénarios climatiques anticipant le réchauffement global, en cohérence avec les projections du GIEC.

Les acteurs choisis

À l'issue du concours, le bureau Compagnie Architecture, bien que sans références en matière de groupe scolaire, a été sélectionné sur la base de son expertise en conception de bâtiments culturels. De son côté, le bureau d'étude fluide et environnement Albert & Co, actif depuis 2005, a été sollicité pour son engagement dans des projets à fortes ambitions environnementales, écologiques et sociales. Pour la réalisation, la ville a opté pour une entreprise générale spécialisée dans la charpente bois.

Le groupe Scolaire Frida Kahlo

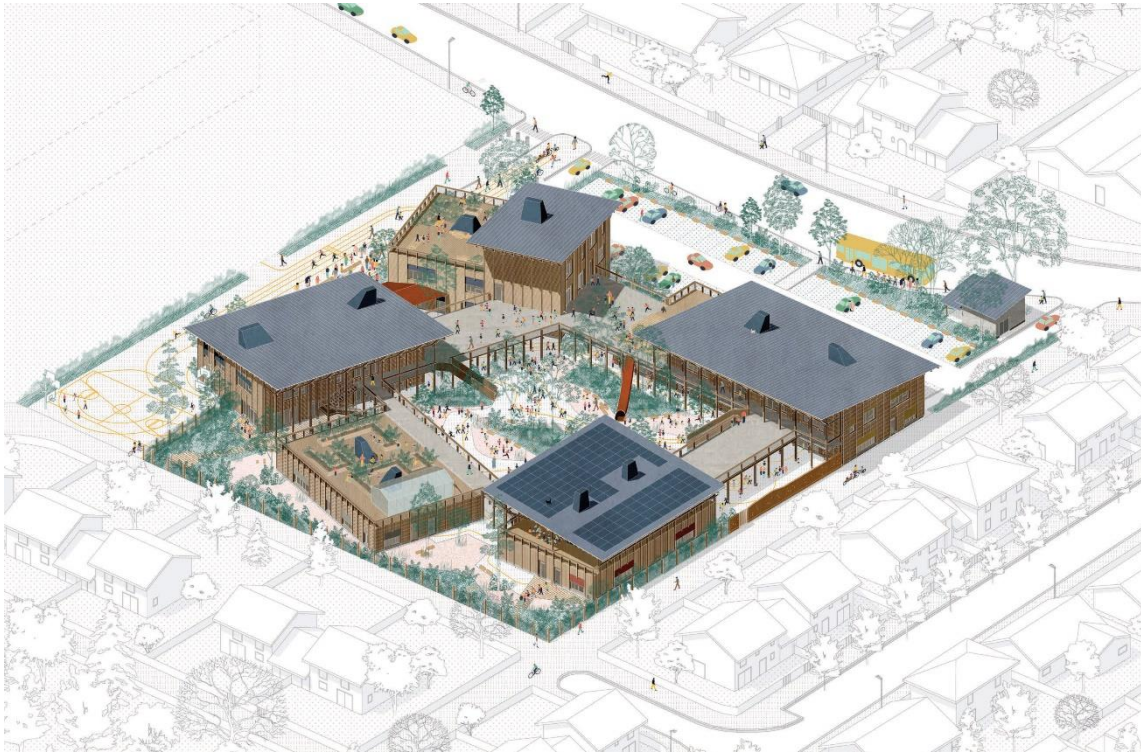


Illustration 27 : Perspective isométrique du groupe scolaire - Compagnie Architecture

Le groupe scolaire Frida Kahlo, conçu par Compagnie Architecture, a été livré en 2022 dans le quartier Ausone, au nord de Bordeaux, pour répondre à la croissance démographique de Bruges. Il s'agit du cinquième groupe scolaire de la ville, implanté sur un terrain vierge, avec une surface de 2 800 m² de bâtiments et 3 000 m² d'espaces extérieurs :

- L'école comprend :
- 6 classes de maternelle ;
- 10 classes élémentaires ;
- Un restaurant scolaire ;
- Un pôle périscolaire.

Si le projet a pu être aussi innovant, c'est grâce à la maîtrise d'ouvrage qui a soutenu une démarche ambitieuse et innovante tant sur le plan pédagogique qu'environnemental. La demande spécifique sur la nécessité d'agir sur le confort d'été a amené Compagnie Architecture à opter pour l'installation de puits canadiens, considérée comme la seule solution pertinente dans ce contexte.

L'organisation du projet s'inspire du modèle de la cabane, avec cinq bâtiments reliés par des coursives extérieures et une cour centrale arborée. Ce choix permet non seulement de réduire les circulations intérieures, choix peu commun dans les bâtiments scolaires, mais qui permet de limiter le nombre d'espaces à chauffer, mais aussi d'intégrer une protection solaire passive grâce aux passerelles et terrasses du premier étage. Les équipements communs sont situés au rez-de-chaussée, tandis que les salles de classe occupent le premier

étage, accessibles par des escaliers extérieurs et même par un toboggan, offrant une expérience ludique aux élèves.

L'architecture du groupe scolaire mise sur une forte interaction avec l'extérieur. Les espaces de circulation sont ouverts et favorisent une immersion dans l'environnement naturel. La cour a été conçue pour avoir un minimum de revêtements imperméables afin de limiter l'impact sur le sol et de favoriser la biodiversité. Les architectes ont dû défendre cette approche auprès des parties prenantes, notamment le fait de faire circuler les élèves à l'extérieur entre les classes et la cantine, ce qui est peu conventionnel et nécessite de nouveaux protocoles d'organisation. L'un des grands enjeux du projet était à la fois de concilier performance thermique et ouverture sur l'extérieur. Ainsi, le bâtiment a été conçu avec des matériaux biosourcés, réduisant son empreinte carbone tout en garantissant une bonne efficacité énergétique.

Les acteurs du projet

Le bureau et ses architectes

Compagnie Architecture est un bureau d'architecture fondé en 2017 par Jules Eymard et Chloé Bodart, installé à Bordeaux. Composée d'une dizaine de personnes, l'agence se distingue par une approche innovante de la maîtrise d'œuvre, axée sur la collaboration, l'expérimentation et le réemploi. L'agence se concentre sur des projets qui favorisent une architecture durable, sensible et humaine, en intégrant des pratiques telles que la ventilation naturelle, la revalorisation des matériaux et l'exploration de solutions alternatives. L'agence cherche à valoriser la dimension humaine des projets. La réutilisation de l'existant, les projets « habités », et le chantier comme un acte culturel, sont au cœur de leur démarche. Ils prennent soin de concevoir des espaces adaptés aux usages réels des habitants, en collaborant avec eux et en impliquant la maîtrise d'ouvrage dans le processus de conception.

Chloé Bodart et Jules Eymard, forts d'une solide expérience, ont tissé des liens solides avec des partenaires et un réseau d'experts dans différents domaines. Leur complémentarité se retrouve dans chaque projet, qu'ils abordent avec une grande rigueur technique, mais aussi avec une forte dimension créative. Leur travail est caractérisé par la recherche de formes expressives, notamment à travers des géométries atypiques inspirées par le toit et une palette de matériaux biosourcés.

L'agence s'intéresse à la réhabilitation, donnant une nouvelle vie aux bâtiments existants en évitant la consommation excessive de ressources et en favorisant les cohabitations d'usages inattendues. Leur approche du design se nourrit de collages, de maquettes à différentes échelles et d'expérimentations pratiques, qui permettent de nourrir et d'affiner l'histoire qu'ils souhaitent raconter à travers chaque projet. L'une de leurs valeurs fondamentales réside dans la participation active des utilisateurs et des acteurs du chantier, transformant le processus de construction en un moment d'échange et de convivialité. Compagnie

Architecture place la collaboration au centre de son approche et implique les habitants dans leur espace afin de construire des bâtiments vivants et pleinement exploités.

Jules Eymard a été diplômé de l'École nationale supérieure d'architecture de Nantes en 2013-2014. Il a travaillé dans plusieurs agences avant de s'associer avec Chloé Bodart en 2018 afin de fonder Compagnie Architecture. Il n'a pas suivi de formation complémentaire spécifique pour se spécialiser dans le cadre de son métier.

Depuis sa création, l'agence défend la ventilation naturelle et essaie d'en mettre dès que cela est possible, c'est leur cheval de bataille. Ils réalisent des études situées, prenant en compte le contexte spécifique du lieu où l'édifice sera construit. Ainsi, pièce par pièce, ils réalisent des tests pour savoir si leur intervention sera possible qu'il s'agisse de systèmes complexes ou juste d'ouverture de fenêtre dans un bureau individuel. Pour eux, le climat doit se ressentir. Ils critiquent le confort moderne tel qu'il est formalisé : « aujourd'hui, on est tous enfermés dans des bâtiments où il fait la même température toute l'année. Pour nous, c'était important de se dire, que finalement, notre climat, il faut aussi le ressentir pour avoir un impact ». Leurs engagements, leurs luttes, s'étendent aussi sur d'autres terrains, car ils militent aussi pour réduire l'utilisation de matière et pour réaliser des projets guidés par le bon sens. Ils recherchent constamment la progression et veulent aller toujours plus loin dans leurs démarches.

Le BET Albert & Compagnie

Conscients de leurs limites sur certains aspects techniques, notamment environnementaux, les architectes de Compagnie Architecture préfèrent s'entourer de bureaux d'études spécialisés. Pour le projet du groupe scolaire Frida Kahlo, ils ont collaboré avec le bureau d'études Albert & Compagnie, avec lequel ils avaient déjà travaillé sur plusieurs projets. Compagnie Architecture travaille régulièrement avec deux ou trois bureaux d'études environnementaux, en fonction des spécificités de chaque opération, chacun apportant une approche et une expertise distincte.



Illustration 28 : Plan RDC - Compagnie Architecture



Illustration 29 : Plan +01 - Compagnie Architecture

Le système de ventilation et sa mise en œuvre

Les puits climatiques

Le système de ventilation simple flux mis en place dans le projet repose sur un principe de puits climatiques, intégrant une insufflation mécanique et une extraction via des tours à vent. Ce dispositif permet d'assurer une ventilation naturelle tout en optimisant les conditions thermiques des espaces, en particulier les salles de classe.

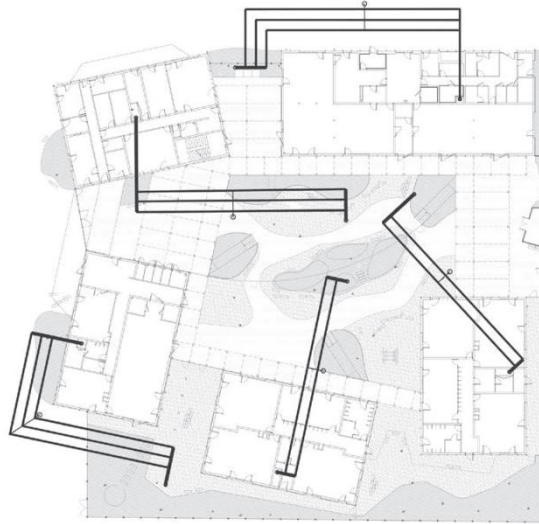


Illustration 30 : Les différents conduits - Compagnie Architecture

Le principe du puits climatique repose sur un réseau de canalisations en fonte, enterré à une profondeur minimale de 2 mètres (mais idéalement entre 2 et 3 mètres), sur une longueur d'au moins 30 mètres. Ces canalisations acheminent l'air neuf dans les salles, en le faisant transiter sous terre. L'air passe ainsi par ce réseau où il échange de l'énergie thermique avec le sol, qui, à cette profondeur, conserve une température relativement stable, autour de 15-20°C, tout au long de l'année. Ce transfert de chaleur permet à l'air de se réchauffer en hiver et de se rafraîchir en été, selon les besoins saisonniers. Il s'agit donc d'un système mixte, efficace tant en période froide qu'en période chaude, grâce à cet échange thermique avec la terre.



Illustration 31 : Le réseau de canalisation - Compagnie Architecture

Au niveau de la prise d'air dans la tête des puits climatiques, un filtre nettoie les bactéries et le pollen. Les tuyaux passent ensuite à 3m sous le sol pendant 30 mètres, puis l'air remonte et est poussé par un petit moteur qui lui donne de la vitesse. Ensuite, l'air est soufflé hors

des tuyaux dans les salles. Des panneaux rayonnants fixés au plafond permettent également de préchauffer l'air. Une fois chargé en CO₂, l'air descend au niveau du sol et est capté par une grille menant à un autre conduit. L'air passe ensuite par les cheminées sur le toit pour ressortir.



Illustration 32 : Une prise d'air - Compagnie architecture

Le principe du puits climatique correspond à un système de géothermie passive. Il fait circuler de l'air venant de l'extérieur dans des canalisations enterrées dans le sol à une profondeur où la température ne varie pas, lequel sera ensuite utilisé pour chauffer en hiver et pour refroidir en été. En fonction de sa nature et de ses caractéristiques, le sol peut retenir plus ou moins de chaleur, qui sera ensuite transmise à l'air envoyé à l'intérieur du bâtiment.

Les installations techniques comptent un système de ventilation par insufflation d'air dans les salles, les prises d'air étant situées à l'extérieur et l'air circulant par des puits climatiques jusqu'à la centrale de traitement. L'absence de climatisation fait partie des critères du projet. Il a également été décidé de laisser les éléments techniques apparents tels que les gaines afin que les usagers comprennent et utilisent facilement les installations. Les prises d'air extérieur peuvent aussi servir de ventilation naturelle : l'objectif étant de combiner le fonctionnement mécanique et le fonctionnement naturel. Si les fenêtres sont fermées, l'air circule sous pression par les puits et s'échappe par les cheminées. Si les fenêtres sont ouvertes, s'échappe à la fois par les fenêtres et les cheminées. Le puits climatique est une technique relativement simple et autonome, la seule intervention de maintenance étant le changement de filtre.

Une simulation thermique dynamique, menée sur 5 à 10 ans, va permettre de vérifier le niveau de confort dans les salles, c'est-à-dire l'hygrométrie, la température... Cette étude est plus simple à réaliser dans le cas d'une ventilation mécanique, car le système est plus encadré et bénéficie d'un retour d'expérience plus conséquent.

Circulation de l'air

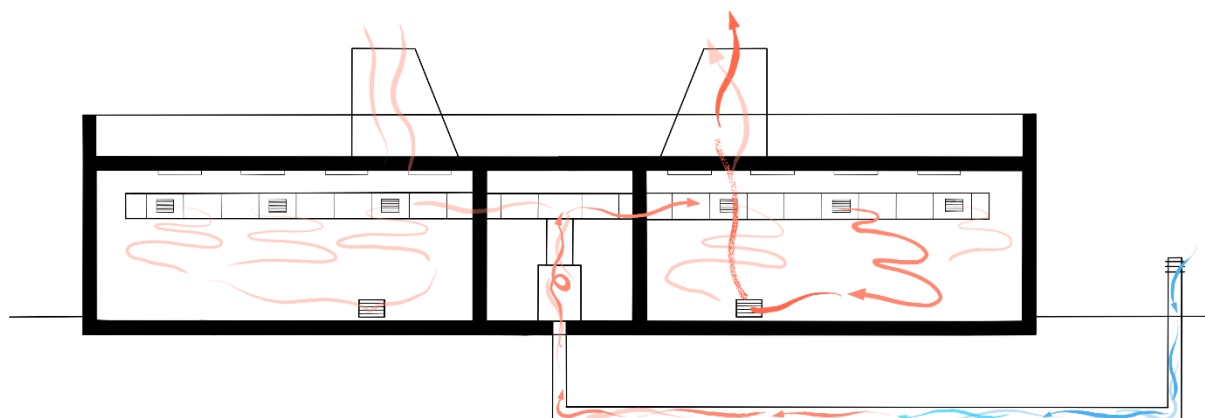


Illustration 33 : La circulation de l'air dans le groupe scolaire Frida Kahlo- Sambre Ehrmann sur base d'une illustration tiré de Compagnie Architecture

Les impacts sur l'architecture

L'intégration de la ventilation naturelle n'a pas modifié l'architecture globale du groupe scolaire Frida Kahlo, Compagnie Architecture ayant déjà une écriture architecturale marquée. L'élément visuel le plus marquant reste les grandes cheminées d'extraction, dont la présence est pleinement assumée. Ces cheminées ont été volontairement surdimensionnées, non seulement pour optimiser la ventilation naturelle, mais également pour répondre à un objectif pédagogique. Cette démarche constitue une innovation pédagogique dans la mesure où elle vise à permettre aux élèves de comprendre le fonctionnement de leur école en observant directement les principes de circulation de l'air et les effets du renouvellement naturel sur leur environnement intérieur.

Limites et retours d'expérience

Les limites du projet

Le principal défi du système de puits climatique est sa capacité à fonctionner de manière optimale lors des épisodes climatiques extrêmes, particulièrement en été. À Bordeaux, où les températures atteignent 40°C pendant plusieurs semaines lors des vagues de chaleur, l'enjeu est de maintenir une température de confort dans les salles de classe. L'air entrant dans le puits n'atteint pas les 40°C de la température extérieure, même si l'effet ressenti en plein soleil peut induire une sensation de chaleur intense. L'air capté dans le système est généralement aux alentours de 35°C, et après son passage sous terre et son cheminement dans le réseau de canalisations, il parvient à une température de 25°C, soit une réduction de 10 à 12°C. Ainsi, malgré des températures extérieures extrêmes, le système permet de maintenir des conditions optimales dans les salles de classe, avec une température d'air insufflé avoisinant les 28°C. Les calculs et simulations thermodynamiques menés en amont ont permis de valider cette performance, toutefois, l'un des enjeux majeurs a été de convaincre la maîtrise d'ouvrage de l'efficacité de ce système sur la base de ces simulations.

Le second défi majeur concerne la période hivernale, notamment lorsque les températures extérieures descendent à des valeurs proches de -2°C ou -3°C . Bien que de telles températures soient rares à Bordeaux, elles peuvent néanmoins survenir. Dans ce cas, l'air entrant dans le système est proche de 0°C . Cependant, grâce à l'échange thermique avec le sol, l'air insufflé dans les salles de classe atteint une température d'environ 10 à 12°C , ce qui permet d'éviter toute sensation de froid. Le défi ici réside dans la nécessité de convaincre la maîtrise d'ouvrage que le système assurera un confort thermique, même en période de froid intense.

La maîtrise d'ouvrage a eu des doutes sur le système de ventilation pour le confort d'hiver. Malgré les exigences de leur demande, elle craignait que les enfants aient froid lorsque les températures descendent à -3°C . Pour les rassurer, Compagnie Architecture a proposé un compromis avec la maîtrise d'ouvrage. L'idée était de prévenir du risque, prévoir un emplacement à proximité de l'insufflateur pour placer une batterie chaude ou froide selon le besoin. Après trois ans de retour d'expérience, aucune batterie n'a été installée. L'air est insufflé au-dessus des panneaux rayonnants, il arrive à environ 13°C et il est ensuite réchauffé, atteignant 18 à 20°C au moment où il arrive au contact des élèves. Il n'y a donc aucune sensation de froid.

Retour d'expérience et analyse des performances réelles

Le projet a fait l'objet d'un suivi des consommations énergétiques et du confort d'usage, effectué particulièrement l'année dernière. Ce suivi a permis de mener une enquête post-occupation, avec un retour d'expérience sur l'utilisation du bâtiment après sa livraison. Des visites ont été réalisées un an et deux ans après la livraison, impliquant à la fois le personnel périscolaire et scolaire, notamment dans les locaux partagés par ces deux entités. Ce suivi a permis de vérifier si le projet répondait bien aux objectifs initiaux, notamment en matière de partage des espaces et de confort d'usage.

Dans le cadre de ce suivi, une conférence a été organisée, en collaboration avec un bureau d'études, à Marseille, pour aborder la question du confort d'été sans recourir à la climatisation active. Ce sujet a fait l'objet de discussions et de retours sur la manière dont le bâtiment répond aux conditions climatiques estivales. Malgré la prise de risque étant donné les différences possibles entre les STD (Simulation Thermique Dynamique), les calculs parfois empiriques, les études et la réalité du terrain, les résultats de l'enquête furent une surprise très agréable étant donné qu'au cours de l'année, aucune température supérieure à 28°C n'a été enregistrée. Ceci confirme l'efficacité du système thermique et la conception bioclimatique du bâtiment.

Compagnie Architecture souhaitait intégrer le moins de technologie possible dans le bâtiment. Ils ont donc choisi de déroger au label et de ne pas installer de détecteurs de présence ou de CO_2 . Ce choix a été conforté à la suite des problèmes que peuvent parfois causer ces dispositifs qui, au bout de trois ans, provoquent souvent des problèmes dans le fonctionnement de la ventilation. Le système fonctionne en continu et est laissé en autonomie. Les débits varient en fonction de programmes horaires préenregistrés. Ce choix

est dû au parti pris de construire un système low-Tech. Les utilisateurs peuvent éventuellement modifier les orientations de grilles, bien que cette manipulation reste relativement complexe. À noter que les cheminées peuvent fonctionner en ventilation naturelle, atteignant un débit pouvant aller jusqu'à 700 m³/h.

Maintenance et appropriation du bâtiment

Entretien du système

L'entretien du système de ventilation naturelle du groupe scolaire Frida Kahlo est pris en charge par Bordeaux Métropole. Conçu pour être simple et peu contraignant, ce système nécessite peu d'interventions. L'entretien principal concerne la purge des réseaux en fonte, pour évacuer la condensation qui peut se former en raison des variations de température de l'air (de 0 à 10°C). Pour éviter toute accumulation d'humidité, les conduits ont été installés avec une pente de 1% et équipés de récupérateurs de condensats. Cette opération ne prend que dix minutes et doit être effectuée une fois par an.

La question de la moisissure a été anticipée dès la conception. Les puits climatiques sont réalisés en fonte ductile avec un revêtement intérieur spécifique pour limiter l'accumulation d'humidité. Les filtres des prises d'air doivent être remplacés une à deux fois par an et il est nécessaire d'effectuer un hydrocurage tous les dix ans, selon les conditions d'usage du bâtiment.

Formation des utilisateurs

Durant les six premiers mois, Compagnie Architecture est venue tous les quinze jours afin de réaliser des relevés. À chaque visite, l'équipe en profitait pour expliquer aux utilisateurs le fonctionnement du bâtiment, les habitudes à adopter et les bons gestes à mettre en place. En plus de cela, le bureau a réalisé quatre carnets de chantier à disposition des usagers afin qu'ils puissent mieux connaître leur bâtiment.

4. Cas d'étude, l'Espace Novateur en milieu Rural – Landfabrik



Illustration 34 : L'espace Novateur - Florent Michel

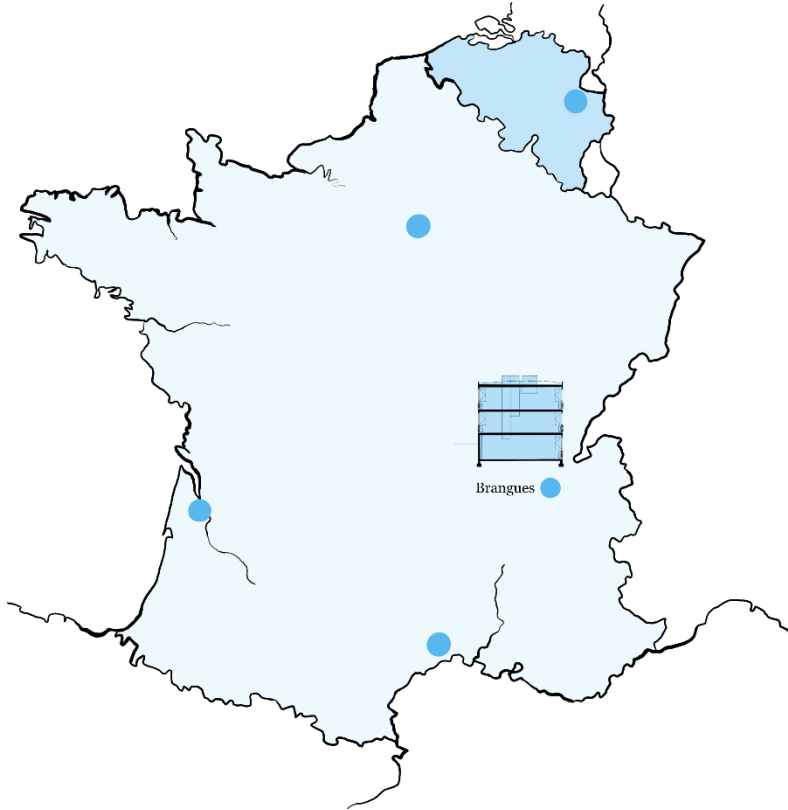


Illustration 35 : Brangues – Sambre Ehrmann

Le contexte

La ville de Brangues

Le projet se situe à Brangues, une commune du département de l'Isère, à 75km de Lyon. Partant du constat que les équipements existants de la ville n'étaient plus adaptés en termes de localisation, d'accessibilité et de confort d'usage, la ville a décidé de construire une nouvelle école qui répondrait à ces critères. Un concours a été lancé à cette fin en 2015.

La localisation se situe sur un coteau en contrebas de la place Paul Claudel, un dénivelé de six mètres. Le programme comprend également une réflexion sur les espaces publics en lien avec le projet. Le concours portait sur la réalisation de trois salles de classe, d'une salle de repos, d'une salle de motricité, ainsi que d'une médiathèque et d'une ludothèque.

Face aux défis sociaux et environnementaux actuels, la commune de Brangues s'inscrit dans une démarche de résilience et de solidarité. En misant sur la gouvernance partagée et l'implication citoyenne, elle développe des projets ancrés dans les réalités écologiques et sociales du territoire. C'est dans cette dynamique qu'est né l'Espace Novateur en Milieu Rural, un bâtiment pensé pour allier sobriété budgétaire, durabilité et intelligence collective.

L'Espace Novateur Polyvalent

L'Espace Novateur de Brangues est un bâtiment public multifonctionnel conçu pour favoriser les usages partagés et créer des opportunités de rencontres et d'animations au cœur de la commune. Implanté au pied d'un coteau, le bâtiment en R+2 s'intègre à la topographie du site. Le rez-de-chaussée accueille la médiathèque et la ludothèque, qui font également office de cybercafé, accessibles au public en dehors des horaires scolaires.

L'école élémentaire occupe le premier étage, avec un accès direct sur une cour et un jardin en pente. L'école maternelle, située au deuxième étage, est reliée à sa propre cour par une passerelle en bois qui surplombe l'ensemble. Le dénivelé naturel du terrain permet ainsi des accès indépendants à chaque niveau et à chaque fonction. Le budget limité de la commune n'a pas permis de réaménager les abords du bâtiment. Toutefois, les deux cours, le jardin public et la toiture végétalisée contribuent ensemble à offrir des espaces extérieurs fonctionnels tout en renforçant la présence de la biodiversité sur le site.¹⁰

La commune de Brangues s'est engagée dans un projet de construction loin des standards habituels. Avec un budget limité, propre aux petites communes, le défi était de concevoir un bâtiment à faible impact environnemental tout en maîtrisant les coûts. La maîtrise d'ouvrage était déjà familière avec les constructions en pisé et elle n'a pas eu besoin d'être convaincue de la pertinence de cette approche. En effet, à Brangues comme dans l'ensemble de la région Auvergne Rhône-Alpes, le pisé fait partie intégrante du patrimoine local : près de 80 % des

¹⁰ <https://topophile.net/faire/brangues-un-espace-novateur-en-milieu-rural/>

bâtiments construits avant 1947 sont en pisé. À Brangues on retrouve des maisons dites « dauphinoises » qui sont typiques du patrimoine local. Elles se distinguent par des murs épais en pisé avec un toit à quatre pans couverts de tuiles écailles (Commune de Brangues, s. d.). Ce contexte a grandement facilité les discussions autour des techniques constructives avec la maîtrise d'ouvrage.

Le bâtiment possède une structure centrale en béton brut, qui assure à la fois la stabilité du volume par contreventement et la distribution des circulations. Ce choix de béton laissé brut, sans peinture, ni finition, s'inscrit dans une logique d'économie de matériaux et de main-d'œuvre, réduisant ainsi les coûts liés aux lots de finition tels que la peinture, les cloisonnements, et les parements intérieurs. Si des matériaux comme la botte de paille, le pisé ou les enduits en terre sont souvent jugés coûteux, les stratégies d'optimisation ont permis de rendre ces solutions accessibles en se basant sur une logique d'innovation par le retrait : moins de couches, de matériaux et de transformations. Les murs sont conçus pour être simples : un matériau porteur, un isolant naturel, une finition. Le mur en pisé remplit à la fois les fonctions de structure, de paroi extérieure et de finition intérieure. Plus besoin de bardage ou de peinture.

Chaque façade a été conçue en fonction de son orientation. La façade sud est en pisé non isolé, afin de tirer parti de ses propriétés thermiques et hygrométriques. À l'intérieur, les murs en bottes de paille sont enduits de terre, ce qui permet une bonne inertie thermique, un confort hygrométrique naturel, et une sensation agréable au toucher. Dans une continuité de sobriété énergétique, le système de chauffage fonctionne par une chaufferie à bois plaquette. Plutôt que de recourir à des granulés, nécessitant des procédés industriels énergivores, la commune a opté pour une ressource locale issue de l'entretien des haies et des élagages municipaux. Ce choix renforce l'indépendance énergétique du bâtiment, tout en compensant les pertes thermiques liées à la ventilation naturelle simple flux.¹¹

Les acteurs du projet

Le bureau et ses architectes

Benoît Rougelot, architecte de formation, a commencé ses études à l'École d'Architecture de Nantes avant d'obtenir son diplôme à celle de Bordeaux. En 2000, il est parti en Erasmus en Norvège, où il a découvert la construction en bois et la notion d'« empreinte écologique », déjà bien intégrée dans les pratiques scandinaves de l'époque, contrairement à la France, où ce sujet restait encore marginal. En parallèle de ses études, il a travaillé en agence, ce qui lui permit de développer une solide expertise dans la conception de projets en bois. Dès 2005, il se lance dans la construction en paille. À une époque où les règles professionnelles n'existaient pas encore, certains osaient déjà s'affranchir du cadre réglementaire et prendre des risques non conventionnels, comme le rappelle Benoît Rougelot : « Et pourtant, il y avait déjà des gens qui osaient. On n'est pas les premiers à avoir construit en bottes de paille. Mais

¹¹ <https://commune-brangues.fr/patrimoine-bati/>

ça nous a aussi confortés qu'on pouvait faire des choses qui n'étaient pas forcément conventionnelles pour construire ». En 2015, il valide officiellement ses compétences grâce à la formation Pro-Paille, étant donné qu'il avait déjà construit plusieurs bâtiments en paille qui étaient conformes aux exigences en vigueur.

Engagé de longue date dans l'écoconstruction, il se forme régulièrement à des techniques telles que le réemploi des matériaux, la construction en terre crue ou d'autres pratiques durables. Pour lui, la formation continue est essentielle à la pratique de l'architecture. Précurseur en matière d'approche environnementale, Benoît Rougelot s'intéresse aux questions écologiques bien avant qu'elles ne deviennent centrales dans le débat architectural français, notamment avec l'arrivée de la RE2020. Alors que la question environnementale était encore peu présente dans les écrits sur l'architecture et dans les bureaux au début des années 2000 (Mosconi, 2018), il intègre déjà ces préoccupations dans sa pratique quotidienne.

En parallèle de son activité, Benoît Rougelot enseigne l'architecture à l'ENSA Paris La Villette. L'enseignement lui permet de rester informé des évolutions du secteur tout en transmettant ses connaissances, car il considère que former les autres, c'est aussi continuer à se former soi-même. Très impliqué dans plusieurs associations, il participe activement aux travaux du Réseau Français de la Construction en Paille (RFCP) et de la Confédération de la Terre Crue. Il contribue à la rédaction de règles professionnelles et de guides de bonnes pratiques, ce travail collaboratif constitue à ses yeux une forme de formation continue, car il permet d'échanger des connaissances et de faire évoluer les normes en lien avec l'architecture durable. Il intervient également sur des chantiers participatifs, véritables lieux d'apprentissage collectif et expérientiel, en dehors des cadres institutionnels. Benoît Rougelot est très impliqué dans la diffusion de pratiques durables et son travail de sensibilisation témoigne de sa volonté de faire évoluer l'architecture vers des modèles plus sobres et responsables.

En 2005, Benoît Rougelot fonde une agence d'architecture et de paysage avec Didier Chéneau, un collègue rencontré à l'ENSA Bordeaux. Tout en conservant chacun leur statut d'indépendant, ils décident de collaborer sur des marchés publics et des concours restreints rémunérés. En 2010, Gilles Ringuez les rejoint et ensemble, ils fondent la SARL Landfabrik. Malgré de nombreuses participations à des concours non couronnées de succès, l'agence a su maintenir sa dynamique, aboutissant à la commande d'un premier projet en Isère. À ce moment-là, l'équipe s'est interrogée sur la viabilité de son activité, allant jusqu'à envisager l'arrêt après cette réalisation, faute de clients, de financements ou en raison des nombreuses difficultés du métier.

Sans se reposer sur ce qu'ils avaient appris au début, ils ont continué à se former « je pense que c'est très bien de se former constamment en tant qu'architecte » et ont assumé le choix de sortir des sentiers battus « on a compris qu'on pouvait faire des trucs un peu en dehors des clous, en dehors de la réglementation ». Cette remise en question les a conduits à explorer des solutions constructives à faible impact environnemental. Leur réflexion

s'oriente vers des pratiques durables : construction en paille, chauffage au poêle à bois, gestion écologique de l'eau par phytoépuration, récupération des eaux grises et mise en place de toilettes sèches.

Landfabrik est une agence d'architecture et de paysage, qui place l'environnement et l'interaction avec le territoire au cœur de sa démarche. Elle défend une architecture accessible, inclusive et fondée sur la co-construction, les chantiers participatifs et la gestion partagée. Son approche combine innovation, frugalité et sobriété, en s'appuyant sur des matériaux biosourcés locaux et des technologies low-Tech. Inscrite dans une perspective post-carbone, l'agence vise à anticiper un futur où la production locale et l'économie circulaire seront essentielles. Portés par leur engagement au sujet de l'urgence climatique, leurs systèmes s'inspirent de l'écologie naturelle et sont conçus pour répondre aux enjeux des commandes publiques.

La collaboration avec SWITCH

La collaboration entre Landfabrik et SWITCH repose avant tout sur une rencontre entre un bureau d'architecture et des ingénieurs passionnés. Après avoir tenté ensemble de nombreux concours, les deux équipes travaillent désormais régulièrement côte à côte. Leur entente et leur proximité, fruit d'une relation de confiance construite progressivement, facilitent les échanges : de nombreux problèmes sont résolus rapidement par téléphone, et les rencontres en présentiel restent simples à organiser. Grâce à leur collaboration régulière, Landfabrik anticipe dès la conception les besoins techniques en pré-dimensionnant, par exemple les gaines, afin de fluidifier le dialogue avec Switch. Cette dynamique commune leur a permis de renforcer leur expertise collective. Plus largement, Landfabrik s'entoure de nombreux professionnels pour enrichir ses projets. À Grenoble, par exemple, ils ont collaboré avec un permaculteur pour intégrer des toilettes sèches dans leur projet.

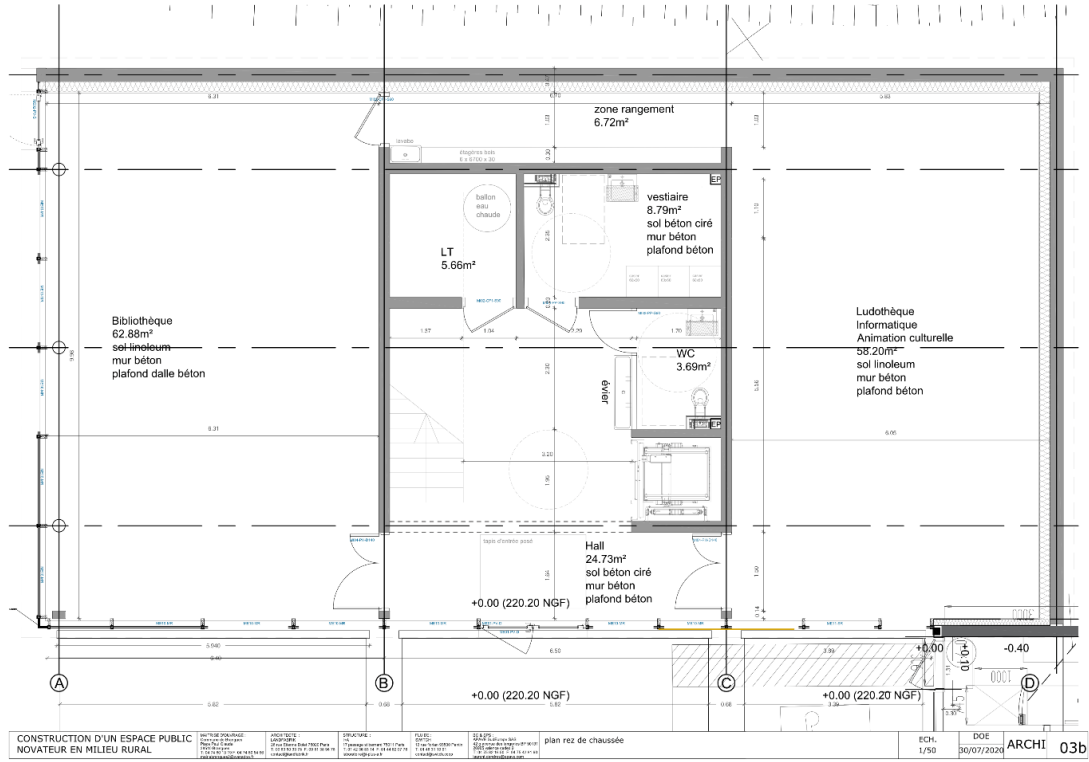


Illustration 36 : Plan RDC – Landfabrik

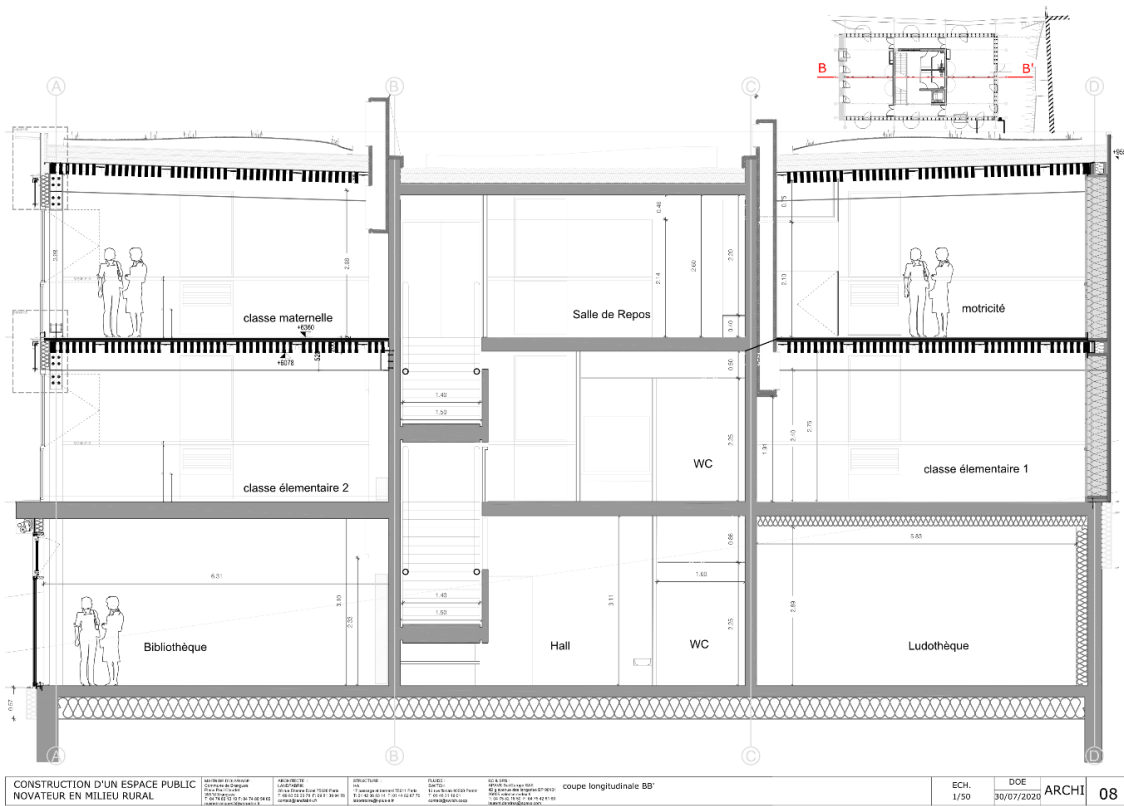


Illustration 37 : Coupe BB' – Landfabrik

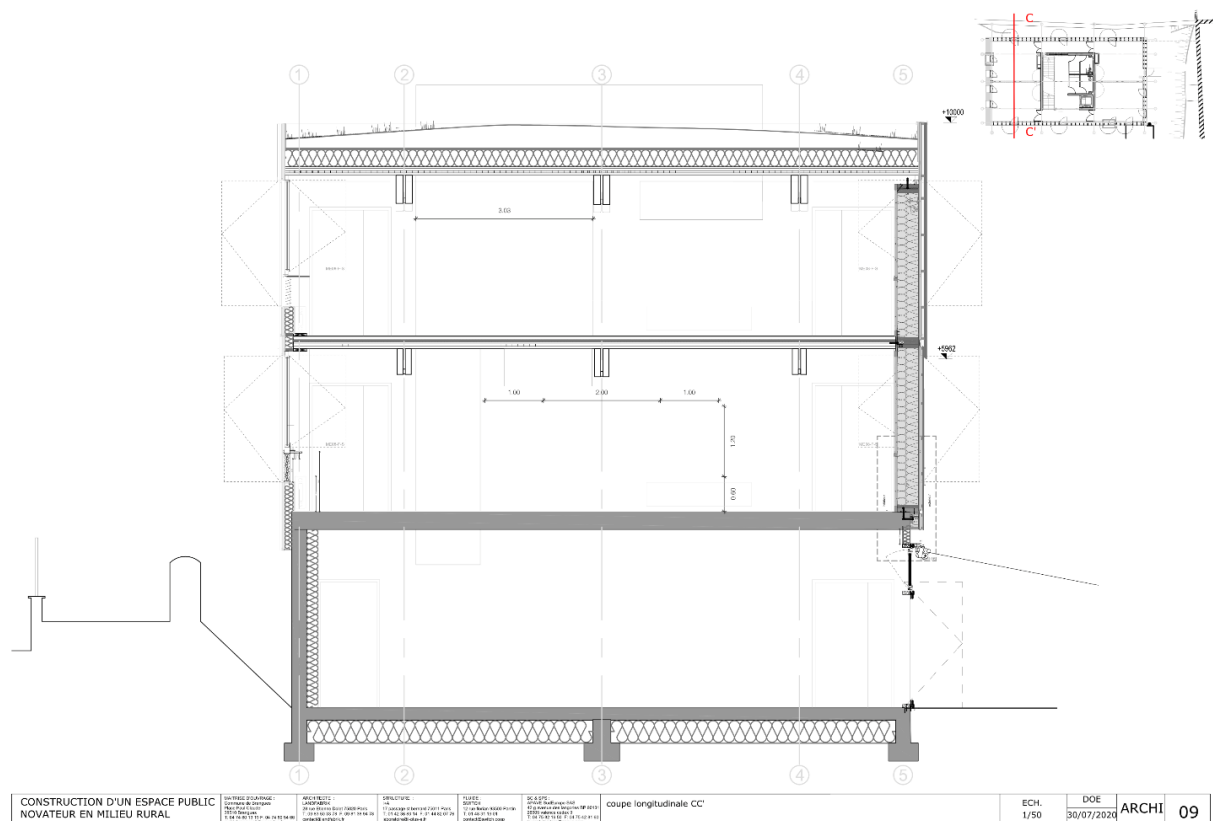


Illustration 38 : Coupe CC' - Landfabrik

Le système de ventilation et sa mise en œuvre

Les grilles simple flux

Le projet intègre un système de ventilation naturelle simple flux, développé en partenariat avec le bureau d'étude SWITCH. Ce choix a été retenu pour des raisons à la fois budgétaires et techniques tout en restant cohérent avec la démarche environnementale du projet. La faible hauteur sous plafond ne permettait pas l'installation du système de ventilation double flux développé par SWITCH, et l'équipe souhaitait éviter la complexité ainsi que le coût lié à un réseau de gaines techniques important.

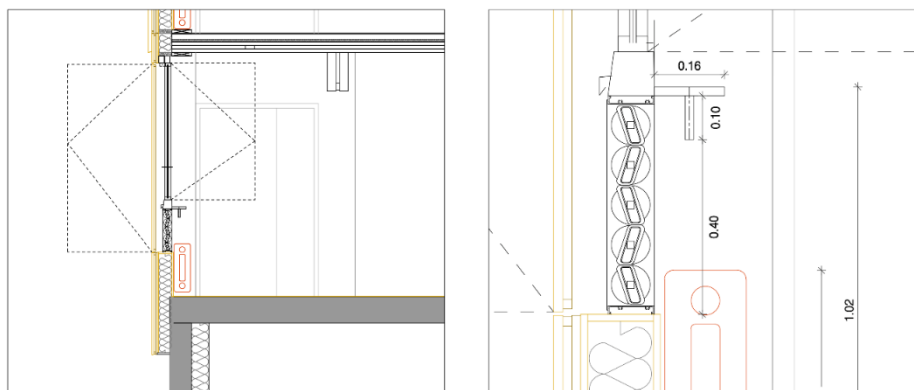


Illustration 39 : Détails des fenêtres - Landfabrik

Landfabrik lors de la conception a directement pris en compte l'intégration technique du système afin de faciliter les dialogues et l'installation. L'air neuf pénètre dans les salles par des entrées situées sous les fenêtres, juste au-dessus des radiateurs. Afin d'éviter les courants d'air froid en hiver, un déflecteur a été intégré : il permet à l'air de se réchauffer légèrement avant sa diffusion dans la pièce. Après avoir ventilé la pièce, l'air chaud vicié est ensuite évacué naturellement par des cheminées de ventilation en partie haute, assurant un renouvellement constant de l'air intérieur.



Illustration 40 : Les grilles de ventilation - Florent Michel

Dès la conception, l'ensemble du projet a été pensé dans une logique de bon sens : « On peut justifier de perdre quelques calories dans la ventilation si cela nous évite des équipements coûteux et énergivores ». Cette approche est d'autant plus justifiée au niveau local étant donné que la commune produit elle-même sa biomasse, ce qui rend cette légère perte d'énergie acceptable dans l'équation globale du bâtiment.

La ventilation est régulée par des capteurs de CO₂, qui permettent d'ajuster la qualité de l'air en fonction des besoins. Un système de voyants lumineux (vert, orange et rouge) guide ainsi les usagers en temps réel. Lorsque la qualité de l'air se dégrade, le voyant passe à l'orange, indiquant aux enseignants qu'ils doivent actionner l'ouverture des registres en appuyant sur un simple bouton. L'air frais pénètre alors dans la pièce par les ouvertures prévues à cet effet.

Le local des sanitaires a fait l'objet d'un traitement spécifique. Il est conçu comme un bloc indépendant, et dispose de sa propre ventilation mécanique. Les sanitaires sont répartis verticalement, alignés sur les différents niveaux pour simplifier et optimiser le réseau de gaines techniques. Pour les sanitaires des maternelles, situés au dernier étage, une approche particulière a été adoptée. Ces espaces sont ouverts sur une grande salle d'activité, séparés uniquement par un muret. La salle d'activité fait également office de préau en cas d'intempéries, devenant un espace où les enfants courent et jouent, générant ainsi une activité physique plus intense et une production de CO₂ plus élevée.

Pour répondre à ces besoins spécifiques, un système hybride a été mis en place, combinant une ventilation mécanique continue et une ventilation naturelle réglable. Ce dispositif permet d'ajuster le renouvellement d'air en fonction de l'occupation et de l'intensité d'activité, garantissant ainsi un environnement sain et confortable pour les enfants.

Circulation de l'air

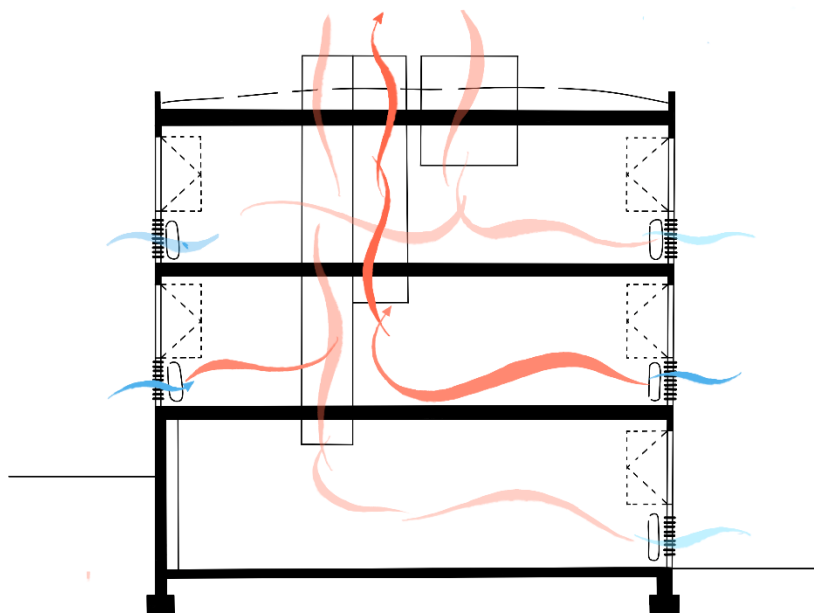


Illustration 41 : La circulation de l'air dans l'Espace Novateur Polyvalent- Sambre Ehrmann sur base d'une illustration tiré de Landfabrik

Les impacts sur l'architecture

La ventilation naturelle a été intégrée dès la conception du projet, minimisant ainsi son impact sur l'architecture du bâtiment. Ce dernier repose sur un plan simple, structuré autour d'un noyau en béton assurant la stabilité sismique, accueillant les circulations verticales et contribuant à l'inertie thermique intérieure. Les gaines de ventilation ont été anticipées avec l'ingénieur dès les premières phases du projet, ce qui a permis d'éviter toute modification en cours de chantier. Chaque salle de classe dispose de son propre conduit de ventilation, positionné le long du noyau en béton afin d'optimiser l'organisation des réseaux.

Les sanitaires, superposés sur plusieurs niveaux, permettent de regrouper les gaines techniques et d'éviter leur passage dans les planchers bois ou à travers l'isolation en bottes de paille. Certaines gaines traversent les trémies intégrées aux planchers bois, une contrainte prévue dès la conception pour assurer une mise en œuvre efficace et cohérente.

Limites et retours d'expérience

Les limites du projet

Lors de la mise en service du système de ventilation naturelle, un dysfonctionnement technique est apparu au démarrage du système. Deux registres de marques différentes

étaient équipés chacun d'un servomoteur distinct fonctionnaient de manière distincte : les entrées d'air étaient équipées de registres de la marque Duco, tandis que les gaines d'extraction provenaient de la marque Trox.

Le problème principal provenait de l'un des moteurs, qui ne transmettait pas de signal de fin de course à l'automate chargé de piloter l'ouverture et la fermeture des registres en fonction du taux de CO₂. Le logiciel censé coordonner l'ensemble du système rencontrait des dysfonctionnements, ne parvenant pas à envoyer les bons signaux à chaque moteur : il envoyait un signal sans savoir où le servomoteur avait arrêté sa course. En conséquence, les registres ne s'ouvraient pas de manière coordonnée : parfois l'un s'ouvrait pendant que l'autre se fermait, rendant le système incohérent et difficile à comprendre pour les enseignants. L'électricien en charge du système a pris le temps d'analyser le problème pour identifier la cause du dysfonctionnement et apporter une solution. Comme il n'était pas possible de remplacer les moteurs, une solution a été trouvée en passant l'ensemble du dispositif en manuel. Désormais, un voyant lumineux informe en temps réel du taux de CO₂ dans la pièce. Lorsqu'une aération est nécessaire, un simple bouton permet aux enseignants d'activer manuellement l'ouverture des registres.

Retour d'expérience et analyse des performances réelles

Aucune enquête n'a été réalisée après la livraison du bâtiment en dehors des tests pour le CO₂.

Dans le cadre des problèmes d'ouvertures de registres, Mathieu le Bourhis et Benoît Rougelot ont procédé à des mesures de CO₂. Des tests ont été menés en soufflant directement du CO₂ sur les capteurs afin de vérifier leur réactivité et leur bon fonctionnement. L'ensemble des essais s'est déroulé sans incident. Le capteur de CO₂ intégré aux salles de classe permet un suivi constant de la qualité de l'air. Ce dispositif agit comme un contrôle continu, indiquant si la ventilation est suffisante. Tant que l'indicateur ne passe pas à l'orange, cela signifie que le taux de CO₂ reste en dessous du seuil critique de 1 500 ppm, garantissant ainsi un air sain pour les occupants.

Maintenance et appropriation du bâtiment

Entretien du système

Aucun retour négatif n'a été signalé concernant le fonctionnement global du bâtiment. Cependant, une légère altération a été observée au niveau du pisé. Un suivi annuel est réalisé afin de surveiller l'évolution de la situation, et des ajustements sont progressivement apportés pour y remédier. De manière générale, lorsque des problèmes surviennent, ils sont rapidement signalés, permettant une intervention efficace.

Formation des utilisateurs

Les utilisateurs n'ont pas eu de formation particulière liée à l'utilisation du bâtiment.

5. Les liens entre les projets

Ce terrain d'étude permet de comparer la diversité des approches architecturales, tout en faisant émerger des similitudes entre les différents projets. En croisant ces démarches, des lignes de tension apparaissent autour des questions de confort, d'appropriation, de climat, ou encore d'innovation. Les projets analysés dépeignent une posture critique face aux normes établies, une attention accrue aux usages et aux conditions climatiques, ainsi qu'un intérêt marqué pour les processus collaboratifs et expérimentaux. Des thématiques communes se dégagent, mais prennent des formes et des intensités variables selon les contextes, les acteurs impliqués et les marges de manœuvre possibles.

Certains projets remettent en cause la notion de confort moderne. Compagnie architecture interroge dans son projet la pertinence d'une température constante toute l'année en intérieur. Selon eux, plutôt que de maintenir une température uniforme, les utilisateurs doivent ressentir les variations climatiques. Le confort passe par une participation active de l'utilisateur comme le fait d'adapter sa tenue vestimentaire en fonction des saisons, en portant un manteau en hiver ou un t-shirt en été. Cette posture implique une conscience plus fine de son environnement. Cette critique rejoint celle de Pierre Torre, qui met en question certaines pratiques architecturales peu adaptées au contexte climatique actuel.

L'importance des usages et de l'appropriation du bâtiment est une thématique importante qui impacte le bâtiment après sa livraison. L'équipe de Compagnie Architecture insiste sur le fait qu'un bâtiment, même simple dans son fonctionnement, nécessite un apprentissage. Par exemple, les utilisateurs ont tendance à ouvrir les fenêtres lorsqu'il fait chaud, alors que dans ce projet, il vaut parfois mieux les garder fermées pour que la ventilation naturelle fonctionne correctement. Les utilisateurs doivent s'approprier l'endroit. Une logique similaire apparaît pour le centre de loisirs Jacques Chirac, où les usagers sont directement formés à l'utilisation du bâtiment. Là aussi, la réussite du système repose sur la compréhension et l'implication active des occupants.

Plusieurs projets montrent que les équipes sont prêtes à prendre des risques quand le cadre habituel ne permet pas d'avancer. Le bureau Landfabrik n'a pas hésité à sortir des clous, en sollicitant des dérogations ou en osant des choix inhabituels. Pour eux, l'expérimentation passe par une prise de risque assumée, parfois en tension avec les réalités de terrain comme les budgets ou les cadres réglementaires. Dans ces cas, l'innovation se construit à plusieurs, par tâtonnements, adaptations, réutilisations. La mairie de Rosny-sous-Bois a, elle aussi, pris des risques. Malgré une commande initiale très simple, l'équipe a décidé d'aller plus loin, poussant le projet vers une dimension expérimentale difficilement envisageable ailleurs. L'expérimentation est acceptée comme une méthode légitime, intégrant la possibilité d'erreurs comme partie prenante du processus. Cette logique est pleinement intégrée dans leur démarche : il est normal de tester, de formuler des idées qui peuvent échouer.

Plusieurs des architectes des études de cas portent une attention marquée au vent et au climat local dans la conception architecturale. C'est notamment le cas du lycée Jean Jaurès, où le travail avec le vent est au centre de leur pratique : les architectes s'adaptent au climat méditerranéen, choisissent des morphologies adaptées à celui-ci. Le rapport à l'air n'est pas seulement une question d'orientation, mais de stratégie globale. Cette attention se retrouve aussi chez Landfabrik, où le site est considéré comme la matière première du projet. Le sens du vent et son impact sont intégrés dès la conception, tout comme la gestion de l'humidité et des eaux pluviales, pensées pour ne pas fragiliser la façade.

La diffusion des connaissances et la volonté de les partager sont au cœur de certains projets. La mairie de Rosny-sous-Bois se positionne clairement sur cette question : pas de but lucratif, ni de logique de brevets, mais un travail de recherche et de partage. Le projet se veut ouvert, reproductible, et utile à d'autres collectivités ou praticiens. Benoit Rougelot s'inscrit dans une démarche similaire, avec une volonté marquée de communiquer ses recherches et ses connaissances. Cette transmission fait partie intégrante de sa démarche architecturale.

L'ensemble des projets met en évidence une dynamique collective d'amélioration continue, mais avec des nuances dans les postures. Au lycée Jean Jaurès, l'équipe insiste sur le fait que les avancées ne viennent pas uniquement du travail isolé en agence, mais d'un réseau d'acteurs, de projets, et d'échanges continus entre pairs. Cette logique d'innovation progressive se retrouve aussi chez Landfabrik, où le bureau avance côte à côte avec le BET SWITCH, pour eux, les innovations sont progressives, mais aussi collectives. Le centre Jacques Chirac, bien qu'inscrit dans un cadre institutionnel différent, partage cette volonté d'aller plus loin grâce au regroupement de différentes personnes. Lancée par un architecte au sein de la mairie, toute une équipe pluridisciplinaire s'est formée pour ces projets et pour pousser encore plus loin l'innovation et la recherche.

Malgré des contextes territoriaux et institutionnels très différents – d'une région dotée d'un programme environnemental fort à un village rural engagé dans la résilience locale – les projets étudiés partagent une ambition commune : repenser l'architecture scolaire en réponse aux défis climatiques, sociaux et pédagogiques. Chaque projet mobilise des moyens spécifiques pour expérimenter de nouvelles approches, intégrant l'innovation environnementale, la sobriété énergétique, et une attention marquée aux usages.

Chaque projet étudié illustre une approche distincte de la ventilation naturelle, adaptée aux contraintes techniques, climatiques et humaines propres au lieu. Le lycée Jean Jaurès privilégie l'inertie thermique via un double plancher, misant sur la simplicité et la robustesse d'un système passif sans électronique. À Rosny-sous-Bois, le centre de loisirs Jacques Chirac adopte une ventilation double-flux entièrement naturelle grâce à un échangeur développé au sein même de la mairie, en s'efforçant de simplifier de plus en plus leurs systèmes pour faciliter l'entretien. Le groupe scolaire Frida Kahlo mise sur des puits climatiques passifs enterrés, couplés à une légère assistance mécanique. Enfin, l'Espace Novateur opte pour un système simple flux adapté à leur contexte rural en collaboration avec la commune.

Bien que les différents systèmes de ventilation étudiés aient tous démontré leur efficacité depuis leur construction, ils rencontrent chacun des limites spécifiques. Au lycée Jean Jaurès, le principal paradoxe tient à l'importation coûteuse des tourelles, malgré une performance réelle conforme aux attentes et saluée par les usagers. À Rosny-sous-Bois, la qualité de l'air est bien maîtrisée, mais la dépendance aux comportements des usagers, notamment en hiver, révèle une tension entre architecture passive et usages réels. Le groupe scolaire Frida Kahlo a su convaincre malgré les craintes initiales liées aux extrêmes climatiques, toutefois des compromis ont du être faits pour rassurer le maître d'œuvre. Enfin, à l'Espace Novateur, un défaut d'interopérabilité entre composants techniques a nécessité un retour au pilotage manuel, preuve que la simplicité d'usage reste un enjeu central.

La maintenance et l'appropriation des bâtiments étudiés révèlent des approches contrastées, mais complémentaires. L'entretien technique, souvent limité aux interventions de base, reste un défi, notamment pour les systèmes de ventilation plus complexes comme au lycée Jean Jaurès, où seuls les éléments accessibles sont régulièrement nettoyés. À l'inverse, des dispositifs plus simples, comme ceux du groupe scolaire Frida Kahlo ou du centre Jacques Chirac, montrent qu'une conception pensée dès l'origine pour faciliter l'entretien permet de réduire les besoins d'intervention et les zones à risque. L'Espace Novateur en milieu Rural illustre quant à lui une logique de suivi réactif, avec des ajustements continus au fil des observations. Côté formation, seuls deux projets ont mis en place des dispositifs pour leurs usagers : le centre Jacques Chirac, où la mairie dispense une formation pédagogique auprès des animateurs et prépare l'installation de fiche explicative dans son bâtiment, et le groupe scolaire Frida Kahlo, où les échanges réguliers avec le bureau d'architecte et les carnets de chantier ont facilité l'adoption des bons usages.

Ces projets reflètent une volonté de repenser la pratique architecturale à travers des approches sensibles et collaboratives ancrées dans les réalités climatiques et sociales.

Chapitre 4 - La barre, un nouveau bâtiment pour la faculté d'architecture de Liège



Illustration 42 : La barre, collage - OFFICE Kersten Geers David Van Severen

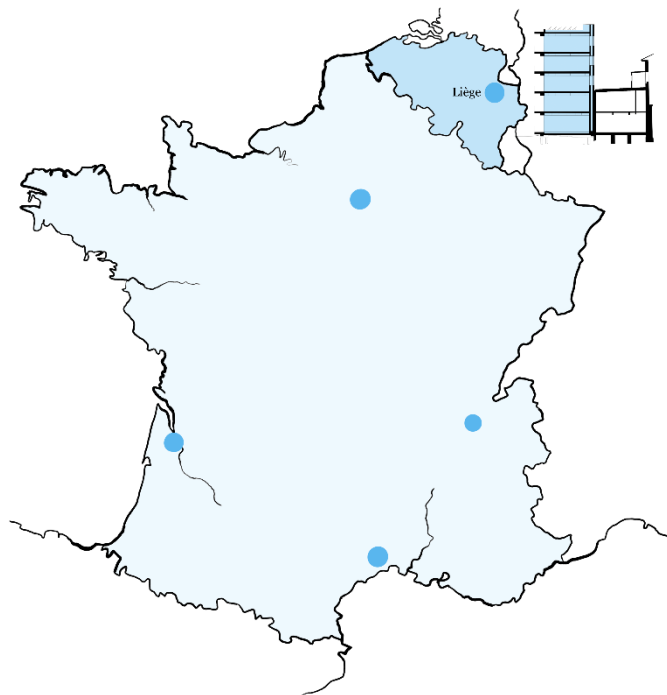


Illustration 43 : Liège – Sambre Ehrmann

1. Contexte

La caserne Fonck

Au cœur du quartier d'Outremeuse, à Liège, la caserne Fonck est un site chargé d'histoire, aujourd'hui reconverti en lieu d'enseignement. Depuis 2010, elle accueille la faculté d'architecture de l'Université de Liège, née de la fusion entre l'Institut Supérieur d'Architecture Saint-Luc et L'institut Supérieur d'Architecture Lambert Lombard. Cette implantation fait suite à l'installation de Saint-Luc sur le site dès 2000, après une importante rénovation.

L'histoire du lieu remonte au 13^{ème} siècle, lorsque la communauté religieuse du Val-des-Écoliers s'y établit. Le site se développe progressivement, comme en témoigne un plan de l'abbaye datant de 1809. À la fin du 18^{ème} siècle, la communauté religieuse disparaît, et les bâtiments sont reconvertis en hôpital militaire, avant de devenir une caserne sous l'occupation française. Plusieurs constructions sont détruites au début du 19^{ème} siècle. En 1837, le manège que nous connaissons actuellement est édifié, suivi en 1887 par la construction des deux ailes longeant le boulevard de la Constitution, après le remblayage du Biez du Barbou (Hoffsummer, 1985).

C'est au sein de ce patrimoine militaire et religieux reconverti que s'inscrit aujourd'hui le projet d'extension de la faculté. En 2022, face à une augmentation significative du nombre d'étudiants et un manque croissant d'espaces disponibles, la faculté lance un appel à projets pour la création d'un nouveau bâtiment. Cinq équipes venues de toute la Belgique répondent à cet appel. Après le dépôt des dossiers et des maquettes, chaque bureau a présenté sa proposition devant un jury en septembre 2022.

Le nouveau bâtiment s'implante dans un tissu urbain dense, fortement contraint par les constructions existantes et la valeur patrimoniale du site. L'implantation du projet doit donc composer avec plusieurs enjeux techniques : mitoyennetés, accessibilité limitée et respect strict des normes de sécurité, notamment en matière de prévention des incendies.

2. Présentation du projet

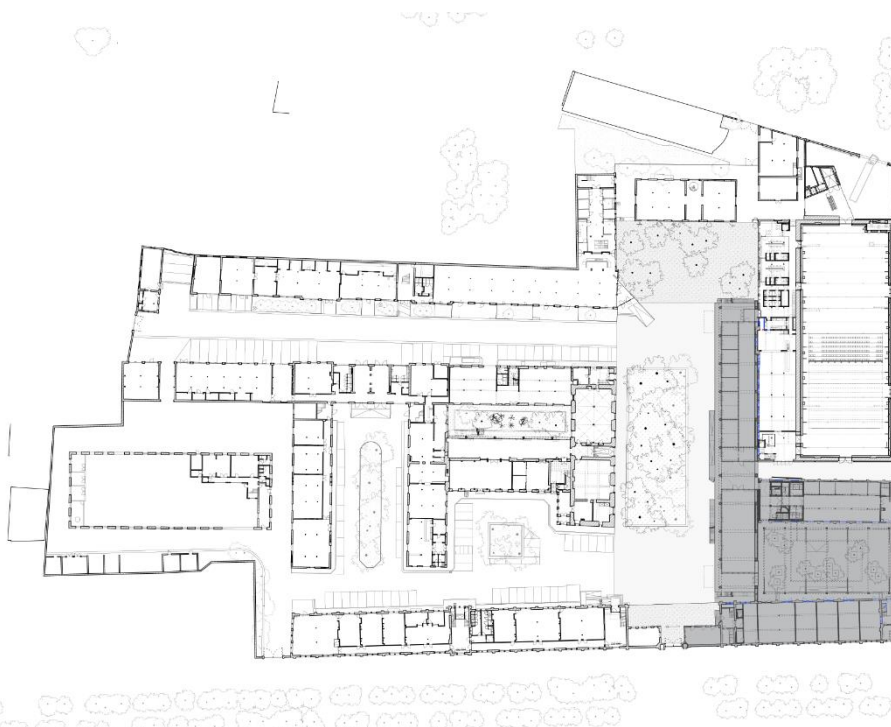


Illustration 44 : Plan du contexte - OFFICE Kersten Geers David Van Severen

Le projet de la Barre, ou de façon plus technique, les bâtiments E1D* et E1B*, (les astérisques indiquant qu'un nouveau bâtiment remplace un ancien), a été lancé en 2022. Après une étude préalable du site et des différents acteurs présents sur place, le bureau d'architecture remet une première esquisse du projet en janvier 2023.

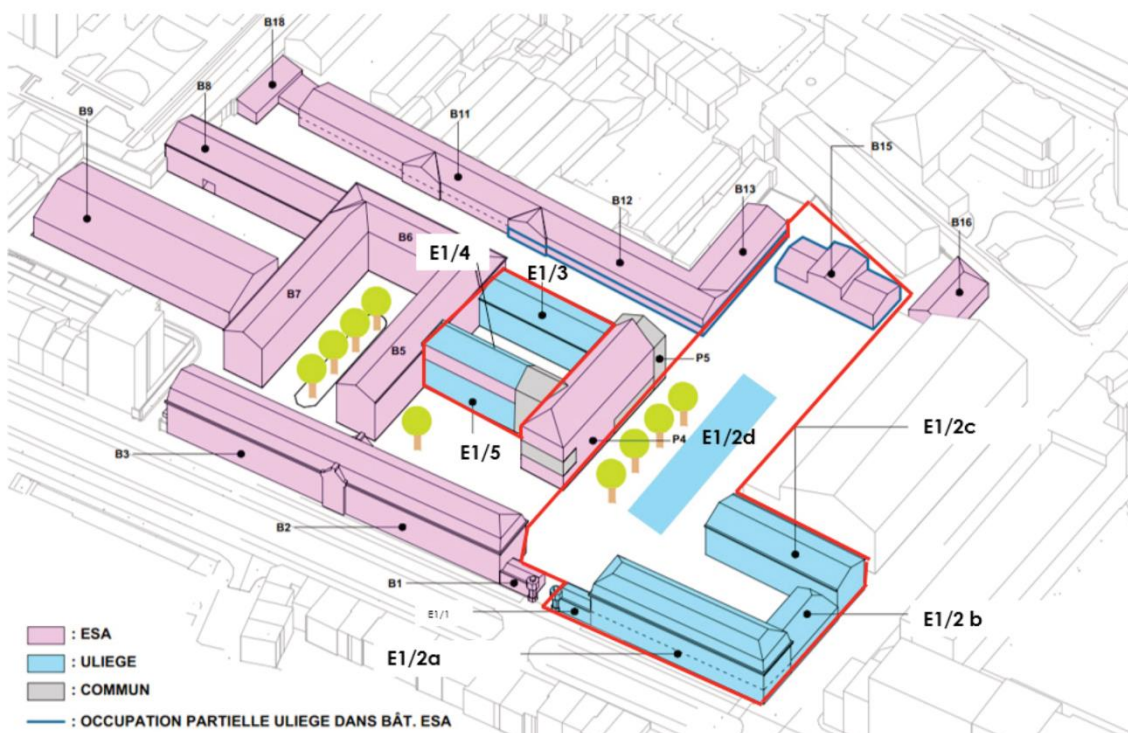


Illustration 45 : Répartition des usages - OFFICE Kersten Geers David Van Severen

Ce projet s'inscrit dans une volonté de restructuration du site universitaire, avec pour ambition de repenser globalement l'organisation spatiale de la faculté d'Architecture. Le bureau OFFICE, sélectionné pour ce projet, a structuré sa proposition autour de trois grandes interventions, échelonnées sur plusieurs années. Ce phasage permet d'assurer une cohérence entre les ambitions architecturales et les contraintes budgétaires liées à la réalisation des travaux.

Les phases

La première phase du projet prévoit la construction d'un nouveau bâtiment (E1D*), la Barre, qui sera adossée au manège existant. Elle comprend également le réaménagement de la cour centrale, avec pour objectif de redéfinir les usages et les circulations extérieures. Il s'agit de la phase la plus avancée du projet, actuellement au stade du dépôt du permis d'urbanisme, aussi, elle bénéficie d'un financement dans le cadre du plan institutionnel des infrastructures, un programme dédié à la valorisation du patrimoine immobilier de l'université.

La deuxième phase concerne la création de l'Aula (E1B*), une grande halle centrale qui sera implantée entre les deux bâtiments historiques du site. Bien que faisant partie du programme global, cette phase ne dispose pas encore d'un financement. Elle devrait être incluse dans le prochain cycle budgétaire de l'université, planifié sur des périodes de quatre à cinq ans.

Enfin, la troisième phase prévoit le réaménagement des bâtiments existants, actuellement occupés par plusieurs équipes de recherche. Elle concernera les espaces tels que le patio, les laboratoires et le GAR situé au premier étage. Cette intervention viendra compléter la transformation du site, mais sa mise en œuvre reste conditionnée par les arbitrages budgétaires à venir.



Étape 1 – Construction du nouveau bâtiment de la Faculté d'Architecture



Étape 2 – Construction de l'Aula et interface avec les bâtiments existants mitoyens



Étape 3 – Aménagement paysager de la cour centrale

Illustration 46 : Les étapes - OFFICE Kersten Geers David Van Severen

Le projet a été conçu pour s'adapter aux priorités institutionnelles et aux ressources disponibles, tout en préservant la cohérence architecturale et fonctionnelle de l'ensemble du campus.



Illustration 47 : Vue du projet rue Ransonnet - OFFICE Kersten Geers David Van Severen

L'expression du projet

L'expression architecturale du bâtiment se veut volontairement sobre, tout en mettant en valeur la structure. L'enjeu ne résidait pas uniquement dans la conception d'une ossature moderniste, mais dans la création d'un objet à la fois vivant et expressif. Cette intention a conduit le bureau OFFICE à proposer un geste fort : des colonnes tournées à 45 degrés, positionnées en façade, en cohérence avec la logique structurelle de l'ensemble.

La circulation

La question de la circulation, verticale et horizontale, a connu plusieurs évolutions au cours du développement du projet. Initialement placée en façade ouest, elle a d'abord été déplacée entre la Barre et le manège, pour finalement être repositionnée de part et d'autre du bâtiment, côté bibliothèque et côté Boulevard de la Constitution. Dans sa version finale, la circulation s'organise autour de deux escaliers simples situés aux extrémités ainsi qu'une tour de circulation au milieu du côté est, permettant de répondre aux normes en matière de sécurité incendie. Celles-ci imposent une distance maximale à parcourir pour atteindre une voie d'évacuation, ainsi qu'une distance minimale entre deux sorties. Ce dispositif permet d'assurer la conformité réglementaire, tout en préservant la logique spatiale.

Le bâtiment et ses fonctions

La structure du bâtiment adopte une approche radicale : cinq plateaux horizontaux soutenus par des colonnes périphériques, libérant totalement l'espace intérieur. Cette configuration offre une grande liberté d'aménagement, permettant aux usages d'évoluer au fil du temps

selon les besoins. À l'intérieur, les plateaux d'ateliers ont été conçus pour offrir une grande flexibilité d'usage et peuvent être subdivisés selon les effectifs des cohortes étudiantes, sans compromettre le confort thermique ni la qualité de la lumière naturelle.

La nouvelle construction accueillera plusieurs fonctions complémentaires. Au rez-de-chaussée se trouveront les services administratifs ainsi qu'un grand amphithéâtre. Le premier étage accueillera un belvédère, un espace informel de travail ainsi que des locaux destinés aux enseignants. Les trois étages supérieurs seront entièrement consacrés aux ateliers : de vastes plateaux modulables, capables d'accueillir de grandes promotions tout en restant adaptables à des configurations plus restreintes.

Confort et contraintes techniques

Un soin particulier a été apporté au confort acoustique. Plafonds et sols ont été conçus pour limiter la réverbération du bruit, et l'isolation des équipements techniques a été soigneusement étudiée afin de garantir un bon niveau de confort sonore.

L'organisation spatiale du bâtiment, dictée par les contraintes du site, a conduit certains choix fonctionnels assumés. C'est le cas, par exemple, de la salle de réunion située en second jour au rez-de-chaussée. OFFICE a opté pour cette solution, considérant les contraintes spatiales inhérentes au projet. Cette implantation demeure cohérente, car les salles de réunions sont généralement situées au centre des bâtiments et ne nécessitent pas toujours un éclairage naturel direct.

3. Les acteurs du projet

Le bureau et ses architectes

OFFICE est un bureau d'architecture installé à Bruxelles depuis 2002. Fondé en 1975 par les architectes Kersten Geers et David Van Severen, il se distingue par sa volonté de considérer l'architecture comme un outil culturel, au service de l'amélioration de l'environnement humain dans une perspective durable. Le bureau rassemble aujourd'hui environ quarante collaborateurs. Sa démarche repose sur la collaboration et le travail d'équipe, tant en interne qu'avec des experts issus d'autres disciplines. Cette approche permet à OFFICE de répondre aux enjeux contemporains de l'architecture, en intégrant des préoccupations telles que la durabilité, l'approvisionnement responsable ou encore l'adaptabilité des espaces aux enjeux futurs. Les architectes d'OFFICE réalisent des projets variés, allant de la conception de mobilier à l'aménagement urbain. Parmi les réalisations récentes, on peut citer l'Aerospacelab Megafactory à Charleroi (Belgique), ou le bâtiment de la radio et de la télévision suisse à Lausanne (Suisse). Le bureau est également impliqué dans les domaines de la recherche et l'enseignement.

L'université

L'ARI, ou Administration des Ressources Immobilières, est le service de l'Université de Liège chargé de la gestion des bâtiments et des infrastructures des campus. Sa mission

principale est de mettre à disposition des étudiants et du personnel de l'université des installations fonctionnelles et de qualité, en adéquation avec les moyens disponibles. Elle joue un rôle central dans la stratégie de développement de l'université, en participant à l'élaboration du Plan Stratégique Infrastructures (PSI), ainsi qu'aux politiques énergétiques, environnementales, de mobilité et d'aménagement des campus. La politique immobilière de l'Université, portée par l'ARI, vise à garantir un enseignement de qualité, à soutenir la recherche, à améliorer le bien-être des usagers et à renforcer l'attractivité de l'université. Concrètement, l'ARI s'occupe aussi bien des projets de construction et de rénovation que de la maintenance quotidienne. Elle encadre les démarches administratives liées à l'urbanisme, collabore avec les services techniques pour les appels d'offres et supervise les chantiers. Elle veille à la sécurité des lieux (incendie, accès, surveillance), ainsi qu'à la gestion des énergies, des déchets et des eaux usées, sans oublier les aspects juridiques et financiers liés à l'immobilier (achats, ventes, locations).¹²

Les bureaux d'études techniques

Les relations entre architectes et ingénieurs occupent une place essentielle dans la manière de travailler d'OFFICE. Le bureau collabore régulièrement avec des experts issus d'autres disciplines, notamment le bureau d'étude en techniques spéciales ATMOS LAB, qui l'a accompagné à plusieurs reprises en apportant une expertise technique poussée et des analyses approfondies. Cette collaboration récurrente reflète une relation de confiance construite au fil des projets.

Il n'y a pas de formation spécifique technique dispensée au sein du bureau OFFICE. C'est là l'un des défis du métier d'architecte : être polyvalent sans être spécialiste. Pour y remédier, OFFICE s'entoure d'experts afin de constituer, ensemble, une masse critique de connaissances.

Dans le cadre du projet de la barre, OFFICE travaille ainsi avec plusieurs bureaux d'études spécialisés :

- ATMOS LAB, qui étudie les phénomènes physiques liés à l'environnement intérieur : lumière naturelle, qualité de l'air, ensoleillement, température, confort thermique et gestion énergétique ;
- Bollinger+Grohmann, spécialisé dans les aspects liés à la structure du bâtiment, à l'ingénierie des façades et à la conformité aux normes incendie ;
- SECA Engineering, expert dans les questions de performance énergétique ;
- M-ingénieurs (anciennement Macobo-Stabo), dont l'expertise couvre l'ingénierie structurelle, la stabilité, la durabilité et l'acoustique ;
- Ingénium, orienté vers les réseaux techniques, la gestion de l'énergie et la maintenance.

¹² ARI : https://www.uliege.be/cms/c_9113949/fr/administration-des-ressources-immobilieres



Illustration 48 : Plan RDC PU - OFFICE Kersten Geers David Van Severen



Illustration 49 : Plan +01 PU - OFFICE Kersten Geers David Van Severen

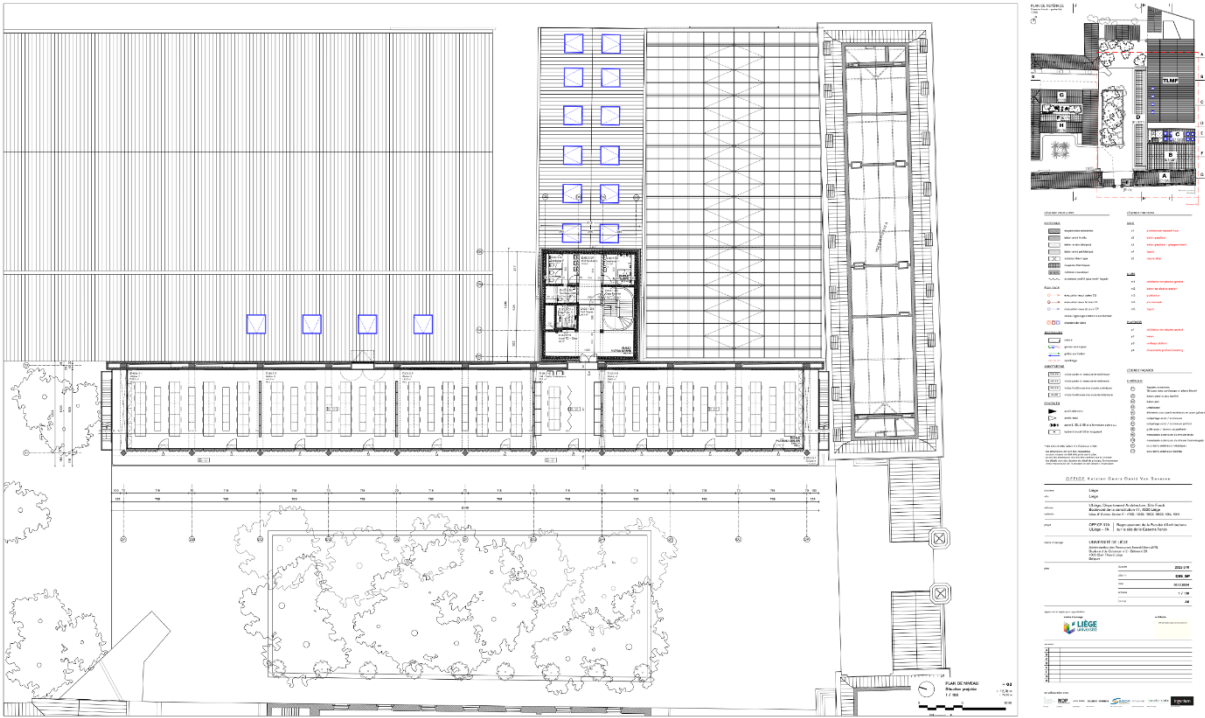


Illustration 50 : Plan +03 PU - OFFICE Kersten Geers David Van Severen

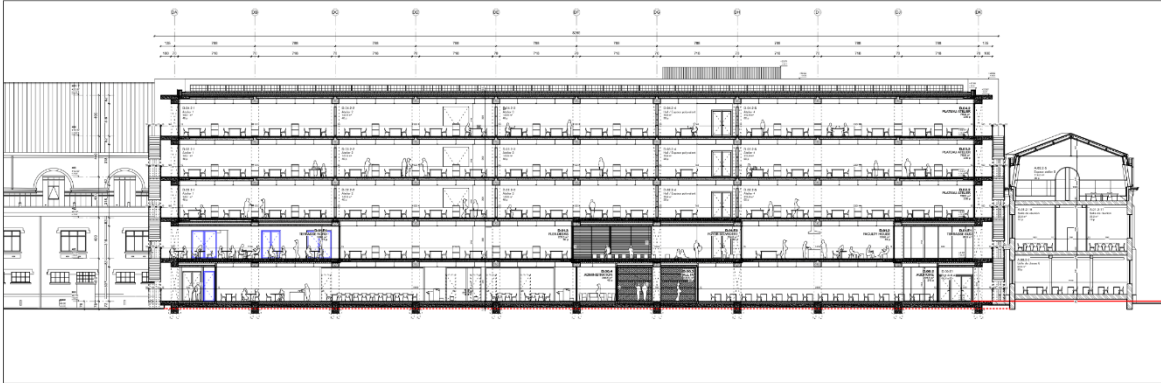


Illustration 51 : Coupe BB' PU - OFFICE Kersten Geers David Van Severen



Illustration 52 : Coupe HH' PU - OFFICE Kersten Geers David Van Severen

4. Le système de ventilation et sa mise en œuvre

Description du système de ventilation

L'un des principaux enjeux du projet consistait à intégrer les dispositifs techniques sans compromettre la clarté architecturale ni les usages. Ce défi a été relevé dès la conception, par des choix forts : tous les systèmes techniques du bâtiment sont regroupés dans le mur Est, conçu comme une grande gaine technique. Ce dernier intègre les réseaux techniques : gaines, conduits de ventilation, ainsi que d'autres systèmes liés au fonctionnement du bâtiment. Les groupes de ventilation sont situés en toiture et insufflent l'air dans les locaux. L'air est ensuite évacué par convection via les conduits situés dans le mur, ce mouvement étant renforcé par la pression de l'air insufflé. À chaque niveau, plusieurs gaines secondaires permettent d'acheminer l'air jusqu'à proximité de la façade ouest, assurant ainsi un brassage complet des ateliers. Cette configuration évite que l'air ne soit directement repris côté est sans traverser l'espace, ce qui entraînerait un renouvellement insuffisant.

Au début du projet, une ventilation simple flux de type C avait été envisagée, en cohérence avec la philosophie low-tech portée par le bureau OFFICE et partagée par l'université. La forme étroite du bâtiment favorise en effet une ventilation naturelle. Toutefois, lors des échanges entre la faculté, le bureau d'architectes et l'ARI, il est rapidement apparu que certaines zones – notamment les bureaux de l'administration et l'amphithéâtre – devaient bénéficier d'un débit d'air plus important, en raison des exigences du Code du Travail (CdT). Il a donc été décidé d'installer un système de ventilation mécanique double flux dans ces espaces, afin de respecter la norme des 900 ppm et garantir un niveau de qualité de l'air suffisant. Dans les autres zones, comme les plateaux des étages, une ventilation simple flux a été conservée, mais en passant à un système de type B : l'air neuf est insufflé mécaniquement, puis évacué naturellement par convection via le mur est. Ce changement s'explique, selon plusieurs acteurs du projet, par le climat régional, peu adapté à la mise en œuvre d'une ventilation naturelle ou d'un simple flux par extraction. Les systèmes auraient nécessité des dispositifs de préchauffage de l'air entrant, encore peu maîtrisés sur le plan technique. Par ailleurs, les références françaises et suisses, évoquées lors des échanges, reposent sur des normes généralement moins strictes que celles en vigueur en Belgique, ce qui limite l'adaptation de certains systèmes.

Une ventilation naturelle a également été intégrée pour répondre au problème de la surchauffe, entre avril et septembre. Cette stratégie repose principalement sur une étude des vents réalisée par le bureau d'études ATMOS LAB et répond à un objectif clair : limiter la montée en température, notamment dans la partie sud du bâtiment. En effet, les simulations dynamiques ont révélé que cette zone était régulièrement soumise à des pics de chaleur.

Pour garantir le confort thermique à l'horizon 2050, ces simulations prennent en compte les scénarios climatiques actuels et futurs. Même si les projections ne peuvent être entièrement fiables, elles permettent d'anticiper les risques de surchauffe, en intégrant les seuils réglementaires relatifs à la durée et à l'intensité des dépassements de température

admissibles. Cette ventilation naturelle est laissée au libre choix des utilisateurs du bâtiment, qui peuvent ouvrir ou non les fenêtres selon leur ressenti.

Enfin, d'autres dispositifs ont été mis en œuvre pour limiter la surchauffe. La circulation du bâtiment se fait par l'extérieur, créant ainsi des balcons côté nord, ouest et sud, jouant un rôle de protection solaire passive. Toutefois, leur efficacité reste limitée en fin d'après-midi, lorsque le soleil est bas sur l'horizon. Pour y remédier, des rideaux filtrants ont également été prévus.

Circulation de l'air

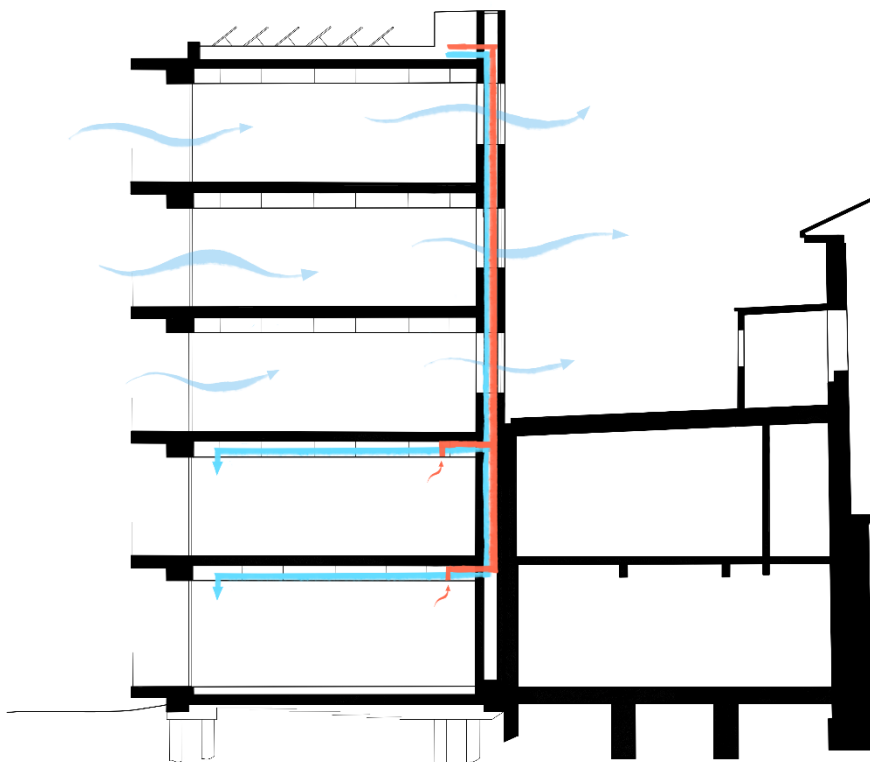


Illustration 53 : Coupe du bâtiment de la Barre, ventilation de type D - Sambre Ehrmann sur base d'une illustration tiré de OFFICE Kersten Geers David Van Severen

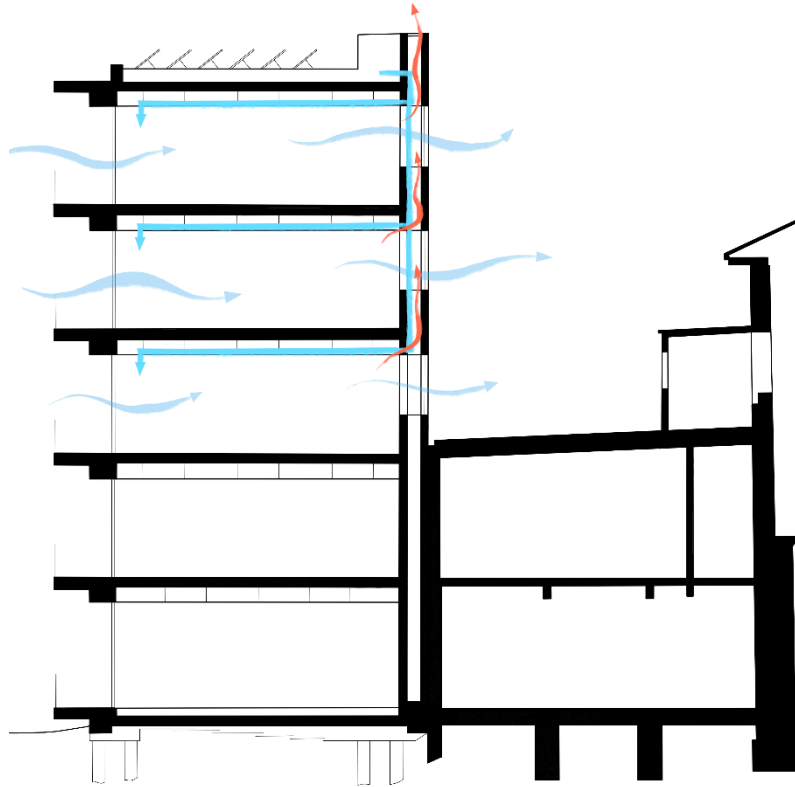


Illustration 54 : Coupe du bâtiment de la Barre, ventilation de type B - Sambre Ehrmann sur base d'une illustration tiré de OFFICE Kersten Geers David Van Severen

L'air pénètre par la façade ouest, traverse les ateliers, puis ressort selon plusieurs options : vers le nord, par une fenêtre ou par la zone de circulation à l'est, ou encore vers le sud, en fonction de l'ouverture des fenêtres. Cette configuration vise à exploiter les vents dominants qui arrivent par la façade ouest.

Le fonctionnement par travées est le suivant :

- Les fenêtres au nord assurent l'extraction des trois premières travées ;
- La fenêtre située à l'est concerne les travées 3, 4, 5 et 6 ;
- La circulation verticale participe à l'évacuation de l'air pour les travées 6, 7 et 8 ;
- Le côté sud prend en charge les dernières travées.

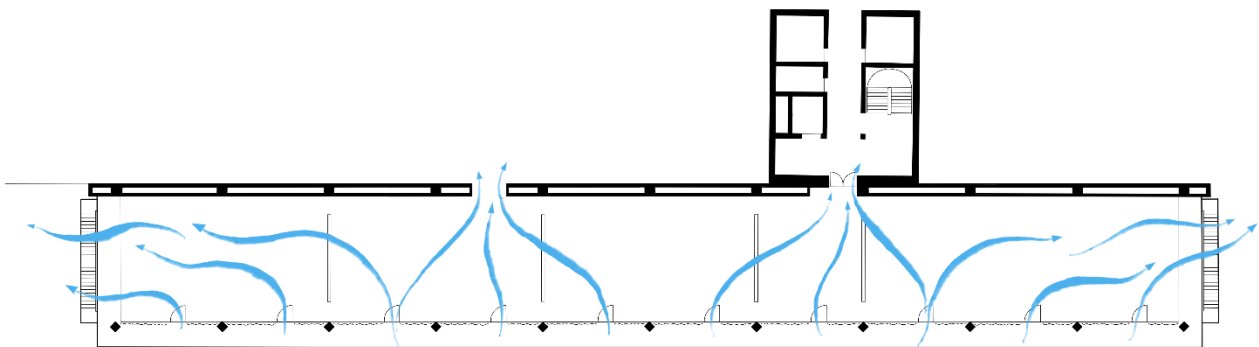


Illustration 55 : Plan du bâtiment de la barre +02, ventilation de type A - Sambre Ehrmann sur base d'une illustration tiré de OFFICE Kersten Geers David Van Severen

Impact sur l'architecture

Le système de ventilation a eu un impact direct sur la conception architecturale du bâtiment, en particulier à travers le traitement du mur est. Ce dernier a été conçu comme un mur technique creux. L'air y remonte après avoir traversé les ateliers, via des cheminées de ventilation intégrées. Les gaines de la VMC y sont également regroupées.

Ce mur aveugle joue un rôle à la fois technique, structurel et architectural. Il marque une rupture visuelle avec les autres façades du bâtiment, tout en rendant possible une organisation intérieure claire, libérée des contraintes techniques visibles.

5. Limites et retours d'expérience

Les limites du projet

Le caractère historique du site est perçu à la fois comme une contrainte et comme une richesse. Le projet s'inscrit dans un contexte complexe, sur un site partagé par plusieurs propriétaires et utilisateurs. Leur proximité, à la fois physique et symbolique, constitue un défi majeur. Le site accueille trois entités distinctes, l'ESA, la caserne et l'université, qui, contrairement à ce que l'on pourrait penser, communiquent peu entre elles. Un important travail de concertation a donc été nécessaire durant le projet afin de réunir ces acteurs, les convaincre du projet, et intégrer leurs priorités et ambitions respectives. Par exemple, le nouveau bâtiment se trouve en contact direct avec le manège, ce qui implique non seulement une proximité physique, mais aussi une proximité identitaire avec d'autres bâtiments emblématiques, comme celui abritant la salle capitulaire de l'ESA. Cela a soulevé des enjeux de reconnaissance et de visibilité équitables entre institutions, en particulier concernant l'image que chaque entité souhaite projeter.

La proximité du manège a également généré une série de complications spécifiques. Le nouveau bâtiment modifie la perception de l'existant, notamment d'une façade auparavant visible, mais aveugle, désormais reléguée à l'arrière-plan. Cette situation a constitué une remise en question identitaire pour ses occupants et a nécessité une négociation et une adaptation du projet avec les représentants des institutions concernées. Cette mitoyenneté a aussi engendré des contraintes réglementaires, notamment en matière de sécurité incendie et de ventilation. En temps normal, la réglementation impose une distance de 8 mètres entre deux bâtiments pour prévenir la propagation d'un incendie. Or, cette distance n'étant pas respectée, la paroi mitoyenne a dû être conçue comme un mur coupe-feu.

Durant la phase d'avant-projet et pendant la préparation du dossier de permis d'urbanisme, cette problématique a fait l'objet de nombreuses réflexions. À un moment donné, il a même été envisagé de placer la circulation coté est afin de reculer la paroi. Toutefois, cette configuration engendrait d'autres contraintes fonctionnelles et spatiales et a rapidement été abandonnée au profit d'un mur plein, fermé et coupe-feu, du côté du manège, garantissant une séparation efficace.

Concernant la ventilation, le bâtiment avait initialement été conçu pour bénéficier d'une ventilation naturelle traversante, bien adaptée à sa forme étroite. Cependant, l'une des longues façades étant mitoyenne sur les deux premiers niveaux, la ventilation transversale y était irréalisable. Pour les niveaux supérieurs, les exigences strictes de résistance au feu n'ont pas permis la mise en place de beaucoup d'ouverture. Finalement, seule une fenêtre a pu être intégrée côté est pour permettre une ventilation naturelle.

Retour d'expérience et analyse des performances réelles

Le bâtiment n'étant pas encore construit, aucune enquête post occupation n'a pu être mise en place. Toutefois, l'installation de détecteurs de taux de CO₂ est prévue afin de pouvoir réguler la ventilation en fonction des besoins.

6. Maintenance et appropriation du bâtiment

Entretien du système

Le système d'entretien des installations techniques du nouveau bâtiment de la faculté d'architecture sera aligné sur celui déjà en place au sein de l'université. Un programme de gestion assure la surveillance permanente des systèmes de ventilation, permettant ainsi une détection rapide de tout dysfonctionnement. En cas de problème, une équipe technique est informée et intervient rapidement sur place pour effectuer les réparations nécessaires.

Pour faciliter la maintenance, des regards de visite sont prévus dans la façade du bâtiment, permettant un accès ponctuel aux installations. La majorité des interventions de maintenance se feront cependant dans les locaux techniques, situés au sous-sol et en toiture, ce qui simplifie les opérations et les rend plus accessibles.

Formation des utilisateurs

Aucune formation spécifique n'est prévue à ce stade du projet pour les futurs usagers.

7. Conclusion

Le projet d'extension de la faculté d'Architecture de l'Université de Liège prend place dans un tissu urbain assez dense, où la cohabitation avec les bâtiments voisins, les contraintes d'accès et les exigences réglementaires imposent une approche maîtrisée et attentive. Le caractère historique du site, partagé entre plusieurs propriétaires et utilisateurs, représente à la fois une contrainte et une ressource.

Ce projet vise à réorganiser l'ensemble du site universitaire de manière cohérente.. Portée par le bureau OFFICE, il s'articule en plusieurs phases, permettant une évolution progressive du lieu en cohérence avec les priorités pédagogiques et les ressources disponibles. Le bâtiment se distingue par une structure claire et sobre et une adaptabilité des espaces.

L'un des défis majeurs a concerné l'intégration des équipements techniques dans le projet architectural. Le système de ventilation a évolué au fil du développement : bien qu'une ventilation de type C ait été envisagée dans un premier temps, les limites liées au climat régional et aux technologies de préchauffage de l'air ont conduit à privilégier autre solution. La Barre intègre donc un ensemble de systèmes, à la fois mécaniques et naturels, afin de répondre au mieux aux besoins des utilisateurs et aux enjeux environnementaux. Le bâtiment assure des conditions de confort thermique stables, y compris dans la perspective des évolutions climatiques à venir. Afin de prévenir les risques de surchauffe, d'autres dispositifs ont également été intégrés, renforçant ainsi la performance énergétique du bâtiment tout en maintenant un confort pour les usagers.

Conclusion

Dans la lignée des travaux de Julie Neuwels, qui s'intéresse aux productions architecturales relevant de l'« innovation par retrait », ce travail s'inscrit dans une perspective visant à décrypter les innovations sociotechniques qui émergent dans la conception de bâtiments performants ventilés naturellement. À partir de plusieurs études de cas en France, j'ai analysé les stratégies déployées par les concepteurs pour répondre aux contraintes des bâtiments durables, avant d'envisager l'intégration de ces pratiques dans un projet en cours à l'Université de Liège.

Ma démarche de recherche, étroitement ancrée dans l'analyse de mon terrain d'étude, m'a permis d'adopter une lecture critique non seulement des choix techniques, mais aussi des dimensions architecturales et sociales qui accompagnent ces projets. L'étude de ces cas révèle que la pertinence architecturale ne réside pas dans une solution unique, mais dans la capacité à élaborer des réponses sensibles aux contextes et aux usages. Chaque projet interroge les marges de manœuvre possibles pour concevoir autrement. Ce qui émerge de ces approches, c'est la nécessité de composer avec un contexte large à la fois spatial et temporel : complexité des territoires, contraintes techniques, temporalités de projet, diversité des usages et cultures du confort.

La question de la ventilation en est un bon révélateur : dans les établissements scolaires, elle ouvre un terrain d'innovation, d'appropriation et de pédagogie ; à Liège, elle traduit une anticipation technique, structurée mais attentive à la qualité d'usage. Ces projets m'ont permis de prendre conscience de la diversité des dispositifs de ventilation naturelle envisageables, en fonction des contextes géographiques et des objectifs poursuivis. Ces systèmes, allant du plus simple au plus complexe, remplissent tous leurs objectifs. Néanmoins, dans un contexte belge, certaines solutions apparaissent plus pertinentes et plus facilement transposables. À ce titre, une mise en projet a été élaborée et fait l'objet d'un document annexe (voir le deuxième manuscrit). Cette seconde partie constitue une porte d'entrée pour approfondir la question centrale qui la sous-tend : envisager la ventilation naturelle comme un véritable levier de conception, capable d'influencer l'ensemble du projet architectural.

Ce travail pourrait se prolonger dans de nombreuses directions, que ce soit par l'élargissement du corpus à d'autres études de cas ou par l'approfondissement des pistes d'application dans le contexte belge, en testant leurs mises en œuvre pour mieux les comparer.

Bibliographie

Abramson, D. M. (2016). *Obsolescence : An Architectural History*. University of Chicago Press.

ARENE Île-de-France. (2012). *Les guides bio-tech—Ventilation naturelle et mécanique*. [https://www.arec-idf.fr/fileadmin/DataStorageKit/AREC/Etudes/pdf/guide bio tech ventilation naturelle et mecanique.pdf](https://www.arec-idf.fr/fileadmin/DataStorageKit/AREC/Etudes/pdf/guide_bio_tech_ventilation_naturelle_et_mecanique.pdf)

Attia, S., & De Herde, A. (2011). *Early design simulation tools for net zero energy buildings : A comparison of ten tools*. International Building Performance Simulation Association 2011. <https://orbi.uliege.be/handle/2268/167476>

Bastide, A., Allard, F., & Boyer, H. (2012). Natural Ventilation—A New Method Based on the Walton Model Applied to Cross-Ventilated Buildings having Two Large External Openings. *International Journal of Ventilation*, 6, 195-206.

Bastoen, J., & Popescu, C. (2023). *Contre les normes ? Histoires d'architectes*. Publications du GRIEF.

Bâtiment Ventilation. (s. d.). *Maîtriser la ventilation*. Consulté 30 mai 2025, à l'adresse <https://www.batiment-ventilation.fr/a-propos/maitriser-la-ventilation>

Beslay, C., & Gournet, R. (2015). Les professionnels du bâtiment face aux enjeux de la performance énergétique : Nouveaux savoirs et nouveaux métiers. *Sociologies*. <https://journals.openedition.org/sociologies/5063>

Beslay, C., Gournet, R., & Zélem, M.-C. (2015). Le « bâtiment économe » : Utopie technicienne et « résistance » des usages. In J. Boissonade, *La ville durable controversée. Les dynamiques urbaines dans le mouvement critique* (p. 335-364). Ed Pétra. <https://hal.science/hal-01756836>

Bihouix, P. (2014). *L'Âge des low tech : Vers une civilisation techniquement soutenable*. Le Seuil. <https://www.seuil.com/ouvrage/l-age-des-low-tech-philippe-bihouix/9782021160727>

Brisepierre, G. (2012). *Les conditions sociales et organisationnelles du changement des pratiques de consommation d'énergie dans l'habitat collectif* [Université Paris V Descartes]. <https://shs.hal.science/tel-04852649>

Brisepierre, G., Defreye, E., Neuwels, J., & Ochs, L. (2017). *De l'usage des bâtiments performants en Région Bruxelles Capitale. Etude ethnographique pour une plus grande maîtrise (de l'ambition, des coûts et de l'usage)*. Une étude de Méthos pour Bruxelles

Environnement (2016 – 2017). <https://methos.eu/fr/projet/habitat-basse-energie-performant>

Brisepierre, G., Renauld-Giard, V., & Grandclément, C. (2014). L'impensé des usages. *Millénaire 3 : Prospective de la Métropole de Lyon*. <https://shs.hal.science/halshs-04853307>

Chen, C., & Gorlé, C. (2022). Full-scale validation of CFD simulations of buoyancy-driven ventilation in a three-story office building. *Building and Environment*, 221. <https://arxiv.org/abs/2203.05670>

Choay, F. (1996). *La Règle et le Modèle. Sur la théorie de l'architecture et de l'urbanisme*. Le Seuil. <https://www.seuil.com/ouvrage/la-regle-et-le-modele-francoise-choay/9782020300278>

Commune de Brangues. (s. d.). Le patrimoine bâti de notre commune. *Brangues*. Consulté 30 mai 2025, à l'adresse <https://commune-brangues.fr/patrimoine-bati/>

Daumas, J.-C. (2018). Les Trente Glorieuses ou le bonheur par la consommation. *Revue Projet*, 367(6), 6-13.

Daumas, L. (2020). L'effet-rebond condamne-t-il la transition à l'échec ? *Regards croisés sur l'économie*, 26(1), 198-197.

Dhalluin, A. (2012). *Etude de stratégies de ventilation pour améliorer la qualité environnementale intérieure et le confort des occupants en milieu scolaire* [Thèse de doctorat, Université de la Rochelle]. HALtheses. <https://theses.hal.science/tel-00823905/>

Energie Wallonie. (s. d.). *Pourquoi ventiler ? Les rôles de la ventilation* (La ventilation et l'énergie - Guide pratique pour les architectes). <https://energie.wallonie.be/servlet/Repository/?IDR=3453>

Faure, D., Franc, B., Efforsat, J., Donnat, J.-M., Guttierrez, B., & Karhat, F. (2004). *Construire un bâtiment respectueux de l'environnement*. Agence Méditerranéenne de l'Environnement. <http://cregen.free.fr/HQE/REX%20Lyc%E9e%20HQE%20du%20Pic%20Saint%20loup.pdf>

Fijalkow, Y. (2019). Léa Mosconi, Émergence du récit écologiste dans le milieu de l'architecture. 1989-2015 : De la réglementation à la thèse de l'anthropocène. *Les Cahiers de la recherche architecturale urbaine et paysagère*. <https://journals.openedition.org/craup/1788>

Floret, E. (2024). Calfeutrer, contrôler, canaliser. Réflexion autour des dispositifs de traitement d'air en architecture. *Les Cahiers de la recherche architecturale urbaine et paysagère*, 20, Article 20. <https://journals.openedition.org/craup/14430>

Fressoz, J.-B. (2012). *L'apocalypse joyeuse. Une histoire du risque technologique*. Le Seuil. <https://www.seuil.com/ouvrage/l-apocalypse-joyeuse-jean-baptiste-fressoz/9782021056983>

Fressoz, J.-B. (2024). *Sans transition, Une nouvelle histoire de l'énergie*. Le Seuil.

Genard, J.-L., & Neuwels, J. (2016). Le développement durable comme objet de transactions. Les politiques urbaines en région bruxelloise. *SociologieS*. <https://journals.openedition.org/sociologies/5378?lang=en>

Genard, J.-L., & Neuwels, J. (2021). La territorialisation des politiques environnementales : Jeux de négociations et effets inégalitaires. *Canadian Journal of Regional Science*, 44(2), 42-49.

GIEC. (2023). *AR6 Synthesis Report : Climate Change – IPCC*. <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/>

Goldstein, B. D. (2017). [Review of *Obsolescence : An Architectural History*, par D. M. Abramson]. *Buildings & Landscapes: Journal of the Vernacular Architecture Forum*, 24(1), 100-102.

Goulet, F., & Vinck, D. (2012). L'innovation par retrait. Contribution à une sociologie du détachement. *Revue française de sociologie*, 53(2), 195-224.

Hauet, J.-P. (2024). Amélioration du DPE : Conseils pour réduire votre consommation d'énergie. *XPair*. https://conseils.xpair.com/actualite_experts/dpe-toilettage-necessaire-adaptations.htm

Hauglustaine, J.-M., & Simon, F. (2018). *La ventilation et l'énergie—Guide pratique pour les architectes* (2ème édition). <https://energie.wallonie.be/servlet/Repository/guide-bleu-ventilation-optimise.pdf?IDR=41652>

Hoffsummer, P. (1985). Du couvent du Val-des-Ecoliers à la caserne Fonck. In *Bulletin de l'Institut Archéologique liégeois* (p. 40-76). Maison Curtius. <https://www.ialg.be/ebibliotheque/bial/bial097.pdf>

Hoxha, E., Maierhofer, D., Saade, M., & Passer, A. (2021). Influence of technical and electrical equipment in life cycle assessments of buildings : Case of a laboratory and research building. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 26(5), 852-863.

Imbert, G. (2010). L'entretien semi-directif : À la frontière de la santé publique et de l'anthropologie. *Recherche en soins infirmiers*, 102(3), 23-34.

Jevons, W. S. (1865). *Sur la question du charbon*. Macmillan & Co. <https://www.futuribles.com/sur-la-question-du-charbon-1865/>

Kalck, P. (2016). *Les controverses sur le développement durable dans le domaine du bâtiment : Entre approche holistique et approche réductionniste* (Vol. 53). Céreq.

Ledent, G., & De Visscher, J.-P. (2018). Différences entre «recherche par le projet» et «étude» : Le cas de la revitalisation du quartier européen de Bruxelles. *Recherche & projet : productions spécifiques et apports croisés*, 144-148.

Lopez, F. (2014). *Le rêve d'une déconnexion. De la maison autonome à la cité auto-énergétique*. Editions de la Villette.

Madec, P. (2021). *Mieux avec moins*. Terre Urbaine.

Mandoul, T. (2012). Climat(s) : Nouveau paradigme pour l'architecture ? *Raison publique*, 17(2), 141-161.

Maniaque, C. (2014). *Go West ! : Des architectes au pays de la contre-culture*. Parenthèses.

Mosconi, L. (2018). *Emergence du récit écologiste dans le milieu de l'architecture 1989-2015 : De la réglementation à la thèse de l'anthropocène* [Université Paris-Est]. <https://theses.hal.science/tel-04384203>

Neuwels, J. (2015). *Architecture, développement et action publique : Conjugaison en mutation dans un contexte de recherche de durabilité. Le cas de la région Bruxelles-Capital* [Université libre de Bruxelles, Faculté d'Architecture La Cambre-Horta]. <https://orbi.uliege.be/handle/2268/258018>

Neuwels, J. (2023). *La ventilation naturelle des bâtiments performants comme manifeste*. <https://orbi.uliege.be/handle/2268/301922>

Neuwels, J. (2024). Ventiler à l'ère de l'Anthropocène. In V. Didelon, *Ce que l'architecture fait à l'écologie* (Lyon, France : Editions 205, p. 91-105).

Pin, C. (2023). L'entretien semi-directif. *LIEPP Fiche méthodologique n°3*, 2-7.

Rambert, F. (2019). Architecture, la recherche par le projet. *fabricA*, 13. <https://hal.science/hal-03190732>

Renauld, V. (2014). *Fabrication et usage des écoquartiers : Essai critique sur la généralisation de l'aménagement durable en France*. Presses polytechniques et universitaires romandes.

Requena-Ruiz, I. (2016). L'utopie des "climats artificiels" Discours et représentations dans les revues d'architecture françaises (1930-1950). In N. Rémy & N. Tixier (Éds.), *Ambiances, tomorrow. Proceedings of 3rd International Congress on Ambiances. Septembre 2016, Volos, Greece* (Vol. 2, p. 957-962). International Network Ambiances. <https://hal.science/hal-01404444>

Rondeau, K., Paillé, P., & Bédard, E. (2023). La confection d'un guide d'entretien pas à pas dans l'enquête qualitative. *Recherches qualitatives*, 42(1), 5-29.

Subrémon, H. (2011). *Anthropologie des usages de l'énergie dans l'habitat : Un état des lieux*. PUCA. [https://www.urbanisme-puca.gouv.fr/IMG/pdf/anthropologie des usages de l energie dans l habitat.pdf](https://www.urbanisme-puca.gouv.fr/IMG/pdf/anthropologie_des_usages_de_l_energie_dans_l_habitat.pdf)

Ville de Rosny-sous-Bois, & ENSAPLV. (2023). *Ventilation naturelle, respirer sans machine...* <https://topophile.net/rendez-vous/ventilation-naturelle-respirer-sans-machine-2/>

York, R. (2006). (A revoir) Ecological Paradoxes : William Stanley Jevons and the Paperless Office. *Human Ecology Review*, 13(2), 143-147.

Zélem, M.-C. (2016). Les effets pervers de la sobriété énergétique. *Revue des sciences sociales*, 55, 70-80.

Zimmer, A. (2013). *Brouillards mortels : Une histoire de la production de météores industriels, 19e/20e siècles : Le cas de la vallée de la Meuse* [Université de Strasbourg]. <https://theses.hal.science/tel-01941714/>

Liste des abréviations

ADEME : Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
AMI : Appel à la Manifestation d'Intérêt
APD : Avant Projet Définitif
ARI : Administration des Ressources Immobilières
CdT : Code du Travail
CEP : Consommation d'Énergie Primaire
CFD : Computational Fluid Dynamics (Dynamique des fluides numérique)
CoBrACE : Code Bruxellois de l'Air, du Climat et de la maîtrise de l'Énergie
CPEB : Certification de la Performance Énergétique des Bâtiments
DOE : Dossier des Ouvrages Exécutés
DPE : Diagnostic de Performance Energétique
DRI : Direction Recherche et Innovation
GIEC : Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'évolution du Climat
HQE : Haute Qualité Environnementale
ICEB : Institut pour la Conception Écoresponsable du Bâti
IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change (voir GIEC)
KLH : Panneau Bois Contrecollé (abréviation en allemand)
NR : Non Résidentielle
OCDE : Organisation de Coopération et de Développement Economique
OPEB : Ordonnance bruxelloise relative à la Performance Énergétique et au climat intérieur des Bâtiments
PEB : Performance Énergétique des Bâtiments
PSI : Plan Stratégique Infrastructures
RER : Réseau Express Régional
RFCP : Réseau Français de la Construction en Paille
RSDT : Règlement Sanitaire Départemental Type
STD : Simulation Thermique Dynamique
VMC : Ventilation Mécanique Contrôlée
VNRC : Ventilation Naturelle avec Récupération de Chaleur

Annexes

Liste des tableaux

Tableau 1 : Le terrain d'étude.....	14
Tableau 2 : Débit du RSDT – Tiré des tableaux du ministère de l'Éducation nationale.....	25
Tableau 3 : Débit du Code du Travail – Tiré de France Air.....	26
Tableau 4 : Réglementation en fonction du pays – Tiré de France Air.....	26
Tableau 5 : Qualité de l'air intérieur – tiré de la norme européenne NBN EN 13 779 (2007).....	28

Liste des illustrations

Illustration 1: La ventilation monolatérale – Sambre Ehrmann sur base d'une illustration tiré de ARENE Île-de-France, 2012.....	30
Illustration 2 : La ventilation transversale – Sambre Ehrmann sur base d'une illustration tiré de ARENE Île-de-France, 2012.....	31
Illustration 3 : Le capteur de vent – Sambre Ehrmann sur base d'une illustration tiré de ARENE Île-de-France, 2012.....	31
Illustration 4 : Attrape-vent de la ville de Yazd en Iran - Atta Kenare.....	32
Illustration 5 : Cheminée de tirage – Sambre Ehrmann sur base d'une illustration tiré de ARENE Île-de-France, 2012.....	32
Illustration 6 : La cheminée classique et la cheminée solaire – Sambre Ehrmann sur base d'une illustration tiré de ARENE Île-de-France, 2012.....	33
Illustration 7 : L'atrium – Sambre Ehrmann sur base d'une illustration tiré de ARENE Île-de-France, 2012.....	33
Illustration 8 : Le lycée Jean Jaurès - H. Abbadie.....	45
Illustration 9 : Saint-Clément-de-Rivière – Sambre Ehrmann.....	45
Illustration 10 : Plan de masse - Pierre Tourre.....	47
Illustration 11 : Etagère à lumière - H. Abbadie.....	48
Illustration 12 : Plan de situation et coupe du lycée Jean Jaurès – Pierre Tourre.....	50
Illustration 13 : La circulation de l'air dans le lycée Jean Jaurès – Sambre Ehrmann sur base d'une illustration tiré de Pierre Tourre.....	51
Illustration 14 : Le centre de loisirs - Juan Sepulveda.....	54
Illustration 15 : Rosny-sous-Bois – Sambre Ehrmann.....	54
Illustration 16 : Plan de masse - Mairie de Rosny-sous-Bois.....	56
Illustration 17 : Plan RDC - Mairie de Rosny-sous-Bois.....	61
Illustration 18 : Plan +01 - Mairie de Rosny-sous-Bois.....	61
Illustration 19 : Coupe de principe - Mairie de Rosny-sous-Bois.....	62
Illustration 20 : Coupe longitudinale - Mairie de Rosny-sous-Bois.....	62
Illustration 21 : Les échangeurs durant le chantier - Mairie de Rosny-sous-Bois.....	64
Illustration 22 : Les tours à vent - Mairie de Rosny-sous-Bois.....	64
Illustration 23 : La circulation de l'air dans le centre de loisirs Jacques Chirac - Sambre Ehrmann sur base d'une illustration tiré de la mairie de Rosny-sous-Bois.....	65
Illustration 24 : L'intérieur du centre - Juan Sepulveda.....	67
Illustration 25 : Le groupe scolaire Frida Kahlo - Compagnie Architecture.....	69
Illustration 26 : Bruges – Sambre Ehrmann.....	69

Illustration 27 : Perspective isométrique du groupe scolaire - Compagnie Architecture	71
Illustration 28 : Plan RDC - Compagnie Architecture.....	74
Illustration 29 : Plan +01 - Compagnie Architecture	75
Illustration 30 : Les différents conduits - Compagnie Architecture.....	76
Illustration 31 : Le réseau de canalisation - Compagnie Architecture.....	76
Illustration 32 : Une prise d'air - Compagnie architecture.....	77
Illustration 33 : La circulation de l'air dans le groupe scolaire Frida Kahlo- Sambre Ehrmann sur base d'une illustration tiré de Compagnie Architecture	78
Illustration 34 : L'espace Novateur - Florent Michel.....	81
Illustration 35 : Branges – Sambre Ehrmann	81
Illustration 36 : Plan RDC – Landfabrik	86
Illustration 37 : Coupe BB' – Landfabrik.....	86
Illustration 38 : Coupe CC' - Landfabrik	87
Illustration 39 : : Détails des fenêtres - Landfabrik.....	87
Illustration 40 : Les grilles de ventilation - Florent Michel.....	88
Illustration 41 : La circulation de l'air dans l'Espace Novateur Polyvalent- Sambre Ehrmann sur base d'une illustration tiré de Landfabrik.....	89
Illustration 42 : La barre, collage - OFFICE Kersten Geers David Van Severen	94
Illustration 43 : Liège – Sambre Ehrmann.....	94
Illustration 44 : Plan du contexte - OFFICE Kersten Geers David Van Severen.....	96
Illustration 45 : Répartition des usages - OFFICE Kersten Geers David Van Severen	96
Illustration 46 : Les étapes - OFFICE Kersten Geers David Van Severen.....	97
Illustration 47 : Vue du projet rue Ransonnet - OFFICE Kersten Geers David Van Severen	98
Illustration 48 : Plan RDC PU - OFFICE Kersten Geers David Van Severen.....	101
Illustration 49 : Plan +01 PU - OFFICE Kersten Geers David Van Severen	101
Illustration 50 : Plan +03 PU - OFFICE Kersten Geers David Van Severen	102
Illustration 51 : Coupe BB' PU - OFFICE Kersten Geers David Van Severen.....	102
Illustration 52 : Coupe HH' PU - OFFICE Kersten Geers David Van Severen.....	102
Illustration 53 : Coupe du bâtiment de la Barre, ventilation de type D - Sambre Ehrmann sur base d'une illustration tiré de OFFICE Kersten Geers David Van Severen	104
Illustration 54 : Coupe du bâtiment de la Barre, ventilation de type B - Sambre Ehrmann sur base d'une illustration tiré de OFFICE Kersten Geers David Van Severen	105
Illustration 55 : Plan du bâtiment de la barre +02, ventilation de type A - Sambre Ehrmann sur base d'une illustration tiré de OFFICE Kersten Geers David Van Severen	105

Guide d'entretien semi-directif

Guide d'entretien :

Adapter les questions en fonction des informations glanées en amont (cf. le site Internet de l'agence) afin de ne pas perdre trop de temps durant l'entretien. Cela concerne en particulier les informations générales sur le bureau.

1. Qui est la personne interrogée

- Pouvez-vous me parler de votre parcours professionnel ?
- Quelles formations avez-vous suivies ? Une / des formations spécifiques en environnement, techniques, PEB, etc. ?
- Vous définiriez-vous comme une personne soucieuse/attentive à la protection de l'environnement ? Pourquoi / en quoi ?
- En dehors de (étude de cas), est-ce que vous avez réalisé d'autres projets avec de la ventilation naturelle ?

2. Le bureau

- Quand le bureau a-t-il été créé et comment a-t-il évolué depuis lors ?
- Sur quels types de projets travaillez-vous habituellement (privé/public, neuf/rénovation, social/ moyen/ standing, taille, budget, situation géographique, etc.) ?
- Pourriez-vous me définir, en quelques mots, la posture de l'agence en matière d'environnement ?

3. Rapports généraux à la ventilation naturelle

- Depuis quand votre agence a-t-elle développé un intérêt pour la ventilation naturelle ?
- Quelles en ont été les impulsions ?
- Avez-vous ou l'un de vos collaborateurs suivis une ou des formations spécifiquement liées à ce type d'installation / mécanique des fluides / déplacement de l'air ?
 - o Si oui, lesquelles ? Quels ont été les apports de cette formation ?
- Quelles sont les principaux atouts d'une ventilation naturelle ?

4. Rapport aux politiques publiques et conformité

- Quelles sont les réglementations françaises qui encadrent la ventilation dans les bâtiments X (scolaires / tertiaires / ... à adapter en fonction du cas d'étude concernés) ?
 - o Favorisent-elles la ventilation mécanique ?
 - o Permettent-elles la ventilation naturelle ; si oui, à quelles conditions ?

5. Le choix de la ventilation naturelle dans le cas d'étude

- Pourquoi avoir choisi la ventilation naturelle dans le cadre de ce projet ?

- Ce choix est-il arrivé dès les premières phases de la conception ? Si non, quand ? Pouvez-vous m'en dire plus ?
- Quelles sont, selon vous, les spécificités ou contraintes propres aux bâtiments d'enseignement en matière de ventilation naturelle ?
- Pouvez-vous me décrire le système de ventilation naturelle que vous avez mis en place ?
 - o Pourquoi avez-vous choisi celui-ci ?
 - o Le système a-t-il été adapté au fil de la conception ? Si oui en quoi et pourquoi ?
- Avez-vous dû réaliser des démarches spécifiques pour concevoir ce système de ventilation naturelle ?
 - o Quelles études ou simulations (CFD pour les flux d'air ?) avez-vous réalisées pour valider les choix de ventilation naturelle ? Utilisez-vous des logiciels spécifiques ?
 - o Quels ont été les principaux défis techniques rencontrés pour répondre aux exigences des espaces d'enseignement (par exemple, circulation de l'air dans les amphithéâtres, salles de cours, laboratoires) ?
 - o Comment avez-vous pris en compte les variations climatiques locales dans la conception de la ventilation naturelle pour un bâtiment d'enseignement supérieur ? (Préchauffage de l'air ?)
 - o La ventilation naturelle a-t-elle été pensée en tenant compte de la variation des flux d'occupation (heures de cours, pauses, périodes d'examens) ?
- Quels sont les impacts de la ventilation naturelle sur la conception des espaces (dimensionnement, spatialité, matérialité...)?
- Avez-vous dû mener des démarches spécifiques pour avoir le droit de mettre en place ce système de ventilation naturelle (auprès du MO et des pouvoirs publics) ?
 - o Si oui : lesquelles et est-ce que ce fut facile ?

6. Rapports aux autres professionnels

- Qui sont les autres acteurs (bureaux, conseil...) qui ont travaillé avec vous sur la mise au point de la ventilation naturelle dans ce projet ?
- Comment se sont déroulés les échanges ?

7. Suivi et évaluation post-construction

- Avez-vous effectué des tests ou un suivi post-construction pour évaluer l'efficacité de la ventilation naturelle dans le bâtiment (impacts sur qualité de l'air, confort thermique...) ?
 - o Si oui : les résultats sont-ils similaires à ce qui était prévu ?
- Y a-t-il eu des retours de la part des usagers (étudiants, enseignants) concernant le confort et la qualité de l'air dans le bâtiment ?
 - o Si oui : à quels sujets ?
- Est-ce que le bâtiment nécessite-t-il des entretiens spécifiques pour garantir l'efficacité de la ventilation naturelle ?
 - o Si oui, lesquels ?
- Comment évaluez-vous la durabilité de cette solution par rapport à une VMC ? A-t-elle permis des économies d'énergie ? Disposez-vous de données chiffrées ou d'estimations à ce sujet ?