Vers une école sans chauffage
Adaptabilité de la construction et des occupants

Travail de fin d'étude en et sur l'architecture

Étudiant : Astrid Siraut

Promoteur-expert : Maria Beatriz Piderit
Co-promoteurs : G. Van Moeseke, B. Thielemans

UCLouvain
Faculté d'architecture, d'ingénierie architecturale et d'urbanisme (site Bruxelles)

Remerciements

Je remercie mes co-promoteurs Mr Van Moeseke et Mr Thielemans qui m'ont guidée tout au long de ce travail en partageant leur expérience et en faisant part de leurs conseils avisés.

Además, agradezco la professora Piderit por su amabilidad y su hospitalidad en la Universitad de Bio-Bio. He tenido la opportunidad de descubrir el universo muy interessante del Magister en Sustenabilidad y su doctorantes. La agradezco por compartir su experiencia y sus investigaciónes conmigo. Espero volver a Concepción en tiempos mejores.

Je remercie également les différentes personnes que j'ai pu rencontrer dans le cadre de ce travail. Je pense notamment à Yves Claessens, Pierre Somers et Shady Attia avec qui j'ai pu avoir des conversations interpelantes et enrichissantes.

Par ailleurs, je tiens à remercier mes proches qui m'ont soutenue tout au long de mon parcours dont ce travail est l'aboutissement. Je remercie particulièrement Mme Regout pour sa relecture minutieuse.

Enfin, je souhaite remercier mes collègues et amis de l'atelier d'architecture pour les moments partagés ainsi que les discussions enrichissantes que nous avons pu avoir au fil des années.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION 9

PARTIE 1 : CONTEXTE 13

1. CONFORT 14
Définition 14
Les quatre grandeurs physiques du confort 15
Conséquences de l'inconfort 17
Les méthodes d'évaluation du confort 18
La dimension dynamique et les modèles de confort 18
Le confort adaptatif 19
Les exigences de confort dans le bâtiment (général) 21
2. PERFORMANCES ENERGETIQUES DU BATIMENT 23
Introduction 23
Définition 23
Les 3 dimensions de l'énergie en construction 24
Normes 24
Les caractéristiques des bâtiments à hautes performances énergétiques 26
3. LE MILIEU SCOLAIRE 29
Besoin de nouvelles écoles 29
Pédagogies existantes et émergentes 30

PARTIE 2 : CONSTAT 34

1. CONFORT À L'ÉCOLE PRIMAIRE 35
L'importance de l'ambiance intérieure à l'école 35
Le métabolisme de l'enfant 35
Les normes d'ambiance à l'école 38
2. PERFORMANCES ÉNERGÉTIQUES À L'ÉCOLE 39
Consommation énergétique des bâtiments scolaires 39
Standard Passif pour de nouvelles écoles belges 40
Conclusions et pistes futures 43
3.L'IMPACT DE LA PÉDAGOGIE SUR L'ARCHITECTURE 44
Le troisième enseignant 44
Les caractéristiques spatiales des écoles à pédagogie active 44
Projet participatif et investissement 45
La classe d'une *forestschool* en milieu rural 45
L'école en milieu urbain 46
Conclusions, questionnement et pistes futures. 47
4. LE CAS DES ÉCOLES CHILIENNES 48
Climat 48
Statut de l'éducation et des bâtiments scolaires 48
Conséquences sur le confort 48
5. RÉFÉRENCES 50
Introduction et méthode 50
Institut Immaculée Montjoie Anderlecht TRAIT Architects 52
Ludesch Community Center, Germany – HK architekten 55
L'École des Bruyères Louvain-la-Neuve École du Dehors 57
École communale de Nassogne (Grune) : École du Dehors 59
Osthang Project, Germany - Bow Wow 62
6. CONCLUSIONS ET CONSTAT (+ENJEUX) 64
Constat 64
Prise de position 64

PARTIE 3 : RECHERCHE 66

1. UTOPIE 67
Introduction 67
Visions 67

Enjeux 67
Méthode 68
2. Éléments 69
Degré de fermeture à l'extérieur 70
Activités scolaires 74
Les groupes scolaires 78
Temps 80
3. Assemblage des éléments 82
Programme 82
Organisation 84
4. Prototype architectural et scolaire 88
Adaptation de l'enveloppe 88
Une construction qui s'adapte au climat 92
Des espaces qui s'adaptent à l'enfant 96
Une école qui s'adapte 97
Un enfant qui s'adapte 98
Une gestion des techniques qui s'adapte 98
5. Conclusions sur la recherche 99

PARTIE 4 : VÉRIFICATION 101

1 : Introduction 102
Méthode 102
Objectifs 102
Interprétation des résultats 102
2. Modélisation du projet 104
Géométrie 104
Paramètres modélisés : 104
Modélisation 1 107
3. Stratégie été 108
Modélisation 2 : ajout de protections solaires et ventilation nocturne 108
Modélisation 3 : Ouverture du couloir en été 109
Modélisation 4 : Activités extérieures selon les saisons 111
3. Stratégie Hiver 112
Modélisation 5 : Stratégie hivernale : activité physique 112
Modélisation 6 : Stratégie hivernale : Récupérateur de chaleur 113
Modélisation 5 : Ajout de masse et inertie 115
4. Conclusions sur la vérification 116

PARTIE 5 : PROJET D'ARCHITECTURE 118

1. Implantation 118
Plan masse commun : La friche de la Gare de l'Ouest 118
2. Intégration du protoype 121
Volumes 121
Programme et taille 122
Caractéristiques d'une maison 122
3. Volume communautaire 122
Programme 122
Pavillons 122
Structure 123
Enveloppe 123
4. Conclusion sur le projet d'architecture 123

CONCLUSION DE LA RECHERCHE 126

Bibliographie 127

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 Organisation du travail (source auteur) 11
Figure 2 Relation entre Température opérative, Humidité relative et plage de confort (source Center for the built environment, University of CaliforniaBerkeley) 16
Figure 3 Courbes NR, source Energie+ 17
Figure 4 Les échelles de la sensation thermique (source INSA LYON) 18
Figure 5 Relation entre PPD et PMV (Service public fédéral) 19
Figure 6 mécanismes adaptatifs, source de Baere 2003 20
Figure 7 Relation entre confort et index socio-economique SINAE, source Right to confort 21
Figure 8 Exigences PEB 25
Figure 9 Valeur U pour exigences PEB (annexe du tableau précédent) 26
Figure 10 Exigence standard passif (source Plate-forme Maison Passive) 26
Figure 11Evolution et perspective de la population des écoles primaires source CFWB 29
Figure 12 Capacité d'accueil relative dans le primaire à Bruxelles (Source IBSA) 30
Figure 13 Métabolisme adulte-enfant (source VAN PRAAGH) 37
Figure 14 Respiration de l'enfant (Van Moeseke) 37
Figure 15 Horaire d'occupation journalier (source Attia) 39
Figure 16 Audit mené dans 30 écoles sur base de leur consommation d'énergie (source Attia) 42
Figure 17 Tous dehors CRIE fourneau St Michel 46
Figure 18 Climats chiliens source World Köppen Classification 48
Figure 19 Ecole passive IMMI Anderlecht 52
Figure 20 Implantation IMMI source TRAIT 52
Figure 21 Plan d'étage 52
Figure 22 Coupe et ventilation 53
Figure 23 HKArchitekten Bruno Klomfar 55
Figure 24 Implantation HKArchitekten 55
Figure 25 Vue de l'école (source : www.bruyeres.be) 57
Figure 26 Implantation (source: Google Maps) 57
Figure 27 Classe de primaire (source : www.bruyeres.be) 58
Figure 28 École Eco Sympa en façade de l'école (photo de l'auteur) 59
Figure 29implantation Ecole de Grune (source Google Maps) 59
Figure 30 collation en forêt (source TVLux) 60
Figure 31 Osthang Project Bow Wow 62
Figure 32 Osthang Project Bow Wow 63
Figure 33 Osthang Project Bow Wow 63
Figure 34 École des Bruyères 70
Figure 35 TEZUKI Kindergarden Japan 70
Figure 36 Abri Life-Elia, Nassogne (photo de l'auteur) 71
Figure 37 Osthang Bow Wow 71
Figure 38 De Vonk Knokke (source ArchDaily) 72
Figure 39 Ecole de l'Etoile, Quebec (source Lab Ecole) 72
Figure 40 Classe de 3e primaire (photo de l'auteur, école des bruyères) 73
Figure 41 HKArchitekten Bruno Klomfar 73
Figure 42 Groupes scolaires 79
Figure 43 Organigramme selon degré de fermeture (source auteur) 85
Figure 44 Organigramme selon le groupe scolaire (auteur) 86
Figure 45 Multiplicité du prototype (élaboration de l'auteur) 87
Figure 46 Coupe du projet (élaboration de l'auteur) 88
Figure 47 Composition des parois (élaboration de l'auteur) 89
Figure 48 Coupe détail du mur extérieur fortement isolé, échelle 1:50 (élaboration de l'auteur) 90
Figure 49 Coupe détail de l'enveloppe peu isolée, échelle 1:50 (élaboration de l'auteur) 92
Figure 50 ambiance chaude au Sud 92
Figure 51 Stratégie hiver (fermé) et été (ouvert) (élaboratin de l'auteur) 93
Figure 52 Protections solaires 94
Figure 53 Multiplicité d'espaces 97

FIGURE 54 TEMPÉRATURE EXTÉRIEURE, JUIN, BRUXELLES 103
FIGURE 55 TEMPÉRATURE EXTÉRIEURE, DÉCEMBRE, BRUXELLES 103
FIGURE 56 MODÉLISATION GÉOMÉTRIE PROPOSÉE 104
FIGURE 57 MODÉLISATION 1 BLEU: CLASSE, ORANGE: ANTICLASSE, ROUGE : COULOIR 108
FIGURE 58 MODÉLISATION 2. ORANGE : CLASSE, BLEU : ANTICLASSE, ROUGE : COULOIR 109
FIGURE 59 MODÉLISATION 3 ORANGE : CLASSE, BLEU: COULOIR 110
FIGURE 60 MODÉLISATION 3. JOURNÉE DE JUIN. ORANGE:CLASSE, BLEU:ANTICLASSE, NOIR : INFILTRATION D'AIR (VENTILATION) ... 111
FIGURE 61 MODÉLISATION 4. ORANGE:CLASSE, BLEU: ANTICLASSE, VERT: GAINS INTERNES D'OCCUPATION PERSONNELLE 112
FIGURE 62 MODÉLISATION 5. ORANGE CLASSE, ROUGE ANTICLASSE, BLEU COULOIR 113
FIGURE 63 MODÉLISATION 6 ORANGE: CLASSE, BLEU:ANTICLASSE, ROUGE: COULOIR 114
FIGURE 64 MODÉLISATION 6 PROFIL D'UNE JOURNÉE DE DÉCEMBRE 115
FIGURE 65 SIMULATION 7. ORANGE:CLASSE, BLEU:ANTICLASSE, ROUGE:COULOIR 116
FIGURE 66 SITUATION ACTUELLE (ÉLABORATION GROUPE) 119
FIGURE 67 PLAN MASSE : SÉQUENCE ET LIAISONS (ÉLABORATION DE GROUPE) 120

INTRODUCTION

L'école primaire, un passage inévitable pour l'enfant en pleine croissance. Le mot « école » incarne plusieurs définitions et chacun relève les réalités qui concernent son domaine.

Dans le domaine de la construction, l'école représente un bâtiment scolaire. L'on y parle de matériaux et d'équipements mis en œuvre selon un cahier des charges. Pour les pédagogues, il s'agit plutôt d'espaces éducatifs contribuant au développement de l'enfant. L'on relève l'importance du programme pédagogique et les activités mises en place. Dans le domaine de la santé et de l'éducation, on impose des conditions physiques d'ambiance intérieure en vue d'augmenter le confort et les performances cognitives. Les urbanistes considèrent l'école comme un noyau communautaire qui contribue à la vie de quartier. On souligne l'ouverture sur le quartier, l'environnement et la mobilité. Du point de vue parental, l'on décrit l'école par ses enseignants et la qualité de l'enseignement. Enfin, dans le domaine environnemental, on considère l'école comme un gouffre énergétique par rapport aux heures d'inoccupation. Ceci n'est pas une liste exhaustive.

Chaque domaine professionnel a sa propre définition de l'école et essaie d'améliorer l'expérience scolaire selon ses enjeux. Lors de la conception et réalisation de l'école primaire, l'architecte doit explorer toutes les dimensions abordées, comprendre toutes les préoccupations et les différents enjeux et les intégrer dans la conception. Il s'agit dès lors d'un travail complet et **pluridisciplinaire**.

Par ailleurs, le travail s'inscrit dans un projet collaboratif[1] réunissant entre autres l'UCLouvain et l'Université de Bio-Bio au Chili. Malgré des situations différentes, les établissements scolaires situés au Chili et en Belgique sont confrontés à des enjeux similaires, entre autres optimiser le design en termes de confort et de consommation énergétique. Il est intéressant de comprendre les enjeux architecturaux ainsi que les solutions proposées au Chili. Le projet a alimenté les réflexions lors d'un court séjour à l'Université de Bio-Bio ainsi que par des recherches à distance.

L'ambition du travail est de proposer une école sans chauffage. Il amorce le dialogue entre le bâtiment et l'environnement extérieur ainsi qu'entre le bâtiment et son occupant principal : les enfants. Le travail prend du recul par rapport aux pratiques actuelles en matière d'écoles et de performances énergétiques.

Le travail est avant tout une **recherche expérimentale**. Il a pour objectif de proposer une alternative sans chauffage à l'école d'aujourd'hui. Pour cela, il est important de prendre du recul et de faire abstraction de certaines connaissances acquises. La suppression du chauffage impose une approche différente du confort sans perdre de vue les objectifs pédagogiques. Nous verrons en quoi ces dimensions sont étroitement liées, ce qui rend l'utopie prometteuse.

Cet ouvrage propose un **outil de conception** pour l'école primaire ainsi qu'un **prototype.** Se voulant quantitatif, le module est modélisé énergétiquement pour en évaluer l'ambiance thermique. La dualité du travail permet par ailleurs de matérialiser la recherche théorique par l'intégration du prototype dans un **projet d'architecture.**

Le travail se compose de **5 parties :**

---

[1] HERES – Healthy and Resilient Schools : Projet collaboratif entre l'UCLouvain, l'ULiège, l'Universidad del Bio-Bio, perspective.brussel et soutenu par Wallonie-Bruxelles International.

Tout d'abord il est important de faire connaissance avec le **contexte** pluridisciplinaire dans lequel s'intègre la recherche. La première partie du travail aborde les trois grandes thématiques de manière synthétique afin d'offrir au lecteur la compréhension nécessaire pour la suite de la lecture. Premièrement nous verrons que l'ambiance intérieure garantit le confort des enfants et améliore les performances cognitives. Nous analyserons ensuite les performances énergétiques des bâtiments scolaires et le besoin de baisser les consommations d'énergie. Enfin, nous présenterons les programmes de pédagogie active qui encouragent le développement de l'enfant dans un environnement extérieur et naturel. Cette partie permet de comprendre les **enjeux du travail**, elle peut être un rappel superflu au lecteur aguerri, ce dernier est dès lors invité à passer à la partie suivante.

Dans la deuxième partie, le travail s'intéresse de plus près aux thématiques de confort, d'énergie et de pédagogie appliquées à l'école primaire à travers la littérature, des rencontres enrichissantes et des références d'architecture. Nous constatons alors les possibilités et manquements des approches passées et présentes. Cette partie permet de dresser un **constat** de la problématique. Elle intègre l'étude de références architecturales et scolaires. La collection de références permet au lecteur d'établir un état des lieux de la problématique à partir de cas concrets. Les références sont sélectionnées en vue d'alimenter la recherche de manière complémentaire.

Dans un objectif triple d'optimiser les performances énergétiques du bâtiment tout en proposant une autre approche de confort et en assurant un cadre scolaire optimal pour le développement de l'enfant, le travail énonce une **utopie : l'école sans chauffage.**

La troisième partie **recherche** les possibilités pour réaliser l'utopie. C'est dans cette partie que nous faisons abstraction de nos certitudes à propos du milieu scolaire. L'outil de conception décortique les espaces éducatifs, les conditions d'ambiance intérieure, les constructions architecturales et les activités scolaires. **L'assemblage** de ces **éléments** permettra de concevoir un **prototype** d'école composé de modules. Dans chaque module, une activité sera associée à un degré de confort thermique et à un modèle constructif. Cela vise à optimiser les performances énergétiques du bâtiment ainsi que l'apprentissage et le développement de l'enfant.

La **modélisation énergétique** permet de **vérifier** l'ambiance thermique du prototype. La quatrième partie de cet ouvrage est consacrée à la modélisation par itération des modules proposés plus tôt. Dans cette partie, il sera possible de comparer l'ambiance thermique de différents détails constructifs, horaires et équipements présents. Cela permettra également de comprendre le cheminement de la recherche.

L'intégration de la recherche théorique dans un **projet d'architecture** permet de matérialiser le prototype. Il s'agit de la cinquième partie de cet écrit. D'une part, il s'agira de la mise en œuvre du prototype proposé, d'autre part, l'implantation dans un contexte défini soulèvera de nouveaux enjeux et contraintes propres au site.

Enfin, Nous pourrons conclure en répondant à la question initiale : est-il possible de concevoir une école primaire sans chauffage qui réponde aux objectifs d'une telle institution ? C'est à dire dispenser un enseignement de qualité, sociabiliser les enfants entre eux et dans la communauté du quartier, les ouvrir au monde extérieur et les rendre curieux mais aussi les rendre responsables de la préservation de l'environnement et les amener à s'adapter aux différentes ambiances selon les saisons et les activités proposées.

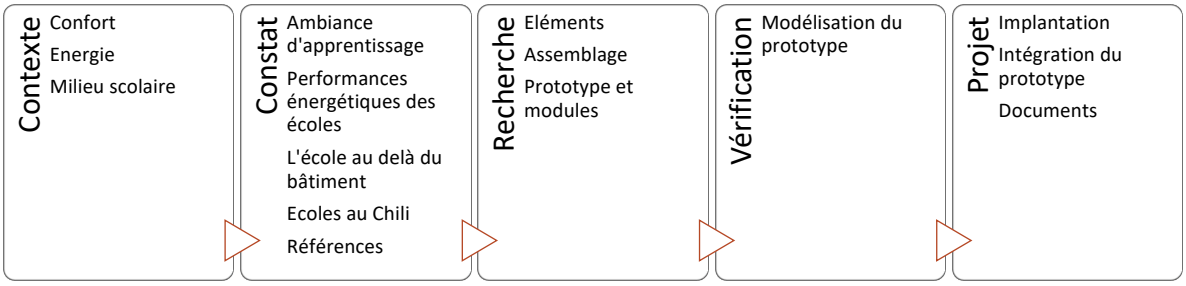


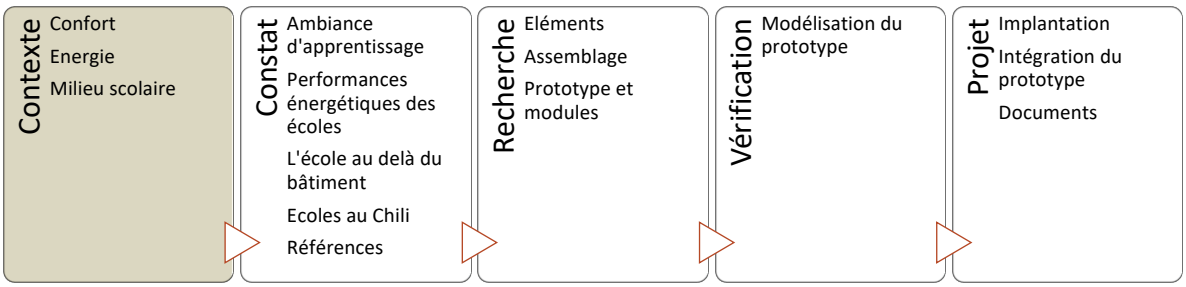
Figure 1 Organisation du travail (source auteur)

PARTIE 1 : CONTEXTE

Le projet aborde trois grandes thématiques : le confort et les conditions d'ambiance intérieure, l'énergie et les performances énergétiques du bâtiment et enfin le milieu scolaire et les différentes pédagogies actives.

Avant de se plonger dans la recherche, il est nécessaire de faire connaissance avec les thématiques.

Cette partie théorique se veut à la fois synthétique et explicative afin de permettre au lecteur de comprendre les notions générales. Celles-ci seront des rappels superflus pour le lecteur aguerri qui pourra passer directement à la deuxième partie.



1. CONFORT

Dans ce chapitre, nous parcourons les connaissances existantes en matière de confort. Nous présenterons les variables et leurs interactions afin de caractériser les besoins de l'être humain. Nous analyserons les différents paramètres et caractéristiques physiologiques, psychologiques et physiques qui influencent la perception du confort. Cette analyse permettra la compréhension générale du confort ainsi que la mise en œuvre des phases suivantes de la recherche.

DEFINITION

Le « confort » est un terme très général. On l'utilise souvent sans en comprendre la complexité. En terme de définition de la langue française, on peut comprendre le confort comme une sensation de bien-être matériel ou immatériel. En termes architecturaux, la quête de confort dans les espaces intérieurs est devenu une préoccupation grandissante. Le confort est caractérisé par quatre grandeurs physiques : le confort thermique, le confort visuel, le confort acoustique et le confort respiratoire. Nous ne pouvons dissocier ces quatre grandeurs qui contribuent ensemble à la qualité de l'ambiance intérieure.

Parmi les grandeurs de confort, on s'intéresse souvent uniquement au confort thermique et on résume celui-ci à la température ambiante. Une température intérieure de 20° suffira alors à offrir à l'occupant un degré de confort satisfaisant. Cependant, le confort est bien plus complexe que cette simplification.

Les sensations de confort et d'inconfort améliorent et altèrent l'expérience de l'espace vécu mais ont également un impact sur la santé des occupants. La qualité d'ambiance intérieure génère des bienfaits pour la santé des occupants et améliore leur productivité dans les lieux de travail. Dès lors, le confort constitue une exigence reconnue dans les bâtiments. Cette demande est soutenue par des normes et réglementations qui permettent d'assurer la conformité des ambiances intérieures aux exigences de confort.[2]

Pour comprendre le confort, il faut tout d'abord comprendre le corps humain. Malgré des prédispositions communes à l'être humain, chaque personne réagit différemment à une situation donnée. En effet, le confort est un ressenti de bien-être, il est dès lors subjectif et variable. Il n'est pas possible de quantifier précisément les exigences d'ambiance intérieure qui vont procurer un bien-être absolu pour une personne lambda. Le taux de satisfaction de cette personne dépendra de ses prédispositions personnelles ainsi que de ses capacités d'adaptation. Lors des recherches pour modéliser le confort, il a fallu prendre en compte ces paramètres personnels évolutifs, il s'agit des théories du confort adaptatif.

A titre d'exemple, une personne ayant vécu toute sa vie dans un climat froid sera moins sensible à des températures fraiches. De même, à court terme, on ressentira un éblouissement visuel plus important en passant d'une pièce sombre à une pièce éclairée qu'en restant uniquement dans la deuxième pièce éclairée.

---

[2] MOUJALLED, *Modélisation dynamique du confort thermique dans les bâtiments naturellement ventilés,* INSA LYON, 2007.

On ne peut donc pas définir le confort thermique dans l'absolu car il dépend du contexte et des caractéristiques individuelles. Il peut être conçu comme un processus adaptatif dynamique qui intègre les différents mécanismes physiques, physiologiques et psychologiques. [3]

LES QUATRE GRANDEURS PHYSIQUES DU CONFORT

Comme annoncé précédemment, le confort est réparti en quatre grandeurs physiques. Il s'agit du confort thermique, respiratoire, visuel et acoustique. Dans cette recherche, nous nous concentrerons sur le confort thermique et respiratoire. Ceux-ci sont indissociables. Pour cause, la température de l'air et la qualité de l'air sont étroitement liées. Les dimensions visuelles et acoustiques du confort seront abordées plus brièvement, s'appuyant sur des concepts connus.

Le confort thermique

… est la sensation thermique dans un environnement.

Il est habituellement lié à six paramètres [4]

- La température ambiante de l'air (Ta).
- La température moyenne des parois (Tp).
- L'humidité relative de l'air (HR), qui est le rapport entre la quantité d'eau contenue dans l'air à la température Ta et la quantité maximale d'eau contenue à la même température. (%)
- La vitesse de l'air qui influence les échanges de chaleur par convection.(m/s)
- La résistance thermique aux échanges de chaleur entre le corps et l'environnement. L'on considère principalement l'habillement comme résistance thermique.
- Le métabolisme humain producteur et régulateur de chaleur. Le métabolisme d'une certaine activité s'ajoute au métabolisme du corps au repos.

Le confort thermique est souvent associé uniquement à la température ambiante en négligeant les autres paramètres. Cependant, ceux-ci sont complémentaires et contribuent ensemble à la sensation de confort thermique. Ci-dessous, la relation entre confort thermique et humidité relative de l'air.

---

[3] MOUJALLED, *Modélisation dynamique du confort thermique dans les bâtiments naturellement ventilés,* INSA LYON, 2007.

[4] ENERGIE PLUS, *Les 6 paramètres traditionnels du confort thermique*, - en ligne :<https://energieplus-lesite.be/theories/confort11/le-confort-thermique-d1/>[03.04.2020].

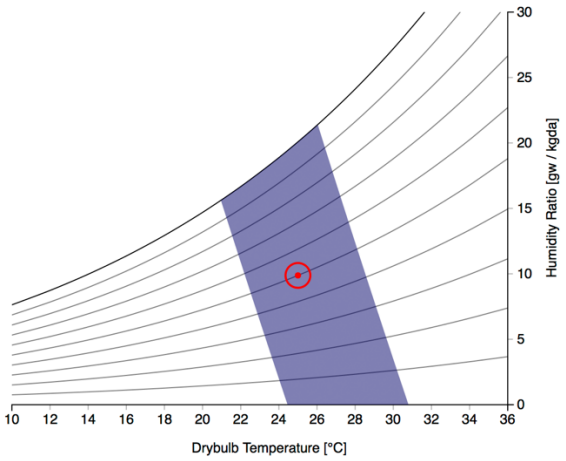


Figure 2 Relation entre Témpérature opérative, Humidité relative et plage de confort (source Center for the built environment, University of CaliforniaBerkeley)

Le confort respiratoire

… est la qualité de l'air dans un environnement.

Il est lié à

- la qualité de l'air
- la présence de polluants dans l'air.

Les polluants présents dans l'air ambiant peuvent être entre autres émis par le corps humain (respiration), par une activité particulière (gaz divers), par l'environnement extérieur (par exemple la pollution) ou par le bâtiment (à travers les matériaux). C'est pourquoi la qualité de l'air est caractérisée par le taux de renouvellement d'air qui permet l'évacuation de ces polluants. En respirant, l'occupant émet du CO_2. La qualité d'air se mesurera dès lors en taux de CO_2 en % ou ppm. Le taux de renouvellement d'air se calcule en m^3/h par personne.

Par ailleurs, l'humidité ambiante de l'air influence lui aussi le confort respiratoire. Si l'humidité n'est pas directement liée à la qualité de l'air, elle affecte les conditions d'ambiance intérieure. D'une part, l'humidité est à l'origine de développements bactériologiques et de moisissures, d'autre part, un air sec engendre des difficultés respiratoires.

Le confort acoustique

… est la sensation de bruit dans un environnement.

Il se mesure en pression acoustique (dB). Il est influencé par l'isolation acoustique, la conception géométrique et matérielle de l'ambiance. L'oreille humaine est différemment sensible aux différentes fréquences d'ondes. C'est pourquoi il n'est pas possible de définir un niveau maximum standard de pression acoustique à ne pas dépasser. Les courbes d'évaluation du bruit plus communément appelées courbes NR (Noise Rating) expriment les niveaux de bruit maximum selon les fréquences.[5]

---

[5] ENERGIE PLUS, *Les 6 paramètres traditionnels du confort thermique*, - en ligne :<https://energieplus-lesite.be/theories/confort11/le-confort-thermique-d1/> [03.04.2020].

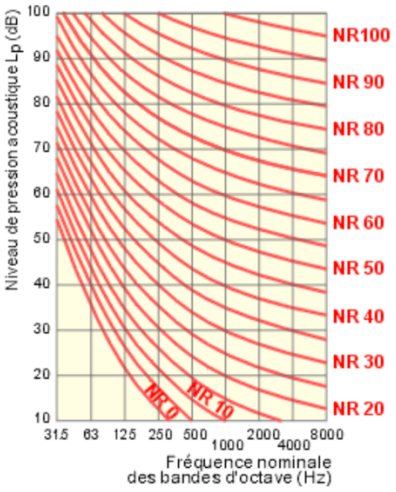


Figure 3 Courbes NR, source Energie+

Le confort visuel

… est la sensation visuelle dans un environnement.

Il est caractérisé par

- le niveau d'éclairement exprimé en (lux)
- L'uniformité de l'éclairement (Emin/Emoy)
- L'éblouissement (Daylight Probability Glare DGP %)
- L'apport de lumière naturelle par rapport à la lumière totale. (%)

CONSEQUENCES DE L'INCONFORT

Les caractéristiques d'ambiance intérieure contribuent au sentiment de satisfaction ou de gêne. En outre, dans les lieux de travail l'ambiance intérieure impacte les performances cognitives de travail. A plus long terme, l'ambiance intérieure impacte la santé des occupants. [6]

L'inconfort peut se ressentir de multiples façons et à différents degrés d'intensité. [7]

Inconfort thermique :

- Courant d'air froid ou chaud
- Sensation de froid qui produit de l'agitation
- Sensation de chaleur qui produit de la somnolence
- Air trop humide ou trop sec

Inconfort respiratoire

- Intoxication aux polluants
- Maux de tête

---

[6] ROULET, *Well being and energy in building, an architectural issue,* EPFL, 2018.

[7] ENERGIE PLUS, *Les 6 paramètres traditionnels du confort thermique*, - en ligne :<https://energieplus-lesite.be/theories/confort11/le-confort-thermique-d1/> [03.04.2020].

- Difficultés respiratoires
- Développement d'allergies
- Irritation respiratoire

Inconfort visuel

- Éblouissement direct et aveuglement
- Trop sombre et difficulté de la vision
- Lumière monotone et perte de compréhension trois dimensionnelle
- Problèmes de vue demandant plus de concentration pour voir la même chose
- Fatigue visuelle
- Maux de tête

Inconfort acoustique

- Difficulté de compréhension qui demande plus de concentration
- Pollution sonore
- Bruits d'impact
- Maux de tête et fatigue

LES METHODES D'EVALUATION DU CONFORT

Le confort étant un sensation ressentie, il est difficile d'évaluer celui-ci. Différentes échelles de satisfaction ont été développées afin de pouvoir se situer personnellement dans une situation d'inconfort, situation neutre ou situation confortable. La figure 3 présente les deux échelles largement utilisées : celle de Bedford (à gauche) et celle de l'ASHRAE (à droite). La différence principale entre ces deux échelles est l'intégration de la situation neutre dans l'échelle de l'ASHRAE. L'échelle de Bedford quant à elle confond la sensation et l'agrément. L'agrément est une condition externe qui affecte la satisfaction relative (voir adaptation psychologique) [8]

L'échelle de Bedford		L'échelle de l'ASHRAE	
7	Très chaud	7 (+3)	Très chaud
6	Chaud	6 (+2)	Chaud
5	Confortablement chaud	5 (+1)	Légèrement chaud
4	Confortable	4 (0)	Neutre
3	Confortablement froid	3 (-1)	Légèrement froid
2	Froid	2 (-2)	Froid
1	Très froid	1 (-3)	Très froid

Figure 4 Les échelles de la sensation thermique (source INSA LYON)

LA DIMENSION DYNAMIQUE ET LES MODELES DE CONFORT

Nous avons compris que le confort ne pouvait se traduire par une valeur fixe applicable en toutes circonstances. Les chercheurs ont essayé d'intégrer cette dimension dynamique afin de développer plusieurs modèles de confort. Grâce à l'observation, à des questionnaires de ressenti et des

[8] MOUJALLED, *Modélisation dynamique du confort thermique dans les bâtiments naturellement ventilés,* INSA LYON, 2007.

approches in situ, cela sous plusieurs conditions climatiques et annuelles, ils ont pu établir des relations entre un environnement donné et le taux de satisfaction.

Les modèles de confort permettent d'établir des plages de confort dans lesquelles une majorité de la population se sent satisfaite. Parmi les différents modèles de confort existants, nous développons le modèle PMV créé par Fanger, largement répandu et adopté dans les normes européennes.

L'indice PMV (Predicted Mean vote) est un indice qui évalue la valeur du climat moyen dans lequel une majorité de personnes seront satisfaites. Il considère l'échelle ASHRAE ci-dessus. L'indice PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) fournit quant à lui une évaluation quantitative du nombre de personnes insatisfaites dans un certain climat.

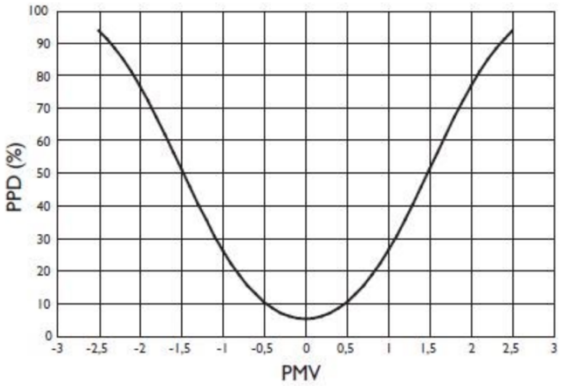


Figure 5 Relation entre PPD et PMV (Service public fédéral)

L'on remarque que dans le climat optimal (0, ni chaud ni froid) , il y a 5% de PPD. Autrement dit, l'on tolère 5% d'insatisfaits. [9]

LE CONFORT ADAPTATIF

La satisfaction par rapport à l'ambiance est le résultat d'une équation complexe comprenant évidemment les grandeurs physiques mais également des aspects comportementaux et psychologiques. Le corps humain possède une capacité d'adaptation par rapport à une situation donnée et cette capacité influence son interprétation et la satisfaction par rapport à cette situation. Les modèles de confort tels que le PMV intègrent ces concepts d'adaptation.

Au niveau physique, le corps a une capacité physiologique d'adaptation aux conditions changeantes. Entre autres, l'autorégulation physique pour chaque grandeur (autorégulation thermique, visuelle, acoustique…). Ainsi, notre corps s'habitue à l'environnement et notre sensation de confort augmente.

Au niveau comportemental, l'occupant a une certaine capacité d'action sur son environnement. Nous pouvons différencier les actions sur le bâtiment, sur l'activité et sur l'habillement. Les actions sur le bâtiment comprennent la fermeture d'un ouvrant, l'allumage d'un appareil, la tension d'un store, l'allumage de l'éclairage électrique, etc. Une action sur l'activité entraine un changement dans le rapport du corps avec l'environnement. Par exemple, le fait de faire une activité physique accélère

[9] BESWIC, CENTRE BELGE SUR LE BIEN-ETRE AU TRAVAIL, *Indice PMV-PPD de confort thermique*, - en ligne :< https://www.beswic.be/fr/themes/agents-physiques/ambiances-thermiques/indices-de-confort-et-de-contrainte-thermique/indice-pmv-ppd-de-confort-thermique>[08.03.2020].

le rythme cardiaque et produit plus de chaleur. Enfin, l'action sur l'habillement est l'attitude vestimentaire adoptée par l'occupant. En ajoutant un pull, il change sa sensation de confort.

Au niveau psychologique, il est important de distinguer la sensation thermique du jugement affectif. La sensation thermique est la sensation de chaleur personnelle dans un lieu, indépendamment de l'agrément de préférence. L'agrément de préférence est une condition externe qui influence la satisfaction relative. Par exemple, le retour dans un intérieur chauffé de quelqu'un qui vient d'être exposé de façon prolongée au froid lui donnera une perception tiède ou chaude, mais sa sensation thermique sera toujours froide ou fraîche du fait de son exposition préalable. Ainsi, l'ambiance sera jugée agréable mais pas l'état thermique personnel. Il apparaît donc important de faire la part entre l'état thermique du sujet qui l'amène à donner une expression de sa sensation personnelle, l'état thermique de l'ambiance qui est jugée à travers la perception sensorielle du climat, et le sentiment de confort qui prend aussi en compte la relation entre le sujet et son environnement[10]

De la même manière, quelqu'un qui se prépare psychologiquement à avoir froid, éprouvera moins ce ressenti de froid qu'une personne prise au dépourvu. L'anticipation psychologique concerne aussi sa capacité d'action comportementale. Une personne consciente qu'elle peut agir sur son environnement sera plus ou moins sensible à des conditions extrêmes.

La capacité d'adaptation sera un facteur important pour la suite de la recherche. Ci-dessous un schéma du processus d'adaptation face à une situation.

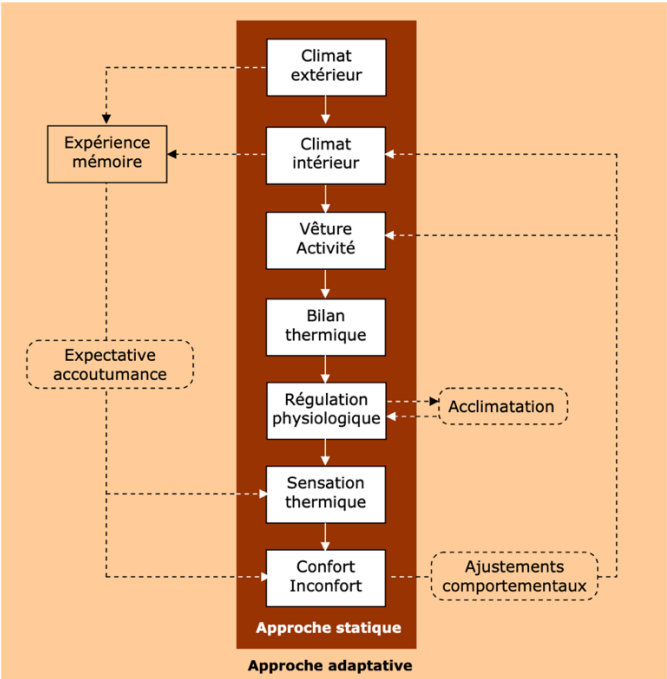


Figure 6 mécanismes adaptatifs, source de Baere 2003

[10] INSA LYON

L'influence du climat, du milieu socio-économique et de la culture

Au-delà des capacités d'adaptation à court terme (fermeture d'une ouverture, allumage de la lumière) et à moyen terme (acclimatation corporelle), le corps s'acclimate également à plus long terme à une situation donnée. Tout d'abord, la zone climatique dans laquelle nous vivons nous formate à résister à certaines conditions et à être plus sensibles à d'autres. Les habitants des climats chauds résistent mieux aux températures élevées et inversement pour les climats froids. Le corps a tendance à s'habituer à une situation et à développer des défenses naturelles pour y résister. D'autre part, le milieu socio-économique joue un rôle important dans le ressenti de satisfaction par rapport à une situation. Les populations plus pauvres ont tendance à accepter des conditions extrêmement faibles car elles sont habituées à supporter moins de confort. En revanche, les populations aisées sont habituées à des conditions très satisfaisantes et un léger changement de l'ambiance peut se ressentir fortement. Enfin, la dimension culturelle s'aligne aux exemples précédents, les personnes supportent et s'adaptent à des conditions différentes selon leurs coutumes culturelles.

A titre illustratif, voici une étude sur le confort thermique dans les écoles[11]. Il a été demandé à chaque élève de communiquer sa sensation thermique personnelle sur l'échelle de l'ASHRAE. Leur réponse a été croisée avec l'index socio-économique SINAE. Il en est ressorti que les enfants issus de milieux plus défavorisés résistaient mieux au froid. Ceci s'explique par le manque de moyens pour chauffer leur domicile et donc l'habitude d'un environnement froid.

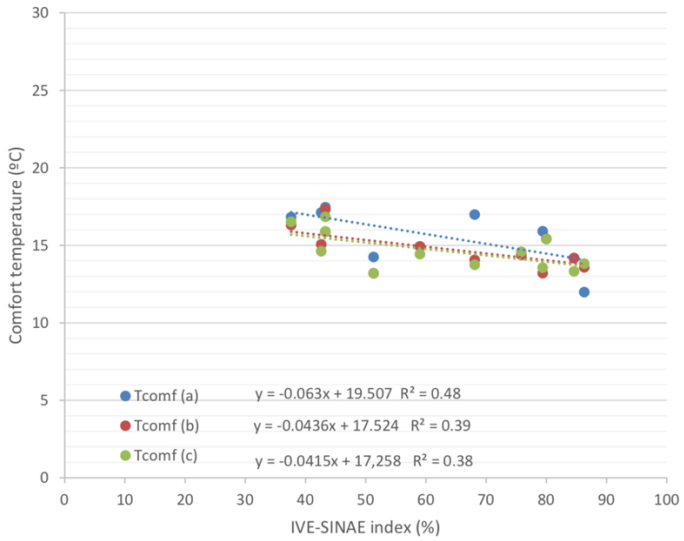


Figure 7 Relation entre confort et index socio-economique SINAE, source Right to confort

LES EXIGENCES DE CONFORT DANS LE BATIMENT (GENERAL)

Normes thermiques

Il est essentiel de ne pas limiter le confort thermique à la température ambiante. Même si c'est l'indicateur le plus facile à faire varier, il ne contribue pas au confort de l'occupant à lui seul. C'est pourquoi chaque caractéristique physique du confort présente des exigences à respecter en fonction de l'affectation et l'occupation de l'espace.

[11] PIDERIT, *The integral classroom, design strategies for improved overall environmental performance*, Concepcion, 2013.

Selon le Service Public Fédéral belge, « dans des conditions de confort, la personne ne transpire presque pas, la charge physique de travail est faible, le vêtement est léger, il n'y a presque pas de rayonnement de chaleur et la température de l'air est entre 18 et 25°C. »[12]

Normes respiratoires

De manière générale, les locaux occupés doivent être ventilés hygiéniquement selon le nombre d'occupants. La ventilation hygiénique permet de maintenir le taux de concentration en CO_2 en dessous des 1000 PPM (1500PPM est un maximum absolu). Pour cela, il faut dimensionner la ventilation selon une moyenne de 22m^3/h d'air par occupant..

Normes acoustiques

Energie + propose les critères de confort ci-dessous selon les courbes NR. D'autres normes considèrent l'échelle de décibels. Pour chaque domaine d'application il existe en outre des normes européennes.

- NR 20 : Conditions excellente d'écoute
  Studios d'enregistrement
- NR 25 : Très bonnes conditions d'écoute
  Auditoires, théâtres, églises
- NR 20-30 Conditions de repos, de séjour, de sommeil
  Logements, hôtels
- NR 30-35 Bonnes conditions d'écoute
  Bureaux, salles de classe, bibliothèques
- NR 35-40 Conditions d'écoute normale
  Restaurants calmes, grands bureaux
- NR 40-45 Conditions d'écoute modérées
  Restaurants, laboratoires, ateliers de dessin
- NR 45-55 Conditions de travail acceptable avec un minimum compréhension de la parole
- NR 50-70 Usines, ateliers

Normes confort visuel

L'affectation de l'espace détermine le besoin en éclairage.
Pour chaque affectation, des normes précises sont d'application.[13]

NBN 12464-1 pour les espaces de travail
NBN 12193 pour les espaces sportifs
NBN 15193 est une norme qui règlemente l'éclairage selon les performances énergétiques.

---

[12] BESWIC, CENTRE BELGE SUR LE BIEN-ETRE AU TRAVAIL, *Indice PMV-PPD de confort thermique*, - en ligne :< https://www.beswic.be/fr/themes/agents-physiques/ambiances-thermiques/indices-de-confort-et-de-contrainte-thermique/indice-pmv-ppd-de-confort-thermique>[08.03.2020].

[13] ENERGIE PLUS, *Les 6 paramètres traditionnels du confort thermique*, - en ligne :<https://energieplus-lesite.be/theories/confort11/le-confort-thermique-d1/> [03.04.2020].

2. PERFORMANCES ENERGETIQUES DU BATIMENT

INTRODUCTION

Alors que les notions de confort sont bien connues et principalement acquises dans le domaine de l'architecture et de la construction, l'intérêt pour la construction durable et respectueuse de l'environnement a le vent en poupe. Ce chapitre est dédié à la compréhension des performances énergétiques et leur importance dans le bilan environnemental du bâtiment. Cette compréhension nous permettra plus tard de croiser les notions de confort abordées plus tôt et les performances énergétiques afin de dresser un bilan complet.

DEFINITION

A la recherche d'un monde plus respectueux de l'environnement, on emploie des mots tels que : *écoresponsable, soutenable, durable, vert, écologique, résilient,* ... Très souvent, on ne pèse pas la signification de ces termes et on les utilise en les mélangeant. Le dictionnaire de la langue française (Larousse) émet les définitions suivantes :

- Soutenable : Qui peut être enduré
- Durable : De nature à durer longtemps, qui présente une certaine stabilité, une certaine résistance.
- Écoresponsable : Qui cherche à intégrer des mesures de protection de l'environnement dans ses activités, ses principes, etc.
- Résilient : Se dit de ce qui présente une résistance aux chocs
- Écologique : Qui respecte l'environnement

Naturellement, chaque domaine d'activité émet une définition plus précise et plus ajustée selon son domaine d'application. En ce qui concerne l'architecture, nous parlons de construction ou d**'architecture durable** et de **résilience**.

La philosophie de **l'architecture durable** se concrétise à travers différentes pratiques qui ont pour objectifs de réduire l'impact négatif d'un bâtiment sur son environnement et de prendre soin de la qualité de vie des utilisateurs. La mise en œuvre d'une architecture durable se manifeste par un ensemble de choix de techniques, des méthodes de gestion, la sélection des matériaux employés et l'organisation interne des fonctions et des espaces, afin de maîtriser, en particulier, la consommation d'énergie et l'aménagement du cadre de vie des utilisateurs. [14]

La **résilience** est la capacité à résister et s'adapter à un changement et de maintenir ou de retrouver la fonctionnalité face à la perturbation rencontrée. (Resilient Design Institute). Au cours des dernières décennies, les catastrophes naturelles se sont multipliées et ont détruit de nombreuses infrastructures. Dès lors, il est important de considérer la résilience dans le processus architectural. La conception résiliente est (Resilient Design Institute) «la conception intentionnelle des bâtiments, des paysages, des communautés et des régions en réponse aux vulnérabilités aux catastrophes et aux perturbations de la vie normale ». La conception résiliente implique la connaissance des dangers et risques présents sur le site. Parmi ces perturbations et changements probables, on considère : les catastrophes naturelles (inondations, incendie, séisme, …), les catastrophes socio-économiques (guerres, destructions,…), chaleurs extrêmes (canicule, sécheresse, froid, …), les pannes

[14] ARCHITECTE DE BATIMENTS, *L'architecture durable en pratique (méthodes et technologies)*, - en ligne :< https://www.architecte-batiments.fr/l-architecture-durable-en-pratique/>[03.03.2020].

d'infrastructure (coupure de courant, énergie) et les problèmes liés à l'usure normale du bâtiment. [15]

LES 3 DIMENSIONS DE L'ENERGIE EN CONSTRUCTION

Réduire les consommations d'énergie est une des priorités de l'architecture durable. Pour cela, nous pouvons distinguer plusieurs dimensions d'énergie au sein du bâtiment et de la construction.

L'énergie de chauffage

L'énergie de chauffage permet d'atteindre et maintenir une certaine température dans le bâtiment. Les techniques traditionnelles pour chauffer (chaudière, foyer, pompe à chaleur, ...) emploient des ressources combustibles. Ces combustibles peuvent être des énergies fossiles (mazout, gaz) ou renouvelables (bois, pellet). L'épuisement des ressources fossiles et les émissions émises par la combustion rendent ces ressources non-durables.[16]

La consommation électrique

Le chauffage n'est pas l'unique besoin énergétique du bâtiment. Tous les autres équipements tels que les systèmes de ventilation et refroidissement, les équipements lumineux et électriques consomment de l'énergie. Il s'agit de la consommation d'électricité. En Belgique, l'électricité est en grande partie produite à partir de l'énergie nucléaire. La production d'électricité à partir d'énergies renouvelables devient de plus en plus répandue. Le débat entre la sortie du nucléaire (annoncé en 2003) et la mise en place effective d'alternatives renouvelables n'est pourtant pas prêt d'être terminé. De plus, l'électricité coûte cher au consommateur. [17]

L'énergie grise

L'énergie grise est toute l'énergie liée à la construction du bâtiment. Il s'agit de l'énergie nécessaire pour la fabrication, transformation et transport des matériaux de construction mais également l'énergie nécessaire à l'élimination du matériau en fin de vie. On calcule ainsi toute l'énergie requise pour le cycle de vie complet du matériau, de la conception au recyclage. Peu de constructeurs prennent en compte l'énergie grise dans le bilan environnemental ou énergétique. Pourtant, l'énergie grise peut représenter jusqu'à 40% de l'énergie consommée par un bâtiment sur 40 ans. [18]

NORMES

La construction durable et les bâtiments à hautes performances énergétiques sont devenus une obligation à respecter dans le domaine de la construction. A cette fin, des normes et des objectifs ont été développés afin de réduire le bilan environnemental du secteur. Ces réglementations sont régionales, fédérales ou européennes.

---

[15] FEHRENBACHER, *Resilient deisgn, is resilience the new sustainability ?*, - en ligne :< https://inhabitat.com/resilient-design-is-resilience-the-new-sustainability/>[05.04.2020].

[16] FACILITATEURS ENERGIE WALLONIE, *Limiter les impacts de la consommation d'énergie*, - en ligne :<https://www.renovermonecole.be/fr/objectifs-environnement/limiter-impacts-consommation-denergie>[05.01.2020].

[17] ECOCONSO, *100% d'électricité renouvelable en 2050, est-ce possible ?*, - en ligne :< https://www.ecoconso.be/fr/content/100-delectricite-renouvelable-en-2050-est-ce-possible>[03.02.2020].

[18] ECOCONSO, *L'énergie grise des matériaux de construction, - en ligne :*<https://www.ecoconso.be/fr/L-energie-grise-des-materiaux-de>[05.04.2020].

PEB

La réglementation PEB (Performance Énergétique des Bâtiments) vise à garantir des bâtiments plus sains, plus confortables et plus économes en énergie. Elle vise avant tout les bâtiments à construire ou à rénover en leur appliquant une évaluation commune. L'objectif est de consommer moins d'énergie primaire, tout en veillant au confort intérieur du bâtiment. Pour atteindre cet objectif, la réglementation PEB s'appuie sur des **procédures** , une **méthode de calcul** et des **exigences.** [19]

Le résultat du calcul PEB, pour un logement, est exprimé par deux indicateurs : son niveau $\mathbf{E}_{w}$ et sa consommation spécifique $\mathbf{E}_{spec}$. D'autres indicateurs permettent d'évaluer certaines caractéristiques énergétiques du bâtiment : le niveau **K** et les valeurs **U** pour le degré d'isolation, ainsi que le risque de surchauffe **S** . La réglementation impose une valeur maximale pour chacun de ces indicateurs. De plus, elle fixe des exigences de ventilation **V** des locaux.

Concernant les bâtiments scolaires, ceux-ci font partie des bâtiments publics. Dès lors, ils doivent répondre à la réglementation PEB. A partir du 1 janvier 2021, tous les bâtiments neufs devront répondre aux exigences « Bâtiment Quasi Zéro Énergie » abrévié Q-ZEN.

Ci-dessous, les exigences en vigueur à partir du 1er janvier 2021. La réglementation à respecter dépend de la date d'introduction du permis d'urbanisme.

	NATURE DES TRAVAUX SOUMIS À PERMIS			Valeurs U	Niveau K	Niveau E_W	Consommation spécifique	Ventilation	Surchauffe
				U	K	E_W	E_{spec}	V	S
Procédure AVEC responsable PEB	Bâtiment neuf ou assimilé	PER	Maisons unifamiliales Appartements	≤ U_{max} (1)	≤ K35 + nœuds constructifs	45	85 kWh/m²an	Annexe C2	< 6.500 Kh
		PEN	Bureaux Services Enseignement Hôpitaux HORECA Commerces Hébergements collectifs ...			90/45 (2)		Annexe C3	
		I	Industriel		≤ K55 + nœuds constructifs				
	Rénovation importante (4)			uniquement éléments modifiés				(3)	
Procédure SANS responsable PEB Déclaration PEB simplifiée	Rénovation simple, y compris Changement d'affectation chauffé > chauffé (4)			≤ U_{max} (1) des éléments modifiés et neufs				(3)	
	Changement d'affectation non chauffé > chauffé (4)				≤ K65 + nœuds constructifs			Annexe C2 ou C3	

Figure 8 Exigences PEB

[19] SPW, *Les exigences PEB*, - en ligne :< https://energie.wallonie.be/fr/exigences-peb.html?IDC=9136>[03.03.2020].

Elément de construction		U_{max} [W/m²K]
Parois délimitant le volume protégé		
	Toitures et plafonds	0.24
	Murs (1)	0.24
	Planchers (1)	0.24
	Portes et portes de garage	2.00
	Fenêtres : - Ensemble châssis et vitrage - Vitrage uniquement	 1.50 1.10
	Murs-rideaux : - Ensemble châssis et vitrage - Vitrage uniquement	 2.00 1.10
	Parois transparentes/translucides autres que le verre : - Ensemble châssis et partie transparente - Partie transparente uniquement (ex : coupole de toit en polycarbonate,...)	 2.00 1.40
	Briques de verre	2.00
Parois entre 2 volumes protégés situés sur des parcelles adjacentes (2)		1.00
Parois opaques à l'intérieur du volume protégé ou adjacentes à un volume protégé sur la même parcelle (3)		1.00

Figure 9 Valeur U pour exigences PEB (annexe du tableau précédent)

Standard passif

Le standard passif est un standard de construction allemand. Il vise le perfectionnement du bâtiment basse-énergie en posant des exigences de consommation ainsi que des exigences de climat intérieur. Le standard Passivhaus[20] s'applique aux bâtiments résidentiels et bâtiments tertiaires, posant des exigences similaires.

Le bâtiment passif est caractérisé par son faible besoin en chauffage et refroidissement (notamment grâce à une forte isolation), sa forte étanchéité à l'air ainsi que la maîtrise du risque de surchauffe en été. Toutes les caractéristiques et exigences sont reprises dans le PHPP (Planning House Passive Package), outil de dimensionnement pour les architectes et constructeurs.

Critères	Résidentiel	Tertiaire
Chauffage	≤ 15 kWh/m².an	≤ 15 kWh/m².an
Refroidissement	-	≤ 15 kWh/m².an
Étanchéité à l'air	$n_{50} \leq 0,6$	$n_{50} \leq 0,6$
Surchauffe	≤ 5% du temps d'occupation	≤ 5% du temps d'occupation
Énergie Primaire	≤ 45 kWh/m².an (chauffage + ECS + aux.)	≤ 90-2,5* compacité kWh/m².an (chauffage + ECS + auxiliaires + éclairage)

Figure 10 Exigence standard passif (source Plate-forme Maison Passive)

LES CARACTERISTIQUES DES BATIMENTS A HAUTES PERFORMANCES ENERGETIQUES

Que ce soit dans le cadre du standard passif, des exigences PEB ou d'autres exigences énergétiques, les réponses constructives en matière de performances énergétiques sont similaires. L'architecte joue ici un rôle important quant à la conception spatiale, le choix des matériaux et l'intégration de

[20] PASSIVE HOUSE, - en ligne :< https://passivehouse.com/> [09.04.2020].

techniques spéciales. Ci-dessous un court aperçu des 3 thématiques abordées. Les études et les exemples ne manquent pas, nous en étudierons certains dans la partie constat.

Limiter les besoins énergétiques par une conception bioclimatique

La conception bioclimatique comprend tout le processus de conception architecturale en optimisant les apports naturels. Cela permet de limiter les besoins énergétiques du bâtiment et d'augmenter la qualité de vie des espaces. Parmi les stratégies de conception passive, l'on distingue les stratégies qui concernent la lumière naturelle, les gains thermiques et la captation ou protection du soleil. Ci-dessous, quelques pistes parmi d'autres qui réduisent le bilan environnemental.

- Maintenir la chaleur dans le bâtiment
    - Augmenter l'inertie thermique du bâtiment qui permet de maintenir l'énergie thermique dans le matériau et la rediffuser plus tard. A l'inverse, cela permet aussi de maintenir des températures froides et de refroidir.
    - Intégrer une isolation thermique suffisante pour limiter les déperditions liées à l'enveloppe

- Chauffer/Refroidir
    - Orienter les espaces selon leur besoin et leur production de chaleur.
    - Concevoir une double enveloppe qui joue le rôle de serre solaire devant la façade. Le principe du mur trombe est de préchauffer ou refroidir l'air extérieur avant qu'il entre dans le bâtiment, au moyen d'un vitrage exposé au soleil.
    - La ventilation nocturne permet en été de refroidir le bâtiment en bénéficiant du froid nocturne
    - Le puits permet de réguler la température de l'air avant que celui-ci soit pulsé à l'intérieur. L'air entrant dans le puits canadien est chauffé/refroidi par la chaleur de la terre avant d'être redirigé vers l'édifice.
    - Un récupérateur lié à la ventilation mécanique permet de réduire les déperditions liées

- Ventiler
    - La ventilation naturelle par l'ouverture manuelle ou mécanique des ouvrants.
    - La conception d'une cheminée peut améliorer le flux d'air

- Illuminer
    - Capter la lumière naturelle en orientant les espaces et en concevant des ouvertures adaptées. Pour optimiser la captation de lumière, un tube solaire permet d'amener de la lumière dans des espaces clos en redirigeant les rayons solaires à travers un tube.
    - Diffuser
    - Protéger des éblouissements

Limiter les ressources fossiles par la production d'énergie renouvelable

Favoriser la construction basse énergie signifie optimiser les apports énergétiques naturels, cependant souvent cela ne suffit malheureusement pas à subvenir aux besoins et il faut combler avec des systèmes techniques. La production d'énergie renouvelable sur le site permet d'atteindre la neutralité en énergie (équilibre entre énergie consommée et énergie produite).

- L'installation de panneaux photovoltaïques est généralement répandue

Limiter l'énergie grise par le choix judicieux des matériaux de construction

Le choix des matériaux fait partie de la conception soutenable dès lors que les matériaux ont un coût environnemental. Le choix des matériaux représente un équilibre entre des matériaux naturels, un cycle de vie optimisé et des performances élevées.

- En tant que matériaux naturels on considère les matériaux dont la matière première est naturelle. Ces matériaux subissent moins de transformation.
- Le cycle de vie des matériaux implique toutes les étapes nécessaires depuis la production à la fin de vie du matériau. Cela implique également les modes d'assemblages permettant la démontabilité et le réemploi.
- Les caractéristiques physiques du matériau indiquent si l'utilisation est appropriée et à quelle échelle cela est performant.

3. LE MILIEU SCOLAIRE

L'école primaire est un passage obligatoire pour l'enfant de 6 à 11 ans. C'est à l'école que l'enfant développe sa curiosité et apprend des connaissances. Il y joue et se sociabilise. En Belgique, l'obligation scolaire est en vigueur à partir de 6 ans. A partir de cet âge-là, l'enfant va passer en moyenne 12 à 15 ans dans le milieu scolaire.

BESOIN DE NOUVELLES ECOLES

La croissance démographique observée en Belgique affecte les écoles. La création de nouvelles écoles ne suit pas la croissance démographique. A Bruxelles, la croissance démographique naturelle est en hausse par le taux d'immigration.[21]

La Fédération Wallonie Bruxelles et la Communauté Flamande ont chacune émis des objectifs à atteindre d'ici 2025 afin d'ouvrir de nouvelles écoles dans les prochaines années. Selon Perspectives Brussels, 9351 places vont être créées dans l'enseignement primaire et 14581 dans l'enseignement secondaire.[22] Ci-dessous le graphique de la Fédération Wallonie-Bruxelles représentant la population scolaire actuelle ainsi que la tendance prévue dans les prochaines années.

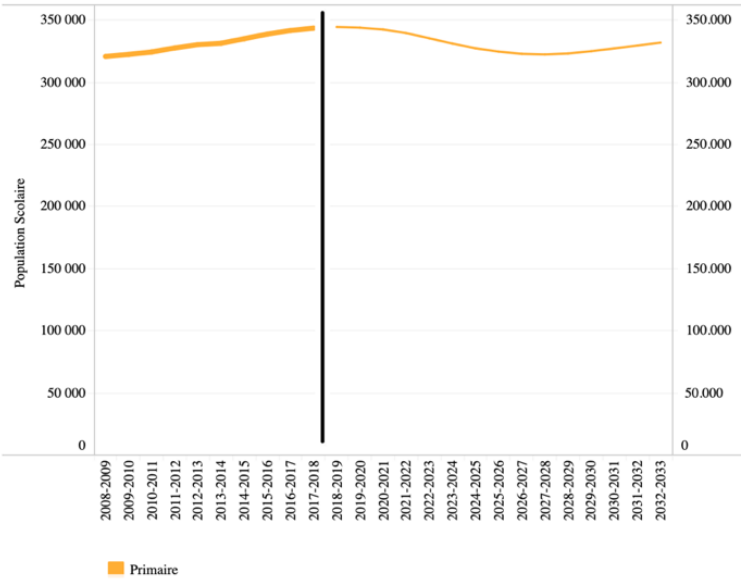


Figure 11Evolution et perspective de la population des écoles primaires source CFWB[23]

Bruxelles étant la région la plus touchée par la croissance démographique, c'est également là qu'on retrouve un grand besoin d'écoles maternelles, primaires et secondaires. Les communes du Nord-

[21] Etnic.be

[22]PERSPECTIVE BRUSSELS, *Combien de places scolaires créées ou en voie de création ?*, - en ligne :< https://perspective.brussels/fr/toolbox/ou-quand-et-combien-de-places-sagit-il-de-creer/le-monitoring-de-loffre-scolaire/combien-de-places-scolaires-creees-ou-en-voie-de-creation>[06.04.2020].

[23] (source : https://statistiques.cfwb.be/ selon Administration générale de l'Enseignement)

Ouest de Bruxelles sont les plus touchées.[24] Ci-joint un tableau des communes bruxelloises et de leur capacité d'accueil en milieu scolaire.

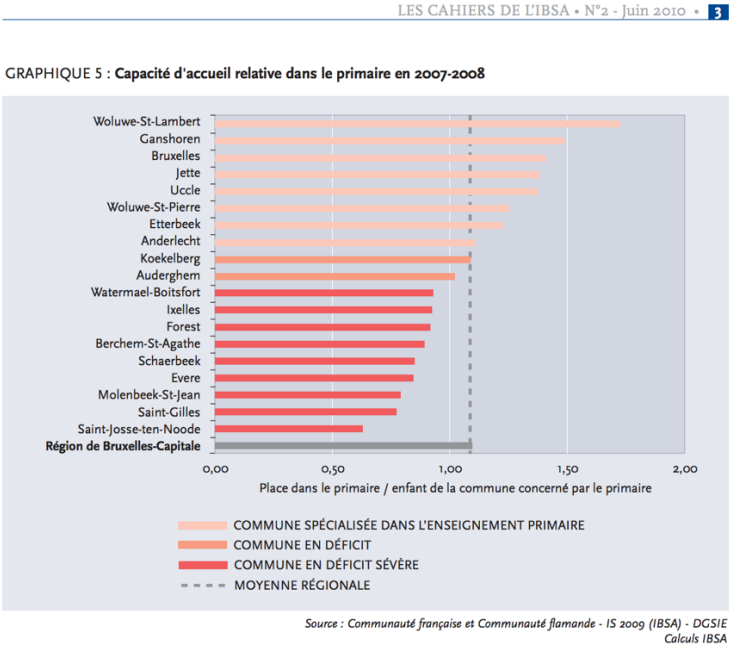


Figure 12 Capacité d'accueil relative dans le primaire à Bruxelles (Source IBSA)

PEDAGOGIES EXISTANTES ET EMERGENTES

Pédagogie dite traditionnelle

La pédagogie traditionnelle consiste à transmettre à l'enfant des savoirs par l'apprentissage linéaire avec d'une part l'enseignant, et de l'autre les élèves. La classe est le lieu important central à l'école. C'est là que se déroule l'apprentissage.

Les communautés belges émettent des programmes et méthodes pédagogiques bien précis afin que les différentes écoles atteignent les mêmes objectifs éducatifs.

Pédagogie dite active

En quête de changement dans le mode d'enseignement, plusieurs psychologues, enseignants et pédagogues se sont penchés sur les différentes méthodes pédagogiques pour favoriser l'apprentissage et le développement de l'enfant. Ces pédagogies dites actives sont de plus en plus présentes dans notre société et l'offre pédagogique s'élargit chaque année.

Chaque pédagogie répond à un cahier des charges différent selon sa méthode et ses convictions, cependant l'enfant est toujours au centre des préoccupations. Les pédagogies appréhendent l'élève dans sa globalité et tiennent compte de ses besoins et de son développement, du point de vue physique, social et psychique.[25]

---

[24] CFWB

[25] LA LIGUE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE L'EDUCATION PERMANENTE ASBL, *Quelques réflexions sur les pédagogies actives aujourd'hui*, - en ligne :< https://ligue-enseignement.be/quelques-reflexions-sur-les-pedagogies-actives-aujourdhui/>[09.03.2020]

L'étude des différentes pédagogies permet de comprendre les différentes manières d'intégrer un projet éducatif dans un système scolaire. Le but n'étant pas de faire une analyse détaillée de chaque méthode, voici les lignes directrices des principales pédagogies alternatives en Belgique. La liste ci-dessous n'est pas exhaustive.

Decroly: L'enfant se développe librement grâce à l'expression et la collectivité.
Montessori: L'enfant se développe par des activités physiques et sensorielles qu'il choisit.
Freinet : L'enfant se développe par l'expérimentation et la collaboration.
Steiner: L'enfant se développe selon son rythme et les rythmes qui l'entourent.

Il n'est pas facile de résumer une méthode complète en une phrase. C'est pourquoi il est préférable d'étudier les points d'attention que ces méthodes partagent. Premièrement, il s'agit de supprimer la distance qui sépare l'élève de l'enseignant. Les pédagogies actives considèrent l'enfant comme un être autonome et encouragent son indépendance. Le climat de classe est remplacé par des ateliers collectifs où chacun est au même niveau. Souvent, les enseignants ne sont pas appelés « professeurs » mais « animateurs » ou « accompagnants », cela renforce cette notion d'égalité. La notion de collaboration et d'entraide prend tout son sens car cela est fortement encouragé et stimule l'apprentissage et le développement social. En outre, les matières traditionnelles telles que la conjugaison et le calcul, sont déguisées en activités ludiques afin que l'enfant y prenne du plaisir. Par l'expérimentation, des jeux et des activités physiques, l'enfant découvre des notions abstraites et les mémorise mieux sans y être contraint. En effet, la liberté est une notion que les pédagogies alternatives valorisent beaucoup. Les choix que l'enfant fait (justes ou faux) contribuent au développement de l'enfant et il faut lui accorder beaucoup de liberté pour qu'il puisse faire ces choix. Enfin, la mobilité physique est également très présente lors des activités ludiques pédagogiques. Par l'expression corporelle et la collectivité, l'enfant développe des notions de vivre-ensemble et de coopération. Ces activités se passent souvent à l'extérieur car les pédagogies alternatives valorisent la relation de l'élève avec son environnement. C'est pourquoi le rapport à la nature fait partie de l'enseignement.

Udeskole

L'*Udeskole*, ou Forestschools, ou encore *école dans les bois* et *école nature* expriment tous un même concept. Au-delà des objectifs pédagogiques des écoles à pédagogie active, le concept Udeskole permet à l'enfant de découvrir son environnement extérieur naturel et de se développer au cœur de celui-ci.[26]

Les concepts d'école en accord avec la nature et classe extérieure sont nés dans les pays scandinaves et ont conquis l'Europe. Petit à petit des projets émergent timidement dans les écoles primaires belges. Le principe est le suivant : les enseignants emmènent les enfants à l'extérieur dans un espace naturel tel que bois, forêt, étang, mais aussi ferme ou entreprise, afin d'y faire des activités pédagogiques. L'organisation et la fréquence des sorties nature varient selon chaque école, mais certaines caractéristiques sont communes.[27] Tout d'abord les sorties doivent durer minimum une demi-journée et avoir lieu pendant maximum 6 mois. Ensuite, les activités en espace naturel doivent être équivalentes des activités pédagogiques du programme telles que la lecture et le calcul.

---

[26] CRIE, - en ligne :< http://www.criesthubert.be/>[09.04.2020].

[27] BENTSEN, SCHIPPERIJN, JENSEN, *Green space as classroom : Outdoor School Teacher'Use, Preferences and Ecostrategies,* LANDSCAPE RESEARCH, 2012.

PARTIE 2 : CONSTAT

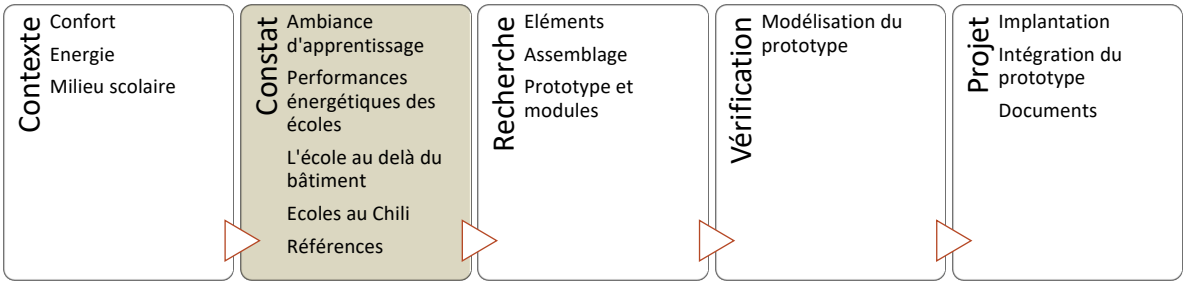
Après avoir fait connaissance avec les sujets abordés, nous établissons maintenant un constat de la situation actuelle.

Les thématiques du confort, des performances énergétiques et de la pédagogie ne sont pas des thématiques neuves en architecture. De tout temps, ces questions sont abordées par des chercheurs, architectes et pédagogues afin de subvenir aux besoins dans le bâtiment scolaire.

Le constat permettra de poser une problématique, d'émettre une utopie et d'envisager des pistes d'actions dans la troisième partie.

Le constat est alimenté par des ouvrages littéraires, des rencontres et des références. Ces dernières, architecturales et scolaires, permettent de dresser un bilan à partir de cas concrets. Nous aborderons l'importance de ces thématiques dans le milieu scolaire et nous verrons ensuite que ces thématiques n'évoluent pas de manière parallèle et indépendante mais qu'elles sont indissociables et s'influencent mutuellement.

En fin de partie, nous dresserons un bilan.



1. CONFORT A L'ECOLE PRIMAIRE

L'IMPORTANCE DE L'AMBIANCE INTERIEURE A L'ECOLE

Il a été calculé qu'à l'école, un enfant passe 70% de son temps à l'intérieur.[28] Au sein d'une école, ces facteurs impactent les performances scolaires des enfants.[29] En effet, les facteurs physiques altèrent entre autres la concentration, l'éveil et la mémoire. Indépendamment de la sensation de confort et de l'adaptation du métabolisme, les valeurs d'environnement intérieur d'apprentissage mettent en évidence les facteurs physiques qui offrent un environnement sain et performant.

Confort thermique

Les changements de température ont un impact plus important sur les enfants dans les écoles que sur les adultes dans les bureaux. Ceci s'explique par la grande sensibilité des enfants à la température et par l'apprentissage qui caractérise le milieu scolaire. A titre d'exemple, lorsque la température dépasse les 25°, la sensation de chaleur produit un effet de somnolence sur les enfants, à l'inverse en dessous de 18°, l'enfant est agité et cherche un moyen de se réchauffer. Dans les deux cas, ce dernier n'est pas attentif.[30]

Qualité de l'air

Concernant la qualité d'air dans les bâtiments, on parle du « syndrome de bâtiments malsains » pour désigner des troubles de santé (maux de tête, fatigue, irritation des yeux et de la gorge, vertiges…) qui surviennent généralement dans des bureaux ou des écoles où le renouvellement d'air est trop faible. La mauvaise qualité d'air présente dans les classes n'est pas un climat favorable pour les élèves et les enseignants, ceux-ci sont somnolents et doivent fournir beaucoup d'efforts pour se concentrer et réagir.[31]

Confort acoustique

La qualité acoustique de l'ambiance est importante pour le bon déroulement de la journée scolaire. Les nuisances sonores perturbent la compréhension et fatiguent l'esprit. Les enfants et professeurs souffrent de maux de tête et de fatigue. Dans l'observation de l'ambiance scolaire et des nuisances présentes[32], les professeurs relèvent la mauvaise isolation des classes et le bruit constant.

Confort visuel

L'inconfort visuel en classe est principalement dû à l'éblouissement des rayons directs du soleil. L'éblouissement gêne la vision. La mauvaise conception des ouvertures et des protections solaires contraint les occupants à fermer les rideaux ou stores et à allumer la lumière artificielle.

LE METABOLISME DE L'ENFANT

---

[28] AGENCIA CHILENA DE EFICIENCA ENERGETICA, *Guia de Eficienca Energetica para Establecimiento de Educacionales,* - en ligne :< https://issuu.com/guias-agencia-ee/docs/gui_a_geeeduc_-_baja>[04.02.2020].

[29] TRACHTE, DE HERDE *Guide de la rénovation soutenable des bâtiments scolaires*, UCL, 2015.

[30] Yves Claessens

[31] TRACHTE, DE HERDE *Guide de la rénovation soutenable des bâtiments scolaires*, UCL, 2015.

[32] TREBILCOCK, *Right to confort* ,UBB Concepcion, 2016.

La directive européenne de confort dans les lieux de travail EN-15251 quantifie les facteurs physiques dans les lieux de travail. Pourtant, celle-ci ne s'applique pas entièrement aux bâtiments scolaires. En effet, les enfants n'ayant pas le même métabolisme qu'un adulte et ne pratiquant pas les mêmes activités, les objectifs d'ambiance intérieure ne peuvent pas être identiques. Les normes de confort thermique et de qualité d'air sont sujettes à modification lorsqu'il s'agit d'enfants. Il est donc important de comprendre le métabolisme de l'enfant pour comprendre les normes appliquées.[33]

Production et résistance aux températures variables

L'enfant a les mêmes systèmes de thermorégulation que l'adulte, cependant les spécificités de la thermorégulation de l'enfant dépendent des dimensions corporelles et du métabolisme de ce dernier.

Ainsi, les échanges de chaleur entre le corps et l'environnement dépendent directement du ratio surface corporelle / masse corporelle. Celui-ci est de 30 à 36% plus important que chez l'adulte. Cela a pour conséquence d'augmenter les échanges par convection, radiation et conduction et permet à l'enfant de mieux résister à des conditions thermiques fraiches à moyennes. En revanche, cela diminue sa capacité de sudation et l'enfant résiste donc moins bien à des conditions thermiques chaudes. De plus, étant frêle, l'enfant ne résiste pas bien aux températures extrêmes, qu'elles soient chaudes ou froides. [34]

Cependant, l'enfant possède une meilleure capacité d'adaptation par rapport à un changement d'ambiance. [35]

La figure ci-dessous représente la production et le transfert de chaleur chez l'adulte, l'adolescent et l'enfant. La longueur des flèches représente la quantité de chaleur transportée par unité de mesure. CD : Conduction, CV : Convection, R : Radiation, E : Évaporation, M : Métabolisme, SC : surface corporelle.

---

[33] Entretien avec Geoffrey Van Moeseke
[34] VAN PRAAGH, COURTEIX, *Développement biologique de l'enfant et de l'adolescent,* DE BOECK, 2008.
[35] VAN PRAAGH, COURTEIX, *Développement biologique de l'enfant et de l'adolescent,* DE BOECK, 2008.

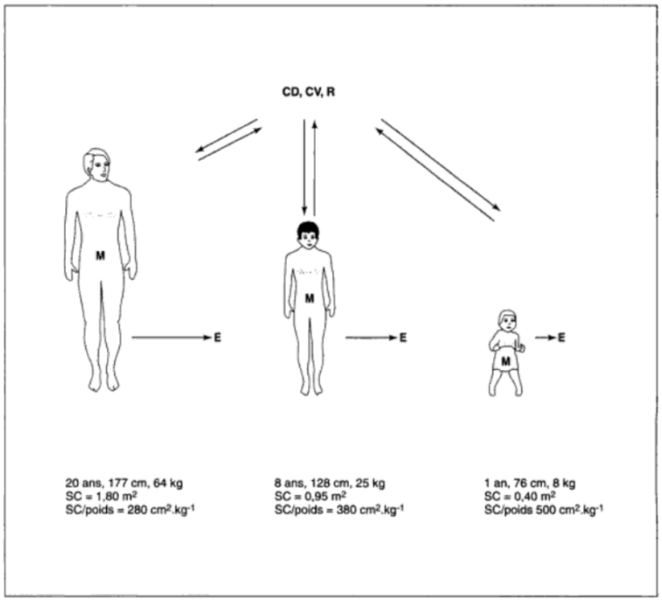


Figure 13 Métabolisme adulte-enfant (source VAN PRAAGH)

Émission de CO_2

Les quantités de ventilation hygiénique nécessaires sont dimensionnées selon l'émission de CO_2 d'un adulte moyen. Celui-ci émet 17 litres de CO_2 par heure. Or le tableau ci-joint montre le débit de CO_2 émis par l'enfant selon son âge. Un enfant entre 6 et 11 ans n'émet que 12 à 14 litres par heure.

Age	6-10 years	11-13 years	14-15 years	16	Adult
Repsiratory frequency [cycles/min][1]	32,8 ±6,3	24,2 ±6,5	21,4 ±5,6	21,7 ±3,3	≈14
Tidal volume [ml][1]	143 ±37,7	238 ±73,3	313 ±75,6	419 ±96,7	≈500
Exhaled air CO2 concentration	0,041				
Ambiant CO2 concentration	0,0004				
Average Exhaled CO2 [l/h]	11,43	14,03	16,32	22,15	17,01

Figure 14 Respiration de l'enfant (Van Moeseke)

Le volume d'air nécessaire à la ventilation hygiénique d'un espace occupé par une majorité d'enfants serait donc inférieure au volume nécessaire pour la ventilation hygiénique du même espace occupé par des adultes.

	Adultes	Enfants 6 à 12 ans
Volume de CO_2 émis	17,01 (l/pers)	11,43 - 14,03 (l/pers)
Volume de ventilation min.	25 m^3/pers	17 – 19 m^3/pers

Or la norme EN-15251 suggère une ventilation de 25.2 m3/h par personne dans les locaux scolaires afin d'assurer un renouvellement d'air suffisant pour maintenir le taux de CO_2 aux alentours de 1000 ppm (max.1500 ppm).

LES NORMES D'AMBIANCE A L'ECOLE

De manière générale, la norme européenne NBN-EN464-1 est spécifique pour les établissements scolaires. Chaque région émet en outre des recommandations et des directives additionnelles. Pour les nouvelles constructions en Belgique, les exigences normatives en matière de performances énergétiques des bâtiments (PEB) définissent les conditions de confort.
Ci-dessous un aperçu des réglementations en vigueur.

- Confort thermique dans les écoles : la norme européenne EN-15251 exige une température la plus stable possible de 20° dans tous les locaux d'enseignement
- Éclairage dans les écoles : norme EN-12464
- Qualité de l'air : voir plus haut
- Acoustique : Prescriptions de l'OMS

2. PERFORMANCES ENERGETIQUES A L'ECOLE

Les bâtiments scolaires sont considérés comme bâtiments tertiaires. De plus, comme il s'agit d'institution d'enseignement, ils sont dès lors sujets à des réglementations communautaires. La Fédération Wallonie-Bruxelles ainsi que la communauté flamande émettent des réglementations quant aux exigences à respecter lors de nouvelles construction et rénovation de bâtiments scolaires.

CONSOMMATION ENERGETIQUE DES BATIMENTS SCOLAIRES

Au sein de l'école, on peut distinguer plusieurs types de consommation d'énergie qui contribuent au bilan énergétique. [36]

- Énergie de chauffage
- Électricité
- Énergie grise

Consommation moyenne

En 2006 une école Wallonne consommait en moyenne 329 kWh/élève en électricité et 2035 kWh/élève en combustible. [37] Ce chiffre varie en fonction du réseau d'enseignement (conventionné, communautaire, privé, …) car les surfaces spécifiques par élève et la disposition générale interne varient en fonction du réseau et de la pédagogie adoptée.

Contrairement aux bâtiments de bureaux, le principal gouffre énergétique des écoles est l'énergie de chauffage. En effet, les besoins électriques sont faibles (uniquement liés à l'éclairage artificiel et quelques équipements individuels) comparés aux multiples équipements électriques et techniques de refroidissement dans les bureaux.

Dans la plupart des écoles, le chauffage est assuré par la combustion de matières fossiles. Outre la disparition de ces ressources naturelles, le chauffage de l'école soulève une autre réflexion, celle de l'occupation du bâtiment. L'école est occupée très intensivement (25 élèves dans une classe de 60m^2) pendant des périodes très courtes (entre 8h et 16h) avec de longues périodes d'inoccupation telles que les weekend et vacances scolaires.[38]

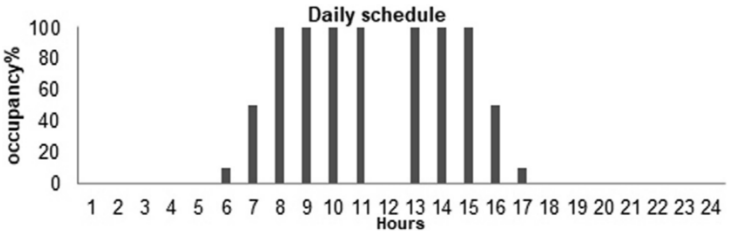


Figure 15 Horaire d'occupation journalier (source Attia)

[36]FACILITATEURS ENERGIE WALLONIE, *Limiter les impacts de la consommation d'énergie*, - en ligne :<https://www.renovermonecole.be/fr/objectifs-environnement/limiter-impacts-consommation-denergie>[05.01.2020].

[37] Projet mon école zero Watt, devenu Generation zero Watt

[38]FACILITATEURS ENERGIE WALLONIE, *Limiter les impacts de la consommation d'énergie*, - en ligne :<https://www.renovermonecole.be/fr/objectifs-environnement/limiter-impacts-consommation-denergie>[05.01.2020].

Aujourd'hui, de telles consommations d'énergie ne sont plus possibles pour les bâtiments neufs. Les réglementations énergétiques limitent les consommations tel que décrit dans la partie de contextualisation. Les nouveaux bâtiments scolaires doivent répondre aux exigences QZEN[39].

En 2019, une étude explore des pistes constructives pour construire des écoles primaires QZEN, le prototype proposé consommerait un total de 59 kWh/an[40]. (voir plus loin)

En outre, de nombreuses écoles au standard Passiv sont apparues au cours des dix dernières années. (voir plus loin)

Baisser la consommation des écoles déjà construites

Les bâtiments scolaires étant tous assez vieux, la consommation de chauffage est très élevée. La rénovation du parc immobilier scolaire wallon est lourde et coûteuse. La région met en priorité la rénovation de bâtiments scolaires non isolés et pourvus de simple vitrage.

En vue de baisser les consommations d'énergie des bâtiments existants, les différentes régions ont mis sur pied des organisations permettant la communication et l'information entre les experts en énergie et les écoles (enseignants, direction, pouvoir organisateur). En région wallonne, ce groupe d'experts s'appelle les Facilitateurs d'Énergie. Le gouffre énergétique représente bien souvent un gouffre financier pour les établissements qui sont heureux de voir diminuer les frais d'énergie. Il est ainsi possible de diminuer de 20% la consommation énergétique annuelle[41].

Les facilitateurs d'énergie ont ainsi créé une plateforme « Rénover mon école » proposant des gestes quotidiens ainsi que des travaux de rénovation peu à moyennement lourds en vue de baisser la consommation d'énergie.

Le projet intitulé «Génération zéro Watt » (créé en 2016 à la clôture de son antécédent « Mon école Zéro Watt ») quant à lui est un projet participatif qui mêle enseignement et énergie. Par le biais d'activités et d'apprentissages, les enfants deviennent conscients de leur impact sur le bâtiment. Cela les responsabilise par rapport au développement durable et à la gestion énergétique du bâtiment. En collaboration avec les enseignants et les Facilitateurs Énergie, les enfants réduisent la consommation énergétique annuelle de l'école.

STANDARD PASSIF POUR DE NOUVELLES ECOLES BELGES

Origine

A partir des années 2000, les initiatives visant à réduire les besoins énergétiques se sont multipliées. En région wallonne, l'action « Construire avec l'énergie » a vu le jour en 2004 visant la construction de logements neufs à moindre consommation d'énergie, plus performants que ne l'exigeait la réglementation en vigueur. [42] En 2011, cette action a été remplacée par l'action Batex « Bâtiments Exemplaires Wallonie » et constitue un véritable laboratoire de la construction durable et de la

[39] Équivalent francophone de "NZEB : Nearly Zero Energy Building"

[40] ATTIA, SHADMANFARA, RICCI, *Developing two benchmark models for nearly zero energy schools,* ELSEVIER, 2019.

[41] FACILITATEURS ENERGIE WALLONIE, *Limiter les impacts de la consommation d'énergie*, - en ligne :<https://www.renovermonecole.be/fr/objectifs-environnement/limiter-impacts-consommation-denergie>[05.01.2020].

[42] SPW, *Construire avec l'énergie*, - en ligne :< https://energie.wallonie.be/fr/construire-avec-l-energie.html?IDC=6143>[09.04.2020].

performance énergétique des bâtiments.[43] Dans le cadre de ces actions, des écoles au standard passif sont apparues. Dans les cas d'étude, nous étudierons en détail la première école passive de Bruxelles, l'institut Immaculée Montjoie par l'architecte Pierre Somers, projet Batex 2008.

Parallèlement, des initiatives similaires ont vu le jour en région flamande. En 2006 la région flamande lance l'action « Scholen van morgen[44] » visant à construire ou rénover 200 écoles en région flamande. Ce projet s'inscrit dans une politique à long terme voulant améliorer le parc immobilier des écoles. Parmi les 200 écoles, il s'agit de 90% de construction neuve. Ces nouveaux bâtiments scolaires répondent au standard passif.

Caractéristiques générales de l'école passive

L'école passive a deux enjeux principaux : réduire les consommations énergétiques et maintenir un confort intérieur élevé au sein de l'école.

Le bâtiment est caractérisé par une enveloppe étanche et fortement isolée, ce qui permet de réduire les consommations liées au chauffage. Généralement, le système constructif massif permet d'augmenter l'inertie thermique du bâtiment. L'enveloppe étanche, l'isolation et l'inertie thermique permettent de maintenir une température la plus stable possible à l'intérieur, tout au long de la journée et de la nuit. Les faibles déperditions thermiques qui en résultent sont comblées grâce à des systèmes de chauffage et de ventilation très performants. Ceux-ci sont alimentés par de l'énergie renouvelable produite sur site (si possible). Afin de maintenir la qualité d'air intérieur, il est nécessaire d'intégrer de la ventilation mécanique bien dimensionnée. Enfin pour éviter la surchauffe en été, il est impératif de protéger les façades des rayons directs du soleil. Au-delà de ces principes généraux, chaque construction varie selon les techniques spéciales intégrées ainsi que le dimensionnement, la régulation et la maintenance de celles-ci. [45]

Aujourd'hui, il est possible de prendre du recul sur ces constructions passives grâce à leur occupation réelle, la maintenance et les conditions relevées.

Importance des consommations de gaz et d'électricité

La conception passive ainsi que les techniques mises en place permettent de baisser considérablement la consommation énergétique liée au chauffage. Dès lors, la consommation électrique liée aux techniques de ventilation doit être surveillée pour ne pas réduire à néant les efforts de consommation. D'une part, le dimensionnement des systèmes de chauffage et de ventilation doivent être tels qu'ils assurent une ambiance intérieure optimale en toutes circonstances. D'autre part, la consommation électrique liée à la ventilation doit rester raisonnable. Un mauvais dimensionnement de la ventilation engendre à court terme une mauvaise qualité d'air, l'inconfort et la surchauffe. Dans l'étude menée par Attia, Ricci et Shadmanfar[46], les consommations de gaz et d'électricité dans les écoles sont distinguées afin de représenter leur ampleur. On remarque ici l'importance de la consommation électrique sur le bilan énergétique. Le coût de l'électricité étant plus élevé que celui du gaz naturel, cela a un impact financier non négligeable.

---

[43] SPW, *L'action Bâtiments exemplaires Wallonie – BATEX*, - en ligne :< https://energie.wallonie.be/fr/batiments-exemplaires-wallonie.html?IDC=8614>[09.04.2020].
[44] https://www.scholenvanmorgen.be/
[45] Les grands principes de l'école passive, entretien avec Pierre Somers
[46] ATTIA, SHADMANFARA, RICCI, *Developing two benchmark models for nearly zero energy schools,* ELSEVIER, 2019.

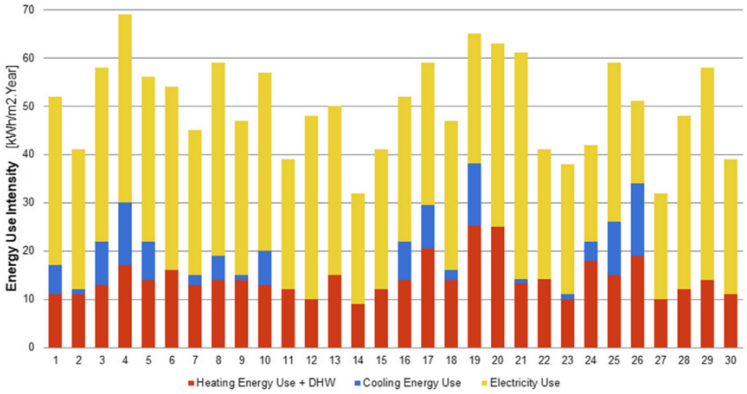


Figure 16 Audit mené dans 30 écoles sur base de leur consommation d'énergie (source Attia)

Responsabilité de l'occupant

Une des différences entre le logement passif et l'école passive est le sentiment de responsabilité des occupants. Il est courant de responsabiliser l'occupant d'un logement à propos de la gestion énergétique de son bien. En effet, il est le bénéficiaire direct de ses gestes car il jouit du confort intérieur et paie la facture d'énergie. Il sera donc prêt à adopter des gestes responsables par rapport à la bonne gestion énergétique du bâtiment. Dans les écoles, le sentiment de responsabilité n'est pas présent. Les occupants principaux sont des enfants et des enseignants. Les enseignants ne se sentent pas responsables des pertes énergétiques et du confort intérieur car ils ne sont que de passage. La conception du bâtiment a d'ailleurs été réfléchie avec le pouvoir administrateur ou la direction et non avec les enseignants. Ceux-ci n'éprouvent donc pas la responsabilité dans la gestion des techniques. En d'autres termes, on ne peut pas compter sur eux.

C'est pourquoi, les premières écoles passives construites étaient entièrement automatisées. La régulation des techniques se faisait de manière automatique et centralisée. Les occupants n'avaient pas les moyens de modifier les paramètres. Ces systèmes étant très sensibles et technologiques, les occupants n'avaient en outre pas les connaissances pour les comprendre. Aujourd'hui, les concepteurs proposent de simplifier les techniques en intégrant des éléments domestiques connus. Ainsi, la gestion et la régulation des techniques est composée d'éléments technologiques performants et d'éléments plus manipulables. La responsabilité des occupants reste un paramètre incertain dans la conception de bâtiments performants. Il est important de les sensibiliser dès la conception et de les intégrer dans un projet participatif. [47]

Importance de la maintenance

Les constructions à très hautes performances énergétiques intègrent des techniques spéciales très performantes. Il s'agit de systèmes de chauffage et de ventilation mais aussi de régulation automatique etc. Ces systèmes sont technologiques et requièrent de l'entretien et de la maintenance pour maintenir leurs hautes performances au fil du temps. Comme abordé plus haut, les occupants n'éprouvent malheureusement pas le besoin ni la responsabilité d'entretenir ces techniques. A titre illustratif, une école peut se retrouver une année complète sans système de ventilation car, défectueux, il n'a pas été entretenu ou remplacé.[48]

Conséquences sur le confort

En reprenant l'exemple précédent, l'absence de ventilation soumet les occupants à des conditions physiques inconfortables. La qualité d'air médiocre et la surchauffe sont les conséquences directes

[47] Entretien avec Pierre Somers
[48] Entretien avec Shady Attia

de l'absence de ventilation. Afin de rétablir le confort, le réflexe des occupants est d'ouvrir les fenêtres pour ventiler naturellement l'espace. Faut-il encore que les baies permettent l'ouverture. En effet, la conception architecturale de l'enveloppe passive n'est pas toujours conçue pour intégrer l'ouverture des fenêtres ou intègre des ouvertures si petites que l'ouverture ne peut apporter assez d'air.[49]

Pourtant, le confort est un enjeu important pour le standard passif. Les architectes et concepteurs ne peuvent pas négliger cet enjeu lors de la conception de bâtiments scolaires. Le problème ne réside pas dans la conception théorique mais dans l'utilisation réelle du bâtiment. Il est désormais impératif de prendre conscience de l'utilisation réelle lors de la conception.

CONCLUSIONS ET PISTES FUTURES

Lors de la conception, les constructions passives ont été minutieusement étudiées et rigoureusement dimensionnées afin d'exploiter les plus hautes performances du bâtiment. L'équilibre conçu est cependant fragile, il repose sur la bonne gestion du bâtiment et la maintenance des équipements. L'occupant a un rôle important dans la gestion et la maintenance des équipements et doit dès lors être considéré lors de la conception. L'enveloppe et les équipements intégrés doivent donc être conçus en connaissance de l'occupation future.

La construction passive des écoles a permis d'augmenter les performances énergétiques du bâtiment ainsi que de prendre conscience de certains aspects de la construction et de l'occupation.

Malgré certains retours et expériences négatives, la construction passive reste aujourd'hui un standard à atteindre pour les écoles primaires. Cependant, il faut simplifier les techniques, intégrer des éléments connus des utilisateurs et permettre une gestion combinée entre automatique et manuelle.

[49] Entretien avec Shady Attia

3.L'IMPACT DE LA PEDAGOGIE SUR L'ARCHITECTURE

LE TROISIEME ENSEIGNANT

En tant qu'architectes et constructeurs, nous sommes tentés d'aborder l'école comme un bâtiment scolaire fait de briques, de formes et de matières. Pourtant, l'école a une dimension tout autre lorsqu'on la considère comme un espace d'apprentissage et de développement. L'espace scolaire peut être appelé le « troisième enseignant ». Il se trouve alors au centre d'une relation entre architecture, philosophie et pédagogie. [50] Au-delà d'un simple environnement neutre, l'espace devient un objet éducatif. C'est pourquoi il est important de concevoir les bâtiments scolaires avec le corps pédagogique de l'école. Ainsi, la conception architecturale peut servir à l'enseignement.

LES CARACTERISTIQUES SPATIALES DES ECOLES A PEDAGOGIE ACTIVE

Multitude d'espaces

Les pédagogies actives ne veulent pas catégoriser les enfants et les traiter tels qu'un groupe unique d'enfants semblables. Chaque enfant est différent et a des besoins ainsi que des rythmes de croissance distincts. C'est pourquoi il est important de considérer chaque enfant dans son intégralité comme une personne individuelle. Dans la spatialité de l'école, il est dès lors nécessaire d'offrir une variété d'espaces, afin que chacun puisse en jouir selon ses besoins spécifiques. Dans l'enseignement classique, toutes les classes se ressemblent et sont reliées par un couloir et l'enseignement (à noter qu'on parle ici d'enseignement plutôt que d'apprentissage) se donne exclusivement dans la classe. Dans la démarche active, l'apprentissage sort de la classe pour se poursuivre dans le couloir, dans des espaces collaboratifs inter-âge, ainsi que dans les espaces extérieurs. [51] La diversité des enfants et de leurs besoins spécifiques se traduit en une multitude d'espaces d'apprentissage divers.

Mouvement et expression corporelle

L'apprentissage par le mouvement et par l'expression corporelle est représentatif de la pédagogie Montessori mais est également largement encouragé dans les diverses pédagogies actives. L'enfant a besoin de bouger et le mouvement lui permet de mémoriser plus rapidement certains concepts. Au-delà du mouvement, l'enfant utilise tous ses sens lors de l'apprentissage : toucher, sentir, secouer, écouter… Il existe une relation étroite entre l'activité physique, le développement des sens et l'activité cérébrale. [52] Cette réflexion amène avec elle des nouveaux espaces d'apprentissage, ceux-ci permettent des activités corporelles ainsi que l'expression corporelle libre afin de stimuler l'apprentissage.

Espace naturel et environnement extérieur

L'école est l'endroit où l'enfant se développe, expérimente et grandit. Il y apprend des connaissances et devient indépendant. L'école est un endroit où l'enfant construit sa personnalité et évolue dans un environnement adapté. L'environnement naturel aide au développement de la

---

[50] MAZALTO, PALTRINIERI, *Introduction : Espaces scolaires et projets éducatifs*, - en ligne :< https://journals.openedition.org/ries/3592>[05.04.2020].

[51] Entretien avec Christine d'Oultremont, enseignante à Singelijn, pédagogie Freinet

[52] MONTESSORI, *Qu'est-ce que la pédagogie Montessori ?*, - en ligne :< https://decouvrir-montessori.com/quest-ce-que-la-pedagogie-montessori/>[09.03.2020].

curiosité de l'enfant. Évoluer dans un environnement naturel lui permet également de développer un intérêt pour la nature, de meilleures défenses immunitaires et l'envie du jeu, du risque et de l'indépendance.

Les pédagogies actives encouragent de manière générale le développement de l'enfant dans un environnement naturel.

PROJET PARTICIPATIF ET INVESTISSEMENT

L'apprentissage par le projet est caractéristique de plusieurs méthodes pédagogiques notamment la pédagogie Freinet. Les activités d'apprentissage participent à un projet interdisciplinaire et inter-niveaux commun. L'investissement dans un projet commun stimule l'apprentissage des enfants. Ceux-ci sont motivés par l'avancement du projet et ont envie d'apprendre. A l'échelle de l'école, les enseignants de l'école Singelijn (voir cas d'étude) se mobilisent autour d'un projet commun, ils adaptent leurs leçons en fonction du projet en question et encouragent la coopération entre les différents niveaux.[53] A l'échelle de la classe, la coopération et l'entraide sont encouragées tant dans les activités d'apprentissage que dans la vie collective. Il est courant que les règles de vie collective soient discutées ensemble par un conseil réunissant toute la classe. Cela responsabilise les enfants et ils sont plus enclins à respecter les règles.[54]

A plus grande échelle, le projet pédagogique des écoles 'actives' suscite l'intérêt de nombreux enseignants et parents désireux d'offrir le meilleur enseignement possible aux enfants. Certains parents se disent prêts à parcourir une distance plus importante si l'école répond à leurs critères d'enseignement et si l'école adopte une pédagogie particulière. Le projet pédagogique occupant une grande importance chez les enseignants et les parents, ceux-ci sont davantage investis dans les projets de la communauté scolaire. Les pédagogies actives attirent en outre des classes sociales plus élevées dont les enseignants et parents se sentent plus impliqués et responsables au sein de la communauté scolaire. Cela a notamment un impact sur la responsabilité des occupants par rapport à la gestion du bâtiment.[55]

LA CLASSE D'UNE *FORESTSCHOOL*[56] EN MILIEU RURAL

Issue de la culture scandinave, la pédagogie du dehors est fortement appréciée par les pédagogues européens. Alors que certaines écoles proposent des excursions nature, d'autres intègrent des journées hebdomadaires en forêt[57]. Lors de ces sorties, les enfants accompagnés des enseignants poursuivent l'apprentissage en milieu naturel. Il n'y a ni mur, ni fenêtre, il n'y a ni meubles, ni tableau. D'un point de vue architectural, l'on se pose alors la question de la conséquence sur l'espace architectural de la classe. L'apprentissage par l'exploration naturelle permet l'apprentissage par le jeu, par la découverte et par la mobilisation des sens.

L'environnement naturel dans lequel les enfants évoluent peut intégrer une classe extérieure. Abrité des intempéries, cet espace architectural permet d'offrir un cadre à la sortie sans que celui-ci soit trop rigide.

---

[53] Entretien avec Christine d'Oultremont, enseignante à Singelijn, pédagogie Freinet
[54] Entretien avec Christine d'Oultremont, enseignante à Singelijn, pédagogie Freinet
[55] Entretien avec Pierre Somers.
[56]BENTSEN, SCHIPPERIJN, JENSEN, *Green space as classroom : Outdoor School Teacher'Use, Preferences and Ecostrategies,* LANDSCAPE RESEARCH, 2012.
[57] CRIE, - en ligne :< http://www.criesthubert.be/>[09.04.2020].

La mémorisation et l'abstraction de la matière découverte en forêt se fait cependant lors d'un retour en classe. Il est alors nécessaire de faire un récapitulatif théorique sur les apprentissages. Certaines classes ramènent de la matière physique en classe telle que de la terre, des branches, etc. pour en faire de la matière d'apprentissage. [58] La spatialité de la classe doit permettre ce genre de pratiques. En addition aux meubles et aménagements de la classe classique, les excursions nature et le retour en classe nécessitent une modularité et adaptabilité supplémentaire ainsi que des espaces de rangements (étagères pour ranger les découvertes et expérimentations) et de nettoyage (un seul lavabo domestique ne suffit pas toujours). Le vestiaire de la classe doit également prévoir plus d'espace en vue des vêtements et sac-à-dos additionnels.

Figure 17 Tous dehors CRIE fourneau St Michel

L'ECOLE EN MILIEU URBAIN

Le milieu rural permet une approche pédagogique en relation avec l'environnement et la nature car les espaces naturels sont à proximité directe de l'école.[59] En milieu urbain, le bâti est bien plus dense et les forêts se font plus rares. Il faut se satisfaire des parcs publics et aménagements urbains.

Le manque de nature en milieu urbain

En milieu urbain, les espaces naturels manquent. Les logements ne disposent pas toujours de jardins et les espaces publics naturels se font rares. Plusieurs auteurs scientifiques dénoncent la perte du lien avec la nature dans nos sociétés modernes. La sédentarisation et le temps passé derrière les écrans inquiètent ces scientifiques. Le lien qu'entretiennent les jeunes citadins avec la nature se dégrade de même que le temps consacré au jeu libre. L'école a alors le devoir d'offrir un environnement naturel à l'enfant pour rétablir cet équilibre et contribuer à son développement. L'extérieur permet de varier les méthodes d'enseignement, de rendre les apprentissages plus concrets et d'améliorer le bien-être des enfants. [60]

La pédagogie du dehors est centrée sur des espaces naturels dans leur état sauvage et hors de portée de la ville tels que des forêts, des prés, des marécages, des fermes, etc. Il est impossible d'offrir la même approche en ville. Pourtant, le besoin d'espace naturel et de relation avec l'environnement est d'autant plus important en milieu urbain.

---

[58] TV LUX, *L'école du dehors*, - en ligne :< https://www.tvlux.be/l_ecole_du_dehors-30515-999-344.html?fbclid=IwAR1iSH5NCyC1FUMM_dC7siinnoMRM3wU3emiX9rXtFZzdqyF0kzV2blru7c>[08.04.2020].
[59] Voir cas d'étude Bruyeres et Grune
[60] Fondation Monique Fitz Back, 2018

L'école au sein de la ville

A Bruxelles comme ailleurs, l'école est trop souvent centrée sur elle-même. Ceci pour des raisons de sécurité et de protection. Elle ne s'intègre pas dans le tissu urbain.[61] Pourtant, l'école est un lieu d'échanges multiculturels et multigénérationnels, il est important que l'école devienne un noyau communautaire et participe à la vie du quartier. Le « Contrat école » est un projet de perspective.brussels et a pour but d'intégrer au mieux l'école dans son environnement et dans son quartier.[62] Les outils mis en place à cette fin sont de l'ordre de l'aménagement urbain et de l'organisationnel (école de devoirs intergénérationnelle, utilisation de la cour de l'école pour la communauté, mobilité et espaces partagés, …)

CONCLUSIONS, QUESTIONNEMENT ET PISTES FUTURES.

On remarque un intérêt grandissant pour les pédagogies actives dans le milieu scolaire. Celles-ci stimulent l'apprentissage de l'enfant par diverses méthodes complémentaires. Les espaces scolaires doivent s'adapter aux méthodes d'apprentissage proposées et ainsi participer à l'apprentissage comme un objet éducatif. Les pédagogies actives intègrent l'environnement extérieur et naturel dans leur approche pédagogique et cela a de nombreux bienfaits sur le bien-être et le développement des enfants. Malheureusement cela n'est possible que si l'école jouit d'un environnement direct naturel. Il serait très intéressant de valoriser la relation à la nature en milieu urbain. Enfin, les pédagogies actives rassemblent les enseignants et les familles autour d'un projet pédagogique. Ceux-ci sont dès lors plus investis dans la communauté scolaire et les projets de l'école.

---

[61] CARTES, *L'école, l'enfant et la ville : les conditions de l'urbanisme scolaire : cas de la Région de Bruxelles-Capitale,* UCLouvain, 2015.

[62] PERSPECTIVE BRUSSELS, *Combien de places scolaires créées ou en voie de création ?,* - en ligne :< https://perspective.brussels/fr/toolbox/ou-quand-et-combien-de-places-sagit-il-de-creer/le-monitoring-de-loffre-scolaire/combien-de-places-scolaires-creees-ou-en-voie-de-creation>[06.04.2020].

4. LE CAS DES ECOLES CHILIENNES

Malgré des localisations et conditions très différentes, le Chili et la Belgique doivent faire face à des défis similaires tels que l'optimisation du design et des performances énergétiques des bâtiments scolaires tout en maintenant élevé le degré de confort intérieur. Le projet HERES est une collaboration entre les professeurs belges et les professeurs chiliens de l'Université de Bio-Bio afin de répondre à cet enjeu. Dans le cadre de ce projet, la recherche a pu être alimentée par des rencontres et discussions intéressantes. Par ailleurs l'Université de Bio-Bio mène activement des recherches sur le sujet au Chili.

CLIMAT

Le Chili, de par son étendue géographique, rencontre tous types de climats selon la latitude. La Belgique, elle, est située à 50° de latitude sur l'hémisphère nord et jouit d'un climat tempéré océanique caractérisé par des hivers doux et pluvieux et des été frais et humides. La région chilienne dont le climat correspond au climat belge est la région de Coyhaique, 45° de latitude dans l'hémisphère sud.

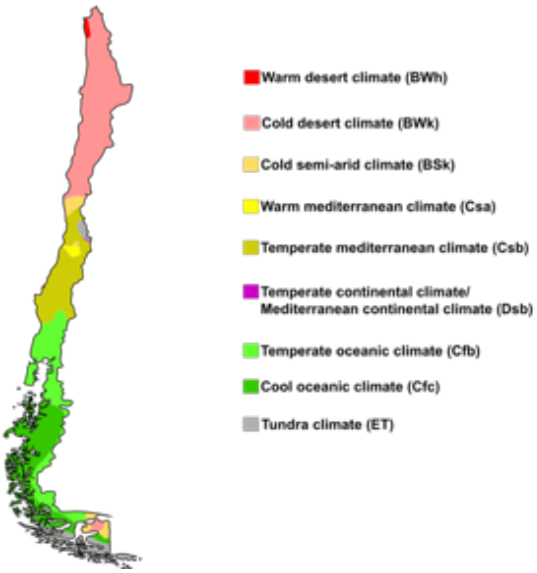


Figure 18 Climats chiliens source World Köppen Classification

STATUT DE L'EDUCATION ET DES BATIMENTS SCOLAIRES

Au Chili comme en Belgique, l'obligation scolaire est de rigueur pour les enfants entre 6 et 12 ans. Il existe un réseau d'écoles primaires publiques, un réseau d'établissements conventionnés et un réseau d'établissements privés. Cependant, l'accès à l'enseignement n'est pas démocratisé et les écoles ne bénéficient pas toutes de moyens financiers suffisants.

CONSEQUENCES SUR LE CONFORT

Dans la zone étudiée au Chili, la plupart des écoles sont « free-running » et n'ont pas de système de chauffage central, ceci non par choix mais par manque de budget à y consacrer. L'étude menée

dans 9 écoles primaires de la région Sud du Chili a analysé le ressenti thermique des élèves dans une classe en fonction de la saison, l'heure de la journée, son activité et son habillement. La conclusion a été que les élèves sont confrontés à des grandes différences de températures selon l'heure de la journée et la saison. Les élèves vivant dans des conditions socio-économiques plus pauvres s'adaptent mieux aux températures fraiches, sans doute parce qu'ils vivent dans un environnement plus froid à la maison par manque de moyens financiers Même si ces élèves s'adaptent aux températures, les résultats montrent que les écoles n'offrent pas un climat de confort suffisant à leurs élèves.

Afin de pallier à l'absence de chauffage et afin d'améliorer les conditions dans lesquelles les enfants évoluent au sein de l'école, les architectes chiliens étudient des projets d'écoles NZEB. La démarche est donc légèrement différente qu'en Belgique mais d'autant plus intéressante : la question de supprimer le chauffage ne se pose pas puisqu'il n'y en pas. On peut voir jusqu'à quel point les enfants sont capables de s'adapter à un certain inconfort et quel est l'impact sur le bon déroulement de l'enseignement. Le point commun des recherches, que ce soit au Chili ou en Belgique, est de trouver des alternatives à l'école actuelle, que ce soit dans le concept des bâtiments, le choix des matériaux ou même dans l'organisation des activités scolaires.

5. REFERENCES

La collection de références architecturales et scolaires ainsi que l'étude de celles-ci permettent de croiser les thématiques de confort, d'énergie et de pédagogie.

INTRODUCTION ET METHODE

L'analyse et la synthèse de solutions existantes permet de comprendre ce qui existe déjà et de pouvoir évaluer ces solutions. L'analyse de cas d'études permet d'étudier plusieurs bâtiments scolaires où ces thématiques sont abordées. En observant les choix de conception architecturaux (conception de l'architecte) ainsi que le résultat de l'école (le vécu par l'enfant et le professeur), il est possible de comparer certains dispositifs, l'importance de certains choix, et la nécessité d'autres.

Distinguer les enjeux et les stratégies

Les trois enjeux que l'on observe à travers les références sont : les conditions d'ambiance intérieure, les performances énergétiques du bâtiment et le programme pédagogique adopté.

Il est possible d'adopter plusieurs stratégies afin de répondre aux besoins énoncés ci-dessus. Il est évident que chaque projet architectural ou pédagogique est un ensemble de stratégies complémentaires. Cette distinction permet de comprendre les références.

Il s'agit des stratégies architecturales, techniques et organisationnelles. La première stratégie vise l'intégration de concepts spatiaux purement architecturaux. La seconde aborde l'intégration de techniques afin de combler un besoin (chauffage, refroidissement, régulation automatique…). Le dernier permet aux utilisateurs de s'adapter aux conditions en intégrant des changements d'occupation tel que l'habillement, le mouvement, un horaire d'utilisation.

Grille d'observation

Chaque école possède ses spécificités, ses atouts, et ses faiblesses. Il ne s'agit pas de critères d'évaluation mais plutôt d'une méthode d'observation. La grille ci-dessous représente les trois catégories d'intervention et les trois catégories d'objectifs. Il s'agit de comprendre quelle stratégie répond à quel enjeu. Dans le catalogue de références qui suit, nous n'avons pas relevé toutes les richesses du projet d'architecture et les spécificités techniques de la construction. Ce qui est mis en valeur est un élément qui peut nous aider dans la réflexion. Dès lors, dans les études de référence qui vont suivre, les éléments relevés seront agrémentés des pictogrammes suivants témoignant des stratégies adoptées et des objectifs auxquels ils répondent.

Stratégies :

Architectural

Technique

Organisationnel

Objectifs :

Confort

Performances énergétiques

Pédagogie

Présentation des cas étudiés

Les écoles observées ont suscité l'intérêt de la recherche par leur approche architecturale, passive ou pédagogique. Il s'agit de projets variés, tant au niveau de l'âge de la construction, du site d'implantation et des techniques intégrées.

Tout d'abord, nous aborderons un bâtiment scolaire réalisé par TRAIT Architects à Anderlecht. L'école IMMI est un des premiers projets d'école avec la certification passive dans la région bruxelloise.

Deuxièmement, le centre communautaire de Ludesch en Allemagne présente une étude rigoureuse de l'approche passive et permet de comprendre de nombreux aspects. Ce projet de HK Architekts n'est pas un établissement scolaire mais intègre des espaces pluridisciplinaires.

Ensuite, l'école Singelijn de Woluwé sera étudiée pour son projet pédagogique. Il s'agit d'une référence en termes de pédagogie active à Bruxelles, l'observation des espaces architecturaux est dès lors très intéressante.

Par ailleurs, nous parlerons de pédagogie de la nature et du dehors avec l'école des Bruyères de Louvain-La-Neuve et l'école communale de Grune, intégrant toutes deux ce projet éducatif particulier.

Enfin, nous nous intéresserons à un pavillon temporaire de l'atelier Bow Wow à Darmstadt. La construction expérimentale est un dialogue entre espace intérieur et environnement extérieur. Le projet avait eu lieu dans le contexte d'un atelier de construction estival.

Données :

Année de construction :	2008
Architectes :	TRAIT Architects
Localisation :	Rue des Résédas 47-51 – 1070 Anderlecht
Intérêt :	École passive

Construite à Anderlecht, il s'agit de la deuxième école passive de la Fédération Wallonie-Bruxelles. Initialement prévu pour être un projet basse énergie, le projet a petit à petit dérivé vers un projet de construction passive et le bâtiment a fini lauréat de « Bâtiment exemplaire » en 2007. [63]

Figure 19 Ecole passive IMMI Anderlecht

Implantation

L'école se situe dans la commune d'Anderlecht au Sud-Ouest de Bruxelles. L'environnement est urbain. Elle accueille les enfants de primaire de l'Institut Immaculée Montjoie (scindée en plusieurs entités scolaires).[64] L'orientation et l'organisation spatiale permettent aux classes de profiter de l'orientation sud. Les enfants bénéficient d'espaces extérieurs notamment la cour de récréation.

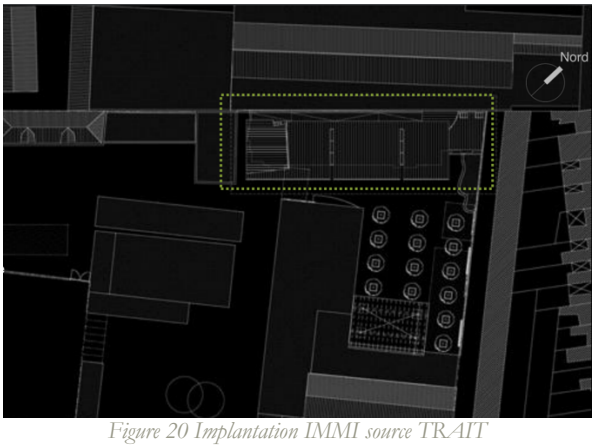


Figure 20 Implantation IMMI source TRAIT

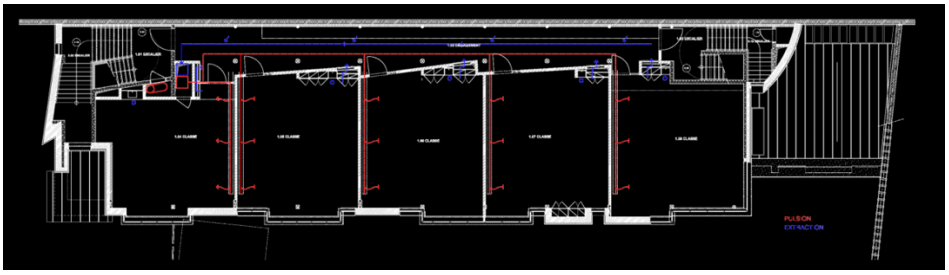


Figure 21 Plan d'étage

[63] SOMERS, *Pour des Bâtiments scolaires durables,* - en ligne :< https://architectura.be/fr/actualite/6827/pour-des-batiments-scolaires-durables-pierre-somers-trait-architects-deuxieme-partie> [23.02.2020].

[64] BRUXELLES ENVIRONNEMENT, *Ecole Immi, une école de 1500m² vers une norme passive,* - en ligne :<https://app.bruxellesenvironnement.be/batex_search/Docs/fs_023_FR.pdf> [04.04.2020].

Enveloppe [65]

Chiffres :

U total du mur : 0,139 W/m²K
U toiture : 0,09 – 0,17 W/m²K
U ouvertures : 1,5 W/m²K

Le bâtiment a une structure primaire en béton lourd en système de dalle sur colonnes et poutres. Cela offre de l'inertie thermique au bâtiment. L'enveloppe se compose de caissons en bois isolés avec des flocons de cellulose. L'enveloppe est ainsi fortement étanche et isolée. Le parement extérieur est composé d'un bardage latéral en bois. Les ouvertures offrent de la lumière naturelle mais ne sont pas dimensionnées pour assurer la ventilation hygiénique. Celle-ci est assurée par les équipements techniques. Les fenêtres sont pourvues de double vitrage et de châssis en bois et aluminium. L'enveloppe répond au standard passif d'étanchéité à l'air n_{50}<0,6 kWh/m².

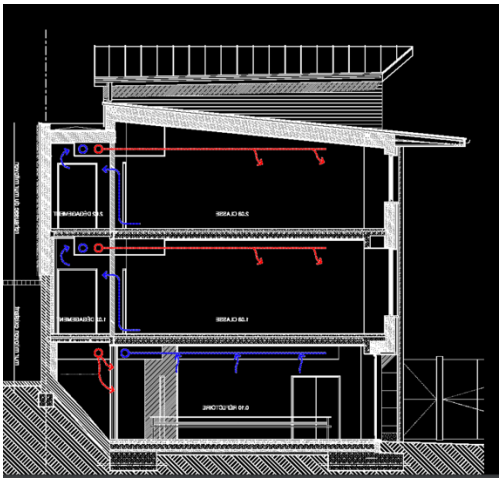


Figure 22 Coupe et ventilation

Techniques spéciales[66]

Chiffres :

Besoin de chauffage annuel : 11,9 kWh/m²a
Puissance de chauffage : 9,9 kWh/m²a
Estimation de surchauffe : 10% (supérieur à 25°)

La production d'énergie solaire en toiture permet de chauffer le bâtiment avec de l'énergie renouvelable produite sur site. La ventilation naturelle nocturne permet de refroidir le bâtiment pendant les heures fraiches et ainsi limiter la surchauffe.

Lors de la conception architecturale, les architectes ont opté pour un système de chauffage et de ventilation centralisé.

De plus, tous les équipements sont automatisés pour être régulés automatiquement. Cela a pour but d'optimiser les équipements et de limiter le gaspillage. En effet, l'éclairage diminue en fonction

---

[65]TRAITS ARCHITECTS, *Ecole passive à Bruxelles, Institut Marie Immaculée Montjoie – Anderlecht,* - en ligne :<http://www.confederationconstruction.be/Portals/19/Cellule%20Energie%20Environnement/Materiaux%20construction%20durables/120426%20immi-traitarchitects.pdf>[08.03.2020].

[66]TRAITS ARCHITECTS, *Ecole passive à Bruxelles, Institut Marie Immaculée Montjoie – Anderlecht,* - en ligne :<http://www.confederationconstruction.be/Portals/19/Cellule%20Energie%20Environnement/Materiaux%20construction%20durables/120426%20immi-traitarchitects.pdf>[08.03.2020].

de la lumière naturelle et de l'occupation. Le chauffage s'active selon un horaire précis et des sondes d'ambiance. La régulation des équipements joue un rôle significatif dans les gains énergétiques. En effet, comme vu précédemment, les occupants ne se sentant pas responsables du bâtiment, il est nécessaire d'automatiser la gestion.

Résultats[67]

Données

Bâtiment certifié Passif
Bâtiment lauréat BatEx 2007

La face cachée

La régulation automatique et la centralisation des équipements techniques a de nombreux avantages comme expliqué ci-dessus. Cependant, ils intègrent des éléments sensibles ainsi que de nombreux éléments technologiques. Les éléments domestiques connus tels que corps de chauffe ou ventilateur ne sont pas présents, ils sont remplacés par des équipements inconnus et parfois invisibles. Cela rend la compréhension plus difficile pour les occupants. En outre, ceux-ci n'ont pas de pouvoir sur l'ambiance intérieure ni sur les équipements techniques. La complexité des équipements couplée à l'absence de responsabilité des occupants mènent à une négligence des techniques intégrées. En outre, en cas de problème ou panne technique, il est nécessaire de contacter des techniciens pour le résoudre. Ceci dure parfois un certain temps ou n'est tout simplement pas fait. Cela plonge l'école dans un inconfort certain. En effet, le bâtiment est dimensionné en tenant compte des équipements techniques. Si ceux-ci sont défectueux, le bâtiment tout entier ne répond plus aux normes de confort promises.

Conclusion

La conception et la construction de l'école datent de 2008. Il est intéressant d'étudier ce projet car il est possible de prendre du recul sur les éléments mis en place autrefois. A l'époque, l'action BatEx encourageait les concepteurs à explorer toutes les pistes architecturales pour repousser les limites constructives et expérimenter dans le domaine des performances énergétiques. Après plus de 10 ans d'occupation, les failles du projet se ressentent. La principale problématique du bâtiment est son système centralisé auto-régulé « full condition ». En effet le projet repose sur un seul concept. La première conséquence est que lorsque celui-ci défaille, tout l'équilibre obtenu est perdu. Le deuxième effet est que l'auto-régulation déresponsabilise totalement l'occupant et le place dans une position passive. Celui-ci n'a pas la possibilité ni les connaissances pour agir sur le système mis en place.

[67] Pierre Somers, architecte du projet pour TRAIT, entretien en annexe

Données :

Année de construction :	2005
Architectes :	Herman Kaufman Architekten
Localisation :	Ludesch, Autriche
Intérêt	Construction passive

Ludesch est un district du Vorarlberg autrichien. Le programme du projet est un centre communautaire. A l'échelle humaine, le projet permet d'offrir un lieu de rassemblement et une identité aux habitants. Du point de vue architectural, l'objectif était de concevoir un prototype de bâtiment écologique sur les principes de la maison passive. Ce prototype avait pour enjeu de servir d'exemple par la suite. La conception promeut l'efficacité énergétique, l'utilisation de ressources renouvelables et de matériaux de construction renouvelables. [68]

Figure 23 HKArchitekten Bruno Klomfar

Implantation

Le projet s'implante dans un milieu rural naturel. Le centre communautaire a une situation centrale et représente un noyau pour la communauté de Ludesch. Le projet se présente sous forme de 3 volumes reliés par des passages, terrasses et couloirs. De plus, les trois volumes s'articulent autour d'une place. Une grande couverture transparente recouvre celle-ci. La place devient un espace appropriable pour la vie de quartier et les commerces du centre. Chaque volume est composé de 2 niveaux et comprend un espace extérieur. Les espaces extérieurs sont publics et forment des accès particuliers à la place couverte.

Figure 24 Implantation HKArchitekten

[68] HK ARCHITEKTEN, - en ligne :< https://www.hkarchitekten.at/en/project/gemeindezentrum-ludesch/> [09.02.2020].

Construction

Données :
U du mur extérieur = 0,14kWh/m2
Étanchéité à l'air n50 < 0,6 V

Chaque aspect de la conception et du projet a fait l'objet de recherches afin d'en optimiser les performances, le coût et la mise en œuvre. Chaque volume présenté répond aux exigences du standard passif. Cela permet de considérer chaque volume comme une « maison ».

Les bâtiments bénéficient d'une structure en bois. Les critères écologiques et environnementaux sont élevés concernant l'origine et le transport du bois et la plus faible transformation du matériau par rapport à sa forme primaire. Le bois de sapin argenté est en outre prélevé dans la région. Le bois ne pouvant être traité pour des raisons écologiques, les façades en bois sont protégées des intempéries par des dispositifs architectoniques. L'auvent de la place protège par exemple les façades donnant sur la place.

L'isolation des parois est assurée par une épaisseur de cellulose et une épaisseur de laine de mouton.

Technique

- Place du village recouverte de 350 m2 de modules photovoltaïques, cela permet d'injecter 16000kWh d'énergie électrique dans le réseau.
- Chauffage central biomasse
- Échange d'air frais contrôlé par l'échange des systèmes de ventilation centralisés.

Chauffage de l'air froid en hiver ;

- Eau souterraine
- Évacuation d'air depuis la salle des serveurs (chaud)
- Partiellement chauffé par l'énergie solaire produite

Conclusion

L'analyse de cette référence a été très intéressante pour comprendre la démarche du projet. Les objectifs étant posés dès le début et englobant aussi bien les matériaux que les performances énergétiques et le coût financier, cela permet d'avoir un aperçu objectif des possibilités.

La richesse du centre communautaire est sa multiplicité d'espaces aux programmes différents. Le projet construit reflète la cohérence des propos des concepteurs et répond aux enjeux de la communauté.

L'École des Bruyeres Louvain-la-Neuve École du Dehors

Données :

Année de construction :	1979
Localisation :	Ottignies Louvain-La-Neuve
Intérêt	École du dehors Pédagogie Freinet Espaces extérieurs

Figure 25 Vue de l'école (source : www.bruyeres.be)

L'école des Bruyères attire notre attention pour la relation de l'école à l'environnement extérieur. Son implantation, ses espaces architecturaux et son programme pédagogique sont en adéquation avec l'environnement naturel dans lequel elle est située.

Implantation :

L'école située en lisière de la ville de Louvain-la-Neuve est implantée dans un environnement très naturel. L'accès principal se fait par un chemin public qui relie la section primaire, la section maternelle, le quartier des Bruyères et d'autres chemins publics dans les bois et plaines.

Figure 26 Implantation (source: Google Maps)

Pedagogie

L'école des Bruyères a adopté la **pédagogie Freinet**. Comme expliqué dans le chapitre contexte, cette pédagogie encourage l'enfant à coopérer en incluant des moments d'atelier participatif et de partage. La relation à l'environnement extérieur et à la nature est également très importante.

Lors des activités en classe, l'attention de l'enseignant est portée sur chaque enfant selon ses besoins particuliers. Le petit espace appelé « **atelier** », annexe de la classe, permet aux enfants nécessitant un moment de concentration de ne pas être dérangés par le tumulte de la classe. Cela permet aussi aux enfants créatifs de s'exprimer librement sans déranger le reste des enfants.

Figure 27 Classe de primaire (source : www.bruyeres.be)

Espaces extérieurs :

Les espaces extérieurs de l'école sont très variés, de la cour de récréation à l'espace de jeux dans les bois, en passant par une construction d'escalade en forme de girafe et un terrain de sport. Cela permet à l'enfant de jouer librement et d'éveiller tous ses sens. L'école bénéficie d'un environnement riche en espaces naturels et coopérations citoyennes dans le quartier des Bruyères, permettant des activités variées.

Ecole du dehors :

Suite à l'initiative de parents et enseignants motivés, l'école des Bruyères propose des excursions naturelles aux enfants de primaire. Pendant ces excursions, une classe d'enfants accompagnée d'un enseignant et d'un parent accompagnateur se rend au Bois de Lauzelle situé à 20 minutes de marche de l'école. La demi-journée dans le Bois est un grand bol d'air frais pour les enfants. L'excursion combine plusieurs disciplines le temps d'une demi-journée : exploration et expression libre dans les bois, jeux encadrés par les accompagnateurs, apprentissage libre et encadré, trajet aller-retour discipliné.

Les enfants apprennent de manière intuitive, sans s'en rendre compte. *«J'ai pas l'impression d'être à l'école, on dirait que je suis à un anniversaire»*

Les accompagnateurs ne sont jamais loin pour leur rappeler les apprentissages vus en classe. «*Là il y a des pins sylvestres»* (sur quoi Marie rebondit en interrogeant l'orthographe de « pin » et la comparaison avec le «pain» qu'on mange)

Les enfants sont habillés pour l'occasion : bottines et vestes chaudes. Lorsqu'en fin de journée, la question du ressenti thermique est posée, la réponse spontanée est : *« j'avais très chaud au début parce que j'avais ma combinaison de neige et des collants, puis j'ai enlevé la combinaison et j'avais un peu froid, mais quand on a commencé le jeu j'avais de nouveau chaud donc c'était ok »*[69]

Conclusions :

Ici, l'excursion a eu lieu grâce à l'initiative spontanée de parents et enseignants. Ceux-ci sont convaincus par le concept « École du dehors » mais les excursions nature ne sont pas encore intégrées dans le programme scolaire. Il ne s'agit donc que d'une expérience unique et l'on ne peut pas parler réellement *d'école du dehors* ou *Udeskole*.

---

[69] Divers extraits de récits lors de l'excursion, voir annexe

Les observations durant l'excursion encouragent à les multiplier et les intégrer dans le programme. Les enfants sont très enthousiastes et ne se sont pas plaints du froid car ils se sont adaptés aux températures de février.

L'environnement direct de l'école est une opportunité pour des espaces extérieurs de qualité. Ces espaces extérieurs contribuent à la richesse de l'offre de l'école des Bruyères.

ÉCOLE COMMUNALE DE NASSOGNE (GRUNE) : ÉCOLE DU DEHORS

Données :
Année de rénovation : 2008
Architectes : David Serge
Localisation : Rue du Centre, 6952 Grune
Intérêt École du dehors

La petite école communale de Grune propose un programme pédagogique qui intègre des sorties occasionnelles dans les bois. En se rendant sur place, on découvre le logo « école éco sympa » qui prône un bâtiment durable. Celui-ci a en effet été rénové en ajoutant une extension en 2008.

Figure 28 École Eco Sympa en façade de l'école (photo de l'auteur)

Implantation

L'école communale de Grune se situe au cœur du village de Grune dans la commune de Nassogne. L'implantation rurale de cette école offre un environnement direct naturel et la proximité de lieux tels que la forêt et les pâtures.

Figure 29implantation Ecole de Grune (source Google Maps)

Pédagogie

L'école propose une section maternelle ainsi qu'une section primaire, celle-ci est divisée en 3 niveaux. Le rassemblement des enfants par tranche de 2 années permet un apprentissage varié tout

en étant à l'écoute des besoins de chacun. Les plus petits sont sans cesse tirés vers le haut par les grands, et les apprentissages varient constamment pour ne pas lasser les plus grands. La collaboration est au cœur de l'apprentissage. L'école propose également des sorties en école du dehors.

École « Eco-sympa »

Depuis 2006, l'école affiche un label « École Eco Sympa ». Lorsqu'en 2008, ils ont décidé de faire des travaux de rénovation et d'extensions, ils ont respecté ce label en optant pour des techniques et matériaux respectueux de l'environnement. Les enjeux sont la qualité de l'air intérieur et le respect du patrimoine bâti existant.

C'est ainsi que l'on retrouve une charpente et des châssis en bois de chêne, une toiture en ardoises naturelles, de l'isolation en cellulose de papier recyclé, des finitions de murs en plâtre sans formaldéhyde et des maçonneries en terre cuite et en moellons de pierre calcaire. [70] Le chauffage central est confié à une chaudière à granulés de bois. Les granulés de bois proviennent d'entreprises régionales et sont produits à partir de sous-produits de bois.[71]

École du dehors

L'école intègre au programme des sorties en forêt. Celles-ci se font toutes les deux semaines à raison d'une journée par semaine. Pendant ces sorties, l'enseignante entraîne les enfants en forêt et suit les conseils du CRIE du Fourneau St Michel dont elle a suivi la formation. Les enfants alternent entre découverte et expérimentation libres et apprentissages encadrés.

Le moment de la collation est toujours un moment rassembleur autour d'une collation chaude. Cela permet aux enfants de découvrir les joies du feu de camp et de se réchauffer. *« Maintenant c'est moi qui fais les goûter à la maison et on fait des bananes chaudes comme à l'école »*

Figure 30 collation en forêt (source TVLux)

---

[70] BLOG SUDINFO NASSOGNE, *Une école-éco-sympa se cache derrière ces murs*, - en ligne :< https://nassogne.blogs.sudinfo.be/archive/2011/04/09/une-ecole-eco-sympa-se-cache-derriere-ces-murs.html#more>[09.03.2020].

[71] FONDATION RURALE DE WALLONIE, *Le bois-énergie « fait école » à Ambly (Nassogne). Elèves et instituteurs y sont chauffés aux granulés de bois !*, - en ligne :< https://www.frw.be/uploads/7/8/3/9/78394446/fiche_descriptive_ambly_version_septembre_2008.pdf>[07.03.2020].

Les journées nature se déroulent pendant toute l'année scolaire. Le climat belge n'est pas un frein pour l'animatrice. L'excursion n'est annulée qu'en cas de forte tempête. *« Les parents étaient un peu réticents au début du projet à cause de la météo, mais aujourd'hui ils sont très enthousiastes, reconnaissants et encourageants. »*[72]

Conclusions

Le label « École Eco Sympa » n'est pas qu'un logo en façade pour l'école communale de Grune. Leur modèle pédagogique ainsi que la rénovation du bâtiment scolaire sont en accord avec leurs valeurs environnementales. Ceci dit, l'implantation rurale dans la commune ardennaise est un paramètre à prendre en considération car l'accès à l'environnement naturel est très facile (5 minutes de marche) et cela n'est pas donné à n'importe quelle école.

[72] Extrait de récit, voir annexe

OSTHANG PROJECT, GERMANY - BOW WOW

Données :

Année de construction :	2014
Architectes :	Atelier Bow Wow
Localisation :	Darmstadt, Allemagne
Intérêt	Architecture expérimentale Lien extérieur >< intérieur

Il s'agit d'un pavillon en hêtre construit à l'occasion du camp d'été portant le nom 'Osthang'. Ce 'camp d'été' réunit des architectes et artistes autour de projets participatifs. Le pavillon est le hall principal du camp d'été organisé en 2014 à Darmstadt. Cette construction en bois tisse une relation particulière avec la friche dans laquelle il s'implante. Il est également intéressant d'étudier le degré de fermeture des parois par rapport à l'utilisation de l'espace. [73]

Le hall principal devrait rester au moins 5 ans après la construction en tant qu'installation polyvalente sur le Mathildenhöhe. [74]

Figure 31 Osthang Project Bow Wow

Implantation

Le hall central se situe sur une parcelle négligée du site Mathildenhöhe, qui deviendra bientôt le patrimoine mondial de Darmstadt[75]. C'est là que s'est tenu un camp d'artistes lors de l'été 2014. La particularité de ce projet est sa forme pyramidale et ses grandes parois entièrement translucides. Le hall est entouré d'une terrasse qui ne marque pas de séparation entre l'intérieur et l'extérieur. Le hall peut accueillir jusqu'à 150 personnes et était le lieu de rassemblement des participants, il s'agissait d'un espace polyvalent servant à des conférences, des projections cinéma mais également comme salle à manger des participants.

Construction

Le projet a commencé trois semaines avant le camp d'été en tant que projet de construction participatif. La construction principale est en Baubuche, un composite de bois de hêtre provenant de la forêt locale d'Odenwald, l'une des plus grandes ressources de bois de hêtre d'Europe. La structure de bois est entièrement couverte par des panneaux ondulés translucides en GRP. L'intérieur est par conséquent très lumineux. De plus, de grands panneaux peuvent s'ouvrir pour permettre le passage, la lumière, la vue et la ventilation.

Cette enveloppe dissimule les limites entre intérieur et extérieur et agrandit l'espace. Elle permet en outre de protéger les occupants de probables intempéries.

---

[73] CONSTRUCT LAB, *Main Hall,* - en ligne :<https://www.constructlab.net/projects/main-hall/> [09.03.2020].
[74] CONSTRUCT LAB, *Main Hall,* - en ligne :<https://www.constructlab.net/projects/main-hall/> [09.03.2020].
[75] CONSTRUCT LAB, *Main Hall,* - en ligne :<https://www.constructlab.net/projects/main-hall/> [09.03.2020].

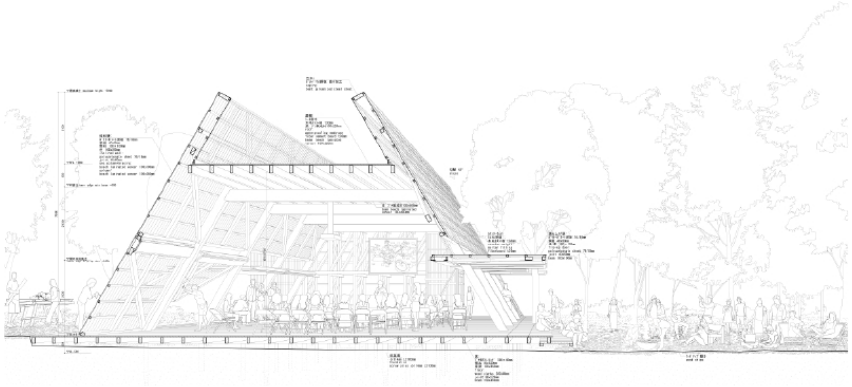


Figure 32 Osthang Project Bow Wow

Figure 33 Osthang Project Bow Wow

Conclusion

Le pavillon se dresse comme un objet artistique dans l'environnement naturel. Il répond aux besoins d'un espace de rassemblement pour la communauté. La surface de plancher est dégagée et permet de rendre l'espace polyvalent. L'enveloppe ouvrable offre également cette polyvalence entre ouverture sur l'extérieur ou fermeture sur soi-même. Le projet s'inscrit dans un camp d'été et vise une occupation temporaire. Les programmes hivernaux ne sont pas définis.

6. CONCLUSIONS ET CONSTAT (+ENJEUX)

CONSTAT

Les caractéristiques d'ambiance intérieure contribuent au sentiment de satisfaction ou de gêne. En outre, dans les lieux de travail l'ambiance intérieure impacte les performances cognitives de travail. A plus long terme, l'ambiance intérieure impacte la santé des occupants, il est donc important d'assurer un certain confort aux utilisateurs du bâtiment.
Le confort étant un sensation ressentie, il est difficile d'évaluer celui-ci. En croisant les notions de confort et les performances énergétiques nous pouvons dresser un bilan complet de la situation.
On distingue le confort thermique, acoustique, visuel et la qualité d'air. Contrairement à d'autres bâtiments tertiaires, pour la plupart des écoles, le chauffage représente une part beaucoup plus importante du coût de fonctionnement que les besoins en électricité. L'énergie consommée est principalement fossile. De plus le taux d'occupation est concentré sur une période de la journée et en dehors des congés scolaires. En supprimant le chauffage, on pourrait considérablement diminuer les consommations d'énergie
L'analyse des différentes pédagogies actives nous montrent que les enfants sont capables de résister à une certaine diminution de confort et de s'adapter à une ambiance. D'autre part, ils produisent de l'énergie quand ils sont en activité.
L'étude des performances énergétiques de certains bâtiments offrent des pistes de réflexion quant à la conception d'espaces d'ambiances différentes, elle met aussi en garde quant à l'utilisation optimale des systèmes de régulation.

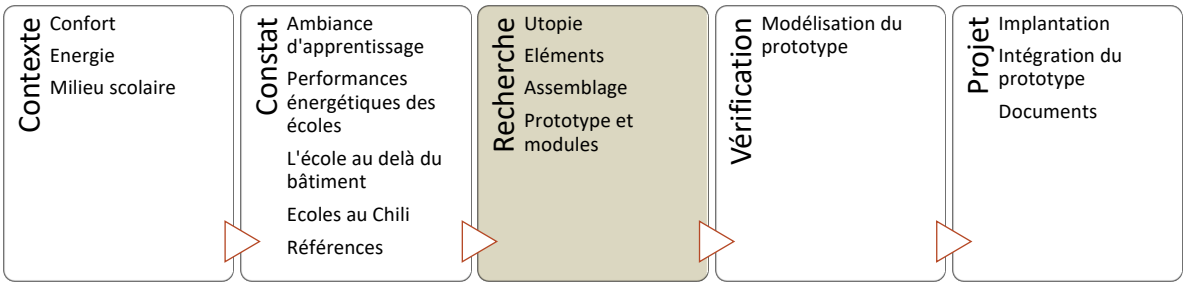
PRISE DE POSITION

Dans la pédagogie traditionnelle, les enfants sont statiques et confinés la plupart du temps dans la classe. Les pédagogies actives alternent les activités d'enseignement proprement dit et les sorties dans la nature ou les ateliers découverte. Ceci nous amène à nous intéresser à la conception d'espaces ouverts et fermés aux ambiances différentes ainsi qu'à considérer la capacité d'adaptation des enfants.
L'étude des performances énergétiques de bâtiments passifs nous fait constater que le système d'autorégulation déresponsabilise les occupants qui ne peuvent intervenir si le système est déréglé. Nous sommes également conscients qu'il ne sera peut-être pas possible d'assurer un confort constant. Pour toutes ces raisons, il faudra trouver un équilibre entre les performances énergétiques, le choix de pédagogie et le confort qui permet à l'enfant de s'épanouir le mieux possible dans son école et son environnement.

PARTIE 3 : RECHERCHE

Après avoir posé le contexte et observé une problématique, nous pouvons désormais proposer une utopie réalisable. Cette partie est dédiée à la projection, c'est-à-dire la proposition utopique en réponse au constat posé.

Dans cette partie nous expliquerons en quoi consiste cette alternative utopique et proposerons un outil de conception pour développer cette dernière.



1. UTOPIE

INTRODUCTION

Nous avons remarqué dans la deuxième partie qu'il est difficile d'atteindre tous les objectifs de confort, de pédagogie et de performances énergétiques simultanément. Une école se concentre en général sur un aspect et l'exploite en négligeant les autres. La proposition qui suit n'est pas une solution pour atteindre tous les objectifs cités, il s'agit plutôt d'une alternative qui englobe tous les enjeux abordés. Nous avons essayé de développer un concept qui propose un équilibre entre un bâtiment super performant mais peu confortable, et un bâtiment super confortable mais peu performant, tout en comblant le manque de relation entre l'enfant et son environnement naturel. L'utopie proposée ne correspond donc pas aux normes établies mais est une alternative à envisager.

VISIONS

Face à tous ces constats, on émet une utopie ; **celle de supprimer le chauffage à l'école primaire.** Supprimer le chauffage est une chose, offrir un enseignement de qualité en est une autre. La suppression utopique du chauffage engendre toutes sortes de réflexions sur les activités scolaires, les espaces et les besoins thermiques. La suppression du chauffage devient alors l'opportunité de créer un **programme scolaire et architectural adaptatif**. Celui-ci serait en adéquation avec les activités pédagogiques et l'environnement naturel qui l'entoure. Il ne s'agit pas uniquement d'un projet d'architecture mais d'un projet éducationnel intégrant des éléments d'architecture.

Tout d'abord, le bâtiment scolaire s'adapterait en fonction des saisons pour offrir les températures recherchées. Il s'adapterait aussi aux activités pédagogiques pratiquées et aux personnes auxquelles elles s'adressent.

De plus, le programme pédagogique s'adapterait au bâtiment et à son environnement extérieur pour que les enfants puissent évoluer dans un environnement naturel bénéfique. Ce programme intègrerait des activités de pédagogie active mais également des activités telles que l'exploration naturelle dans le parc, la culture du potager agricole et la gestion énergétique du bâtiment. Cette dernière discipline serait un projet participatif de l'école visant à responsabiliser les enfants par rapport à leur impact sur l'environnement. La gestion énergétique du bâtiment est une discipline dans laquelle tous les occupants (enfants et enseignants) devraient être investis car ils ont un impact directement proportionné sur les consommations d'énergie et les conditions d'ambiance intérieure.

Enfin, l'occupant s'adapterait avec son corps, ses actes et ses pensées aux conditions d'ambiance thermique, qu'il se trouve à l'intérieur ou à l'extérieur du bâtiment scolaire.

ENJEUX

Le premier enjeu de la recherche est la compréhension. Nous voulons distinguer le bâtiment scolaire des bâtiments tertiaires. Nous voulons considérer l'école en termes de construction mais également en termes d'espaces d'apprentissage. Nous voulons comprendre les activités qui s'y déroulent et ses utilisateurs afin de cibler les besoins.

Ensuite, l'objectif est de proposer un outil, une méthode pour concevoir l'école utopique. Celle-ci répond à trois enjeux : la baisse des consommations énergétiques dans les bâtiments scolaires, un environnement intérieur et extérieur favorisant les conditions d'apprentissage, et enfin une cohérence entre le bâtiment scolaire et la pédagogie, celle-ci se voulant proche de l'environnement naturel extérieur.

METHODE

Nous nous sommes tout d'abord basés sur les concepts de pédagogie active constatés dans la seconde partie de cet ouvrage concernant les espaces et activités scolaires. De plus, nous nous sommes rendu compte que le besoin de confort thermique d'un espace dépend de l'activité et de l'occupation qu'on y pratique. Toute activité ne nécessite pas le même degré de confort thermique.

Ces différents éléments nous ont permis de décomposer l'école selon les activités scolaires, les degrés de fermeture du bâtiment (et par conséquent l'ambiance thermique), le temps et les groupes de personnes visées.

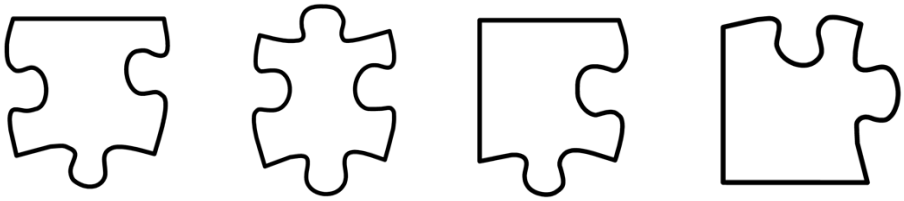
Ensuite, l'outil propose d'assembler les éléments selon les besoins. Chaque activité correspond à un degré de fermeture différent lui permettant d'offrir une ambiance adéquate. Ces degrés de fermeture sont alors matérialisés en leur attribuant des systèmes constructifs. La compréhension globale des éléments et de leur assemblage permet alors de proposer un prototype implanté/orienté.

Enfin, le prototype est présenté en mettant en avant les stratégies architecturales, techniques et organisationnelles pour répondre à des enjeux énergétiques, pédagogique et confortables.

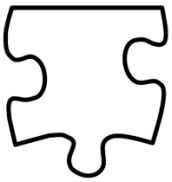
Il est important de rappeler que l'outil de conception se détache du confort thermique habituel. En effet, il fait abstraction des objectifs de confort habituels afin de proposer une alternative à celui-ci. L'outil de conception, ainsi que le prototype et le projet considèrent que l'enfant ainsi que la communauté scolaire tolèrent des plages de confort plus larges car ils s'adaptent de manière différente aux conditions physiques.

2. ÉLEMENTS

Il est possible de décortiquer le bâtiment scolaire pour comprendre chacun de ses espaces et ce qui s'y passe. C'est pourquoi nous avons synthétisé en ***éléments*** les espaces principaux qui composent l'école.



Degré de fermeture Activité Groupe scolaire Temps



Extérieur

Le titre est explicite, il s'agit de l'extérieur

Les espaces extérieurs ne sont pas négligeables car ils représentent des espaces de jeu, d'apprentissage mais aussi des espaces de rassemblement et de circulation. Par ailleurs les espaces extérieurs permettent l'exploration et stimulent la curiosité. C'est pourquoi il est indispensable de les considérer comme des espaces à part entière avec toutes leurs caractéristiques.

- Degré de fermeture **0**
  - Pas protégé du vent
  - Pas protégé de la pluie
  - Pas protégé du froid
  - Protections solaires partielles

- Dispositif architectural :
  - Aménagement du sol
  - Mobilier extérieur
  - Végétation

- Température
  - Température extérieure
  - Conditions extrêmes, vague de chaleur ou froid

- Expectation et sensation thermique
  - Je me sens à l'extérieur 100%

Modèle constructif : Aménagement du sol, constructions extérieures de jeu

Figure 34 École des Bruyères

Figure 35 TEZUKI Kindergarden Japan

Abrité

Les espaces abrités sont des espaces extérieurs avec une protection partielle. Le franchissement se fait doucement depuis l'extérieur. La protection partielle permet de sentir les limites de l'espace sans pour autant qu'elles soient définies. L'abri suggère une enveloppe mais offre un sentiment d'être entièrement à l'extérieur.

- Degré de fermeture **1**
    - Non protégé du vent
    - Non protégé du froid
    - Protégé partiellement de la pluie
    - Protégé partiellement du soleil

- Dispositif architectural
    - Abri
    - Toit
    - Ouvertures
    - Mobilier : assises, tableau …

- Température
    - = température extérieure
    - Ventilation intensive selon l'ouverture
    - Ombragé pendant les vagues de chaleur

- Expectation et sensation thermique :
    - Je me sens à l'extérieur

Figure 36 Abri Life-Elia, Nassogne (photo de l'auteur)

Figure 37 Osthang Bow Wow

Froid ouvert

Les espaces froids sont des espaces intermédiaires entre l'extérieur et les espaces chauds.

- Degré de fermeture **2**
    - Protégé de la pluie
    - Protégé du vent
    - Pas protégé du froid
    - Apport solaire par les vitres
    - La chaleur produite se perd
    - Protégé partiellement du soleil

- Dispositifs architecturaux
    - Parois et vitrages
    - Mobilier intérieur

- Température
    - = extérieur + apport solaire - paroi froide

- Ambiance
    - Je me sens à l'abri
    - Je suis agréablement surpris

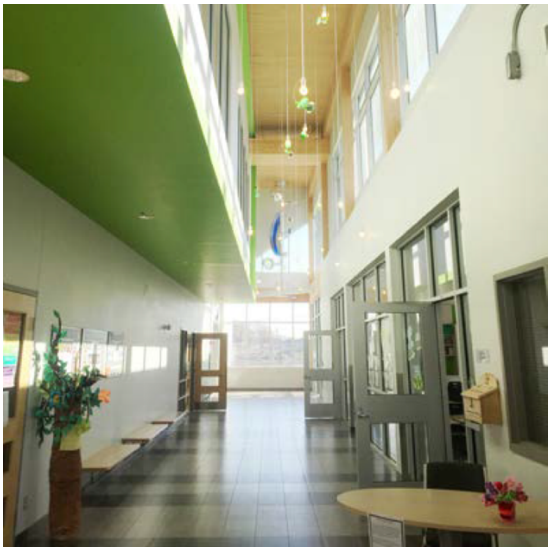


Figure 38 De Vonk Knokke (source ArchDaily)

Figure 39 Ecole de l'Etoile, Quebec (source Lab Ecole)

Chaud

Il s'agit d'un espace cloisonné et isolé thermiquement pour une ambiance intime et chaleureuse. La chaleur produite par l'occupation est maintenue dans le local.

- Degré de fermeture **3**
  - Fermé
  - Chaud

- Dispositifs architecturaux
  - Parois isolées
  - Mobilier intérieur
  - Ventilation hygiénique

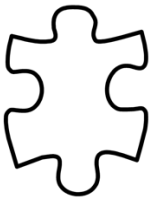
- Température
  - Extérieur + apports solaires + gains internes – ventilation hygiénique

- Ambiance
  - Je me sens à l'intérieur
  - Je me sens bien

Figure 40 Classe de 3e primaire (photo de l'auteur, école des bruyères)

Figure 41 HKArchitekten Bruno Klomfar

Différentes activités sont pratiquées à l'école primaire. Celles-ci ont un caractère pédagogique, récréatif et social et favorisent toutes le développement de l'enfant. Les pédagogies actives encouragent les activités variées afin de stimuler l'apprentissage et le développement. Ci-dessous, diverses activités sont listées en faisant abstraction de l'espace dans lequel elles se pratiquent. Ces activités sont issues des différents programmes pédagogiques et études sur l'éducation. [76]



Jeu

Le jeu a un caractère pédagogique et un caractère récréatif.

Tout d'abord, le caractère pédagogique permet à l'enfant d'associer un jeu amusant à des apprentissages. Cela favorise la mémorisation et varie les méthodes d'apprentissage. L'enjeu « concurrentiel » stimule en outre la motivation de l'enfant à s'investir.

Ensuite, le caractère récréatif du jeu est très important pour alterner les périodes d'apprentissage et les périodes récréatives.

Découverte et expérimentation

Tout comme lors du jeu, l'enfant développe sa curiosité et la met en pratique. Il prend des initiatives, parfois à ses propres risques. Les apprentissages qu'il fait sont d'autant plus ancrés. L'enfant ne se rend pas compte de ses évolutions et apprend *malgré lui*. L'apprentissage par la découverte peut se faire de différentes manières et à plusieurs endroits. Certaines découvertes

[76] Toutes les illustrations sont issues de : www.freepik.com

nécessitent un aménagement particulier (tel que la forêt, le potager, …) alors que d'autres se réalisent dans des lieux plus communs. L'expérimentation et la découverte sont étroitement liées, car ces disciplines se nourrissent mutuellement. En outre, elles ont un effet positif sur les compétences cognitives. Les enfants appréhendent pratiquement la matière, comprennent ce qu'ils abordent avec tous leurs sens et mémorisent les faits. Cela augmente également leur capacité à résoudre des problèmes et prendre des initiatives.[77]

Expression corporelle et mouvement

Il est important que l'enfant puisse s'exprimer librement avec toute sa conscience et à travers tout son corps. L'enfant doit pouvoir être libre de ses mouvements afin de comprendre les limites corporelles et pouvoir s'exprimer face aux autres. L'expression libre de l'enfant et le mouvement sont deux disciplines qui intègrent le programme pédagogique Montessori. Dans les études liées à l'éducation[78] il est démontré que les enfants augmentent leurs capacités cognitives lorsqu'il leur est permis de bouger, de choisir leur position et leur emplacement.

D'autre part, le mouvement possède également un caractère sportif et récréatif. Le sport est un moyen d'aérer l'esprit et de marquer une pause pendant la journée. De plus, l'enfant a de l'énergie et ressent le besoin de se défouler pendant des activités récréatives et sportives.

Expression artistique

Tout comme l'expression corporelle, l'expression artistique active les sens de l'enfant et stimule l'apprentissage. La méthode pédagogique Freinet encourage l'expression personnelle et veut offrir à l'enfant la maîtrise de tous les moyens d'expression. Il permet à l'enfant d'exprimer un sentiment ou de raconter une histoire. L'important en outre est d'afficher les créations et d'échanger avec les autres enfants de la classe (voir collaboration/exposition).[79]

---

[77] JEAN, LAFLAMME, LAPIERRE, *Penser l'école de demain,* LAB-ECOLE, 2019.
[78] JEAN, LAFLAMME, LAPIERRE, *Penser l'école de demain,* LAB-ECOLE, 2019.
[79] INSTITUT COOPERATIF DE L'ECOLE MODERNE-PEDAGOGIE FREINET, *Qu'est-ce qu'est la pédagogie Freinet ?,* - en ligne : <https://www.icem-pedagogie-freinet.org/node/8309>[07.03.20].

Collaboration

Tout comme un atelier d'architecture, l'enfant a besoin d'un groupe pour évoluer. Le partage des connaissances et la mise en commun est le moment où l'enfant apprend à contribuer, à exposer, à partager. La collaboration entre les enfants permet de s'entraider également et de mutualiser les connaissances. Ces ateliers collaboratifs peuvent être des moments pratiques, corporels, artistiques ou théoriques.

Abstraction et écoute

L'abstraction est une étape clé dans l'apprentissage de l'enfant. Celui-ci doit pouvoir abstraire les connaissances acquises informellement (par le jeu, par la découverte et par la collaboration) afin de fixer les apprentissages dans son cerveau et de se rendre compte de son évolution.

A titre d'exemple, une classe qui passe une journée dans les bois autour du sujet du corps humain aura fabriqué des poupées humaines à base de bouts de bois et de corde. Une fois de retour à l'école il faudra passer de la poupée réalisée dans les bois aux termes biologiques du corps humain. Cela permettra d'ancrer l'apprentissage à plus long terme. Il s'agit de trouver un juste équilibre entre l'observation, la réalisation personnelle et l'abstraction. Il s'agit aussi du moment où l'enseignant peut rectifier les erreurs et évaluer l'avancement du groupe.

Cette activité ressemble à l'activité scolaire pratiquée en classe. Il est cependant important de considérer l'activité d'abstraction et non l'espace de la classe. De plus, L'abstraction peut être de l'écoute unidirectionnelle comme illustré ci-dessous, cela peut également être une approche participative ou le retour sur une création.

Concentration

Les enfants sont tous différents et éprouvent des besoins spécifiques. Les pédagogies actives s'intéressent aux besoins particuliers des enfants pour essayer d'y répondre. Dans cette optique, les enfants n'ont pas tous la même capacité de concentration, de mémorisation ou de créativité. Certains enfants ont besoin d'énormément d'efforts pour se concentrer ou pour résoudre un problème. L'isolation permet de trouver de trouver le calme nécessaire pour se concentrer lorsque l'ambiance de la classe n'est pas propice.

Exposer/partager/se rassembler

L'exposition est une activité interdisciplinaire. Il s'agit d'une reconnaissance des travaux déjà élaborés par l'enfant mais aussi d'un moment d'expression libre et personnel. L'activité permet aux enfants d'apprendre à s'exprimer, à dépasser ses craintes et à se livrer au groupe. L'exposition est une activité d'apprentissage tant pour celui qui présente que pour celui qui écoute, ce dernier apprend la bienveillance et l'écoute respectueuse.

L'exposition est avant tout un moment de partage, et cela au sein de tout groupe ou communauté. Ainsi, le partage ne se limite pas au groupe de la classe, il s'étend à la communauté scolaire et inclut la communauté du quartier.

Ces activités permettent au groupe et à la communauté de se rassembler. Le rassemblement permet à l'enfant de s'identifier et d'être considéré comme un enfant unique appartenant à un groupe plus large.

Socialiser

L'enfant évolue dans un groupe et une communauté, il est en plein développement de ses émotions et de sa capacité à socialiser. La relation aux autres est très importante et n'est pas une discipline scolaire mais un développement naturel. Les échanges apprennent à l'enfant le respect, le vivre-ensemble et le partage. Les moments de socialisation sont multiples à l'école et sont inclus dans de nombreuses activités déjà énoncées.

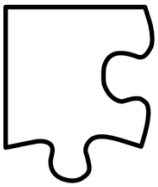
Manger

Activité humaine plus qu'une activité scolaire, le déjeuner est une activité immanquable durant une journée scolaire. Dès lors, il est important de la considérer comme une activité scolaire. Le déjeuner

consiste en une pause pour prendre des forces et marquer un arrêt pendant la journée. Il est également un moment de convivialité.

LES GROUPES SCOLAIRES

L'école primaire peut être considérée comme plusieurs cercles concentriques dans lesquelles l'enfant évolue. En effet, l'école est un espace où l'on est confronté à soi-même, à un groupe et à une communauté. Les espaces architecturaux et les activités dépendront du cercle visé.



L'enfant unique

L'enfant est avant tout considéré comme unique. Il évolue selon son rythme et selon ses besoins. Il apprend en autonomie et grâce à l'aide des enseignants. Les méthodes pédagogiques varient selon l'importance qu'elles accordent à l'enfant comme être unique.

Le groupe de la classe

La classe est le groupe rassemblant les enfants selon le degré d'enseignement. La distinction des classes varie en fonction des écoles et des pédagogies. Traditionnellement, l'école sépare les élèves en 6 niveaux de classes selon leur âge (et la réussite du niveau inférieur). Une classe regroupe en général 25 élèves. Lorsque l'école accueille plus d'enfants, il y a plusieurs classes par niveaux. Certaines écoles ne séparent pas les enfants en 6 niveaux distincts mais réunissent les enfants dans un groupe. Les enfants évoluent alors dans un groupe classe avec des enfants plus ou moins avancés.

Le groupe classe est le groupe auquel l'enfant peut s'identifier et appartenir. Il a un enseignant de référence. La plupart des activités se font par classe.

Le groupe par niveau interclasse

L'interclasse ou le niveau est un cercle intermédiaire entre la classe et la communauté de l'école entière. Ce cercle rassemble quelques classes selon leur niveau, les distinctions varient. Un groupe interclasse peut rassembler 2 classes, 2 années scolaires ou encore plusieurs années selon une discipline ou un projet éducatif. L'objectif est de s'entraider et de partager les connaissances lors d'activités collaboratives, de se stimuler l'intelligence du groupe et de se tirer vers le haut en incluant les plus faibles.

La communauté scolaire

L'école étant avant tout une communauté, il est important de dédier suffisamment d'importance à la communauté scolaire. On considère communauté toute l'école rassemblée, réunissant les enfants de tous les niveaux, les enseignants ainsi que la direction. La pédagogie active souhaite que l'enfant évolue au sein d'un groupe et nous rappelle ainsi l'importance de la communauté. Les espaces communautaires permettent le partage d'expérience, l'expression libre et la socialisation.

Le quartier

Enfin, l'école n'est pas uniquement centrée sur elle-même mais s'ouvre au quartier dans lequel elle s'intègre. En tant que noyau multiculturel et intergénérationnel, l'école devient un moteur de la vie du quartier, qu'il soit rural ou urbain. L'implication des habitants dans les tâches communautaires ainsi que la participation des habitants à des activités pédagogiques permettent de tisser un lien entre l'école et son environnement direct. Le degré de participation et d'investissement augmente proportionnellement par rapport à cette relation et la confiance établie entre l'école et le quartier.

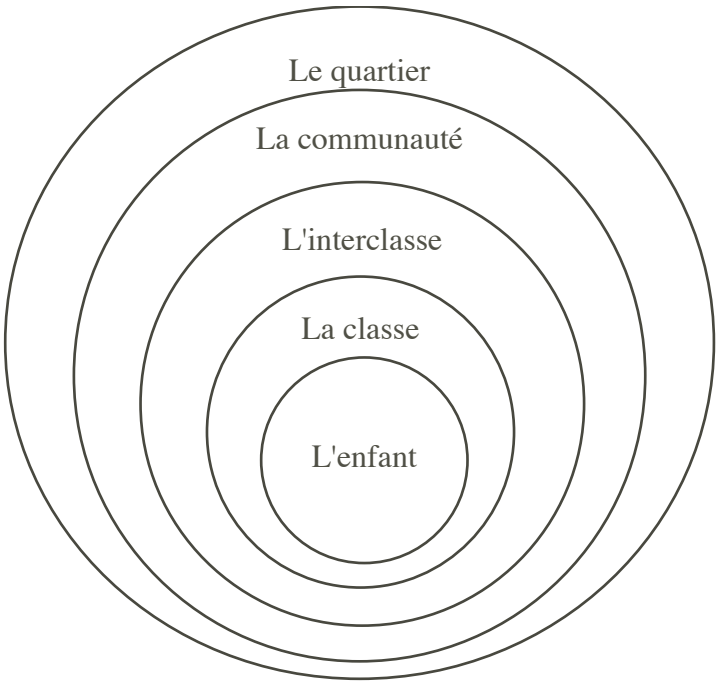
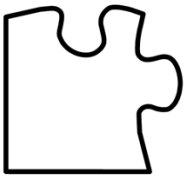


Figure 42 Groupes scolaires

La dernière collection d'éléments est la notion du temps. Le temps est un facteur non négligeable dans les éléments de l'école primaire. Le calendrier scolaire fixé par les communautés ainsi que l'horaire fixé par la direction rythment les activités scolaires. Les saisons et le cycle journalier du soleil influencent la géométrie des espaces et ont un effet immédiat sur les activités pratiquées.



Calendrier scolaire

Le calendrier scolaire belge est identique pour toute la Belgique malgré de très petites différences en termes de jours fériés selon les communautés. Une année scolaire commence début septembre et se clôture fin juin. Les mois de juillet et août sont donc des mois creux pour l'école primaire. En outre, l'année scolaire est rythmée par des vacances trimestrielles d'une à deux semaines. Enfin, la semaine scolaire commence le lundi et se termine le vendredi, coupée par une demi-journée le mercredi.

Saisons

La Belgique se situant dans un climat tempéré océanique, on bénéficie d'hivers froids et humides et d'étés doux.

Les activités et les espaces doivent être pensés selon l'horaire de la journée mais également selon l'orientation et la position du soleil. Cela permet de profiter de lumière naturelle ainsi que de l'apport de chaleur qu'il offre sans être gêné par l'éblouissement ou la surchauffe possible.

Dans les écoles occupées de 8 heures à 16 heures de septembre à juin, l'inconfort peut être causé par l'éblouissement lumineux, la surchauffe en été et le froid en hiver. Il est important d'adopter des stratégies face à ces contraintes saisonnières et journalières.

Horaire d'une journée

A partir du calendrier scolaire officiel, chaque école établit son horaire comme elle le souhaite. De manière générale, la journée commence aux alentours de 8h30 et se termine vers 15h30. Pendant ces heures-là, les activités et les horaires varient en fonction des conditions, des saisons et du programme pédagogique.

Des systèmes de garderie et d'école de devoirs sont parfois organisés en dehors de ces heures afin de permettre aux enfants de faire leurs devoirs à l'école et aux parents de combiner avec leur travail professionnel. Au-delà des systèmes de garderie, certaines activités extrascolaires peuvent avoir lieu à l'école pendant les heures creuses (soirée et week-end).

Une journée type à l'école primaire est la suivante :

- Garderie et accueil des enfants
- 08h30 première période
- 10h00 récréation
- 10h30 deuxième période
- 12h30 déjeuner puis récréation

- 13h30 troisième période
- 15h30 fin de la journée
- Garderie

Remarque : cette journée-type peut/doit cependant varier selon les activités et selon les saisons.

La gestion

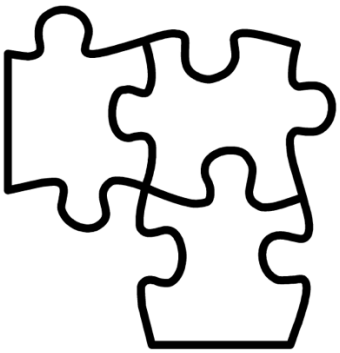
L'école étant un bâtiment dynamique dans un environnement dynamique, il est important de réguler les équipements mis en place selon les conditions d'utilisation et les conditions physiques (saisonnières et journalières). L'école est un ensemble d'espaces pensés par des concepteurs selon une occupation et un climat. Cependant ce sont les utilisateurs du bâtiment qui bénéficient des espaces. Dès lors, il est important d'inclure l'occupant dans la compréhension et la gestion horaire des éléments techniques. Ceux-ci peuvent être dimensionnés et mis en place pour être régulés automatiquement mais l'occupant doit en tout temps avoir la possibilité de modifier les conditions d'ambiance.

3. ASSEMBLAGE DES ELEMENTS

Comment va-t-on désormais assembler toutes ces pièces du puzzle ?

Tout d'abord nous allons associer chaque activité à un degré de fermeture et à un groupe scolaire. Ensuite, nous associerons ces degrés de fermeture à des systèmes constructifs. Les éléments abstraits vont se matérialiser et prendre l'apparence d'espace architecturaux. Enfin, nous combinerons les espaces et les juxtaposerons à l'organisation de l'école. On se rapproche ainsi du projet d'architecture en concevant un prototype.

A partir des observations, des différentes approches et des éléments de puzzle fragmenté, on peut assembler toutes ces données dans le but de concevoir l'école de l'utopie. Celle-ci sera l'objet du prochain chapitre dédié au projet d'architecture.



PROGRAMME

En se basant sur les éléments, nous pouvons associer chaque activité à une ambiance dans laquelle celle-ci peut se dérouler. Par exemple, lors du jeu, l'enfant est actif et tous ses sens sont éveillés. Sa curiosité est stimulée par l'environnement extérieur. De plus, son rythme cardiaque s'accélère lors du jeu et il produit ainsi plus de chaleur. Dès lors, le jeu est une activité qui peut se pratiquer à l'extérieur.
Au même titre, l'écoute est une activité statique. L'enfant a besoin d'un environnement qui supprime la distraction extérieure. Dans la position statique, l'enfant produit moins de chaleur et de transpiration. Pour cette activité, il a besoin de conditions thermiques ni trop chaudes, ni trop froides. C'est pourquoi l'écoute se déroule dans un environnement clos et isolé.
Enfin, des activités telles que l'exposition, le rassemblement et le déjeuner sont des activités particulières. Dans les deux premières, les enfants se rassemblent, l'occupation de l'espace est donc plus dense et la production de chaleur augmente proportionnellement (ainsi que les besoins de ventilation). Dans le cas du déjeuner, les enfants ingèrent de la nourriture. On considère que celle-ci est chaude par la mise en place d'une cantine et d'une cuisine. Le corps régule physiologiquement la température de l'enfant par rapport à l'énergie ingérée. Le déjeuner peut dès lors se passer dans un espace plus froid ou plus chaud.

Il a fallu comprendre le temps consacré à chaque activité, l'espace attribué et le nombre d'occupants. Cela influence en effet la capacité d'adaptation aux conditions physiques mais aussi l'importance de la sensation de bien-être. Par exemple, l'exposition et le rassemblement sont des activités auxquelles l'on consacre des périodes de temps allant de la demi-heure à plusieurs heures. Le corps de l'enfant a le temps de s'adapter aux conditions dans lequel il se trouve. En revanche, la circulation est une activité qui prend très peu de temps d'affilée, traverser le couloir ne prend au maximum que quelques minutes. Il n'est donc pas nécessaire d'y insérer des conditions de confort optimales.

Ci-dessous, un tableau récapitulatif des éléments assemblés. Chaque activité a été attribuée à un espace scolaire ainsi qu'une ambiance thermique. Les tailles des locaux suivent au minimum les directives de la Fédération Wallonie Bruxelles en matière de programme d'école primaire.[80]

Programme scolaire

Activité	Groupe	Fermeture et ambiance	Taille	Nombre d'occupants	Temps
Manger	Communauté	Abrité	Moyen	75	30'
Jouer	Communauté	Extérieur	Grand	10-200	30'
Lire	L'enfant	Abrité	Petit	20	10'
Sport	Communauté	Extérieur	Grand	10-40	30'
Socialiser	Communauté	Extérieur	Grand	10-40	30'
Explorer	Quartier	Extérieur	200 m^2	25	30'
Cultiver	Quartier	Extérieur	200 m^2	25	60'
Écouter	Classe	Chaud	60m^2	25	60'
Se concentrer	L'enfant	Chaud	Petit	1-5	15'
Collaborer	Interclasse	Intérieur fermé	Petit	4-10	25'
Ranger	Classe	Intérieur ouvert	Petit	25	5'
Se rassembler	Communautaire	Intérieur ouvert	Grand	25-200	90'
Circuler	Interclasse	Intérieur ouvert	Passage	Variable	3'

Programme technique et sanitaire

Activité	Groupe	Fermeture et ambiance	Nombre d'occupants	Temps
Sanitaire	Communautaire, interclasse	Intérieur	5	5'
Local technique	Variable	Intérieur	0	0'
Cuisine	Communautaire	Ventilé	2	60'
Vestiaire	Communautaire	Abrité	25	10'

[80] Guide de dimensionnement écoles Fédération Wallonie Bruxelles

Programme pour le corps éducatif

Activité	Groupe	Fermeture et ambiance	Nombre d'occupants	Temps
Se réunir	Corps enseignant	Intérieur	10-30	30-120'
Accueillir	Communauté et quartier	Abrité	0-30	5-10'
Administration et archivage	Corps enseignant	Chaud	1-5	60'

ORGANISATION

Relations

Le programme établi par l'assemblage des éléments doit désormais être organisé. Pour cela, il faut mettre en évidence les relations entre les espaces ainsi que leur degré de fermeture et le groupe scolaire auquel il s'adresse. Ci-dessous deux organigrammes présentant les éléments ainsi que leurs relations mutuelles. Les couleurs représentent dans le premier schéma le degré de fermeture et dans le deuxième, les groupes scolaires. Remarque : les tailles des rectangles n'ont pas de repères et sont symboliques. Par ailleurs, chaque activité/espace est représentée par un seul rectangle, même s'ils sont multipliés par après (par exemple la classe). Il s'agit de représenter les relations entre les différentes activités et espaces et non chaque classe particulière car chacune entretient les mêmes relations avec les espaces qui l'entourent.

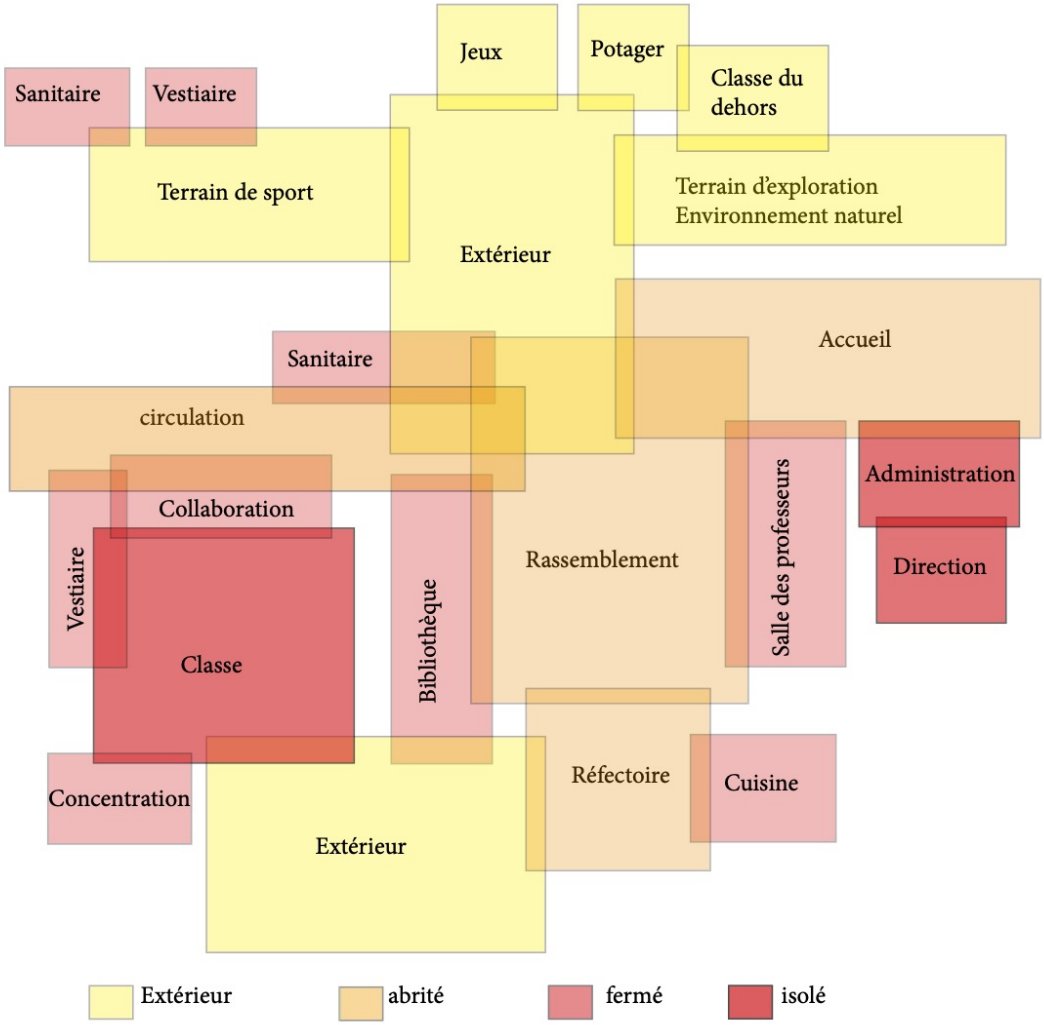


Figure 43 Organigramme selon degré de fermeture (source auteur)

Dans l'organigramme ci-dessus, l'on remarque que la classe est l'unique élément isolé avec les locaux administratifs. L'on remarque aussi qu'il y a une majorité d'espaces extérieurs et abrités.

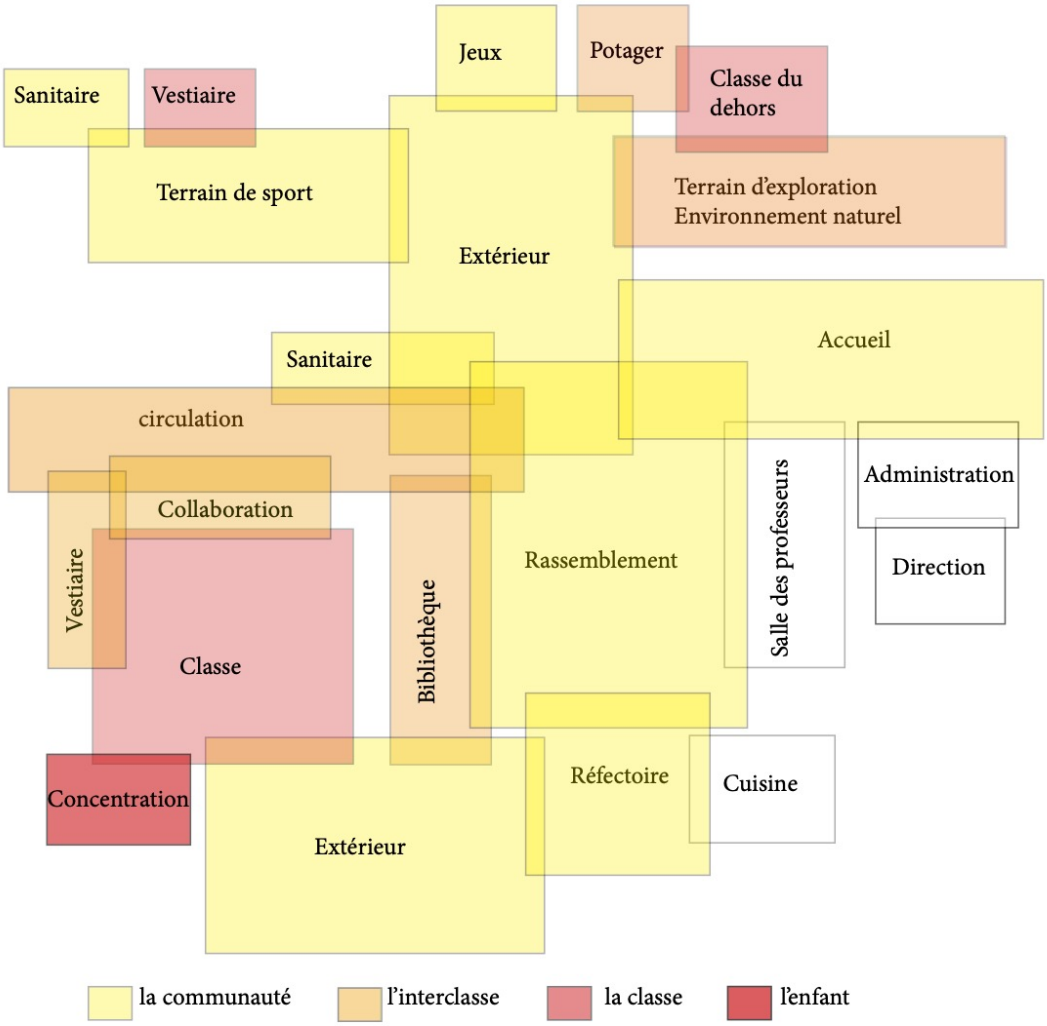


Figure 44 Organigramme selon le groupe scolaire (auteur)

Dans l'organigramme ci-dessus, l'on remarque que la majorité des espaces sont adressés à la communauté scolaire. En seconde position, les espaces « interclasse » et enfin la classe. On remarque qu'il n'y a qu'un espace consacré à l'enfant. Cependant, l'enfant est au cœur des préoccupations dans tous les espaces. L'espace de concentration est un endroit plus reculé dans lequel il peut s'isoler. En outre, l'enfant unique peut s'approprier n'importe quel espace scolaire car il est le centre de tous les cercles représentant les groupes scolaires.

Disposition spatiale

Désormais nous jouissons d'une bonne compréhension des espaces et des relations qu'ils entretiennent. Il nous est possible de les juxtaposer en tant que volumes afin de créer un ensemble. Pour cela, nous considérons tous les outils que nous avons déjà utilisés jusqu'ici tels que les systèmes constructifs, les relations des espaces et leur degré de fermeture. Cette étape est cruciale pour la réalisation du projet par après et fait partie de la conception du projet dans un site implanté.

L'on remarque dans les organigrammes que l'élément central est l'espace communautaire ainsi que les activités de groupe. C'est pourquoi le prototype divise l'école en deux volumes : l'un dédié à la classe et l'autre à la communauté scolaire. Les deux volumes jouissent se relient par l'extérieur. La plupart des activités communautaires nécessitent tout au plus un abri, dès lors le volume communautaire ne fait pas partie du prototype architectural qui suit. Nous nous concentrerons sur

le volume classe. Celui-ci reprend la classe, l'anti-classe, des espaces collaboratifs et appropriables ainsi que de la circulation.

La séparation des volumes de classes a pour objectif de séparer l'école en espaces permettant de varier les ambiances. La dualité des volumes permet en outre de créer de l'espace extérieur dont l'école à besoin.

La circulation extérieure ainsi que le volume communautaire ont pour objectif de rassembler la communauté. Ainsi, l'enfant doit sortir pour aller manger et socialiser avec les amis, le volume communautaire relié au terrain de sport permettent le rassemblement du groupe. La circulation se fait par l'extérieur et permet de relier tous les espaces, en intégrant les espaces extérieurs au cheminement.

Le prototype qui suit prend la forme d'une barre de 8 classes, il peut se multiplier selon la taille de l'école et le nombre d'élèves. Multiplier cette barre de 8 classes permet de créer des espaces extérieurs et des séquences architecturales. Ci-dessous un schéma illustre cette multiplicité.

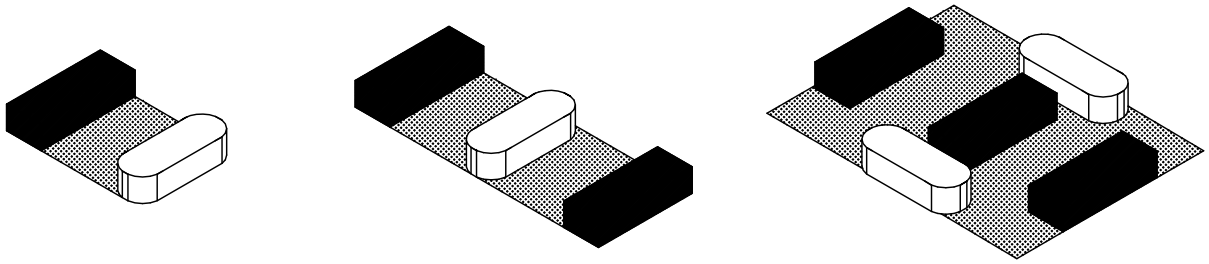


Figure 45 Multiplicité du prototype (élaboration de l'auteur)

4. PROTOTYPE ARCHITECTURAL ET SCOLAIRE

Le chapitre est dédié au prototype architectural et scolaire. Pour cela, nous nous basons sur l'outil de conception de la recherche et du projet d'architecture (partie 4). Comme dit plus haut, le prototype consiste en une série de classes, leurs espaces intermédiaires et la circulation

Le prototype se dit « adaptatif » visant à s'adapter à l'hypothèse posée dans l'utopie concernant la suppression du chauffage. L'attitude adaptative est une attitude de conception prenant en compte tous les enjeux du projet, tous les occupants ainsi que la situation climatique dans lequel il s'insère. Le prototype est un dialogue entre le bâtiment, l'occupant et l'environnement. Ceux-ci s'adaptent mutuellement.

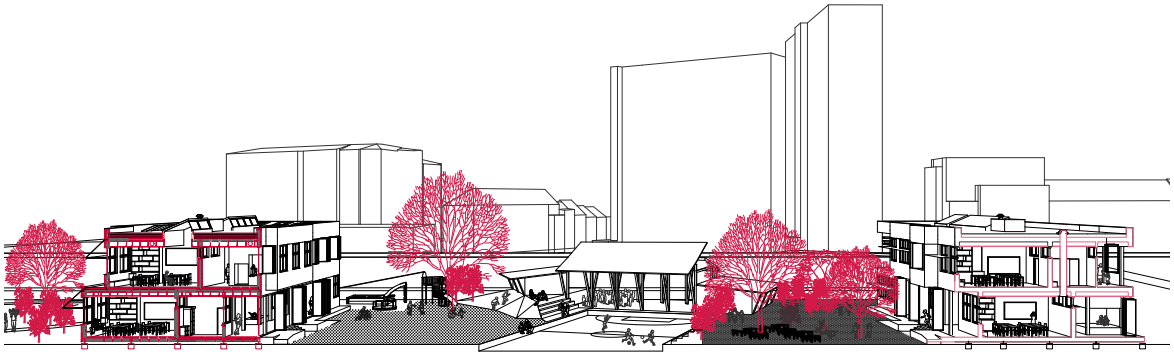


Figure 46 Coupe du projet (élaboration de l'auteur)

ADAPTATION DE L'ENVELOPPE

Nous avons décomposé les espaces scolaires selon leur ambiance et besoin de chaleur. Il faut dès lors matérialiser ces différences d'espaces et d'ambiances. Pour cela, nous considérons tout d'abord de faire varier l'enveloppe des espaces. Celle-ci a un impact direct sur les gains de chaleur et les déperditions.

Nous considérons deux ambiances thermiques : celle fortement isolée de la classe et de la salle de concentration. Cette classe permet d'optimiser les gains internes à l'intérieur du bâtiment en hiver et de se protéger des fortes chaleurs en été. La deuxième ambiance jouit d'une enveloppe moins performante et les espaces sont dédiés à la circulation, aux travaux collaboratifs et aux vestiaires et rangements. Dans cette ambiance thermique, les températures sortent des plages de confort habituelles pendant les vagues de chaleur extrême.

En raison du climat belge, nous considérons que le défi est de chauffer une classe en hiver sans avoir recours à un système chauffage. Dans les chapitres suivants, nous parlerons des espaces chauds et des espaces froids. Il faut comprendre par « chaud » l'espace classe et par « froid » l'espace couloir/collaboration.

Pour assembler divers espaces, nous rencontrerons différentes compositions de parois. Le système de poutres et de colonnes permet un remplissage des parois selon les besoins. Le système

constructif d'ossature bois lamellé-collé en assemblage mécanique sec permet une mise en œuvre facile et partiellement réversible, un coût environnemental réduit et la préfabrication de certains éléments.

Pour des raisons d'inertie thermique, le plancher d'étage est composé d'une chape en béton. En outre, la façade a un parement extérieur en brique. Lors des vérifications par modélisation, nous remarquerons que l'ajout de masse à la structure permet de stabiliser les températures.

L'illustration ci-jointe permet d'avoir un aperçu des différentes parois

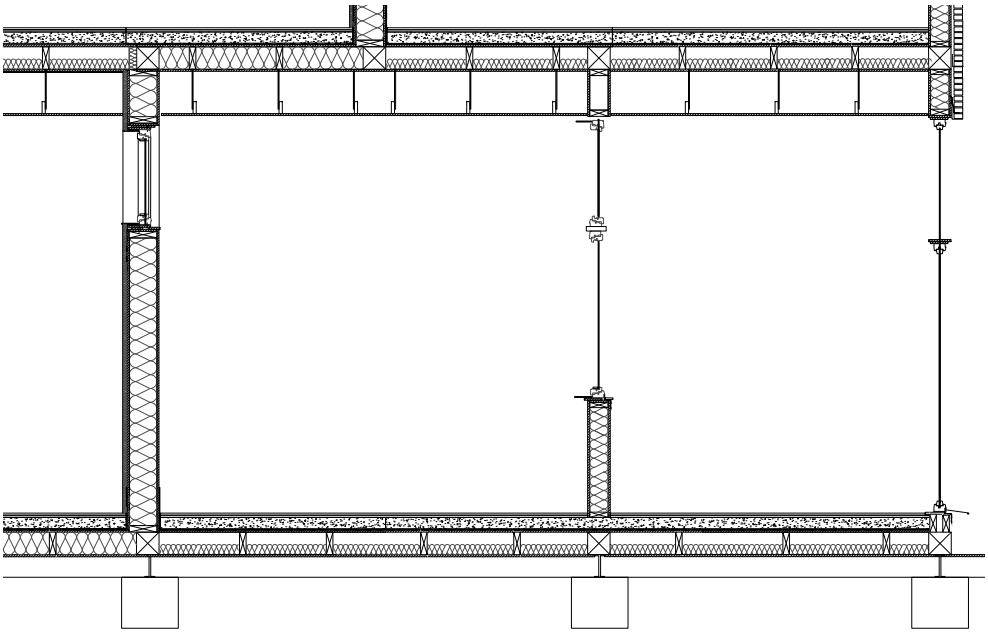


Figure 47 Composition des parois (élaboration de l'auteur)

Enveloppe de l'espace classe dit *chaud*

L'espace isolé est composé d'une façade extérieure isolée par des flocons de cellulose. Afin de bénéficier des gains solaires en hiver, les ouvertures sont orientées plein sud. Des protections solaires sont indispensables pour protéger les occupants des rayons directs du soleil mais aussi des surchauffes en été. Des protections solaires fixes sont dimensionnées et conçues pour laisser passer les rayons bas en hiver et arrêter les rayons hauts en l'été. Des protections mobiles intérieures permettent de réguler l'éblouissement.

Le parement intérieur est un bardage de lattes en bois. Le bois procure une ambiance agréable et saine à l'intérieur tout en valorisant les matériaux naturels.

Composition du mur extérieur :

Matériaux Extérieur → Intérieur	Lamda (W/m/k)	Masse volumique (kg/m^3)	Epaisseur (mm)	R (m^{2}k/W)
Parement de briques	0,2640	2000	80	0,125
Caisson OSB	0,130	500	18	0,138
Flocons de cellulose	0,039	52	250	6,410
Caisson OSB	0,130	500	18	0,138
Lattage bois			30 x 30	
Membrane pare-vapeur			2	

Isolant cellulose en rouleau	0,041	80	30	0,732
Parement bois	0,26	920	20	0,077
Total			418	R=7,791 U=0,128

Composition des fenêtres

Matériaux Intérieur → Extérieur	U (kW/m²)	Transmission de lumière	Transmission de chaleur
Châssis en bois avec capot d'aluminium et double vitrage	1,5	0,7	0,6

Composition du mur intérieur

L'espace fermé est composé de parois opaques et d'ouvertures vitrées. Les parois sont faiblement isolées pour limiter de trop grandes différences de températures et limiter les nuisances acoustiques.

Composition du mur chaud :

Matériaux Intérieur → Extérieur	Lamda (W/m/k)	Masse volumique (kg/m³)	Epaisseur (mm)	R (m²k/W)
Parement bois	0,26	920	20	0,077
Ossature bois			100	
Isolant flocons de cellulose	0,039	52	100	2,564
Plaque OSB	0,130	500	18	0,138
Parement bois	0,26	920	20	0,077
Total			158	R=3,026 U=0,33

Composition des fenêtres

Matériaux	U (kW/m²)	Transmission de lumière	Transmission de chaleur
Chassis en bois et double vitrage	2,5	0,7	0,6

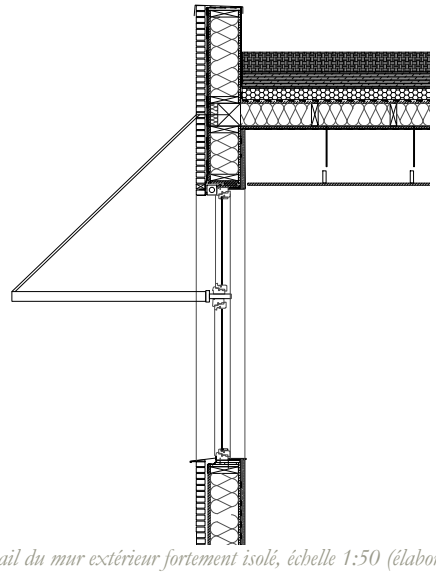


Figure 48 Coupe détail du mur extérieur fortement isolé, échelle 1:50 (élaboration de l'auteur)

Froid

Les espaces abrités, comme expliqué dans les éléments, doivent pouvoir s'adapter en fonction des conditions. Le système constructif permet cette modulabilité en intégrant des châssis ouvrants qui ouvrent entièrement l'espace. En été, les espaces seront abrités (ombre) mais entièrement ouverts (aérés). En hiver, les espaces seront clos et protégés des intempéries.

Composition du mur extérieur froid

Matériaux Extérieur → Intérieur	Lamda (W/m/k)	Masse volumique (kg/m^3)	Epaisseur (mm)	R (m^{2}k/W)
Brique	0,640	2000	80	0,125
Caisson OSB	0,130	500	18	0,138
Cellulose	0,039	52	150	3,846
Caisson OSB	0,130	500	18	0,138
Pare-vapeur			2	
Parement intérieur	0,26	920	20	0,077
Total			286	R = 4,495 U = 0,222

Composition des fenêtres

Matériaux Extérieur → Intérieur	U (kW/m^2)	Transmission de lumière	Transmission de chaleur
Châssis en bois avec double vitrage	2,5	0,7	0,6

Composition du mur intérieur froid

Matériaux Extérieur → Intérieur	Lamda (W/m/k)	Masse volumique (kg/m^3)	Epaisseur (mm)	R (m^{2}k/W)
Parement	0,26	920	20	0,077
Caisson OSB	0,13	500	18	0,138
Cellulose	0,039	52	100	2,564
Caisson OSB	0,13	500	18	0,138
Parement intérieur	0,26	920	20	0,077
Total			176	R = 3,165 U = 0,316

Composition des fenêtres

Suite à l'exposition des parois intérieures au vent lorsque l'enveloppe extérieure est ouverte, les châssis intérieur sont également pourvus de double vitrage.

Matériaux Extérieur → Intérieur	U (kW/m^2)	Transmission de lumière	Transmission de chaleur
Châssis en bois et double vitrage	2,5	0,7	0,6

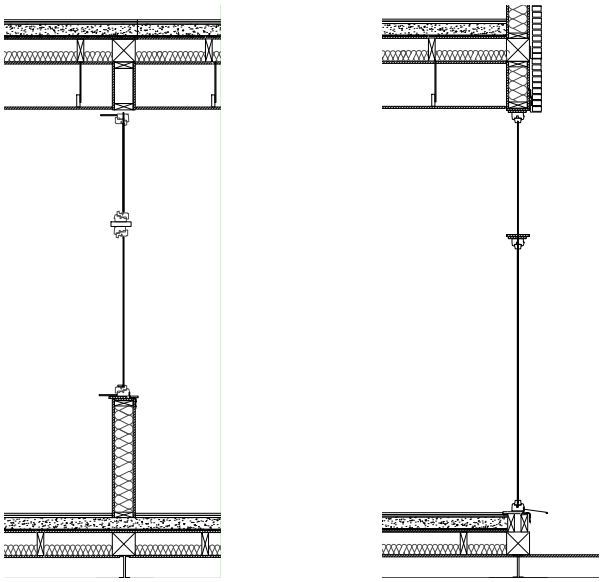


Figure 49 Coupe détail de l'enveloppe peu isolée, échelle 1:50 (élaboration de l'auteur)

UNE CONSTRUCTION QUI S'ADAPTE AU CLIMAT

Conception spatiale et thermique

Tout d'abord, les espaces scolaires sont positionnés selon leur besoin en chaleur et lumière ainsi que leur degré d'intimité. Cela résulte en un couloir large qui intègre des espaces collaboratifs (espace fermé), vestiaire et espaces appropriables. La position saillante de certains éléments permet de dynamiser le parcours de l'occupant et de le ponctuer de lieux spéciaux tels qu'une salle de lecture ou de travail, d'un espace de rencontre ou de rangement.

La juxtaposition de ces espaces permet de définir une enveloppe constructive des espaces fortement isolés au sein d'une enveloppe légère. Ici réside un des aspects importants de la compréhension du prototype. En effet, le volume entier n'est pas considéré de la même manière en ce qui concerne son enveloppe. On obtiendra ainsi deux zones d'ambiances thermiques différentes. C'est la conséquence directe de la séparation des éléments.

Les espaces nécessitant de la chaleur et de l'intimité sont orientés au Sud afin de profiter de l'énergie du soleil. Les espaces de collaboration et de circulation nécessitant moins de confort thermique sont orientés au Nord.

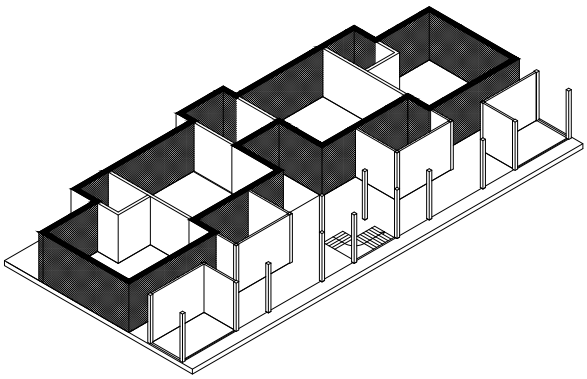


Figure 50 ambiance chaude au Sud

Les stratégies pour chauffer et refroidir

La suppression du chauffage implique qu'il faut produire ou capter de la chaleur différemment. Du point de vue architectural, l'on s'intéresse aux stratégies passives de la bioclimatique. Les gains internes dû à l'activité et l'occupation seront abordés plus bas.

- **Inertie thermique** : l'ossature bois ne procure pas beaucoup d'inertie thermique à cause de sa faible masse volumique variant de 500kg/m^3 à 700kg/m^3 selon les composants. Pour augmenter l'inertie du bâtiment, on considère une chape de béton d'étage qui repose sur la structure bois. La chape est composée de mortier dont la masse volumique est de 2200kg/m$^{3.}$ La chape en béton ajoute de la masse et de l'inertie mais cela ne suffit pas à maintenir l'énergie dans le bâtiment et stabiliser les températures. C'est pourquoi nous optons pour une façade en brique de parement comme énoncé plus tôt.

- **Enveloppe isolée** : L'enveloppe est la première cause des déperditions thermiques. Il est important de concevoir une enveloppe fortement isolée afin de maintenir les apports d'énergie à l'intérieur du bâtiment. L'enveloppe a déjà été définie selon les ambiances thermiques recherchées.

- **Stratégie hiver >< été :** Il est possible de transformer le bâtiment selon la saison. En effet, en hiver, l'espace doit être protégé des intempéries et du froid, on opte donc pour la fermeture des parois constituant l'enveloppe. A l'inverse, en été on apprécie l'air extérieur et la ventilation naturelle qu'il procure. C'est pourquoi on peut ouvrir l'enveloppe en été. La distinction de deux enveloppes permet de maintenir une enveloppe fortement isolée et fermée et une enveloppe plus légère qui s'ouvre en été. Cela s'applique à l'enveloppe légère et aux lieux qui tolèrent des plages de confort plus larges. (circulation, collaboration et anticlasse).

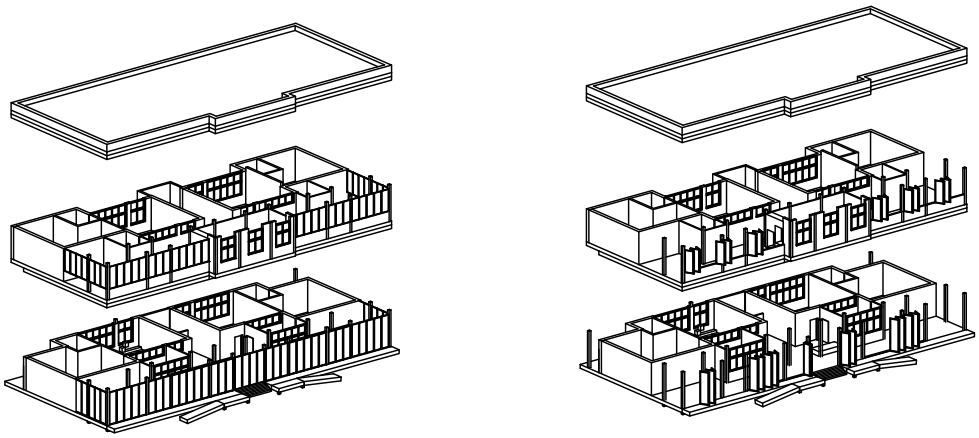


Figure 51 Stratégie hiver (fermé) et été (ouvert) (élaboratin de l'auteur)

- **Freecooling** : En été, la ventilation intensive pendant les heures nocturnes permet de faire descendre la température du bâtiment. L'air extérieur suffit alors à faire chuter les températures qui sont montées pendant la journée et de commencer chaque journée avec la même température.

- **Protections solaires** : Le soleil étant un allié en hiver, il est impératif de s'en protéger en été. Les rayons directs du soleil sur les ouvertures entraînent la

surchauffe du bâtiment. L'intégration de protections solaires est donc indispensable. La position de celles-ci dépend de l'orientation et de la hauteur du soleil. En été, le soleil est haut et les rayons sont verticaux. C'est pourquoi les protections solaires horizontales sont les plus adéquates pour freiner la chaleur des rayons estivaux sans les freiner en hiver.

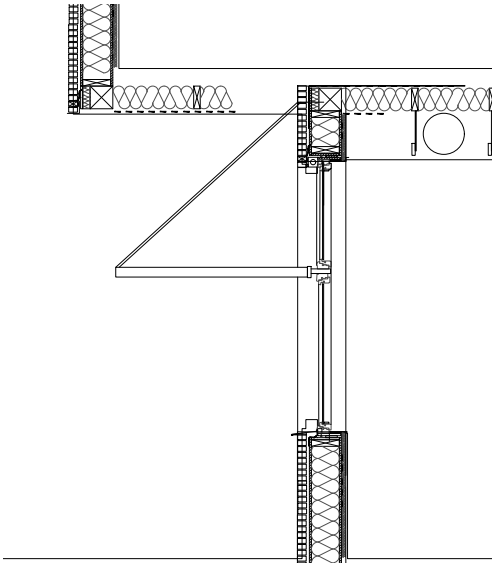


Figure 52 Protections solaires

- **Châssis ouvrants :** Les protections solaires et la ventilation nous protègent du soleil, on n'est pourtant jamais à l'abri d'une vague de chaleur ou d'un inconfort thermique, il est important d'intégrer suffisamment d'ouvrants manuels parmi les ouvertures.

- **Ventilation mécanique à récupérateur de chaleur :** Si toutefois les stratégies naturelles ne suffisent pas à atteindre des températures acceptables à l'intérieur, l'on peut intégrer un système de ventilation double flux à récupération de chaleur. Le récupérateur de chaleur permet un échange d'air entre l'extérieur et l'intérieur en conservant la chaleur de la pièce.

Les stratégies pour ventiler (naturellement)

On a soulevé l'importance de la ventilation dans les écoles. L'occupation des espaces engendre un besoin de ventilation hygiénique différent selon le taux d'occupation et d'activité. Pour une classe de 25 enfants, le besoin de ventilation hygiénique s'élève à : 17 * 25 = 425m^3/h. Dans une classe de 224m^3, cela revient à un renouvellement horaire de 2 renouvellements/h. Ci-dessous une série de stratégies ainsi que leurs avantages/contraintes.

- **Ouvertures automatisées :** L'ouverture automatisée des fenêtres permet de contrôler le débit d'air. Cela permet d'assurer la ventilation hygiénique pour l'éliminer les polluants.

- **Ouvertures manuelles :** En cas de sur-occupation ou d'occupation exceptionnelle, ou dans le cas d'ensoleillement trop fort, il est important d'inclure des ouvertures manuelles qui offrent la possibilité à l'occupant d'être responsable de l'amélioration de l'ambiance.

- **Cheminée :** Concevoir une cheminée permet d'améliorer le tirage de l'air en créant de la dépression. Dans notre cas, cela ne suffit pas pour offrir le renouvellement de l'air 2x/h nécessaire

- **Ventilation mécanique :** La ventilation mécanique est alors indispensable pour assurer un débit d'air suffisant.

Remarque sur la ventilation double flux

La ventilation mécanique double flux consomme de l'électricité, or nous avions constaté (partie 2) qu'il fallait également surveiller la consommation d'électricité dans les écoles. La ventilation mécanique est inévitable afin d'assurer la ventilation hygiénique minimale de l'espace (voir ci-après). L'on peut dès lors intégrer le système de récupérateur de chaleur pendant l'hiver. L'installation d'un récupérateur de chaleur répond à l'utopie de l'école sans chauffage car cela n'implique pas de système de caléfaction à combustible. En outre, en vue d'atteindre la neutralité énergétique et de consommer durablement l'électricité, il faut intégrer une production d'énergie renouvelable sur site. C'est pourquoi le prototype intègre des panneaux solaires sur la toiture plate du prototype. Enfin, suite au constat sur les écoles passives, le système de ventilation double flux ne doit jamais empêcher l'ouverture ou fermeture manuelle des ouvrants.

Les stratégies pour optimiser la lumière (naturelle)

Comme vu antérieurement, la lumière naturelle est importante pour le développement de l'enfant. L'exigence à atteindre est une luminance de 300lux dans chaque espace éducatif (car tout espace peut se transformer en espace de concentration ou de lecture). Cependant, la lumière peut occasionner la gêne visuelle et l'éblouissement. C'est pourquoi il faut privilégier la lumière diffuse plutôt que les rayons directs.

- **Orientation :** L'organisation spatiale, l'orientation et le dimensionnement des ouvertures permettent d'assurer un éclairage naturel. L'orientation Nord offre de la lumière diffuse en permanence alors que l'orientation Sud offre de la lumière directe. La meilleure lumière pour les espaces scolaires est la lumière naturelle diffuse [81], on a donc tendance à orienter les classes au Nord. Cependant, pour des raisons thermiques, les classes du prototype sont orientées Sud, il est dès lors possible de gérer l'apport de lumière directe pour bénéficier de lumière diffuse. Au Nord, on optimise les apports lumineux en installant de grandes baies vitrées pour laisser entrer la lumière plus profondément dans les espaces de circulation.

- **Protections solaires :** Au-delà de réduire les gains solaires et éviter la surchauffe, les protections peuvent réduire l'éblouissement. En effet, les rayons directs du soleil sont le premier facteur d'éblouissement dans les locaux scolaires. Ceux-ci étant orientés vers le Sud, les rayons qui frappent la façade sont verticaux en été et horizontaux en hiver. Les protections sont efficaces contre les rayons verticaux et ont un double objectif de protection contre la surchauffe et l'éblouissement. Cependant, les rayons bas hivernaux sont tout aussi dangereux pour l'éblouissement et le confort visuel. Il faut donc intégrer des protections mobiles pour se protéger des rayons selon l'orientation du soleil lorsque celui-ci est moins haut. Les protections mobiles intérieures permettent d'ajuster la protection selon les besoins.

---

[81] PIDERIT

- **Réflecteurs solaires :** Pour transformer la lumière directe en lumière diffuse, on met en place des réflecteurs solaires. Ceux-ci jouent le rôle de protections des rayons directs et de diffusion de la lumière. Les protecteurs sont placés horizontalement en façade au-dessus de la partie ouvrante de la fenêtre, cela permet de réfléchir les rayons vers le plafond sans obstruer la vue vers l'extérieur.

- **Lumière zénithale :** La lumière zénithale offre de la lumière naturelle diffuse et est recommandée dans les classes. [82] L'ouverture en toiture permet facilement de la lumière zénithale dans les espaces de l'étage supérieur.

- **Fenêtres intérieures :** Certains espaces ne bénéficient pas d'apports lumineux directs car ils ne sont pas en façade, c'est le cas des vestiaires et des anti-classes. Afin d'offrir de la lumière diffuse à ces espaces, les parois sont composées de fenêtres intérieures. Pour maintenir de l'intimité en ces lieux, les fenêtres peuvent être positionnées à une hauteur hors de portée de la vue directe.

- **Tubes solaires :** Les fenêtres intérieures ne suffisent pas lorsque la distance de la façade augmente. Pour diriger la lumière naturelle vers des espace clos sombres, on intègre des tubes solaires. Ces tubes cylindriques captent la lumière en toiture et la dirigent vers l'espace destiné à travers une multitude de réflecteurs. Ces tubes solaires peuvent être encastrés dans une paroi ou être apparents. Ils deviennent alors un élément architectonique.

- **Éclairage artificiel intelligent :** Enfin, pour combler les besoins de lumière naturelle, il est important de concevoir de l'éclairage artificiel et d'intégrer une gestion intelligente de la régulation lumineuse. Ceci est d'application dans des espaces tels que la circulation. L'éclairage intelligent s'allume et régule la lumière selon l'occupation et selon le degré de luminance détecté.

- **Éclairage artificiel manuel :** Tout comme pour l'ambiance thermique et la ventilation, il est important d'intégrer des éléments de régulation manuels afin de permettre à l'utilisateur d'être responsable de l'amélioration de l'ambiance.

DES ESPACES QUI S'ADAPTENT A L'ENFANT

L'enfant étant au cœur des préoccupations lors de la conception du prototype, il est important de d'adapter le bâtiment à ses besoins.

Espaces libres et appropriables

Chaque enfant ayant des besoins particuliers, il existe une multitude d'espaces libres permettant à l'enfant de choisir le lieu dans lequel il veut évoluer à un moment précis. Le mobilier et les parois jouent un rôle architectonique et permettent de créer des ambiances différentes selon la hauteur du plafond, la hauteur du plancher ou du mobilier à taille humaine. L'enfant peut ainsi choisir de s'isoler complètement ou de se retrancher dans un espace plus petit. La liberté permet à l'enfant de prendre des décisions et de faire des choix, elle stimule l'indépendance et aide au développement.

[82] PIDERIT, *The integral classroom, design strategies for improved overall environmental performance*, Concepcion, 2013.

La liberté est en relation directe avec le mouvement et la position qu'il choisit de prendre pour accomplir une tâche.

Espaces collaboratifs

Les espaces collaboratifs donnant directement sur le couloir ou vers les classes permettent de faire des activités diversifiées. Ces espaces sont dédiés au groupe classe mais aussi au groupe « interclasse ».

Espaces clos et ouverts

Alors que la circulation permet la circulation libre et l'appropriation de l'espace, il est important de fermer certains espaces. Cela a tout d'abord pour but de réduire le bruit dans le couloir les nuisances sonores générales, ensuite cela permet d'éviter les dérangements. Fermer l'espace offre de l'intimité, une ambiance plus conviviale et protège des courants d'air possibles.

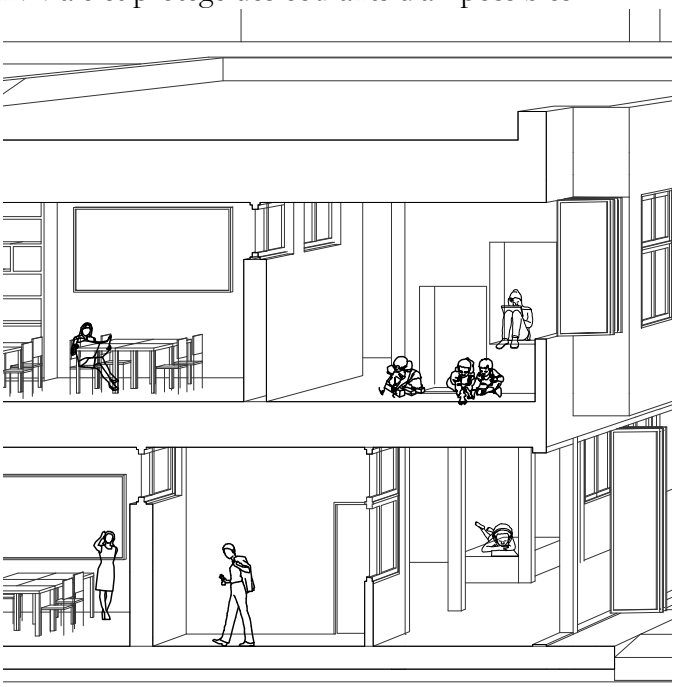


Figure 53 Multiplicité d'espaces

UNE ECOLE QUI S'ADAPTE

Le prototype considère le programme pédagogique faisant partie du concept adaptatif. Il s'agit d'un dialogue entre le bâtiment, l'occupant et l'environnement. Intégrer ces concepts au programme scolaire permet de faire de l'école un projet éducatif complet. Cela permet de saisir les situations exceptionnelles comme des opportunités pour apprendre d'une autre manière.

Activités physiques pour chauffer

En hiver, les gains solaires et les gains internes permettent d'obtenir des températures acceptables au long de la journée. Cependant, en début de journée lorsque les enfants arrivent à l'école, le bâtiment est froid. Il faut dès lors prévoir une activité quotidienne de mise en route pour produire de la chaleur et obtenir une température opérative acceptable. Ce rituel physique permet en outre à l'enfant d'être éveillé et prêt pour la journée. Cela augmente son attention pour la suite des activités.

Activités extérieures selon les saisons

Lorsque le temps le permet, il est important de profiter des conditions extérieures. Des activités entières peuvent avoir lieu à l'extérieur, que ce soit dans l'enceinte de l'école ou dans le contexte environnant.

Projet participatif de la gestion énergétique

Le prototype intègre la participation des enfants, des enseignants et du pouvoir organisateur dans le projet. Le projet devient un levier d'apprentissages et d'activités pédagogiques. L'enjeu est de responsabiliser les enfants face à la consommation d'énergie et de les éduquer à l'éco-responsabilité tout en s'amusant, apprenant et jouant dans un environnement adapté. Intégrer les occupants dans la conception d'un prototype est très ambitieux car la réussite du projet dépend de leur investissement. C'est pourquoi il faut stimuler la motivation à s'investir en organisant l'école autour du projet.

UN ENFANT QUI S'ADAPTE

En intégrant l'enfant et les enseignants au prototype, on considère qu'ils sont prêts à s'investir et à s'adapter aux conditions d'apprentissage particulières.

Degré d'habillement

Les familles et les enseignants sont conscients des conditions dans lesquelles évolue l'enfant. L'enfant s'habille en connaissance de cause et prévoit des vêtements plus ou moins adaptés aux conditions extérieures. Par conséquence, l'espace vestiaire doit être assez spacieux pour ranger les vêtements d'extérieurs.

Adaptation physiologique

Avant l'exposition, l'enfant sait à quoi s'attendre et son corps se prépare à la condition thermique à laquelle il sera exposé. De plus, pendant l'exposition le métabolisme de l'enfant lui permet de s'adapter plus rapidement aux conditions thermiques changeantes. Enfin, à plus long terme, l'enfant développe une résistance aux conditions changeantes qui renforcent ses défenses immunitaires.

UNE GESTION DES TECHNIQUES QUI S'ADAPTE

Un bâtiment adaptatif signifie que celui-ci devrait pouvoir s'adapter à toute situation. La régulation centralisée et automatique des techniques permet d'optimiser les consommations d'énergie et de prédéfinir l'ambiance thermique, lumineuse et la qualité de l'air. Cependant, ces systèmes centralisés sont complexes et il n'est pas toujours possible de dévier du programme pré-enregistré.

Système hybride

Un système de gestion hybride est la réponse choisie suite aux différents constats concernant la gestion centralisée et la gestion manuelle. Il permet au bâtiment de bénéficier de gestion automatique pour un certain degré de satisfaction. Par ailleurs, il permet à l'occupant d'avoir un impact direct sur l'ambiance par l'ouverture d'une fenêtre, l'allumage de la ventilation, la fermeture d'un store, etc.

5. CONCLUSIONS SUR LA RECHERCHE

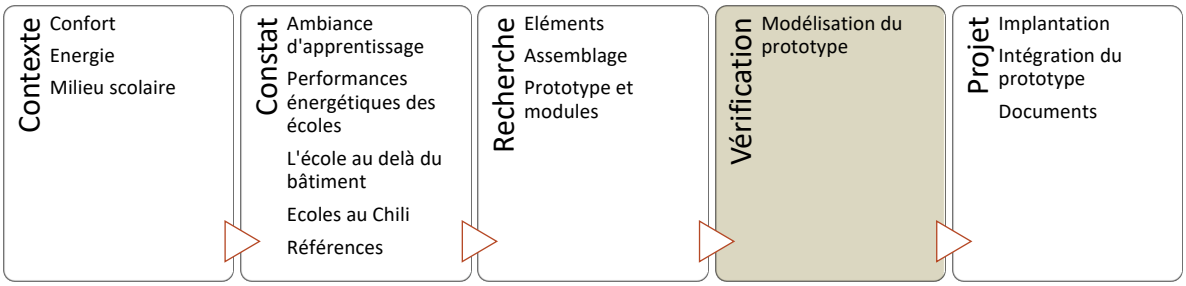
L'outil de conception a permis de comprendre l'importance de chaque élément qui constitue l'école primaire. La décomposition en éléments nous donne un aperçu synthétique des besoins d'une école primaire afin d'optimiser la conception du prototype. L'assemblage des éléments permet de les combiner et les faire dialoguer, créant ainsi des espaces architecturaux. Enfin, la conception d'un prototype qui applique tous les concepts théoriques nous fait plonger dans le projet et nous rend conscients des limites de certains concepts.

La recherche offre deux outils. D'une part l'outil de conception par décomposition et assemblage d'éléments. D'autre part un prototype construit mettant en pratique les concepts théoriques.
Le prototype est un dialogue entre le bâtiment, l'occupant et l'environnement. Ceux-ci s'adaptent mutuellement.

Le prototype consiste en une série de classes, leurs espaces intermédiaires et la circulation. Nous pouvons faire varier l'enveloppe des espaces qui a un impact direct sur les gains de chaleur et les déperditions. Pour assembler divers espaces, nous avons utilisé différentes compositions de parois. La position des espaces a aussi son importance, les espaces scolaires sont positionnés selon leur besoin en chaleur et lumière ainsi que leur degré d'intimité. La juxtaposition de ces espaces permet de définir une enveloppe constructive des espaces fortement isolés au sein d'une enveloppe légère. La suppression du chauffage implique qu'il faut produire ou capter de la chaleur différemment. Les moyens développés sont entre autres l'inertie thermique, l'enveloppe isolée, la stratégie hiver/ été ainsi que la ventilation. Cette dernière n'est pas seulement une nécessité hygiénique mais elle permet de réchauffer ou refroidir une ambiance par les flux d'air échangés. On considère la ventilation naturelle mais également mécanique. Pour cela, afin d'atteindre la neutralité énergétique et consommer durablement l'électricité, il faut intégrer une production d'énergie renouvelable sur site. C'est pourquoi le prototype intègre des panneaux solaires sur la toiture plate.
Si le bâtiment s'adapte à la suppression du chauffage, en procurant des espaces d'ambiances différentes aux enfants, les enfants s'y adaptent aussi ainsi que les pédagogies.

Enfin, suite aux différents constats concernant la gestion centralisée et la gestion manuelle des différents systèmes de ventilation et autres mis en place, nous choisissons un système de gestion hybride.

PARTIE 4 : VERIFICATION



1 : INTRODUCTION

Openstudio est un outil qui permet de modéliser l'ambiance intérieure d'un espace ainsi que les besoins énergétiques de celui-ci. L'outil permet de vérifier les hypothèses émises dans l'utopie.

A partir des connaissances acquises dans les chapitres précédents, nous pouvons établir certains objectifs d'ambiance intérieure à atteindre. De plus, nous connaissons les consommations d'énergies usuelles des bâtiments scolaires. La modélisation de l'utopie nous permettra d'évaluer où nous nous situons par rapport aux écoles habituelles. Nous pourrons alors évaluer la faisabilité de l'utopie.

METHODE

La salle de classe est l'espace représentatif de l'école primaire, il est également le sujet de la recherche, il sera donc aussi l'objet de la modélisation énergétique. Pour avoir un bilan énergétique complet, il faudrait modéliser toute l'école. Cependant, la classe est l'espace le plus occupé et donc l'évaluation de celui-ci est représentative du bâtiment entier.

OBJECTIFS

L'objectif de la modélisation est d'évaluer la faisabilité de l'utopie. Tout d'abord, cela revient à évaluer l'ambiance intérieure dans la classe projetée. La température opérative est le premier indicateur du confort, c'est pourquoi celui-ci sera l'objet de notre évaluation. Quant à la qualité d'air intérieur, nous considérons qu'il n'est pas possible de baisser la qualité d'air qui correspond à la norme. Ceci pour des raisons hygiéniques. Toutes les modélisations se feront donc avec des taux de ventilation naturelle permettant une concentration de CO_2 admissible.

Température opérative intérieure

Plage de température intérieure optimale en classe : 20-22°C
Plage de température intérieure admissible en classe : 18° et 24°C
Au-delà de ces températures, la classe ne permet pas une ambiance supportable.

Qualité d'air intérieur

Nous intégrons les taux de ventilation afin de garantir la qualité d'air intérieur et de maintenir le taux de concentration de CO_2 inférieur à 1000 PPM. Cela revient à 22m^3/h/personne pour des adultes. En considérant le métabolisme de l'enfant, nous pouvons descendre à 17m^3/h/personne

Suppression du chauffage

L'objectif de l'utopie est de supprimer les consommations d'énergie liées au chauffage. Cela a pour enjeux de supprimer les énergies fossiles et de diminuer les consommations énergétiques de manière plus générale. Dans toutes les modélisations proposées, le chauffage est nul. Nous étudierons la faisabilité en intégrant des stratégies consécutives et en les additionnant. Si nous parvenons à des températures d'ambiance intérieure supportables et acceptées, cela signifiera que l'utopie est réalisable.

INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

On observera pour chaque modélisation la température opérative pendant les mois de juin et de décembre. Ces deux périodes étant considérées comme les conditions extrêmes de l'année. Remarque : le mois de juin n'est pas le mois le plus chaud de l'année, cependant l'école n'est pas

occupée pendant les mois de juillet et d'août. Il est donc pertinent d'analyser le mois de juin. Les graphiques représentent en général un mois, il est intéressant de voir les évolutions de température au fil des semaines. Au fil des modélisations, on s'intéressera également au profil d'une journée pour comprendre le comportement de l'ambiance. Ci-dessous, le profil de température extérieur du site pour le climat de Bruxelles.

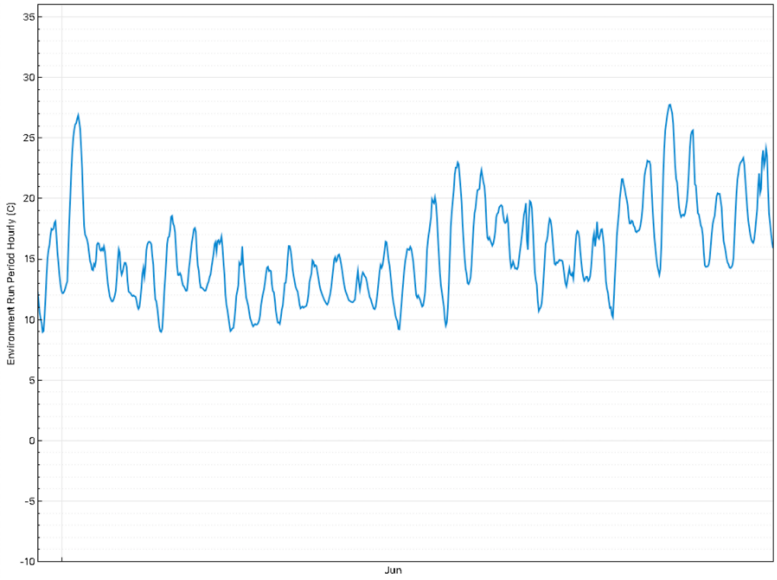


Figure 54 Température extérieure, juin, Bruxelles

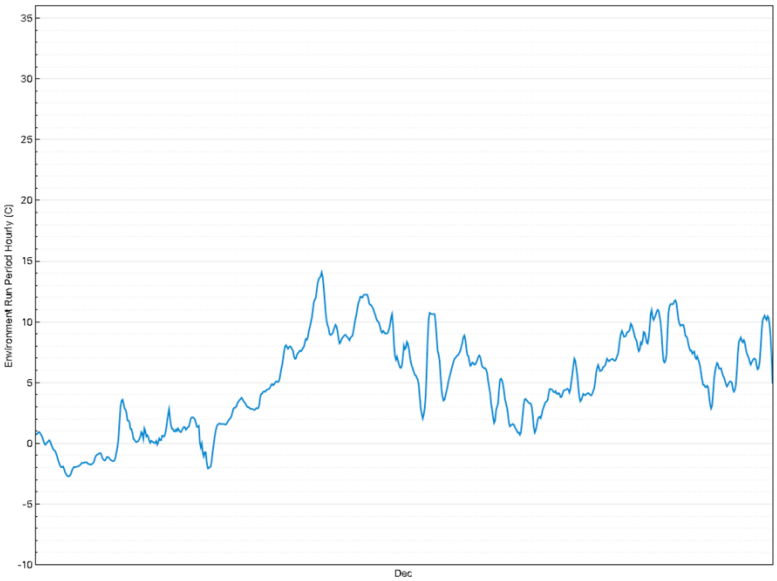


Figure 55 Température extérieure, décembre, Bruxelles

2. MODELISATION DU PROJET

GEOMETRIE

Pour la simplification de la modélisation, nous n'avons représenté qu'une partie symbolique du prototype. Celui-ci est composé de 2 classes, un espace intermédiaire et un couloir. L'espace intermédiaire est une zone thermique tampon entre l'ambiance chaude de la classe et l'ambiance froide du couloir.

C'est pourquoi dans ce modèle nous avons modélisé 3 espaces thermiques différents : la classe, l'anticlasse et le couloir. Chaque espace thermique est associé à un système constructif distinct.

L'étage représenté est le rez-de-chaussée. Le sol représente l'ossature bois isolée ainsi que le plancher d'étage. L'ossature bois n'est pas en contact avec le sol et repose sur des plots de fondation en béton. La surface supérieure de la modélisation est un plancher d'étage vers des espaces adiabatiques.

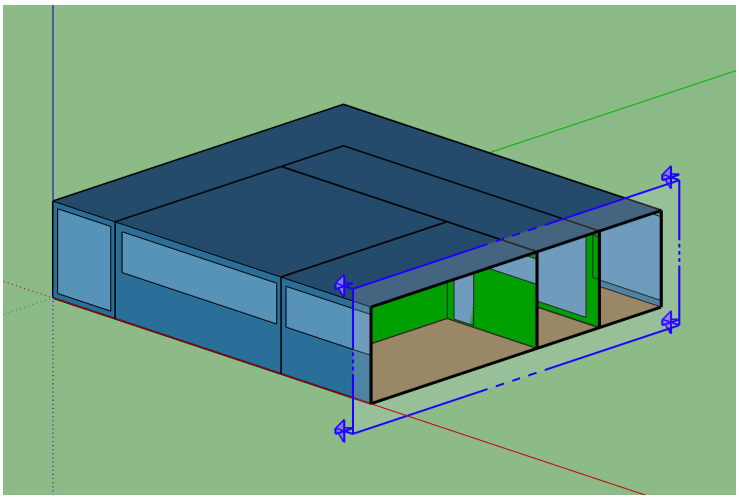


Figure 56 modélisation géométrie proposée

PARAMETRES MODELISES :

Matériaux

La composition des parois selon les espaces a été décrite dans le prototype. Ci-dessous les tableaux synthétisants les matériaux pris en compte. Notons que les parois de l'anticlasse ne sont autres que les parois des deux espaces mitoyens.

Concernant l'enveloppe, nous matérialiserons le parement en brique plus tard dans les modélisations pour comprendre l'effet de l'inertie sur le comportement de la température. Dès lors, l'enveloppe modélisée a d'abord un parement extérieur de bardage en bois.

Plancher d'étage

Matériaux	Lamda (W/m/k)	Masse volumique (kg/m^3)	Epaisseur (mm)	R (m^2/kW)
Revêtement de sol	2,5	2100	10	0,004

Désolidarisation acoustique			2	
Chape de béton	2,3	2200	30	0,013
Membrane d'étanchéité				
Plaque OSB	0,13	500	18	0,138
Solives en lamellé-collé	0,12	500	60 x 200	
Isolation cellulose	0,45		100	0,222
Plaque OSB	0,13	500	18	0,018
Membrane pare-vapeur				
Total			678	R=0,686 U=1,457

Zone thermique « chaude » soit les classes :

Mur extérieur chaud

Matériaux	Lamda (W/m/k)	Masse volumique (kg/m^3)	Epaisseur (mm)	R (m^2/kW)
Parement bardage de bois	0,26	920	20	0,08
Lattage bois			30x30	
Caisson OSB	0,130	500	18	0,138
Flocons de cellulose	0,045		250	6,410
Lattage bois			30 x 30	
Caisson OSB	0,130	500	18	0,138
Membrane pare-vapeur			2	
Isolant cellulose en rouleau	0,041	80	30	0,732
Parement bois	0,26	920	20	0,077
Total			356	R=6,888 U=0,145

Fenêtre extérieure

Matériaux	U
Chassis en bois et capot d'aluminium et double vitrage	1,5

Mur intérieur chaud

Matériaux	Lamda (W/m/k)	Masse volumique (kg/m^3)	Epaisseur (mm)	R (m^2/kW)
Parement bois	0,26	920	20	0,077
Ossature bois			100	
Isolant flocons de cellulose	0,039	52	100	2,564
Plaque OSB	0,130	500	18	0,138
Parement bois	0,26	920	20	0,077
Total			158	R=3,026 U=0,33

Fenêtre Intérieur

Matériaux	U

Chassis bois simple vitrage	2,5
total	2,5

Zone thermique « froide » soit le couloir:

Mur extérieur froid

Matériaux	Lamda (W/m/k)	Masse volumique (kg/m³)	Epaisseur (mm)	R (m²/kW)
Parement bardage de bois	0,26	920	20	0,08
Lattage bois			30x30	
Caisson OSB	0,130	500	18	0,138
Cellulose	0,039	52	150	03,846
Caisson OSB	0,130	500	18	0,138
Pare-vapeur				
Parement intérieur	0,26	920	20	0,077
total			226	R=4,447 U=0,225

Fenêtre extérieure

Matériaux	U
Chassis en bois avec capot d'aluminium double vitrage	1,5

Mur intérieur froid

Matériaux	Lamda (W/m/k)	Masse volumique (kg/m³)	Epaisseur (mm)	R (m²/kW)
Parement	0,26	920	20	0,077
Caisson OSB	0,13	500	18	0,138
Cellulose	0,039	52	100	02,564
Caisson OSB	0,13	500	18	0,138
Parement intérieur	0,26	920	20	0,077
total	1,5			R=3,165 U=0,316

Fenêtre Intérieur

Matériaux	U
Chassis bois Double vitrage	2,5

Nombre de personnes et activité

Classe = 25 personnes / 64 m² → 0,39 personne/m²
Anticlasse = (en moyenne simultanément) 20 personnes / 48 m² → 0,42 personnes/ m²
Couloir = (en moyenne simultanément) 40 personnes / 138 m² → 0,28 m²

Chaque personne émet une moyenne de 70 W de chaleur en situation de repos (pas d'activité).
En cas d'activité physique, la production de chaleur monte jusqu'à 100W par personne.

Lumière articifielle

- Classe, 8 W/ m^2
- Anticlasse, 8 W/ m^2
- Couloir : 4W/ Classe, 8 W/ m^2

Equipements électriques :

Dans une classe on compte un ordinateur pour l'enseignant. Il n'y a pas d'installation électrique. 100W

Occupation

L'occupation varie selon l'horaire. L'horaire d'une école est bien précis et répétitif.

Ventilation

Le standard passif impose un maximum d'infiltrations non contrôlées de (0,03*Volume/h) en conditions de test (50Pa). Cela revient à un renouvellement horaire de (0,6*Volume) en conditions normales.

A cela il faut ajouter la ventilation hygiénique due à l'occupation de l'espace. Cela correspond à 22m^3/h/adulte ou à 17m^3/h/enfant. Pour une occupation de 25 personnes dans la classe dont 24 enfants et 1 adulte, il s'agit de 430m^3/h. Pour une classe dont le volume s'élève à 210m^3, il s'agit de (2*Volume) lorsque celui-ci est pleinement occupé.

MODELISATION 1

Pour la première modélisation, on considère le bâtiment tel que décrit ci-dessus. Il n'y a pas de stratégie particulière pour optimiser l'énergie.

Matériaux

Les matériaux sont modélisés tels que décrit ci-dessus. Aucune protection solaire n'est modélisée.

Nombre de personnes et activité

Occupation normale des espaces (80% de présence pendant les heures de cours)
Activité de repos, production de 70W/personne

Lumière articifielle

idem

Equipements électriques :

idem

Occupation

idem

Ventilation

Déperditions d'enveloppe et ventilation hygiénique uniquement.

Classe :

- Occupé : (0,6x224m^3) + (17m^3*24) + (22m^3*1) = 564 m^3/h (=2,5*V/heure)
- Non-occupé : (0,6x224m^3)= 134 ,4 m^3/h (=0,6*V/heure)

Anticlasse :

- Occupé : (0,6x168m^3) + (17m^3*10) + (22m^3*1) = 292 m^3/h (=1,7*V/heure)
- Non-occupé : (0,6x168m^3)= 100 m^3/h (=0,6*V/heure)

Couloir (occupé pendant de courtes périodes

- Occupé : (0,6x462m^3) + (17m^3*30) + (22m^3*1) = 666 m^3/h (=1,4*V/heure)
- Non-occupé : (0,6x462m^3)= 134 ,4 m^3/h (=0,6*V/heure)

Résultats :

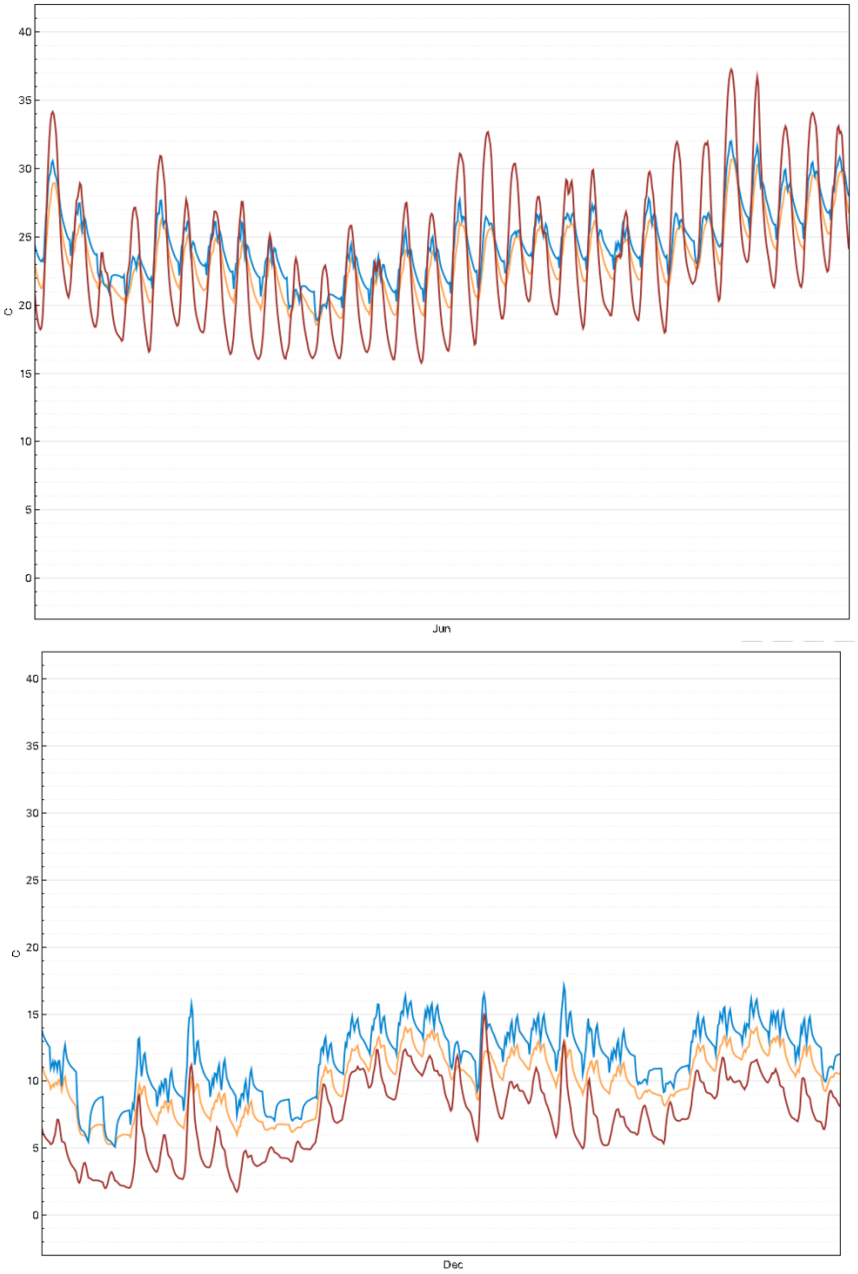


Figure 57 Modélisation 1 bleu: classe, orange: anticlasse, rouge : couloir

La modélisation montre des températures très basses en hiver aux alentours des 10-15° et des températures élevées en été aux alentours des 20-30°.

3. STRATEGIE ETE

MODELISATION 2 : AJOUT DE PROTECTIONS SOLAIRES ET VENTILATION NOCTURNE

Afin de lutter contre la surchauffe estivale, la modélisation qui suit intègre des protections solaires et de la ventilation nocturne. Il s'agit de stratégies d'été pour lutter contre les températures élevées.

Matériaux

Les protections sont modélisées en baissant le coefficient de gain énergique solaire du vitrage.

- **Été**: Solar heat gain energy coefficient : 0.3
- **Hiver**: Solar heat gain energy coefficient : 0.6

Nombre de personnes et activité
idem
Lumière articifielle
idem
Equipements électriques :
idem
Occupation
idem
Ventilation
Déperditions d'enveloppe et ventilation hygiénique comme précédent. Ajouter à cela une ventilation intensive pendant les heures froides. La ventilation avec l'objectif du refroidissement ne s'applique pas à l'hiver.

- **Jour** = déperditions + hygiénique
- **Nuit** = déperditions + freecooling

Résultats
La ventilation nocturne et les protections solaires permettent d'obtenir des températures correctes dans la classe (orange) pour le mois de juin qui dépassent rarement les 25°. Cependant, les températures dans le couloir (rouge) sont extrêmement élevées comparées aux autres espaces et comparées à l'enveloppe moins performante du couloir.

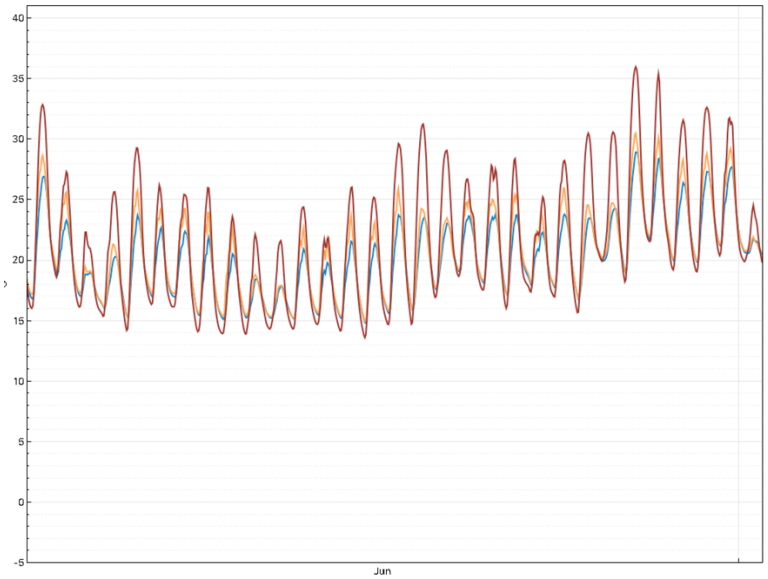


Figure 58 Modélisation 2. Orange : classe, bleu : anticlasse, rouge : couloir

MODELISATION 3 : OUVERTURE DU COULOIR EN ETE

Le principe de différentes enveloppes permet d'ouvrir entièrement l'enveloppe du couloir en été afin de se sentir à l'extérieur tout en bénéficiant de la protection qu'offre le bâtiment. Il existe alors deux profils du bâtiment selon les saisons : un profil hiver où les parois du couloir sont fermées, et un profil été ou elles sont largement ouvertes. On modélise l'ouverture par l'augmentation des déperditions d'infiltration (=ventilation).

Matériaux
idem
Nombre de personnes et activité
idem
Lumière articifielle
idem
Equipements électriques :
idem
Occupation
idem
Ventilation
L'ouverture de l'enveloppe concerne uniquement le couloir.

- **Jour** = ventilation intensive 4*V/horaire
- **Nuit** = déperditions + freecooling

Résultats
On remarque une nette amélioration, l'écart entre la température en classe et dans le couloir diminue et les températures dans le couloir sont supportables.

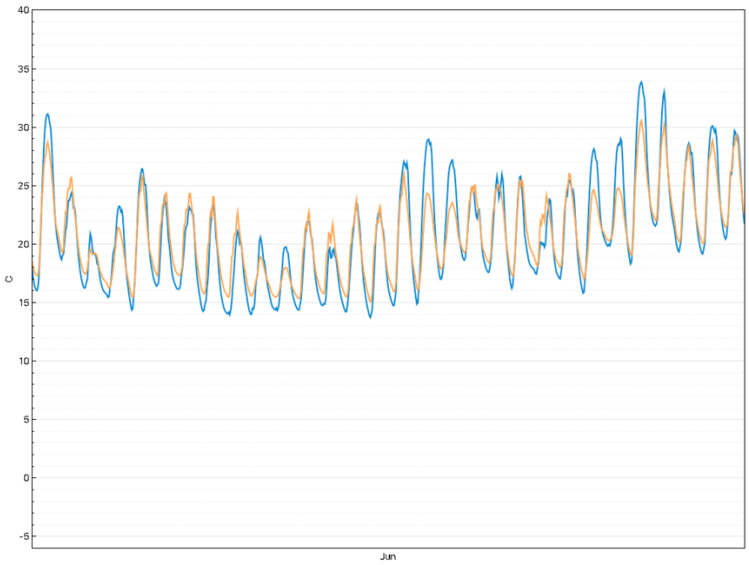


Figure 59 Modélisation 3 orange : classe, bleu: couloir

En observant le profil de température d'une journée, on peut remarquer que le pic de température est atteint en dehors des heures d'occupation scolaire

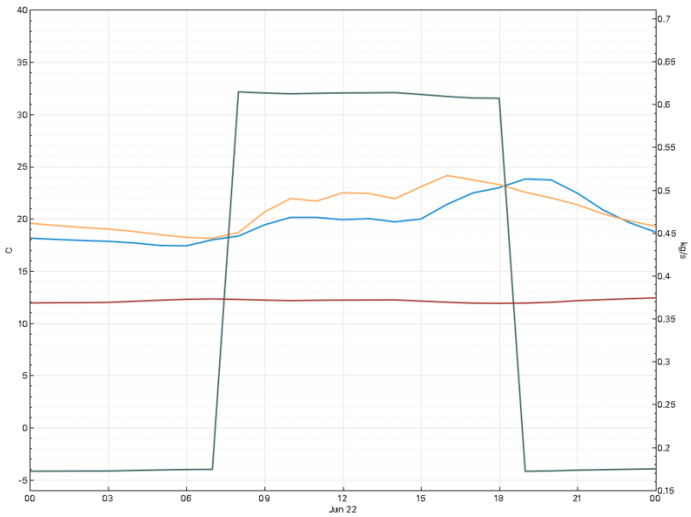


Figure 60 Modélisation 3. journée de juin. orange:classe, bleu:anticlasse, noir : infiltration d'air (ventilation)

MODELISATION 4 : ACTIVITES EXTERIEURES SELON LES SAISONS

Les résultats montrent des températures intérieures atteignant les 23°-24 degrés pendant une journée d'été. L'école prévoit des activités en plein air. Dans la modélisation suivante, nous réduirons l'occupation de moitié l'après-midi en hiver, considérant que la moitié des classes passe l'après-midi dehors.

Matériaux

idem

Nombre de personnes et activité

idem

Lumière articifielle

idem

Equipements électriques :

idem

Occupation

Ici, nous paramétrons une occupation différente

- 08h30-11h00 : occupé à 80% comme d'habitude
- 11h00-16h00 : occupé à 40%

Ventilation

idem

Résultats

Le deuxième tableau indique le gain d'énergie interne dû à l'occupation. On remarque que l'occupation a un impact direct sur l'ambiance car après 11h la courbe de température opérative est moins raide. Pendant ce temps, l'autre moitié des occupants est à l'extérieur, c'est pourquoi le tableau indique également la courbe de température extérieure.

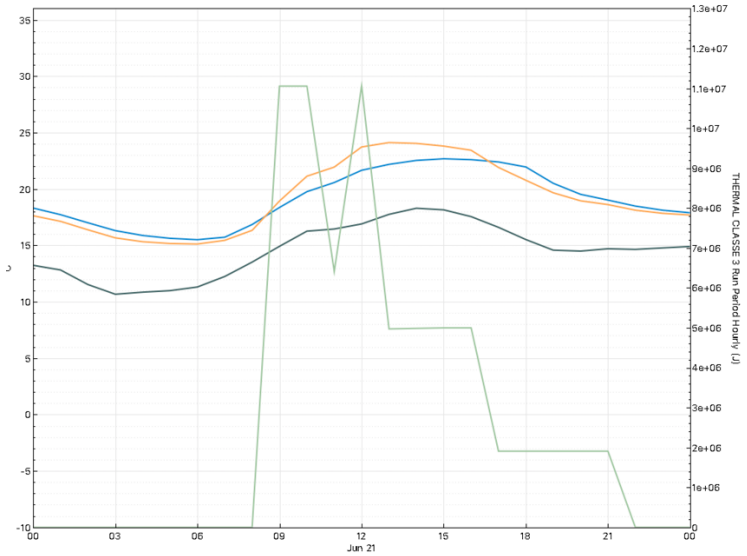


Figure 61 Modélisation 4. orange:classe, bleu: anticlasse, vert: gains internes d'occupation personnelle

3. STRATEGIE HIVER

MODELISATION 5 : STRATEGIE HIVERNALE : ACTIVITE PHYSIQUE

Alors qu'en été on essaie de refroidir le bâtiment, en hiver on essaie de capter tous les apports solaires et de stocker l'énergie dans le bâtiment. La première stratégie facilement praticable est le changement d'activité physique pendant la matinée. Augmenter l'activité physique permet de produire plus de chaleur personnelle.

Matériaux

idem

Nombre de personnes et activité

L'activité physique au repos produit 70W par personne.

- **Matin** : Activité physique 100W/personne
- **Après-midi** : Activité au repos 70W/personne

Lumière artificielle

idem

Équipements électriques :

idem

Occupation

idem

Ventilation

On retourne au profil d'hiver sans freecooling et en fermant le couloir

- **Jour** = déperditions + hygiénique
- **Nuit** = déperditions

Résultats

En analysant le profil de température d'une journée, on remarque une hausse de température entre 9h et 12h, ensuite elle chute de nouveau. Cela montre l'impact direct de l'activité physique sur la température. Cependant, cela ne suffit pour assurer des températures supportables.

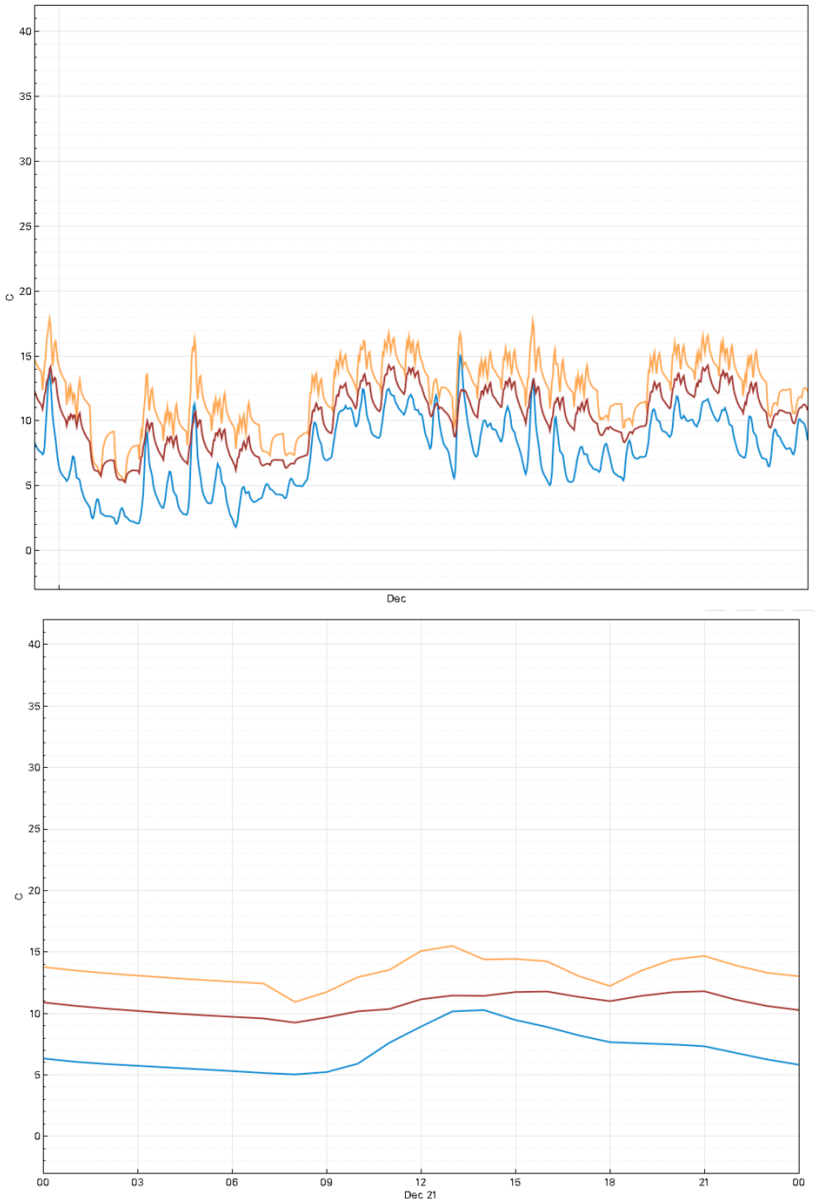


Figure 62 Modélisation 5. orange classe, rouge anticlasse, bleu couloir

MODELISATION 6 : STRATEGIE HIVERNALE : RECUPERATEUR DE CHALEUR

Le système de ventilation avec un récupérateur de chaleur permet de récupérer la chaleur intérieure lors de la ventilation, cela réduit les déperditions dues à la ventilation hygiénique naturelle. Le récupérateur se modélise (simplifié) par la réduction de déperdition dues à l'infiltration (ventilation).

Matériaux

idem

Nombre de personnes et activité

idem (activité physique le matin pour chauffer la pièce après l'inoccupation)

Lumière articifielle

idem

Equipements électriques :

idem

Occupation

idem

Ventilation

Les récupérateurs de chaleur sont couplés à la ventilation mécanique. Leur rendement moyen est de 80%, c'est-à-dire qu'ils récupèrent 80% des déperditions liées à la ventilation.

- **Jour** = déperditions + hygiénique – récupérateur de chaleur
  = déperditions + (0.2*hygiénique)
- **Nuit** = déperditions

Les taux d'infiltrations sont les suivants

Classe :

- Occupé : $(0,6x224m^3)+0,2*((17m^3*24)+(22m^3*1))=220m^3/h(=1*V/heure)$
- Non-occupé : $(0,6x224m^3)= 134,4\ m^3/h\ (=0,6*V/heure)$

Anticlasse :

- Occupé : $(0,6x168m^3)+0,2*((17m^3*10)+(22m^3*1))=186m^3/h(=1,1*V/heure)$
- Non-occupé : $(0,6x168m^3)= 100\ m^3/h\ (=0,6*V/heure)$

Couloir (occupé pendant de courtes périodes

- Occupé : $(0,6x462m^3)+0,2*((17m^3*30)+(22m^3*1))=383m^3/h(=0,8*V/heure)$
- Non-occupé : $(0,6x462m^3)= 277,4\ m^3/h\ (=0,6*V/heure)$

Résultats

Le récupérateur de chaleur permet de gagner plusieurs degrés en hiver. De plus, au cours de la journée, la température augmente.

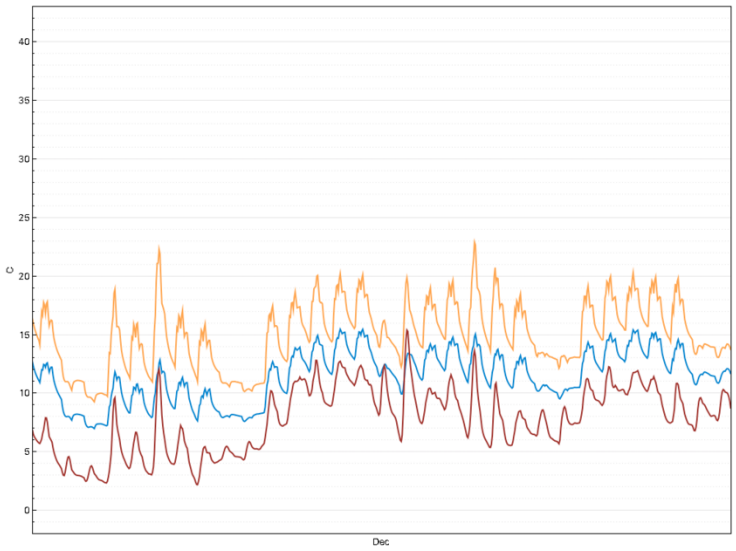


Figure 63 Modélisation 6 orange: classe, bleu:anticlasse, rouge: couloir

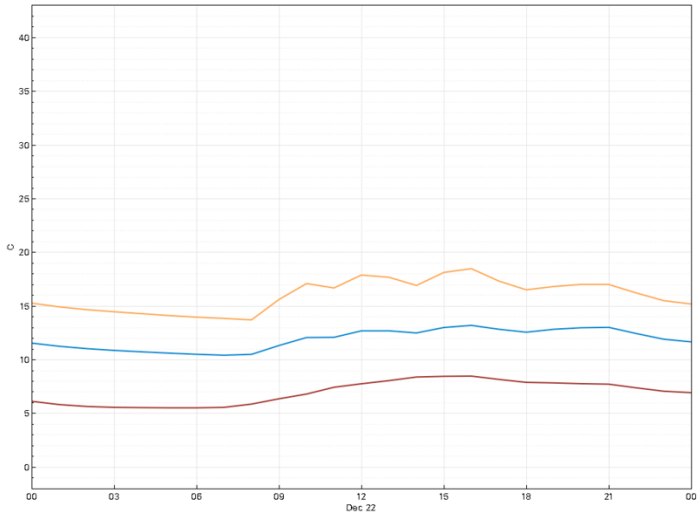


Figure 64 Modélisation 6 profil d'une journée de décembre

MODELISATION 5 : AJOUT DE MASSE ET INERTIE

L'inertie thermique étant un concept de la construction passive, le prototype intègre déjà une chape d'étage en béton. Pour évaluer l'impact de l'inertie sur la température, la modélisation qui suit a été faite en ajoutant une façade en briques de parement.

Matériaux

Mur extérieur

Matériaux	Lamda (W/m/k)	Masse volumique (kg/m^3)	Epaisseur (mm)	R (m^2/kW)
Briques de parement	0,640	2008	80	0,125
Pare-pluie		-	2	
Caisson en OSB	0,13	600	18	0,138
Isolation	0,045	60	250	5,556
Plaques de OSB	0,13	600	18	0,138
total			366	R=6,127 U=0,163

Nombre de personnes et activité

L'activité physique au repos produit 70W par personne.

- **Matin** : Activité physique 100W/personne
- **Après-midi** : Activité au repos 70W/personne

Lumière articifielle

idem

Equipements électriques :

idem

Occupation

idem

Ventilation

idem, on maintient le récupérateur de chaleur

Résultats

L'ajout de masse volumique combiné avec les stratégies précédentes (activité et récupérateur de chaleur) permet d'obtenir les températures de confort thermique intérieur dans l'espace de la classe. Cette modélisation est décisive pour le prototype car elle clotûre les itérations et intègre toutes les

stratégies mises en place. Il s'agit donc de la modélisation qui combine les différentes stratégies émises.

Figure 65 Simulation 7. orange:classe, bleu:anticlasse, rouge:couloir

4. CONCLUSIONS SUR LA VERIFICATION

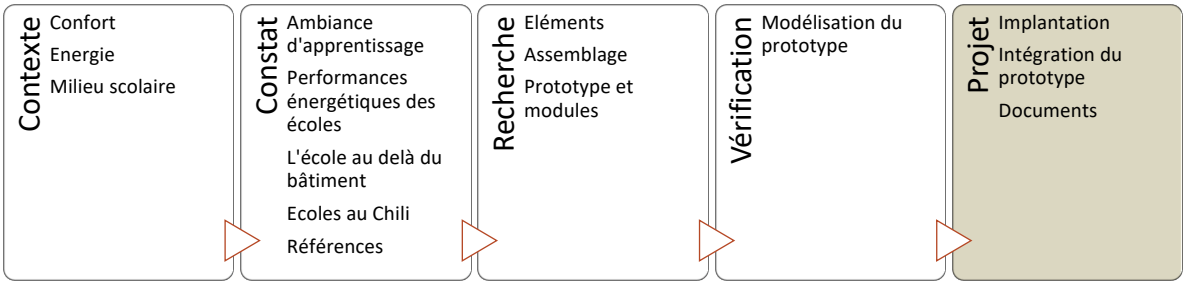
Toutes les stratégies sont complémentaires et ont un impact sur le confort nécessaire dans l'école. En combinant le choix des matériaux tant pour l'isolation que pour la masse, le degré d'activité des élèves, une ventilation intensive en été pour éviter la surchauffe et une ventilation mécanique en hiver pour récupérer la chaleur, on peut maintenir une certaine température.

PARTIE 5 : PROJET D'ARCHITECTURE

La partie du projet d'architecture permet de matérialiser les concepts proposés dans le prototype. L'élaboration du projet d'architecture et celle du prototype se sont faites conjointement et se sont influencées mutuellement. Le projet permet d'implanter une école dans son contexte naturel et urbain, en posant des contraintes réelles et des enjeux spécifiques au site d'implantation.

Le projet s'inscrit dans un plan masse commun élaboré par 6 étudiants de l'atelier de recherche. Ce plan masse énonce des enjeux urbains et propose des stratégies intégrant les projets de chacun.

Le projet intègre le prototype proposé dans la troisième partie, c'est pourquoi cette partie du travail met en valeur l'implantation du projet plutôt que les aspects constructifs et les choix pris lors de la conception du prototype.



1. IMPLANTATION

PLAN MASSE COMMUN : LA FRICHE DE LA GARE DE L'OUEST [83]

Le projet d'école primaire fait partie d'un plan masse autour de la friche urbaine le long de la gare de l'Ouest à Molenbeek-Saint-Jean. Il s'agit de l'espace anciennement dédié aux voies de chemin de fer, désormais à l'état sauvage. La friche de la Gare de l'Ouest est un poumon vert au cœur d'un tissu urbain dense. Elle divise le quartier dans la direction Nord-Sud et divise ainsi le quartier en

[83] Plan masse en collaboration avec le groupe d'atelier : Sheldon Cleven, Nicolas Halleux, Fanny Tristant, Astrid Siraut, Jessica Smissaert Pierre-Yves Wartique. Présentation du plan masse en panneaux annexes.

deux quartiers distincts. Le plan masse propose de requalifier l'espace de la friche urbaine afin d'activer le quartier et stimuler la vie communautaire.

L'élaboration du plan masse a consisté en l'étude et la compréhension du quartier dans son état actuel afin d'énoncer des enjeux urbanistiques et des stratégies pour y parvenir. Le plan masse a été élaboré par 6 étudiants travaillant chacun sur des sujets de recherche différents.
La complémentarité de nos projets permet d'établir un plan masse qui répond aux besoins de la ville et qui stimule l'activité communautaire.

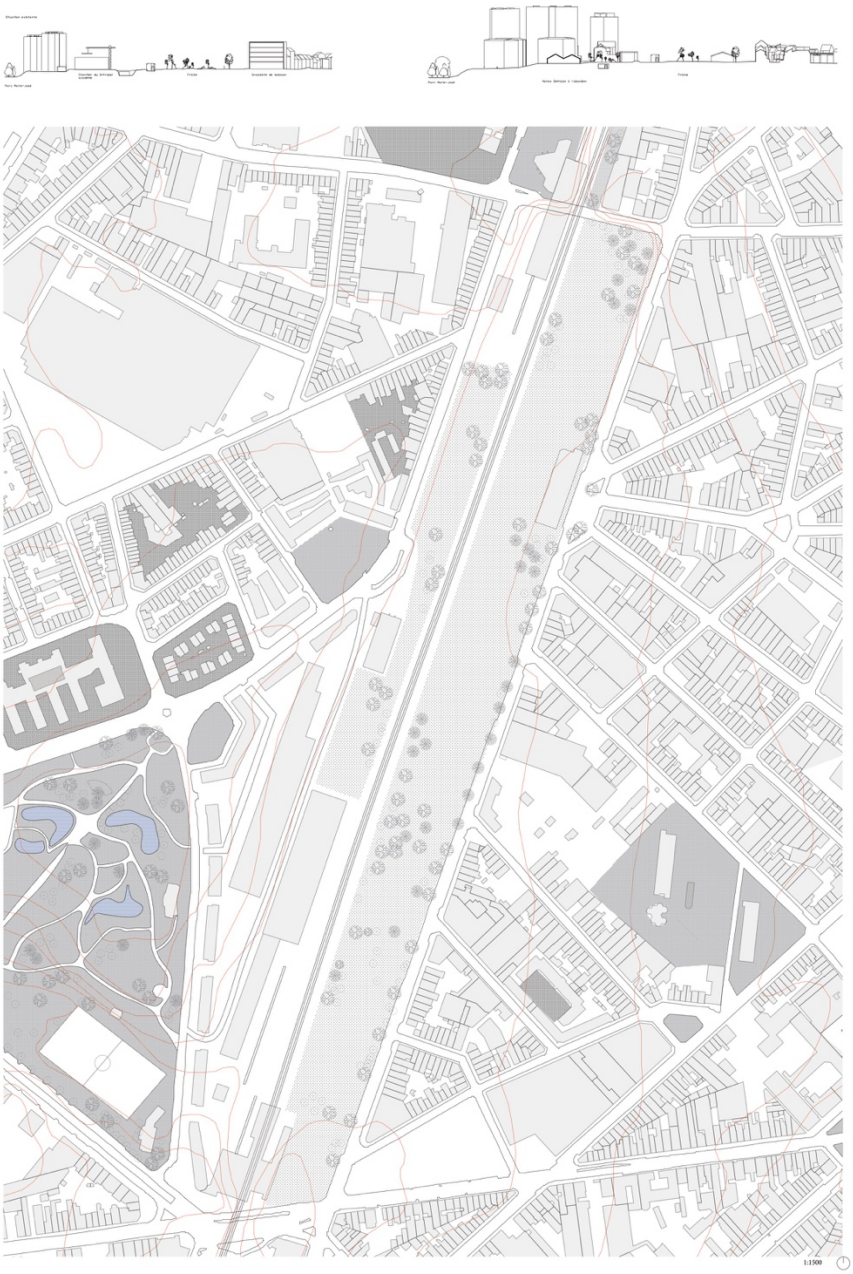


Figure 66 Situation actuelle (élaboration groupe)

Le premier enjeu du plan masse est de requalifier la friche en tant qu'espace naturel attrayant. Pour cela, la friche urbaine a été divisée en plusieurs séquences offrant chacune des infrastructures

différentes. Cela permet de maintenir un équilibre entre parc à échelle humaine et friche riche en biodiversité.

Le deuxième enjeu est de relier les deux quartiers. Aujourd'hui, une unique passerelle relie le quartier Est à la bouche de métro située du côté Ouest. Le projet envisage 3 passerelles permettant de faciliter le passage et de reconnecter les quartiers.

Enfin, le troisième enjeu du plan masse concerne la mobilité. Tout d'abord il s'agit de diminuer la mobilité aux abords de la friche en encourageant la mobilité douce. Les boulevards qui bordent la friche aujourd'hui sont des voies carrossables à 50km/h bordées de grandes rangées de parking. Le projet envisage un espace partagé entre piétons, voitures et transports en commun/partagés. Le projet intègre également un RER vélo le long des voies de chemin de fer reliant ainsi la gare de l'Ouest au quartier Koekelberg ainsi qu'aux autres tracés de RER vélo bruxellois.

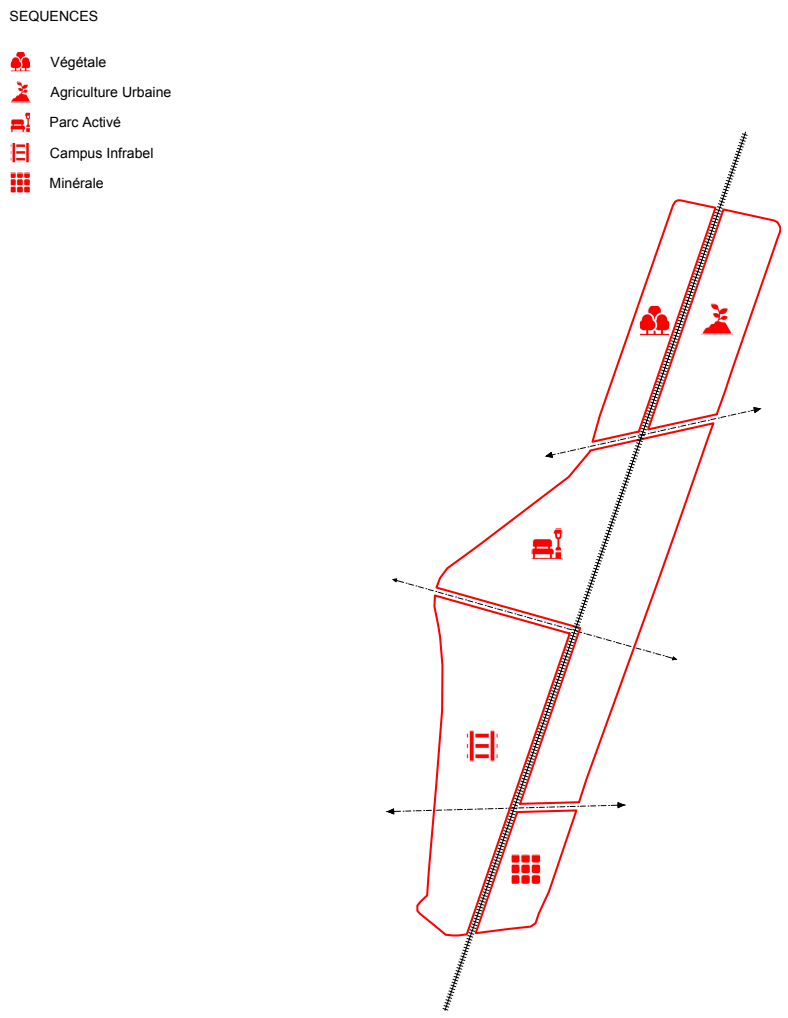


Figure 67 Plan masse : séquence et liaisons (élaboration de groupe)

Insertion du projet dans le tissu urbain [84]

L'école fait partie du quartier, il est nécessaire de la faire participer à la vie de quartier et de l'intégrer dans le tissu urbain. Dans la vision participative du quartier, il faut comprendre celui-ci ainsi que les habitants et leurs besoins et aspirations. L'école peut devenir un élément central de rassemblement dans le quartier de Molenbeek. La réussite du projet dépend également de l'implication des habitants et des utilisateurs.

Implantation dans le plan masse

Le projet d'une école en accord avec l'environnement et qui propose un dialogue avec la nature est complémentaire au plan masse. Il permet de créer un noyau intergénérationnel dans le quartier et permet de valoriser l'espace naturel. C'est pourquoi le projet s'implante dans le parc « actif » le long de la passerelle qui relie la place de la station Beekkant à la place de l'ancienne halle au charbon.

Le dimensionnement des volumétries à dû tenir compte du parc environnant. En effet, le parc n'est pas destiné à être uniquement une école, c'est pourquoi il faut travailler les accès, les vues et les sols. L'école se présente sous la forme de trois volumes perpendiculaires aux voies de chemin de fer.

Accès et privacité

L'école est un espace privé dans lequel l'enfant doit pouvoir circuler librement en toute sécurité. Cependant, lorsqu'on considère l'école comme un noyau urbain, il est important d'ouvrir celle-ci à la vie de quartier. Ainsi, l'école devient un espace privé dans espace public. Le lien entre espace privé et espace public est d'autant plus important lorsque les limites sont floues.

Pour accéder à l'école, il faut entrer dans le parc et emprunter un chemin secondaire. Celui-ci mène à un préau qui marque l'entrée principale. Le changement de matérialité du sol marque lui aussi un seuil à franchir.

Dans le parc, les chemins de promenades offrent des vues vers l'école sans permettre le passage. Cela permet aux passants de voir et entendre les enfants jouer et cela rythme le cheminement.

Le volume Sud permet un large passage entre le parc et la cour de récréation. Il s'agit d'un espace de jeu semi-public permettant aux familles de bénéficier des infrastructures ludiques pendant les heures inoccupées. Le changement de traitement de sol marque un seuil entre l'école et le parc.

Enfin, l'école bénéficie d'un accès privilégié à la passerelle vers la partie Ouest ainsi que vers la ferme urbaine au Nord. Cela permet d'y accéder pendant les heures scolaires et d'organiser des activités pédagogiques variées (par exemple l'observation de la biodiversité dans la partie sauvage à l'Ouest ou la culture potagère encadrée dans la ferme urbaine).

2. INTEGRATION DU PROTOYPE

VOLUMES

Le projet intègre les connaissances acquises dans ce travail de recherche et implante le prototype élaboré grâce à l'outil de conception. Pour rappel, celui-ci consiste en un volume reprenant

[84] CARTES, *L'école, l'enfant et la ville : les conditions de l'urbanisme scolaire : cas de la Région de Bruxelles-Capitale,* UCLouvain, 2015

uniquement les espaces classes, anti-classes et espaces collaboratifs, et circulation libre. Les autres espaces scolaires concernent la communauté scolaire et ne font pas partie du prototype. Le chapitre qui suit est consacré à ces espaces.

Deux volumes répondant au prototype sont implantés perpendiculairement aux voies de chemin de fer pour orienter les classes vers le Sud et les espaces de circulation et collaboratif vers le Nord. Un troisième volume (en deux parties) s'implante entre les deux premiers séparant l'espace extérieur en plusieurs cours de récréation. La séparation des espaces extérieurs permet la différenciation et la multiplicité des activités de plein-air : terrain de sport, jeux, nature. La circulation entre les différents volumes est libre. Par ailleurs, la séparation des classes en deux « maisons » permet de différencier les niveaux en mettant une maison à disposition des plus jeunes et l'autre à disposition des plus grands.

PROGRAMME ET TAILLE

L'école du projet répond à un programme de douze classes, c'est-à-dire 2 classes par niveau. Elle peut accueillir 300 enfants. Chaque volume du prototype représente une « maison » et comprend 2 étages avec 4 classes par étage. La surface totale de chaque volume est de 1100m^2.

CARACTERISTIQUES D'UNE MAISON

Le bâtiment a été pensé pour répondre aux besoins pédagogiques de l'enfant, pour diminuer les consommations d'énergie et pour tisser une relation avec l'espace extérieur. Toutes les caractéristiques spatiales, architectoniques et techniques sont reprises dans le chapitre « Prototype » de la partie Recherche.

3. VOLUME COMMUNAUTAIRE

PROGRAMME

Le volume communautaire reprend les espaces/activités suivantes :

- Réfectoire et cuisine
- Salle d'exposition
- Rassemblement/gradins
- Bibliothèque et coin lecture
- Terrain de sport et sanitaires/vestiaires
- Salle de professeurs
- Bureaux administratifs

+ Espaces communautaires pour le quartier (organisation de conférences, cours, assemblée de quartiers …)

PAVILLONS

Dans la continuité de la recherche sur les ambiances thermiques et les degrés d'ouverture à l'extérieur, nous considérons que seuls les bureaux administratifs sont considérés comme espace clos isolé. Toutes les autres activités stimulent l'activité physique ou ont des durées d'occupation trop faibles pour que l'isolation soit profitable. Enfin, les activités de rassemblement réunissent beaucoup de personnes et produisent de l'énergie d'occupation.

Le volume communautaire est divisé en deux pavillons complémentaires qui bordent un terrain de sport extérieur. Du côté de l'entrée de l'école il y a le pavillon des professeurs, composé d'une salle de réunion, de l'accueil et des bureaux administratifs. De l'autre côté se trouve le pavillon pour la communauté scolaire reprenant un grand espace central polyvalent, la cuisine, les sanitaires et un espace bibliothèque. L'implantation et la forme des pavillons permet de créer des gradins autour du terrain de sport ainsi que des formes ludiques. Les pavillons deviennent dès lors un terrain de jeu pour l'enfant.

Le concept de pavillon a été choisi pour sa relation à l'extérieur particulière. Il ne s'agit ni d'un espace extérieur, ni d'un espace clos isolé. Le pavillon communautaire se présente sous forme d'abri permettant le rassemblement et protégeant des intempéries climatiques. Par temps agréable, certaines parois de l'enveloppe peuvent s'ouvrir et agrandir l'espace. Il est important de considérer le pavillon comme un espace quasi-extérieur, en ne s'attendant pas à rentrer dans un espace chauffé, il est un espace extérieur, en mieux car abrité des intempéries. C'est pourquoi une attention particulière a été accordé à la conception plastique et structurelle du pavillon. Celle-ci se veut désorganisée et naturelle, en privilégiant les matériaux naturels et une structure semblable à une cabane dans les bois.

STRUCTURE

Le pavillon a une structure en bois traité afin de permettre l'exposition des éléments structurels aux intempéries. Le système constructif est une composition de portiques reliés par des poutres et des croix de contreventement. Les assemblages de la structures sont mécaniques afin de permettre la démontabilité et le réemploi. Tout comme le prototype, le pavillon est ancré dans des plots de béton. Le plancher du pavillon se prolonge en une terrasse extérieure ainsi que des gradins en bois.

ENVELOPPE

L'enveloppe ne peut être ni trop lourde (ce qui briserait le concept de pavillon dans la nature) ni trop légère (ce qui la rendrait fragile). Les matériaux transparents et translucides sont choisis afin d'optimiser la lumière naturelle ainsi que les gains solaires. La dualité de l'enveloppe permet d'une part de chauffer l'espace par les gains solaires en hiver, et d'autre part d'ouvrir l'espace vers l'extérieur en été.

4. CONCLUSION SUR LE PROJET D'ARCHITECTURE

En conclusion, on obtient une école dans un parc au centre de Molenbeek, celle-ci s'implante dans un quartier urbain et devient un noyau intergénérationnel du quartier. L'implantation permet d'offrir aux enfants un environnement scolaire naturel. L'école se veut ouverte au quartier en rendant les limites du bâtiment perméables tout en assurant la sécurité des enfants.

L'école propose un programme pédagogique particulier qui intègre l'environnement extérieur dans ses priorités pédagogiques. Architecturalement, le bâtiment est conçu pour optimiser les apports naturels. Spatialement, le bâtiment a été conçu pour répondre aux besoins de l'enfant en adéquation avec les principes de pédagogies actives. Enfin, d'un point de vue organisationnel, l'école s'organise autour du bâtiment afin de s'adapter aux ambiances et aux conditions thermiques. L'école intègre aussi des activités en lien avec la nature environnante.

Le projet d'architecture a permis de matérialiser les concepts théoriques de la recherche. Le travail de recherche et le projet d'architecture se sont réalisés conjointement en s'influençant constamment. Séparés en deux parties, le prototype et le projet sont pourtant difficilement

dissociables. Il est important de parcourir les deux volets pour comprendre les enjeux et les décisions prises.

CONCLUSION DE LA RECHERCHE

La réalisation d'une école sans chauffage est indissociable de l'adaptabilité de la construction et de ses occupants. Le chauffage procure un confort qui lui-même est difficile à définir. En effet, au-delà de la température mesurable et de la qualité de l'air, le confort est surtout un ressenti qui diffère d'une personne à l'autre, selon son âge, sa culture, ses activités et la saison.

Pour répondre à cet objectif de concevoir une école primaire sans chauffage, il a fallu adapter le bâtiment, créer de nouveaux espaces pour des ambiances différentes, mais aussi adapter la pédagogie qui est l'essence même de l'école et certaines habitudes de comportement. On a adopté des stratégies de conceptions bioclimatiques, une nouvelle organisation des activités pédagogiques et de nouveaux lieux d'apprentissages. En effet, si l'école traditionnelle se cantonne dans une classe fermée, les pédagogies alternatives encouragent les activités en ateliers et les sorties hors de l'école. Intégrée dans le quartier, l'école devient un lieu de loisirs, de rassemblement en plus de sa fonction première d'éducation.

Ce projet est entier et englobe beaucoup d'aspects différents. C'est pourquoi la méthode d'assemblage d'éléments nous paraît efficace dans l'élaboration du prototype qui nous a permis de modéliser la recherche.

Pour que le projet soit durable et résilient, il serait bon de le situer dans une étude à plus long terme pour tenir compte des variations climatiques des prochaines années

BIBLIOGRAPHIE

Ouvrages

ATTIA, SHADMANFARA, RICCI, *Developing two benchmark models for nearly zero energy schools,* ELSEVIER, 2019.

BENTSEN, SCHIPPERIJN, JENSEN, *Green space as classroom : Outdoor School Teacher'Use, Preferences and Ecostrategies,* LANDSCAPE RESEARCH, 2012.

CANTIN, MOUJALLED, GUARRACINO, *Complexité du confort thermique dans les bâtiments,* LABORATOIRE DES SCIENCES DE L'HABITAT, 2005.

CARTES, *L'école, l'enfant et la ville : les conditions de l'urbanisme scolaire : cas de la Région de Bruxelles-Capitale,* UCLouvain, 2015.

JEAN, LAFLAMME, LAPIERRE, *Penser l'école de demain,* LAB-ECOLE, 2019.

MOUJALLED, *Modélisation dynamique du confort thermique dans les bâtiments naturellement ventilés,* INSA LYON, 2007.

PIDERIT, *The integral classroom, design strategies for improved overall environmental performance*, Concepcion, 2013.

PILJAE IM, *A survey of high performance schools*, Texas, 2012.

ROBITU, *Etude de l'interaction entre le bâtiment et son environnement urbain : influence sur les conditions de confort en espaces extérieurs,* AMBIANCES ARCHITECTURES URBANITES, 2005.

ROULET, *Well being and energy in building, an architectural issue,* EPFL, 2018.

TEBANNI, BOUCHAHM, *Caractérisation du confort thermique dans les espaces extérieurs : cas de la ville d'Annaba,* UNIVERSITE CONSTANTINE, 2016.

TIBERIU, BANU, *Impact of indoor environmental conditions on students intellectual performance*, TUC, Bucarest, 2014.

TRACHTE, DE HERDE *Guide de la rénovation soutenable des bâtiments scolaires*, UCL, 2015.

TREBILCOCK, *Right to confort*, UBB Concepcion, 2016.

VAN PRAAGH, COURTEIX, *Développement biologique de l'enfant et de l'adolescent,* DE BOECK, 2008.

VIVANCO, *Integración del concepto cero energías para establecimientos educacionales en Chile,* UBB Concepcion, 2017.

YASA, *Evaluation of microclimatic comfort around campus buildings at the pedestrian level by means of field measurements and survey of satisfaction,* ISTANBUL UNIVERSITY, 2020.

Sites internet

AGENCIA CHILENA DE EFICIENCA ENERGETICA, *Guia de Eficienca Energetica para Establecimiento de Educacionales,* - en ligne :< https://issuu.com/guias-agencia-ee/docs/gui_a_geeeduc_-_baja>[04.02.2020].

ARCHITECTE DE BATIMENTS, *L'architecture durable en pratique (méthodes et technologies)*, - en ligne :< https://www.architecte-batiments.fr/l-architecture-durable-en-pratique/>[03.03.2020].

BATI ACTU, *Après la maison, voici l'école passive*, - en ligne :< https://www.batiactu.com/edito/apres-maison-voici-ecole-passive-20762.php>[05.03.2020].

BESWIC, CENTRE BELGE SUR LE BIEN-ETRE AU TRAVAIL, *Indice PMV-PPD de confort thermique*, - en ligne :< https://www.beswic.be/fr/themes/agents-physiques/ambiances-thermiques/indices-de-confort-et-de-contrainte-thermique/indice-pmv-ppd-de-confort-thermique>[08.03.2020].

BLOG SUDINFO NASSOGNE, *Une école-éco-sympa se cache derrière ces murs*, - en ligne :< https://nassogne.blogs.sudinfo.be/archive/2011/04/09/une-ecole-eco-sympa-se-cache-derriere-ces-murs.html#more>[09.03.2020].

BRUXELLES ENVIRONNEMENT, *Ecole Immi, une école de 1500m² vers une norme passive*, - en ligne :<https://app.bruxellesenvironnement.be/batex_search/Docs/fs_023_FR.pdf>[04.04.2020].

CONSTRUCT LAB, *Main Hall,* - en ligne :<https://www.constructlab.net/projects/main-hall/>[09.03.2020].

CRIE, - en ligne :< http://www.criesthubert.be/>[09.04.2020].

ECOCONSO, *Economiser le chauffage pour réduire le CO²,* - en ligne:<https://www.ecoconso.be/fr/content/economiser-le-chauffage-pour-reduire-le-co2>[02.02.2020].

ECOCONSO, *100% d'électricité renouvelable en 2050, est-ce possible ?*, - en ligne :< https://www.ecoconso.be/fr/content/100-delectricite-renouvelable-en-2050-est-ce-possible>[03.02.2020].

ECOCONSO, *L'énergie grise des matériaux de construction, - en ligne :*< https://www.ecoconso.be/fr/L-energie-grise-des-materiaux-de>[05.04.2020].

ENERGIE PLUS, *Les 6 paramètres traditionnels du confort thermique*, - en ligne :<https://energieplus-lesite.be/theories/confort11/le-confort-thermique-d1/>[03.04.2020].

FACILITATEURS ENERGIE WALLONIE, *Limiter les impacts de la consommation d'énergie*, - en ligne :<https://www.renovermonecole.be/fr/objectifs-environnement/limiter-impacts-consommation-denergie>[05.01.2020].

FEHRENBACHER, *Resilient deisgn, is resilience the new sustainability ?*, - en ligne :< https://inhabitat.com/resilient-design-is-resilience-the-new-sustainability/>[05.04.2020].

FONDATION RURALE DE WALLONIE, *Le bois-énergie « fait école » à Ambly (Nassogne). Elèves et instituteurs y sont chauffés aux granulés de bois !,* - en ligne :< https://www.frw.be/uploads/7/8/3/9/78394446/fiche_descriptive_ambly_version_septembre_2008.pdf>[07.03.2020].

FRANCE BAIE, *Les écoles passives rendront-elles les enfants plus éco-citoyens à travers les projets d'établissements de demain ?* - en ligne :<http://www.ufapec.be/nos-analyses/1810-ecoles-passives.html>[03.04.2020].

HK ARCHITEKTEN, - en ligne :< https://www.hkarchitekten.at/en/project/gemeindezentrum-ludesch/> [09.02.2020].

INSTITUT COOPERATIF DE L'ECOLE MODERNE-PEDAGOGIE FREINET, *Qu'est-ce qu'est la pédagogie Freinet ?* - en ligne : <https://www.icem-pedagogie-freinet.org/node/8309>[07.03.20].

INSTITUT NATIONAL DE SANTE PUBLIQUE DU QUEBEC, *Mesure d'adaptation à la chaleur, confort thermique et qualité de l'air intérieur dans l'habitation*, - en ligne :<https://www.inspq.qc.ca/sites/default/files/publications/2147_adaptation_chaleur_confort_qualite_air.pdf>[04.04.2020].

LA LIGUE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE L'EDUCATION PERMANENTE ASBL, *Quelques réflexions sur les pédagogies actives aujourd'hui*, - en ligne :< https://ligue-enseignement.be/quelques-reflexions-sur-les-pedagogies-actives-aujourdhui/>[09.03.2020]

LEFRANCOIS, *Confort dans l'habitat : comment y parvenir ?* – en ligne :<https://www.build-green.fr/confort-dans-lhabitat-comment-y parvenir12/?doing_wp_cron=1589102072.4871349334716796875000>[02.01.2020].

LEFRANCOIS, *Comparatifs des matériaux isolants selon leurs performances,* - en ligne :< https://www.build-green.fr/produit/comparatif-des-materiaux-isolants-selon-leurs-performances/?doing_wp_cron=1561813599.2761700153350830078125>[15.12.2019].

LEFRANCOIS, *Ce qui détermine les ressentis de confort et d'inconfort,* - en ligne :< https://www.build-green.fr/ce-qui-determine-les-ressentis-de-confort-et-dinconfort/?doing_wp_cron=1588243694.3061869144439697265625>[16.03.2020].

MAZALTO, PALTRINIERI, *Introduction : Espaces scolaires et projets éducatifs*, - en ligne :< https://journals.openedition.org/ries/3592> [05.04.2020].

MONTESSORI, *Qu'est-ce que la pédagogie Montessori ?* - en ligne :< https://decouvrir-montessori.com/quest-ce-que-la-pedagogie-montessori/> [09.03.2020].

PASSIVE HOUSE, - en ligne :< https://passivehouse.com/>[09.04.2020].

PERSPECTIVE BRUSSELS, *Combien de places scolaires créées ou en voie de création ?,* - en ligne :< https://perspective.brussels/fr/toolbox/ou-quand-et-combien-de-places-sagit-il-de-creer/le-monitoring-de-loffre-scolaire/combien-de-places-scolaires-creees-ou-en-voie-de-creation>[06.04.2020].

SOMERS, *Pour des Bâtiments scolaires durables,* - en ligne :< https://architectura.be/fr/actualite/6827/pour-des-batiments-scolaires-durables-pierre-somers-trait-architects-deuxieme-partie> [23.02.2020].

SPW, *Améliorer la ventilation,* - en ligne :< https://www.wallonie.be/sites/default/files/2019-03/fiche10.pdf>[05.04.2020].

SPW, *Les exigences PEB*, - en ligne :< https://energie.wallonie.be/fr/exigences-peb.html?IDC=9136>[03.03.2020].

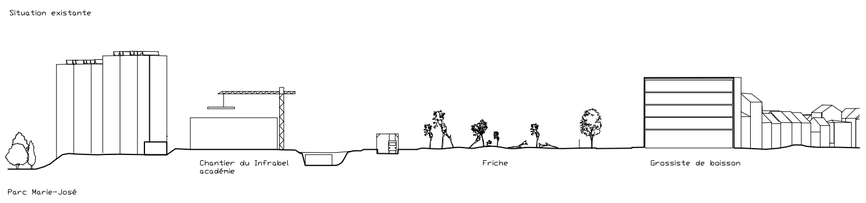
SPW, *Construire avec l'énergie*, - en ligne :< https://energie.wallonie.be/fr/construire-avec-l-energie.html?IDC=6143>[09.04.2020].

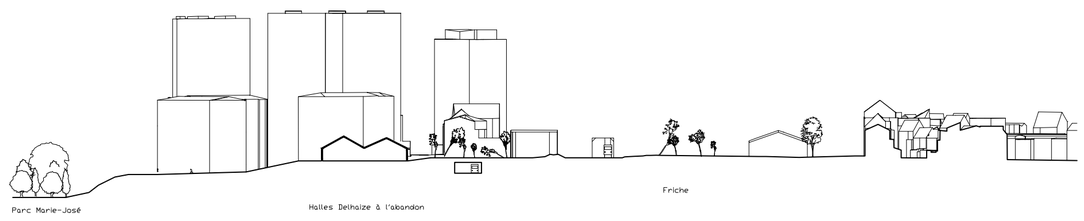
TEZUKA, *The best kindergarten you'll ever see" TEDxKyoto 2014* - en ligne: <https://www.ted.com/talks/takaharu_tezuka_the_best_kindergarten_you_ve_ever_seen?utm_campaign=social&utm_medium=referral&utm_source=linkedin.com&utm_content=talk&utm_term=education#t-6872 >[25.01.2020].

TRAITS ARCHITECTS, *Ecole passive à Bruxelles, Institut Marie Immaculée Montjoie – Anderlecht,* - en ligne :<http://www.confederationconstruction.be/Portals/19/Cellule%20Energie%20Environnement/Materiaux%20construction%20durables/120426%20immi-traitarchitects.pdf>[08.03.2020].

TV LUX, *L'école du dehors*, - en ligne :< https://www.tvlux.be/l_ecole_du_dehors-30515-999-344.html?fbclid=IwAR1iSH5NCyC1FUMM_dC7siinnoMRM3wU3emiX9rXtFZzdqyF0kzV2blru7c>[08.04.2020].

Situation existante

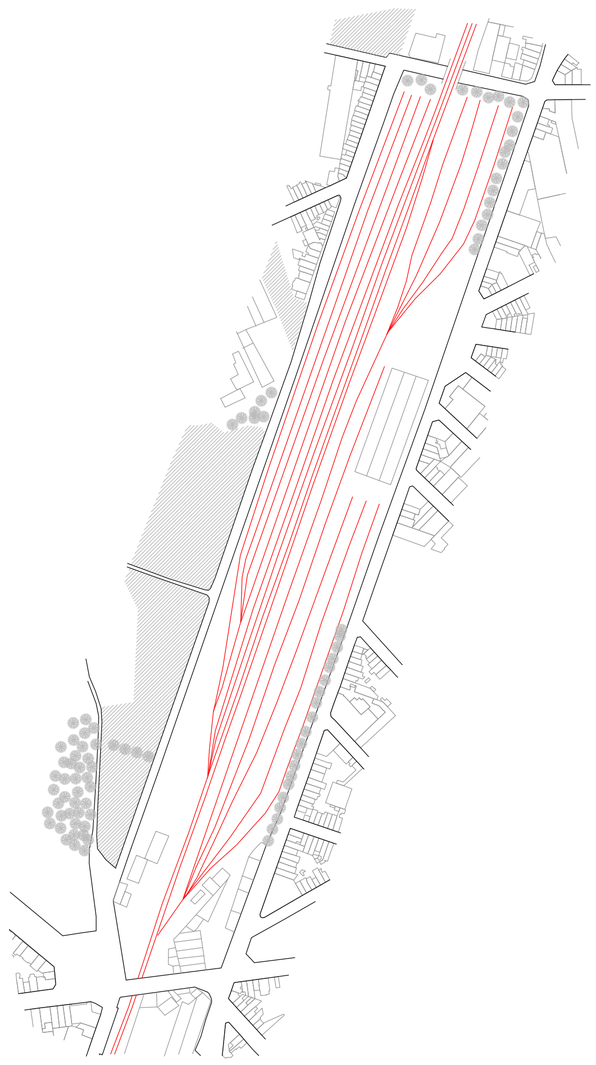




MASTER PLAN GARE DE L'OUEST
LBARC31 - Atelier de recherche - UTOPIE
Sheldon Cleven - Nicolas Halleux - Jessica Smissaert - Astrid Siraut - Fanny Tristant - Pierre-Yves Wartique

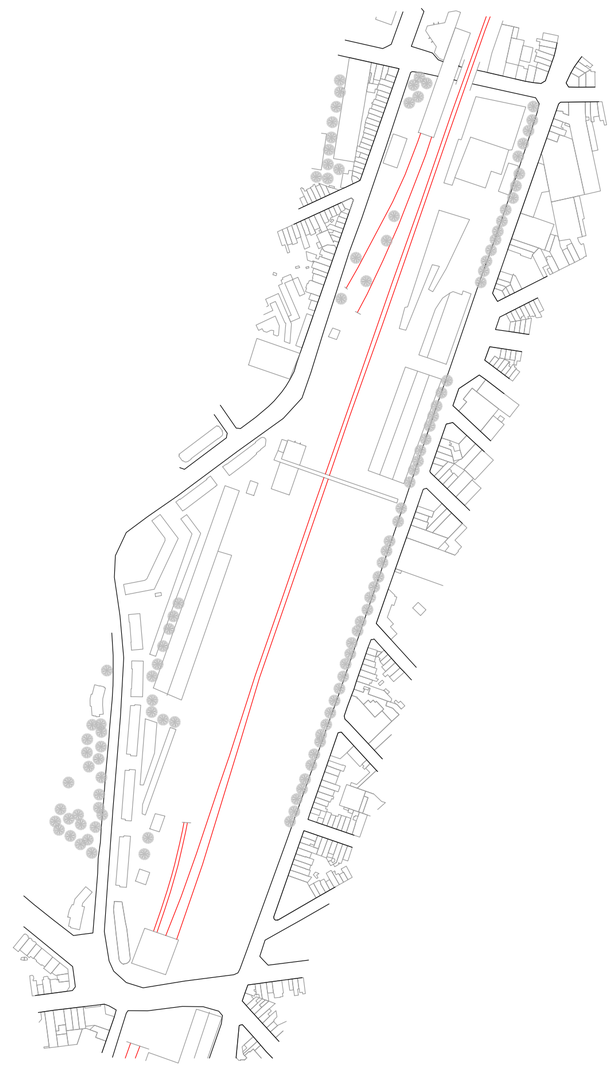
Potentialités du site de la gare de l'Ouest

Un vaste espace urbain inutilisé aujourd'hui



1935

La station de Bruxelles-Ouest est mise en service le 25 décembre 1872



1987

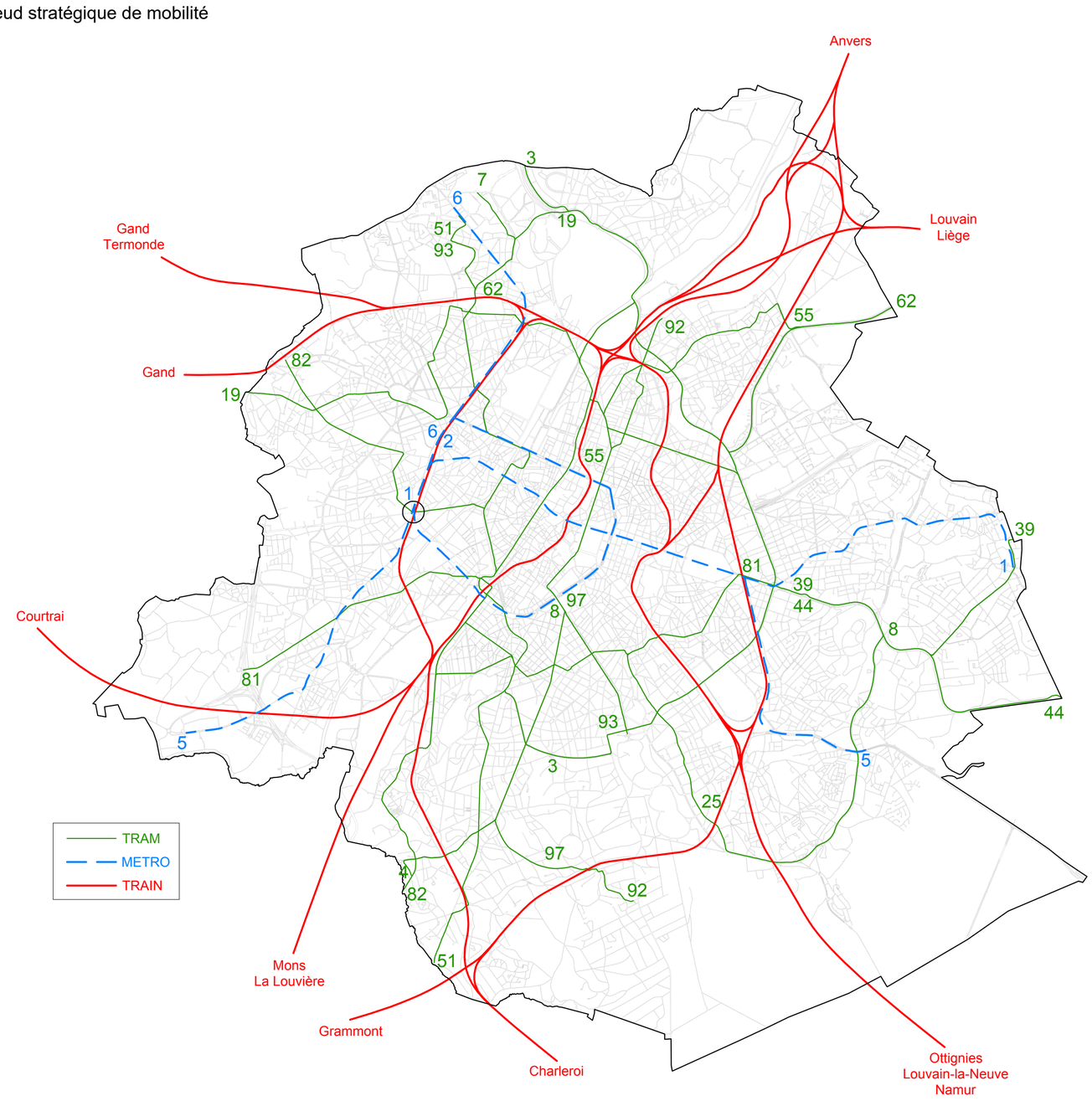
La gare est fermée au trafic des voyageurs le 3 juin 1984

2020

Le dimanche 13 décembre 2009, la SNCB réactive la desserte de la gare en mettant en service un point d'arrêt dans le cadre du Réseau express régional bruxellois.

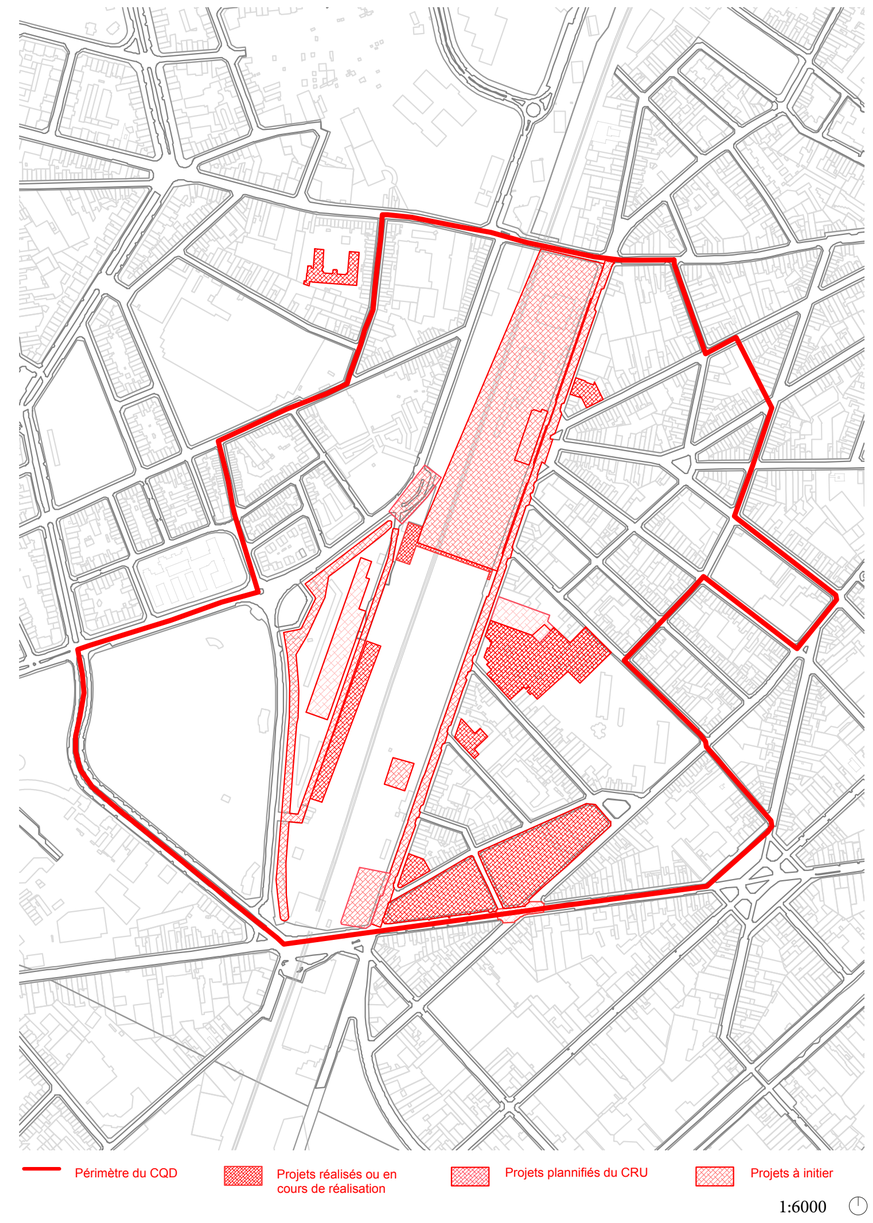
zone agricole

Un noeud stratégique de mobilité



S'inscrire dans les initiatives existantes ou prévues

Projets de contrat de quartier durable



Monitoring

Densité de population 2019

- < 20 hab/km²
- < 5 000 hab/km²
- 5 000 - 8 000 hab/km²
- 8 000 - 14 000 hab/km²
- 14 000 - 18 000 hab/km²
- > 18 000 hab/km²

Taux de croissance annuel moyen de la population 2014 - 2019

- non disponible
- < 0 %
- 0 - 0,5 %
- 0,5 - 1 %
- 1 - 1,5 %
- > 1,5 %

Taille moyenne des ménages privés 2019

- non disponible
- < 1,8
- 1,8 - 2
- 2 - 2,2
- 2,2 - 2,4
- > 2,4

Age moyen 2019

- non disponible
- < 34 ans
- 34 - 37 ans
- 37 - 39 ans
- 39 - 42 ans
- > 42 ans

Revenu imposable médian des déclarations 2016

- non disponible
- < 17 000 €
- 17 000 - 18 500 €
- 18 500 - 21 000 €
- 21 000 - 23 000 €
- > 23 000 €

Taux de chômage 2015

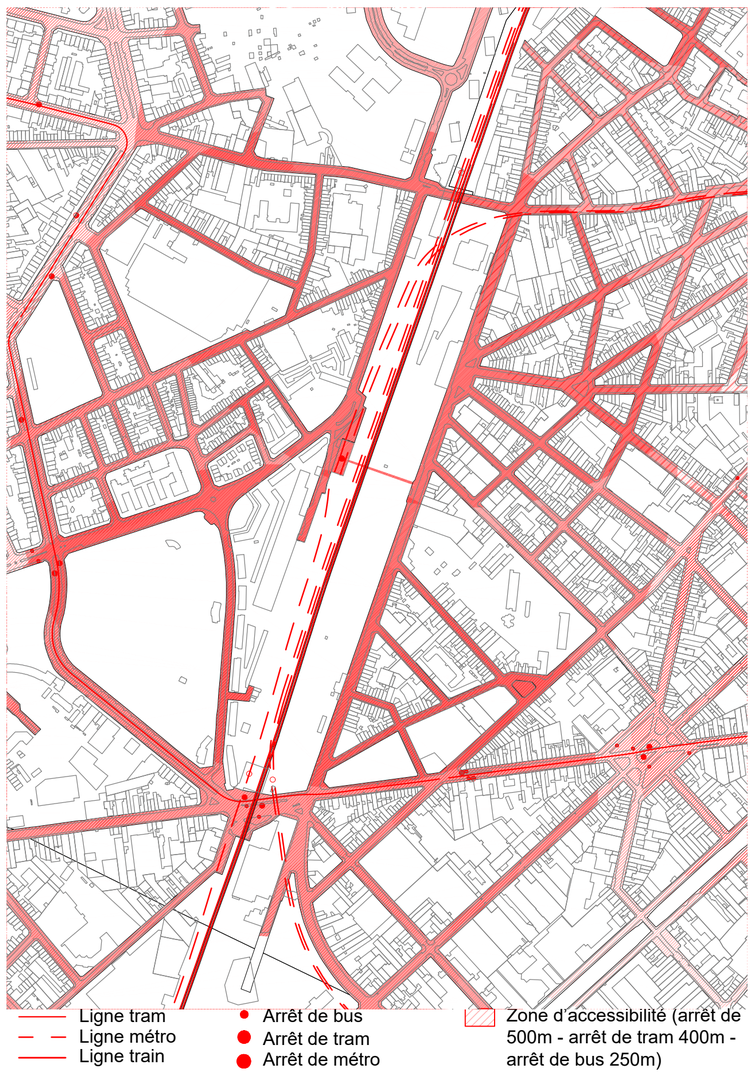
- non disponible
- < 13 %
- 13 - 18 %
- 18 - 21 %
- 21 - 28 %
- > 28 %

Perception du cadre de vie

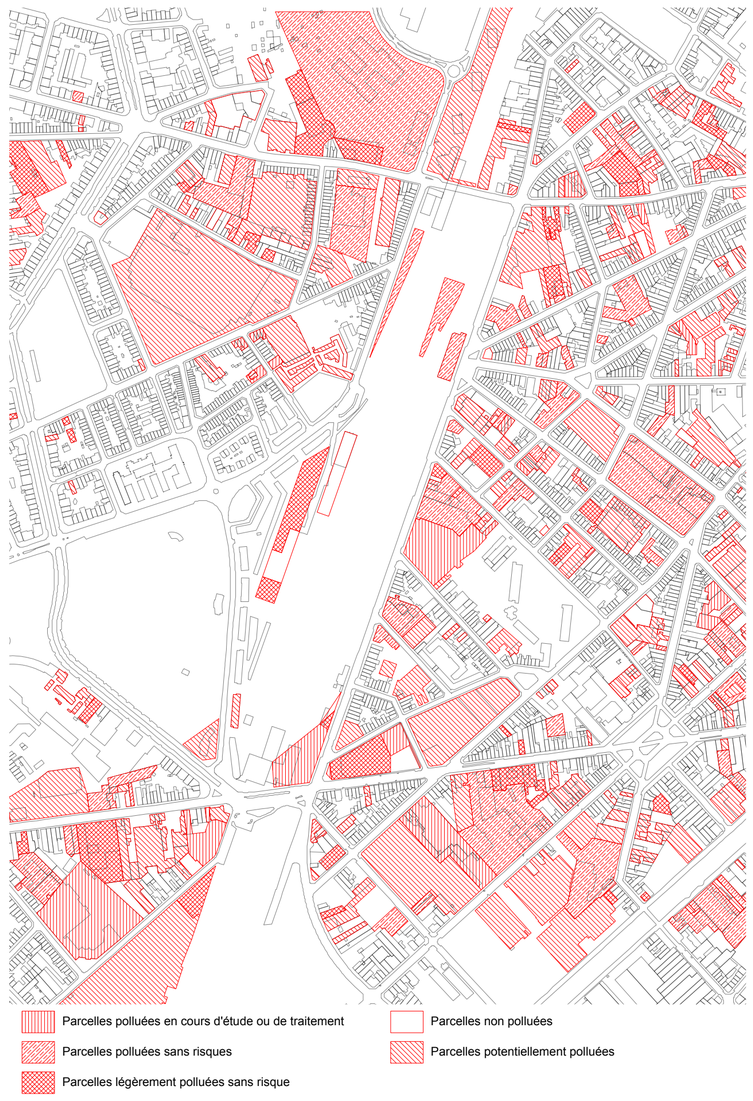
- non disponible
- Cadre vie moyen et bons services
- Cadre vie moyen et mauvais services
- Mauvais cadre et bons services
- Mauvais cadre et services moyens
- Mauvais cadre et mauvais services

Analyse du site

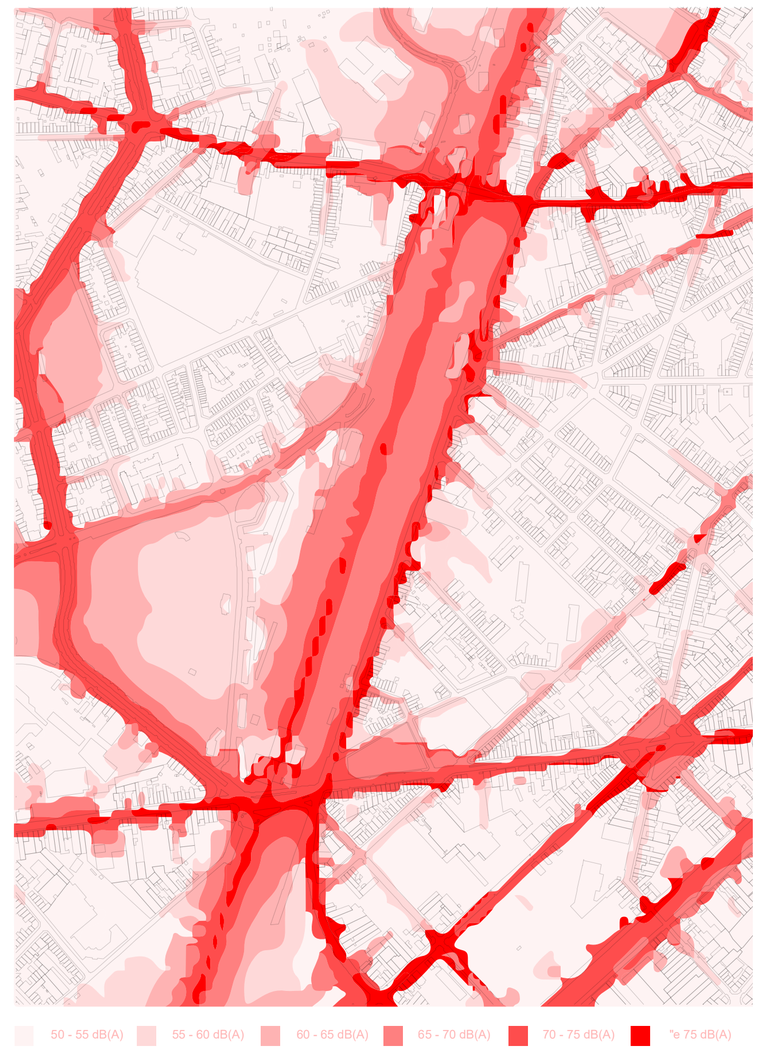
Proximité des transports



Pollution des sols

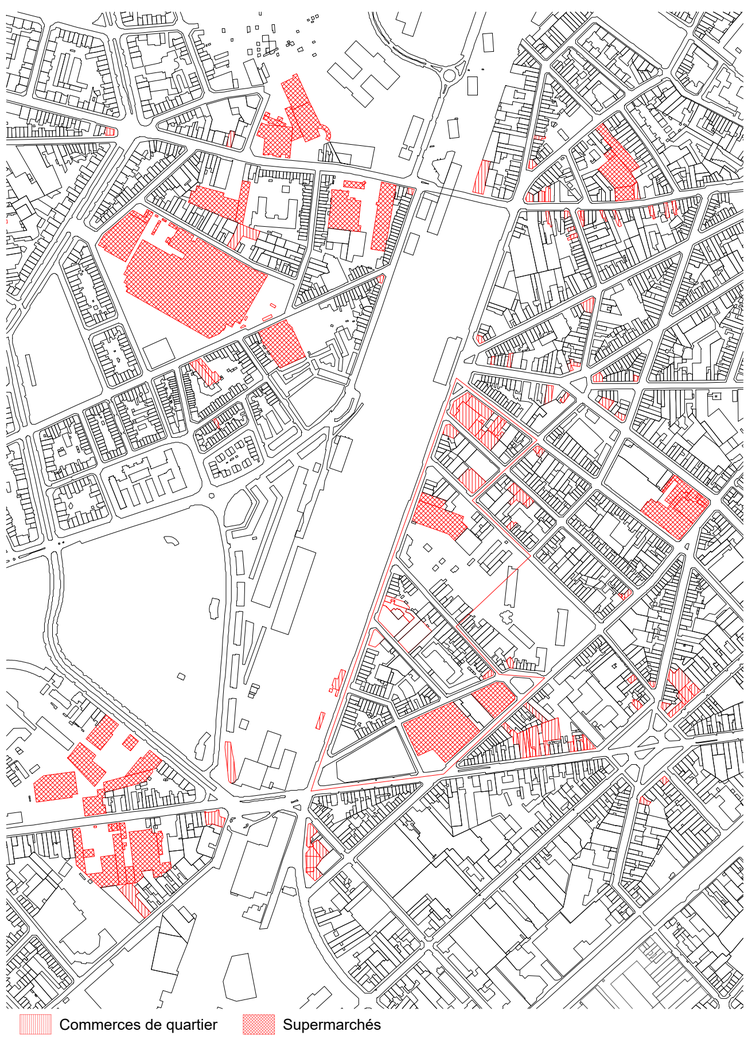


Niveau de bruit multi-exposition



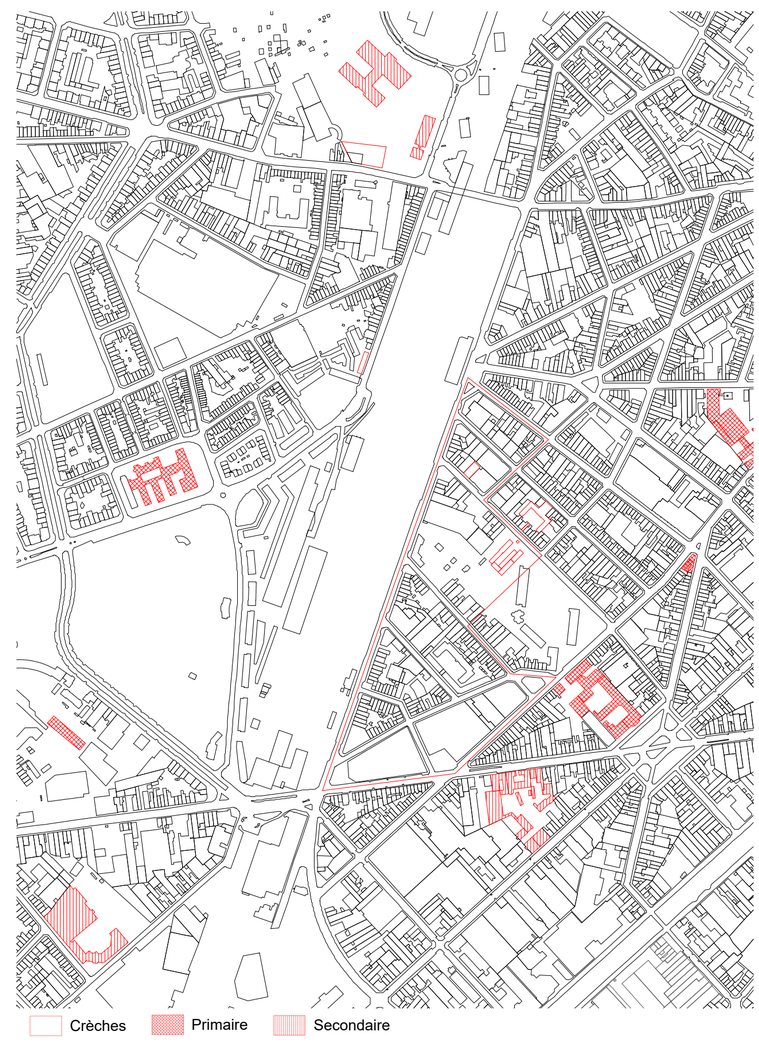
Analyse des fonctions

Commerces

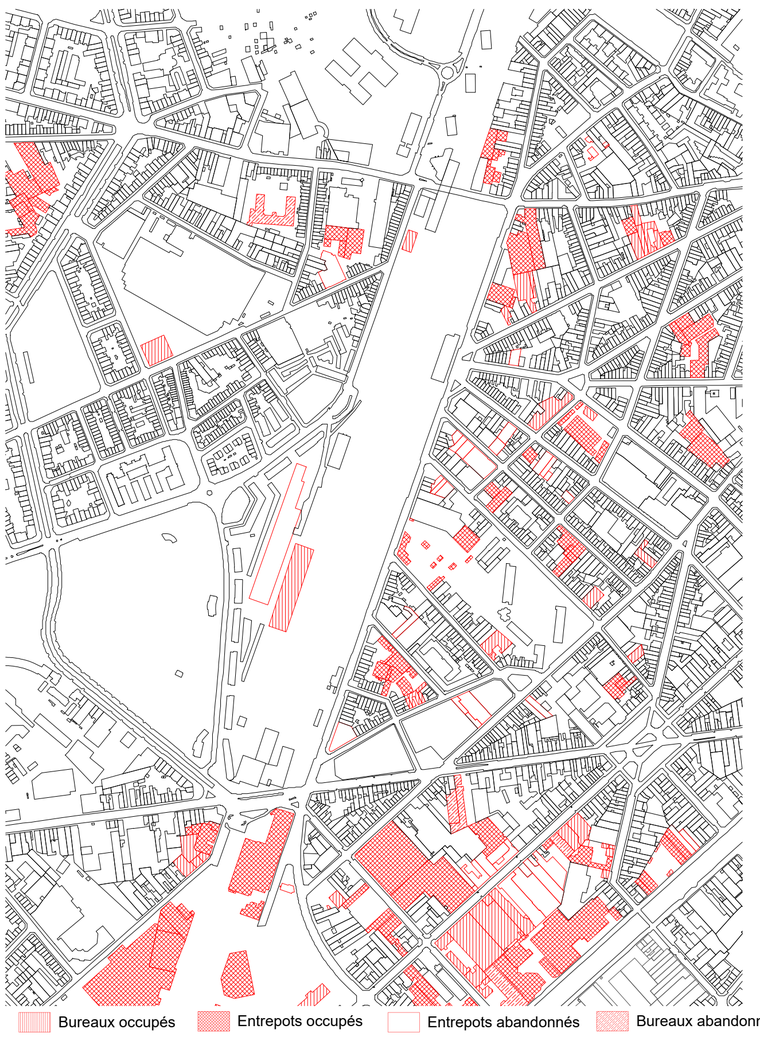


Culture

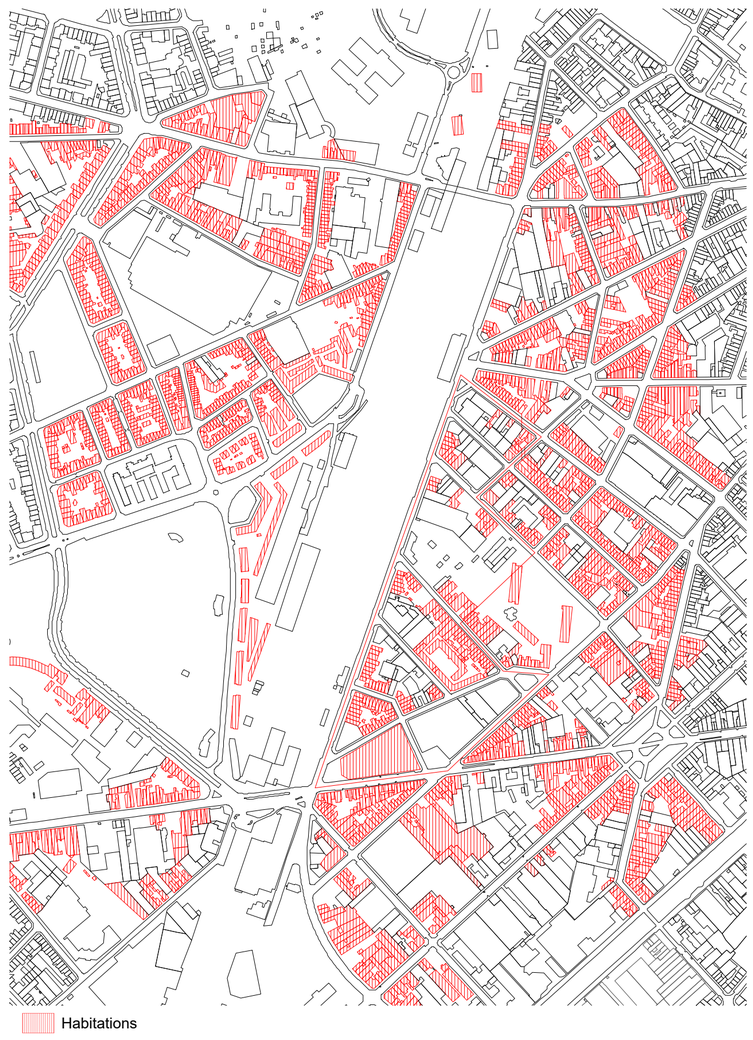
Education



Industries



Habitations



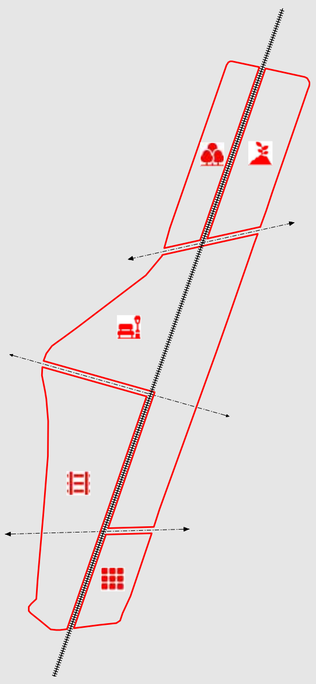
Equipements publics

1:6000

MASTER PLAN GARE DE L'OUEST
LBARC31 - Atelier de recherche - UTOPIE
Sheldon Cleven - Nicolas Halleux - Jessica Smissaert - Astrid Siraut - Fanny Tristant - Pierre-Yves Wartique

Chemin de vert

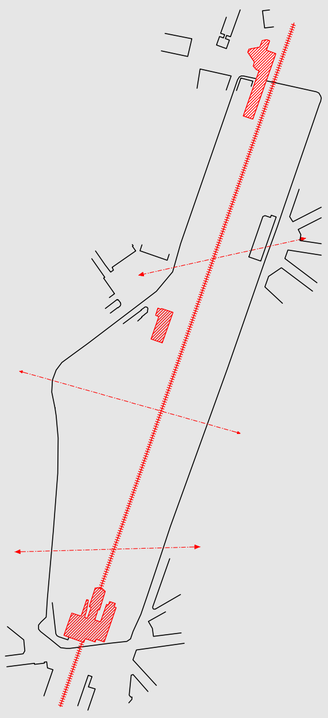
Séquences



- Végétal
- Agriculture Urbaine
- Parc Activé (plaine de jeux, musculation, bac à sable, fontaine, surface enherbée...)
- Campus Infrabel
- Minéral

Continuité espaces verts

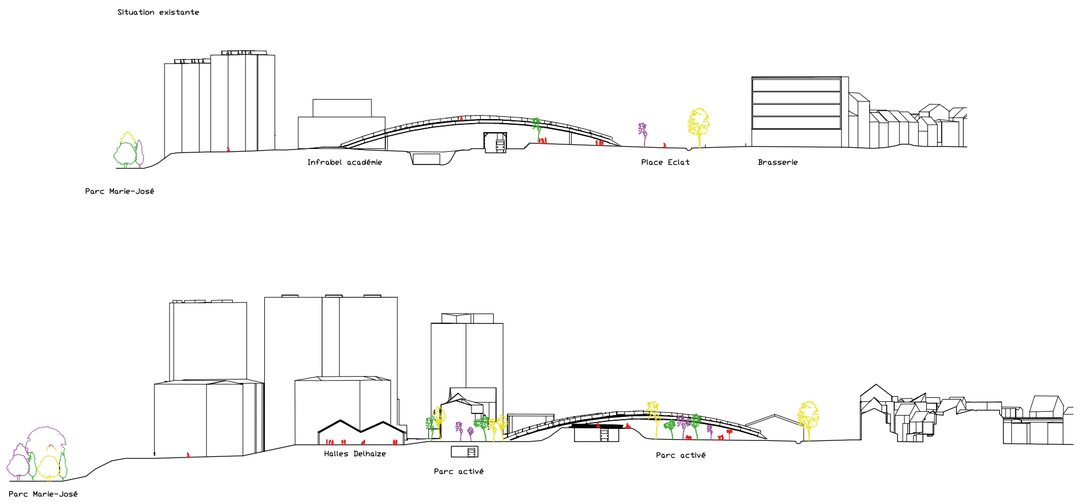
Liens et connections



CONNEXIONS

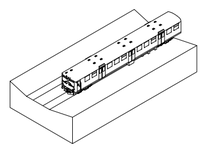
- Gares
- Places

Nouveau pôle attractif

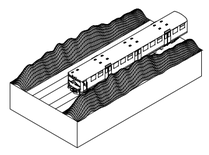


Dispositif contre le bruit

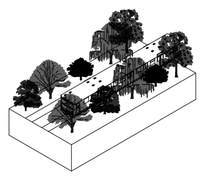
Enterrement de la ligne - Gain : 4 dB



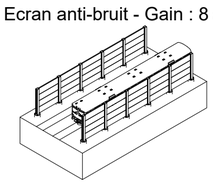
Merlon anti-bruit - Gain : 6 à 8 dB



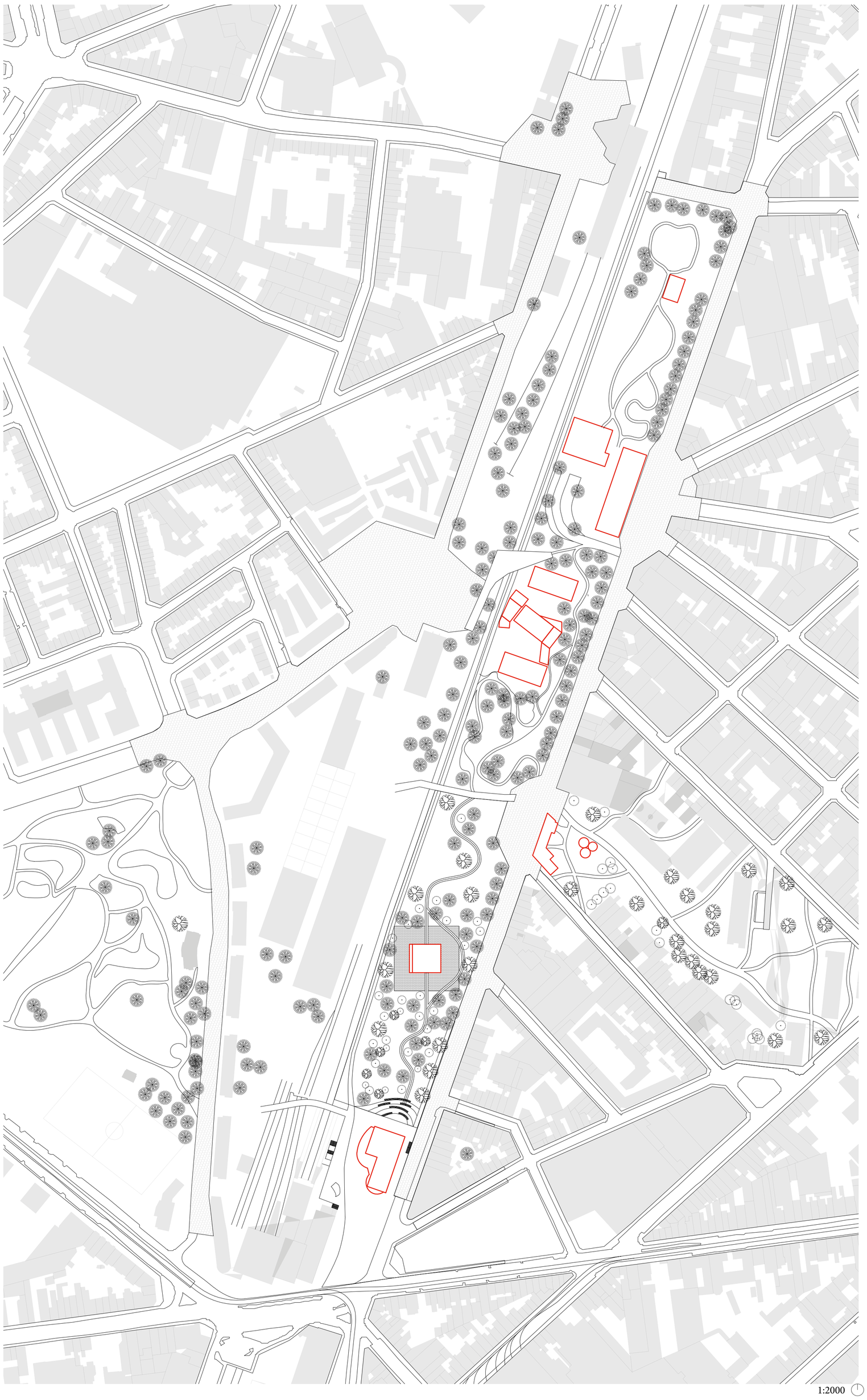
Végétation



Ecran anti-bruit - Gain : 8 à 10 dB



Plan masse



1:2000

MASTER PLAN GARE DE L'OUEST
LBARC31 - Atelier de recherche - UTOPIE
Sheldon Cleven - Nicolas Halleux - Jessica Smissaert - Astrid Siraut - Fanny Tristant - Pierre-Yves Wartique

Vers une école sans chauffage : Adaptabilité de la construction et des occupants

CONTEXTE

MILIEU SCOLAIRE
- Besoin de nouvelles écoles
- Emergence de pédagogies actives
- **Programme communautaire Fédération Wallonie - Bruxelles**

CONFORT INTÉRIEUR
- Visuel, thermique, acoustique et respiratoire
- **normes et directives européennes et régionales**

PERFORMANCES ÉNERGÉTIQUES
- Indépendance énergétique
- Réduire l'emprunte environnementale
- **méthode PEB du service public de Wallonie**
- **Standard Passif**

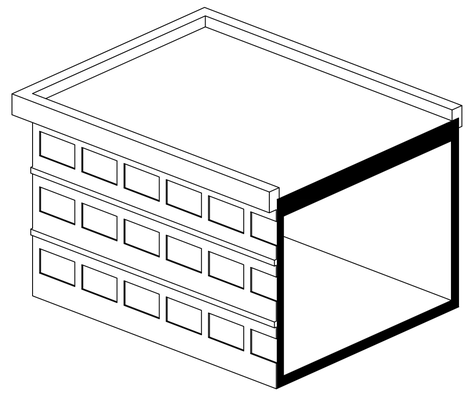
CONSTAT

PÉDAGOGIES ACTIVES
- Comprendre chaque enfant avec ses besoins spécifiques
- La communauté scolaire prend une place importante dans la vie scolaire
- L'importance de la nature et du mouvement

L'ÉCOLE DU DEHORS
- Besoin de renouer avec la nature en ville
- La nature comme classe à ciel ouvert
- Nécessité d'intégrer des retours en classe et de varier les activités.

LE PASSIF EN QUESTION
- Responsabilité des occupants
- Nécessité d'intégrer une gestion hybride avec des éléments connus
- Nécessité d'intégrer une conception hybride permettant la gestion manuelle .

MÉTABOLISME DE L'ENFANT
- S'adapte mieux aux changements de températures
- Supporte moins bien les températures extrêmes
- Emet moins de CO_2 que l'adulte



L'école actuelle : un volume chauffé.

VISION

UTOPIE:

Supprimer le chauffage à l'école primaire

ENJEUX

DÉVELOPPEMENT DE L'ENFANT
- intégrer les péda actives
- intégrer les péda nature

RESPONSABILITÉ
- Projet participatif communautaire
- Former l'écoresponsabilité chez les enfants

BIEN-ÊTRE
- Ambience intérieure saine
- Adaptation physique, psychologique et comportementale

COUT ECONOMIQUE
- Réduire les coûts économiques liés aux besoins énergétiques

EMPRUNTE ENVIRONNEMENTALE
- Réduire les coûts environnementaux
- Indépendance énergétique
- Eviter les énergies fossiles

OUTIL DE CONCEPTIOJN

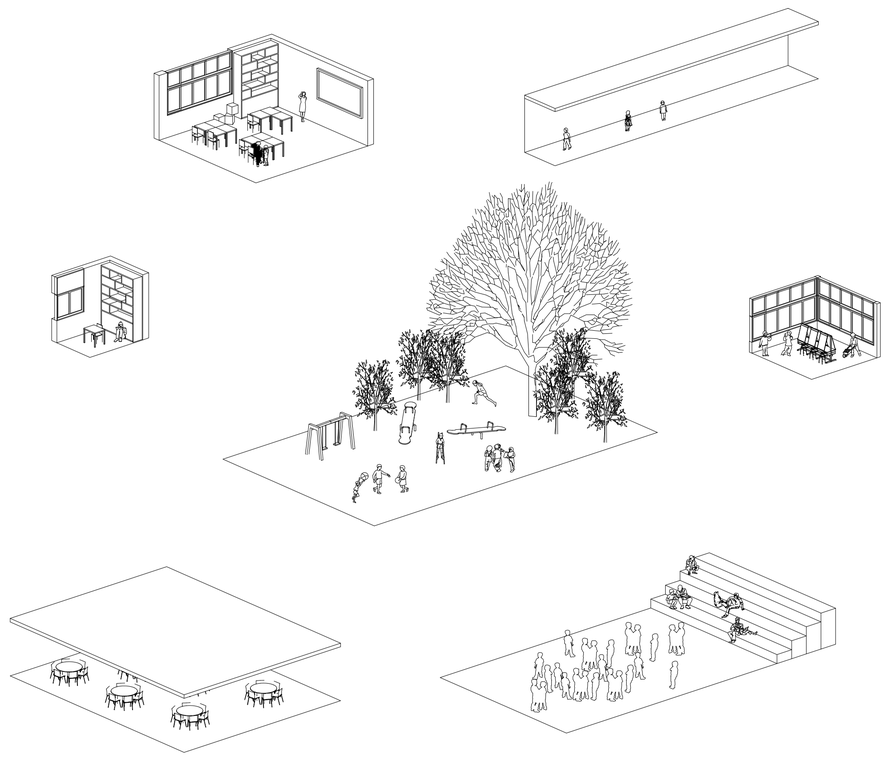
DÉCOMPOSER LES ÉLÉMENTS
de l'école primaire

Activités — degrés de fermeture — Groupe d'occupants — Temps

ASSEMBLER LES ÉLÉMENTS

Selon les besoins d'ambiance → Catalogue de fiches par espace

Selon l'organisation scolaire → Organigramme des espaces

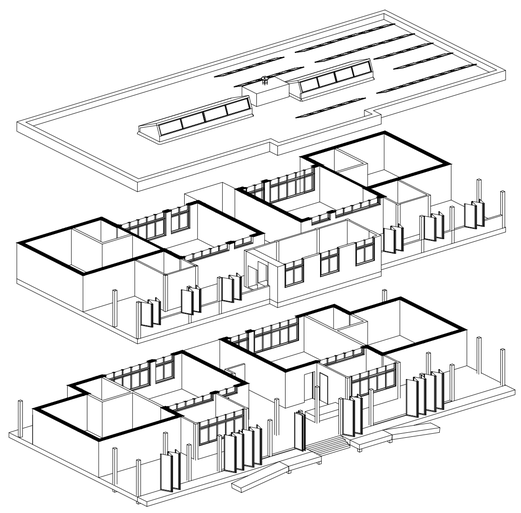


Décomposotion de l'école et assemblage des espaces scolaires

PROTOTYPE

CONCEPTION D'UN PROTOTYPE

Une école primaire sans chauffage basé sur l'adaptabilité de la construction et des occupants



Prototype : composition architecturale selon les ambiances thermiques et les besoins scolaires

VERIFICATION

VALEUR ENERGÉTIQUE — AMBIENCE INTÉRIEURE

VALEUR ARCHITECTURALE — VALEUR PÉDAGOGIQUE

MODÉLISATION ÉNERGÉTIQUE

Les apports solaires et l'occupation sont-ils suffisants pour chauffer le local durant l'année complète ?

La ventilation naturelle est-elle sufissante pour une qualité d'air saine sans impacter le confort thermique ?

Quelles stratégies impactent la température au long de l'année ?

PROJET D'ARCHITECTURE

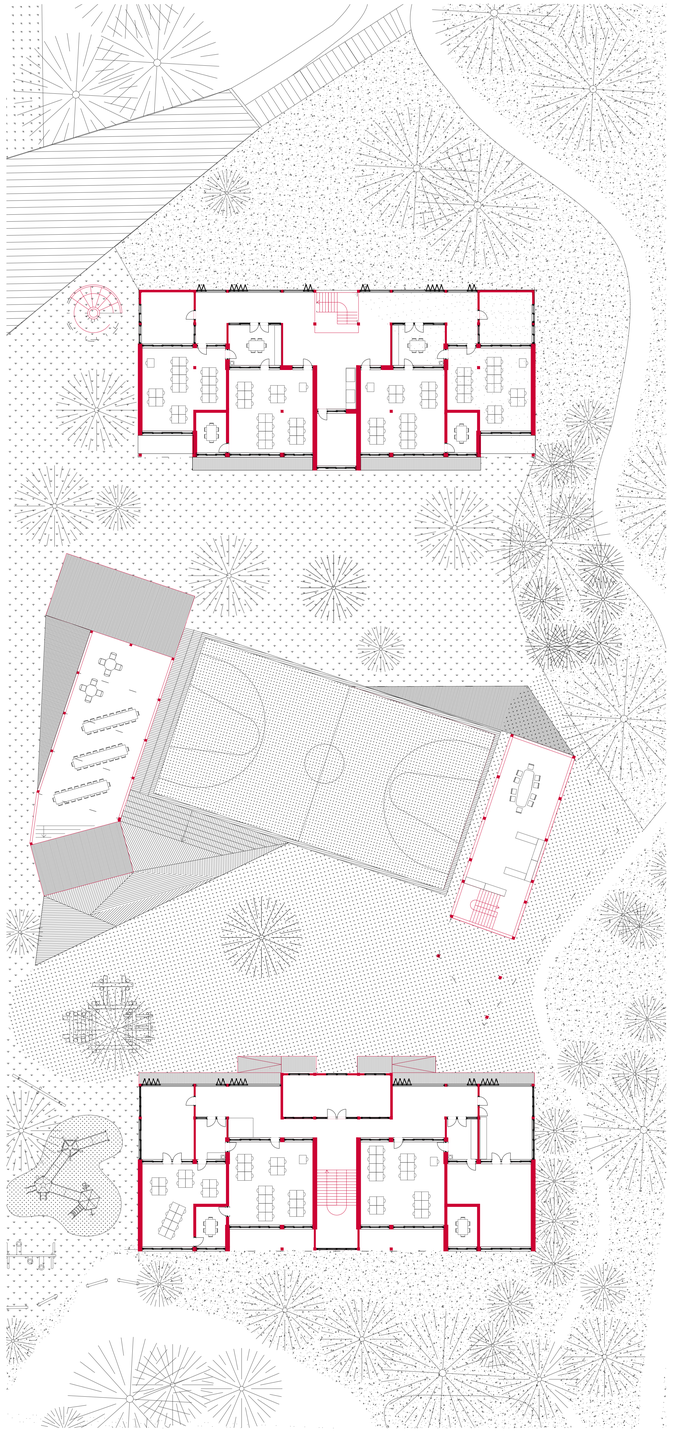
Les apports solaires et l'occupation sont-ils suffisants pour chauffer le local durant l'année complète ?

La ventilation naturelle est-elle sufissante pour une qualité d'air saine sans impacter le confort thermique ?

Quelles stratégies impactent la température au long de l'année ?

Vers une école sans chauffage
Travail de recherche : Méthode et chronologie
LBARC2200 Travail de fin d'études en et sur l'architecture : Utopies réalisables
SIRAUT Astrid

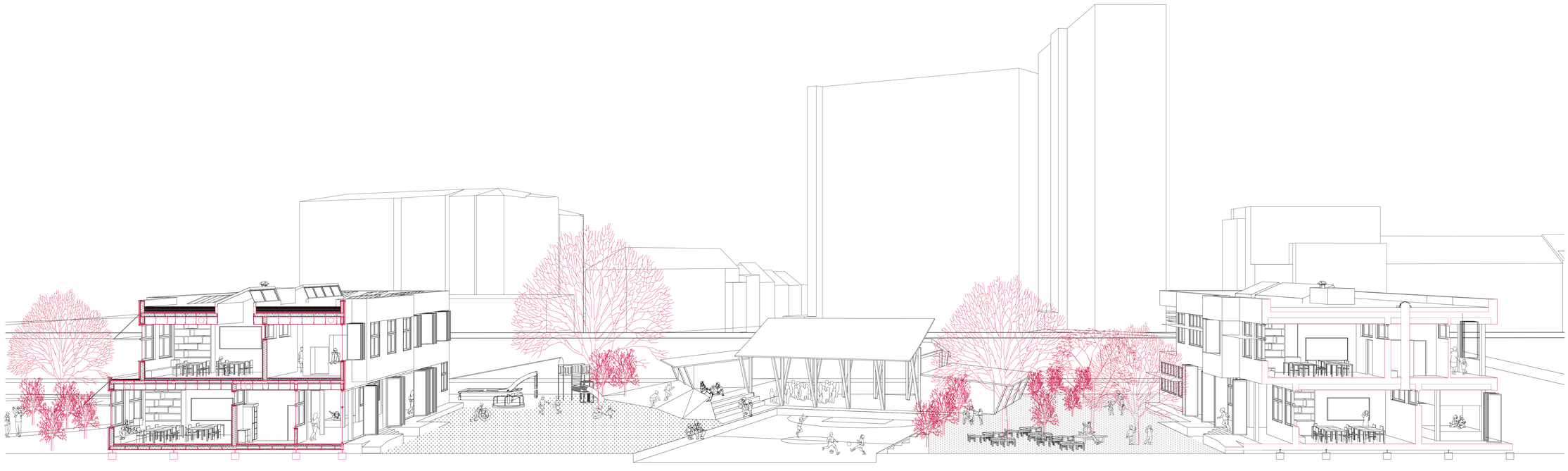
Rez



Rez + 1

1:200

Vers une école sans chauffage
Plans d'implantation et d'étage
LBARC2200 Travail de fin d'études en et sur l'architecture : Utopies réalisables
SIRAUT Astrid



Vers une école sans chauffage
Coupe technique et espace réel
LBARC2200 Travail de fin d'études en et sur l'architecture : Utopies réalisables
SIRAUT Astrid