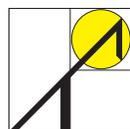




[Sustainable Urban Design]

Réflexion sur les réponses architecturales aux enjeux du développement durable dans le cadre d'une étude préliminaire pour la rénovation et la densification d'une parcelle de logements à Louvain-la-Neuve.

PROCESSUS - TERRITOIRE - HABITANTS - MODES DE VIE - PROGRAMME - MOBILITÉ - ÉNERGIE - MATÉRIAUX - DÉCHETS - EAU - ASSAINISSEMENT DURABLE - BIODIVERSITÉ - ÉCONOMIE



Architecture et climat

Catherine Massart
André De Herde

INTRODUCTION

Le processus de conception architecturale est un processus complexe, qui nécessite l'intégration des contraintes et des enjeux multiples et la production d'une solution qui y réponde. Le processus n'est ni unique, ni figé, des mécanismes propres aux individus sont à l'œuvre.

Le contexte environnemental, économique et social actuel ajoute des enjeux à ceux que l'architecture considère traditionnellement. Le processus de conception doit pouvoir intégrer au mieux ces enjeux particuliers.

Le projet SUD fait l'analyse du contexte de Louvain-La-Neuve et une étude préliminaire pour sa densification et l'amélioration de son bâti par une intervention sur une parcelle dans le quartier de l'Hocaille.

Le développement durable est un sujet vaste, qui touche de nombreux aspects du processus de conception d'un projet. N'en négliger aucune des facettes était un objectif ambitieux, il reflète la nécessité d'une vision large, dépassant les spécificités des différentes disciplines. La recherche s'est toutefois concentrée sur certaines questions et thématiques, à la fois pour répondre aux questionnements qui semblaient pertinents et pour rester dans les domaines propres aux compétences disponibles.

L'objectif de cette publication est de détailler les principes qui ont été déterminés comme essentiels au développement d'un projet durable. Le projet SUD a servi de laboratoire à cette étude. Des esquisses ont été produites, pour tester la faisabilité de la mise en œuvre des concepts envisagés. Elles serviront d'illustration à cette publication, structurée, pour les différentes thématiques, autour de deux axes:

Analyses et enjeux

Tout projet s'inscrit dans un contexte. Le lieu, les gens, le climat, le contexte environnemental, économique, politique, social, le maître d'ouvrage, son budget, ses motivations, etc. L'existant, que se soit en termes de bâtiment ou d'ambiance, de végétation, d'infrastructure, ... n'est plus à construire et c'est une qualité importante qu'il faut lui reconnaître, au delà de ses qualités ou de ses défauts propres. On ne part jamais d'une page blanche. Il s'agit de composer avec ce qui est là pour le mettre en valeur et en tirer profit. Chaque projet est l'occasion d'examiner les opportunités qu'il peut générer, les ressources qui sont à disposition. Cette mission est impossible sans une analyse détaillée des dispositifs présents, dans tous les domaines.

Objectifs et solutions concrètes envisagées pour le projet SUD

Pour les différentes thématiques, l'analyse des contextes multiples mène à des questionnements, qui sont explorés dans le cadre d'études préliminaires à un avant-projet. Face aux enjeux et aux ressources disponibles, il s'agit de définir des balises et de fixer des objectifs pour mener à bien la conception d'un bâtiment durable.

Les deux avant-projets esquissés ne sont ni abouti, ni définitif, ils ont surtout servi de support au questionnement et à l'évaluation de principes.

TABLE DES MATIÈRES

1. PROCESSUS

Analyses et enjeux

Les acteurs et leurs motivations

Méthodologie : d'une approche linéaire à une approche intégrée

Développement du projet et participation citoyenne

Du bâtiment écologique au projet de société durable

Objectifs et solutions concrètes envisagées pour le projet SUD

Méthodologie

Participation citoyenne

2. TERRITOIRE, LIEU

Analyses et enjeux, à l'échelle de la ville

Objectifs et solutions concrètes envisagées pour le projet SUD, à l'échelle de la ville

Analyses et enjeux, à l'échelle de l'îlot et de ses environs

Objectifs et solutions concrètes envisagées pour le projet SUD, à l'échelle de l'îlot et de ses environs immédiats

3. HABITANTS, MODES DE VIE, PROGRAMME

Analyses et enjeux, à l'échelle de la ville

Contexte économique-social

Contexte socio-démographique

Contexte socio-urbanistique

Analyse à l'échelle de l'îlot et de ses environs immédiats

Processus de participation : résultats de la consultation préliminaire

Programme et stationnement

Programme et maître d'ouvrage

Analyses et enjeux, à l'échelle des bâtiments

11

Programmes des bâtiments existants

31

11

Bâtiments existants et sécurité incendie

33

11

Programme des bâtiments neufs

33

12

Objectifs et solutions concrètes envisagées pour le projet SUD

33

13

Au niveau du projet global

33

14

Programme et stationnement

33

14

Programme et bâtiments existants

34

14

Programme et bâtiments neufs

34

Espaces extérieurs et intimité

38

Contexte économique-social

39

21

Logements neufs et personnes à mobilité réduite

39

Programme et flexibilité

40

21

4. MOBILITÉ

22

Analyses et enjeux

45

À l'échelle de la ville de LLN

45

24

À l'échelle du quartier

45

À l'échelle de l'îlot

45

27

Objectifs et solutions concrètes envisagées pour le projet SUD

47

27

Soutien de la mobilité douce

48

27

Circulations et stationnement automobile

49

27

Circulations piétonnes

50

28

29

31

31

5. ÉNERGIE

Analyses et enjeux

Objectifs et solutions concrètes envisagées pour le projet SUD

Premier objectif énergétique : Limiter au maximum les consommations d'énergie et leurs impacts

- Consommations de chauffage 59
 - Minimiser les déperditions thermiques par transmission 59
 - Minimiser les déperditions de ventilation et d'infiltration 70
 - Optimiser les gains solaires - implantation 74
 - Inertie thermique 79
 - Sensibilisation des occupants sur les modes de vie et sur les exigences de confort 79
 - Minimiser les impacts négatifs de la production de chaleur pour le chauffage 80
 - Limitation des besoins 84
 - Récupération de chaleur instantanée sur les évacuations d'eaux grises 85
 - Limitation des impacts du système de production d'eau chaude sanitaire 86
- Consommation d'énergie pour du refroidissement actif 86
 - Inertie 86
 - Ventilation naturelle 86
 - Protections solaires 86
 - Contrôle des gains internes 87
- Consommation d'énergie électrique pour l'électroménager et la bureautique 87
- Consommation d'énergie électrique pour l'éclairage 87
 - Éclairage naturel 87
 - Éclairage artificiel 87
- Consommation électrique pour les auxiliaires techniques 88
- Consommation d'énergie au niveau des matériaux mis en oeuvre 88
- Consommation d'énergie pour la mobilité 88
- Consommation d'énergie pour l'alimentation 88

Deuxième objectif énergétique : production maximale d'énergie renouvelable

- 88
 - La production de chaleur par capteurs solaires thermiques 88
 - La production d'électricité par capteurs solaires photovoltaïques 88
 - L'intégration des technologies solaires. 89
 - La production d'électricité par une installation de cogénération à la biomasse 89

6. MATÉRIAUX ET DÉCHETS DE CONSTRUCTION

Analyses et enjeux

- Les normes et réglementations 93
- Les méthodes d'évaluation existantes 95
- Le site et les bâtiments existants 98

Objectifs et solutions concrètes envisagées pour le projet SUD

- Action 0 : éviter l'utilisation de matière et la production de déchets 100
- Action 1 : Maintenir, utiliser l'existant 100
- Action 2 - 3 : Réutiliser et recycler sur le site 100
- Action 4 : minimiser et gérer les déchets 101
- Action 5 : Privilégier les matériaux durables 101
 - Hypothèses et méthode d'évaluation 101
 - Critères environnementaux 103
 - Critères sociaux 108
 - Critères techniques 109
 - Critères économiques 111
- Méthode 112
- Évaluation de solutions concrètes 112
 - Solutions pour l'isolation et le parement des façades existantes 112
 - Première technique analysée : parement fixé à une ossature bois elle-même fixée au mur porteur et remplie avec un isolant 113
 - Deuxième technique possible : Isolation fixée sur le mur porteur (collage + fixations mécaniques) et support de la finition extérieure 129
 - Le matériau terre crue 129

7. EAU, ASSAINISSEMENT DURABLE

Analyses et enjeux	135
→ L'eau	136
→ Les nutriments : entre alimentation, fertilisation et pollution	136
→ Principes de l'assainissement durable	140
Objectifs et solutions concrètes envisagées pour le projet SUD	141
Objectifs généraux à l'échelle du projet SUD	141
→ Au niveau de la consommation d'eau potable de distribution	141
→ Au niveau des eaux de pluie	142
→ Au niveau des eaux grises	143
→ Au niveau des eaux-vannes	143
Assainissement durable : L'échelle de la ville de Louvain-La-Neuve	145
Assainissement durable : L'échelle du projet SUD	150
Solutions pour le projet SUD : approche technicopraticque	152
→ L'épuration et le recyclage des eaux usées	152
→ Volumes disponibles et besoins en eau	156
→ Fosse à eaux-vannes : technique	157

8. BIODIVERSITÉ

Analyses et enjeux	161
Objectifs et solutions concrètes envisagées pour le projet SUD	162

9. ÉCONOMIE

Analyses et enjeux	167
Analyse économique : le coût global des bâtiments	167
Objectifs et solutions concrètes envisagées pour le projet SUD	170

10. BIBLIOGRAPHIE

1. PROCESSUS

Analyses et enjeux

Le projet SUD est une initiative de l'équipe de recherche « Architecture et climat », de l'UCL, dont le but est d'étudier, de développer et de construire un projet d'architecture durable à Louvain-La-Neuve. Le projet se base sur analyse de la ville pour faire la proposition d'un lieu qui accueillerait le développement d'une rénovation et de construction neuves qui complèteraient la parcelle.

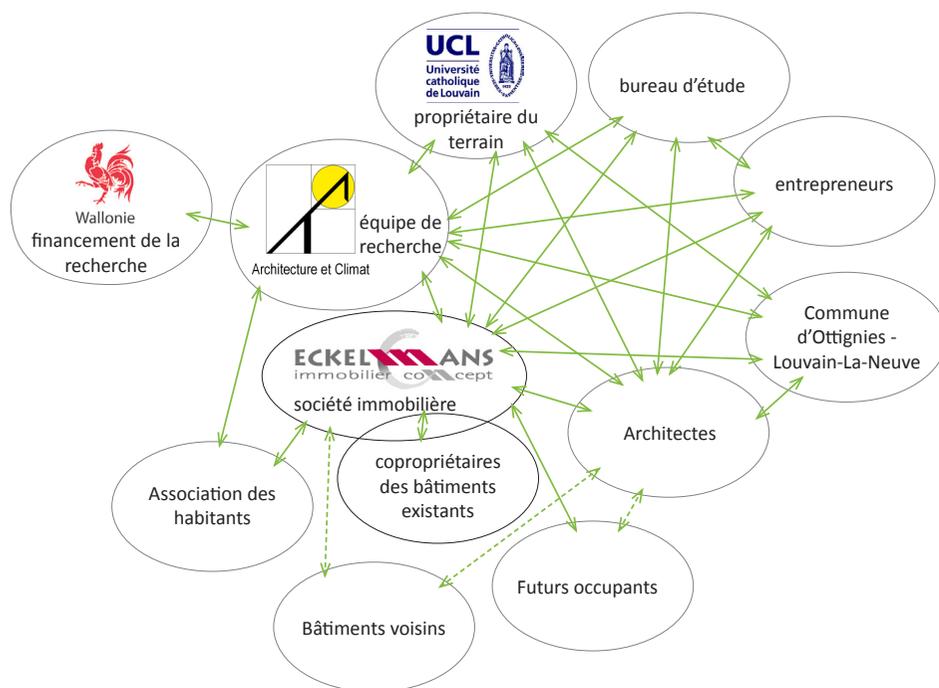
Cette initiative est une opportunité pour étudier et développer les compétences en matière d'architecture et de développement durable.

Le processus de développement du projet est un sujet de recherche en soi. Comment sont effectués les choix, comment collaborent les différents acteurs pour produire un projet le plus ambitieux possible ?

Les acteurs et leurs motivations

Les acteurs impliqués dans le développement du projet sont nombreux.

Chacun des acteurs a ses motivations et ses contraintes propres, qu'il est indispensable de considérer pour construire un dialogue efficace et optimiser les solutions pour les différents intervenants.



Acteurs	Intérêts, motivations		
Promoteur immobilier - Eckelmans	bénéfice financier	image	développement durable
Copropriétaires des bâtiments existants	bénéfice financier	développement durable	
Architecture et climat	développement durable	développement de connaissances	image
Futurs occupants	qualité de vie	économies financières	développement durable
UCL / ville d'Ottignies- LLN	développement durable	image	(bénéfice financier)
Habitants du quartier	qualité de vie	développement durable	
Architectes / bureaux d'études / entrepreneurs	bénéfice financier	développement de connaissances	développement durable
Région wallonne	développement durable	développement de connaissances	image

Tableau reprenant les objectifs et avantages que chacun des acteurs peut retirer du développement du projet.

Méthodologie: d'une approche linéaire à une approche intégrée

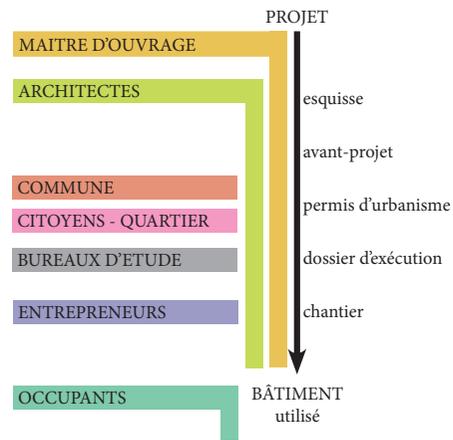
Le processus de conception d'un projet, fait traditionnellement de manière linéaire. Pendant la durée du développement du projet, les différents acteurs se succèdent et les interactions sont généralement limitées à des étapes spécifiques du projet.

Le maître d'ouvrage est le client de l'architecte, du bureau d'étude et de l'entrepreneur. Le bureau d'étude intervient ponctuellement, pour répondre à des questions ou résoudre des problèmes.

L'entrepreneur intervient quand la conception est finalisée, pour mettre en oeuvre les solutions adoptées.

La relation que l'architecte et le bureau d'étude ont avec l'entrepreneur est de l'ordre du contrôle. Ils sont responsables de vérifier la conformité de la mise en oeuvre avec les prescriptions établies.

Les occupants, quand ils sont différents du maître d'ouvrage, ne sont pas toujours consultés, et très rarement impliqués dans le processus de conception



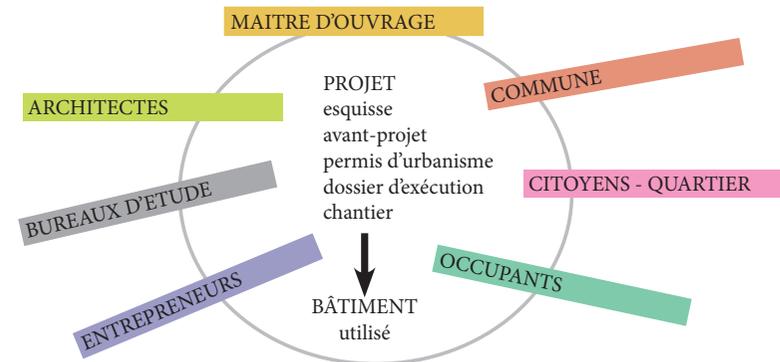
Approche linéaire : processus traditionnel de développement d'un projet, dans lequel les intervenants se succèdent, avec des interventions ponctuelles au moment d'une étape spécifique du projet.

La multiplicité des objectifs et le nombre important d'acteurs génèrent une complexification de la mission de conception d'un bâtiment. La méthodologie traditionnelle permet difficilement d'intégrer les contraintes et les objectifs d'un projet ambitieux, elle nécessite des aller-retour constants, pour confronter les solutions étudiées suivant des paramètres multiples.

Plusieurs évolutions renforcent ce phénomène :

- Présence de marchés caractérisés par des formules impliquant dès le départ plusieurs intervenants telles que « design & Build » ou « DBFM » (Design, Build, Finance & Manage).
- Augmentation des exigences par rapport aux performances environnementales des bâtiments, qui rendent essentielle la collaboration des acteurs pour atteindre les objectifs.
- Préfabrication. Cette stratégie nécessite une interaction poussée entre les entrepreneurs et les concepteurs, pour élaborer l'ensemble des détails de manière cohérente avec les techniques de préfabrication, de transport et de montage.

La méthodologie évolue vers un processus de conception intégrée. L'organisation d'un dialogue à toutes les étapes du développement et entre les différents acteurs, devient essentielle pour optimiser le projet, tant au niveau financier, technique et environnemental qu'au niveau de son intégration dans le contexte urbain et social existant. La conception intégrée permet la valorisation des connaissances et compétences de chaque acteur, au service du projet.



Approche intégrée : développement d'un projet par une collaboration entre tous les intervenants, à toutes les étapes.

C'est un processus difficile à mettre en place, qui nécessite de la préparation, de la communication, des acteurs à l'écoute et prêts à la remise en question.

Ce type d'approche permet d'atteindre des objectifs ambitieux et des économies de moyens en optimisant l'intégration des compétences multiples.

Pour permettre d'atteindre réellement les objectifs, il est essentiel que les missions des intervenants ne s'interrompent pas complètement à la livraison du bâtiment. L'ajustement des techniques et l'accompagnement des occupants dans leur appropriation du bâtiment sont décisifs pour les performances effectives.

Développement du projet et participation citoyenne

Un projet de construction et de rénovation influence le cadre de vie des habitants du quartier et des occupants des bâtiments qui seront construits / rénovés.

Une démarche participative permet de favoriser l'intégration du projet dans son contexte social et urbanistique. Connaître et tenir compte des besoins et des inquiétudes des riverains, aménager les logements et les espaces extérieurs pour répondre aux désirs des habitants sont autant de facteurs qui améliorent la qualité de vie d'un quartier. Un processus de participation peut s'envisager sous de multiples formes, sur des sujets divers.

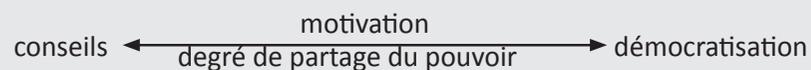
On peut considérer 5 niveaux de participation :

1. information : tenir les gens informés du projet en cours ;
2. consultation : inviter les gens à s'exprimer à propos du projet ;
3. concertation : discussion à partir des opinions présentes ;
4. contrôle : les gens consultés ont un réel pouvoir d'acceptation ou non des solutions discutées ;
5. coproduction : la construction de la solution se fait en collaboration avec les participants, il y a un partage clair du pouvoir.

Avant d'envisager un processus participatif, il est impératif de définir clairement plusieurs éléments¹ :

→ Objectifs : quelles sont les motivations de la démarche participative et quels sont les résultats escomptés. Deux axes peuvent être utilisés pour définir les objectifs du processus envisagé :

- L'axe de la motivation, qui permet de se situer entre :
 - « Démocratisation » : le résultat du processus aura un impact réel, les participants ont du pouvoir sur les décisions.
 - « Conseils » : l'objectif est de permettre d'identifier les différents avis, valeurs, idées. Le résultat contribue au processus décisionnel, de manière non contraignante.



- L'axe du résultat, qui permet de caractériser le résultat visé entre :
 - « Organiser la diversité » : le résultat visé est un éventail de différentes options, scénarios, alternatives, développées, testées, éventuellement évaluées par le processus participatif.
 - « Consensus » : L'objectif est la prise d'une décision, l'adoption d'une solution par l'ensemble du groupe.



→ Sujet : Quelles sont la nature et l'ampleur de l'enjeu du processus participatif ? Une fois le sujet clairement identifié, il peut être détaillé sous différents aspects pour préciser le caractère que prendra le processus participatif :

- Connaissance : Le sujet est-il connu du public concerné et de la société en général ?
- Maturité : Des avis, des études, des législations éventuelles sont-ils disponibles ou aucune expérience sur le sujet n'est encore disponible pour s'y référer ?
- Complexité : La question nécessite-t-elle une grande quantité d'informations pour pouvoir être appréhendée justement ?
- Controverse : La question est-elle sensible et les avis divergents ? Le consensus est-il difficilement envisageable ?

→ Participants : qui participe ?

Ils peuvent être de plusieurs sortes :

- des citoyens individuels ;
- des représentants d'organisations, d'associations, d'entreprises... ;
- des experts d'une question particulière ;
- les décideurs, politiques ou non, qui adoptent le résultat du processus participatif.

Le mode de recrutement et l'organisation pratique du processus de participation auront une influence sur le public mobilisé, et donc sur les résultats du processus. Si l'objectif de représentativité est poursuivi, la sélection sera complétée par des critères sociodémographiques (sexe, âge, éducation, profession, situation familiale...), pour que le groupe constitue un échantillon représentatif de la population concernée.

La mobilisation du public peut être une étape difficile, il est conseillé de recruter environ 20 % de public en plus que le public nécessaire, pour anticiper les désistements.

→ Durée : Planification du processus, à quel moment et pendant combien de temps ? Le moment doit être pertinent par rapport à l'agenda des décisions. Demander l'avis des gens quand les décisions sont déjà prises ne relève pas du processus participatif. Prévoir un engagement du public à trop long terme risque par contre de provoquer l'essoufflement du processus, ou des difficultés pour réunir un groupe.

→ Budget : Quel est le coût de l'organisation du processus, et qui le prend en charge ? Communication autour du processus, salaire d'un organisateur / animateur, location éventuelle d'un endroit, engagement d'experts éventuels, boissons... sont autant de frais qui sont liés à l'organisation d'un processus de participation, et doivent donc être prévus.

L'organisation, l'animation du processus de participation doivent être réalisées par une personne neutre par rapport à la question. Son rôle est essentiel pour assurer le bon déroulement des discussions, et permettre à chacun de s'exprimer et d'être entendu. De nombreux outils d'animation des processus de participation existent. Ils permettent de faciliter l'échange autour d'une question et la mise en oeuvre de solutions.

Du bâtiment écologique au projet de société durable

Un projet durable ne se limite pas à la production d'un bâtiment écologique. Le développement même du projet, au-delà de sa réalité physique, participe au fonctionnement de la société. Une société durable ne peut s'envisager sans considérer les aspects économiques, environnementaux et sociaux de toutes ses composantes. Le secteur des entreprises et celui des investissements financiers ont un rôle important à y jouer. Cette notion se rapproche des considérations de l'approche appelée « responsabilité sociale des entreprises ».

¹ Le chapitre ci-après est inspiré de la formation donnée par l'asbl Habitat et participation en 2012 [HABITAT ET PARTICIPATION, 2012].

« La responsabilité sociétale des entreprises est un processus d'amélioration dans le cadre duquel les entreprises intègrent de manière volontaire, systématique et cohérente des considérations d'ordre social, environnemental et économique dans leur gestion en concertation avec leurs parties prenantes. »¹

D'autre part, l'impact d'un bâtiment ne peut être dissocié de celui de ses habitants. Le bâtiment n'est pas un objet inerte, mais un lieu habité, et la manière dont il sera habité est essentielle. Le mode de vie des occupants est déterminé par de très nombreux paramètres, dont le bâtiment qu'ils habitent fait partie. En quelle mesure ce bâtiment soutient-il des modes de vie durables ?

Pour définir un bâtiment durable, on se doit d'évaluer, suivant des critères environnementaux, sociaux et économiques :

- Le produit, ici : le bâtiment (impacts environnementaux, sociaux et économiques tout au long du cycle de vie du bâtiment).
- Les entreprises impliquées dans l'opération (conditions sociales des travailleurs, impacts environnementaux de l'entreprise, le « juste bénéfice », équitablement réparti entre les intervenants, bonne gouvernance et transparence...) :
 - l'entreprise de promotion immobilière ;
 - les organismes financiers (éthique des sources de financement) ;
 - les bureaux d'architecture et d'étude ;
 - les entrepreneurs en construction.
- Les habitants, dans leur utilisation du bâtiment et l'impact qu'il peut avoir sur leur mode de vie.

Objectifs et solutions concrètes envisagées pour le projet SUD

Méthodologie

L'étude préliminaire présentée dans ce document n'a pas pu s'intégrer dans une démarche complètement pluridisciplinaire, la réalisation du projet étant trop incertaine pour mobiliser les énergies des partenaires potentiels. Elle s'est donc accommodée des disciplines multiples disponibles au sein de l'équipe d'Architecture et climat et de certains experts consultés.

Dès que l'implication du maître d'ouvrage le permettra, le processus visera à concrétiser une approche intégrée. Les différents acteurs se réuniront régulièrement autour du projet en cours de développement, dès le départ. La fréquence et les modalités de réunions seront précisées en cours de processus. Les rencontres seront préparées autour de thématiques particulières, touchant les différentes compétences réunies, pour permettre de comparer différentes solutions et d'optimiser le choix selon des critères multiples.

Le choix d'un entrepreneur sera fait avant que le dossier d'exécution ne soit finalisé, pour permettre sa participation à l'optimisation des solutions conçues au niveau de leur

¹ [La CIDD, 2006]

mise en oeuvre. Sa participation permettra également d'avoir un meilleur contrôle budgétaire de l'ensemble de l'opération.

Une série de mesures et une optimisation des systèmes seront prévues, au-delà de la date de réception des bâtiments. Cette mission concerne les architectes, le bureau d'étude et les entrepreneurs. Elle intégrera un objectif de participation des habitants, pour assurer leur appropriation du bâtiment et de ses techniques.

Participation citoyenne



La participation citoyenne n'est pas un processus répandu dans le cadre de projets privés. Dans le contexte du projet SUD, elle sera proposée à différents moments et dans différents buts, pour optimiser l'adéquation entre la proposition faite et le tissu social dans lequel elle s'implante.

→ Consultation en début de réflexion

Avant de commencer, une consultation des habitants des environs du site a été réalisée. L'objectif était de recueillir des informations sur le voisinage, de comprendre le fonctionnement et la perception des lieux par ses usagers.

Le site étant situé à la charnière entre un quartier résidentiel non étudiant et des immeubles de logements étudiants, ces deux publics devaient être considérés dans la démarche. En automne 2010, une consultation a été organisée par Architecture et Climat (A&C), en partenariat avec l'association des habitants (AH)² et l'Assemblée Générale des Étudiants de Louvain (AGL)³.

² <http://www.ahln.be/>

³ <http://www.aglouvain.be/site/>

Processus de participation :

1. Une réunion de présentation du projet a permis une première prise de contact entre A&C et l'AH.
2. Réalisation d'un questionnaire on-line destiné à tous les usagers des environs du site et dont les objectifs sont :
 - o De connaître la situation actuelle du site et de ses environs. Quels types d'habitants, comment se gèrent les circulations piétonnes et voiture, quelle en est l'occupation (présence en journée ou seulement le soir, pour l'habitat, le travail, des activités diverses...).
 - o D'identifier des fonctions manquantes ou des fonctions qui auraient un impact positif sur le quartier et sur la ville (ou, au minimum, l'absence d'impact négatif).
 - o D'avoir une meilleure vision des circulations et de l'utilisation actuelle des rues, avec ses problématiques éventuelles, pour inscrire le projet dans une démarche d'amélioration de la situation existante.
3. Réunion avec les mêmes membres de l'AH ainsi qu'une étudiante, responsable de la commission logement à l'AGL (Assemblée Générale des étudiants de Louvain).
 - o Commentaires sur le questionnaire, ayant entraîné quelques modifications mineures.
 - o Définition des modalités de diffusion du questionnaire.
4. Consultation via un questionnaire en ligne en version imprimée.

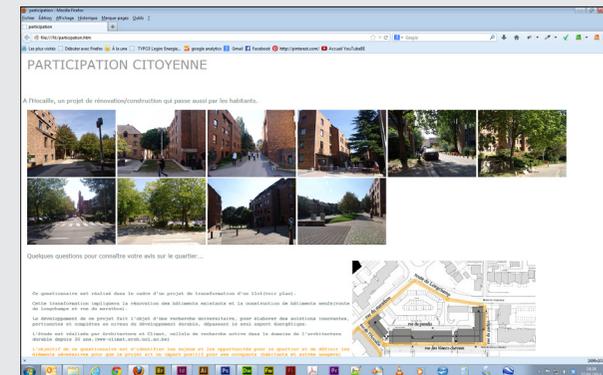
o Diffusion :



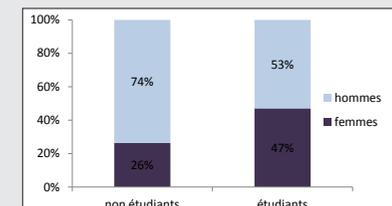
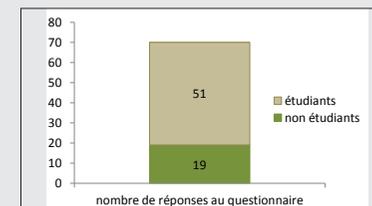
- » A&C envoie un courriel à la liste des sympathisants de l'AH des environs. Le courriel renvoie au questionnaire en ligne.
- » L'AH distribue un toutes-boîtes avec le lien vers le questionnaire.

- » L'étudiante réunit une équipe de l'AGL pour faire compléter des questionnaires papier par les étudiants du site. Ils récoltent 27 questionnaires, principalement dans les bâtiments Campus Irena.
- » A&C met des affiches sur les portes des bâtiments du site et les panneaux d'affichage des kots à projet de la rue des Blancs Chevaux et de la rue de l'Hocaille, avec des petits coupons reprenant le lien vers le questionnaire en ligne.
- » A&C met plusieurs fois des flyers avec le lien vers le questionnaire sur les parebrises des voitures stationnées sur le site.

o Questionnaire, résultats et première analyse :



- » Nombre de réponses :
 - nombre de questionnaires papier : 27 (26 valables) ;
 - nombre de questionnaires en ligne : 43.
- » Représentation des différents types de personnes : Sexe, âge et activité.



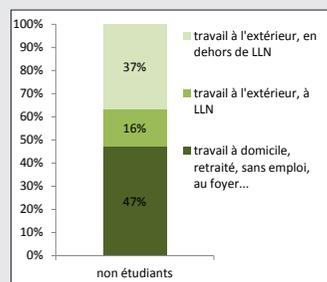
On observe un taux de réponse beaucoup plus important de la part des étudiants que de la part des non-étudiants.

La répartition homme-femme est équilibrée chez les étudiants ayant répondu, alors que chez les non étudiants, les hommes sont plus représentés.

La moyenne d'âge des personnes ayant répondu au questionnaire est de

- 53.4 ans chez les non-étudiants ;
- 20.4 ans chez les étudiants.

Par rapport à l'âge moyen du quartier des clos en 2005 (32.3 ans), le questionnaire a été davantage complété par des personnes plus âgées (l'utilisation d'un questionnaire en ligne n'a pas posé problème à ce niveau-là).



Parmi les non-étudiants, plus de 40 % des répondants travaillent à leur domicile, ou ne travaillent pas.

» Composition des ménages

Parmi les non-étudiants ayant répondu au questionnaire, on observe, par logement, une moyenne de :

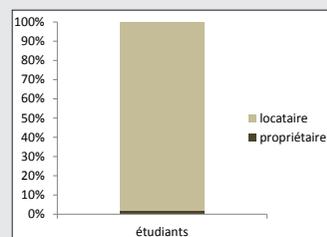
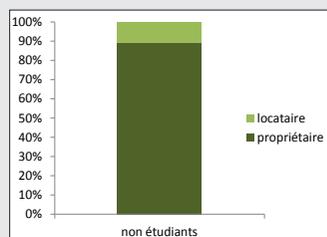
- 2.37 adultes ;
- 0.37 enfants.

On observe donc une faible proportion d'enfants et une forte proportion d'adultes (ménages de plus de deux adultes correspondant à des étudiants, jeunes travailleurs ou parents âgés à la maison).

» Type de logement :

La taille des communautaires la plus représentée est de 5-6 étudiants.

» Propriétaires et locataires :



» La répartition entre propriétaires et locataires est assez conforme à ce qui était attendu.

Conclusions

La consultation des habitants a permis d'appréhender le projet et la proposition d'un programme en considérant les résultats obtenus. Les résultats seront repris dans l'analyse des thématiques concernées (programme et mobilité).

Au niveau des propositions des projets pour répondre aux préoccupations, souhaits et manques identifiés par le biais de la consultation :

- Les problèmes de bruit causé par les activités estudiantines de la rue des Blancs Chevaux ont été considérés.
- Les problèmes de stationnement sauvage dans le quartier des clos et la demande d'une augmentation / meilleure gestion du stationnement ont été considérés, même si les options prises dans les propositions de projets ne résoudront pas les problèmes du quartier.
- Les modes de déplacements identifiés ont mené à des propositions visant à renforcer l'utilisation des modes de déplacements doux, pour tous les habitants du site.
- Les propositions de fonctions souhaitables ayant été peu nombreuses, elles n'ont pas été considérées comme déterminantes. Une proposition d'implantation d'une crèche a été retenue, parce que cette fonction répond à un besoin de la ville / région. La demande de logements étudiants supplémentaires est expliquée par la pénurie qui était encore d'actualité en 2010, mais ne l'est plus en 2013. Cette proposition n'a donc pas été déterminante dans le projet.

→ Participation pendant le projet

Une des difficultés pour organiser la participation dans le projet SUD réside dans le fait que les occupants ne sont pas connus. Dans le cas des logements étudiants, la durée d'occupation est limitée, on peut supposer que la grande majorité des occupants actuels n'occupera plus les lieux après leur rénovation. Dans le cas des logements non étudiants, les occupants, locataires ou acquéreurs, ne sont pas encore connus. Cependant, on peut envisager la participation pour différents objectifs :

- Avec un groupe de candidats acquéreurs / locataires des logements prévus pour des familles :
 - o L'aménagement des espaces communs, intérieurs et extérieurs.
 - o L'organisation de la gestion des accès (sécurisé, non sécurisé, de quelle manière).
 - o L'organisation de l'entretien des espaces collectifs.
- Avec l'ensemble des copropriétaires actuels des logements étudiants :
 - o Quels sont les objectifs de la rénovation des logements étudiants ?
 - o Quels moyens peut-on mettre en oeuvre ?
 - o Quels critères de décisions doivent être établis ?

Les outils des méthodes participatives pourraient faciliter les discussions entre les nombreux copropriétaires.

- Avec le personnel de la crèche. Si ce programme se confirme, il est essentiel d'impliquer les travailleurs dans l'organisation de l'espace de la crèche.

2. TERRITOIRE , LIEU

Analyses et enjeux, à l'échelle de la ville

Le contexte du projet est celui de la ville de Louvain-La-Neuve.

Louvain-La-Neuve est une ville piétonne. Cette particularité est rendue possible par une limite à son développement. En effet, la majorité des habitations s'implantent dans un rayon inférieur à 1 500 m du centre, soit un parcours maximum de 15 minutes à pied. La ville est charpentée par un réseau piétonnier dense, le long duquel s'agglomère le bâti.

La limite à l'extension de la ville est matérialisée par la « rocade », un ensemble de quatre voies de circulation qui permettent d'aborder la ville par chacun de ses côtés. Les quatre voies formant la rocade présentent des caractères différents.

Quatre routes relient chacune un côté de la rocade aux parkings situés sous la dalle. Deux d'entre elles s'implantent dans la vallée de la Malaise, les deux autres dans des sous-vallées. Le découpage de la ville qu'elles opèrent définit, en négatif, les quartiers d'habitation de la ville. Le réseau viaire des quartiers se branche directement sur la rocade, indépendamment des pénétrantes. L'accès au centre-ville, en voiture et en train, se fait donc sans traverser les quartiers d'habitations. La hiérarchie entre les voiries est marquée par l'absence de bâti le long des pénétrantes, ce qui entérine leur statut de pures infrastructures.

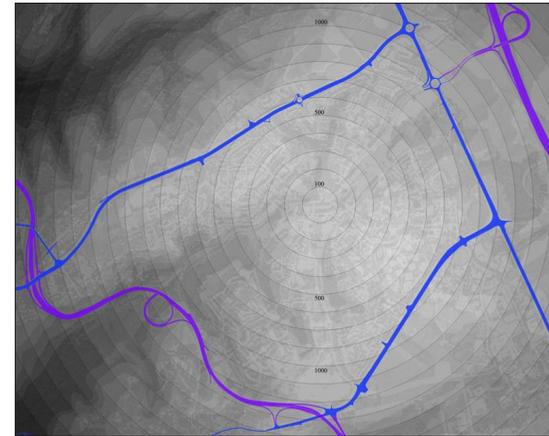
Les quartiers sont circonscrits dans un périmètre compris entre la rocade et les pénétrantes. Leur implantation suit donc le relief naturel de la ville. Chaque quartier comprend un double réseau de voiries : chemins piétons/rues d'accès pour les automobiles. L'ouverture des îlots permet que ces réseaux ne se chevauchent pas. Les édifices présentent donc des articulations complexes afin d'assurer des relations avec les deux réseaux. Les quartiers ne s'orientent pas sur la Rocade ou les pénétrantes. En effet, le bord des quartiers est systématiquement défini par des arrières de bâtiments. Les quartiers présentent donc un caractère internalisé.

Le succès de la ville est reconnu et attire de plus en plus d'habitants. Les quartiers d'habitations tel que prévu au plan d'urbanisation ont été complètement réalisés, il n'y a actuellement plus de terrains disponibles à l'acquisition pour des particuliers.

Objectifs et solutions concrètes envisagées pour le projet SUD, à l'échelle de la ville

Le projet vise la densification de la ville dans ses limites actuelles ce qui permet de rencontrer plusieurs objectifs :

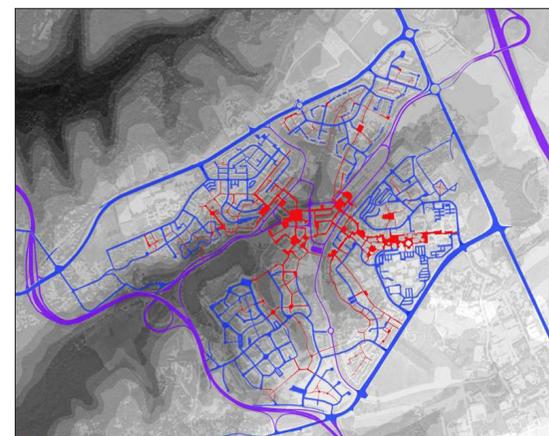
- Répondre à la demande d'habitat, à la croissance démographique.



Une ville piétonne, entourée par une rocade.



Des circulations automobiles rapides, les "pénétrantes", qui desservent le centre-ville et délimitent les différents quartiers.



Au sein des quartiers: des circulations piétonnes nombreuses (en rouge) et distinctes des circulations automobiles (en bleu).

2. TERRITOIRE, LIEU

- Préserver le caractère piétonnier de la ville en évitant son étalement à des distances importantes de son centre.
- Préserver les zones rurales, dévolues à l'agriculture et aux espaces verts, en évitant l'extension du tissu urbanisé au détriment des zones non bâties.
- Exploiter au mieux les infrastructures et les services existants de la ville. Infrastructures comme les voiries et réseaux (eau, égouttage...) et services tels que les équipements scolaires, sportifs, culturels, ou l'accès aux transports en commun, par exemple.

Un inventaire des terrains éventuellement constructibles a été réalisé.

Cet inventaire a permis d'identifier, entre autres, une série de zones le long de la route du Longchamp, qui dessert le quartier de l'Hocaille. Le potentiel de construction sur l'ensemble de ces surfaces a été évalué :

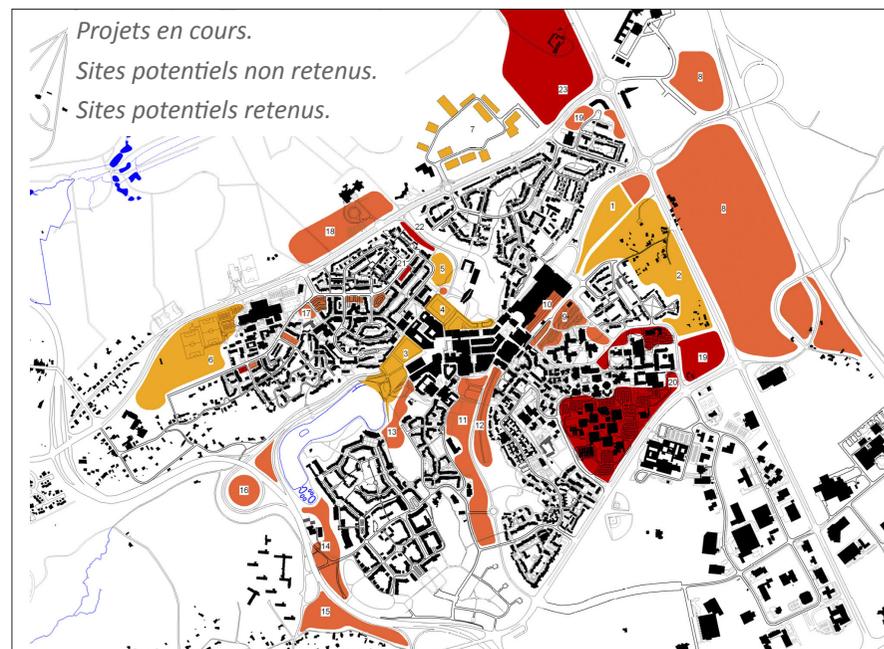
- terrains bâtissables : 16 500 m² ;
- surfaces constructibles : 7 850 m²
- planchers constructibles max (rez + 4) : 39 250 m².

Le projet propose le traitement d'un des îlots, implanté entre la route du Longchamp et la rue des Blancs Chevaux.

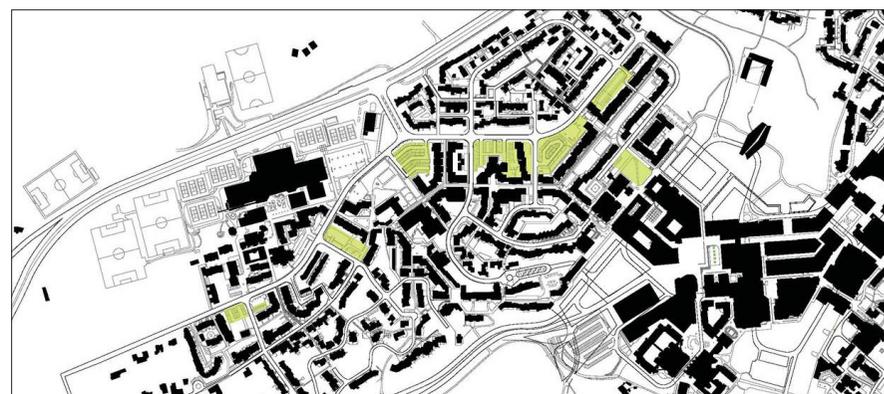
Analyses et enjeux, à l'échelle de l'îlot et de ses environs

Louvain-La-Neuve n'est pas constitué par des îlots traditionnels puisque les bâtiments ne constituent pas une frontière hermétique entre l'espace public et l'espace privée. En ce sens, le tissu de LLN peut être considéré comme poreux. L'îlot est traversé par des piétons, principalement étudiants, ce qui permet la connexion entre la rue des Blancs Chevaux et la route du Longchamp¹.

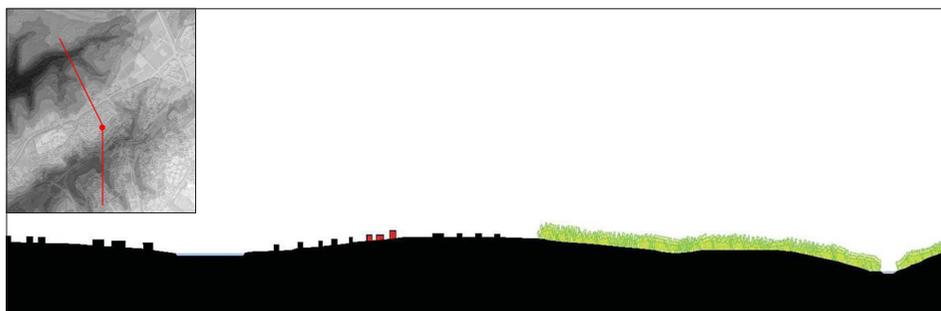
Les îlots situés sur la route de Longchamp se situent sur une crête du relief de la ville. Leur sol domine de ce fait la vallée de la Malaise (LLN) et celle du Blanc Ry (bois de Lauzelle).



Louvain-La-Neuve : Inventaire des terrains éventuellement constructibles.



La route du Longchamp, dessert le quartier de l'Hocaille, bordée de zones permettant d'envisager une densification de la ville par l'ajout de constructions. En rouge : l'îlot choisi.



Coupe. En rouge : les bâtiments du projet.

¹ Cette donnée est issue des résultats d'une analyse par questionnaire soumis aux habitants.

Les îlots situés sur la route du Longchamp présentent un avant donnant sur le piétonnier des rues des Blancs Chevaux, du Pachy et de l'Hocaille, et un arrière desservi par la route du Longchamp.

La route du Longchamp est bordée, au Nord-Ouest, par des fonds de jardin, et au Sud-Est par des espaces de stationnement. Sauf exception, elle n'est pas directement bordée de bâtiments. Sa destination première est la circulation automobile, mais dans les faits, elle constitue aussi une voie utilisée par des piétons et cyclistes.

Le site comprend des édifices existants : la résidence « Irena » qui est l'un des premiers complexes de logements étudiants construit en 1976 à LLN.

L'accès à l'arrière des bâtiments existants se fait par la rue du Paradis, accessible par une rampe depuis la route du Longchamp. La rue du Paradis existe aussi dans l'îlot voisin, rejoint la rue du Pachy via un large passage, mais est interrompue à cet endroit, par les bâtiments « campus Irena ».

Le site est en pente, le point haut se situant à l'angle de la route du Longchamp et de la rue du Marathon. La rue des Blancs-Chevaux et l'arrière des bâtiments existants qui la longent sont environ 4 m plus bas que ce niveau.



Route du longchamp.



Rue du Paradis.



Rue du Marathon.



Rue du Pachy.



Rue de l'Hocaille.



Rue des Blancs Chevaux.

2. TERRITOIRE, LIEU

L'architecture des bâtiments existants est typique de la ville. Les matériaux utilisés, principalement la brique, et quelques éléments en béton, répondent à des exigences urbanistiques et participent à la construction d'une identité de la ville en partie basée sur l'uniformité des matériaux utilisés.

Objectifs et solutions concrètes envisagées pour le projet SUD, à l'échelle de l'îlot et de ses environs immédiats

En plus de la densification, le projet vise à concrétiser un environnement construit en adéquation avec les usages qui en sont faits et avec ceux qu'on veut encourager.

Le projet propose la construction de bâtiments donnant sur la route du Longchamp et permettant de requalifier cette voirie pour lui donner un statut de rue. Cette proposition s'accompagne d'une modification du profil de la route pour accueillir les différents types de mobilité (voitures, piétons, cyclistes) et une bande de stationnements¹. Ceci permettrait aussi de modérer la vitesse sur cet axe.

L'avant-projet B se base sur la situation topographique du site choisi pour générer des vues et un espace extérieur en relation forte avec la vallée.

L'avant-projet A utilise la pente pour permettre une identification claire des affectations des différents lieux et assurer les meilleures conditions de cohabitation entre les publics vivant sur le site.

¹ Cette proposition dépasse le cadre d'intervention du projet.

3. HABITANTS, MODES DE VIE, PROGRAMME

Analyses et enjeux, à l'échelle de la ville

Contexte économique-social

La commune d'Ottignies-Louvain-La-Neuve est considérée comme une zone de pression foncière. L'accès à la propriété y est rendu difficile par l'offre réduite et les prix élevés. Ceux-ci, couplés au caractère universitaire de la ville contribuent à une faible mixité sociale au sein de l'entité.

Le pourcentage de logements sociaux est plus faible à Louvain-La-Neuve que sur l'ensemble de la commune et inférieur aux recommandations de la région.

Contexte socio-démographique

À l'échelle de la Région wallonne¹, on assiste à un vieillissement de la population et à une augmentation des personnes à mobilité réduite. Les projections du Bureau du Plan tablent sur une augmentation de 100 000 personnes âgées de 60 à 70 ans en 2020 par rapport à 2010, soit un accroissement de 28 %. Elles prévoient par ailleurs, un doublement de la population des personnes âgées de 80 ans et plus en 2040, soit 160 000 personnes de plus qu'en 2010.

De surcroît, 21 % des habitants de Wallonie (de 15 ans ou plus) présentent des restrictions fonctionnelles et éprouvent des difficultés pour effectuer diverses activités de la vie quotidienne telles que marcher, se lever, monter les escaliers, porter les courses, s'habiller... Les statistiques identifient ces restrictions pour 1 femme sur quatre et 1 homme sur 6.

Le phénomène de vieillissement touche également les personnes en situation de handicap. En effet l'espérance de vie des personnes en situation de handicap s'est accrue de près de 35 % en moins de 20 ans.

Ces phénomènes font de l'accès au logement des personnes à mobilité réduite un enjeu essentiel pour le futur.

À l'échelle de Louvain-La-Neuve en particulier, une étude sociodémographique² de 2007, traitant de la situation entre 1999 et 2005, permet d'identifier plusieurs phénomènes :

- Un vieillissement rapide de la population de Louvain-La-Neuve, dont la moyenne d'âge est encore inférieure à la moyenne nationale.
- Une diminution forte des habitants dans les tranches d'âge 30-44 ans et 0-14 ans. Ce qui signifie qu'il y a des départs de familles.
- L'augmentation de la présence des étudiants chez leurs parents dans les quartiers des clos et des Blancs Chevaux. (mixité au sein des familles).
- Le sous-quartier des Blancs Chevaux est principalement occupé par des étudiants, et la moyenne d'âge y est très jeune.

¹ Extrait de l'intervention de Madame Eliane TILLIEUX Ministre de la Santé, de l'Action sociale et l'Égalité des chances, à la journée d'introduction « construire adaptable » du 23/01/2013.

² Données démographiques et sociologiques issues du livre « Les Néo-louvanistes, combien sont-ils, qui sont-ils ? » - Hermia, Eggerickx, Albarello, Hesse - UCL Presses universitaires de Louvain 2007.

- Le sous-quartier des clos est celui dont la moyenne d'âge est la plus élevée de LLN, avec la taille des ménages la plus importante.
- Le fait que parmi les professions libérales qui habitent à LLN, seuls 25 % y travaillent.
- Le fait que la population soit aussi caractérisée par une multiculturalité importante et la présence de nombreuses familles monoparentales.

Contexte socio-urbanistique

Le Brabant wallon est une zone caractérisée par un étalement urbain important. Les lotissements de villas quatre façades sont nombreux et appréciés, en partie pour la présence d'un jardin et les possibilités d'intimité qui les caractérisent. Offrir une alternative à ce type d'habitat particulièrement consommateur d'espace et de ressources (chauffage, transport, infrastructures...) nécessite qu'on s'attache à tenir compte de ses qualités pour les retrouver dans un projet qui, par ailleurs, répond mieux aux enjeux du développement durable.

Une attention particulière sera portée à l'intimité, tant visuelle qu'acoustique.

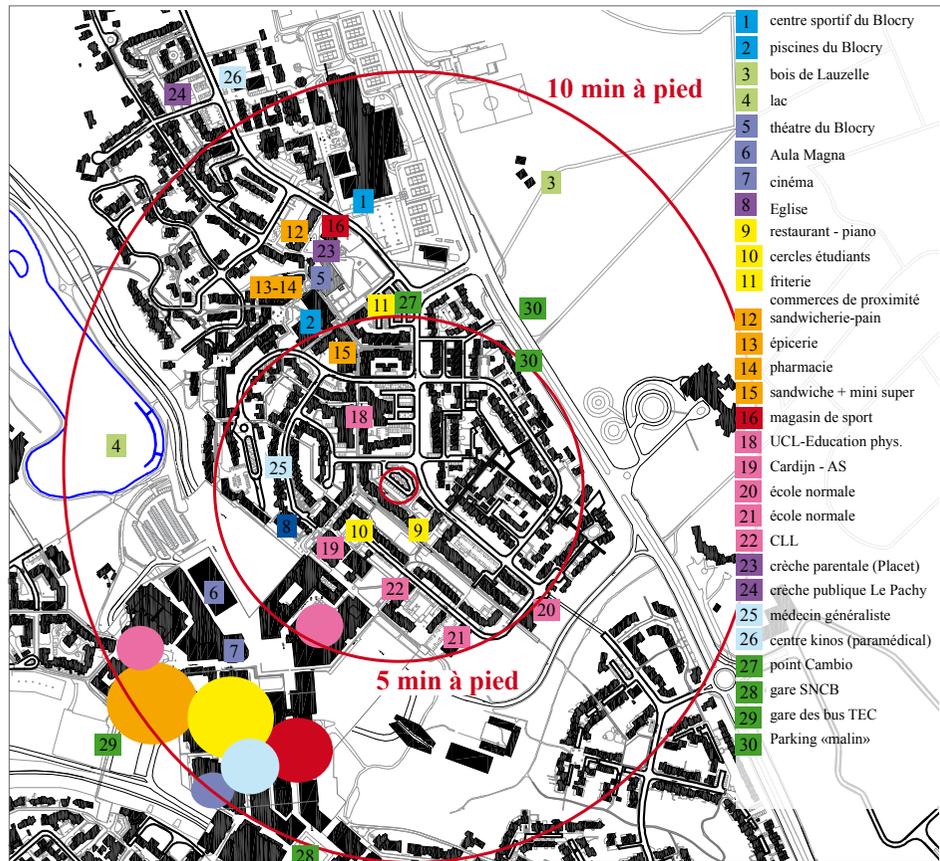
La présence, l'accessibilité et la qualité des espaces extérieurs, privés et communs, sont essentielles. Ils constituent « le jardin » au sens traditionnel du terme, et doivent pouvoir être perçus comme tels. Leur appropriation par les habitants sera visée, notamment en décidant de leur aménagement et de leur gestion à travers un processus participatif impliquant les habitants.

Le contact direct entre l'espace public et la porte d'entrée est régulièrement cité comme participant à l'appropriation du logement par ses habitants, au sentiment de reconnaissance de l'individualité des logements. L'idéalisation de la maison individuelle s'accompagne d'une crainte du logement collectif qu'il est intéressant de considérer pour proposer des solutions collectives permettant à l'occupant d'y retrouver des composantes des maisons, réelles ou imaginaires auxquelles il se réfère.

Une des particularités de la maison individuelle traditionnelle réside dans les espaces de stockages qu'elle met à disposition. Caves et greniers forment des entités dans lequel le logement s'étend, dans sa fonctionnalité (capacité de rangement) et dans une fonction plus abstraite, plus en lien avec la psychologie des individus, pour permettre la conservation, l'accumulation, avant le réusage ou le tri éventuel. Ce sont des lieux cachés, en dehors du rapport à l'immédiat et au visible qui caractérise en général les espaces de vie actuels.

La maison est aussi souvent caractérisée par la possibilité d'une évolution, d'une extension, d'une densification éventuelle pour permettre de répondre à l'évolution des besoins de ses occupants.

Analyse à l'échelle de l'îlot et de ses environs immédiats



Carte de Louvain-La-Neuve reprenant le site et les différentes fonctions dans un rayon de 5 et 10 minutes de marche autour du site. Les fonctions inventoriées sont groupées par catégorie : équipements sportifs, espaces verts, équipements culturels, horeca, commerces, enseignement, crèches, médecins, points clés de la mobilité.

Le site se trouve à moins de dix minutes à pied de la plupart des équipements nécessaires à la vie quotidienne.

L'espace bâtissable se situe entre une zone dévolue aux logements étudiants (rue des blancs chevaux, au Sud/Est) et un quartier d'habitations unifamiliales (le quartier des clos, au Nord Ouest). Il est actuellement occupé par un parking.

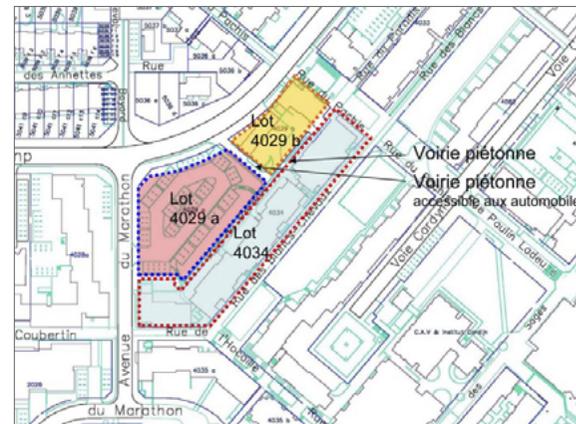


Le site se trouve à la charnière entre les logements étudiants (en rouge) et les logements familiaux (en bleu).

Le périmètre d'étude se situe dans la zone d'habitat du plan de secteur. Les options du plan particulier d'aménagement n° 6 dit « Louvain-la-Neuve L'Hocaille » (approuvé par l'Arrêté royal du 12.03.1974) et du permis de lotir dit « L'Hocaille : zone Est » (délivré par le Collège échevinal le 03.04.1974) ont confirmé l'affectation des terrains à des habitations à logements multiples. Des bureaux, cabinets de professions libérales ainsi que des équipements communautaires destinés principalement à l'usage des habitants de l'immeuble sont autorisés.

L'affectation du périmètre à la construction ou à la rénovation de logements ou de fonctions complémentaires est donc clairement établie.

Les lots 4029b et 4034 ont fait l'objet d'un contrat d'emphytéose en faveur de la sprl Eckelmans en zonen, conclu le 14 /08/1974 pour une durée se terminant le 15 septembre 2050.



Le périmètre du projet SUD comprend trois lots : 4029a, 4029b et 4034.

La structure foncière de l'îlot s'établit comme suit :

- Les lots 4029b et 4034 (constituant la majeure partie du Campus Irena) ont été construits par la sprl Eckelmans en zonen. Il s'agit d'un vaste ensemble de kots d'étudiants vendus, pour partie, à de nombreux propriétaires individuels, mais et ces immeubles sont gérés en copropriété par la s.a. immobilière Guido Eckelmans.
- Le lot 4029a, occupé par un parking de 59 places, est resté propriété de l'UCL. Il n'y a pas de lien juridique entre les logements et les parkings de l'UCL jouxtant le « Campus Irena ».

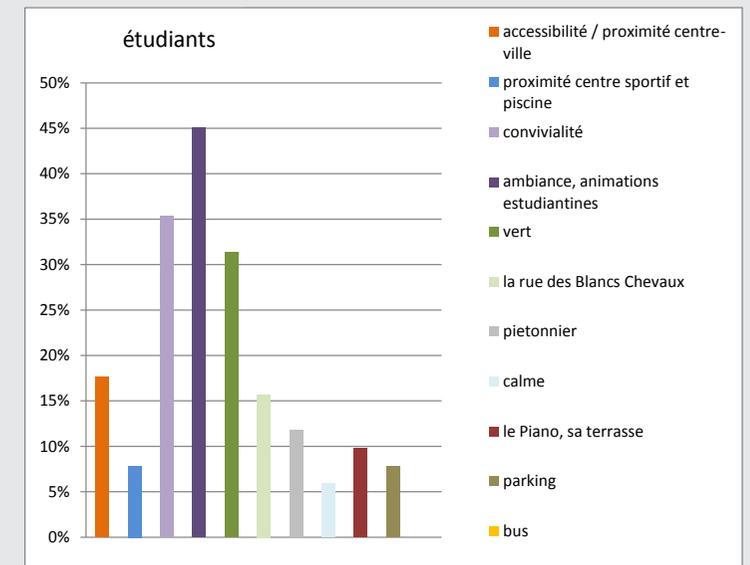
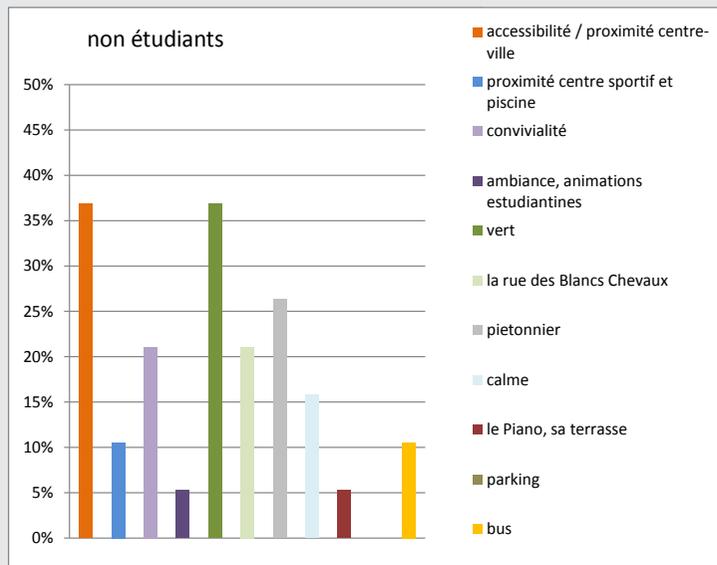
Processus de participation : résultats de la consultation préliminaire

- Concernant la définition du programme, les résultats de la consultation des habitants du quartier permettent d'identifier certains éléments intéressants :

» Perception des environs du site

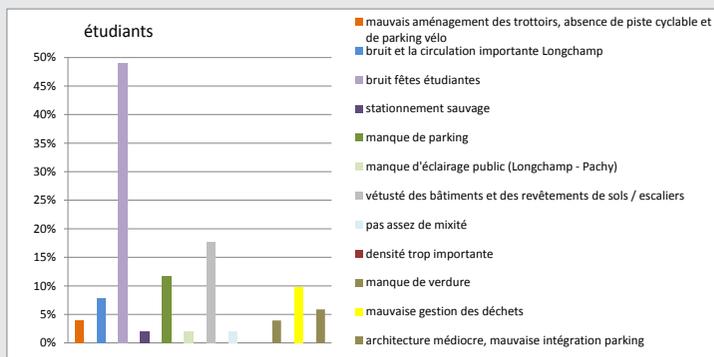
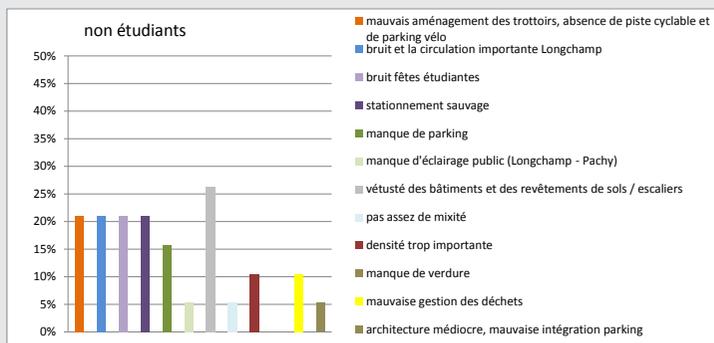
- Qualités des environs du site

Les qualités du site mentionnées dans une question libre ont été réparties dans 11 catégories. Les qualités citées une seule fois n'ont pas été mentionnées. Il est important de remarquer que les étudiants et les non-étudiants ne parlent pas exactement des mêmes lieux. Les non-étudiants se concentrant plutôt sur le quartier des clos et les étudiants très nettement sur les rues des Blancs Chevaux et de l'Hocaille.



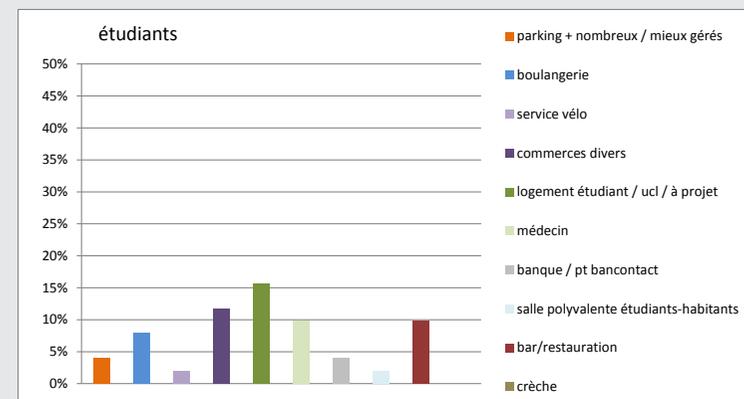
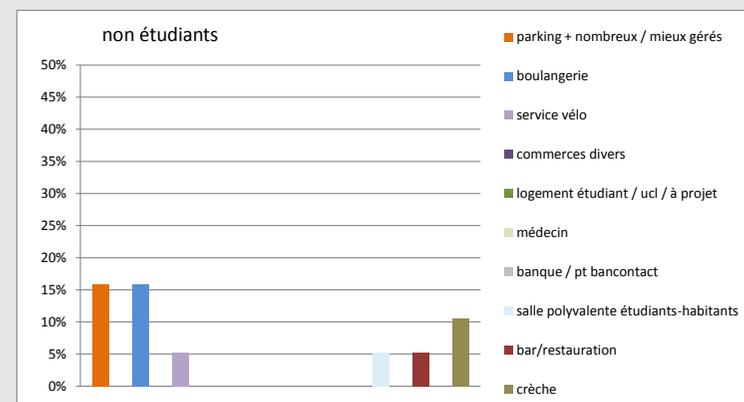
On remarque une appréciation unanime du caractère vert des lieux, et d'une certaine convivialité. La proximité du centre-ville et l'accessibilité est très appréciée des non étudiants, alors que la qualité la plus souvent citée par les étudiants est l'ambiance de la rue des Blancs-Chevaux, avec ses équipements de ping-pong, ses kots à projets et régionales...

- Défauts des environs du site



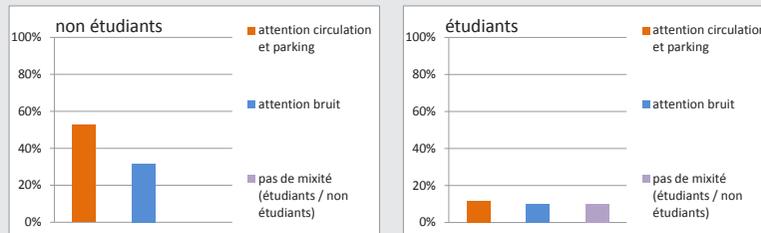
- On peut d'abord remarquer que les non-étudiants pointent des défauts beaucoup plus nombreux que les étudiants.
Le bruit des activités estudiantines est pointé comme un inconvénient majeur, surtout par les étudiants (pour rappel, ces mêmes activités constituent la principale qualité du site pour les étudiants).
- La circulation de la route du Longchamp est surtout sensible pour les habitants, qui pointent également les défauts d'aménagement des trottoirs, pistes cyclables et parkings pour vélos.
- La vétusté des bâtiments, revêtement de sols et escalier est relevée par les étudiants et les non étudiants.
- Le parking est également problématique, par le manque de places et le stationnement sauvage.
- Étudiants et non-étudiants estiment que la gestion des déchets n'est pas bonne.

» Idées de programme : fonctions souhaitables



Les réponses concernant les fonctions n'ont pas été très nombreuses. Les étudiants et non étudiants se retrouvent quant à l'intérêt de parkings supplémentaires, d'une boulangerie, d'horeca, de services liés au vélo et d'une possibilité de salle polyvalente, de quartier... Les étudiants souhaitent plus de logements étudiants, phénomène tout à fait expliqué par la pénurie pendant la période où la consultation a été réalisée (2010). L'implantation d'une crèche semble bénéfique au niveau des non-étudiants.

» Idées de programme : fonctions à éviter et points sensibles



Les réponses concernant les fonctions à éviter n'ont pas été très nombreuses du côté des étudiants. On remarque que les problèmes de parking et de circulation ainsi que la crainte des nuisances sonores sont les critères principaux des non-étudiants. À ces critères s'ajoute un rejet de la fonction résidentielle familiale par les étudiants, en raison d'une peur des problèmes de cohabitation (limitation des festivités estudiantines, plaintes dues au bruit...).

Dans l'analyse des résultats, il est important de remarquer que les étudiants et les non-étudiants ne parlent pas exactement des mêmes lieux. Les non-étudiants se concentrent plutôt sur le quartier des clos et les étudiants très nettement sur les rues des Blancs Chevaux et de l'Hocaille.

En dehors du questionnaire et au niveau des manques structurels en terme de fonctions, l'accueil de la petite enfance (crèches), un commerce de vélo et des locaux pour des professions libérales ont été identifiés comme des fonctions souhaitables à l'échelle de la ville et du quartier.

Programme et stationnement

La situation actuelle permet 59 places de stationnement (libre) et 12 garages.



La législation prévoit un nombre d'emplacements de stationnement qui correspond à

- 1 place par 3 chambres d'étudiants (en cas de construction neuve) ;
- 1 place par logement unifamilial.

Dans un projet récent de logements pour étudiants de l'UCL (voie Minckeleer), le stationnement voiture n'est pas prévu, il est remplacé par une offre importante de stationnement vélo.

Programme et maître d'ouvrage

Eckelmans, société immobilière est propriétaire de plus de 25 % de l'immeuble existant, et gestionnaire de l'ensemble. De nombreux copropriétaires sont ensemble propriétaires d'environ 75 % de l'ensemble.

L'UCL reste propriétaire du sol, le bien étant régi sous le mode du bail emphytéotique. Ce bail est en vigueur depuis 1975, pour une durée de 70 ans. Le bail actuel ne prévoit pas de renouvellement systématique (en fin de bail, ou lors d'une acquisition).

La société Eckelmans est surtout active dans le domaine du logement et du logement étudiant.

Analyses et enjeux, à l'échelle des bâtiments

Programmes des bâtiments existants

Les bâtiments accueillent du logement étudiant, un bureau et un restaurant. L'ensemble « campus Irena » est constitué d'une part des logements situés sur la parcelle analysée, d'autre part, sur la rue de l'Hocaille, en face.



Bâtiments situés de l'autre côté de la rue de l'Hocaille

K3 et K4		
niv. 124,6	2 studios	1 chambres
niv. 127,3 (rez)	6 appartements	1 chambres
	4 studios	1 chambres
niv. 130,0	6 appartements	1 chambres
	4 studios	1 chambres
niv. 132,7	6 appartements	1 chambres
	4 studios	1 chambres
niv. 135,4	6 appartements	1 chambres
	4 studios	1 chambres
niv. 138,1	2 appartements	1 chambres
	3 studios	1 chambres
niv. 138,1 et 140,8	6 duplex	1 chambre

K5		
niv. 121,9	caves	
niv. 124,6 (rez)	2 appartements	1 chambres
	2 studios	1 chambres
niv. 127,5	2 appartements	1 chambres
	3 studios	1 chambres
niv. 130,0	2 appartements	1 chambres
	3 studios	1 chambres
niv. 132,7	2 appartements	1 chambres
	3 studios	1 chambres
niv. 135,4	3 studios	1 chambres
niv. 135,4 et 138,1	3 duplex	1 chambres

→ Nombre de chambres d'étudiants : 78.

L'analyse des ensembles de logements existants permet d'identifier plusieurs points critiques au niveau des programmes :

→ Suivant l'expérience de la société Eckelmans dans la gestion d'immeubles de logements étudiants, les logements organisés suivant le principe du communautaire fonctionnent et répondent à une demande, à condition que leur taille ne dépasse pas 6 chambres. Certains logements existants comprennent jusqu'à 12 chambres.

→ Les standards en matière de surface et de sanitaires actuellement définis par la législation et par la société Eckelmans sont :

- Présence d'un lavabo par chambre.
- La surface minimum de la chambre individuelle est de 10 m² (balayable), 12 m² pour deux. Elle doit pouvoir accueillir le lavabo, une penderie de 100 cm, un lit de 90 x 220 cm, un bureau de 80 cm x 150 cm et sa chaise et idéalement la place pour un petit fauteuil.
- La surface commune de séjour est décrite dans le permis de location : le total (privé + communs) devant être supérieur à 1 -> 10 + 10, 2 -> 2 x 10 + 8, 3 > 3 x 10 + 8 + 5, 4 -> 4 x 10 + 8 + 5 + 5, 5 -> 4 x 10 + 8 + 5 + 5 + 5), on est souvent bien au-dessus avec ± 20 m². Il doit pouvoir accueillir une cuisine (L 300 ou 360 cm), une table pour 6 personnes et 3-4 fauteuils.
- Le permis de location impose un WC pour max 7 personnes. La société Eckelmans considère que 1 WC et 1 douche sont suffisants jusqu'à 4 chambres. Au-delà, il est nécessaire de prévoir 2 WC et 2 douches.

→ Certains logements présentent des défauts, comme le passage obligé par l'escalier commun pour rejoindre le séjour du logement.

→ La plupart des logements ne disposent pas de sanitaires en suffisance, par rapport aux normes du marché détaillées ci-avant.

Bâtiments situés sur l'îlot analysé, entre la route du Longchamp et la rue des Blancs Chevaux

K2		
niv. 126,3	1 communautaire	8 chambres
niv. 129,0 (rez)	1 communautaire	12 chambres
niv. 131,7	1 communautaire	12 chambres
niv. 134,4	1 communautaire	12 chambres
niv. 137,1 (sous toit)	1 communautaire	6 chambres
niv. 137,1 et 139,8	3 studios	1 chambre
S1/S2		
niv. 120,15	1 resto	
niv. 123,24	1 resto	
niv. 126,3 (rez)	16 studios	1 chambre
niv. 129,0	16 studios	1 chambre
niv. 131,7	16 studios	1 chambre
niv. 134,4	16 studios	1 chambre
niv. 137,1 (sous toit)	1 communautaire	12 chambres
niv. 139,8	1 studios	1 chambres
	2 appart	1 chambres
C2/C3		
niv. 123,24 / 124,56	2 communautaire	6 chambres
	1 bureau	
	1 espace technique	
niv. 126,3/127,56 (rez)	4 communautaire	6 chambres
niv. 129,0/130,26	4 communautaire	6 chambres
niv. 131,7/132,96	4 communautaire	6 chambres
niv. 134,4	2 communautaire	6 chambres
niv. 135,66	1 communautaire	6 chambres
niv. 137,1	1 communautaire	6 chambres

C1		
niv. 126,3	4 appartements	1 chambre
	1 appartements	2 chambre
	1 bureau	
niv. 129,0 (rez)	5 appartements	1 chambre
	1 appartements	2 chambre
niv. 131,7	4 appartements	1 chambre
	1 appartements	2 chambre
niv. 134,4	6 appartements	1 chambre
niv. 137,1	4 studios	1 chambre
	1 appartement	1 chambre
niv. 139,8	1 appartement	2 chambre
	1 appartement	1 chambre
K1		
niv. 126,3	3 appartements	1 chambre
	1 appartements	2 chambre
niv. 129,0 (rez)	5 appartements	1 chambre
	1 studio	1 chambre
niv. 131,7	5 appartements	1 chambre
	1 studio	1 chambre
niv. 134,4	4 appartements	1 chambre
	2 studio	1 chambre
niv. 137,1	2 appartements	1 chambre
	1 studio	1 chambre
niv. 137,1 et 139,8	2 duplex	1 chambre
	1 duplex	1 chambre

→ Nombre de chambres d'étudiants : 302.

Bâtiments existants et sécurité incendie

Les bâtiments existants doivent répondre aux normes concernant les bâtiments moyens. Les rues des Blancs-Chevaux et de l'Hocaille permettent l'accès à la façade « avant » du bâtiment pour les services de pompiers. L'arrière est accessible par la rue du Paradis, via une rampe assez raide.

Programme des bâtiments neufs

La définition d'un programme et de la surface qui lui est liée est une étape essentielle. D'un côté, la surface détermine l'emprise du logement sur le territoire et conditionne les ressources nécessaires à sa construction, ainsi qu'à son chauffage, à son entretien, etc. ... Mimiser les surfaces serait donc une solution pour aller vers un habitat plus « durable ». Cet objectif rejoint celui d'un habitat économique, accessible au plus grand nombre. De l'autre côté, un habitat trop exigu n'offre pas une solution satisfaisante en terme de confort, ni ne propose une alternative attractive aux lotissements de villas périurbains. De plus, il n'y aura pas d'habitat durable sans habitants adoptant un mode de vie durable et pour ce faire, l'espace est un atout. La surface doit être suffisante pour permettre, par exemple, de manger et cuisiner de manière durable, de se déplacer en vélo, de faire sécher son linge à l'air libre, de réparer ses objets au lieu de les jeter, de trier ses déchets, de cultiver de la nourriture...

Avantages des grandes surfaces	Avantages des petites surfaces
<ul style="list-style-type: none"> • espace pour le séchage du linge ; • espace de tri des déchets ; • espace de stockage des vélos, de l'équipement et de l'outillage nécessaire ; • cuisine : espace de préparation, de stockage ; • outillage, machine à coudre, stock de matériaux ; • possibilités en matière d'adaptabilité PMR ; • possibilité en matière d'adaptabilité à d'autres fonctions ; • confort. 	<ul style="list-style-type: none"> • économie de territoire, densité ; • économie d'énergie de chauffage ; • économie sur la quantité de matériaux mis en oeuvre et sur l'ensemble de leurs impacts environnementaux ; • économie d'énergie électrique (éclairage, ventilation, ...) ; • économie financière ; • besoins limités en termes d'entretien.

Il s'agit donc de trouver un juste équilibre et de valoriser au mieux la surface mise à disposition.

Objectifs et solutions concrètes envisagées pour le projet SUD**Au niveau du projet global**

L'objectif est de s'assurer de la pertinence des programmes proposés par rapport aux conditions existantes et futures de la ville, du quartier. Il s'agit de correspondre aux besoins et de respecter les caractéristiques des lieux.

La largeur de la parcelle permet la création d'espaces extérieurs privés ou semi-publics, qu'il paraît intéressant d'offrir à des logements familiaux. La situation est aussi très intéressante pour des logements familiaux (proximité du centre, etc....) ce programme a été identifié comme répondant à une demande à l'échelle de la ville.

Une certaine mixité générationnelle et sociale est souhaitée, afin de construire une société commune et solidaire. Dans le cadre du développement d'un projet de démonstration, il paraît essentiel de s'adresser à une population hétérogène.

Le programme envisagé pour le projet SUD comprend la rénovation des logements étudiants existants et la construction de bâtiments neufs, accessibles par la route du Longchamp et situés dans la partie haute du site, qui accueilleraient du logement non étudiant et éventuellement une crèche et des locaux permettant l'accueil de professions libérales. Une salle commune à destination des habitants étudiants et non étudiants est prévue.

La cohabitation entre les habitants étudiants et non étudiants est un élément important à prendre en compte dans le projet. Pour permettre des relations positives, il s'agit d'assurer une certaine distance, de réduire au maximum les risques de nuisances sonores et de permettre une limitation des accès aux espaces extérieurs destinés aux familles.

- La différence de niveau qui caractérise le site a été utilisée pour créer une séparation entre les deux publics.
- Dans le premier avant-projet, les séjours des logements étudiants sont orientés vers la rue des Blancs-Chevaux tandis que les chambres seront orientées vers l'intérieur de la parcelle, vers les logements familiaux.
- Les limites de l'espace extérieur destiné à l'ensemble des habitants non-étudiants sont clairement définies et l'accès à cet espace peut être facilement contrôlé.

Programme et stationnement

La population des quartiers d'habitation voisins du site et les étudiants indiquent une situation difficile par rapport au stationnement. Le nombre de places gratuites est limité à l'intérieur du quartier, les habitants non résidents, qui utilisent plus régulièrement la voiture que les étudiants s'inquiètent de voir ceux-ci occuper des places de stationnement du lundi au vendredi.

Une partie du problème vient du non-respect des règles d'interdiction de stationner des non riverains. Les places actuellement disponibles sur le site sont gratuites et occupées par de nombreuses voitures peu mobiles.

Cependant, des solutions existent, un parking gratuit et non saturé à 450 m, des transports publics, un renforcement des sanctions en cas d'infraction...

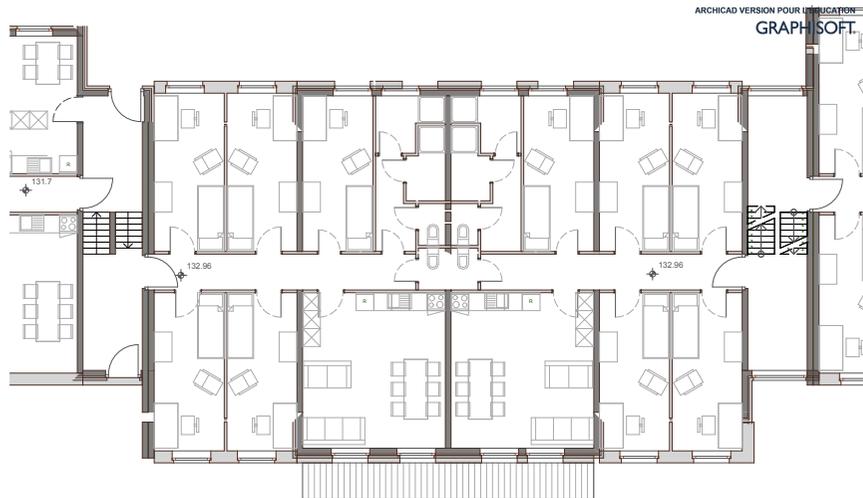
3. HABITANTS, MODES DE VIE, PROGRAMME

Le projet se veut un soutien à la mobilité douce et non un encouragement à l'utilisation de la voiture. Néanmoins, un parking souterrain permettant d'assurer une place par logement non étudiant et le stationnement nécessaires aux fonctions installées sur le site (croche, bureau) sera créé.

Programme et bâtiments existants

Dans le cadre de la rénovation des logements étudiants, plusieurs principes ont été établis, pour soutenir un mode de vie cohérent avec les principes du développement durable.

- Organisation suivant le principe du logement communautaire, ce mode d'habitat est habituel sur le site de Louvain-La-Neuve et permet d'encourager les contacts sociaux et un apprentissage de la vie en commun, tout en générant des économies d'espace, d'énergie et de matériaux. L'objectif est de créer un maximum de logements entre 2 et 6 chambres, avec sanitaires communs.
- Les surfaces de communautaires sont prévues pour accueillir une cuisine de 360 cm et de l'espace pour permettre le tri sélectif (mélange, papier/carton, PMC, verre, déchets verts, piles). Espace prévu : 60 cm X 180 cm.



Proposition d'avant-projet A: plan de logements étudiants communautaires, après rénovation.

- Orientation des espaces de séjour vers la rue des Blancs Chevaux, pour limiter les nuisances sonores en intérieur d'îlot, sur lequel donne un maximum de chambres et les logements non étudiants.
- Des espaces extérieurs sont mis à disposition, autant que possible, attenants aux espaces de vie et orientés sur la rue des Blancs chevaux.

- Des espaces pour le stationnement vélo, sécurisé, à proximité des cages d'escalier et accessibles sans escalier sont à disposition des étudiants.



Proposition d'avant-projet A: perspective des locaux de stationnement de vélo, pour les logements étudiants au niveau inférieur et pour les logements familiaux au niveau supérieur

- Des locaux poubelles, vastes, pouvant accueillir 4 containers différents (déchets mélangés - PMC - Papier/cartons - déchets verts) facilement accessibles pour chaque cage d'escalier et bien ventilés sont disponibles. La possibilité d'accueillir des fonctions de tri supplémentaires dans le futur doit être considérée. Un surdimensionnement de la surface (minimum + 25 %) est prévu pour anticiper ce phénomène.
- Des aménagements seront prévus pour garantir une certaine intimité des logements du rez et des étages semi-enterrés.

Concernant le restaurant, le propriétaire ne souhaitant pas de modification, le programme est maintenu.

Concernant les bureaux, leur emplacement, en un semi-sous-sol, peut difficilement être dévolu à du logement. Ils seront donc maintenus.

Les espaces en semi-sous-sol actuellement occupés par du logement, mais pour lesquels l'intimité est un problème auquel aucune solution ne peut être amenée par l'aménagement de la zone de recul, seront reconvertis en bureaux. Ou éventuellement en une pièce commune à tous les étudiants (salle de détente).

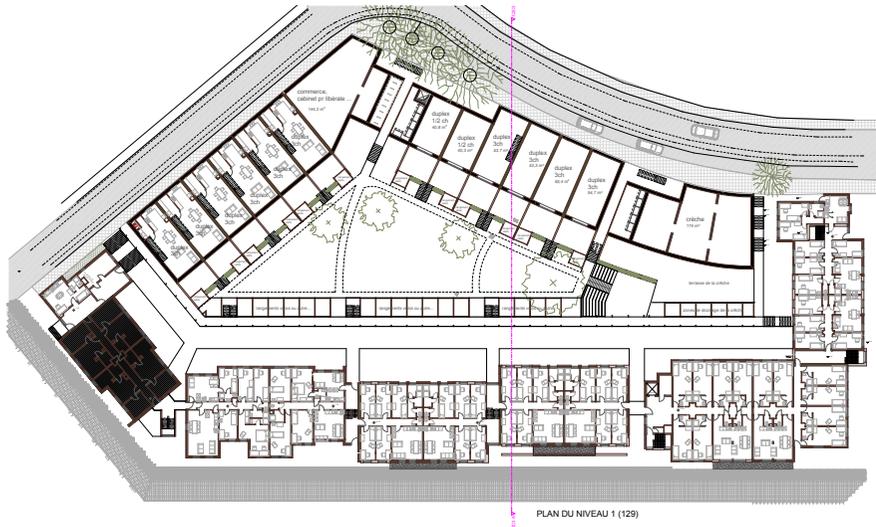
Programme et bâtiments neufs

Les logements sont conçus pour offrir un maximum de confort et permettre l'appropriation

tion de comportements durables dans des surfaces relativement petites, ce qui permet de réduire le coût et l'impact environnemental.

En pratique :

- Un espace de stockage pouvant accueillir autant de vélos que d'occupants présumés de l'appartement (nombre de chambres + 1), situé au niveau de la rue, à proximité du logement.
- Des locaux de collecte des poubelles collectifs, vastes, accessibles et bien ventilés. Le local doit pouvoir accueillir au minimum 5 types de déchets différents (cartons et papiers / PMC / verre / déchets verts / non triés)



Proposition d'avant-projet A: plan du niveau de la route du Longchamp (rez-de-chaussée des logements familiaux)

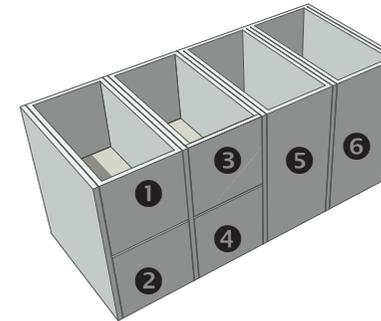
- Un espace intérieur permettant le séchage du linge. Surface minimale à prévoir : 75 cm sur 75 cm, 160 cm de haut, dans un espace bien ventilé.



Exemple de sèche-linge en hauteur : 38 m de fil.

- Un espace de cave.

- Un espace permettant le tri sélectif (mélange, déchets verts, papier/carton, PMC, verre...), à proximité de la cuisine. Surface minimale à prévoir : deux poubelles 60 l, quatre espaces de stockage environ 30 l. facilement accessibles, avec bacs dans des tiroirs. Le dispositif doit permettre de trier les déchets verts, les PMC, le verre, les bocaux consignés, le papier/carton, les piles, éventuellement les bouchons, et le reste.



1. papier-cartons ;
2. consignes, bouchons, piles ;
3. compost ;
4. verre ;
5. PMC ;
6. reste.

Exemple dispositif de tri : 140 cm sur 60 cm, hauteur : 65 cm.

- Un hall fermé entre la porte d'entrée et le séjour.
- Un WC unique, au rez-de-chaussée pour une question d'adaptabilité aux PMR.
- Un espace extérieur privatif, permettant d'installer une table pour les habitants du logement (nombre de chambres + 1). La terrasse doit permettre du rangement (petit matériel de jardinage...).
- Un espace extérieur commun est prévu.



Proposition d'avant-projet A: perspective de l'espace extérieur collectif en intérieur d'îlot, au niveau supérieur.



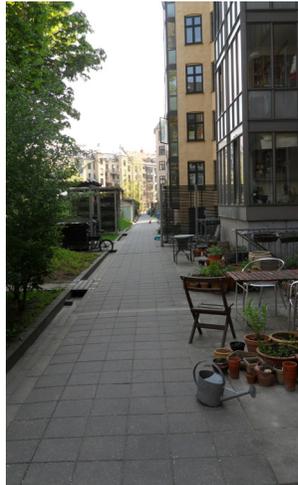
1



2



3



4



5

Illustration d'espaces extérieurs collectifs en intérieur d'îlot:

Photo 1 : Ritterstrasse - Berlin (arch : R. Krier)

Photo 2 et 3 : Fraenkelufer - Berlin (arch : H. et I. Baller).

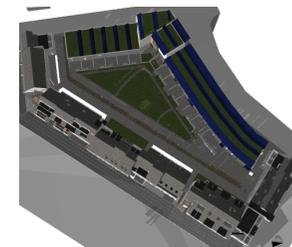
Photo 4 : Vesterbro - Copenhagen.

Photo 5 : Bo01-Malmoe.

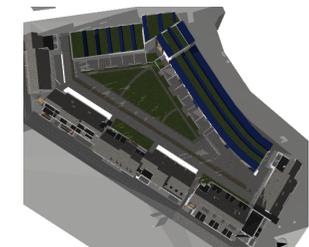
- L'aménagement, les conditions d'accès et le mode d'entretien de cet espace seront décidés par les occupants des logements neufs.
- L'aménagement pourrait inclure des tables de jardin, des infrastructures de jeux pour les enfants (balançoires, table de ping-pong fixe...), du mobilier fixe, un espace pour barbecue, des espaces de potager, des arbres et arbustes fruitiers.
- L'aménagement des espaces extérieurs commun tiendra compte des critères d'accès aux personnes à mobilité réduite.
- La conception des bâtiments neufs tient compte des qualités d'ensoleillement de l'espace extérieur commun pour son implantation et sa volumétrie. Dans le projet A, les bâtiments situés le long de la rue du Marathon, côté Ouest, sont limités à deux niveaux (Rez + 1) pour permettre l'ensoleillement de l'espace extérieur commun.

Analyse de l'impact des bâtiments projetés sur l'ensoleillement des espaces extérieurs

21 décembre

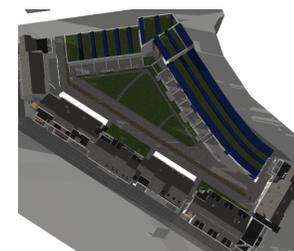


9h00

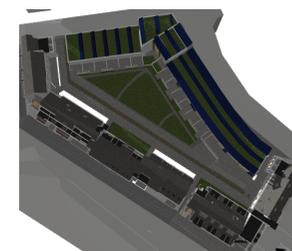


11h00

13h00



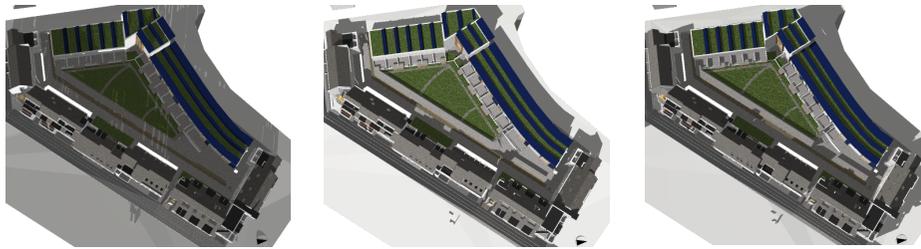
15h00



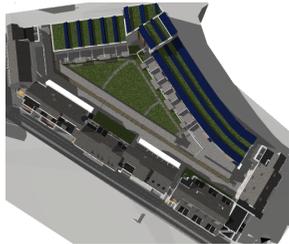
17h00

19h00

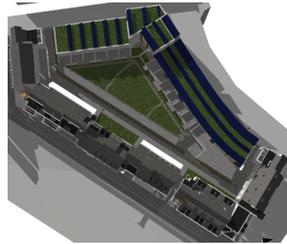
21 mars



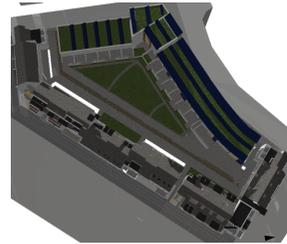
9h00



11h00



13h00

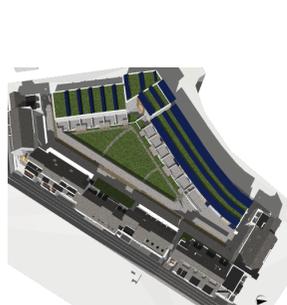


15h00

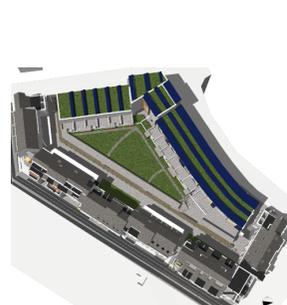
21 juin



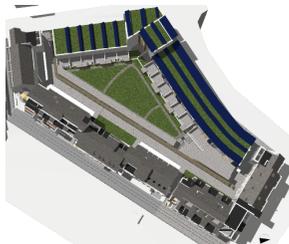
17h00



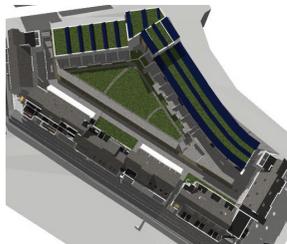
19h00



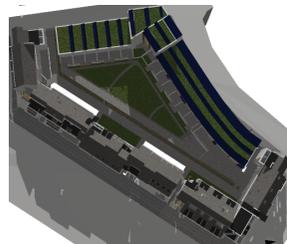
9h00



11h00



13h00

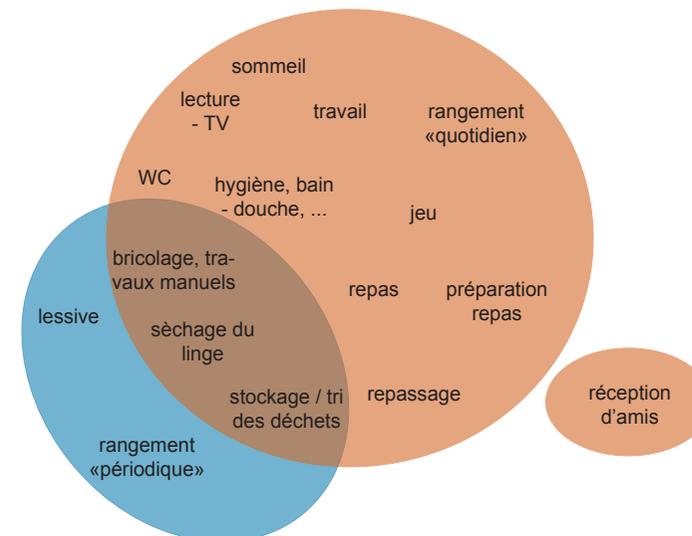
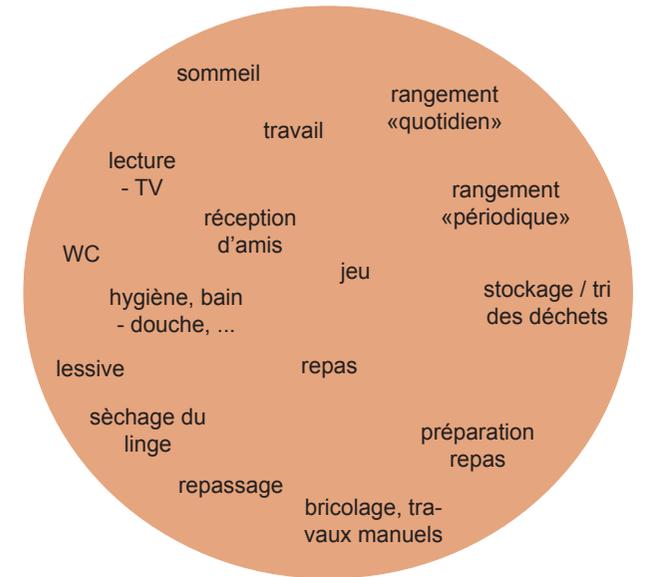


15h00

17h00

19h00

Dans le cadre de la recherche sur le programme, une réflexion sur les différents usages du logement a été menée. Cette analyse permet d'identifier certaines fonctions ne devant pas nécessairement être localisées dans l'espace chauffé. Il est cependant important qu'elles soient localisées dans un espace « hors gel ».



3. HABITANTS, MODES DE VIE, PROGRAMME

Cette réflexion a mené à la conception d'espaces semi-extérieurs, ou de terrasses qui peuvent être fermées en hiver et à l'entre-saison, et ouvertes en période estivale. Énergétiquement, cette solution n'est pas intéressante. La présence d'un espace « tampon » entre l'espace de vie et l'extérieur réduit les déperditions thermiques à travers la façade. L'isolation étant performante, cette diminution des pertes est très faible et ne compense pas la diminution des gains solaires qui est l'autre conséquence de la création d'un espace semi-extérieur. Le bilan est donc négatif, sans même compter l'énergie grise de la paroi. L'évaluation de cette solution au niveau énergétique est détaillée dans le chapitre sur l'énergie. L'intérêt de cette solution est au niveau de la qualité de vie et de l'optimisation des surfaces plus que dans le bilan environnemental. Les espaces semi-extérieurs permettent d'étendre l'espace de vie en dehors du volume protégé, pendant une partie de l'année. Cet espace bénéficierait d'une température supérieure à la température extérieure, ainsi que d'une protection complète contre les intempéries, ce qui rend son usage possible pour, par exemple, la lessive et le séchage du linge, le bricolage, du petit jardinage, du stockage, rangement pour des objets à usage relativement rare...



Projets mettant en oeuvre ce type de principe : à gauche : la savonnerie Heymans, à Bruxelles, à droite : un immeuble d'appartements à Malmoe (Suède).

La présence d'une salle commune permet une extension occasionnelle des surfaces de logement. Elle permet d'accueillir des initiatives, particulières ou communes. Elle est un élément de cohésion sociale potentiel et peut aussi permettre des initiatives dépassant l'échelle de l'îlot, en ouverture à l'échelle plus vaste du quartier.

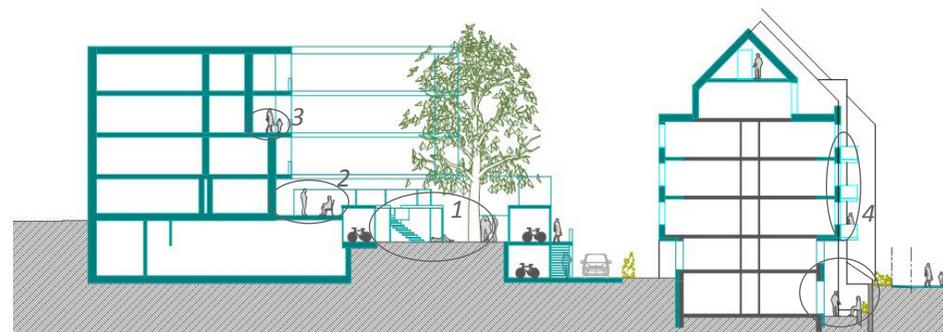
Espaces extérieurs et intimité

Les logements neufs disposeront tous d'un espace extérieur privatif

- attaché à l'une des pièces de séjour ;
- assez vaste pour y installer une table et des chaises ;
- conçu pour y jouir d'une certaine intimité ;
- dont la localisation privilégie les orientations ensoleillées ;
- équipé d'un espace de rangement permettant le stockage de petit matériel de jardinage, outillage...

Le projet prévoira la création d'un espace extérieur plus vaste et partagé entre les habitants des logements.

La possibilité d'ajouter des terrasses aux logements étudiants sera étudiée, ces terrasses seront orientées vers la rue des Blancs-Chevaux et non vers l'intérieur de la parcelle



Coupe dans l'avant-projet A

1. jardin collectif ;
2. terrasse privée attenante au rez-de-chaussée d'un duplex, plus haute que le jardin commun ;
3. terrasse privée d'un appartement du deuxième étage ;
4. terrasses et travail sur l'intimité des logements étudiants rénovés.



Perspective de l'avant-projet B

1. jardin collectif
2. terrasse privée attenante aux séjours de duplex.

Contexte économique-social

Au niveau des logements neufs, face aux prix du marché, très élevés à Louvain-La-Neuve, l'objectif est d'offrir une solution aux ménages à revenu moyen, pour l'acquisition ou pour la location.

Les prix, de vente ou de location feront partie du plan financier dès le début du projet. Ils seront discutés avec l'Association des Habitants, dont l'un des objectifs est d'assurer l'accessibilité des logements au plus grand nombre. La pertinence des montants des loyers ou des prix de vente devra être validée par l'Association des Habitants.

La présence d'un ou deux logements sociaux dans l'ensemble serait un plus pour le projet. Afin de répondre à un objectif de mixité (générationnelle, sociale, culturelle, économique) des habitants, le projet proposera des logements de différentes tailles pour accueillir différents profils.

Un objectif de 3 tailles différentes (en nombre de chambres) est fixé. Chaque gabarit couvrira au minimum 20 % de l'ensemble des logements neufs.

Les logements seront loués ou vendus.

La vente des logements permettrait de favoriser l'implication des habitants dans leur cadre de vie, et optimiserait les chances de succès des dispositifs tels que l'épuration des eaux grises sur le site, la mise sur pied de potagers collectifs, la gestion de la salle commune...

La location permettrait probablement une plus grande mixité des habitants. Partant du principe qu'on change plus facilement de logement en étant locataire qu'en tant que propriétaire, la location permet une meilleure adéquation entre le logement et les besoins réels des habitants, variant avec la période de vie dans laquelle ils se trouvent.

Au niveau des logements étudiants, l'objectif est également d'offrir des logements de qualité, avec des équipements partagés, à des prix raisonnables.

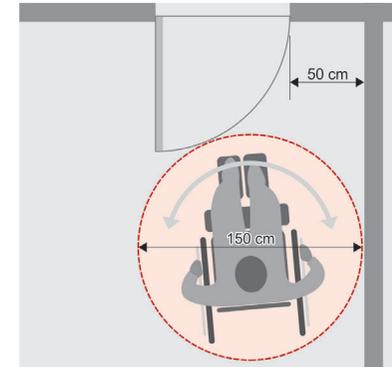
Logements neufs et personnes à mobilité réduite

En réponse au vieillissement de la population, et dans un souci de solidarité, le programme comprend un maximum de logements accessibles aux personnes à mobilité réduite, adaptés ou adaptables.



Évolution de la mobilité avec l'âge¹.

¹ Illustration inspirée de la publication « Guide d'aide à la conception d'un logement adaptable », p4. Conception : L-P. Grosbois.



Contraintes liées à l'accessibilité des personnes en chaise roulante.

Un logement *accessible* est un logement dont l'accès est aisé pour tous, y compris les PMR. L'accessibilité concerne autant les abords et les parkings que les parties communes du bâtiment, jusqu'à la porte d'entrée principale du logement.

Il est une condition sine qua non pour concevoir un logement adaptable ou adapté.

Un logement *adapté* est un logement accessible qui répond directement aux besoins spécifiques d'une PMR, en lui permettant d'y circuler et d'en utiliser toutes les fonctions, de manière autonome. La conception d'un tel logement ne se fait qu'en connaissance de l'occupant et de ses difficultés propres.

Un logement *adaptable* est un logement accessible qui tient compte dès le départ du fait que l'on est tous susceptibles de devenir un jour une PMR. Il peut être aisément transformé en un logement adapté si nécessaire.

L'action « construire adaptable² », qui a pour but de promouvoir le logement adaptable en Wallonie, définit trois niveaux de logements adaptables :

- le niveau A : l'unité de vie et les abords du logement sont adaptables ;
- le niveau A+ : l'unité de vie et les abords du logement ainsi que minimum un autre espace privé du logement sont adaptables ;
- le niveau A++ : L'entièreté du logement et ses abords sont adaptables.

10 critères sont identifiés pour assurer ces différents niveaux d'adaptabilité :

- sol sans entrave : sol non meuble, sans défaut majeur et non glissant ;
- ni marche ni ressaut : les différences de niveaux sont à éviter ;
- absence d'obstacle et de danger : hauteur de libre passage de 220 cm et absence d'objets saillants ;
- aires de manoeuvre suffisante : aires de rotations et de transfert, distances latérales pour la circulation en chaise roulante.

² <http://www.construire-adaptable.be/>

- Largeur de passage suffisante ;
- accès aux commandes : hauteur accessible, facilité de manipulation et distances latérales ;
- prévention des dangers : mains-courantes, garde-corps, éclairage suffisant, repères visuels et tactiles pour malvoyants ;
- confort : visibilité en position assise, ouvertures de portes faciles, isolation acoustique...
- signalétique : pictogrammes, textes adaptés, contraste des couleurs ;
- aménagement évolutif : possibilités d'ancrages de charges lourdes, possibilité de démontage de cloison (absence de techniques dans la paroi, finitions continues), et de mobilier (pas d'ancrage).

L'ensemble de ces critères, appliqués aux différents espaces et aux différentes fonctions des logements, ainsi que des outils d'aide à la conception et des détails techniques sont détaillés dans le guide d'aide à la conception d'un logement adaptable et sur le site www.construire-adaptable.be.

Proposition de balise

Proportion de logements accessibles	> 80 %
Proportion de logements adaptables (A++)	> 30 %
Nombre de logements adaptés	> 1

Les espaces communs et les aménagements extérieurs, même en dehors de l'accès aux logements, seront conçus pour en permettre l'accès aux personnes à mobilité réduite (rampes, revêtements de sol, mobilier...)

Un emplacement de stationnement spécifique sera réservé à proximité du site.

Programme et flexibilité

La flexibilité, ou la possibilité de faire évoluer le bâtiment en fonction des besoins de ses habitants est une caractéristique qui, d'une part, permet de valoriser au mieux le bâtiment tout au long de son cycle de vie, et d'autre part, nécessite parfois la mise en oeuvre de dispositifs pesant sur ses impacts ou sa fonctionnalité première.

Au niveau des logements étudiants, le temps d'occupation étant généralement très limité (baux d'un an), la flexibilité ne concerne pas l'adaptation d'un logement aux besoins de son habitant, mais bien l'adaptabilité des logements aux évolutions du marché, et de la société en général. Les évolutions du marché pouvant être anticipées pour des logements étudiants concernent les équipements mis à dispositions (réseau, stationnement, les systèmes) et éventuellement les configurations de logements (communautaires, studios).

Les possibilités d'extension d'un logement familial déterminent également sa flexibilité. Pour répondre à des nouveaux besoins, ou éventuellement suivre l'évolution du pouvoir économique des habitants, il est parfois nécessaire d'agrandir l'espace de vie initial par

l'ajout d'une chambre, d'un bureau... C'est le cas typique des besoins d'un jeune couple évoluant vers les besoins d'une famille.

Cependant, cette possibilité est difficilement conciliable avec une bonne compacité et une utilisation rationnelle de l'espace dès le départ.

Par ailleurs, les modifications des attributions d'espaces entre différents logements (un logement s'agrandit sur le volume de l'autre, qui se voit donc réduit) sont difficilement réalisables dans la pratique. Elles nécessitent des besoins contraires de deux voisins, au même moment. Cette solution pose en outre des problèmes techniques de compartimentage pour la sécurité incendie et d'isolation acoustique.

La flexibilité dans le projet SUD sera plutôt envisagée suivant les points suivants:

- Diversité des tailles de logements familiaux au sein de l'immeuble neuf, pour permettre l'occupation d'un logement adapté et un déménagement au sein de l'immeuble en cas de modification des besoins.
- Surdimensionnement des espaces techniques pour permettre l'ajout ou la modification d'installations techniques.
- Possibilité de déplacer certaines cloisons pour permettre une réorganisation de l'espace (ceci est surtout d'application pour les unités de logement plus spacieuses, dans lesquelles différentes configurations sont possibles).
- Création d'espaces annexes aux logements, comme des espaces d'abris vélo ou de cave, pour permettre des modifications d'attributions simples (un logement renonce à sa cave au profit d'un autre).
- Création d'espaces communs pour réduire le besoin d'espace personnel, et la demande de flexibilité (organisation de petits événements, chambre d'amis éventuellement...).



4. MOBILITÉ

Analyses et enjeux

À l'échelle de la ville de LLN

La ville de Louvain-La-Neuve est caractérisée par un centre complètement piétonnier. Les circulations piétonnes et automobiles sont la plupart du temps dissociées. La ville étant concentrée, la plupart des trajets peuvent être réalisés à pied.

Le centre-ville est équipé d'une gare (et d'un projet de gare RER). Actuellement, Louvain-La-Neuve est une gare en cul-de-sac et le passage obligé par Ottignies allonge les temps de parcours vers les principales villes du pays pour les usagers néolouvanistes.

La ville dispose également d'une gare des bus permettant le transport vers la plupart des destinations wallonnes à proximité. Une navette existe également entre les sites UCL de Louvain-La-Neuve et de Wolluwe.

La ville dispose de 5 stations Cambio, permettant l'usage de voitures partagées, réparties sur l'ensemble des quartiers. L'une d'elles est située au Blocry, à 350 m du site.

Depuis quelques années, la ville souffre néanmoins d'une densité de trafic voiture, et d'une saturation des zones de stationnement à certains moments. Les parkings souterrains du centre-ville sont payants.

Le nombre d'étudiants qui font la navette en voiture, et d'étudiants qui possèdent un logement sur le site et une voiture a augmenté, et pèse sur la disponibilité des espaces de stationnements. Les étudiants koteurs qui ont une voiture l'utilisent rarement pendant la semaine.

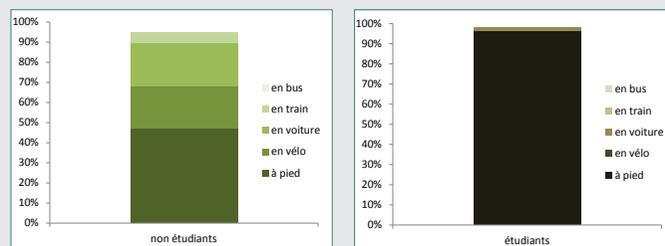
À l'échelle du quartier

Le site, situé à la frontière entre le quartier des clos et la zone étudiante de la rue des Blancs chevaux est actuellement partiellement occupé par un parking libre d'accès et des garages.

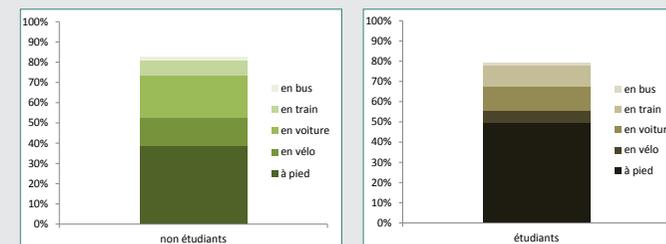
La consultation des habitants du quartier (processus présenté dans le chapitre 1: processus) a permis d'analyser les habitudes en termes de mobilité. Les résultats des questions sur les modes de transport sont détaillés ci-après :

» Mode de déplacement

- Mode de déplacement principal chez les personnes ayant répondu au questionnaire.



- Moyenne pondérée entre les 3 modes de déplacement choisis par les répondants (3 points pour le mode principal, 2 points pour le mode utilisé régulièrement, 1 point pour le mode de transport occasionnel).



Le mode de déplacement principal des étudiants est très clairement piéton.

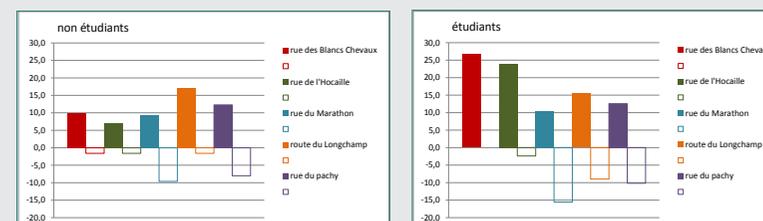
Les non-étudiants ont des modes de fonctionnement beaucoup plus diversifiés. Les modes de déplacement doux (à pied et en vélo) étant néanmoins privilégiés. Ils sont complétés par la voiture et le train. Le bus n'est que très peu utilisé, tant par les étudiants que par les non-étudiants.

Le vélo est beaucoup plus utilisé par les non-étudiants que par les étudiants (et ce malgré la moyenne d'âge élevée des répondants non étudiants). Le fait que les étudiants ne disposent pas souvent d'un vélo sur le site en est vraisemblablement la cause.

Le train est le troisième mode de transport des étudiants, après la marche et la voiture.

À l'échelle de l'îlot

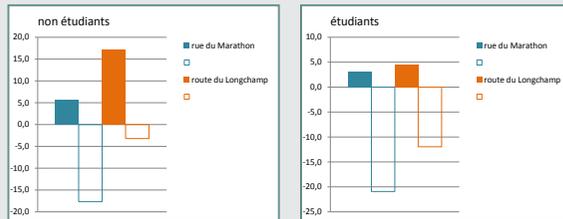
» Fréquentation des rues adjacentes, à pied ou en vélo



La fréquence d'utilisation des rues voisines a été évaluée par des questions à choix multiple du type « plus d'une fois par jour », « plus d'une fois par semaine », « plus d'une fois par mois », ou

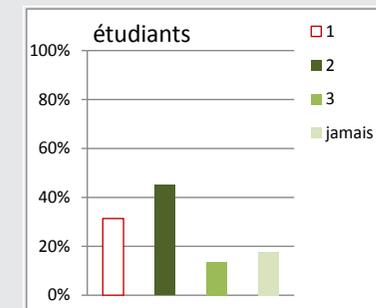
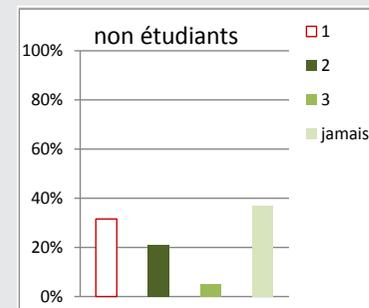
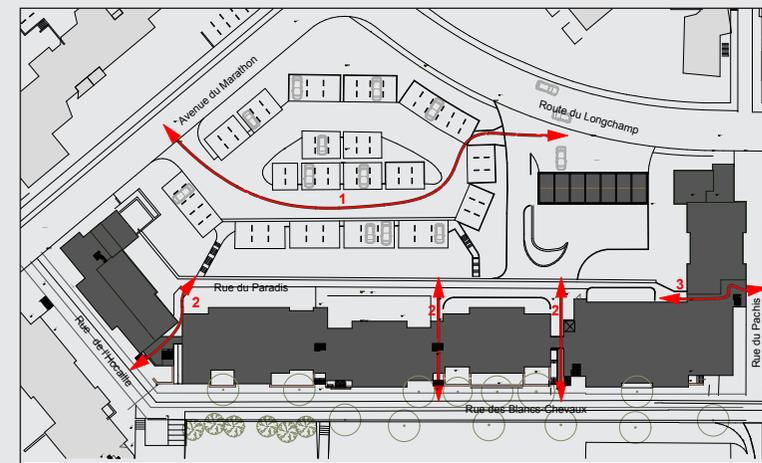
« jamais ». Le graphe ci-dessus présente une valeur pondérée des réponses en termes de fréquence, et une valeur négative pondérée représentant les réponses « jamais ». Ceci permet de comparer la fréquentation des rues voisines par les personnes ayant répondu au questionnaire. Cette analyse permet d'identifier la route du Longchamp comme étant celle que les habitants fréquentent le plus, à pied ou à vélo !

Il apparaît clairement que les étudiants fréquentent majoritairement la rue des Blancs Cheveux et la rue de l'Hocaille.



- » Fréquentation des rues voisines, en voiture
Les graphes ci-dessus confirment l'utilisation plus importante de la voiture chez les habitants que chez les étudiants, et l'importance majeure de la route du Longchamp beaucoup plus empruntée que la rue du Marathon.
- » Les questions sur la qualification particulière des rues et sur les destinations des usagers qui les empruntent n'ont pas été analysées plus précisément. Elles n'apportent pas d'élément déterminant pour l'élaboration du programme.

» Traversée du site



On constate que le site est principalement traversé par les étudiants, et que la plupart des traversées s'effectuent entre la route du Longchamp et la rue des Blancs Chevaux.

Concernant la traversée du parking, la réponse par défaut à cette question est « 1 ». Ceci entraîne sans doute un taux de réponse « 1 » supérieur à la réalité. Les résultats concernant cette réponse sont donc considérés avec prudence.

La parcelle est bordée de deux rues « voitures » et de deux rues piétonnes. Elle est également caractérisée par la présence de la rue du Paradis, sorte d'allée utilitaire étroite qui longe l'arrière des bâtiments et permet l'enlèvement des immondices, les livraisons du restaurant « Le Piano » et un accès pompier. Cette rue se retrouve sur la parcelle voisine, avec le même type de fonction, mais il n'y a actuellement pas de connexion entre les deux tronçons, la rue étant interrompue par les bâtiments construits le long de la rue du Pachy.

Les véhicules accèdent au parking par une entrée située sur la rue du Marathon. Une rampe raide partant de la route du Longchamp permet aux véhicules d'accéder au niveau bas des garages et à la rue du Paradis.

Un escalier permet aux piétons venant du parking de rejoindre la rue du Paradis et de là, la rue du Pachy ou la rue des Blancs Chevaux en traversant le bâtiment.



Objectifs et solutions concrètes envisagées pour le projet SUD

Le profil de la route du Longchamp est aujourd'hui principalement conçu pour l'usage de la voiture, ce qui semble peu pertinent par rapport aux usagers multiples qu'elle accueille et à la nécessité de promouvoir les alternatives à la voiture. Le projet SUD est une occasion de requalifier cet axe. Les propositions de construction de logement neuf le bordant, et d'adaptation de son profil vont dans ce sens.

Au niveau des relations entre le projet et les îlots voisins, la continuité de la rue du Paradis pourrait être établie en utilisant le passage existant qui permet de rejoindre la rue du Pachy depuis l'îlot voisin et en créant un passage à travers les bâtiments de l'îlot SUD (démolition de 2 chambres d'étudiants). Ceci permettrait de desservir l'arrière des bâtiments existants et des espaces de stationnement semi-enterrés en évitant les contraintes d'une rampe. Cette solution nécessite une autorisation de traversée de l'îlot voisin et de la rue du Pachy, pour un charroi limité (les usagers du parking et les fournisseurs du restaurant « Le Piano »). Elle permettrait de rétablir une certaine logique de circulation à travers les différents îlots qui longent la rue des Blancs Chevaux.



Situation existante : la rue du Paradis, petite voirie qui longe l'arrière des bâtiments existants, est interrompue par les bâtiments le long de la rue du Pachy. Sur la parcelle choisie, on y accède par une rampe raide.



Rue du Paradis depuis la route du Longchamp, sur l'îlot voisin.



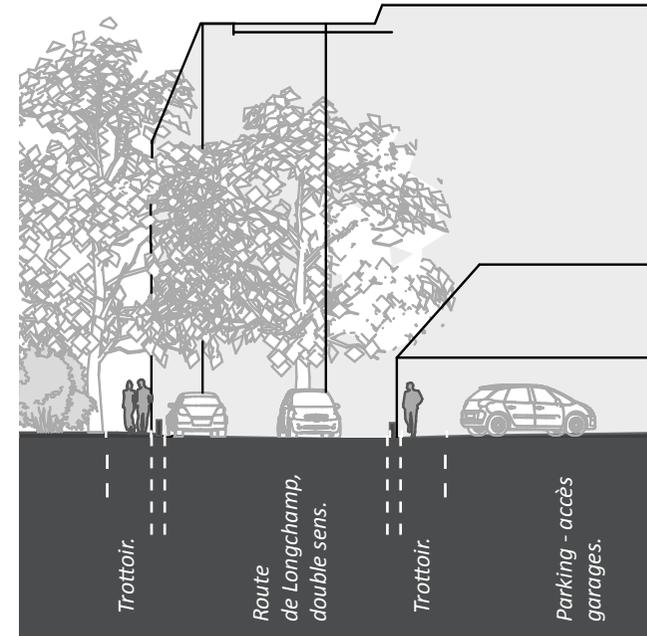
Rue du Paradis sur l'îlot voisin, derrière des bâtiments de la rue des Blancs-Chevaux.



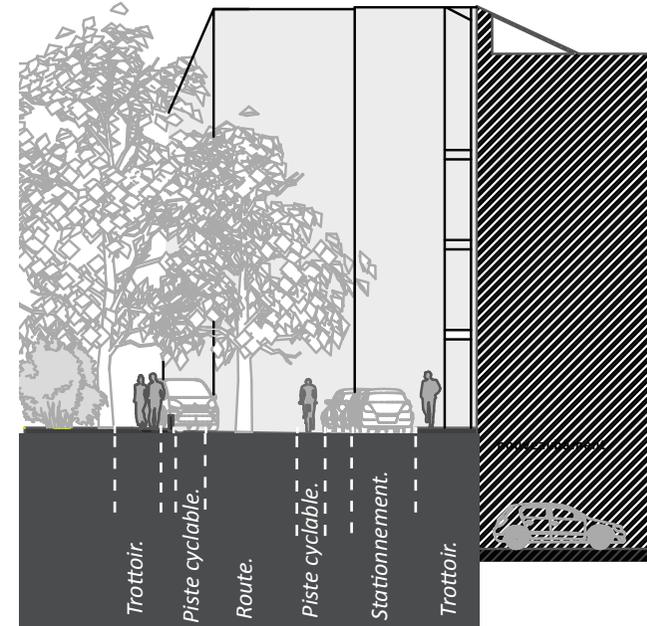
Passage de la rue du Paradis depuis la rue du Pachy, vers l'îlot voisin.



Proposition : la continuité de la rue du Paradis pourrait être établie pour desservir l'arrière des bâtiments existants et des espaces des stationnements semi enterrés en évitant les contraintes d'une rampe.



Profil de la route du Longchamp, situation existante.



Profil de la route du Longchamp, situation projetée (avant-projet A).

Soutien de la mobilité douce

→ Requalification de la route du Longchamp

La proposition du projet SUD participe au changement de la route du Longchamp. Cette voirie est actuellement allouée à la circulation automobile. Elle longe des zones à l'arrière des bâtiments tournés vers la rue de l'Hocaille ou la rue des Blancs Chevaux, des zones de stationnement, et d'accès à des garages. Le projet comprend la construction de bâtiments neufs, qui ont leur entrée sur cette route. Il serait aussi l'occasion de revoir la répartition de l'espace de la rue et du trottoir pour les multiples usagers, et non uniquement pour la voiture. La création d'une bande de stationnements le long de la voirie, et de pistes cyclables permettrait de ralentir le trafic sur cet axe et de répondre ainsi à une préoccupation des riverains.



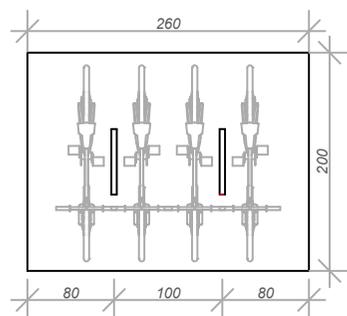
→ Emplacements publics de stationnement pour vélos, destinés aux visiteurs,

- pour les logements étudiants et non étudiants ;
- faciles d'accès et visibles de la rue ;
- dans un lieu de passage ;
- abrités de la pluie ;
- avec un éclairage nocturne sur détecteur.

→ Abris privés pour le stockage des vélos, poussettes, remorques...

Pour les logements neufs :

- dimensionnés pour pouvoir au minimum accueillir autant de vélos que d'occupants présumés de l'appartement (nombre de chambres + 1) ;
- situés au niveau de la rue, à proximité du logement ;
- équipés d'une alimentation électrique pour permettre le chargement de vélos électriques, si possibles via des panneaux solaires photovoltaïques ou par la cogénération, sur le compteur collectif ;
- aménagés pour permettre le rangement de l'équipement des cyclistes (étagère pour casque et petit outillage, porte-manteau).



Dimensions minimales des espaces de stationnement pour vélo¹.

Pour les logements étudiants rénovés :

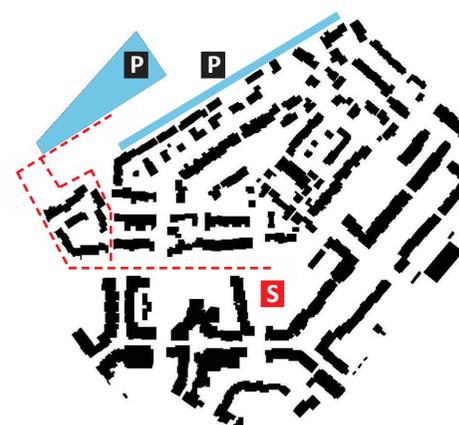
- dimensionnés pour pouvoir accueillir au minimum un vélo pour 3 chambres étudiants (un vélo par étudiant semble excessif, au vu de la faible utilisation actuelle du vélo par les étudiants et de l'accessibilité de l'ensemble de la ville à pied) ;
- situés au niveau de la rue des Blancs Chevaux, à proximité des logements ;
- dans un local destiné à cet usage uniquement, éclairé, ventilé ;
- aménagés pour permettre le rangement de l'équipement des cyclistes (casque et petit outillage) dans des casiers à cadenas.

Circulations et stationnement automobile

→ Nombre d'emplacements, politique en termes de contrôle

La réflexion par rapport au stationnement se fait par rapport à différents éléments :

- Pour répondre aux enjeux environnementaux, il est impératif d'encourager les alternatives à la voiture et de limiter l'usage de celle-ci.
- La situation permet un accès piéton facile à de multiples services (commerces, loisirs, ...).
- Le site est connecté à un réseau de transports en commun (train, bus), le RER viendra compléter ce réseau dans quelques années.
- Un parking public gratuit est disponible à une distance de 450 m du site.



Itinéraire entre le parking malin de Lauzelle (P) et le site du projet SUD (S)
Distance : 450 m.

Possibilité de traverser le Boulevard de Lauzelle par un passage piéton souterrain.

- Un point « Cambio » (voitures partagées) permet de « louer » une voiture très facilement, pour une durée limitée. Les véhicules sont à disposition sur le parking du Blocry, à 350 m du site.

Le programme comprend des emplacements de parking, destinés aux nouveaux habitants et dont le nombre minimum est fixé à 1 emplacement par unité de logement neuf.

Des emplacements de stationnement doivent être prévus pour toute fonction autre que le logement qui s'implanterait dans les bâtiments neufs. Pour une crèche, il est essentiel de prévoir du parking de courte durée (1/2 h) pour les parents. Évaluation du nombre de places nécessaire : 1 pour 5 enfants semble un nombre approprié, compte tenu des horaires différenciés et des autres moyens de transport utilisés.

La mise à disposition d'emplacements de parking pour le personnel peut se faire en sous-sol, mais ne paraît pas essentielle. Le parking malin du bois de Lauzelle est à 5 minutes à pied.

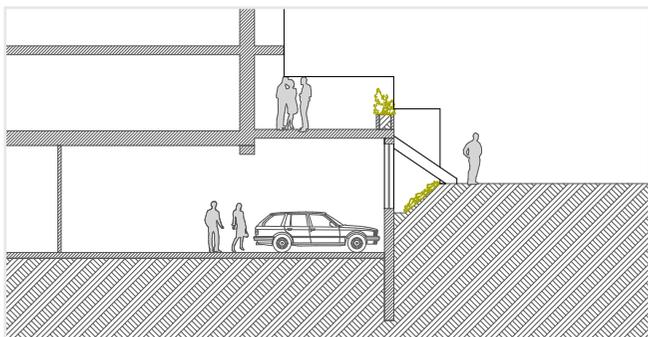
¹ Source : fiches techniques des aménagements cyclables de la SPW.

Le restaurant « Le piano » dispose d'un accès technique sur la rue du Paradis. Cet accès devra être maintenu pour permettre un approvisionnement et une évacuation des déchets facile. Les propositions d'avant-projet proposent un accès via la rue du Paradis située sur l'îlot voisin et la traversée de la rue du Pachy et des bâtiments qui la bordent.

→ Caractéristiques de la zone de garages

Le premier objectif est le stationnement du nombre de véhicules requis, en respectant les règles de dimensionnement et en portant une attention particulière à la commodité des accès et à la sécurité des usagers. Dans un objectif de flexibilité, il est aussi important de permettre une utilisation de ces espaces pour d'autres usages, temporairement ou définitivement dans le cas où la fonction de stationnement de voiture deviendrait obsolète.

- Des emplacements pour personnes à mobilité réduite seront prévus, leur permettant d'accéder à l'ensemble des logements neufs, et aux espaces extérieurs.
- L'éclairage naturel et les vues vers l'extérieur contribuent à créer un espace agréable et rassurant, et permettent d'envisager son occupation pour d'autres usages (brocante, ateliers...).



Avant-projet A: coupe dans la zone de stationnement souterrain, l'espace de jardin collectif et la terrasse des duplex du rez de chaussée



Campus Irena : logement étudiant rue des Blancs Chevaux, circulation et intimité.

Pour améliorer cette situation, des pistes de solutions ont été esquissées :

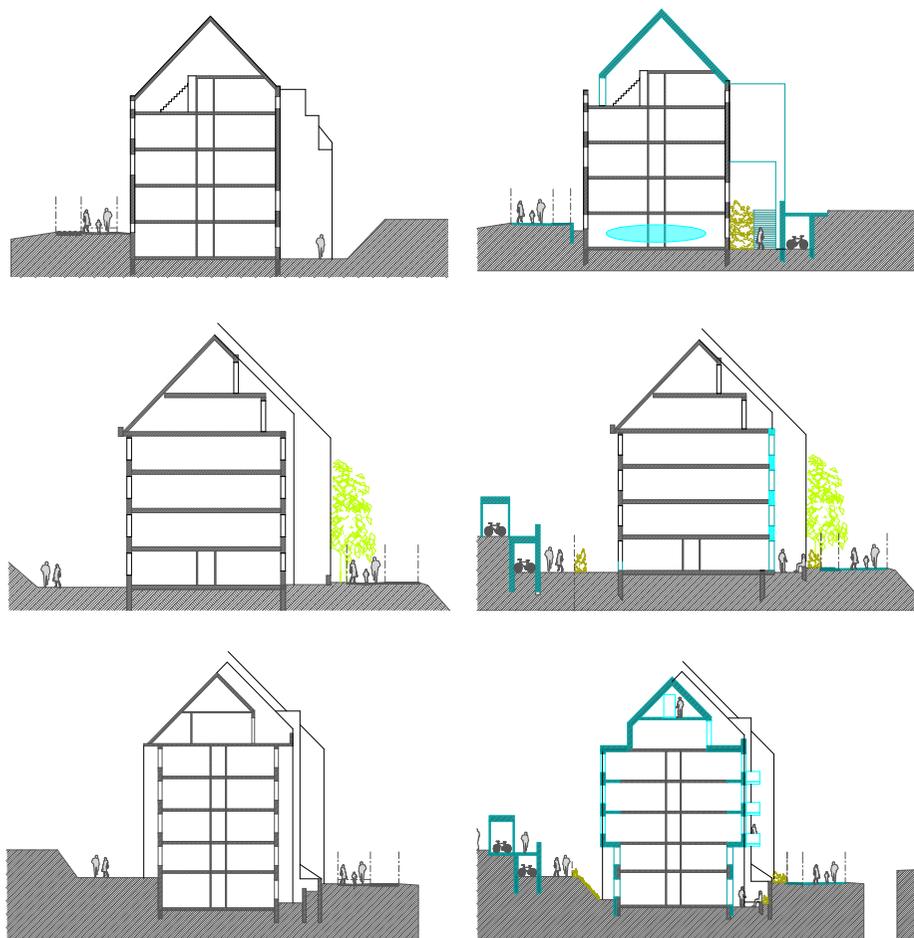
- Orienter les séjours sur la rue des Blancs Chevaux et les chambres à l'arrière.
- Remplacer les logements par une fonction tertiaire, type bureaux, dans le cas où la suppression des vues directes n'est pas possible.
- Modifier le pavé de la rue. En gardant la largeur totale, il est possible de mettre la circulation principale (pavement béton clair) à distance du bâtiment, et de mettre la bande qui permet l'accès pompier le long du bâtiment, éventuellement en dalles gazon, ce qui permettrait une meilleure infiltration de l'eau et une mise à distance des piétons par rapport à la façade. Cette proposition dépasse l'échelle du projet, mais nous semble néanmoins pertinente.
- Protéger les vues sur les logements par des plantations.

Circulations piétonnes

→ La rue des Blancs Chevaux

La circulation piétonne le long des bâtiments « campus Irena » est constituée de deux types de revêtements. Un pavé de béton clair constitue le cheminement principal, une zone pavée la complète, pour créer la largeur nécessaire au passage des pompiers.

La situation actuelle pose des problèmes d'intimités par les vues directes, depuis la rue, dans les logements des étages inférieurs.



À gauche, coupes représentant la situation existante et à droite coupes équivalentes représentant la situation projetée par l'avant-projet A.

→ Circulations à l'intérieur du site

Dans l'objectif de promouvoir la mobilité douce et de faire vivre un espace extérieur partagé, les cheminements piétons et cyclistes permettant de relier les différents points sont une plus-value. La proximité des zones de stockage et la facilité d'accès sont des critères importants. Ces parcours sont également des occasions de contacts entre voisins, d'échanges sociaux.

Le statut de l'espace partagé, entre public et semi-public, est à définir avec les habitants. Une possibilité de limiter les accès aux habitants des logements doit être prévue.

5. ÉNERGIE

Analyses et enjeux

Les enjeux des consommations d'énergie sont majeurs et multiples. La combustion d'énergie fossile pour la production de chaleur, de froid ou d'électricité a plusieurs impacts :

- Consommation de ressources non renouvelables, comme le pétrole, le gaz, ou même le charbon. L'épuisement de ces ressources et le fait que notre société en dépende fortement génèrent un contexte de tensions et de conflits armés, avec les drames humanitaires qui y sont liés.
- L'épuisement des ressources et l'augmentation de la demande en combustibles génèrent une augmentation du coût de l'énergie, pesant sur le fonctionnement des bâtiments et globalement sur toute l'économie. Même si les scénarios prévisionnels du prix de l'énergie varient, tous s'accordent sur une augmentation.
- Émission de polluants, comme les gaz atmosphériques, les déchets nucléaires, les pollutions des eaux, etc. Ces pollutions, responsables entre autres, du réchauffement climatique, ont des impacts environnementaux importants qui ont des conséquences humanitaires et économiques.

Depuis longtemps déjà, face à ces enjeux, les architectes s'attellent à concevoir des bâtiments économes en énergie. Les consommations de chauffages, traditionnellement les plus importantes dans les logements, sont fortement réduites grâce aux performances de l'enveloppe et à l'efficacité des systèmes mis en oeuvre. La production d'eau chaude sanitaire devient le poste le plus énergivore.

Les stratégies passives se sont fortement développées ces dernières années. Les technologies de production d'énergie à partir de ressources renouvelables sont également devenues courantes.

Les bâtiments sont des lieux à habiter, mais deviennent aussi des lieux de production d'énergie. Cette nouvelle fonction est pourtant encore rarement intégrée dans le processus de conception architecturale. Les capteurs solaires sont encore souvent considérés comme des équipements techniques ajoutés au projet a posteriori et non comme un élément architectural à part entière, avec ses potentiels et ses contraintes.

L'évaluation des performances énergétiques des bâtiments se fait actuellement avec l'aide de différents outils, comme le logiciel PEB, lié au cadre réglementaire, le PHPP, lié au standard passif, ou par des outils de simulations dynamiques, utilisés principalement par les bureaux d'études.

Les niveaux de performances sont évalués par rapport à la surface du bâtiment. Ces indications de consommations énergétiques, par m^2 , permettent d'évaluer la performance d'un bâtiment, de la comparer à une valeur fixe ou à une celle d'un autre bâtiment. Cependant, la performance énergétique est insuffisante pour évaluer son impact environnemental du fait qu'elle ne considère ni la surface totale, ni le nombre d'occupants. Pour ce faire, il est nécessaire d'analyser la consommation énergétique par occupant/habitant.

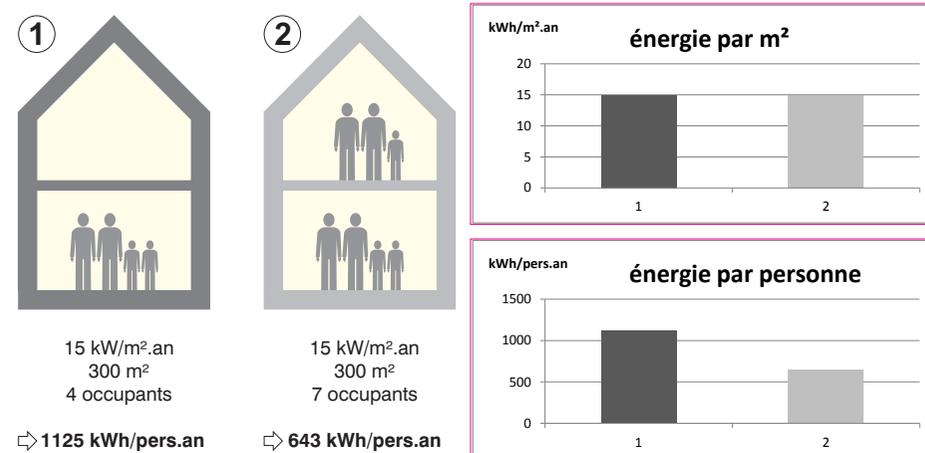


Schéma illustrant la différence entre la consommation par m² et la consommation par habitant. Ce dernier indicateur étant plus pertinent pour caractériser un bâtiment au niveau du développement durable.

Le parc de bâtiments existants est en moyenne peu performant et la rénovation est un des défis majeurs pour la réduction des consommations énergétiques globales. Plusieurs bâtiments sont construits sur le site choisi. Ils font partie des premiers bâtiments de Louvain-La-Neuve, datent de la fin des années septante et ne sont pas isolés. Leurs performances énergétiques sont donc médiocres. Le relevé des compteurs a permis d'évaluer leur consommation énergétique de chauffage.

Evaluation de la consommation de chauffage des bâtiments NORD:

conso totale de gaz en 2009-2010:	184486 m ³	<i>source: relevé des compteurs</i>
chauffage de:	10351,6 m ² bruts	<i>surface brute de plancher chauffé = surface définie par le limite extérieure des façades, y compris cloisons...</i>
	7713,5 m ² surf énergétique	<i>surface de référence énergétique = somme des surfaces nettes des pièces, sans cloisons, murs etc...</i>
eau chaude sanitaire pour:	271 personnes + resto "le piano" (12 à 20l/repas)	<i>remarque: certains logements sont équipés de boilers électriques</i>

Pour estimer le chauffage: estimation de la consommation de gaz dévolue à la production d'eau chaude sanitaire

	consommation ecs (l d'eau à 60°C)	nbre de jours (10 mois 5jours/sem)
logements	35 l/pers/jour 2066307 l/an	217,85 j/an
piano : 100 à 150 repas / jour	1200 l/jour 432000 l/an	360 j/an
total	2498307 l/an	

énergie nette nécessaire pour le chauffage de cette eau chaude sanitaire : 144902 kWh net/an

sans boucle sanitaire, rendement estimé =	80%	181127 kWh brut/an	18332,7202 m ³ gaz / an
Avec boucle sanitaire, rendement estimé =	60%	241503 kWh brut/an	24443,62694 m ³ gaz / an
PCI du gaz riche =	9,88 kWh/m ³		

Si on considère une production d'eau chaude sanitaire peu performante (60%)

ecs	24444 m ³ gaz / an	+ conso boilers électriques!
chauffage	160042 m ³ gaz / an	
	= 1581219 kWh brut/an	

consommation moyenne de chauffage: 153 kWh brut/m²brut/an

ou, par rapport aux surfaces nettes de référence énergétique: 205 kWh brut/m²surf énergétique/an

Une évaluation du besoin de chauffage par le logiciel PEB a été réalisée, pour un des bâtiments.

bâtiments C1C2C3		
U moyen:	1,58	W/m ² K
Surface de déperdition At:	4854	m ²
Volume protégé:	11489	m ³
Compacité:	2,37	
K:	109	
besoin net de chauffage:	1893346	MJ/an
	525929	kWh/an
Ach =	4275	m ²
besoin net de chauffage par m²	123	kWh/m².an
ce qui, par rapport aux consommations moyennes calculées sur base des consommations réelles de:		
	205 kWh/m ² .an	
équivalent à un rendement d'environ:		60%

La nécessité d'une diminution des consommations de chauffage de ces bâtiments est une évidence. En outre, l'amélioration de la performance des façades, actuellement non isolées, pose une question qui dépasse l'échelle du projet. La ville de Louvain-La-Neuve regorge de bâtiments similaires au cas étudié, construits fin des années 70 ou dans les années 80, et dont les façades ne sont pas, ou presque pas isolées.

À Louvain-La-Neuve, sauf exception, la brique est imposée comme matériau principal des façades. Le béton et le bois ou éventuellement l'enduit et le métal sont parfois utilisés pour des éléments secondaires. La dominance de la brique répond aux exigences urbanistiques et participe à la construction de l'identité de la ville.

Pour améliorer la performance des façades, l'isolation par l'extérieur est la solution technique la plus intéressante. Elle permet de garantir facilement la continuité de l'isolation et d'éviter de nombreuses difficultés techniques liées à la présence de ponts thermiques.

Le choix d'un parement neuf pour le projet SUD est l'occasion d'un questionnement sur l'évolution des façades pour répondre aux enjeux énergétiques. La reconstruction d'un parement brique implique un encombrement et un coût économique qui justifient le questionnement de la pertinence de l'imposition de la brique comme revêtement de façade principal dans le cas des rénovations. Le développement du projet nécessite l'examen des autres solutions possibles et de leurs implications respectives, tant au niveau de l'intégration urbanistique que de leurs impacts environnementaux et de leur coût économique. Le projet SUD constituerait éventuellement, dans ce contexte une proposition d'évolution des règlements urbanistiques et de l'identité de la ville en quittant la domination de la brique et en permettant l'utilisation d'autres matériaux pour la rénovation des façades existantes par leur isolation par l'extérieur.

Le bardage bois sera l'une des solutions étudiées. Son impact environnemental sera examiné précisément et comparé à d'autres solutions dans le chapitre « matériaux ». S'il n'est pas majoritaire dans l'espace de la ville, il est néanmoins présent, dans l'architecture récente comme dans l'architecture plus ancienne du paysage néolouvaniste.



Illustrations de la présence du bois dans l'architecture néolouvaniste.

Objectifs et solutions concrètes envisagées pour le projet SUD

Les enjeux et les possibilités techniques mènent à des objectifs de plus en plus ambitieux en matière d'économies d'énergie. Partant du bioclimatisme et des bâtiments « basse énergie », en passant par le passif, la tendance actuelle est aux « Nearly Zero Energy Buildings » (NZEB), soit des bâtiments qui compensent leurs consommations énergétiques par une production locale d'énergie renouvelable.

La définition d'un objectif énergétique ne peut se faire sans plusieurs définitions connexes :

- La question des limites du système. L'énergie consommée doit-elle être compensée par de l'énergie renouvelable à l'échelle du bâtiment, de l'îlot, du quartier, du pays, ou de la planète ?
- La question de la période caractérisée par le bilan énergétique. Considère-t-on une compensation sur base d'un bilan quotidien, hebdomadaire, annuel ?

- La question de l'indicateur. « Zéro énergie » laisse supposer qu'on prend l'énergie, et plus précisément l'énergie primaire, comme indicateur. Ceci revient à considérer la question sous l'angle de la ressource. Mais ne faudrait-il pas prendre en compte les émissions de polluants ?
- La question des consommations considérées. En Belgique, la définition actuelle considère uniquement les consommations de chauffage. Une vision plus globale rend nécessaire la considération de l'ensemble des consommations : production d'eau chaude sanitaire, d'électricité, mais aussi d'énergie grise des matériaux, d'énergie de transport, d'énergie nécessaire à la mise en place des infrastructures liées au bâtiment...
- La question du calcul, la comptabilisation de ces consommations énergétiques. Si le logiciel PEB, ou le PHPP permet d'évaluer les consommations de chaleur ou d'électricité, il est moins évident d'estimer les impacts énergétiques de la densité ou de l'absence de densité, par exemple. Une comptabilisation partielle risque d'amener des logiques qui vont à l'encontre du développement durable.
- La définition d'un objectif zéro énergie pose finalement aussi la question de la capacité du réseau à absorber les surplus d'énergie produits et à fournir l'énergie manquante. Cette capacité est nécessaire pour permettre que la compensation soit effective. La généralisation de cette logique pourrait entraîner de fortes modifications des objectifs de production d'énergie renouvelable, pour viser une production globale relativement uniforme tout au long de l'année et non une production annuelle maximale.

La prise en considération de l'ensemble des impacts énergétiques d'un bâtiment et de ses occupants est un exercice complexe.

L'objectif de compensation des consommations énergétiques, de « Net/Near Zero Energy Building » ne sera pas poursuivi ici pour plusieurs raisons :

- La densité urbaine est un objectif essentiel, poursuivi dans ce projet. La densité est déterminante pour :
 - La production d'énergie solaire possible, qui dépend de la surface et de l'exposition de capteurs solaires.
 - Les besoins d'énergie, qui dépendent du nombre d'habitants.

Dans la recherche de la solution la plus durable, c'est la consommation énergétique « par personne » et la production énergétique « sur le site » qui seront optimisées. Le concept de « net/near zero energy building » prône un équilibre entre la production sur le site et la consommation sur ce site (indépendamment du nombre d'occupants). Ceci pourrait mener à une diminution de la densité pour faire correspondre les besoins d'énergie à la production possible, ce qui n'est pas une solution globalement durable. Le bilan proposé par le concept de « net/near zero energy building » ne tient pas compte du fait que la solution la plus dense permet d'éviter la construction d'autres bâtiments, l'urbanisation d'autres espaces...

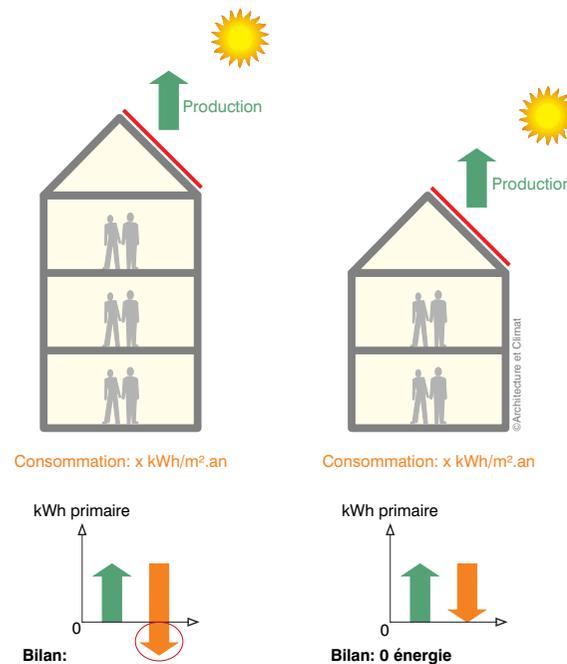


Illustration des possibles effets pervers d'un strict objectif « zéro énergie ».

- Un bilan suivant un indicateur unique (énergie, CO_2 , autre) ne permet pas de garantir le choix optimal de manière globale. Par exemple, un bilan sur le CO_2 mènerait au choix d'une production électrique nucléaire alors qu'un bilan sur la production de déchet ou le risque exclurait cette option. En réalité, à la fois le CO_2 et la production des déchets et la gestion des risques doivent être pris en compte. Il est essentiel de ne pas réduire la question à un seul indicateur.

L'objectif reste donc :

- De minimiser l'ensemble des impacts des consommations énergétiques. La comparaison entre deux projets, deux solutions, se fera toujours :
 - Sur la consommation par personne et la consommation globale, ou par m^2 .
 - Sur base de plusieurs indicateurs (énergie primaire, gaz à effets de serre, déchets nucléaires...).
- De maximiser la production d'énergie renouvelable à l'échelle de l'îlot.

Premier objectif énergétique : Limiter au maximum les consommations d'énergie et leurs impacts

Cet objectif sera poursuivi sur différents points :

→ Consommations de chauffage

- Minimiser les déperditions thermiques par transmission

o Surface de déperdition - compacité

Au niveau des bâtiments neufs, la construction d'un bâtiment compact est un des objectifs, tout en assurant un éclairage naturel suffisant, et en permettant la création d'espaces extérieurs caractérisés par une certaine intimité.

Les bâtiments existants sont peu compacts. Leur architecture est caractérisée par des décrochements et des renforcements de façades et par des circulations verticales extérieures. Deux possibilités ont été envisagées au niveau d'un projet de rénovation :

» Amélioration de la compacité des bâtiments existants :

Quel est l'impact d'une augmentation de la compacité par la suppression de certains renforcements, là où le programme y trouve un avantage ?

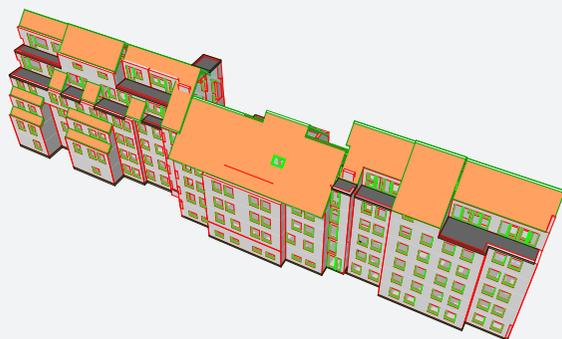
Analyse de l'impact d'une modification de la volumétrie sur les déperditions thermiques : Comparaison entre la volumétrie existante et une solution plus compacte. Cas d'étude : le bâtiment C1C2C3, considéré comme une unité PEB, un volume protégé.

1. Sans modification des compositions de parois (pas d'isolation)

Les parois considérées sont les façades (double mur de brique sans isolation), les dalles de sol (sans isolation), les toitures (6 cm d'isolation) et les toitures plates (non isolées).

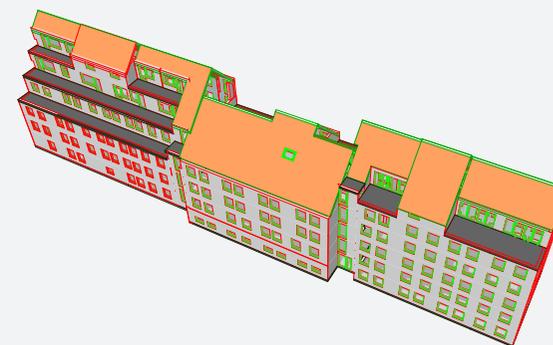
Les ponts thermiques ne sont pas pris en compte.

◊ Volumétrie existante



bâtiments C1C2C3 non isolé		
U moyen:	1,58	W/m²K
Surface de déperdition At:	4854	m²
Volume protégé:	11489	m³
Compacité:	2,37	
K:	109	
besoin net de chauffage:	1893346	MJ/an
	525929	kWh/an
Ach =	4275	m²
besoin net de chauffage par m²	123	kWh/m².an

◊ Volumétrie modifiée pour une plus grande compacité (pas de modification des surfaces vitrées)



C1C2C3 compact non isolé		
U moyen:	1,61	W/m²K
Surface de déperdition At:	4768,7	m²
Volume protégé:	12264,5	m³
Compacité:	2,6	
K:	106,0	
besoin net de chauffage:	1898830,7	MJ/an
	527453,0	kWh/an
Ach:	4691,9	m²
besoin net de chauffage par m²:	112,4	kWh/m².an

Soit une économie d'énergie de 9 % sans changer le U des parois. Uniquement en considérant la modification de la volumétrie.

2. Avec une isolation performante des parois, et une amélioration de l'étanchéité à l'air:

◊ Volumétrie existante.

C1C2C3 existant isolé et étanche à l'air		
U parois opaques	0,15	W/m ² K
U vitrage	1,10	W/m ² K
g vitrage	0,60	
U chassis (bois, 70mm)	1,48	W/m ² K
n50	1,00	1/h
U moyen:	0,15	W/m ² K
Surface de déperdition At:	4853,68	m ²
Volume protégé:	11489	m ³
Compacité:	2,37	
K	27	
besoin net de chauffage:	440797,0	MJ/an
	122443,6	kWh/an
Ach =	4275,4	m ²
besoin net de chauffage par m²	28,6	kWh/m².an

◊ Volumétrie modifiée pour une plus grande compacité (pas de modification des surfaces vitrées).

C1C2C3 compact isolé et étanche à l'air		
U parois opaques	0,15	W/m ² K
U vitrage	1,10	W/m ² K
g vitrage	0,60	
U chassis (bois, 70mm)	1,48	W/m ² K
n50	1,00	1/h
U moyen:	0,15	W/m ² K
Surface de déperdition At:	4768.67	m ²
Volume protégé:	12264.51	m ³
Compacité:	2.57	
K	27	
besoin net de chauffage:	457399,6	MJ/an
	127055,4	kWh/an
Ach =	4691,9	m ²
besoin net de chauffage par m²	27,1	kWh/m².an

Soit une économie d'énergie de 5 %.

Conclusion : l'augmentation de la compacité permet d'améliorer la performance du bâtiment. Cependant :

- L'amélioration des performances de l'enveloppe réduit l'influence de la compacité.

- Augmenter la surface chauffée pour améliorer la compacité diminue la consommation par m², mais augmente la consommation totale et les impacts qui y sont liés si elle ne permet pas d'augmenter la densité d'occupation. On peut considérer l'amélioration des standards de confort, d'espace disponible pour chaque occupant, comme nécessaire ou souhaitable, par rapport au marché ou par rapport au bien-être des occupants, mais cette dynamique va à l'encontre de la minimisation des consommations énergétiques par personne.

» Définition des volumes protégés

Au niveau des circulations verticales, quelle est la solution optimale en termes d'isolation et de compacité ?

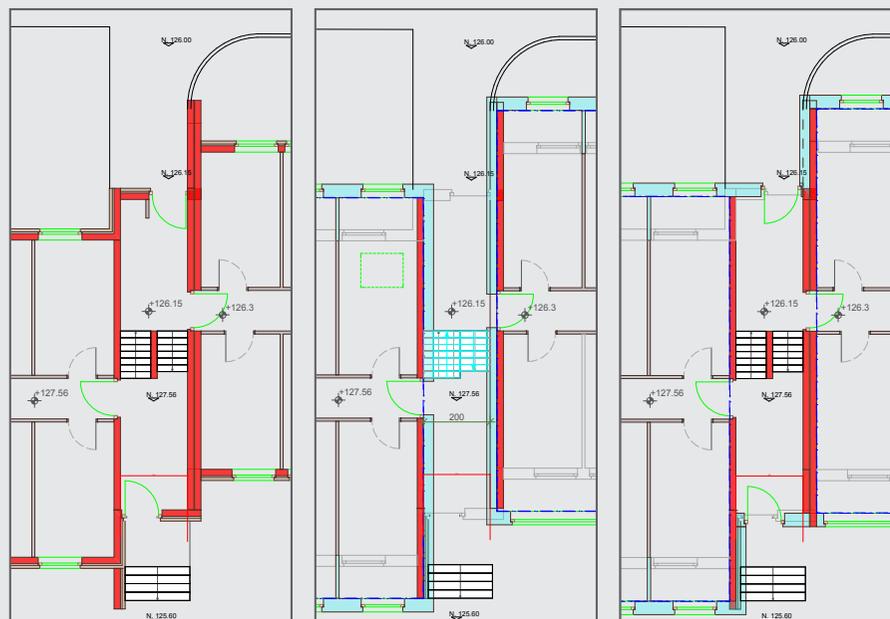
Le bâtiment existant est divisé en 6 bâtiments séparés par les circulations verticales, dont certaines sont intérieures et d'autres extérieures.



Circulations extérieures entre les bâtiments de logement étudiant existants.

Est-il préférable d'inclure ces circulations dans le volume protégé ou de les maintenir à l'extérieur de celui-ci ?

Analyse sur une circulation existante



Situation existante.

Option « OUT » :
circulation en dehors du
volume protégé.

Option « IN » :
circulation
dans le volume protégé.

Option « IN » : Les circulations sont comprises dans le volume protégé.

- L'isolation est réalisée par l'extérieur et les dalles et escaliers ne posent plus de problèmes de pont thermique.
- Cette solution génère une zone tampon, un « sas » protégé, mais non chauffé entre l'extérieur et l'intérieur.
- Possibilité de dissocier « l'enveloppe étanche à l'air », associée à chaque bâtiment, non comprises les circulations verticales et « l'enveloppe isolation thermique » englobant l'ensemble des bâtiments et des circulations verticales.
- Création d'un bâtiment continu qui protège l'espace en intérieur d'îlot et l'arrière du bâtiment des nuisances sonores éventuelles liées aux activités estudiantines de la rue des Blancs Chevaux.

Option out : Les circulations ne sont pas comprises dans le volume protégé.

- L'isolation implique une diminution de l'espace de circulation disponible.
- Nécessité de résoudre les problèmes de ponts thermiques au niveau des jonctions de dalles et d'escaliers et, suivant les cas, de façades. Ceci entraîne la démolition de ces circulations verticales, et la modification du système porteur de ces circulations. Certaines circulations sont actuellement ouvertes sur l'extérieur, d'autres non. C'est pour ces dernières que le problème des ponts thermiques se pose aussi au niveau des façades.
- La solution induit l'équivalence entre les volumes protégés et les volumes chauffés.
- Les circulations (ou certaines circulations) restent / deviennent extérieures. Ce qui augmente la « perméabilité » du bâtiment, au niveau visuel et acoustique.
- Ces divisions claires constituent un repère architectural et marquent les divisions du bâtiment.

Pour évaluer les impacts énergétiques de ces deux options, des simulations dynamiques ont été réalisées avec le logiciel TRNYS. Les résultats sont fortement dépendants des hypothèses considérées et n'ont de valeur que pour leur comparaison.

Option « IN »

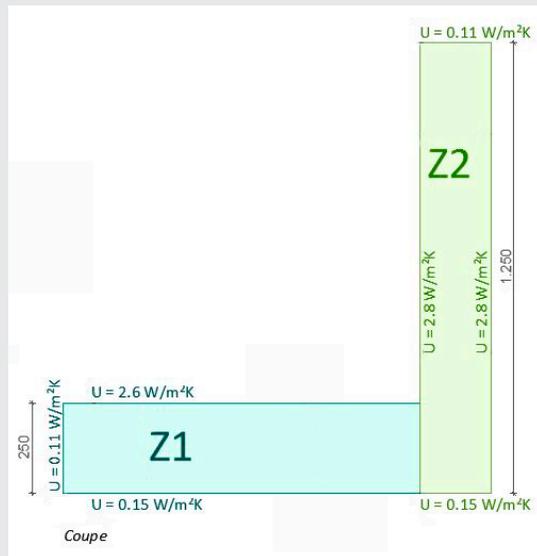
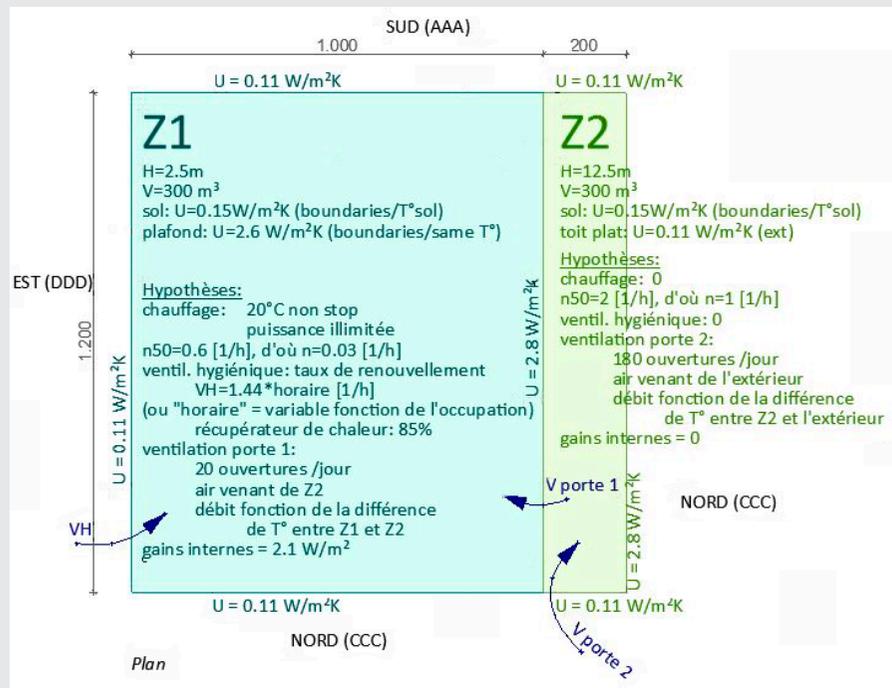


Schéma présentant les hypothèses de simulation pour l'option « IN ».

- Hypothèses concernant la ventilation par l'ouverture des portes :

$$\text{Débit} = Q_v = (1/3) * C_d * H * v(2g * H * \Delta T / T_e) * 3600 \text{ [m}^3/\text{h]}$$

Avec : $C_d = 0.75$ (perte de charge pour grande ouverture)

$$L = 0.9$$

$$H = 2$$

$$G = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$\Delta T / T_e$ variable

$$\Rightarrow Q_v = 7175.7 * v(2\Delta T / T_e) \text{ [m}^3/\text{h]}$$

Temps d'ouverture d'une porte : 10 secondes

$$\Rightarrow Q_{1\text{ouv}} = 19.9 * v(2\Delta T / T_e) \text{ [m}^3/\text{ouverture de porte]}$$

- V_{porte1} :

5 chambres → 20 ouvertures / jour → 0.83 ouverture/h

$$\text{débit } V_{\text{porte1}} = 16.7 * v(2(T_{z1} - T_{z2}) / T_{z2}) \text{ [m}^3/\text{h]} \text{ Pour un volume de } 300 \text{ m}^3$$

$$\text{Taux de renouvellement } V_{\text{porte1}} = 0.056 * v(2(T_{z1} - T_{z2}) / T_{z2}) \text{ [1/h]}$$

- V_{porte2} :

45 chambres → 180 ouvertures / jour → 7.5 ouverture/h

$$\text{débit } V_{\text{porte2}} = 150 * v(2(T_{z2} - T_{\text{ext}}) / T_{\text{ext}}) \text{ [m}^3/\text{h]} \text{ Pour un volume de } 300 \text{ m}^3$$

$$\text{Taux de renouvellement } V_{\text{porte2}} = 0.5 * v(2(T_{z2} - T_{\text{ext}}) / T_{\text{ext}}) \text{ [1/h]}$$

- Dépendance au taux de ventilation par les portes

L'hypothèse du taux de renouvellement d'air provoqué par l'ouverture des portes d'entrée de la circulation et de l'appartement est assez difficile à établir. Une évaluation de la sensibilité du résultat par rapport à cette hypothèse a donc été faite en observant l'influence de ce taux de renouvellement d'air sur l'évaluation des besoins de chauffage

- Ventilation hygiénique de Z1

Estimation via la NBN 50 001

$$\text{Débit} = 3.6 \text{ m}^3 / (\text{h} * \text{m}^2) * 120 \text{ m}^2 = 432 \text{ [m}^3/\text{h]} \text{ pour un volume de } 300 \text{ m}^3$$

$$\text{Taux de renouvellement} = 1.44 \text{ [1/h]}$$

Besoin de chauffage pour Z1

La simulation dynamique par TRNSYS donne comme résultat, un besoin de chauffage de **21.3 kWh/m².an**

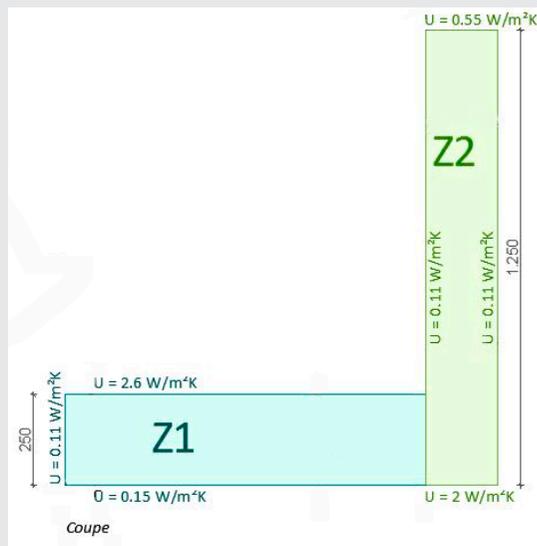
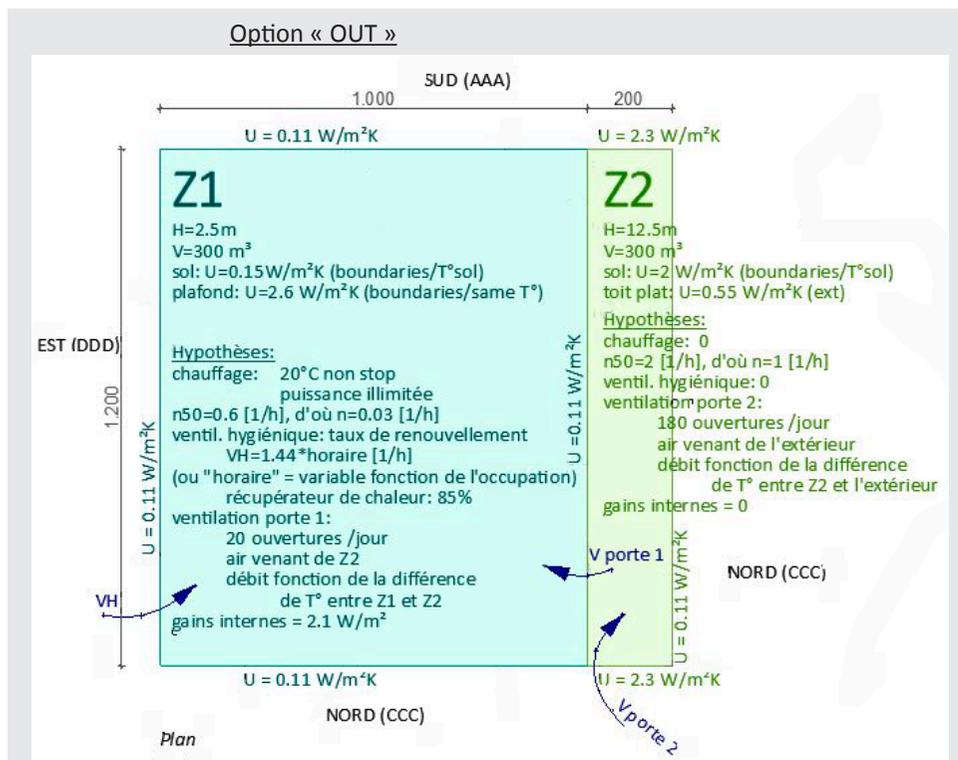


Schéma présentant les hypothèses de simulation pour l'option « OUT ».

- Remarque par rapport à la zone 2.
 Le cas considéré dans la simulation tient compte de la résolution complète des ponts thermiques et d'une zone de circulation fermée, non isolée. Ces hypothèses sont favorables à cette option, puisqu'en pratique, soit la circulation est extérieure, soit elle est intérieure, et les façades créent des noeuds constructifs problématiques pour la continuité de l'isolation si celle-ci se situe à la limite des appartements.
- Hypothèses concernant la ventilation par l'ouverture des portes :
 Les taux de ventilations sont calculés de manière identique au cas 1. Elles sont variables en fonction des différences de T°, et le taux de renouvellement horaire est donc simulé de façon dynamique pour chaque cas, avec des valeurs non identiques.

Besoin de chauffage pour Z1

La simulation dynamique par TRNSYS donne comme résultat, un besoin de chauffage de **22 kWh/m².an**

Conclusions

	Option « IN »	Option « OUT »
V _{porte faible} (*0.5)	20.8 kWh/m ² .an	21.7 kWh/m ² .an
V _{porte moyenne} (*1)	21.3 kWh/m ² .an	22 kWh/m ² .an
V _{porte forte} (*2)	22.3 kWh/m ² .an	22.9 kWh/m ² .an

- La différence entre les deux variantes n'est pas énorme.
- L'option qui consiste à travailler avec une seule enveloppe isolante, dans laquelle les circulations verticales (non chauffées) sont intégrées est légèrement moins énergivore.
- La sensibilité par rapport au taux de renouvellement horaire par les portes n'est pas très importante.
- Il faut noter que dans les deux cas, l'étanchéité à l'air se fait au niveau de l'appartement et n'inclut pas la circulation verticale.
- Il faut noter que concernant le confort, la variante « IN » dans laquelle la circulation est à l'intérieur du volume protégé est aussi la plus intéressante. Ce volume fait office de sas, et garde une température confortable même s'il n'est pas chauffé.

O Isolation des parois opaques

Au niveau des bâtiments neufs, les parois seront isolées jusqu'à une valeur permettant au minimum d'atteindre le standard passif.

Une attention particulière sera portée au choix des matériaux isolants pour minimiser l'impact de cette performance au niveau de l'impact des matériaux.

Au niveau des bâtiments existants, l'isolation sera réalisée par l'extérieur, ce qui permettra de résoudre les problèmes de ponts thermiques. La valeur U maximale sera de 0.15 W/m²K

o Fenêtres

» Conception, dimensionnement

- Éclairage naturel

Les fenêtres seront dimensionnées pour garantir un éclairage suffisant des espaces intérieurs. Les principes permettant d'optimiser l'éclairage naturel pour une taille de vitrage constante seront appliqués. Pour permettre la pénétration et la répartition optimale de la lumière naturelle, la hauteur des fenêtres sera importante, les fenêtres seront si possibles réparties sur les différentes parois de l'espace, la surface de menuiserie sera faible (pas de croisillons...).

Les positions et dimensionnements des baies tiennent également compte de la qualité architecturale des lieux et de l'intérêt spatial des logements.

- Le choix des vitrages se fera par rapport à leurs performances thermiques, pour assurer des déperditions minimales par transmission et une transmission suffisante de la lumière naturelle.
- La conception des fenêtres garantira la possibilité de ventilation naturelle intensive transversale ou par effet cheminée dans le logement. Une ventilation intensive sera possible en cas d'absence des occupants, des ouvertures ne créant pas de risque d'intrusion seront donc prévues pour assurer cette ventilation.

» Rideaux thermiques

Même très performantes, les surfaces de fenêtres restent un point faible de l'enveloppe du bâtiment en ce qui concerne les déperditions thermiques. Leur température de surface est plus froide que celle des parois opaques en période de chauffe. La température opérative, ressentie par l'occupant, moyenne entre la température de l'air et celle des parois s'en trouve diminuée.

L'intérêt des fenêtres pendant les périodes de jour est évident. Quand la nuit est tombée, il n'y a plus d'apport de lumière naturelle et leur rôle de contact visuel avec l'extérieur est généralement réduit.

Un rideau permet de créer une protection thermique supplémentaire, et de supprimer le rayonnement d'une surface « froide » de fenêtre.



Illustration par une thermographie, de la température de surface d'une fenêtre par rapport à celle d'un rideau.

- Plusieurs possibilités de matériaux :

- ◇ La laine, matériau naturel, généralement associée à un autre matériau (polyamide le plus souvent), bon isolant thermique.
 - ◇ Le molleton en coton épais, matériau naturel, isolant phonique et thermique.
 - ◇ Le PET (polyester), matériau synthétique, issu de la pétrochimie, résistant, ayant de bonnes performances d'isolation.
 - ◇ Le PVC, matériau synthétique, issu de la pétrochimie, isolant à la fois contre le froid, la chaleur et le bruit. Il peut être associé à un tissu sur une seule de ses faces.
 - ◇ Les isolants minces peuvent être utilisés, en doublure. Leur faible efficacité en terme d'isolation est connue, ils ne sont donc pas conseillés.
- Un espace suffisant doit être prévu sur le côté de la baie, pour permettre le stockage du rideau en position ouverte sans empiéter sur la fenêtre. La taille de cet espace dépend de la largeur et de l'épaisseur du rideau. À titre d'indication, une largeur minimum de 25 cm semble pertinente.
 - Dans un objectif d'efficacité, il s'agit de minimiser les mouvements de l'air derrière le rideau et de créer l'écran le plus « étanche à l'air » possible. Dans ce but, on peut envisager de placer élément horizontal au-dessus de la tringle qui vient « fermer » l'espace entre le mur et le rideau.
 - Si un radiateur est positionné devant la fenêtre, le rideau sera

placé en retrait par rapport à ce dernier, du côté fenêtre, pour s'assurer que l'air chaud soit distribué vers la pièce et non vers l'espace entre le rideau et la fenêtre.

- La possibilité d'un store thermique peut être envisagée. Un caisson peut être prévu en partie supérieure de la fenêtre, à l'intérieur de l'ébrasement. Une jonction parfaite avec les bords latéraux peut être envisagée par un rail positionné dans l'ébrasement, et le raccord entre le bas du store et la tablette pourrait se faire par un système d'aimants. Un tel store n'existe pas à notre connaissance sur le marché, il pourrait réduire les déperditions thermiques à travers les fenêtres après le coucher du soleil, tout en ayant un encombrement limité et en offrant une esthétique épurée. La mise en oeuvre d'un tel système nécessite de le considérer au niveau du dossier d'exécution, et non comme un aménagement intérieur (réservation pour le caisson, rails intégrés dans les ébrasements, détail de la tablette...).

O Noeuds constructifs et ponts thermiques

Au niveau des bâtiments neufs, la conception sera faite en minimisant les ponts thermiques. Ceux-ci seront analysés, tant par rapport aux déperditions thermiques et à leurs impacts sur la performance globale que par rapport aux températures de surface et à la prévention de problèmes de condensation éventuels.

Pour la rénovation des bâtiments existants, l'isolation par l'extérieur sera privilégiée pour éviter de multiples problèmes de ponts thermiques.

O Création d'espaces semi-extérieurs : quel bilan énergétique ?



Avant-projet A : Espaces de terrasse fermé ou ouvert.

Est analysé ici l'intérêt de la possibilité de fermer l'espace de terrasse pour en faire un espace semi-extérieur, non chauffé, utilisable à l'entre-saison. Le raisonnement qui a mené à une telle option est détaillé au chapitre précédent. Au niveau énergétique, l'analyse a été réalisée à l'aide de simulations, sur base d'une proposition d'appartement.

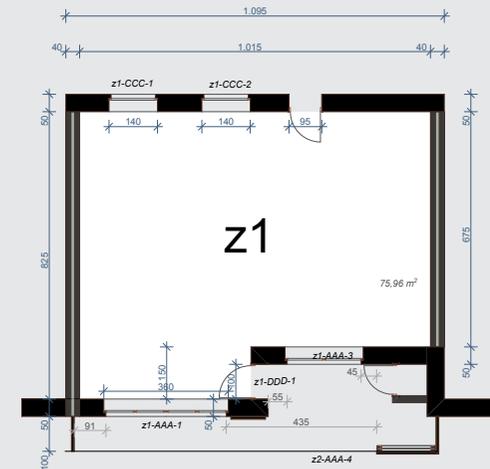
L'idée est d'avoir une terrasse qui peut être fermée par des panneaux coulissants et former un volume faiblement isolé, d'une étanchéité à l'air moyenne, et qui peut accueillir des fonctions comme la lessive et le séchage du linge, du rangement, des activités de bricolage...

Cette conception a plusieurs implications :

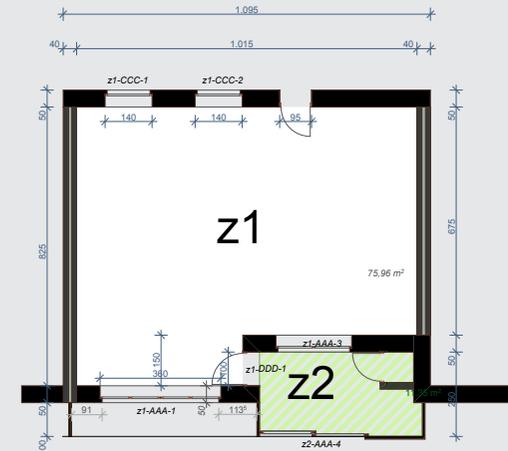
- » Réduction de la lumière naturelle dans les espaces intérieurs. Dans la solution présentée ci-dessus, la profondeur de la terrasse n'est pas modifiée, et l'espace qui perd de la lumière est la chambre principale, qui n'est en général que peu utilisée pendant la journée.
- » La conception et le coût des châssis coulissants et parois mobiles ainsi que leur robustesse et leur qualité en termes d'étanchéité à l'air sont des points critiques pour que cet espace soit une réelle plus-value. Le coût sera évalué par rapport au coût global.
- » Le bilan énergétique d'une telle solution doit être évalué en tenant compte :
 - de la perte de gains solaires (orientation et ombrages) ;

- de la diminution des déperditions thermiques à travers les parois en contact avec la terrasse fermée ;
- de l'écobilan des parois de fermeture de la terrasse ;
- De la surface de logement libérée par l'utilisation de la zone pour certaines fonctions.

1. Évaluation de l'impact au niveau des consommations de chauffage par des simulations thermiques sur base des espaces et des hypothèses détaillés ci-après :



Cas 0 : terrasse ouverte.



Cas 1 : terrasse fermée.

La zone Z1 correspond à l'ensemble d'un appartement 1 chambre.

La zone Z2 correspond à la terrasse qui peut être ouverte (cas 0) ou fermée (cas 1).

Z1

volume:	196,6 m ³
surface:	76,0 m ²
taux d'infiltration n50:	0,6 [1/h]
taux d'infiltration pression norm:	0,03 [1/h]
ventilation double flux:	205 m ³ /h; 1,1 [1/h]; rendement de 85%
consigne de t°:	20° la journée, 16° la nuit
gains internes:	2,1 W/m ²
	159,6 W
	574,6 kJ/h

Calcul du débit de ventilation suivant la norme:	3,6 m ³ /h.m ²	débit horaire m ³ /h	taux de renouvellement horaire (1/h)
pulsion séjour	40,3	145,08	204,8
pulsion chambre	16,6	59,76	
extraction wc		25	150,0
extraction cuisine		75	
extraction sdb		50	

parois:	façade arrière chambre	fenêtre	façade latérale séjour	fenêtre	façade rue	fenêtre	fenêtre	porte entrée opaque
en contact avec:	Z2 / ext		Z2 / ext		extérieur			extérieur
orientation:	AAA = S-E		DDD = N-E		CCC = N-O			CCC = N-O
surface:	12,7	3,6	3,9	2,3	26,475	2,325	2,325	2,0
composition:	beton isol enduit	bois-alu 3 V	mur opaque	bois-alu 3 V	mur opaque	chassis bois 3 V	chassis bois 3 V	chassis bois isolé
U	0,15/0,2	0,61/0,7	0,15/0,2	0,61/0,2	0,15	0,61	0,61	0,56
g	-	0,584	-	0,584	-	0,584	0,584	-
ombrage:	-	-	-	-	-	oui	oui	-

parois:	façade arrière séjour	portes - fenêtre	sol	plafond	mitoyen droit	mitoyen gauche
en contact avec:	extérieur		voisin	voisin	voisin t°= tz1	voisin t°= tz1
orientation:	AAA = S-E		horizontal	horizontal		
surface:	12,7	8,1	76,0	76,0	21,5	17,6
composition:	mur opaque	chassis bois 3 V	hourdi béton - pl bois	hourdi béton - pl bois	mur opaque	mur opaque
U	0,15	0,61	1,1	1,1	0,6	0,6
g		0,584				
ombrage:	-	oui (auvent 100cm + latéral)	-	-	-	-

Z2

volume:	30,6 m ³
surface:	11,4 m ²
taux d'infiltration n50:	4,4 [1/h]
taux d'infiltration pression norm:	0,22 [1/h]
ventilation sans échangeur (air ext)	-
consigne de t°:	-
gains internes:	-

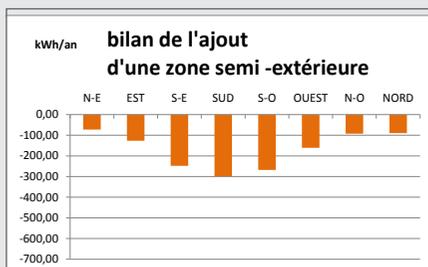
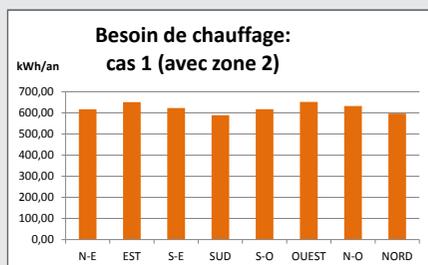
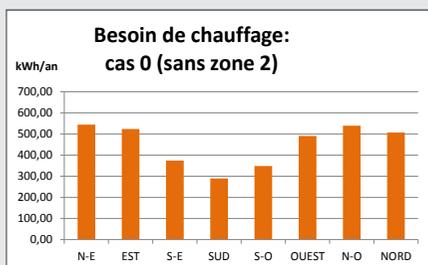
si pulsion de l'air de z2 dans z1 30,6 m³/h
taux de renouvellement horaire Z2 6,68 1/h
renouvellement avec de l'air extérieur

si ventilation naturelle de Z2 avec de l'air extérieur. Taux de renouv Z2: 40,86 m³/h
1,3 1/h

parois:	façade arrière chambre	fenêtre	façade latérale séjour	fenêtre	panneau bois	chassis mobile	panneau bois
en contact avec:	Z1		Z1		extérieur	extérieur	extérieur
orientation:					AAA = S-E	AAA = S-E	BBB = S-O
surface:	12,7	3,6	3,9	2,3	4,374	8,748	2,268
composition:	mur opaque	chassis bois 3 V	mur opaque	chassis bois 3 V	paroi opaque	bois - simple V	paroi opaque
U	0,15/0,2	0,61/0,7	0,15/0,2	0,61/0,2	0,56/0,4	5,68	0,56/0,4
g		0,584		0,584		0,855	
ombrage:	-	-	-	-	-	non	-

parois:	sol	plafond	mitoyen latéral droit	mitoyen latéral droit
en contact avec:	voisin	voisin	voisin t°= tz1	ext (balcon voisin)
orientation:	horizontal	horizontal		DDD = N-E
surface:	11,4	11,4	4,1	2,7
composition:	hourdi béton - carrelage	urdi béton - carrel	mur opaque	mur opaque
U			0,15	0,56
g				
ombrage:			-	-

Les résultats obtenus, suivant les orientations arrière¹ :



Le projet SUD est caractérisé par une orientation SUD-EST arrière. On observe naturellement une plus grande influence de l'orientation, qui détermine les gains solaires, dans le cas où il n'y a pas d'espace semi-extérieur (zone 2).

Le bilan permet d'arriver à la conclusion que l'ajout d'un espace semi-extérieur a un impact négatif sur les besoins de chauffage de la zone 1 (l'appartement).

Ceci s'explique par le fait que la diminution des gains solaires par les fermetures de la zone 2 a un impact négatif qui est supérieur à l'impact positif de la diminution des déperditions thermiques à travers les parois en contact avec la zone 2.

La diminution des gains solaires se fait sur toutes les fenêtres arrière. Les deux fenêtres qui sont en contact avec la zone 2 n'ont plus du tout de gains solaires, tandis que la fenêtre du séjour (AAA1) se trouve bordée par un ombrage latéral qui limite la zone 2.

Le potentiel d'économie d'énergie par la diminution des déperditions thermiques à travers des parois très bien isolées (U = 0.15) est faible. Il se fait via une diminution de la différence de température entre l'intérieur et l'« extérieur » (la température moyenne de la zone 2 est en moyenne 4.85 °C supérieurs à la température extérieure pendant la

¹ Le fait de considérer l'orientation comme variable est une approximation théorique qui ne tient pas compte du fait que la conception est influencée par l'orientation.

période de chauffe).

Pour le cas du projet SUD (orientation AAA = S-E), on peut calculer ce potentiel, sur base d'un calcul dynamique des températures dans les zones 1 et 2, par le calcul suivant :

durée de la période de chauffe (01/10-30/04) : 5085 h/an

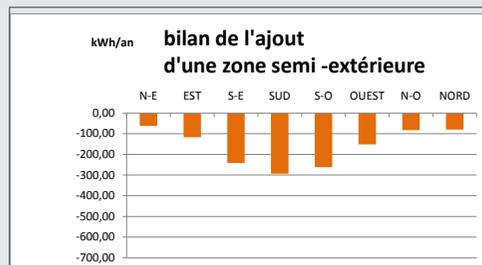
pertes par transmission		=	U [W/m²K]	*	Surf [m²]	*	delta T° (Z1-ext) [K]	*	durée [h/an]	=	Result
Qtr cas0		=	0,15	*	9,1	*	14,48	*	5085	=	100,5 kWh/an
			0,6	*	3,6	*	14,48	*	5085	=	159,0 kWh/an
											259,5 kWh/an
Qtr cas1		=	0,15	*	9,1	*	9,64	*	5085	=	66,9 kWh/an
			0,6	*	3,6	*	9,64	*	5085	=	105,9 kWh/an
											172,8 kWh/an
potentiel d'économie sur les pertes par transmission (Qtr cas0 - Qtr cas1) =											86,8 kWh/an
											4337,8 kWh/50 ans

Si on considère une chaudière gaz et un rendement global de 80 %, on peut déduire un impact au niveau de la consommation en énergie primaire :

Bilans sur base des simulations TRNSys			
Le cas de l'orientation Sud-est arrière: AAA= 315° (S-O), BBB= 45° (N-O), CCC=135° (N-E), DDD=225° (S-E)			
niveau d'isolation des parois adjacentes: niveau de base (passif)			
simulation avec des débits de ventilation variables, suivant la pratique			
besoin d'énergie de chauffage:			
cas 0 (sans z2)	374,39	kWh/an	pour une surface de 76 m²
cas 1 (avec z2)	621,3	kWh/an	pour une surface de 76 m²
évaluation des consommations, en énergie primaire, liées à ces besoins d'énergie de chauffage, avec comme hypothèses, un rendement global de 80% et une chaudière gaz			
consommation de chauffage (énergie finale):			
cas 0 (sans z2)	468,0	kWh/an	
cas 1 (avec z2)	776,5669244	kWh/an	
facteur de passage à l'énergie primaire = 1 pour le gaz naturel de ville			
consommation de chauffage (énergie primaire):			
cas 0 (sans z2)	468,0	kWh/an	pour une surface de 75,6 m²
cas 1 (avec z2)	776,6	kWh/an	pour une surface de 75,6 m²
différence:	-308,6 kWhprim/an		

Ces simulations ne prennent pas en compte la diminution de la surface chauffée rendue possible par la délocalisation de certaines fonctions (principalement lessive et séchage du linge) dans la zone 2. Évaluation de cette surface : machine à laver (0.6 m * 0.6 m) + accès (0.9 m * 0.6 m) + zone séchage (0.6 m * 0.6 m) + 10 % pour les cloisons... = 1.4 m².

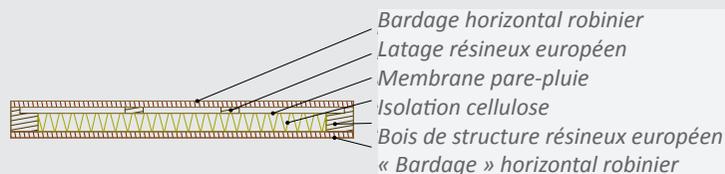
La modification du besoin de chauffage du cas 0 pour correspondre à une surface chauffée de 77.4 m² au lieu de 76 m² n'amène qu'une très faible variation, le bilan reste négatif pour toutes les orientations.



Même si on considérait le cas 0 avec une surface équivalente à la somme de Z1 et Z2 (87 m²), le bilan resterait négatif (quasi nul pour l'orientation Nord).

2. Évaluation de l'énergie grise de la paroi supplémentaire nécessaire pour délimiter Z2, une zone semi-extérieure

La zone est délimitée par des parois en bois opaques faiblement isolées, fixes ou mobiles, et par des châssis coulissants, en bois, simple vitrage.



Le bilan sur l'énergie grise des matériaux est réalisé sur une durée de 50 ans, en tenant compte des différentes phases du matériau (fabrication, remplacement éventuel et élimination en fin de vie)¹.

paroi opaque bois			Energie grise/m ² paroi			
Composants	Densité kg/m ³	Epaisseur m	fabrication	remplacement	élimination	total
bois de bardage feuillu européen	800	0,02	377,60	377,60	3,49	758,69
lattage en bois résineux européen	600	0,002	29,52	29,52	0,26	59,30
Freine-vapeur film de polyéthylène PE	850	0	0,00	0,00	0,00	0,00
matelas de cellulose	70	0,054	80,14	80,14	0,00	160,27
poutre bois massif résineux européen	600	0,006	88,56	88,56	0,78	177,90
bois de bardage feuillu européen	800	0,02	377,60	377,60	3,49	758,69
			953,42	953,42	8,02	1914,85
					en kWh	531,90

¹ Données issues des travaux de S. Trachte.

chassis bois 20cm - simple vitrage	Composants	Surface m ²	Energie grise/m ² paroi			total
			fabrication	remplacement	élimination	
théorie	cadre en bois dur	0,3	1119,21	0,00	85,80	1205,01
	double vitrage	0,7	234,23	0,00	4,33	238,57
base de donnée autrichienne ecosoft	simple vitrage	0,7	152,62	0,00	4,33	119,28
					1	1324,29
					en kWh	367,86

énergie grise des parois qui constituent les limites de la zone2, sur 50 ans				
	surface	énergie grise /m ² de paroi [kWh/m ²]	énergie grise [kWh]	durée d'observation
paroi opaque b	5,85	531,90	3111,6	sur 50 ans
fenêtre (chassis)	8,3	367,86	3053,2	sur 50 ans
total			6164,9 kWh	sur 50 ans

Le bilan énergie grise de la création d'une paroi supplémentaire pour délimiter une zone semi-extérieure est de :

- » 6 165 kWh/50 ans ;
- » 123 kWh/an.

Le bilan énergétique est négatif. L'ajout d'un espace semi-extérieur ne serait positif énergétiquement que s'il avait très peu d'impact sur les gains solaires, et/ou que les parois adjacentes n'étaient pas bien isolées.

Ce dernier cas, bien que permettant éventuellement un bilan positif, resterait moins performant que le cas simulé dans lequel les parois sont isolées pour atteindre un U de 0.15 Wm²K.

Ce type de solution pourrait être intéressant sur le plan énergétique quand certaines parois ne peuvent pas être isolées (façades classées ?) ou lorsqu'il n'y a pas de gains solaires.

Cette solution peut être évaluée sous les aspects autres qu'énergétiques. Il est alors intéressant de relativiser cette consommation supplémentaire.

Si l'on considère un taux de démission du gaz naturel de 0.198 kg CO₂/kWhprim², 308 kWh par an d'augmentation de la consommation de chauffage, émettent environ 61 kg de CO₂.

Si l'on considère un taux d'émission de l'électricité : 0.29 kg CO₂/kWhprim³ et que l'énergie grise des matériaux est principalement de l'électricité, les 123 kWh/an de la paroi supplémentaire (énergie grise sur 50 ans divisée par 50) impliquent une émission de 35.8 kg de CO₂.

² Source des taux d'émission par kWh : énergie + (<http://www.energieplus-lesite.be>).

³ Source des taux d'émission par kWh : énergie + (<http://www.energieplus-lesite.be>).

Un total de 96.9 kg de CO₂/an, qu'on peut comparer au coût énergétique de :

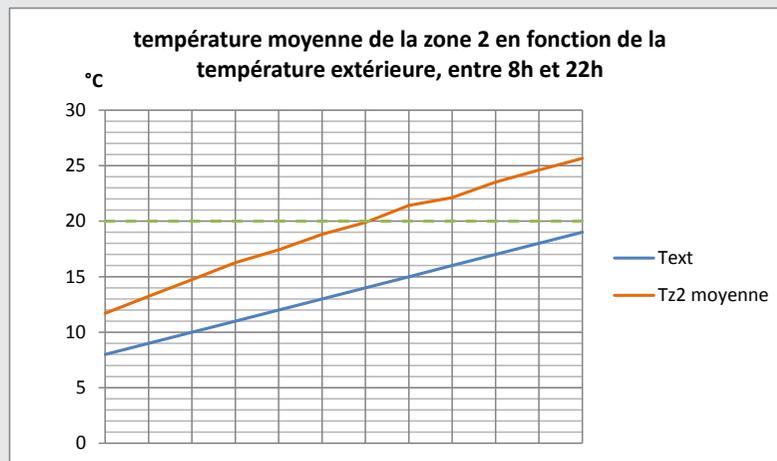
- » 2.7 kg de bœuf¹ ;
- » 98 km en voiture (avec une voiture peu polluante)².

3. Analyse des températures dans la zone semi-extérieure (zone 2)

Pour évaluer complètement cette solution, il paraît intéressant d'observer la température dans la zone 2 en fonction de la température extérieure.

L'analyse qui a été faite ici se décrit comme suit : la simulation est faite avec les hypothèses décrites plus haut, sur une année type. Une ventilation de la zone deux a été ajoutée, avec un taux de renouvellement horaire de 1.3 h⁻¹ pour répondre au besoin d'air frais en cas d'occupation de la zone.

On arrondit les températures extérieures à des nombres entiers et on calcule la température moyenne de la zone 2 pour chacune des températures extérieures, quand celle-ci a lieu entre 8 h et 22 h. La simulation considère que la zone 2 est fermée, ce qui ne sera pas le cas constamment en période estivale. Cette évaluation est reprise dans le graphe ci-dessous. Les températures excessives de la zone 2 correspondent à des moments où la zone devrait être au moins partiellement ouverte, ce qui réglerait immédiatement tout problème de surchauffe.



¹ Amoès. (2007). 1 kg de bœuf consommé, 36 kg de CO₂ rejeté. [08/02/08]. Disponible : <http://blog.amoès.com/post/2007/08/02/1kg-de-boeuf-consomme-36-kg-de-CO2-rejete>.

² Hypothèse : émissions de CO₂ : 99 g/km.

La moyenne de la différence de température entre Z2 et l'extérieur, pour des températures extérieures entre 8 et 19 °C, est de 5.6 °C. On observe sur ce graphe qu'à partir d'une température extérieure de 13 °C, la température de la zone 2 est supérieure à 18 °, ce qui en fait une zone tout à fait utilisable pour une série d'activités (séchage du linge, bricolage, semis...)

- Minimiser les déperditions de ventilation et d'infiltration

o Étanchéité à l'air

L'étanchéité à l'air du bâtiment neuf sera réalisée pour satisfaire au standard passif. Cette performance est caractérisée par un taux de renouvellement d'air mesuré à une différence de 50 Pa (noté η_{50} et obtenu par le test « blower door » selon la méthode A) inférieur ou égal à 0,6h⁻¹ selon NBN EN 13829. L'enveloppe d'étanchéité à l'air sera étudiée pour :

- » Garantir sa continuité dans l'ensemble des jonctions et percements.
- » Éviter les risques de dégradations, par l'intervention humaine (cloisons techniques pour limiter les risques de percement) ou par le temps (jonctions mécaniques pour éviter les conséquences d'une dégradation des colles).

L'étanchéité à l'air du bâtiment existant sera réalisée, de préférence par l'extérieur, pour faciliter la continuité du système. Les détails seront étudiés pour permettre les raccords entre les différents éléments.

Les circulations verticales ne sont pas comprises dans l'enveloppe d'étanchéité à l'air.

L'objectif est fixé à un taux de renouvellement d'air mesuré à une différence de 50 Pa (noté η_{50} et obtenu par le test « blower door » selon la méthode A) inférieur ou égal à 1 h⁻¹ selon NBN EN 13829.

o Ventilation hygiénique

- » Débits et régulation

La ventilation naturelle ne permet pas de contrôler facilement les flux d'air. Il est donc difficile de garantir à la fois un taux de renouvellement d'air suffisant pour assurer la qualité de l'air intérieur, et un taux de renouvellement le plus faible possible pour minimiser les déperditions thermiques. De plus, il est difficile de récupérer la chaleur sur l'air de ventilation sortant naturellement³.

³ Ce type de systèmes a été mis en oeuvre à BEDZED, mais il n'y a pas beaucoup d'information technico-scientifique disponible sur le sujet et le dispositif prend nécessite un espace important. Les informations

Pour permettre un contrôle des débits d'air, tous les logements seront équipés d'un système de ventilation mécanique.

Le système de ventilation est dimensionné pour répondre à la norme de ventilation en vigueur. Le débit de ventilation peut être réglé pour correspondre au mieux aux besoins réels en termes de renouvellement de l'air.

Dans le cas des systèmes double-flux (système D, amenée et évacuation mécanique de l'air), les appareils proposent en général 3 réglages du débit, qui correspondent environ à 1/3 débit de la norme, 2/3 débit de la norme, débit de la norme.

La régulation par défaut se fait, de manière similaire au réglage d'un thermostat, par un profil horaire spécifiant un taux de ventilation de consigne pour chaque période. L'usage est de ventiler sur la position 2 en cas de présence, 1 en cas d'absence et la nuit, et 3 en cas d'occupation exceptionnelle.

Plusieurs questions se posent par rapport à cette régulation :

- Un débit de 1/3 du débit de la norme est-il suffisant pendant la période de sommeil, pendant laquelle les habitants sont présents ? Est-il possible de différencier le débit des chambres à coucher de celui des pièces de séjour ? La ventilation en position 2 pendant la nuit est-elle suffisamment silencieuse pour ne pas déranger le sommeil ?
- Est-il nécessaire de maintenir une ventilation pendant les périodes où le logement n'est pas occupé ? Quel est le débit nécessaire ? La présence d'animaux et de plantes dans le logement influence-t-elle ce débit ? Quel sont les facteurs qui altèrent la qualité de l'air en période d'inoccupation (émissions de COV ?), comment les limiter ?
- Le calibrage des débits intermédiaires est-il adapté ?

Pour optimiser les débits, des tests seront réalisés, après réalisation, pour comparer la qualité de l'air à la qualité de l'air attendue (CO₂, humidité), et adapter les débits si nécessaire.

Un système C, ou C+ pourrait être envisagé dans le cas de la rénovation. Les débits seront optimisés par rapport à des mesures prises pendant une période d'occupation. La régulation se fait sur base d'une mesure du taux d'humidité dans les sanitaires. Des mesures de taux de CO₂ dans les séjours seront prises, pendant une période d'occupation, pour vérifier que le renouvellement d'air nécessaire est atteint.

» Récupération de chaleur sur l'air de ventilation hygiénique

Un système de ventilation double flux avec échangeur de chaleur permet de récupérer la chaleur sur l'air extrait et de préchauffer l'air entrant. Ce système permet de maîtriser les débits d'air dans le logement et de réduire significativement les pertes par ventilation. Au niveau de la consommation d'énergie, on doit considérer, à côté de l'économie d'énergie thermique, la consommation électrique due au fonctionnement des ventilateurs et l'énergie grise du système mis en oeuvre.

- Énergie électrique de fonctionnement - économie d'énergie thermique.

Les nombreux exemples dans lesquels des systèmes de ventilation double-flux sont installés ainsi que les logiciels PHPP et PEB attestent de l'intérêt de l'installation d'une VMC avec un échangeur de chaleur au niveau des économies d'énergie. La consommation électrique des ventilateurs est compensée par l'économie d'énergie de chauffage en hiver, sur un bilan annuel en énergie primaire.

- Système D, système C, système hybride.

Dans un système D « classique », les ventilateurs fonctionnent toute l'année, alors que l'économie d'énergie thermique n'est effective qu'en période de chauffe. Pour optimiser le système, on peut envisager un système de ventilation hybride, changeant suivant les saisons. Un système D pendant la période de chauffe et un système C ou A pendant le reste du temps. Les consommations électriques liées à ces différents scénarios ont été évaluées avec le logiciel PEB. Les systèmes évalués correspondent approximativement à un logement unifamilial.

1 ventilation système D - volontaire, calcul détaillé													
stork air ComfoD 350													
puissance nominale ou maximale: 243 W													
jan	feb	mar	apr	may	jun	jul	aug	sep	oct	nov	dec		
90,4	81,65	90,4	87,48	90,4	87,48	90,4	90,4	87,48	90,4	87,48	90,4		
618,21				446,16									
consommation totale annuelle =				1064,4				kWh prim/an					
				425,7				kWh él/an					

2 ventilation système C - volontaire, calcul détaillé													
stork air ComfoFan Opti-Air													
puissance nominale ou maximale: 73 W													
jan	feb	mar	apr	may	jun	jul	aug	sep	oct	nov	dec		
27,16	24,53	27,16	26,28	27,16	26,28	27,16	27,16	26,28	27,16	26,28	27,16		
185,73				134,04									
conso totale annuelle				319,8				kWh prim/an					
				127,9				kWh él/an					

3 ventilation système hybride: D pendant la période "de chauffe" (début octobre - fin avril), C le reste du temps, à partir d'une VMC fonctionnant uniquement en extraction													
stork air ComfoD 350 / stork air ComfoFan Opti-Air													
243 W / 121W													
jan	feb	mar	apr	may	jun	jul	aug	sep	oct	nov	dec		
90,4	81,65	90,4	87,48	27,16	26,28	27,16	27,16	26,28	90,4	87,48	90,4		
618,21				223,08									
conso totale annuelle				841,3				kWh prim/an					
				336,5				kWh él/an					

4 ventilation système hybride: D pendant la période "de chauffe" (début octobre - fin avril), A pendant le reste du temps													
stork air ComfoD 350 / système A													
243 W / -													
jan	feb	mar	apr	may	jun	jul	aug	sep	oct	nov	dec		
90,4	81,65	90,4	87,48	0	0	0	0	0	90,4	87,48	90,4		
618,21				0									
conso totale annuelle				618,2				kWh prim/an					
				247,3				kWh él/an					

économie entre solution 1 et 3				223,1				kWh prim/an				
économie entre solution 1 et 4				446,2				kWh prim/an				

Bilan énergétique de différents scénarios de ventilation. Ventilation double flux avec échangeur, uniquement ou couplée avec un système C ou A en dehors des périodes de chauffe.

Les scénarios ci-avant permettent de calculer les économies d'énergie qu'on peut attendre d'un arrêt complet ou partiel de la ventilation mécanique en dehors de la période de chauffe.

Installer un deuxième système d'évacuation d'air dans les locaux humides, parallèlement au système de ventilation mécanique, semble difficilement imaginable en terme d'encombrement dans les gaines techniques, etc. Par contre, certains modèles de VMC permettent de ne faire fonctionner que le ventilateur d'extraction d'air. C'est ce type de système qui est considéré dans le scénario 3.

L'optimum en terme d'économie d'énergie serait donc d'avoir une ventilation double flux en hiver et simple flux en été.

Cette solution nécessite de prévoir des amenées d'air naturelles dans les locaux de séjour :

- ◇ Grilles de ventilation dans les châssis caractérisés par des débits faibles qui permettent d'optimiser la période de non-utilisation de la VMC mais ont un coût, économique, et esthétique et sont sources de déperdition thermique pendant l'hiver (en position fermée).
- ◇ Ouverture des fenêtres position oscillante, qui ne demande aucune attention particulière, mais peut générer un débit de ventilation plus important, susceptible de raccourcir la période pendant laquelle la VMC n'est pas utilisée.

Prévoir une ventilation hybride peut sembler compliqué en termes de gestion par l'occupant. Pourtant, l'expérience montre que certains propriétaires de systèmes de ventilation double flux coupent simplement le système en été, sans qu'il y ait de stratégie prévue pour assurer la ventilation d'une autre manière. Dans ce cas, on peut s'attendre à une qualité de l'air insuffisante. Une ventilation « hybride » permet donc à la fois d'économiser une partie de la consommation électrique des ventilateurs et d'assurer une ventilation suffisante quelle que soit la période considérée.

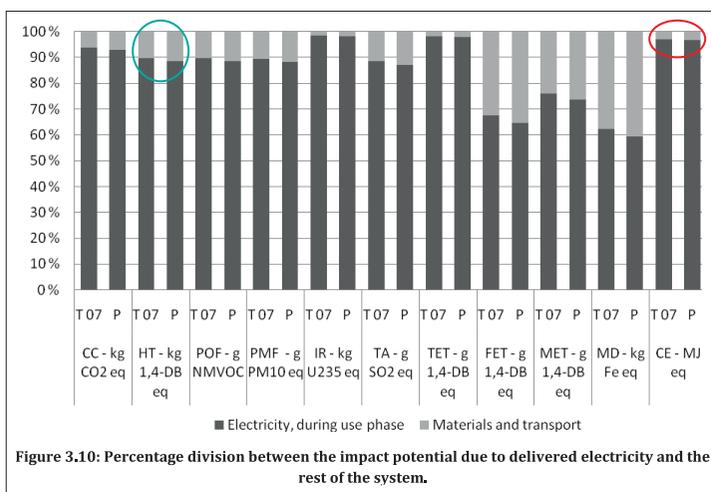
- Évaluation de l'impact de l'énergie grise

Pour mesurer l'impact de la VMC sur les ressources énergétiques disponibles, il faut considérer l'énergie grise du système installé dans le bilan global.

Une thèse intitulée *Heating and Ventilation of Highly Energy Efficient Residential Buildings : Environmental Assessment*

of *Technology Alternatives*¹ propose une analyse de la consommation d'un groupe de ventilation double flux avec échangeur rotatif sur base d'une déclaration du fabricant et de la base de données d'écoinvent. La figure 3.10, issue de cette thèse et reprise ci-après, présente les résultats pour les impacts de la ventilation. Elle présente la proportion des impacts causés par la consommation électrique des ventilateurs, et par les matériaux et les transports inhérents à la mise en oeuvre du système, sur une durée de vie de 50 ans.

Le scénario P représente les résultats dans un cas de maison passive, T07 représente un autre niveau de performance énergétique, caractéristique de la situation norvégienne.



Les différents impacts présentés sont : émissions de gaz à effet de serre (CC) — toxicité pour les êtres humains (HT) — émissions d'oxydants photochimiques (POF) — émissions de particules (PMF) — radiations (IR) — acidification terrestre (TA) — écotoxicité pour les milieux terrestres (TET) — écotoxicité pour les milieux aquatiques (FET) — écotoxicité pour les milieux marins (MET) — épuisement des ressources en métaux (MD) — énergie primaire (CE).

La consommation électrique des ventilateurs est responsable de 93 - 94 % des émissions de gaz à effet de serre (en bleu) et 97 % de la consommation en énergie primaire (en rouge).

Il faut noter que ces résultats ont été calculés sur base d'une

production électrique caractéristique des pays nordiques (NORDEL) dont les impacts sont largement inférieurs à la production d'électricité européenne moyenne² ou belge. De ce fait, dans la même analyse réalisée pour la Belgique, on observerait un impact (encore) plus important de la consommation électrique des ventilateurs par rapport à l'énergie grise du système. En effet, le fonctionnement des ventilateurs est purement électrique alors que l'énergie grise est partiellement électrique et partiellement autre.

Au point de vue de l'énergie, l'impact de l'énergie grise d'un système de ventilation est donc minime par rapport à l'énergie nécessaire à son fonctionnement. Ceci permet de valider les évaluations des systèmes de ventilation basées sur la comparaison entre la consommation de leurs ventilateurs et le gain thermique qu'on peut en attendre.

» Critères pour optimiser la VMC au niveau des consommations énergétiques :

- système de ventilation double flux décentralisé, par appartement / kot ;
- appareil de bonne performance, alimenté en courant continu ;
- système conçu et dimensionné pour :
 - ◇ Assurer la bonne isolation acoustique.
 - ◇ Limiter les pertes de charge dans le réseau, et donc les consommations électriques des ventilateurs (locaux humides groupés).
 - ◇ Assurer une étanchéité à l'air des réseaux aérauliques³ performante, ce qui nécessite d'assurer la performance des composants de réseaux et de leurs assemblages. La classe d'étanchéité des réseaux sera contrôlée par des mesures de débit de fuite in situ.
 - ◇ Permettre l'entretien aisé (filtres accessibles, nettoyage facile de toutes les conduites).
 - ◇ Permettre une ventilation maximale ponctuelle : pour permettre une extraction suffisante dans les locaux humides en cas d'arrêt ou de fonctionnement ralenti de la VMC en période estivale, des interrupteurs seront installés dans

2 D'après [SØRNES, 2011], dans la base de donnée Ecoinvent, le mix nordique (NORDEL) a un impact moyen de 0.21 kg CO2 eq/kWh, alors que la production européenne (RER) a un impact moyen de 0.56 kg CO2 eq/kWh.

3 [CETIAT, 2012]

1 [SØRNES, 2011].

les locaux d'extraction, pour déclencher une ventilation renforcée ponctuelle, sur minuterie.

- ◇ Conception des logements en prévoyant de l'espace pour les appareils, gaines...
- ◇ Exemple de dimensions d'appareil¹ :
largeur : 62 cm - hauteur : 84 cm - épaisseur : 57 cm.
- ◇ Espace pour les conduites circulaires dans les appartements nécessaires pour le raccordement de l'échangeur (alimentation – évacuation) et la distribution des différents locaux (attention aux croisements).
- ◇ Espace pour les dispositifs acoustiques.
- ◇ Espace pour les gaines d'alimentation et d'évacuation, comprenant leur isolation thermique et acoustique. Prévoir 20 cm (10 cm de bloc lourd + 10 cm d'isolant thermique).

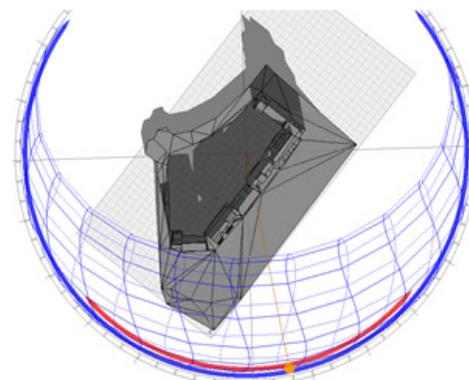
- Optimiser les gains solaires - implantation

L'implantation des bâtiments neufs se fait en tenant compte de l'orientation et des bâtiments existants sur le site pour optimiser l'exploitation du rayonnement solaire dans le bâtiment. Les gains solaires permettent un apport gratuit de chaleur à travers les fenêtres. Ils sont donc à favoriser pendant la période froide, pour limiter le besoin de chauffage, et à contrôler pendant la période chaude pour garantir le confort estival sans refroidissement actif.

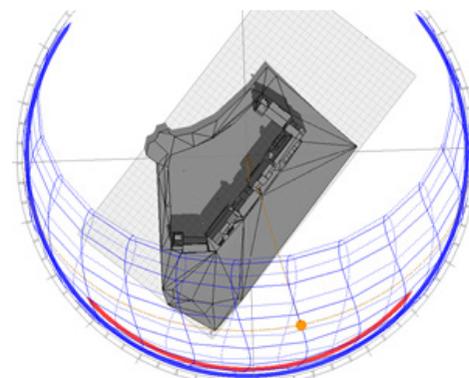
L'orientation et les volumes construits déterminent également l'ensoleillement des espaces extérieurs. La plupart des logiciels de dessin en 3D permettent d'analyser les ombres portées par les volumes construits.

Évaluation des ombres portées par les bâtiments existants, aux solstices et aux équinoxes, à l'aide du logiciel ECOTECT².

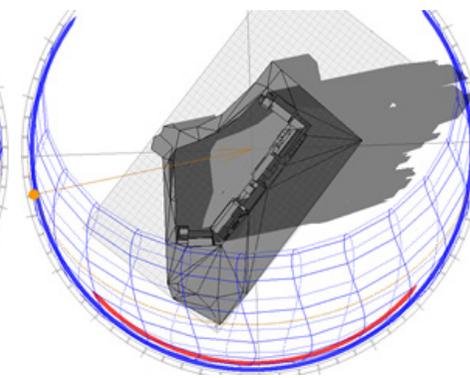
21 décembre – 12 h



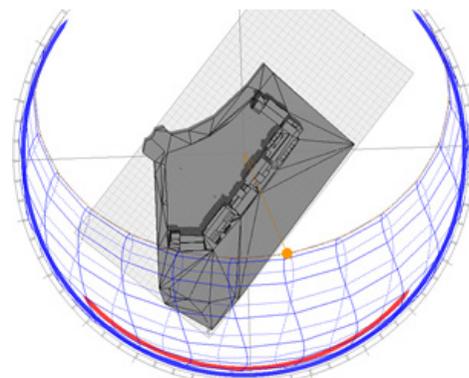
21 mars – 12 h



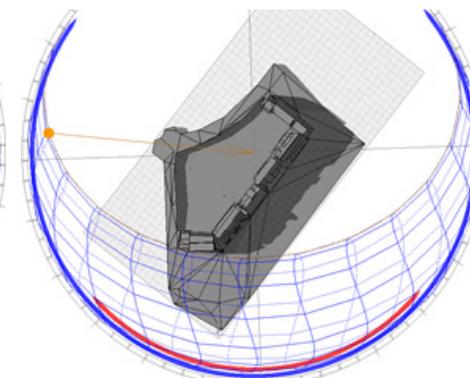
21 mars – 18 h



21 juin – 12 h



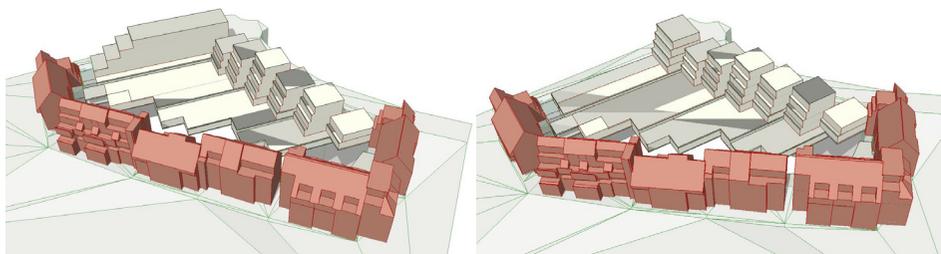
21 juin – 18 h



¹ Dimensions correspondant à l'appareil stork air comfo D 350, pour un logement unifamilial.

² <http://usa.autodesk.com/ecotect-analysis/>.

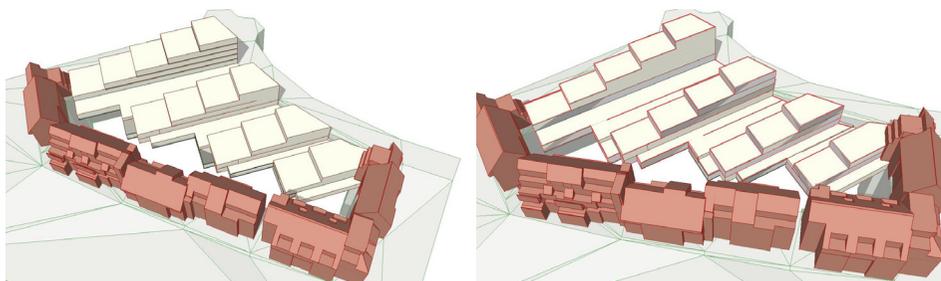
Plusieurs implantations de bâtiments, au stade d'esquisse, ont été évaluées sous l'angle de l'optimisation solaire. Les différentes implantations se basaient sur l'hypothèse d'un parking souterrain d'une centaine de places. Cette contrainte a été abandonnée ultérieurement.



Perspectives schématiques de l'avant-projet 0 (deux variantes, AP0-1 et AP0-2, suivant la présence ou non d'un bâtiment à l'Ouest, le long de la rue du Marathon).

Principes fondamentaux de l'avant-projet 0 (AP0-1 et AP0-2) :

- o Fermeture de l'îlot le long de la route du Longchamp et éventuellement de la rue du Marathon (AP0-1).
- o Suivi de l'orientation des parkings – orientation Sud des façades le long de la route du Longchamp (façades décalées, en redents).
- o Implantation dégageant au maximum l'intérieur d'îlot pour permettre son ensoleillement.
- o Création de terrasses au SUD.



Perspectives schématiques de l'avant-projet 1 (deux variantes, AP1-1 et AP1-2, suivant la largeur des bâtiments).

Principes fondamentaux de l'avant-projet 1 (AP1-1 et AP1-2) :

- o Fermeture de l'îlot le long de la rue du Marathon.

- o Construction le long de la route du Longchamp, avec création d'une série de cours/jardins qui desservent des bâtiments orientés Est-Ouest.
- o Suivi de l'orientation des parkings.
- o Diminution progressive de la hauteur des bâtiments neufs pour réduire l'impact sur les bâtiments existants.
- o Création de grandes toitures-terrasses orientées au SUD.

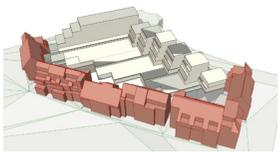
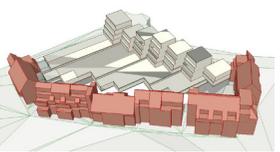
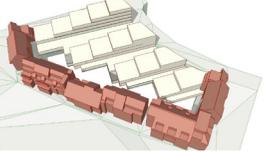
Le logiciel Ecotect¹ permet d'évaluer les gains solaires sur une surface déterminée, pendant une période définie, en tenant compte des ombres portées par les bâtiments voisins. Cette information permet de quantifier les gains solaires valorisables, qui permettront de diminuer le besoin de chauffage des logements. Les avant-projets ont été évalués, avec deux variantes qui représentent des extrêmes entre lesquelles un projet complet peut être développé.

L'évaluation des gains solaires a été complétée par une évaluation des avants-projets en termes de densité de logement, de compacité, d'impact sur l'ensoleillement des façades existantes. Le résultat de ces évaluations est présenté ci-dessous :

Conclusions :

- Tant au niveau de la compacité qu'au niveau des gains solaires, l'avant-projet 0 est plus intéressant que l'avant-projet 1.
- La variante AP0-2, sans construction le long de la rue du Marathon, optimise les gains solaires valorisables.
- La compacité des deux variantes est assez proche.
- La densité des bâtiments neufs varie fortement entre les deux variantes. AP0-1 propose une densité plus importante.

Les ombres portées par les deux variantes de l'avant-projet 0 peuvent être visualisées sur les schémas ci-après, aux solstices et aux équinoxes.

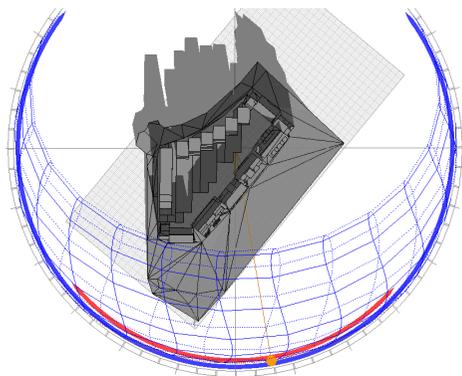
	AP0-1	AP0-2	AP1-1	AP1-2
				
nombre de places de parking	98	98	96	96
surface brute de logement	3807,8	2834,9	4819,1	3722,2
volume brut de logement	11423,1	8297,4	13011,6	10050,1
surface de déperdition	5554	4178,8	7019,3	5925
	façades (m ²)	2466	2983	2829,3
	toitures plates	856,4	2018,2	1547,8
	dalles de sol	856,4	2018,2	1547,8
rayonnement solaire total sur les façades entre le 1er octobre et le 1er avril (somme des surf * rayonnements cumulés associés)	246175,2	190986,7	220155,9	205828,7
gains solaires potentiel (kWh) hypothèse: 20% d'ouvertures au sud, 15% d'ouvertures pour les autres orientations, pas de réduction par le passage à travers le vitrage	40294,31	32307,29	35128,89	32423,90
compacité:	2,06	1,99	1,85	1,70
rayonnement solaire total moyen sur les façades du 01/10 au 01/04 (kWh/m ² /période):	75,69	77,45	73,80	72,75
rayonnement solaire total moyen par m ² de logement du 01/10 au 01/04 (kWh/m ² /période):	64,65	67,37	45,68	55,30
indicateur gains solaire - compacité: rayonnement solaire total/surface de déperdition	44,32	45,70	31,36	34,74
gain solaire sur les fenêtres par m ² de logement du 01/10 au 01/04 (kWh/m ² /période):	10,58	11,40	7,29	8,71
indicateur gains solaire - compacité: rayonnement solaire total/surface de déperdition	7,25	7,73	5,00	5,47
estimation du nombre d'habitants dans les logements neufs (40m ² bruts/hab)	95	71	120	93
estimation de la densité bâtiment neuf (nbre d'habitants / 100m ²) (par rapport à toute la surf non batie actuelle, de 4059m ² , avec une moyenne de 40m ² bruts/pers)	2,35	1,75	2,97	2,29

1 <http://usa.autodesk.com/ecotect-analysis/>

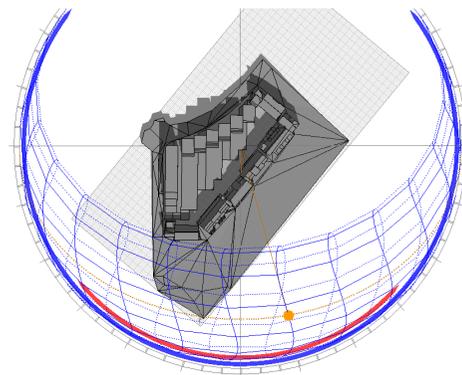
Évaluation des ombres portées sur les espaces extérieurs.

AP0-1

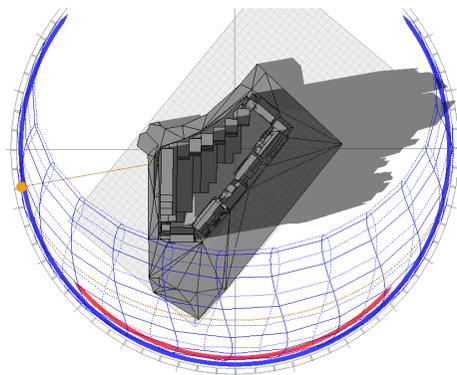
21 décembre – 12 h



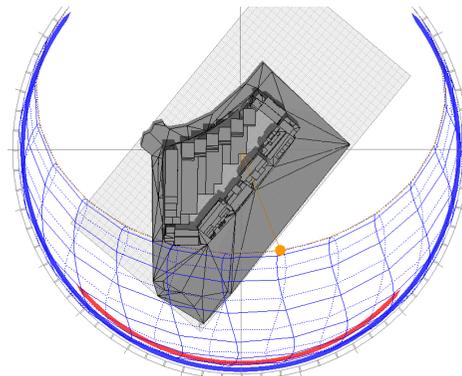
21 mars – 12 h



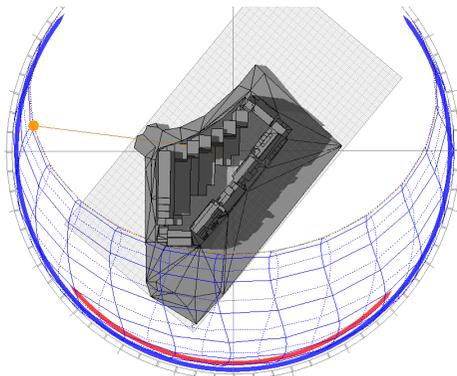
21 mars – 18 h



21 juin – 12 h



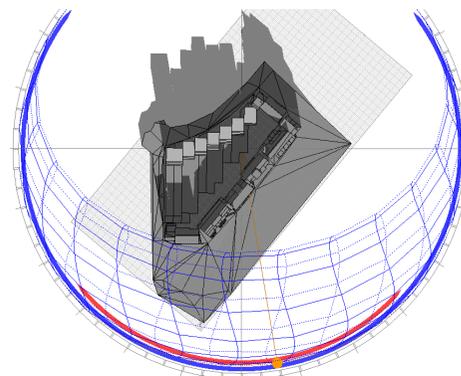
21 juin – 18 h



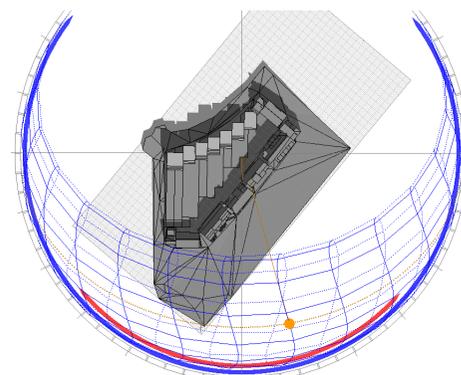
Évaluation des ombres portées sur les espaces extérieurs.

AP0-2

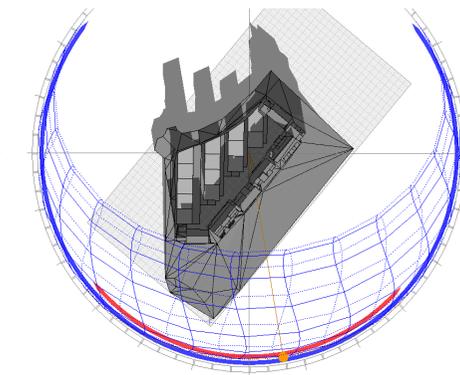
21 décembre – 12 h



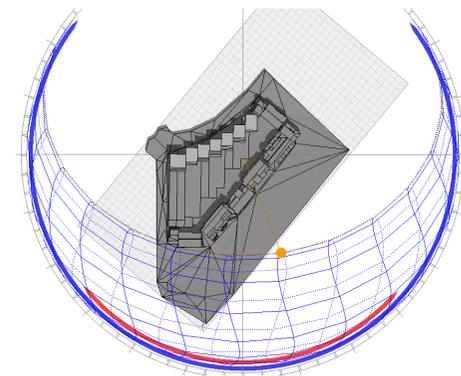
21 mars – 12 h



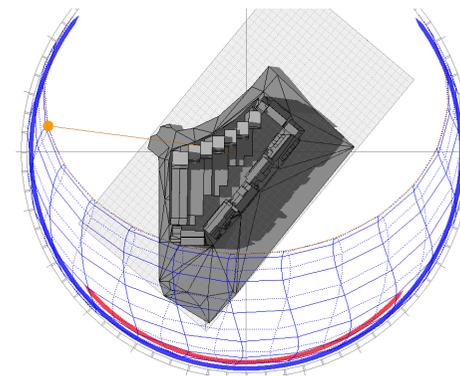
21 mars – 18 h



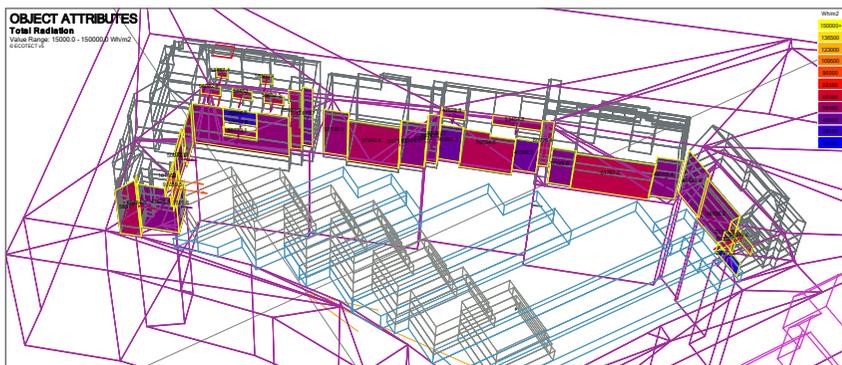
21 juin – 12 h



21 juin – 18 h



L'impact des nouveaux bâtiments sur le rayonnement solaire reçu par les façades arrière des bâtiments existants a été évalué grâce au logiciel ECOTECT. Les gains solaires potentiels sur les façades sont cumulés pour la période du 1er octobre au 1er avril (période de chauffe présumée), et comparés à la situation existante non modifiée pour les différents avant-projets.



Copie d'écran d'une analyse des gains solaires sur des surfaces définies, pour une période limitée.

Le tableau suivant donne le détail des valeurs pour les deux variantes de l'avant-projet 0.

La deuxième variante (AP0-2), la moins dense, qui ne comporte pas de bâtiment construit sur la rue du marathon, permet de minimiser l'impact sur l'ensoleillement des bâtiments existants, ce qui est évidemment bénéfique.

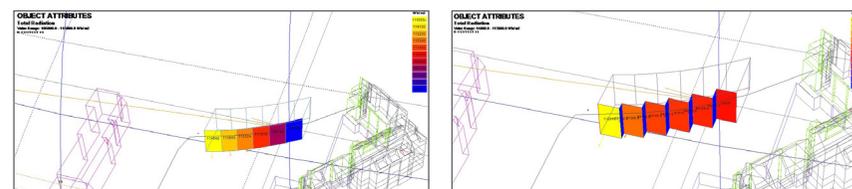
SITUATION EXISTANTE	AP0-1	AP0-2
total radiation (kWh)	total radiation (kWh)	total radiation (kWh)
120246,8	98095,1	104093,0
	-18,4%	-13,4%

Remarque : les gains solaires de la situation existante sont surévalués dans la simulation parce que le relief des terres du parking existant n'a pas été modélisé. La diminution réelle de gains solaires sera donc inférieure à la diminution évaluée par cette analyse. Une modélisation plus précise n'influence pas la comparaison des différentes variantes, elle n'a donc pas été réalisée.

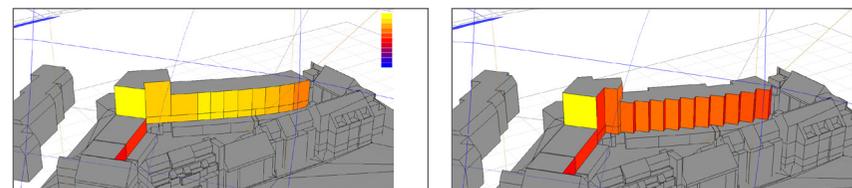
Conclusion : l'avant-projet 0 se démarque positivement au niveau des gains solaires.

L'analyse des deux variantes montre des avantages et des inconvénients aux deux solutions. Le projet développé suivant cette optique d'optimisation solaire se situe entre les deux variantes. Optimiser les gains solaires - orientation et forme de bâtiment

La route du Longchamp est courbe, approximativement orientée NE-SO. L'implantation de places de stationnements suivant l'axe nord-sud, parallèlement à la rue du Marathon, et l'objectif d'optimisation des gains solaires ont d'abord mené à une implantation de bâtiments orientés nord-sud, décalés les uns par rapport aux autres pour suivre la courbe de la rue (AP0). Cette solution a été comparée à un bâtiment courbe suivant la rue.



Au stade de l'esquisse : Évaluations des gains solaires sur les façades arrière, cumulés pendant la période de chauffe.



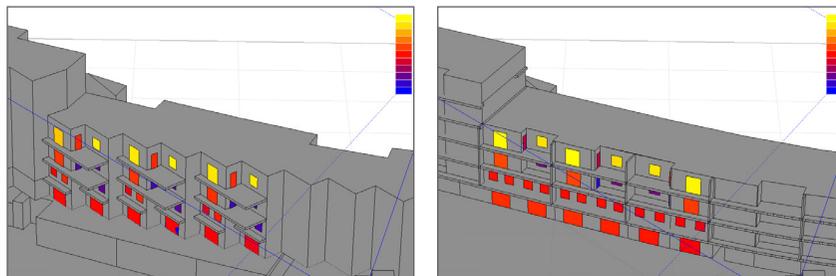
Au stade de l'avant-projet : Évaluations des gains solaires sur les façades arrière, cumulés pendant la période de chauffe.

	surface (m²)	gains solaire total par m², pendant la période de chauffe (Wh/m²)	gains solaire total (kWh)
	73,4	63050	4630,2
	63,2	64350,2	4068,2
	123,0	72086	8863,3
	153,1	118045	18075,5
	111,0	69546,4	7717,8
	307,4	105324	32379,0
	68,4	80911,3	5531,2
	61,9	111850	6921,3
	63,1	110212	6951,7
	69,5	109112	7584,9
	69,5	107360	7462,2
	65,5	105314	6896,8
	71,8	102079	7329,6
	77,4	97199,5	7527,2
	91,5	89729,1	8209,3
TOTAL	1469,7		140148,3
gains solaire total moyen, par m², pendant la période de chauffe (kWh/m²)		95,4	

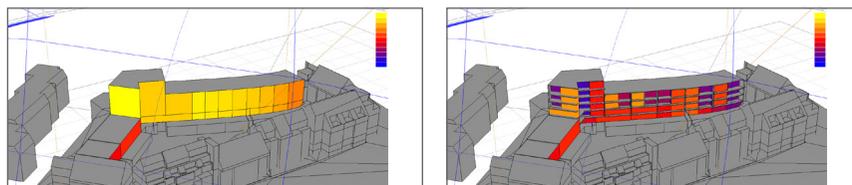
	surface (m²)	gains solaire total par m², pendant la période de chauffe (Wh/m²)	gains solaire total (kWh)
TOTAL	1690,3		133391,2
gains solaire total moyen,		78,9	

La proposition d'un bâtiment courbe est plus intéressante en termes de gains solaires cumulés pendant la période entre le 1er octobre et le 1er avril.

Ces analyses ont été multipliées au fil du développement du projet, pour vérifier la validité de cette conclusion avec différentes implantations de fenêtres, et avec un volume plus détaillé, pour prendre en compte les renforcements et débords de terrasses et balcons.



Évaluations au stade de l'avant-projet sur les surfaces de fenêtres.



	surface (m ²)	gains solaire total par m ² , pendant la période de chauffe (Wh/m ²)	gains solaire total (kWh)
TOTAL	1469,7		140148,3
gains solaire total moyen, par m ² , pendant la période de chauffe (kWh/m ²)		95,4	

	surface (m ²)	gains solaire total par m ² , pendant la période de chauffe (Wh/m ²)	gains solaire total (kWh)
TOTAL	1492,7		99258,3
gains solaire total moyen, par m ² , pendant la période de chauffe (kWh/m ²)		66,5	-30%

Évaluations de l'impact des terrasses au stade de l'avant-projet.

L'évolution de l'avant-projet et la création de renforcements, débords et séparations verticales des terrasses influence les gains solaires. L'ensemble de ces éléments réduit les gains solaires sur les façades d'environ 30 %.

- Inertie thermique

L'inertie thermique a deux effets opposés sur le besoin de chaleur :

Soumise à un profil de consigne de chauffage variable (présence non continue des occupants), la température intérieure d'un bâtiment avec une forte inertie va descendre plus lentement que celle d'un bâtiment avec une faible inertie. Les déperditions thermiques au travers des parois étant proportionnelles à la différence de température (intérieur-extérieur), celles-ci seront plus importantes dans un bâtiment avec une forte inertie. L'inertie entraîne donc une augmentation du besoin de chaleur.

Par ailleurs, l'inertie permet de stocker les gains solaires et internes en évitant des phénomènes de surchauffe, et de les restituer plus tard, quand la température de l'air se refroidit. L'inertie entraîne donc une diminution du besoin de chaleur par une meilleure valorisation des gains de chaleur gratuits tout en imitant les risques de surchauffe.

Dans le contexte de bâtiments très bien isolés, ces deux phénomènes ne sont pas très importants et se compensent, si bien que l'effet de l'inertie sur le besoin de chaleur est faible, mais positif¹.

- Sensibilisation des occupants sur les modes de vie et sur les exigences de confort.
 - Informations sur le fonctionnement du bâtiment.

Les occupants doivent être capables d'occuper le bâtiment en en comprenant le fonctionnement. Ils doivent être informés pour pouvoir assurer le fonctionnement adéquat du bâtiment et de ses systèmes et pouvoir réguler le chauffage en fonction de leur occupation du bâtiment et de leur besoin de confort.
 - Information sur les consommations du bâtiment.

Les occupants doivent être tenus informés de leurs consommations, par poste, et être en mesure de comparer leur consommation à celle de la période précédente, à la consommation prévue ou à la moyenne des consommations des autres habitants. Pour les consommations électriques et d'eau, a priori indépendante du climat, elles seront visibles dans un espace courtement fréquenté (cuisine, hall d'entrée), non protégées par un clapet / armoire... Il serait également intéressant d'indiquer la part de cette énergie produite par les panneaux solaires éventuels. La production instantanée des capteurs photovoltaïques devrait être affichée, ainsi que la disponibilité ou non d'eau chaude sanitaire produite par les capteurs solaires thermiques. L'idée étant que l'occupant peut adapter son comportement à la situation de disponibilité ou de non-disponibilité d'énergie solaire. Les consommations de chauffage pourraient être fournies tous les trimestres, par mail, normalisées. Elles doivent permettre la comparaison facile avec la période équivalente de l'année précédente et la moyenne des habitants.

¹ [MASSART, 2010], p98.

- Minimiser les impacts négatifs de la production de chaleur pour le chauffage.
 - o Rendement de régulation.



Les bâtiments énergétiquement performants, très bien isolés, étanches à l'air et équipés d'une ventilation avec récupérateur de chaleur sont caractérisés par un besoin de chaleur très faible, et très variable dans le temps. En effet, les déperditions sont très réduites et les gains solaires et les gains internes influencent fortement la puissance nécessaire pour chauffer l'espace. L'objectif est de prévoir une régulation qui puisse répondre aux demandes faibles et variables sans générer de surchauffe ni de consommation d'énergie inutile.

L'inertie, en jouant le rôle de tampon entre la production de chaleur et sa diffusion dans l'espace est un des facteurs qui facilite la régulation des bâtiments très performants¹.

Une attention particulière sera portée à la simplicité de compréhension et d'utilisation des systèmes de régulation, en particulier dans les logements étudiants.

Le mode de vie des étudiants habitant des logements communautaires est difficilement prévisible et fortement variable d'un groupe à l'autre, d'une personne à l'autre. Certains ne sont presque jamais présents alors que d'autres occupent le logement en continu, certains utilisent très peu leur espace privatif de chambre, d'autres y passent la majorité de leur temps, la régulation doit permettre de répondre aux différents cas de figure pour assurer le confort des occupants et minimiser le risque de chauffer des chambres inoccupées.

» Possibilités de régulation et régulation réelle

La mission du concepteur s'arrête aux possibilités de régulation des systèmes. L'utilisation de la régulation est une responsabilité de l'occupant.

La programmation de la régulation sera réalisée sur base des observations suivantes :

- Une action de l'occupant sur la régulation est presque toujours motivée par un inconfort (bien plus que par un souci d'économie). Ceci traduit le fait que l'occupant va plus certainement augmenter la consigne de température du chauffage si la température est insuffisante (occupation réelle en dehors des périodes d'occupation programmée) que diminuer la température de consigne en cas d'absence pendant une période d'occupation programmée.
- Dans un bâtiment énergétiquement performant, avec une inertie importante et une occupation intermittente, la température reste relativement stable en l'absence de chauffage. Ce qui implique un inconfort limité en cas de non-correspondance entre le profil d'occupation réel et le profil programmé.

La régulation proposée répondra aux principes suivants :

- consigne de température : 19 °C en cas de présence. Cette consigne ne sera augmentée qu'en cas de sensation d'inconfort des occupants.
- Programmation d'un profil « absence - présence » quotidien et hebdomadaire dans lesquels les moments de présence sont limités aux moments de présence systématique (le matin, pendant la période du souper...).
- Possibilité de dérogation manuelle qui impose une température de consigne « présence » pendant un délai de 2 h, délai après lequel le système revient à la programmation de base.

Dans l'objectif d'optimiser le rendement réel de l'installation :

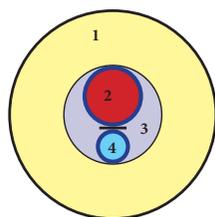
- Un accompagnement des occupants sera réalisé, par le bureau d'étude ou par l'entreprise responsable de l'installation de chauffage, pour la première programmation de la régulation, suivant les principes ci-avant.
- Une explication écrite claire des possibilités de programmation et de dérogation ainsi que des principes à adopter pour minimiser les consommations sera fournie dans le « carnet de l'habitant ». L'explication sera illustrée et correspondra exactement aux appareils mis en place. Dans le cas des logements étudiants, l'information sera affichée à côté du thermostat et la possibilité de fixer la programmation sera évaluée (programmation de base fixée, dérogation manuelle temporaire possible).

¹ [MASSART, 2010], p98.

O Rendement de distribution (optimiser la conception, minimiser les pertes).

- » La conception visera à limiter au maximum les longueurs de conduites.
- » Toutes les conduites seront fortement isolées.

La PEB (région bruxelloise) définit des épaisseurs en fonction du milieu ambiant, du diamètre de la conduite et de la nature de l'isolant¹. Ces épaisseurs définiront les exigences minimales en matière de calorifugeage des conduites pour le projet SUD. Pour éventuellement décider d'aller plus loin, les impacts économiques et écologiques de différentes options seront évalués². Pour le dimensionnement, une épaisseur d'isolant de 6 cm sera prévue pour les conduites d'eau. À noter : un fabricant propose des conduites intégrant l'aller et le retour de l'eau chaude dans la même conduite.



Principe de double conduite intégrée :

1. isolant ;
2. eau chaude - aller ;
3. air ;
4. eau chaude - retour.

» La production de chaleur sera centralisée, pour différentes raisons :

- Les pertes de ballons de stockage individuels (système décentralisé) sont globalement équivalentes aux pertes de la boucle sanitaire bien isolée d'un système centralisé.
- La solution centralisée permet des économies financières³.
- Possibilité d'installer les systèmes en sous-sol, et de libérer de l'espace dans les appartements/kots.
- Facilité d'utilisation d'énergie renouvelable.
- Entretien aisé, géré de manière collective.

O Rendement de production

Le rendement de production dépendra de la technologie utilisée pour la production de chaleur, mais aussi des températures exigées, et des

¹ La réglementation chauffage PEB, La réception des systèmes de chauffage de type 1, disponible sur http://documentation.bruxellesenvironnement.be/documents/201010_reception_type1_Prof_FR.PDF.

² Un fichier excell permettant le calcul de l'impact économique et écologique de l'épaisseur de l'isolant est disponible sur le site d'énergie + <http://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=11290#c522>.

³ Source : entretiens avec MATRIciel, conclusion de leurs multiples études de cas particuliers.

profils de demande. Il est essentiel de veiller à ce que la chaudière fonctionne le plus souvent possible dans la gamme de puissance qui lui permet d'avoir le meilleur rendement, et de veiller à ce que les périodes de fonctionnement soient suffisamment longues par rapport au cycle de combustion caractéristique de la technologie⁴. Les rendements renseignés par les fabricants caractérisent le fonctionnement de la chaudière en régime. Son rendement en phase d'allumage est beaucoup moins bon. L'un des objectifs de la conception du système de chauffage sera de minimiser les cycles de fonctionnement court, éventuellement par l'ajout d'un ballon tampon.

O Recours à une source de chaleur produite par une autre fonction.

Avant de se poser la question de la production, il est essentiel d'examiner les possibilités éventuelles d'usage de chaleur déjà produite, ou à produire dans un autre objectif que le chauffage. Ceci nécessite la recherche d'une source de chaleur non exploitée dans les environs directs du site. Deux possibilités ont été identifiées et sont à analyser plus précisément :

- » Valorisation de la chaleur excédentaire des cuisines du restaurant « Le piano », implanté sur le site. La chaleur produite est relativement faible, mais pourrait néanmoins être valorisée, par exemple sur base d'une pompe à chaleur sur l'air de ventilation.
- » Utilisation de la production de chaleur inhérente aux calculs informatiques comme radiateur. Cette technologie n'est pas liée au site observé, mais pourrait être implantée. Elle existe et est actuellement expérimentée à Paris⁵.

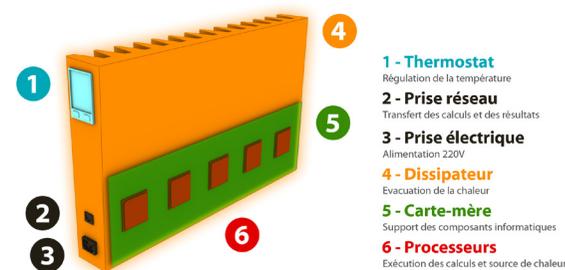


Schéma et photo des radiateurs « Qarnot-computing », fonctionnant sur ce principe.

⁴ [MASSART, 2010], p135-136.

⁵ Article de la revue informatique « goodplanet.info » du 11/07/2013 <http://www.goodplanet.info/Contenu/Depeche/Et-si-on-se-chauffait-au-calcul-informatique/%28theme%29/270> société Qarnot computing : <http://www.qarnot-computing.com/>.

Le principe est de remplacer des « data centers », lieux où sont centralisés des processeurs informatiques consommateurs d'électricité et producteurs de chaleur, par des installations décentralisées, réparties dans les logements. L'électricité de fonctionnement est payée par la société qui commercialise le calcul informatique, cette solution lui permet d'économiser la construction de bâtiments, et permet une valorisation optimale de la chaleur produite. La régulation est similaire à celle d'un chauffage électrique, une connexion internet est indispensable.

Cette solution est très séduisante et permettrait éventuellement également d'augmenter la consommation électrique d'un consommateur unique (la société de calcul informatique), ce qui peut avoir un impact sur la valorisation d'électricité renouvelable produite sur place. Elle nécessite la présence d'une société proposant cette technologie. La gestion de la demande de calcul en dehors des périodes de chauffe est aussi une question. La société parisienne travaille d'une part avec des demandes de calcul qui diffèrent suivant la saison, d'autre part avec une partie de ses équipements située dans des locaux qui peuvent être chauffés en dehors de la période de chauffe.

O Production de chaleur : source énergétique et technologie utilisée

Les différentes possibilités seront évaluées finement par le bureau d'étude en charge du projet.

Critères de choix du système de production de chaleur
Consommation d'énergie non renouvelable
Émissions de polluants (CO ₂ , particules fines, COV, ...)
Espace technique nécessaire
Gestion - entretien
Coût - investissement
Coût - consommation

» La chaudière au gaz naturel

Cette solution sera probablement la plus intéressante au niveau financier et au niveau de la facilité de mise en oeuvre, mais le gaz reste une ressource fossile amenée à s'épuiser et au coeur d'enjeux géopolitiques majeurs. La combustion du gaz émet aussi différents polluants.

» La cogénération



L'intérêt économique et environnemental de cette solution doit être analysé pour le cas particulier du projet. Il est lié au contexte des politiques énergétiques et environnementales (certificats verts, primes, tarification du rachat de l'énergie...) ainsi qu'aux profils de besoin de chaleur de consommation électrique. Ces éléments sont déterminants et particuliers à chaque projet, ce qui empêche toute généralisation et impose une étude détaillée pour chaque cas spécifique.

Une première évaluation de la pertinence d'une cogénération dans le cas du projet SUD a été réalisée avec l'outil « COGENcalc » mis à disposition par la Région wallonne¹. Les résultats sont encourageants, mais la marge d'erreur de cette estimation varie entre 20 % et 30 %. Une évaluation plus détaillée prenant en compte toutes les pertes et consommations auxiliaires ainsi que des profils de besoin de chaleur et de consommation électriques précis devra être réalisée².

Pour optimiser le système de cogénération installé, le dimensionnement est fait par rapport à la quantité de chaleur qui doit être produite, ce qui détermine le nombre d'heures de fonctionnement, le rendement de l'installation et la production d'électricité. Les optimisations aboutissent en général à une couverture, par la cogénération, d'environ 2/3 de la puissance nécessaire dans le cas le plus défavorable, l'appoint de puissance étant amené par un autre système de production de chaleur, typiquement une chaudière.

¹ Outil COGENcalc, téléchargeable sur <http://energie.wallonie.be/fr/cogencalc.html?IDD=11717&IDC=6111>.

² Outil COGENsim, caractérisé par une marge d'erreur d'environ 10 %

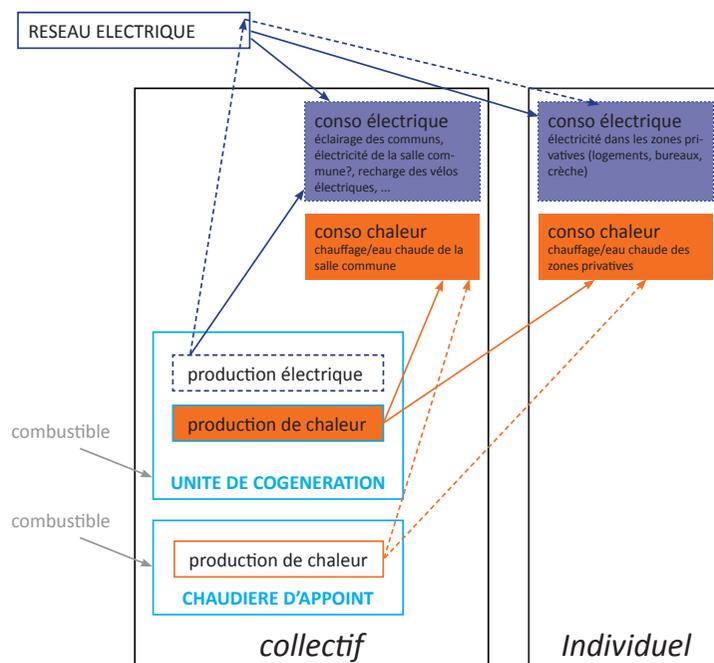


Schéma de production de chaleur / électricité dans une cogénération dimensionnée par rapport au besoin de chaleur total (collectif + individuels).

La production de chaleur génère une production électrique, qui est consommée sur place pour les équipements collectifs.

L'électricité produite collectivement ne peut être revendue aux particuliers (la collectivité deviendrait alors distributrice d'électricité, ce qui est difficilement envisageable légalement et techniquement).

La production électrique non consommée par les communs est revendue au réseau. Actuellement, le kWh produit par le collectif est vendu au réseau à un tarif très bas, et racheté par le consommateur individuel au tarif normal. De ce fait, la production de certificats verts est la principale valorisation de l'électricité produite et non utilisée collectivement.

En Wallonie, le système de cogénération peut éventuellement être dimensionné pour ne produire que l'électricité utilisée collectivement¹. Le complément de chaleur alors est produit par une chaudière traditionnelle.

¹ À Bruxelles, l'optimisation de la cogénération par rapport à la consommation de chaleur, via le logiciel « optitherm » est obligatoire.

Cette caractéristique économique et législative (interdiction d'utiliser le réseau pour distribuer l'énergie produite collectivement aux unités de logement individuelles et prix de rachat de l'énergie produite à un tarif bas) a des conséquences sur la conception et le mode de gestion de l'énergie commune. Dans le cadre de l'optimisation d'un système de cogénération, le but est de consommer sur place un maximum de l'électricité produite. Cet objectif peut se traduire par la mise en place d'équipements collectifs comme des points de recharge de vélos électriques, une buanderie commune, un système de ventilation centralisé.

L'alimentation d'équipements privés, situés à l'intérieur des appartements, par l'électricité produite par la collectivité, constitue un risque d'abus (détournement de l'électricité des communs pour les usages privés) qu'il est préférable d'éviter, en tous cas dans le contexte des logements étudiants.

La question ici dépasse le problème technique et devient une question politique et législative d'une part, et de gestion de la vie en commun d'autre part.

Le combustible utilisé pour la cogénération peut être :

- Le gaz, avec les avantages et les inconvénients cités ci-avant.
- La biomasse (huile végétale, en général de colza).

Ce combustible a l'avantage de se faire à base d'une source d'énergie renouvelable. La technologie des moteurs à huile est proche de celle des moteurs diesel, et est maîtrisée. D'un point de vue CO₂, cette solution est beaucoup moins polluante que le gaz (il y a donc plus de certificats verts).

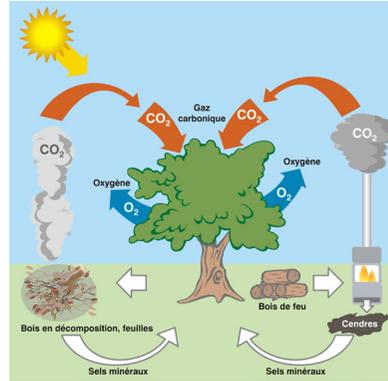
La filière du colza est très jeune et la qualité de l'huile produite peut varier, ce qui peut provoquer des avaries mécaniques au niveau des moteurs. Depuis peu, il existe certaines normes qui garantissent la continuité de la qualité de l'huile végétale.

Une cogénération à l'huile végétale implique des contraintes de stockage et d'approvisionnement régulier.

L'utilisation de biocarburant, pose par ailleurs la question de l'usage de la surface agricole pour la production d'énergie, au détriment de la production alimentaire.

L'intérêt économique d'une cogénération à l'huile végétale doit être analysé pour l'échelle du projet et par rapport au contexte politique (certificats verts, primes...).

» La chaudière à la biomasse solide (pellets)



Au niveau de la ressource :

- L'utilisation de la biomasse comme combustible permet de s'affranchir des énergies fossiles pour la production de chaleur.
- Les déchets de bois peuvent servir à de multiples usages et leur utilisation pour la fabrication de pellets implique une concurrence avec des produits dérivés tels que les panneaux de particules de bois.
- Le prix des pellets varie en fonction du conditionnement, de la zone géographique et du fournisseur.
- La qualité des pellets influence le rendement du système et les émissions de polluants.
- L'approvisionnement et le stockage de combustible sont des contraintes qui ont des conséquences sur la gestion des immeubles et sur les espaces techniques nécessaires.

Au niveau des polluants :

- Un bilan global au niveau des émissions de CO₂ est très intéressant, même si la combustion du bois entraîne une émission de CO₂ locale.
- La combustion du bois entraîne l'émission d'autres polluants, en particulier les particules fines.

Au niveau de la technologie et des rendements :

- Le cycle de combustion des pellets est relativement long (environ 1/2h). Pour garantir un bon rendement, il est essentiel de concevoir le système avec, comme critère, la limitation des phases de démarrage (ballon tampon).
- Le coût de ce type de chaudière est élevé.

» La pompe à chaleur

La pompe à chaleur permet de valoriser l'énergie thermique du sol ou de l'air extérieur. C'est une solution environnementalement intéressante, mais relativement coûteuse. Elle sera analysée en détail par le bureau d'étude.

→ Consommations pour la production d'eau chaude sanitaire (ecs).

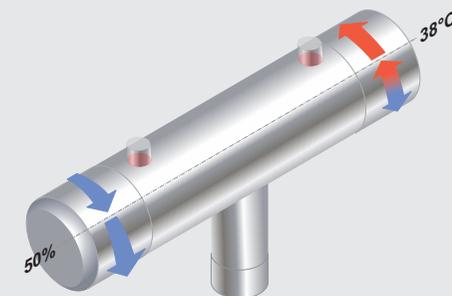
• Limitation des besoins

o Sensibilisation des occupants

- » Via le manuel de l'occupant, qui doit renseigner le mode de production d'eau chaude sanitaire, sa régulation et les impacts de sa consommation.
- » Dans les sanitaires étudiants, un petit slogan ou un dessin de sensibilisation humoristique imprimé sur les portes de douche ou sur les carrelages sera envisagé. Cette initiative pourrait être faite en partenariat avec un kot à projet sur l'environnement (éco-kot).
- » Les consommations seront visibles pour l'occupant. Soit par l'intermédiaire du compteur, soit par un rapport périodique.

o Robinetterie économisatrice d'eau chaude

- » Toutes les baignoires et douches seront équipées de pommeaux économiques, avec limiteur de débit dynamique, pour un débit de 6 litres/minute.
- » Tous les robinets seront équipés de limiteurs de débits et de mousseurs, pour réduire le débit à un maximum de 6 litres/minute.
- » Toutes les baignoires et douches seront équipées de robinets thermostatiques.

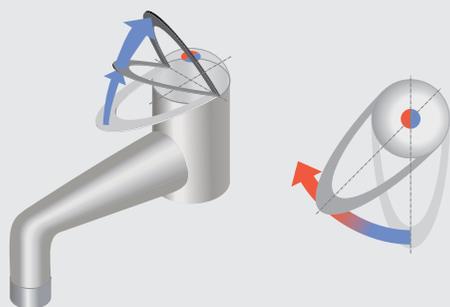


Mitigeur thermostatique avec fonctions « éco »¹.

1 [SUISSE ENERGIE, 2012].

- *Frein du débit : une limite est mise à 50 % du débit maximum, elle peut être dépassée en débloquant le bouton.*
- *Frein d'eau chaude : une limite est mise à 38 °C, elle peut être dépassée en débloquant le bouton.*
- *Réglage exact de la température, qui reste constante malgré les variations de pression. Économies d'eau et d'énergie.*

» Les cuisines seront équipées d'éviers doubles et de mitigeurs avec une limitation du débit et un positionnement de l'eau froide au centre.

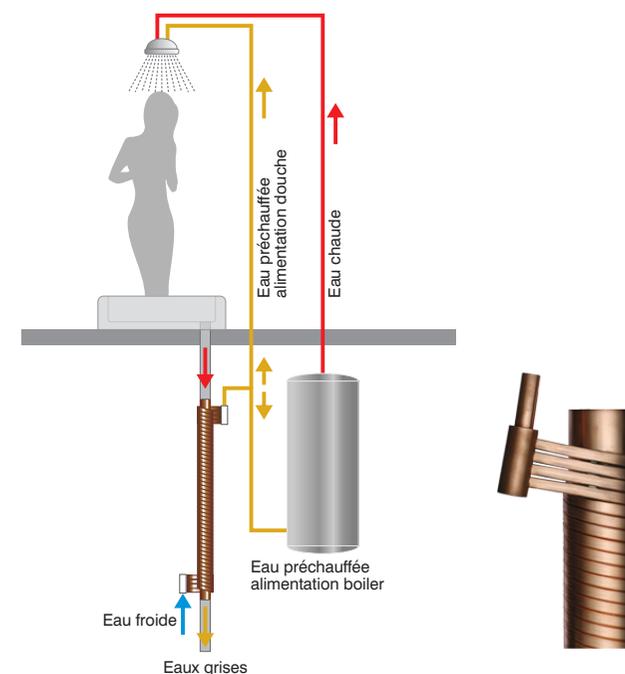


Mitigeur monocommande avec fonctions « éco »¹ :

- *Réglage de la commande au milieu - eau froide.*
- *Frein d'eau chaude : résistance sensible lors du passage à la plage « eau chaude ».*
- *Résistance sensible lors du dépassement de la plage « éco ». Économise jusqu'à 30 % d'eau et d'énergie.*

» Dans le cas des logements étudiants, le débit sera fixe et le déclenchement se fera par bouton poussoir, pour un temps limité.

- Récupération de chaleur instantanée sur les évacuations d'eaux grises.
Pour réduire la consommation d'eau chaude sanitaire utilisée pour les douches, un système de récupération de chaleur sur l'évacuation des eaux grises sera installé.



Principe de fonctionnement d'un système de récupération de chaleur sur les eaux de douche.

Le fonctionnement de ce système se base sur le principe de tension superficielle selon lequel, dans les conduites verticales, l'eau a toujours tendance à s'écouler le long des parois. Cette propriété permet de récupérer la chaleur des eaux grises en remplaçant, sur une certaine longueur, l'habituel tuyau de décharge en PVC par un tuyau en cuivre. Le long de cette portion de décharge verticale en cuivre vient s'enrouler la canalisation d'amenée de l'eau froide, elle aussi en cuivre.

Ce système très simple constitue un échangeur eau-eau. La qualité de cette solution est déterminée par le taux d'efficacité de l'échange de chaleur et par la limitation des pertes de charge dans la canalisation d'eau froide. Un système de ce type sur le marché permet de faire circuler entre 20 et 30 l par minute suivant les modèles, sans perte de charge notable. Aucun entretien n'est nécessaire et la durée de vie est théoriquement illimitée. Il est essentiel que l'évacuation et le puisage d'eau chaude soient simultanés. C'est pourquoi ce type de système, dans le logement, est particulièrement adapté aux douches. Des échangeurs horizontaux, plus compacts, sont aussi disponibles.

Le gain énergétique d'un tel système dépend de multiples facteurs tels que les performances du récupérateur (diamètre, longueur, position par rapport à la douche...), la consommation d'eau chaude sanitaire pour les douches (importante dans le cas des logements étudiants) et les impacts du système de production d'eau chaude sanitaire de départ.

¹ [SUISSE ENERGIE, 2012].

Ce type de technologie est courant au Canada et reconnu en France. Des tests de rendement ont été réalisés par des organismes indépendants et une méthode de calcul officiellement reconnue est disponible¹.

- Limitation des impacts du système de production d'eau chaude sanitaire
 - o Favoriser la production par capteurs solaires thermiques
 - » Dans le cas des logements non étudiants, et si la cogénération n'est pas retenue comme option, des panneaux solaires thermiques seront installés. La surface allouée à cet usage sera définie pour avoir le meilleur rendement global, en couvrant complètement les surfaces de toitures bien exposées de capteurs solaires, thermiques et photovoltaïques.
 - » Dans le cas des logements étudiants, qui ne sont occupés que 5 jours sur 7 et qui sont peu occupés pendant les mois d'été, l'installation de panneaux solaires photovoltaïques sera privilégiée.
 - o Rendement de distribution

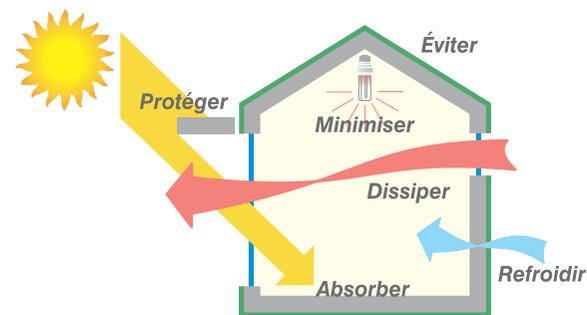
Les principes de conception des réseaux d'eau chaude sanitaires sont identiques à ceux qui s'appliquent aux conduites de chauffage.
 - o Rendement de production

Pour minimiser les consommations, un système de production semi-instantané de l'eau chaude sanitaire sera mis en oeuvre.
 - o Choix du système de production et du combustible

Le choix du type de production de chaleur est lié à celui du chauffage. Plusieurs solutions seront évaluées suivant différents critères. Émission de polluants, consommation de ressources non renouvelables, coût d'investissement, d'utilisation et de maintenance, encombrement et facilité de mise en oeuvre.

→ Consommation d'énergie pour du refroidissement actif

Pour un programme de logement, le confort doit pouvoir être assuré sans aucune consommation énergétique pour le refroidissement actif. Ceci implique, dans des bâtiments performants, l'application de stratégies de lutte contre les surchauffes.



Principes de lutte bioclimatique contre les surchauffes.

- Inertie

Étant donné l'impact positif de l'inertie sur le confort et la lutte contre les surchauffes dans les logements basse et très basse consommation d'énergie, le mode constructif garantira une forte inertie des murs intérieurs et des dalles de plancher².
- Ventilation naturelle

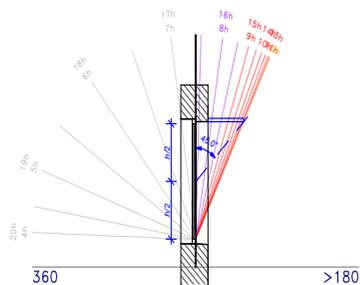
Une ventilation naturelle transversale des espaces sera possible. Il y aura au moins une fenêtre avec une ouverture possible en oscillo-battant dans chaque pièce. La ventilation devra pouvoir se faire sans risque d'intrusion.
- Protections solaires

La conception des protections solaires devra privilégier les protections de type auvent pour les pièces de vie et les orientations proches du Sud, afin de préserver les vues vers l'extérieur et l'éclairage naturel. Des simulations dynamiques d'évaluation des risques de surchauffe permettront d'évaluer précisément l'optimum au niveau des protections solaires, mais à défaut, les protections solaires permettront de protéger l'entièreté de la surface vitrée des rayonnements incidents, le 21 juin. La profondeur d'auvent nécessaire peut facilement être évaluée pour chaque orientation grâce au logiciel «solangle³». Les résultats pour les orientations sud et sud-est caractéristiques des avant-projets proposés sont présentés ci-après.

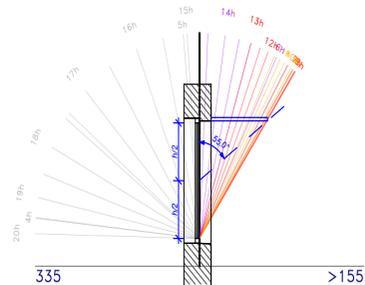
² [MASSART, 2010].

³ SOLANGLES est un outil interactif permettant de représenter, en plan et en coupe, les directions d'incidence du soleil sur une surface d'orientation quelconque. Réalisé par R. Compagnon et l'école d'Ingénieurs et d'architectes de Fribourg. Accessible gratuitement sur <http://raphael.compagno.home.hefr.ch/solangles/>.

¹ <http://www.rt-batiment.fr/batiments-neufs/reglementation-thermique-2012/titre-v-etude-des-cas-particuliers.html>.



*Ombrage orientation SUD,
latitude : 50.4°N - 21 juin,
façade verticale.*



*Ombrage orientation SUD-EST,
latitude : 50.4°N - 21 juin,
façade verticale.*

Pour les autres orientations, les fenêtres seront équipées de stores extérieurs, dont la commande se fait facilement, de préférence manuellement. Les caissons de stockage des stores et leur commande seront prévus dès le début, et le détail de la conception permettra de ne nuire ni à l'étanchéité à l'air ni à l'isolation. La robustesse du système sera prise en compte dans le choix, spécialement dans le cas des logements étudiants.

- Contrôle des gains internes

Les gains internes sont une des causes des problèmes de surchauffe, il est donc essentiel de tenir compte de leur intensité et de leur concentration, dans l'espace et dans le temps, ainsi que de leur synchronicité avec des apports solaires par exemple. L'objectif est de limiter les gains internes, de les concentrer en dehors des zones de vie, ou de répartir leur apport thermique dans un grand volume, de préférence pas trop soumis aux gains solaires.

→ Consommation d'énergie électrique pour l'électroménager et la bureautique

- des appareils ménagers peu nombreux et efficaces



o Place pour un sèche-linge non électrique (point abordé dans le chapitre « programme »).

- sensibilisation des occupants (choix et sélection des appareils) ;
- interrupteurs permettant la mise hors tension facile (prises sur interrupteur de la zone TV, lecteur DVD par exemple) ;
- prendre les critères d'efficacité en compte dans la conception (frigo à distance du four et de la cuisinière par ex.).

→ Consommation d'énergie électrique pour l'éclairage

- Éclairage naturel

Les fenêtres seront dimensionnées pour garantir un éclairage suffisant des espaces intérieurs. Les principes permettant d'optimiser l'éclairage naturel pour une taille de vitrage constante seront appliqués. Pour permettre la pénétration et la répartition maximales de la lumière naturelle, la hauteur des fenêtres sera importante les fenêtres seront si possible réparties sur les différentes parois de l'espace, la surface de menuiserie sera faible (pas de croisillons...).

Les positions et dimensionnements des baies se feront également pour assurer la qualité architecturale des lieux et l'intérêt spatial des logements.

Le choix des vitrages se fera par rapport à leurs performances thermiques, pour assurer des déperditions minimales par transmission et une transmission suffisante de la lumière naturelle.

La facilité de nettoyage des vitres sera un critère de conception.

- Éclairage artificiel



L'efficacité énergétique sera l'un des critères d'évaluation des possibilités en matière d'éclairage artificiel. Dans le cadre de la rénovation des logements étudiants, l'utilisation d'ampoules économiques et de la technologie LED, avec des luminaires adaptés sera privilégiée, ainsi que la possibilité de réglage de l'intensité lumineuse (dimming). La position et la commande des différents points lumineux tiendront compte des apports de lumière naturelle et des tâches liées à la fonction du lieu.

Dans les logements familiaux, dans lesquels le choix des luminaires ne fait généralement pas partie de la mission du concepteur, une proposition sera faite, avec le détail des éclairages et des puissances, pour guider

l'occupant dans ses choix. La brochure sur l'éclairage efficace des logements¹, publiée par la Wallonie, leur sera distribuée.

Au niveau de la régulation

L'éclairage extérieur comme celui des communs, des zones de stationnement, des caves et abris à vélos seront sur détecteur de présence.

Dans les logements étudiants, l'éclairage sera régulé par des détecteurs de présence dans toutes les zones communes (sanitaires, cuisine, séjour, couloir...).

Dans les logements familiaux, les détecteurs de présence seront utilisés pour les sanitaires.

→ Consommation électrique pour les auxiliaires techniques

La mise en oeuvre de systèmes performants, relativement complexes entraîne certaines consommations énergétiques pour les auxiliaires techniques (pompes, circulateurs, ventilateurs, onduleur, etc.) Ces consommations devront être minimisées et comptabilisées dans l'évaluation comparative des différentes possibilités en matière de systèmes.

→ Consommation d'énergie au niveau des matériaux mis en oeuvre

L'énergie grise des matériaux utilisés pour la construction sera prise en compte, conjointement avec les autres impacts des matériaux. Cet aspect de la consommation énergétique des bâtiments est détaillé dans le chapitre sur les matériaux.

→ Consommation d'énergie pour la mobilité

Ce point est spécifiquement abordé dans le chapitre sur la mobilité.

→ Consommation d'énergie pour l'alimentation

Ce point n'est pas détaillé, mais l'alimentation est une des principales cause d'émission de polluants et gaz à effet de serre. Dans la recherche d'un mode de vie durable, cet aspect ne peut pas être négligé. Une alimentation durable passe par le choix d'ingrédients locaux cultivés biologiquement, peu emballés, peu transformés, ainsi que par une diminution de la consommation de viande. Ce type d'alimentation nécessite du temps et de l'espace pour cuisiner. L'impact que peut avoir l'architecture sur les choix des habitants en matière d'alimentation se situe au niveau de l'organisation du stockage et de la préparation de la nourriture.

Deuxième objectif énergétique : production maximale d'énergie renouvelable

Il est difficile de définir ici la combinaison idéale de systèmes. Le choix d'une cogénération, par exemple, rendrait inintéressante l'installation de capteurs solaires thermiques.

¹ La Wallonie, Architecture et climat, CSTC, *L'éclairage artificiel des logements - guide pratique à destination du particulier*, 2011. Disponible sur internet: <http://energie.wallonie.be/fr/l-eclairage-efficace-des-logements-guide-pratique-a-destination-du-particulier.html?IDD=50660&highlighttext=%C3%A9clairage+particulier+&IDC=6081>.

La combinaison de solutions choisies au final devra rentabiliser au mieux les surfaces disponibles pour la production d'énergie solaire. Les toitures seront conçues pour optimiser les surfaces et les pentes orientées au Sud.

→ La production de chaleur par capteurs solaires thermiques

Les principes de la production d'eau chaude sanitaire sont examinés dans le point spécifiquement dédié à celle-ci.

→ La production d'électricité par capteurs solaires photovoltaïques



Écologiquement, la solution la plus pertinente est d'équiper les toitures d'une importante installation photovoltaïque, permettant d'alimenter en électricité l'ensemble des logements du projet. L'électricité éventuellement excédentaire est vendue au réseau, celui-ci fournit également l'électricité supplémentaire nécessaire. Cette solution n'est pas possible dans le cadre légal actuel. En effet, l'électricité produite collectivement ne peut être redistribuée directement aux compteurs privés. L'autoconsommation se limite au compteur, ce qui signifie que l'électricité produite par une installation commune ne peut être utilisée que pour les communs. L'excédent de production est revendu au réseau pour à un tarif nettement inférieur au tarif d'achat de l'électricité pour le particulier.

Pour pouvoir utiliser l'électricité photovoltaïque produite sur le site dans les entités privatives, il est nécessaire d'implanter une série de petites installations photovoltaïques individuelles, reliées aux compteurs particuliers. Cette démultiplication des systèmes est peu rationnelle, mais permet de ne pas être confronté à la loi sur la fourniture d'électricité.

Économiquement, l'évaluation d'une installation photovoltaïque dépend fortement des politiques énergétiques et environnementales en vigueur, et celles-ci varient. Dans le cas du projet SUD, plusieurs éléments sont déterminants dans l'optimisation de la production électrique par des capteurs photovoltaïques :

- La consommation électrique des communs, qui peut être importante par rapport à la production et permettre un maximum d'autoconsommation.

○ Pour les logements étudiants : ascenseur, ventilation mécanique centralisée éventuelle, éclairage des communs, éventuellement buanderie commune. Cette consommation sera faible en période estivale et pendant les WE.

O Pour les logements familiaux : ascenseur, éclairage des communs et de la zone de parking, points de recharge des vélos électriques, salle commune éventuelle, buanderie commune éventuelle.

- Les caractéristiques des toitures, déterminant la surface et la performance des capteurs pouvant être installés. Dans le cas des logements neufs (familiaux), la surface de toiture disponible dépend également de la présence ou non d'une installation solaire thermique. La pertinence d'une installation solaire thermique dépend de la présence ou non d'une installation de cogénération.
- La présence éventuelle d'une installation de cogénération, qui produit également de l'électricité qui devrait être autoconsommée, dont la production varie proportionnellement avec la production de chaleur.
- Les politiques de subventions et les réglementations en vigueur au début du projet.

→ L'intégration des technologies solaires.

L'intégration nécessite de tenir compte de certains paramètres. Certains sont communs à tous les éléments du bâtiment :

- La structure et les fixations doivent être adaptées au support des panneaux solaires.
- La résistance au feu et aux éléments climatiques doit être assurée.
- Ils doivent résister aux efforts dus aux vents, et aux impacts. Les dommages éventuels ne peuvent pas provoquer de risque sur les personnes.
- Les risques de vols et de vandalismes doivent être évalués et pris en compte.
- La fixation ne peut pas impliquer de pont thermique et la valeur U de la paroi ne peut pas être affectée négativement par la présence des panneaux solaires.
- Les transferts de vapeur à travers la paroi doivent être pris en compte pour éviter tout problème de condensation et permettre le séchage correct de la paroi.

En plus des contraintes habituelles de la construction, certaines caractéristiques propres aux technologies solaires doivent être prises en compte.

- Le réseau hydraulique des panneaux solaires thermiques doit être soigneusement étudié pour gérer les différences de pression entre les niveaux. Ils doivent être positionnés de manière sécurisée, à l'intérieur de la structure de l'enveloppe et doivent rester accessibles. Les possibilités de fuites doivent être considérées et ne peuvent occasionner de dégâts importants.
- Les câblages électriques des panneaux photovoltaïques doivent être étudiés pour éviter les risques de courts-circuits et d'électrocution. La protection incendie doit être correctement conçue et mise en oeuvre.

- Les matériaux de l'enveloppe en contact avec les modules de capteurs solaires doivent supporter les hautes températures que ces derniers peuvent atteindre.
- Les détails de jonctions et de fixations doivent tenir compte des dilatations thermiques des collecteurs et assurer la compatibilité avec le reste de l'enveloppe.
- Les conditions de sécurités par rapport aux brûlures et aux risques d'électrocution doivent être assurées au cas où les collecteurs sont accessibles (au rez-de-chaussée, à proximité des balcons et fenêtres...).

L'intégration architecturale des modules doit être pensée au moment de l'avant-projet. Les technologies qui seront mises en oeuvre doivent être connues afin de permettre l'intégration des panneaux à la conception globale des bâtiments et au dessin particulier des façades. Les dimensions standards seront favorisées afin de limiter les coûts.

→ La production d'électricité par une installation de cogénération à la biomasse Celle-ci est directement liée à la production de chaleur et est donc développée dans le paragraphe sur ce sujet.

6. MATÉRIAUX ET DÉCHETS DE CONSTRUCTION

1. Matériaux et déchets de construction

Analyses et enjeux

La construction et la rénovation de bâtiment entraînent l'utilisation de matériaux de construction qui, tout au long de leur cycle de vie, ont des impacts sociaux, environnementaux et économiques. Aujourd'hui, la construction d'un bâtiment durable ne peut faire l'impasse sur l'analyse de ces impacts.

Les impacts des matériaux de construction sur l'environnement sont responsables d'une part importante des consommations énergétiques, des émissions de pollution et de déchets.

Par leurs effets sur le confort hygrothermique et sur la qualité de l'air, les matériaux ont également des effets importants sur la santé et le bien-être des occupants.

Par l'achat de matériaux, le maître d'ouvrage se positionne comme consommateur et ses choix ont de ce fait un impact sur le marché des matériaux de construction et sur la société en général.

Le choix des matériaux et procédés de construction est classiquement déterminé par un ensemble de critères tels que les performances mécaniques et thermiques, le prix, la facilité de mise en œuvre, l'esthétique, la facilité d'entretien...

Pour s'inscrire dans une démarche durable, d'autres critères doivent y être ajoutés.

L'analyse de la situation revient à définir d'une part les éléments qui régissent le choix des matériaux et des techniques mis en œuvre dans les bâtiments, ainsi que les outils d'évaluation des matériaux de construction à disposition, et d'autre part à analyser les potentialités du projet et du site par rapport à cette question.

→ Les normes et réglementations

Les bâtiments et les matériaux qui les constituent doivent répondre à une série de normes belges et européennes. Ces normes définissent des exigences spécifiques pour chaque usage.

- La réglementation par rapport à la sécurité incendie¹. Le règlement de base fixe les conditions minimales auxquelles doivent satisfaire la conception, la construction et l'aménagement des bâtiments afin de :
 - prévenir la naissance, le développement et la propagation d'un incendie ;
 - assurer la sécurité des personnes ;
 - faciliter l'intervention du service d'incendie.

Ces lois imposent, pour certaines parois, des critères de réaction au feu qui influencent les choix des matériaux pour la constitution de ces parois.

¹ Les prescriptions relatives à la prévention du feu sont détaillées sur le site du Centre Scientifique et Technique de la Construction (CSTC) http://www.cstc.be/homepage/index.cfm?cat=services&sub=standards_regulations&pag=fire&art=library&niv01=belgian_regulation.

- La réglementation acoustique²

La norme NBN S 01-400-1 [8] définit des exigences concernant l'isolation aux bruits aériens et aux bruits de choc, mais également relatives à l'isolation acoustique des façades et à la réduction du bruit produit par les installations techniques.

La norme définit deux niveaux de qualité :

- Le confort acoustique normal (CAN) est le niveau d'isolation aux bruits aériens et aux bruits de chocs minimal. On estime que ce niveau permet la satisfaction de plus de 70 % des occupants dans des conditions de nuisances sonores normales.
- Le confort acoustique supérieur (CAS) est le niveau de qualité le plus élevé de la norme. On estime que ce niveau permet la satisfaction de 90 % des occupants dans des conditions de nuisances sonores normales.

² Source des informations et tableaux ci-après : Les dossiers du CSTC 2012/2.

6. MATÉRIAUX ET DÉCHETS DE CONSTRUCTION

Exigences d'isolation aux bruits aériens et aux bruits de chocs entre appartements¹.

Local d'émission situé en dehors de l'habitation	Local de réception situé à l'intérieur de l'habitation	Confort acoustique normal (CAN)	Confort acoustique supérieur (CAS)
Tout type de local.	Tout type de local, sauf un local technique ou un hall d'entrée.	Isolement aux bruits aériens : $D_{nt,w} \geq 54$ dB Isolement aux bruits de choc : $L'_{nt,w} \leq 58$ dB	Isolement aux bruits aériens : $D_{nt,w} \geq 58$ dB Isolement aux bruits de choc : $L'_{nt,w} \leq 50$ dB
Local d'émission situé à l'intérieur de l'habitation	Local d'émission situé à l'intérieur de l'habitation	Confort acoustique normal (CAN)	Confort acoustique supérieur (CAS)
Chambre à coucher, cuisine, living ou salle de bains indépendante de la chambre à coucher ou du local de réception.	Chambre à coucher, bureau.	Isolement aux bruits aériens : $D_{nt,w} \geq 35$ dB Isolement aux bruits de choc : pas d'exigence	Isolement aux bruits aériens : $D_{nt,w} \geq 43$ dB Isolement aux bruits de choc : $L'_{nt,w} \leq 58$ dB

Exigences d'isolation aux bruits aériens et aux bruits de chocs des maisons mitoyennes neuves (maisons unifamiliales partageant un mur mitoyen sur un ou deux côtés)¹

Local d'émission situé en dehors de l'habitation	Local de réception situé à l'intérieur de l'habitation	Confort acoustique normal (CAN)	Confort acoustique supérieur (CAS)
Tout type de local.	Tout type de local, sauf un local technique ou un hall d'entrée.	Isolement aux bruits aériens : $D_{nt,w} \geq 58$ dB Isolement aux bruits de choc : $L'_{nt,w} \leq 58$ dB	Isolement aux bruits aériens : $D_{nt,w} \geq 62$ dB Isolement aux bruits de choc : $L'_{nt,w} \leq 50$ dB
Local d'émission situé à l'intérieur de l'habitation	Local d'émission situé à l'intérieur de l'habitation	Confort acoustique normal (CAN)	Confort acoustique supérieur (CAS)
Chambre à coucher, cuisine, living ou salle de bains indépendante de la chambre à coucher ou du local de réception.	Chambre à coucher, bureau.	Isolement aux bruits aériens : $D_{nt,w} \geq 35$ dB Isolement aux bruits de choc : pas d'exigence	Isolement aux bruits aériens : $D_{nt,w} \geq 43$ dB Isolement aux bruits de choc : $L'_{nt,w} \leq 58$ dB

- La réglementation PEB, qui détermine les performances thermiques à atteindre pour les parois de l'enveloppe et donc des matériaux qui les constituent. Les exigences actuelles en matière de performance énergétique sont inférieures aux ambitions du projet SUD et ne seront pas détaillées ici.
- Les prescriptions urbanistiques qui déterminent les matériaux autorisés pour la construction des façades et toitures.

¹ Si le bâtiment voisin n'est pas affecté au logement, des exigences particulières sont à respecter selon le niveau de nuisances sonores émis dans les locaux contigus (voir la norme NBN S 01-400-1 pour des informations plus détaillées)[8]. Dans le cas du confort acoustique normal, l'exigence de l'isolement aux bruits de choc doit être majorée de 4dB si le local de réception de l'appartement considéré est une chambre à coucher et que le local d'émission du logement voisin est une pièce autre qu'une chambre à coucher. Lorsqu'on contrôle les performances d'un bâtiment achevé, on considère le résultat comme satisfaisant s'il est inférieur à l'exigence de la norme diminuée de 2 dB. Cette marge est liée aux incertitudes du modèle de prévision et à l'imprécision des techniques de mesure.

Le Règlement Communal d'Urbanisme, de 1998, est en cours de révision, notamment parce qu'il est « en porte à faux vis-à-vis de dispositions architecturales permettant d'augmenter les performances énergétiques des bâtiments comme les toitures vertes, les bardages, les toitures débordantes ou encore les pare-soleil »².

Les matériaux actuellement renseignés dans le RCU de 1998 encore en vigueur sont repris ci-dessous (sous-aire d'habitat en ordre fermé à caractère urbain de Louvain-La-Neuve (p42-44)) (...)

o Le matériau de parement des élévations est :

- » la brique de teinte ocre-brun ou rose-brun nuancée ;
- » le béton coulé ou architectonique ;
- » la pierre de taille ;
- » les éléments de structure métallique peints ;
- » les éléments de verre.

Le chaulage, le badigeonnage ainsi que la peinture des façades sont interdits.

Le bois peut être utilisé pour des annexes non habitables (...).

Le bardage en ardoises naturelles ou artificielles de teinte foncée est autorisé pour les surfaces inférieures à 40 % de la surface totale, et pour les murs mitoyens et ceux exposés aux pluies. (...).

o Le matériau de couverture de toiture est :

- » l'ardoise naturelle ;
- » l'ardoise artificielle de teinte foncée ;
- » pour les toitures plates, le revêtement asphaltique ou synthétique, le zinc, le plomb, de teinte gris moyen à gris foncé, de texture mate (...);

tout autre composant de toiture présentant un aspect pouvant être assimilé à ces matériaux peut être éventuellement admis. (...).

Les verrières de toitures, serres, capteurs solaires et autres éléments vitrés de toiture sont éventuellement admis (...).

Les souches de cheminée peuvent être revêtues de bardage en ardoise naturelle ou artificielle de teinte foncée.

o Baies et ouvertures :

Les menuiseries des portes, fenêtres et corniches sont traitées pour l'ensemble de la façade et pour chacun des éléments suivant une même tonalité, une même facture et une même texture.

² Révision du schéma de Structure et du Règlement Communal Urbanisme ? Présentation des réunions des 05 et 21 juin 2012, disponible via <http://www.oln.be/fr/services-communaux/urbanisme/seances-dinformatons.html>.

Les châssis et les portes d'entrée et de garage en aluminium d'aspect métallisé sont exclus.

La vitrerie sera en verre clair pour l'ensemble des baies. Le verre légèrement réfléchissant peut être autorisé (...).

Les balcons, loggias et saillies, seront traités de manière à s'harmoniser avec l'architecture de la façade en s'intégrant à la verticalité des baies et ouvertures.

Les garde-corps éventuels seront de même facture pour l'ensemble de la façade.(...).

- Normes en matière de résistance mécanique et de stabilité

Une série de réglementations relatives à la stabilité des édifices et aux caractéristiques mécaniques des matériaux conditionne les possibilités en matière de choix de matériaux. Les performances des matériaux sont établies suivant les normes et contrôlées. Les agréments techniques permettent d'attester de manière normée et reconnue des caractéristiques des matériaux. Ils sont de ce fait un outil précieux.

- Normes culturelles et sociales en matière d'esthétique et de matériaux

Il existe, de manière diffuse, un consensus sur les critères esthétiques, sur ce qui est « beau ». L'appréciation des formes, des textures et des couleurs, répond à des critères subjectifs, liés à des phénomènes de modes. Les choix de matériaux de construction n'y échappent pas.

Les matériaux sont un marché, qui dans le système de consommation actuel, cherchent à créer un maximum de demande pour générer un maximum de profit. Ce marché et la société de consommation dans son ensemble ont comme objectif la vente de matériaux et d'équipements neufs. Le critère esthétique est un levier de création de demandes en la matière.

La normalisation des éléments industrialisés a aussi énormément influencé les goûts et les exigences en matière de finitions.

L'ensemble de la communication promeut donc une esthétique contemporaine, nouvelle. Le beau doit être sans défauts, homogène, assorti... toute une série de critères qui rend difficile le réemploi, le recyclage, et génère donc une grande quantité de déchets et de pollutions.

- Les habitudes

Le secteur de la construction est généralement caractérisé par une forte inertie. Les habitudes, l'expérience acquise par les hommes et les entreprises avec les techniques et les matériaux existants, ainsi que les risques et nécessaires précautions inhérents à une modification des choix font que les matériaux traditionnellement utilisés sont favorisés, non nécessairement pour leurs performances, mais simplement pour la maîtrise que les entreprises en ont.

- Les méthodes d'évaluation existantes

Les référentiels et labels existants pour l'évaluation des bâtiments ou même des quartiers intègrent l'évaluation des matériaux à travers différents critères et en fixant différents objectifs. Une analyse de BREEAM et des recommandations de la note de recherche de la CPDT sur les écoquartiers est proposée ci-après¹.

- Le label BREEAM²

Développé en Angleterre et internationalement utilisé, il base son évaluation des matériaux de construction sur l'outil « The greenguide »³. Cet outil propose une évaluation de l'impact environnemental d'un matériau, en fonction de différents critères. Les résultats partiels et la base de données ne sont pas accessibles, seul le résultat sous forme d'écopoints est fourni. Les écopoints sont représentatifs de « l'impact du bâtiment étudié par rapport à l'impact total des bâtiments européens ».

Tableau reprenant les éléments considérés pour la labellisation BREEAM.

Critères quantitatifs considérés par l'outil "greenguide", utilisés par BREEAM	
impact sur le changement climatique	kg eq. CO ₂
consommation d'eau douce	m ³
consommation des ressources minérales	tonnes
dégradation de la couche d'ozone	kg CFC-11 eq
toxicité pour l'homme	kg eq. 1,4 dichlorobenzene (1,4-DB)
toxicité pour l'eau et le sol	kg eq. 1,4 dichlorobenzene (1,4-DB)
production de déchets nucléaires	mm ³ de déchets hautements radioactifs
production de déchets solides	tonnes de déchets solides
épuisement des ressources en énergie fossile	tep (tonne équivalent pétrole)
eutrophisation	kg eq. phosphate (PO ₄)
création d'ozone photochimique	kg eq. éthène (C ₂ H ₄)
acidification	kg eq. sulphur dioxide (SO ₂)
Autres critères considérés par BREEAM	
utilisation de matériaux locaux / régionaux	
utilisation de matériaux recyclés ou réutilisés	
utilisation de matières rapidement renouvelables	
approvisionnement responsable de matériaux	
- utilisation de bois certifiés	
- utilisation de matériaux éco-labellisés	
émission de polluants des matériaux	
résistance, longue durée de vie (design for robustness)	
gestion des déchets de construction	

¹ [CPDT 16, 2011].

² [BREEAM - 2008].

³ [GREENGUIDE].

6. MATÉRIAUX ET DÉCHETS DE CONSTRUCTION

Le système d'écopoints est peu transparent et le détail des objectifs fixés pour les matériaux par les différents niveaux de labellisation BREEAM ne sera pas développé ici.

Le fait que la base de données et le système de pondération soient peu transparents et figés rend cette évaluation difficile à valider.

- La note de recherche 16 de la CPDT, Ecoquartiers¹

Ce rapport propose les grilles d'évaluation détaillées reprises dans les tableaux ci-après :

L'évaluation globale est réalisée suivant dix thématiques, chacune pour un total de 20 points. L'évaluation de l'impact des matériaux se fait sous la thématique matériaux et déchets (5 points non détaillés ici concernent la gestion des déchets domestiques), sous la thématique énergie (énergie grise) et sous la thématique confort et santé (santé).

Grille d'évaluation d'un projet sur le thème des matériaux de construction, extrait de la note de recherche 16 de la CPDT : *Écoquartiers*.

		Consolidation / transformation	pondération
ville	Conception	Dans le cadre de sa mise en œuvre, le projet intègre-t-il une part "significative"...	
		- de matériaux réutilisés sur place en cas de rénovation (démontage sélectif)	/1,5
		- de matériaux "locaux" provenant d'un rayon de moins de 250 km (balise: au moins 80% en masse du gros-œuvre fermé)	/1
		- de matériaux ayant une longue durée de vie (balise: au moins 80% de matériaux d'une durée de vie minimale de 50 ans)	/0,5
		- de matériaux recyclés (balise: au moins 15%)	/0,5
	- de matériaux naturels ou renouvelables permettant le stockage de CO2 (balise: au moins 15%)	/0,5	
mise en œuvre	- de matériaux non toxiques (pris en compte dans le critère "confort et santé")	/0,5	
	Dans le respect des exigences définies par la sécurité et la performance énergétique, le projet cherche-t-il à minimiser la quantité de matériaux utilisés pour la construction des bâtiments et de l'aménagement public?	/1	
TOTAL			/4

		Consolidation / transformation	pondération
ville	Conception	La conception du projet permet-elle une adaptabilité dans le temps et un démontage aisé en fin de vie des bâtiments et des espaces publics?	/2
		Dans un souci de simplicité, de modulabilité et de recyclabilité, le projet cherche-t-il à limiter le nombre de matériaux différents utilisés pour la construction des bâtiments et l'aménagement des espaces publics? (balise: max. 6 pour le gros-œuvre fermé et max. 3 pour les espaces publics)	/1,5
	mise en œuvre	Dans le cadre de sa mise en œuvre, le projet intègre-t-il une part significative	
		- de matériaux recyclables (balise: au moins 30%) - de matériaux modulables et facilement remplaçables - de matériaux facilement nettoyables	/0,5 /0,5 /0,5
TOTAL			/5

		Consolidation / transformation	pondération
ville	Conception	La conception prévoit-elle dans la mesure du possible des dimensions adaptées aux mesures "standard" des matériaux utilisés pour éviter les découpes et les gaspillages?	/1
		La conception permet-elle de limiter au maximum les terrassements et mouvements de terres?	/1
		Si le bilan des remblais et déblais n'est pas nul, un traitement paysager du site a-t-il été étudié afin d'éviter ou de limiter très fortement l'exportation ou l'importation de terres?	/1
	mise en œuvre	La mise en œuvre du chantier utilise-t-elle au maximum des techniques d'assemblage ou de découpage en usine qui permettent de réduire drastiquement les déchets de chantier?	/1
		Est-il prévu la signature d'une charte de chantier "vert" de manière à réduire les nuisances liées à cette phase (ex: guide Marco): déchets, vibrations, bruit, poussière, boue, charroi, biodiversité, ...	/1
	TOTAL		

1 [CPDT 16, 2011].

	Création / consolidation / transformation	pondération
ville	Est-ce que l'énergie grise d'un immeuble neuf résidentiel type, d'un immeuble neuf tertiaire type, et des principaux bâtiments neufs présentant la moins bonne capacité a été calculée?	/1,25
	Quel est le pourcentage de bâtiments rénovés par rapport au pourcentage de bâtiments neufs: + de 90%: (3/3) entre 70 et 90%: (2,5/3) entre 50 et 70%: (2/3) entre 25 et 50%: (1/3) - de 25%: (0/3)	/3
	Si les terres ne sont pas polluées, quel est le volume des travaux de terrassements (bâtiments, voiries, espaces publics, etc.)? - de 10 000 m ³ (1,25/1,25) entre 10 000 et 20 000 m ³ (1/1,25) entre 20 000 et 30 000 m ³ (0,75/1,25) entre 30 000 et 40 000 m ³ (0,5/1,25) entre 40 000 et 50 000 m ³ (0,25/1,25) + de 50 000 m ³ (0/1,25)	/1,25
	Quelle est la compacité des bâtiments neufs? - est-ce que 100% des bâtiments sont mitoyens? - est-ce que plus de 90% des bâtiments sont au moins de type rez+3? - est-ce que les volumes sont épurés et les décrochements architecturalement justifiés?	/1,5
	TOTAL	/7

	Création / consolidation / transformation	pondération
ville confort et santé respiratoire	Si l'écoquartier est construit dans une zone à risque, la présence de radon est-elle limitée à la dose admissible: 400 Bq/m ³ ?	/0,4
	Un inventaire exhaustif de dépistage de l'amiante a-t-il été planifié systématiquement sur l'ensemble du site pour tous les bâtiments à rénover?	/0,4
	Est-ce que 80% des matériaux de finition (revêtements de sol, parois verticales et plafonds) dans les espaces intérieurs (toutes fonctions confondues) sont labellisés? (0,4/0,4) si 50%: 0,2/0,4	/0,4
	Dans la négative, les émissions de COV et de phormaldéhyde sont-elles connues pour 50% des revêtements intérieurs, isolants et matériaux acoustiques? Si non: (0/0,4) Si oui, un choix optimal de matériaux a-t-il été opéré (justification à l'appui)?: (0,1/0,4)	
	Dans les espaces intérieurs, le taux de polluant est-il inférieur à: 100 µg/m ³ pour le formaldéhyde? 5 µg/m ³ pour le benzène? 870 µg/m ³ pour le xylène?	/0,4
Les volumes hébergeant les garages ont-ils une bonne étanchéité (1 h-1 test à n50) ou sont-ils au moins déconnectés par un sas des espaces occupés, ou mieux encore, sont-ils éloignés physiquement des unités d'espaces occupés?	/0,4	
TOTAL	/2	

Cette grille d'évaluation¹ conseille des objectifs, avec un point de vue assez transversal, mais le mode d'évaluation et la quantification des objectifs restent très flous, les outils ne sont pas définis.

¹ Extrait de [CPDT 16, 2011].

6. MATÉRIAUX ET DÉCHETS DE CONSTRUCTION

→ Les outils d'évaluation

Une analyse multicritère des impacts des matériaux de construction d'un bâtiment est un exercice compliqué. Les informations sont souvent difficiles à obtenir et même si des outils existent, aucun n'est parfait. Les éléments comparés doivent avoir des performances équivalentes et les données doivent être calculées de la même façon. Les évaluations partielles peuvent être trompeuses.

Les outils d'évaluation peuvent être séparés en deux catégories: les logiciels d'analyse de cycle de vie et les outils de type « checklist ». Ces derniers fournissent un résultat sous forme de pourcentage, ou de lettrage (A+, B...) venant d'un amalgame des performances suivant différents critères, avec des pondérations par critère. Ce type d'outil, dont fait partie « The greenguide » et « Nibe » ne sera pas détaillé plus avant, en raison de leur non-transparence et de leur non-flexibilité.

Les différents logiciels d'analyse de cycle de vie (LCA) disponibles se différencient sur plusieurs points :

- Les indicateurs donnés (énergie grise non renouvelable, renouvelable, émissions de gaz à effet de serre et d'autres polluants, stockage de CO₂, consommation d'eau...) Les critères considérés dans les outils sont généralement quantitatifs et limités au matériau en lui-même. L'ensemble des critères sera détaillé dans le paragraphe suivant, sur les objectifs et solutions concrètes pour le projet SUD.
- Les bases de données utilisées (uniques ou multiples, donc les données sont contrôlées par un tiers indépendant ou fournies par les fabricants de matériaux, dont les données sont utilisables pour caractériser les produits et techniques utilisés en Belgique, ou non).
- La transparence (indication claire des sources d'informations, et des éléments pris en compte).
- Les différentes étapes du cycle de vie considérées (fabrication, mise en oeuvre, démolition, transport...).
- La possibilité d'encoder ses propres données lorsqu'elles sont connues, pour un matériau spécifique, ou non.
- La gratuité ou non.
- La facilité d'usage et d'interface ou non.
- La possibilité de connaître et si possible de visualiser l'impact de chacun des matériaux dans l'impact global de la paroi suivant un indicateur particulier.
- Le lien, possible ou non, avec les logiciels d'évaluation thermique. Cette possibilité permet de minimiser les encodages fastidieux (épaisseurs, matériaux, surfaces de parois).

Tableau d'analyse des logiciels LCA disponibles¹

LOGICIELS LCA	ENVEST 2	Bauteilkatalog	ECO-BAT	ECOSOFT	COCON	BE GLOBAL
données générales						
<i>pays</i>	Angleterre	Suisse	Suisse	Autriche	France	Belgique
<i>analyse construction existante</i>	oui	oui	oui	oui	oui	oui
<i>analyse nouvelle construction</i>	oui	oui	oui	oui	oui	oui
<i>analyse immeuble de logement/maison</i>	/	oui	oui	oui	oui	oui
<i>accessibilité du logiciel</i>	payant, €€€€	base libre, compléments payants, €	payant, €€€€	base de donnée libre, interface payante, €	payant, €€	gratuit
<i>durée d'évaluation</i>	60 ans	60 ans	60 ans	libre choix	libre choix	libre choix
données d'inventaire						
	IVAM, ECOINVENT,	Ecobilans KBOB, ECOINVENT	Ecobilans KBOB, ECOINVENT	ECOINVENT (CML2) + littérature scientifique	sources multiples (150) (INIES, Ecobilans KBOB, déclarations fabricants, ...)	Choix: mixte (ECOINVENT + KBOB+ECOSOFT) / ECOINVENT / déclarations fabricants
impacts analysés						
<i>énergie grise</i>	oui	oui	oui	oui	oui	oui
<i>exploitation des ressources naturelles</i>	oui	partiellement	partiellement	partiellement	oui	non
<i>changement climatique, gaz à effets de serre</i>	oui	oui	oui	oui	oui	oui
<i>acidification</i>	oui	oui	oui	oui	oui	non
<i>ozone troposphérique</i>	oui	oui	oui	oui	oui	non
<i>ozone stratosphérique</i>	oui	non	non	non	oui	non
<i>toxicité sur l'être humain</i>	oui	non	non	non	non	non
<i>toxicité sur l'environnement</i>	oui	partiellement	partiellement	non	oui	non
<i>eutrophisation</i>	oui	partiellement	partiellement	oui	oui	non
<i>réduction de la biodiversité</i>	non	non	non	non	non	non
<i>déchets</i>	oui	partiellement	partiellement	non	oui	non
<i>utilisation de territoire (land use)</i>	non	partiellement	partiellement	non	non	non
<i>coût financier</i>	LCC	non	non	non	non	non
<i>confort hygrothermique</i>	non	oui	oui	non	oui	non
<i>systèmes hvac</i>	oui	non	oui	non	oui	non
<i>types de ressources utilisées</i>	non	non	non	non	oui	non
<i>consommation d'eau</i>	partiellement	partiellement	partiellement	non	non	non
<i>traitement des déchets</i>	non	non	non	non	oui	non
<i>recyclabilité</i>	non	non	non	non	non	non
agrégation des résultats						
	ecopoint	UPB*	UPB	non	non	non
phases analysées						
<i>extraction des ressources</i>	oui	oui	oui	oui	oui	oui
<i>fabrication - cradle to gate</i>	oui	oui	oui	oui	oui	oui
<i>mise en oeuvre</i>	?	non	non	non	non	non
<i>vie en oeuvre</i>	oui	non	non	non	non	non
<i>entretien/maintenance</i>	oui	oui	oui	oui	?	oui
<i>démolition</i>	oui	oui	oui	non	?	partiellement
<i>phases de transport</i>	?	partiellement	partiellement	non	oui	oui
transparence du système de pondération						
	no	oui	oui	oui	-	-
accessibilité de la base de données						
	no	oui	oui	oui	oui	non

(*) : Les Ecopoints (UPB) quantifient les charges environnementales résultant de l'utilisation des ressources énergétiques, de la terre et de l'eau douce, des émissions dans l'air, l'eau et le sol, ainsi que de l'élimination des déchets.

→ Le site et les bâtiments existants

- La terre du site

Étant données les informations dont nous disposons sur les caractéristiques de la terre du site, son utilisation pour la réalisation d'enduits et de dalles en terre crue devrait être possible. Une analyse sera réalisée pour examiner les conditions de telles applications.

1 Compilation de l'auteure, avec des données de [Trachte, 2012].



Test de sédimentation permettant d'évaluer la composition de la terre du site (l'échantillon ici présenté ne provient pas dudit site).

- Les bâtiments existants

Un inventaire directeur sera réalisé. Ce document reprend tous les éléments qui ne seront pas maintenus en place, leur destination et les contraintes qui y sont liées. L'inventaire doit contenir toutes les indications nécessaires sur les matériaux et éléments (quantité, état, dimensions, positionnement dans le bâtiment, couleur...).

La destination peut être un réemploi, sur place, ou ailleurs, pour le même usage ou pour un autre usage, avec les contraintes de démontage, de stockage, de protection, etc. qui y sont liées.

On peut aussi envisager le recyclage sur place, avec en général un traitement préliminaire (concassage...).

Dans le cas où cela n'est pas possible, la destination du matériau est la filière de traitement des déchets la plus adéquate.

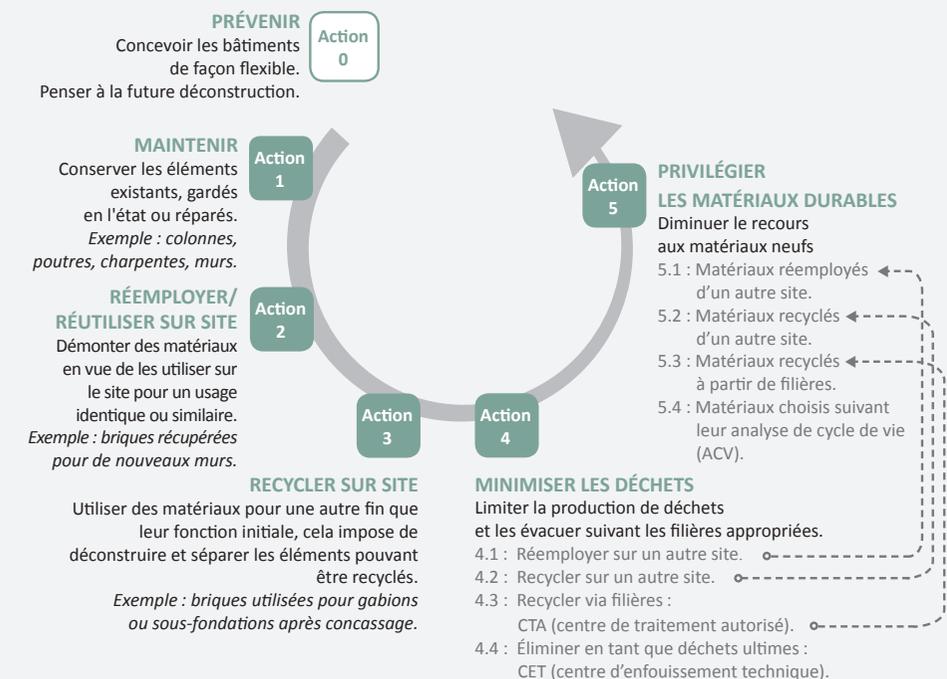
La visite de plusieurs logements existants a permis de faire une première évaluation des éléments qui pourraient être réutilisés.

Éléments intérieurs, propres à chaque logement											
	descriptif	photo	nombre	dimensions	état	localisation	traitement à prévoir			remarque	coût traitement
faïences	tub de douche en faïence		1	80cm * 80cm	bon	Longchamps 7, app 6-2	démontage	nettoyage			
	lavabo		1		bon	Longchamps 7, app 6-2	démontage	nettoyage	trouver bouchon + robinet adapté	2 trous pour robinets	
	cuvettes de WC		1		très bon	Longchamps 7, app 6-2	démontage	nettoyage			
équipements divers (porte-essuies, porte papier de toilettes, tablettes en faïence, miroirs, ...)	tablette sdb				bon	Longchamps 7, app 6-2	démontage	nettoyage			
	miroir		1			Longchamps 7, app 6-2					
chauffage	radiateurs		2			Longchamps 7, app 6-2	démontage	vidange?, séchage?	nettoyage + peinture		
	vanne thermostatique					Longchamps 7, app 6-2	démontage	vérification			
	thermostat					Longchamps 7, app 6-2					
éléments de cuisine	cuisinière		1		à priori bon	Longchamps 7, app 6-2	vérification	nettoyage		performance: ?	
	frigo					Longchamps 7, app 6-2					
	évier de cuisine					Longchamps 7, app 6-2					
	Meubles					Longchamps 7, app 6-2					
revêtements de mur	carrelage faïence murale					Longchamps 7, app 6-2	non récupérable, posé au ciment - colle, fissuré à certains endroits				
menuiseries	feuilles de portes		1	75*200	coups	Longchamps 7, app 6-2	démontage	ponçage, correction des défauts	peinture	faut-il démonter les quincailleries?	
	quincaillerie					Longchamps 7, app 6-2					
	portes coupe-feu					Longchamps 7, app 6-2					
	Tablettes de fenêtres		/	/	/	Longchamps 7, app 6-2					
...											
Éléments extérieurs, plutôt à l'échelle du bâtiment											
	descriptif	photo	nombre	dimensions	état	localisation	traitement à prévoir			remarque	coût traitement
	dalles de terrasse		x m²	40cm*40cm	bon	Longchamps 7, app 6-2	démontage (pas de joint)	nettoyage			
	garde-corps		1		bon	Longchamps 7, app 6-2	démontage				
	couvre-murs						couvre-mur en zinc, non récupérable				
	briques						non récupérables comme briques (joints au ciment), à utiliser éventuellement comme granulat de béton, dans des gabions pour les aménagements extérieurs, pour des chemins dans le jardin, ...				
	tuelles										
	seuils extérieurs										
	...										

Objectifs et solutions concrètes envisagées pour le projet SUD

La gestion des matériaux et des déchets dans le projet SUD se fera suivant les principes suivants :

Pour préserver les ressources de matières et minimiser les nuisances sur l'environnement, il convient de hiérarchiser les actions sur chantier tel que suggéré par la directive européenne sur les déchets 2008/98/CE.



Principes de la gestion des ressources de matières - schéma repris du guide pratique, réemploi, réutilisation des matériaux de construction¹.

Action 0 : éviter l'utilisation de matière et la production de déchets

La conception des bâtiments neufs et la rénovation des bâtiments existants doivent être étudiées pour permettre une certaine flexibilité d'usage, pour limiter et faciliter les interventions d'adaptations ultérieures, qui sont source de consommations de matériaux et de création de déchets.

Un objectif de limitation de la quantité de matériaux mise en oeuvre sera poursuivi. Cette démarche pourrait être qualifiée de démarche « négamatériau ».

¹ [CIEFFUL, 2013].

« Le matériau qui aura le moins d'impact négatif sera celui qui n'est pas mis en oeuvre ». Avant de réfléchir sur le choix des matériaux, il est essentiel de considérer la nécessité même de ce matériau. Une réflexion sur la minimisation de la quantité de matériau mise en oeuvre lors de la conception du projet peut permettre des économies de matière importantes. Un dimensionnement juste des structures, des espaces non cloisonnés ou une conception légère permettent par exemple d'économiser de la matière.

La compacité des bâtiments et leur dimensionnement auront aussi un impact important sur la quantité de matériaux à mettre en oeuvre. Les bâtiments compacts et mitoyens permettront d'éviter les surfaces de façades dont les coûts économiques et environnementaux sont importants, la conception de logements de surfaces raisonnables limite la quantité de matériaux à mettre en oeuvre par habitant.

SUD :

- dimensionnement précis des structures ;
- logements de taille réduite ;
- compacité des bâtiments.

Action 1 : Maintenir, utiliser l'existant

Dans le cas de la rénovation, une conception qui vise à minimiser les démolitions d'éléments encore fonctionnels est essentielle. La conservation d'édifices ou de parties d'édifices existants permet de prolonger leur durée de vie. De ce fait, leur conservation permet d'une part de retarder les impacts environnementaux et économiques liés à leur démolition, et d'autre part, d'éviter les impacts environnementaux et économiques des matériaux qui auraient dû être utilisés pour remplacer fonctionnellement l'édifice ou la partie d'édifice démolie.

En ce qui concerne la minimisation des démolitions, les toutes premières phases du projet sont déterminantes. Les premières décisions doivent être basées sur une analyse précise de la situation existante et des possibilités de conservation.

SUD :

- évaluation précise de l'état des différents éléments construits ;
- limitation des démolitions.

Action 2 - 3 : Réutiliser et recycler sur le site

L'utilisation d'un matériau déjà construit permet d'éviter d'une part que ce matériau devienne un déchet, et d'autre part de bénéficier d'impacts environnementaux réduits aux opérations nécessaires pour permettre la réutilisation du matériau (nettoyage, ponçage...). Ces impacts seront considérés dans le choix de matériaux durables.



Utilisation de matériaux inertes issus des démolitions dans le bâtiment de l'espace kegeljan à Namur.

Un inventaire directeur reprenant de manière détaillée tous les éléments présents sur le site sera réalisé. Les informations concernant la quantité et les caractéristiques de tous les éléments qui ne seront pas conservés permettent d'optimiser les possibilités de réutilisation, dans une fonction similaire ou pour un autre usage, avec ou sans transformation. La destination de chaque élément sera décidée sur base de cet inventaire directeur.

SUD :

- réalisation d'un inventaire directeur ;
- conception visant la réutilisation et le recyclage d'un maximum de matériaux issus des bâtiments existants.

Action 4 : minimiser et gérer les déchets

→ Les déchets de construction

La construction et la rénovation génèrent inévitablement la production de déchets. Le tri de ces déchets permet leur évacuation vers les filières de recyclage les plus adéquates. Le tri sur chantier nécessite de mettre en place des aires de stockage des différentes classes de matériaux.

Un plan de gestion des déchets, mentionnant la destination de chaque type de déchets, et les conditions de démontage - stockage éventuel, sera réalisé et discuté avec l'ensemble des intervenants, avant le début du chantier.

Un tri basique, obligatoire, comprend l'évacuation sélective des déchets dangereux (amiante, produits divers), des déchets inertes, des métaux, des bois et dérivés de bois, des déchets d'emballages et des palettes.

Un tri plus performant permet le recyclage et la réutilisation d'autres éléments.

- Les éléments réutilisables, mais dont la réutilisation n'est pas possible dans le cadre du projet sont évacués vers des filières de réemploi.
- Les éléments réutilisables, mais pour lesquels il n'existe pas de filière de réemploi (absence d'intérêt économique) seront proposés en don à toute personne intéressée. Dans le cas précis de Louvain-La-Neuve, une donnerie existe et permet de réaliser facilement cette opération, pour le mobilier de cuisine par exemple.
- Les plaques de carton-plâtre peuvent être recyclées (chute de produits neufs).

- Les isolants (chute de produits neufs) peuvent être collectés et renvoyés à l'usine si cette possibilité existe.

• ...

SUD :

- réalisation d'un plan de gestion des déchets prévoyant un tri poussé et un maximum de réutilisation et de recyclage.

→ Les déchets « terre »

La construction occasionne souvent des fouilles et déblais. Ces volumes de terres, s'ils sont évacués, doivent être considérés comme déchets. Leur transport et leur traitement impliquent des consommations de ressources et l'émission de pollutions. Le volume de terre à évacuer doit donc être minimisé autant que possible. Dans certains cas, c'est un remblai qui sera nécessaire et dont les impacts devront être pris en compte.

Les « déchets » terre

Critère quantitatif :

- volume de terre à évacuer : tonnes, m³

- volume de terre à amener : tonnes, m³

Niveau d'évaluation : projet global

Outils d'évaluation : -

Objectif : diminuer les déblais

SUD :

- utilisation de la terre de déblai comme matériau de construction, pour des dalles et des enduits ;
- aménagement paysager pour permettre le maintien d'un maximum de terre sur le site ;
- évaluation de la possibilité de toitures vertes extensives avec une couche de terre issue du site.

Action 5 : Privilégier les matériaux durables

L'évaluation des matériaux de construction nécessite des critères au niveaux d'indicateurs multiples.

→ Hypothèses et méthode d'évaluation :

- La durée de vie des bâtiments est la période pendant laquelle le bâtiment ne sera pas démoli, et ne subira pas de transformation majeure. Cette durée est souvent évaluée à 80 ans pour du logement. Une bonne conception au niveau de la flexibilité et des possibilités de transformation est déterminante pour permettre cette durée de vie sans changement majeur. La durée de vie

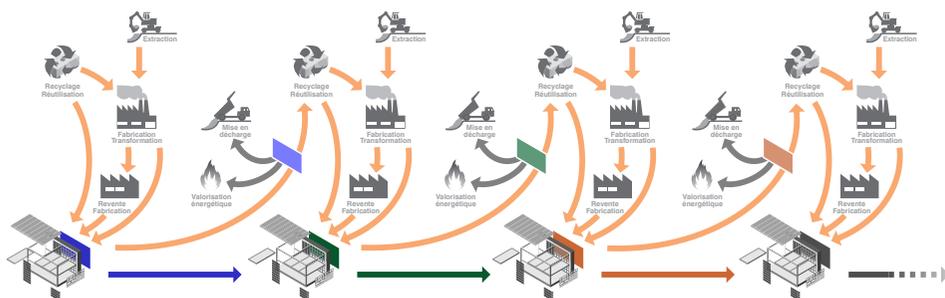
6. MATÉRIAUX ET DÉCHETS DE CONSTRUCTION

du bâtiment dépasse la durée de vie de certains matériaux, qu'on considère alors comme remplacés à l'identique.

- La durée de vie d'un matériau est difficile à évaluer. Elle varie suivant le type de mise en œuvre et l'usage qui en est fait. Les changements de fonctions et de critères esthétiques sont aussi des facteurs influents et difficilement prévisibles. Les bases de données proposent en général des durées de vie pour les différents matériaux. C'est un facteur essentiel pour évaluer leurs impacts, puisqu'il détermine le taux de renouvellement qui doit être comptabilisé pour ce matériau (durée de vie du bâtiment / durée de vie du matériau).
- Le cycle de vie du matériau peut être divisé en trois phases :
 - o La fabrication, de l'extraction/la récolte des matières premières à la fabrication du produit.
 - o La vie en œuvre, qui inclut la mise en œuvre, les entretiens, et les remplacements éventuels (ceux-ci impliquent une multiplication des cycles fabrication - démolition).
 - o La démolition, et le traitement du matériau en fin de vie.

Si au niveau de la fabrication et de la mise en œuvre, les informations disponibles sont assez fiables, les informations concernant la vie en œuvre, la déconstruction et le traitement en fin de vie sont beaucoup moins proches de la réalité. Elles se basent sur la situation actuelle (procédés, filières, matériaux), et la projettent dans un futur assez lointain (au minimum 10-15 ans).

La phase de fabrication sera donc principalement considérée dans l'évaluation quantitative. Elle sera comptabilisée plusieurs fois pour tenir compte du taux de renouvellement du matériau, en fonction de sa durée de vie et de la durée de vie du bâtiment considéré.

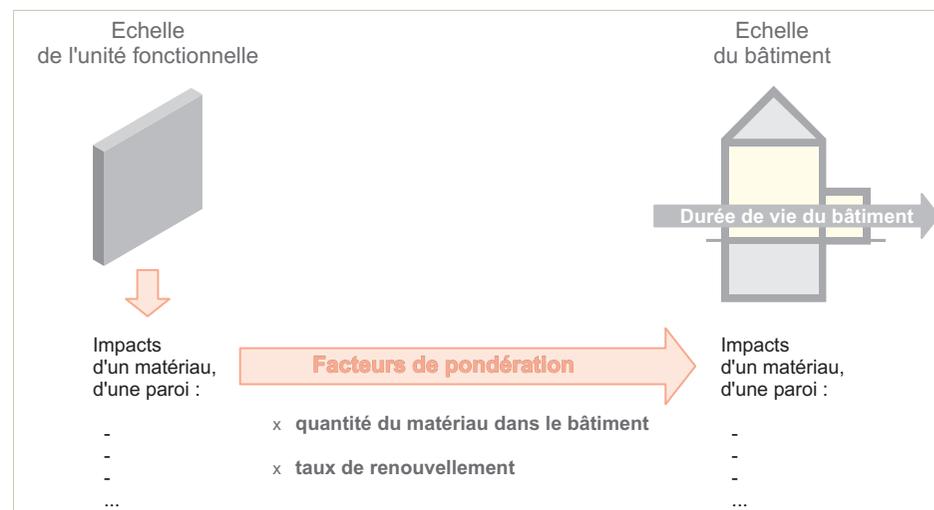


Taux de renouvellement : le cycle de vie du matériau est répété plusieurs fois sur la durée de vie du bâtiment.

- L'évaluation globale d'un projet se fait en considérant chaque élément, pondéré par la quantité mise en œuvre dans le projet pour obtenir une évaluation de l'ensemble suivant les différents critères.

Pour tous les indicateurs quantitatifs, le résultat doit être multiplié par la quantité mise en œuvre. Cette quantité est exprimée dans l'unité utilisée pour l'évaluation du critère (m² de parois, tonnes à transporter...).

Pour tous les critères qualitatifs, la quantité devrait être exprimée suivant différents indicateurs en fonction du critère évalué (la tonne pour le caractère local, l'euro pour le caractère « équitable »...) Pour rester simple, l'utilisation du volume est choisie pour la pondération. Cette grandeur est en effet facilement extrapolable à partir des métrés utilisés pour l'évaluation des impacts et les dossiers d'exécutions.



Principe d'une évaluation de l'impact des matériaux à l'échelle du bâtiment.

L'optimisation se fait par des évaluations à plusieurs échelles :

- o L'échelle du matériau, ou du groupe de matériaux techniquement indissociables (par exemple : le bardage et le lattage qui y est associé).
- o L'échelle de la paroi, qui reprend l'ensemble des matériaux qui la constitue en pondérant leurs impacts respectifs, et doit répondre à des critères qui lui sont propres (par exemple : l'isolation acoustique).
- o L'échelle du bâtiment et de ses abords, qui reprend l'ensemble des parois et des éléments qui les constitue, en pondérant leurs impacts par la quantité de paroi et d'éléments mis en œuvre.

→ Critères environnementaux

1. Revalorisation d'un matériau déjà construit par le réemploi

L'utilisation d'un matériau déjà construit permet d'éviter les impacts du traitement de ce matériau comme déchet, et d'autre part d'éviter les impacts de la fabrication d'un nouveau matériau. Les impacts environnementaux des opérations nécessaires pour permettre la réutilisation du matériau (transport, nouveau dimensionnement, décapage, ponçage...) doivent être évalués suivant les mêmes critères que ceux qui s'appliquent aux matériaux neufs.

Organisations et personnes ressources pour le réemploi et le recyclage :

- » L'asbl res-sources, Benoît Janssens (www.res-sources.be).
- » Opalis, un guide de réemploi des matériaux de construction (www.opalis.be).

Réemploi	
<i>Critère qualitatif :</i>	
- matériau de réemploi :	<i>oui / non</i>
Niveau d'évaluation :	<i>matériau</i>
Outils d'évaluation :	-
Objectif :	<i>favoriser le réemploi</i>

SUD :

- o réutilisation des éléments récupérables dans les kots étudiants : portes, sanitaires...
- o Concassage des déchets inertes et utilisation pour les granulats de bétons, et pour la réalisation de revêtements de sol extérieurs ;
- o utilisation de matériaux inertes issus des travaux de démolition pour les aménagements extérieurs (bétons, gabions...);
- o utilisation de matériaux de réemploi issus d'autres chantiers.

2. Consommation des ressources énergétiques : l'énergie grise

La définition d'énergie grise n'est pas universelle. Si toutes ces définitions parlent bien d'énergie consommée sur le cycle de vie d'un produit, elles diffèrent sur les points suivants :

- o Le périmètre du cycle de vie du produit qui peut inclure ou non :
 - » les opérations d'entretien/maintenance ;

- » la mise en œuvre sur le site ;
- » le traitement en fin de vie.
- o La nature de l'énergie comptabilisée :
 - » l'énergie renouvelable et non renouvelable ou énergie non renouvelable seulement ;
 - » l'énergie matière et procédé ou énergie procédé seulement.

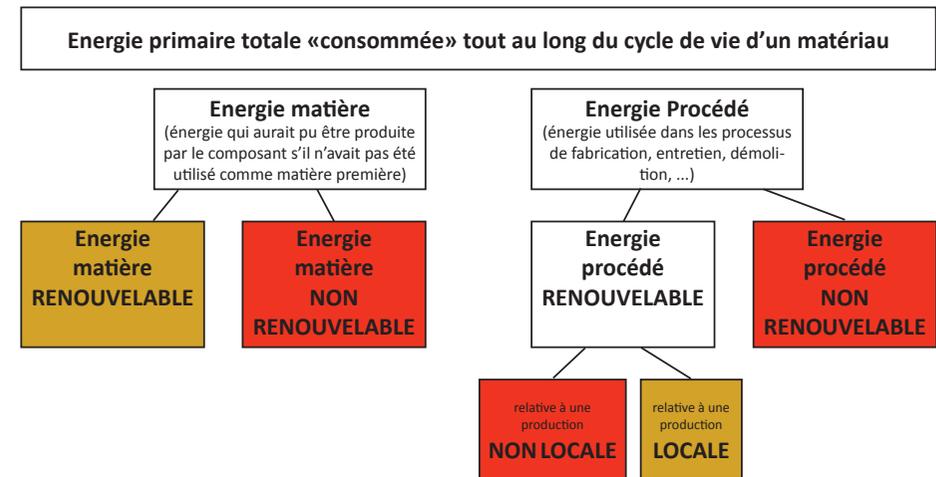


Schéma présentant la décomposition de l'énergie grise d'un matériau.

Si on considère les hypothèses suivantes :

- o L'indicateur énergétique doit permettre de comptabiliser l'impact d'un matériau, tout au long de son cycle de vie, sur la consommation globale de ressources énergétiques non renouvelables.
- o La consommation de ressources énergétiques renouvelables n'est pas un problème à prendre en compte au niveau de l'énergie si elle n'engendre pas la consommation d'autres ressources énergétiques non renouvelables.

On peut considérer que la consommation d'énergie renouvelable produite localement (chaleur produite par combustion de biomasse, panneaux photovoltaïques sur le toit de l'usine, cogénération locale...) n'aura pas d'impact sur la consommation globale de ressources énergétiques non renouvelables et ne devrait de ce fait pas être comptabilisée.

Par contre, la consommation d'énergie renouvelable non produite localement, typiquement, la production éolienne, ou hydroélectrique d'électricité, devrait être comptabilisée. En effet, actuellement, en Belgique,

la production d'électricité à partir de ressources renouvelables n'est pas suffisante pour satisfaire la demande globale en électricité. Chaque kWh « vert » utilisé dans le cycle de vie d'un matériau ne pourra donc pas l'être pour un autre usage, ce qui impliquera la consommation de 1 kWh d'énergie non renouvelable pour cet autre usage, et aura donc un impact sur la consommation globale de ressources énergétiques non renouvelable et devrait de ce fait être comptabilisé.

Remarque : La consommation de matière renouvelable (énergie matière renouvelable ou énergie procédé renouvelable) a des impacts environnementaux, qui devraient être comptabilisés, mais pas sous forme de consommation énergétique. On pourrait par exemple considérer que la production de bois d'œuvre limite l'espace disponible pour l'agriculture ou pour la biodiversité, que la production d'électricité photovoltaïque nécessite l'usage de matériaux rares pour la construction des capteurs...

Énergie grise - critère prioritaire	
Critère quantitatif :	
- énergie procédé non renouvelable :	kWh prim. non renouvelable
- énergie matière non renouvelable :	kWh prim. non renouvelable
- énergie procédé renouvelable (production non locale) :	kWh prim. renouvelable
Niveau d'évaluation :	matériau
Outils d'évaluation :	logiciel LCA (cocon, be global, ecoinvent...)
Objectifs :	favoriser les matériaux à faible énergie grise, en se focalisant sur l'énergie procédé non renouvelable

3. Consommation des ressources énergétiques : le transport

o Les transports du matériau depuis son site de fabrication jusqu'au lieu de la mise en œuvre, avec éventuellement un lieu de vente du matériau intermédiaire devraient être considérés.

o Le transport du matériau en fin de vie, vers son lieu de recyclage, incinération ou décharge devrait théoriquement également être considéré, mais la faible fiabilité d'une telle donnée la rend peu pertinente.

L'impact des distances peut être évalué par rapport à différents scénarii de modes de transport utilisés.

Transport	
Critère quantitatif :	km
- distance chantier - usine :	kWh prim.
- énergie non renouvelable :	kg _{équivalent} CO ₂
- émission de gaz à effet de serre :	
Niveau d'évaluation :	matériau
Outils d'évaluation :	cocon, be global, ...
Objectifs :	Privilégier les matériaux locaux (matières premières et fabrication). Privilégier les modes de transports peu énergivores et peu polluants.

SUD :

- o Tous les matériaux seront issus de filières locales. L'exception devant être justifiée par l'absence de solution locale pouvant remplir les exigences liées au produit (performance, caractéristiques physiques...).
- o Dans le cas où l'alternative locale n'existe pas, les matériaux recyclés seront privilégiés, et la recyclabilité des éléments doit être possible en fin de vie (filière existante et facilité de démontage des éléments).

4. Consommation des ressources non énergétiques : l'eau virtuelle

C'est la consommation d'eau nécessaire tout au long du cycle de vie du matériau / système. On ne considère pas comme consommation¹ :

- o La consommation d'eau de mer.
- o L'eau de refroidissement, restituée en fin de processus sans modification de sa qualité (l'eau évaporée est comptabilisée).
- o L'eau stockée sur place pour recirculation.
- o L'eau de pluie collectée in situ.

Eau	
<i>Critère quantitatif :</i>	
- volume utilisé :	m^3
<i>Niveau d'évaluation :</i>	matériau
<i>Outils d'évaluation :</i>	cocon, ...
<i>Objectif :</i>	favoriser les matériaux nécessitant peu de consommation d'eau

SUD :

- o Le choix des matériaux et des modes de mise en oeuvre se fera en tenant compte de leur consommation en eau.
- o La récupération d'eau de pluie pour son utilisation pendant le chantier sera prévue. Il est possible, par exemple, de détourner momentanément certaines descentes d'eau pluviale du bâtiment existant pour alimenter des réservoirs temporaires.

5. Consommation des ressources non énergétiques : nature des matières premières, rareté de la ressource non énergétique

L'épuisement des ressources est mesuré en kg d'équivalent antimoine. L'antimoine est un métal relativement rare (0,00005 %) de la croûte terrestre.

Rareté de la ressource non renouvelable - critère prioritaire	
<i>Critère quantitatif :</i>	
- indice de rareté :	kea
<i>Niveau d'évaluation :</i>	matériau
<i>Outils d'évaluation :</i>	cocon, ecoinvent...
<i>Objectif :</i>	éviter l'utilisation de matériaux très rares

SUD :

- o Les matériaux renouvelables seront privilégiés. L'utilisation de matériaux rares devra être justifiée par l'absence de solution pouvant remplir les exigences nécessaires (performance, caractéristiques physiques...) à partir de ressources renouvelables ou abondantes.
- o Dans le cas où l'alternative à partir de matériaux renouvelables ou présents en abondance n'existe pas, les matériaux recyclés seront privilégiés, et la recyclabilité des éléments doit être possible en fin de vie (filière existante et facilité de démontage des éléments).

6. Maîtrise des risques environnementaux : émissions de gaz à effet de serre

Ce critère permet d'évaluer le matériau non pas sous l'angle de la consommation des ressources, mais sous celui des émissions de polluants atmosphériques responsables des changements climatiques.

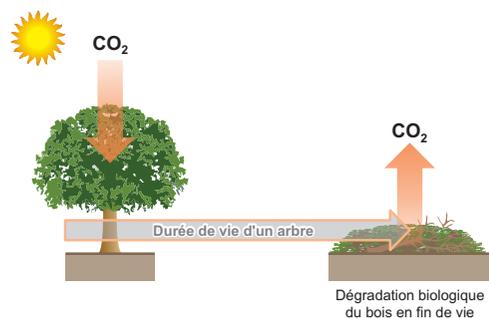
Ce critère dépend des vecteurs énergétiques utilisés, et des modes de production de l'électricité aux lieux des différentes phases du cycle de vie du matériau. Il est donc important de connaître les hypothèses des différents outils en la matière.

Les matériaux d'origine végétale ont la particularité de stocker une quantité de CO_2 lors de leur croissance, par le phénomène de photosynthèse. Le fait d'utiliser ce matériau comme matériau de construction le soustrait, pendant un temps, à son cycle naturel dans lequel, en fin de vie, il se dégrade en libérant le CO_2 qu'il avait emmagasiné pendant sa croissance. Le matériau de construction libérera lui aussi le CO_2 emprisonné en fin de vie. Le stockage de CO_2 des matières végétales est donc limité à la durée de vie du matériau. S'il est pris en compte dans les évaluations au niveau de la fabrication (c'est ce qui explique les valeurs négatives d'émissions de GES de certains matériaux), l'émission de ce CO_2 stocké doit être considérée en fin de vie, dans le processus de démolition du matériau.

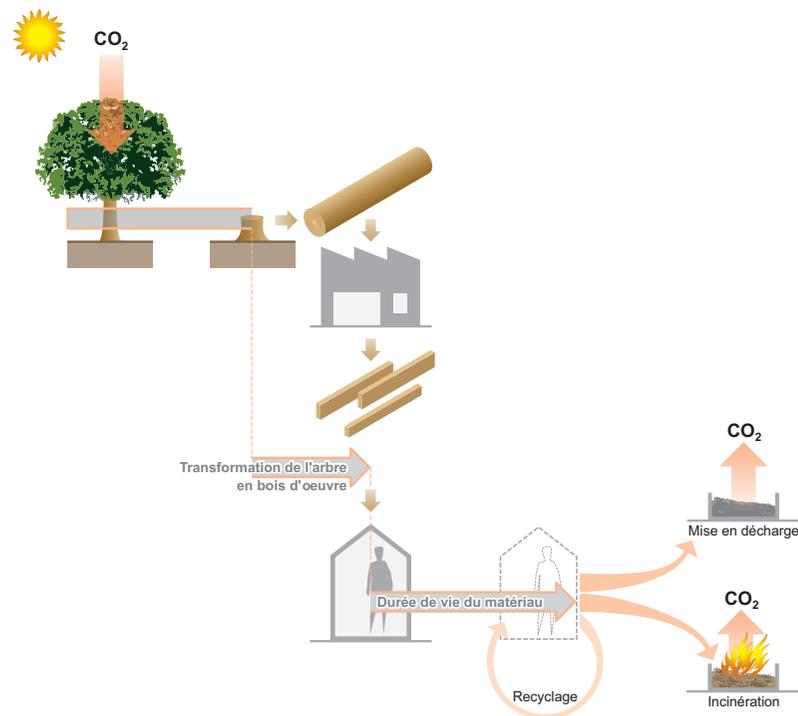
La considération du stockage de CO_2 des matériaux d'origine végétale au même titre que les émissions de CO_2 liées au cycle de vie du matériau pose question.

- o Si on ne considère que la phase de fabrication du matériau, et qu'on considère le stockage de CO_2 , on ne tient pas compte de la réémission en fin de vie du CO_2 stocké dans le matériau, le bilan est donc favorable aux matériaux végétaux, c'est comme si le CO_2 était définitivement absorbé, ce qui est faux.
- o Si l'on ne considère pas le stockage de CO_2 , ou que l'on considère également le « déstockage » en fin de vie, le bilan carbone ne permet pas de valoriser cette capacité de stockage, qui, même si elle n'est pas définitive, est intéressante. Le bilan est donc défavorable aux matériaux végétaux.

L'idéal serait de tenir compte d'une part des émissions de CO_2 , et d'autre part, du stockage de CO_2 , mais de ne pas amalgamer ces deux valeurs.



Cycle naturel du carbone dans un arbre. Le bilan est neutre.



Cycle du carbone dans le cas de l'utilisation du bois comme matériau de Construction. Le bilan est neutre, le stockage du CO₂ dans le bois d'oeuvre est provisoire.

Les bases de données utilisées par les différents outils :

- o ECOSOFT considère le stockage de CO₂ dans la phase de fabrication (valeurs négatives pour les émissions du bois), ne donne pas d'information sur la phase de démolition.
- o KBOB ne considère pas le stockage de CO₂ dans la phase de fabrication, et donne une valeur pour la phase de démolition.
- o ECOINVENT considère le stockage de CO₂ dans la phase de fabrication (valeurs négatives pour les émissions du bois), ne donne pas toujours d'information sur la phase de démolition.

Émission de gaz à effet de serre (GES, GWP) - critère prioritaire

Critère quantitatif :

- GES : $kg_{\text{équivalent}} CO_2$

- stockage de CO₂ : $kg_{\text{équivalent}} CO_2$

Niveau d'évaluation : matériau

Outils d'évaluation : cocon, be global, , ecosoft, ...

Objectifs : limiter les émissions de gaz à effet de serre et optimiser le stockage du CO₂

SUD :

- o Privilégier les matériaux qui ont un faible impact sur l'effet de serre, et les matériaux d'origine végétale pour leur capacité à stocker le CO₂.

7. Maîtrise des risques environnementaux : émission de gaz acidifiants

Émission de gaz acidifiants

Critère quantitatif :

- gaz acidifiants : $kg_{\text{équivalent}} SO_2$

Niveau d'évaluation : matériau

Outils d'évaluation : cocon, , ecosoft, ...

Objectifs : limiter les émissions de polluants

8. Maîtrise des risques environnementaux : émission de gaz provoquant la formation d'ozone troposphérique

Formation d'ozone troposphérique	
<i>Critère quantitatif :</i>	
- formation d'ozone troposphérique :	$kg_{\text{équivalent } C_2H_2}$
Niveau d'évaluation :	matériau
Outils d'évaluation :	cocon, , ecosoft, ...
Objectifs :	limiter les émissions de polluants.

9. Maîtrise des risques environnementaux : durée de vie et cohérence des systèmes au niveau de la durée de vie des différents composants

La durée de vie d'un matériau est prise en compte dans l'évaluation de ses impacts par l'intermédiaire du taux de renouvellement (durée de vie du bâtiment/durée de vie du matériau). Celui-ci détermine combien de fois les impacts des différentes phases du cycle de vie du matériau doivent être comptabilisés pour évaluer les impacts de ce matériau sur la durée de vie du bâtiment.

Le critère proposé ici considère la cohérence d'une paroi, d'un système constructif au niveau de la durée de vie de ses différents composants. Il est en effet nécessaire de garantir le fait que les matériaux ayant une durée de vie moins longue puissent être remplacés sans nécessiter la démolition de composants dont la fin de vie n'est pas atteinte. Par exemple, une conception massive, composée d'un isolant dont la durée de vie est évaluée aux alentours de 50 ans maximum, et positionné entre deux murs maçonnés dont la durée de vie dépasse largement 50 ans est illogique. Soit l'isolant sera conservé au-delà de sa durée de vie, au détriment éventuellement de ses performances, soit il sera remplacé au prix d'une action sur le mur de parement, non démontable, coûteux, et encore parfaitement en état...

Cohérence au niveau des durées de vie - critère prioritaire	
<i>Critère qualitatif :</i>	
- cohérence du système constructif au niveau de la durée de vie des composants :	non / oui
Niveau d'évaluation :	matériau, paroi
Outils d'évaluation :	cocon, be global, ecosoft, ...
Objectifs :	privilégier les matériaux avec une longue durée de vie, garantir la cohérence.

10. Maîtrise des risques environnementaux : production de déchets lors de la mise en œuvre

Certaines caractéristiques des matériaux permettent de minimiser la création de déchets lors de la mise en œuvre (chutes de panneaux d'isolation, de plaques...) et favoriser la réutilisation de ces déchets.

- » matériaux en vrac ;
- » matériaux dont l'unité de base est de petite taille ;
- » matériaux fabriqués à dimension ;
- » matériaux utilisés dans la construction d'éléments préfabriqués ;
- » considération des dimensions standard lors de la conception.

Ces principes sont à privilégier.

Déchets - mise en oeuvre	
<i>Critère quantitatif :</i>	
- pourcentage de chutes :	%
<i>Critère qualitatif :</i>	
- quantité de perte à la pose, chutes :	élevée / moyenne / faible
Niveau d'évaluation :	paroi
Outils d'évaluation :	-
Objectifs :	minimiser les déchets

11. Maîtrise des risques environnementaux : type d'assemblages, démontabilité et dissociation des différents éléments d'une paroi, d'un système

Les possibilités de désassemblages conditionnent l'optimisation des traitements des matériaux en fin de vie, leur potentielle réutilisation, leur recyclage... Il est donc essentiel de privilégier :

- » les assemblages mécaniques des différents matériaux ;
- » des dispositifs d'accroches lisibles, compréhensibles ;
- » les joints de maçonnerie/carrelage de résistance inférieure aux éléments maçonnés/collés pour permettre une séparation sans endommager les éléments ;
- » les éléments de base de petite dimension.

Désassemblage - critère prioritaire

Critère qualitatif :

- facilité de désassemblage : faible / moyenne / élevée

Niveau d'évaluation : paroi

Outils d'évaluation : -

Objectifs : garantir la possibilité de recyclage - réutilisation en fin de vie

12. Maîtrise des risques environnementaux : réutilisation/recyclage

Existence de filières permettant la réutilisation ou le recyclage des différents matériaux.

Possibilité de recyclage - critère prioritaire

Critère qualitatif :

- recyclage en fin de vie : non recyclable / recyclable, mais non actuellement recyclé/recyclé

Niveau d'évaluation : matériau

Outils d'évaluation : -

Objectifs : garantir les possibilités de recyclage en fin de vie

→ Critères sociaux :

13. Impact sur la santé

Risque pour la santé des occupants et des travailleurs. Utilisation de produits toxiques, émissions de polluants.

Santé - critère prioritaire

Critère qualitatif :

- risque sur la santé des occupants : nuisances avérées / risque de nuisances/innofensif

- risque sur la santé des travailleurs : nuisances avérées / risque de nuisances/innofensif

Niveau d'évaluation : matériau, paroi

Outils d'évaluation : Cocon, NIBE

Objectifs : absence d'impacts négatifs sur la santé des occupants/travailleurs

14. Contexte social

Quelles sont les conditions sociales des travailleurs lors des différentes étapes de la fabrication et de la mise en œuvre du matériau – système. Y a-t-il une assurance du respect des droits de l'homme ? Les conditions de travail sont-elles contrôlées ? Les travailleurs bénéficient-ils de conditions sociales comparables à celles appliquées en Belgique ?

Le prix du matériau est-il réparti entre les différents intervenants de la chaîne de production avec équité ?

Il n'existe pas, à notre connaissance de critères et de données établis dans ce domaine.

Le critère de base implique la réponse à des normes sociales (en vigueur en Europe). Ces normes impliquent les interdictions du travail des enfants, du travail forcé, la non-discrimination, le droit à un environnement de travail sain et sans danger, le droit de former un syndicat...

Pour aller plus loin, il s'agit de promouvoir des entreprises pour lesquelles le développement social et humain des travailleurs est une valeur. Ceci pourrait être évalué de différentes manières :

o Évaluation de la satisfaction des travailleurs.

o Écart maximum entre le plus bas et le plus haut salaire de l'entreprise : facteur 10 (exemple de la banque Triodos en Belgique).



En Suisse, l'initiative 1:12 pour des salaires équitables vise à empêcher que, dans une même entreprise, un employé gagne moins en un an que son patron en un mois. Pour ce faire, elle exige que soit inscrit dans la Constitution un article selon lequel, dans une société, le salaire le plus élevé ne doit pas être plus de 12 fois supérieur au salaire le plus bas. Les Suisses ont refusé cette initiative par le vote, le 24/11/2013.

o Parité homme-femme dans les fonctions où la résistance physique n'est pas un élément déterminant.

o ...

Les données devraient être pondérées/réparties suivant les différentes phases du cycle de vie du matériau, avec une pondération en fonction du résultat, pour que les matériaux qui sont produits dans des conditions ne respectant pas les droits de l'homme soient fortement défavorisés, même si la quantité des matières est faible.

Conditions sociales - critère prioritaire	
<i>Critère qualitatif :</i>	
- <i>protection sociale des travailleurs :</i>	<i>aucun contrôle / Europe / matériau « équitable »</i>
<i>Niveau d'évaluation :</i>	<i>matériau</i>
<i>Outils d'évaluation :</i>	-
<i>Objectifs :</i>	<i>soutenir une économie respectueuse des êtres humains</i>

15. Possibilité/intérêt d'autoconstruction

Concernant certains types de travaux (les finitions en particulier), l'autoconstruction permet aux futurs occupants de réduire les coûts de main-d'œuvre et de s'investir dans leur lieu de vie.

Auto-construction	
<i>Critère qualitatif :</i>	
- <i>possibilité d'autoconstruction :</i>	<i>non / difficilement / facilement</i>
<i>Niveau d'évaluation :</i>	<i>paroi</i>
<i>Outils d'évaluation :</i>	-
<i>Objectifs :</i>	<i>participation possible à la construction de son habitat</i>

→ Critères techniques :

16. Inertie

L'inertie d'un matériau peut être caractérisée par deux valeurs :

- o L'effusivité thermique (rapidité d'absorption d'un flux thermique instantané par unité de surface de paroi) :

$$E = (\lambda \cdot \rho \cdot C)^{1/2} [(W/m^2K) \cdot h^{-1/2}]$$

- o La diffusivité thermique (rapidité avec laquelle la chaleur se propage par conduction à travers le matériau) :

$$D = \lambda / (\rho \cdot C) [m^2/h] \text{ ou } [m^2/sec]$$

Les matériaux qui amènent une forte inertie ont une effusivité thermique importante et une diffusivité thermique faible.

L'inertie d'un bâtiment, ou d'un espace dépend de l'inertie des matériaux et des parois qui le composent, et de la surface de paroi accessible à un échange thermique.

Inertie - critère prioritaire dans les espaces de séjour	
<i>Critère quantitatif :</i>	
- <i>effusivité :</i>	$(W/m^2K) \cdot h^{-1/2}$
- <i>diffusivité :</i>	$[m^2/h]$
<i>Niveau d'évaluation :</i>	<i>matériau, paroi, espace</i>
<i>Outils d'évaluation :</i>	-
<i>Objectif :</i>	<i>forte inertie, surtout dans les locaux qui ont des charges internes et des gains solaires importants, pour lutter contre les risques de surchauffe. Cette inertie doit être couplée à des possibilités de ventilation naturelle nocturne intensive.</i>

17. Capacités de régulation hygrométrique

La régulation hygrométrique se fait par l'absorption et la restitution de vapeur d'eau par les matériaux en fonction de l'humidité de l'air ambiant. La capacité de régulation hygroscopique d'un matériau est fonction de son coefficient de diffusion de la vapeur (μ) et de sa capacité de sorption hygroscopique. Ces deux valeurs définissent de manière dynamique le mbv (moisture buffer value).

L'effet positif de la capacité de régulation hygrométrique sur le confort des occupants est un fait couramment énoncé. Cependant, les simulations dynamiques¹ ne permettent pas de valider un impact important de la régulation hygrométrique des matériaux de paroi sur l'ambiance intérieure. Ce critère ne peut donc être considéré comme essentiel.

¹ Discussion avec A. Evrard, suite à des simulations réalisées sur les logiciels WOOFI et WOOFI+.

Régulation hygrométrique	
Critère qualitatif :	
- régulation hygrométrique :	nulle / moyenne / importante
Niveau d'évaluation :	matériau, paroi, espace
Outils d'évaluation :	-
Objectif :	privilégier les matériaux et revêtements capables de réguler l'humidité ambiante.

18. Isolation acoustique

L'isolation acoustique entre les différents logements doit être très performante pour permettre une cohabitation harmonieuse des occupants. Ce critère sera déterminant pour les parois qui séparent les logements.

L'isolation acoustique par rapport à l'extérieur est un critère important, étant donné les plaintes des étudiants par rapport aux nuisances sonores. Les critères par rapport aux espaces seront définis par rapport à la norme en vigueur : NBN -S01-400-1: « Critères acoustiques pour les immeubles d'habitation ».

Isolation acoustique - critère prioritaire	
Critère quantitatif :	
- isolation acoustique bruits aériens (RW) :	dB
- isolation acoustique bruits d'impact (planchers) (RW) :	dB
Critère qualitatif (par rapport à la norme : NBN -S01-400-1)	
- confort acoustique bruits aériens :	normal / supérieur / meilleur que le supérieur
- confort acoustique bruits d'impact :	normal / supérieur / meilleur que le supérieur
Niveau d'évaluation :	paroi, espaces
Outils d'évaluation :	-
Objectifs :	garantir l'intimité acoustique des logements

19. Épaisseur de paroi (à performances égales)

La performance ou la nature des matériaux utilisés peut avoir un impact au niveau de l'épaisseur des parois. L'épaisseur des parois dans la mesure

où elle n'a pas d'usage spécifique, implique une consommation d'espace qu'il convient de prendre en compte.

Consommation d'espace	
Critère quantitatif :	
- épaisseur de paroi :	m
- surface d'encombrement : (épaisseur * longueur de paroi) :	m ²
Niveau d'évaluation :	paroi
Outils d'évaluation :	-
Objectifs :	à performance équivalente, privilégier les solutions qui génèrent le plus faible encombrement

20. Accord avec les prescriptions urbanistiques

La conformité avec les prescriptions urbanistiques peut être un élément déterminant. Une dérogation par rapport à ces prescriptions devra toujours être motivée.

Adéquation avec les normes urbanistiques	
Critère qualitatif :	
- adéquation avec les règles en vigueur :	oui / non
Niveau d'évaluation :	matériau
Outils d'évaluation :	-

21. Facilité d'entretien, possibilité de réparation

L'entretien des surfaces, leur résistance et la possibilité de les réparer facilement permettent de maintenir la qualité des matériaux dans le temps.

Entretien, réparation	
<i>Critère qualitatif :</i>	
- résistance à l'usure, aux coups :	<i>faible / moyenne / bonne</i>
- facilité d'entretien :	<i>faible / moyenne / bonne</i>
- possibilité de réparation ponctuelle :	<i>faible / moyenne / bonne</i>
Niveau d'évaluation :	<i>matériau</i>
Outils d'évaluation :	-
Objectifs :	<i>choix de matériaux résistants, ou facilement réparables, pour optimiser leur durée de vie.</i>

22. Possibilités de préfabrication

La possibilité de préfabriquer des parois, ou des morceaux de parois permet de limiter les nuisances du chantier, de limiter le temps d'intervention, d'augmenter la qualité de la mise en œuvre, de minimiser les déchets de construction.

Préfabrication	
<i>Critère qualitatif :</i>	
- préfabrication possible et prévue :	<i>non / oui</i>
Niveau d'évaluation :	<i>parois, bâtiment</i>
Outils d'évaluation :	-
Objectifs :	<i>favoriser la préfabrication</i>

23. ATG, assurance de qualité, expertise et main-d'œuvre facilement disponible

Expertise et agréments	
<i>Critères qualitatifs :</i>	
- disponibilité des connaissances techniques et de la main d'œuvre qualifiée	
matériaux/système normalisés et couverts par un ATG :	<i>faible / moyenne / bonne non / oui</i>
Niveau d'évaluation :	<i>matériau, parois</i>
Outils d'évaluation :	-
Objectifs :	<i>minimiser les risques de problèmes de la construction</i>

24. Critères techniques spécifiques

Critères à définir en fonction de l'élément particulier, comme, par exemple, la possibilité de réaliser l'étanchéité à l'air par l'extérieur dans le cas de l'isolation par l'extérieur, l'impact du choix sur la durée du chantier, sur les possibilités d'occupations, les choix possibles au niveau de l'esthétique, des couleurs, etc.

À définir en fonction de l'élément particulier	
<i>Critère quantitatif :</i>	
<i>Critère qualitatif :</i>	
Niveau d'évaluation :	
Outils d'évaluation :	
Objectifs :	

→ Critères économiques

25. Les coûts

Le prix reste bien évidemment un élément crucial à considérer. Il est pertinent de considérer chaque solution par rapport aux solutions alternatives, mais aussi, chaque solution par rapport à l'ensemble de l'investissement, pour pouvoir évaluer correctement l'impact du choix d'une solution sur le coût global.

Coût	
<i>Critères quantitatifs :</i>	
- coût des matériaux :	€
- coût de la main d'oeuvre :	€
Niveau d'évaluation :	<i>matériau, parois</i>
Outils d'évaluation :	<i>estimatifs, devis</i>
Objectif :	<i>permettre la réalisation de l'ouvrage</i>

Méthode

L'évaluation d'un projet à travers les impacts des matériaux de construction qui le constituent doit permettre d'orienter les choix en matière de conception et de construction. À l'échelle de la paroi, au minimum trois solutions seront complètement étudiées :

- Une solution couramment appliquée actuellement, conçue sans préoccupation spécifique pour le développement durable.
- Deux autres solutions conçues pour répondre aux mieux aux objectifs du développement durable, évaluées suivant différents critères définis ci-dessus. Ces solutions seront imaginées suite à plusieurs évaluations à l'échelle du matériau ou d'un ensemble de matériaux techniquement indissociables.

Face à chaque choix, la solution qui répond le mieux à l'ensemble des critères sera retenue. La pondération des critères d'évaluation n'est pas figée dans ce document. Certains critères sont cependant considérés comme prioritaires. Les solutions dont l'évaluation sera mauvaise suivant ces critères ne pourront pas être retenues.

Pour être considérée comme meilleure qu'une autre, une solution doit mieux répondre à certains critères tout en ne répondant pas moins bien (ou pas significativement moins bien) aux autres critères.

Le coût est un critère important, mais il est difficile de définir l'évaluation d'un coût économique en dehors d'une comparaison. Il est probable que le coût des solutions les plus durables soit supérieur au prix des solutions généralement mises en oeuvre, la question est plus de savoir si le coût est supportable que si le coût est minimal.

Le critère esthétique sera considéré avec créativité. Dans un contexte de démarche durable, il est essentiel de prendre conscience des normes esthétiques qui influencent les concepteurs, les maîtres d'ouvrages, et les occupants et d'oser faire des propositions esthétiques conditionnées par le respect des principes du développement durable. Le «beau» étant une valeur subjective, il ne peut être considéré comme tel si les impacts sociaux ou environnementaux de sa production sont catastrophiques.

L'architecture durable a un rôle à jouer pour offrir une beauté qui dépasse les critères du marché. La récupération d'éléments chargés d'une patine, d'une histoire, et éventuellement de certains défauts, la coexistence d'éléments de différentes époques, la possibilité d'envisager des éléments dépareillés, non homogènes, mais aussi un travail de conception, de calepinage, de dessin permettent de générer de la beauté dans une optique de développement durable. C'est cette esthétique-là que le projet visera, cette beauté-là qu'il s'agit de construire, de rendre attractive et de vendre.

Evaluation de solutions concrètes

Le projet a donné lieu à un questionnaire lié aux matériaux, ciblé sur certains postes et sur certains matériaux qui semblaient pertinents.

Les données issues de la publication « Choix des matériaux, écobilan de parois¹ » et de ses annexes ont été utilisées pour évaluer les solutions concrètement proposées dans

le projet SUD, malgré le fait qu'elles ne soient pas publiquement disponibles sous forme d'outil informatique, c'est la solution qui apparaissaient offrir à la fois le plus de transparence et de possibilité de comparaisons, la meilleure fiabilité et le plus de critères observés.

Une durée de vie de 50 ans a été considérée pour le bâtiment. La durée de vie des bâtiments de logement varie suivant la littérature entre 50 et 80 ans. Le choix de considérer une durée de vie de 50 ans a été pris d'une part pour suivre l'option considérée par la publication utilisée comme base de calculs, et d'autre part pour limiter l'influence des renouvellements. En effet, le taux de renouvellement et l'impact d'un remplacement dans un futur assez lointain sont des données chargées d'incertitudes.

La durée de vie des matériaux a été déterminée sur base de la publication. Certaines durées de vie ont été modifiées pour garantir une durée de vie unique pour un ensemble de matériaux techniquement indissociables. Dans ce cas, la durée de vie la plus faible a été adoptée pour tous les matériaux de l'ensemble.

L'évaluation est faite sur l'ensemble du cycle de vie, comprenant la fabrication, la démolition et les remplacements éventuels (fabrication et démolition supplémentaire). Pour les émissions de gaz à effet de serre, le stockage du CO₂ a été considéré dans la phase de fabrication (valeur négative pour les émissions de gaz à effet de serre), mais le déstockage de CO₂ en fin de vie n'a pas été considéré. Les calculs des émissions de gaz à effet de serre sont donc favorables aux matériaux d'origine végétale.

Le nombre de variables étant important, les évaluations doivent être faites dans un premier temps sur des matériaux, ou des portions de parois (l'ensemble des éléments techniquement dépendants) et ensuite sur des parois complètes (en retenant le ou les meilleurs matériaux pour sa composition) et l'ensemble du bâtiment.

Comme mentionné dans la définition des critères, certains critères ne sont observables que sur l'entièreté de la paroi. C'est le cas, par exemple, de la conformité aux prescriptions incendies, de l'isolation acoustique... Certains critères ne sont pertinents que pour certains matériaux et ne sont donc pas proposés pour l'évaluation des autres. C'est le cas par exemple, de l'inertie, qui n'est intéressante que pour un matériau en contact avec l'ambiance intérieure.

Certains critères ne peuvent être évalués que pour un produit précis et non un matériau générique. C'est le cas par exemple de la localisation de la production. Ou éventuellement du prix. Dans certains cas, une possibilité peut être indiquée.

L'objectif ici est plus de renseigner un mode d'évaluation que de réaliser l'évaluation complète.

- Solutions pour l'isolation et le parement des façades existantes

Le choix de la technique et des matériaux utilisés pour isoler les façades des bâtiments existants répond à de multiples enjeux.

L'image du bâtiment, son identité au sein de la ville est fortement influencée par la finition extérieure. Dans le cas de Louvain-La-Neuve, l'image de la ville et les prescriptions urbanistiques en vigueur, qui imposent la brique de terre cuite comme revêtement de façade, sont questionnées.

¹ [TRACHTE, 2010].

Le bâtiment est un bâtiment moyen et doit donc répondre aux critères de protection incendie qui y sont liés. Les bardages bois ne sont autorisés que s'ils sont rendus ignifuges, l'ensemble de la paroi doit répondre aux contraintes liées à la sécurité incendie.

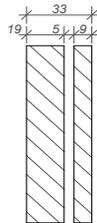
Le contexte de la rue des Blancs Chevaux offre un environnement bruyant dont il est pertinent d'isoler acoustiquement les logements.

La gestion du chantier, et la durée de l'intervention ont des répercussions importantes sur le temps d'occupation nécessaire des logements, et donc sur le coût de l'opération. La rapidité d'intervention, les possibilités de préfabrication éventuelles sont des facteurs essentiels.

La paroi de façade complète devra être étanche à l'air. Cette étanchéité est souvent réalisée par la couche d'enduit intérieur. Dans le cas de cette rénovation, cette solution présente plusieurs désavantages. Elle allonge le temps d'intervention dans les logements, elle nécessite l'enduisage des murs intérieurs alors que la solution actuelle, laissant les briques apparentes, résiste très bien et avec peu d'entretien aux occupations étudiantes. Enfin, la performance d'étanchéité à l'air semble difficile à assurer par l'intérieur, étant donné les nombreux raccords techniquement difficiles à assurer. La possibilité de réaliser l'étanchéité à l'air par l'extérieur est donc un critère à considérer.

- Hypothèses de départ

- La situation existante est constituée d'un mur double en briques pleines, avec lame d'air ventilée non isolée. La brique intérieure laissée apparente dans la plupart des logements.



Coupe schématique de la façade existante.

- Les situations projetées

- » Démolition du parement brique, en raison :
 - Des risques que comporte le fait de garder une lame d'air au sein de la paroi (condensation, défauts d'étanchéité à l'air...).
 - De la difficulté d'assurer les fixations d'une structure sans accès direct au mur porteur.
 - De l'épaisseur importante qui caractériserait les solutions avec en cas de conservation du mur de parement.
 - De la performance thermique de la paroi : $U = 0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$.

- » Containtes de conformité aux exigences en matière de sécurité incendie relatives aux bâtiments moyens.

- Première technique analysée : parement fixé à une ossature bois elle-même fixée au mur porteur et remplie avec un isolant.

Cette solution permet de placer une membrane freine-vapeur contre le mur porteur existant et de réaliser l'étanchéité à l'air par l'extérieur¹. Les irrégularités de la surface du mur porteur (non connues avant la démolition du mur de parement) donneront lieu à un travail sur la façade pour éviter les risques de déchirure de la membrane. Les percements au niveau de la fixation des montants de bois seront réalisés en réduisant au maximum leur impact sur l'étanchéité de l'ensemble. Cette membrane d'étanchéité à l'air devra être raccordée au pare-vapeur de la toiture et aux châssis.



Évaluation et comparaison de plusieurs variantes, à l'échelle du matériau

1. Type de structure bois :

- En chevrons massifs - composition 1

La solution évaluée est celle d'un chevron qui fait 4 cm d'épaisseur et 26 cm de largeur. Cette solution découle du U souhaité, mais ne correspond pas à la réalité des profils couramment disponible sur le marché. Des demi-8/23 seraient probablement utilisées dans ce cas, avec un complément d'isolation, ou un élément de bois permettant de passer de 23 cm à 26 cm. Une modification du U aurait des conséquences sur les caractéristiques techniques de la solution.

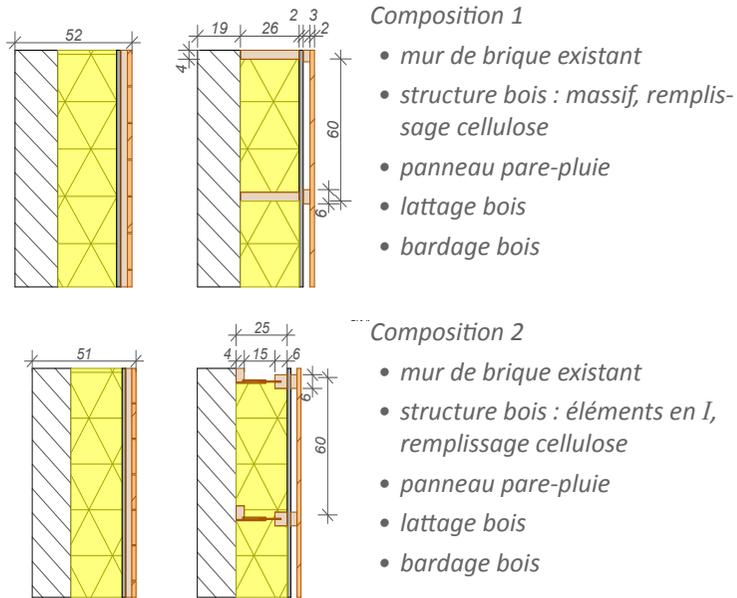
- En profils en I - composition 2

De nombreuses possibilités existent en termes d'éléments de bois composites. La solution évaluée est celle représentée sur le schéma ci-après, l'âme de l'élément est en osb et les autres parties sont en bois massif. Ce système a la particularité d'être ajustable sur place pour compenser des irrégularités ou un hors-aplomb éventuel du support.

¹ Solution validée par la société Isoproc - Mr Baivier.

6. MATÉRIAUX ET DÉCHETS DE CONSTRUCTION

L'âme pourrait être en mdf, les éléments pourraient être plutôt en I, ou constitués de T en panneaux fixés sur un seul élément massif lui-même fixé au mur. La facilité de mise en oeuvre, le lieu de fabrication et le coût des éléments sont déterminants dans l'évaluation de cette solution et intimement liés au choix du produit précis.



Plan et coupe des deux variantes de structure bois.

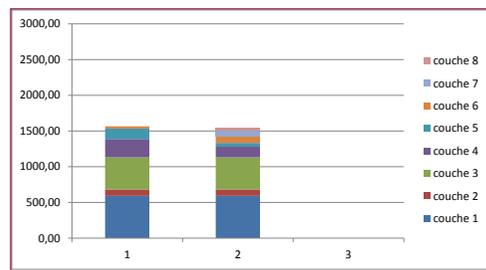
Comparaison suivant les critères environnementaux quantitatifs :

Paroi	Composants		Dimensions			Durée de vie		Performances environnementales quantitatives							
	Composants	Densité	Épaisseur couche	Correction plein/vide	Épaisseur corrigée	durée de vie	nombre remplcmt	Energie grise	NRE	Energie grise	Effet de serre	Effet de serre	Acidification	Ozone troposph.	
		ρ	e	α	$d = e \alpha$	choix éventuel (sinon: info table)	sur 50 ans	<i>fab</i>	<i>fab</i>	<i>élim</i>	<i>fab</i>	<i>élim</i>	<i>fab</i>	<i>fab</i>	
	kg/m ³	m	%	m	années	-	MJ/kg	MJ/kg	MJ/kg	kg CO2 eq/kg	kg CO2 eq/kg	kg SO2 eq/kg	kg H2C2 eq/kg		
Composition 1	couche 1	bois de bardage résineux européen	600	0,02	100%	0,020	30	1	24,6	3,2	0,109	-1,36	0,00747	0,00082	0,00006
	couche 2	lattage en bois résineux européen	600	0,03	10%	0,003	30	1	24,6	3,28	0,109	-0,98	0,00747	0,0022	0,00015
	couche 3	panneau de fibres liées au bitume	300	0,018	100%	0,018	30	1	41,6	19,9	0	-0,06	0	0,00928	0,00000007
	couche 4	poutre bois massif résineux européen	600	0,26	7%	0,017	50	0	24,6	3,2	0,109	-1,36	0,00747	0,00082	0,00006
	couche 5	cellulose en vrac	30	0,26	93%	0,243	30	1	9,72	7,08	0,294	0,27	0,024	0,00264	0,0003
	couche 6	Freine-vapeur film de polyéthylène PE	850	0,0002	100%	0,000	30	1	92,6	89,5	0,394	2,66	2,82	0,0269	0,00072
	couche 7	Rien	0			0,000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	couche 8	Rien	0			0,000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Composition 2	couche 1	bois de bardage résineux européen	600	0,02	100%	0,020	30	1	24,6	3,2	0,109	-1,36	0,00747	0,00082	0,00006
	couche 2	lattage en bois résineux européen	600	0,03	10%	0,003	30	1	24,6	3,28	0,109	-0,98	0,00747	0,0022	0,00015
	couche 3	panneau de fibres liées au bitume	300	0,018	100%	0,018	30	1	41,6	19,9	0	-0,06	0	0,00928	0,00000007
	couche 4	poutre bois massif résineux européen	600	0,1	10%	0,010	50	0	24,6	3,2	0,109	-1,36	0,00747	0,00082	0,00006
	couche 5	cellulose en vrac	30	0,1	90%	0,090	30	1	9,72	7,08	0,294	0,27	0,024	0,00264	0,0003
	couche 6	panneau multiplex	700	0,15	2%	0,003	50	0	42,3	8,9	0,144	-1,29	0,0991	0,00175	0,00012
	couche 7	cellulose en vrac	30	0,15	98%	0,147	30	1	9,72	7,08	0,294	0,27	0,024	0,00264	0,0003
	couche 8	Freine-vapeur film de polyéthylène PE	850	0,0002	100%	0,000	30	1	92,6	89,5	0,394	2,66	2,82	0,0269	0,00072

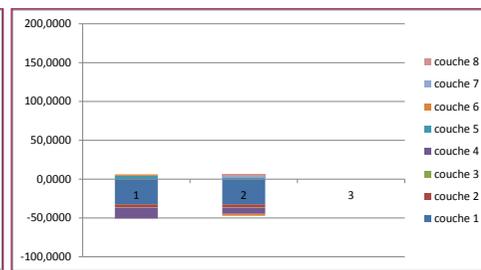
6. MATÉRIAUX ET DÉCHETS DE CONSTRUCTION

Comparaison suivant les critères environnementaux quantitatifs :

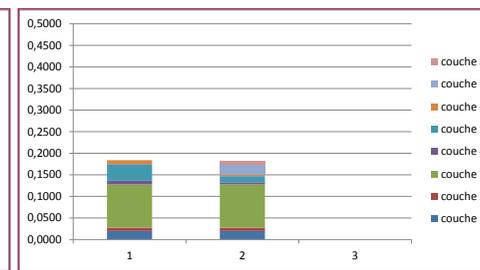
Énergie grise [MJ/m²].



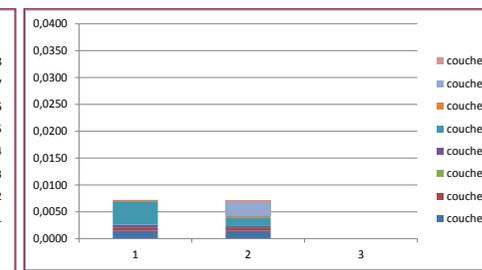
Gaz à effet de serre [kg CO₂ eq./m²].



Acidification [kg SO₂ eq./m²].



Ozone troposphérique [kg C₂H₂ eq./m²].



Comparaison suivant les autres critères (les critères non pertinents dans le cas de cette évaluation spécifique ne sont pas repris).

paroi U = 0,15 W/m ² K	système isolation par l'extérieur + revêtement de façade				quantité, pour 1m ² de paroi		remarques	ressource locale/impact du transport	consommation d'eau	rareté de la ressource	déchets, pertes à la pose	démontabilité	possibilités de réutilisation / recyclage	
	structure					unité		km	l	kea	élevée / moyenne / faible	faible / moyenne / élevée	non recyclable / recyclable mais non recyclé / recyclé	
composition 1	étanchéité à l'air	ossature bois massif	isolation	pare-pluie	revêtement de façade	0,0174	m ³	les traitements du bois massif n'ont pas été considérés dans l'évaluation	<150km	13,97955	0,0151554	faible	élevée	?
composition 2						0,015	m ³		osb: GENK: 116 km <u>bois massif</u> : <150km <u>poutres l</u>	12,0375	0,01305	faible, mais des déchets à la production ne sont pas comptabilisés (bilan osb + massif et non poutres l)	faible	?
						0,001	m ³		basique: MOLLEM: 55km <u>poutres l</u> réglable: Ludwigsburg, Allemagne: 530 km	3,11	0,0047			
paroi U = 0,15 W/m ² K	système isolation par l'extérieur + revêtement de façade				quantité, pour 1m ² de paroi		impact sur la santé des travailleurs	impact sur la santé des occupants	contexte social de production - produit équitable?	ATG, assurance de qualité...	coût des matériaux	coût de la main d'œuvre / difficulté de mise en œuvre		
	structure					unité	nuisances avérées / risque de nuisances/innofensif	nuisances avérées / risque de nuisances/innofensif	aucun contrôle / Europe / matériau «équitable»	faible / moyenne / bonne	€	€ facile/ moyenne / difficile		
composition 1	étanchéité à l'air	ossature bois massif	isolation	pare-pluie	revêtement de façade	0,0174	m ³	risque de nuisance traitement bois massif	innofensif	Europe	bonne	faible	moyenne	
composition 2						0,015	m ³	risque de nuisance production OSB + risque de nuisance traitement bois massif	innofensif	Europe	bonne	relativement élevé	faible: mise en œuvre facilitée par des éléments réglables + épaisseur importante en 1 élément	
						0,001	m ³							

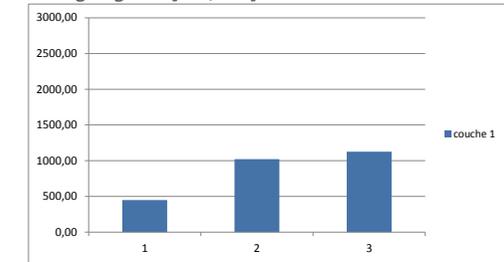
2. type de pare-pluie :

- o Panneau dérivé du bois, additionné d'une solution bitumineuse (18 mm).
- o Panneau en fibrociment (14 mm).
- o Membrane de polypropylène (0.6 mm d'épaisseur). Cette solution est difficilement compatible avec l'utilisation de cellulose en vrac comme isolant (pour la facilité de mise en oeuvre). Par ailleurs, d'autres compositions de membrane pare-pluie existent sur le marché et n'ont pas été évaluées. Par exemple, une membrane ignifuge en acrylate de polyester, de 0.36 mm d'épaisseur.

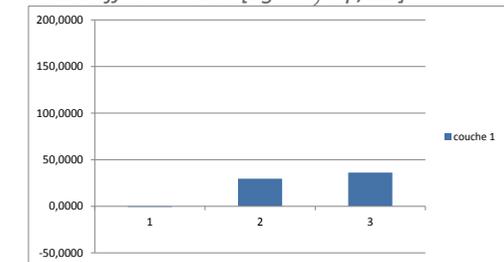
Comparaison suivant les critères environnementaux quantitatifs.

Paroi	Composants		Dimensions		Durée de vie		Performances environnementales quantitatives							
	Composants	Densité	Epaisseur couche	Correction plein/vide	Epaisseur corrigée	durée de vie	nombre remplcmnt sur 50 ans	Energie grise		Effet de serre		Acidification	Ozone troposph.	
		ρ	e	α	$d = e \alpha$			choix éventuel (sinon: info table)	fab	fab	elim	fab	elim	fab
	kg/m ³	m	%	m	années	-	MJ/kg	MJ/kg	MJ/kg	kg CO2 eq/kg	kg CO2 eq/kg	kg SO2 eq/kg	kg H2C2 eq/kg	
Composition 1 couche 1	panneau de fibres liées au bitume	300	0,018	100%	0,018	30	1	41,6	19,9	0	-0,06	0	0,00928	0,00000007
Composition 2 couche 1	panneau de fibres liées au ciment	1200	0,014	100%	0,014	30	1	30,4	21,6	0	0,88	0	0,00809	0,00000001
Composition 3 couche 1	Voile de polypropylène PP	600	0,006	100%	0,006	20	2	104,2	93,5	0	3,35	0	0,0488	0,00582

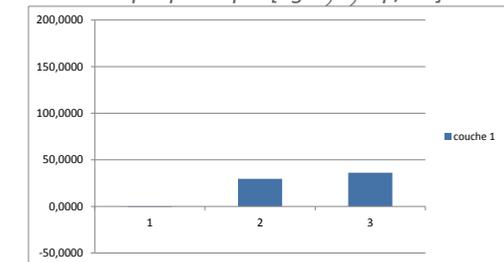
Energie grise [MJ/m²]



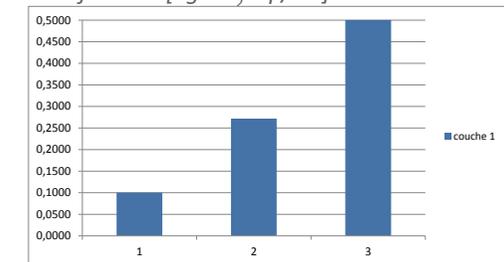
Gaz à effet de serre [kg CO₂ eq./m²]



Ozone troposphérique [kg C₂H₄ eq./m²]



Acidification [kg SO₂ eq./m²]



6. MATÉRIAUX ET DÉCHETS DE CONSTRUCTION

Comparaison suivant les autres critères (les critères non pertinents dans le cas de cette évaluation spécifique ne sont pas repris).

paroi U = 0,15 W/m²K	système isolation par l'extérieur + revêtement de façade			quantité, pour 1m² de paroi	remarques	ressource locale/impact du transport	consommation d'eau	rareté de la ressource	déchets, pertes à la pose	démontabilité	possibilités de réutilisation / recyclage
	étanchéité à l'air	ossature	isolation								
			pare-pluie			km	l	kea	faible / moyenne / élevée	faible / moyenne / élevée	non recyclable / recyclable mais non recyclé / recyclé
composition 1			panneau dérivé de bois + solution bitumineuse	0,018	m³						
composition 2			panneau de fibrociment	0,014	m³						
composition 3			membrane	5E-04	m³						

paroi U = 0,15 W/m²K	système isolation par l'extérieur + revêtement de façade			quantité, pour 1m² de paroi	impact sur la santé des travailleurs	impact sur la santé des occupants	contexte social de production - produit équitable?	ATG, assurance de qualité...	coût des matériaux	coût / facilité de la pose
	étanchéité à l'air	ossature	isolation							
			pare-pluie		nuisances avérées / risque de nuisances / inoffensif	nuisances avérées / risque de nuisances / inoffensif	aucun contrôle / Europe / matériau «équitable»	faible / moyenne / bonne	€	€
composition 1			panneau dérivé de bois + solution bitumineuse	0,018	m³	innofensif				
composition 2			panneau de fibrociment	0,014	m³	innofensif				
composition 3			membrane	5E-04	m³	innofensif				

Le panneau dérivé du bois sera favorisé, à condition de permettre de répondre aux normes de sécurité incendie.

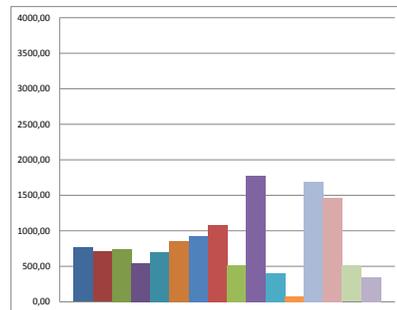
3. type d'isolant :

■ polystyrène expansé	■ fibres de bois - matelas
■ polystyrène extrudé	■ fibres de bois - panneaux
■ polyuréthane - panneaux	■ cellulose - matelas
■ laine de roche	■ cellulose - vrac
■ laine de verre	■ panneau de liège
■ verre cellulaire - panneaux	■ fibres de coco - matelas
■ perlite expansée - panneaux	■ fibres de chanvres - matelas
■ bille d'argile expansée	■ fibres de lin - matelas

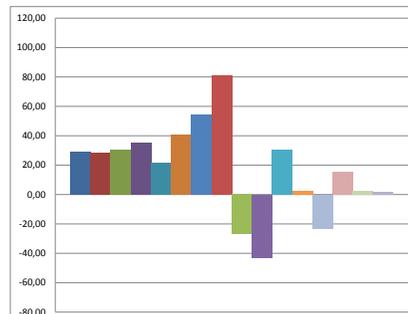
Les matériaux isolants sont nombreux. Une comparaison des critères environnementaux de base a été réalisée sur base des travaux de S. Trachte. La comparaison est réalisée pour un m² et une résistance thermique fixée. Le choix de l'isolant aura un impact sur l'épaisseur de la paroi et sur le type de pare-pluie utilisé (difficulté d'utiliser un pare-pluie de type membrane dans le cas d'un isolant en vrac).

Comparaison suivant les critères environnementaux quantitatifs, phase de fabrication :

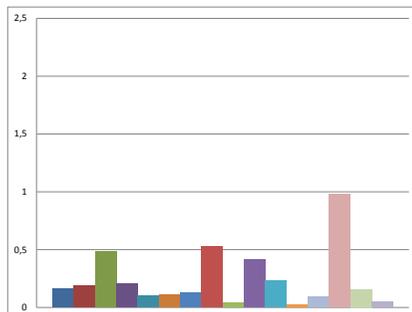
Énergie grise [MJ/m²]



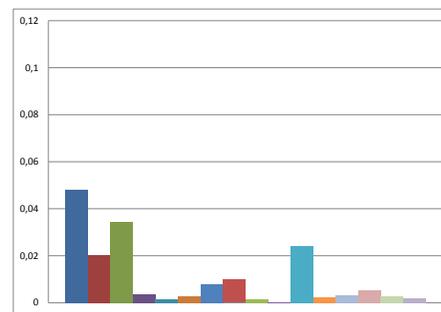
Gaz à effet de serre [kg CO₂ eq./m²]



Acidification [kg SO₂ eq./m²]



Ozone troposphérique [kg C₂H₂ eq./m²]



La cellulose en vrac apparaît comme étant le matériau le plus intéressant suivant les critères environnementaux détaillés ci-avant. Les panneaux en fibre de chanvre et de lin sont aussi très performants suivant ces 4 impacts environnementaux.

Tous ces matériaux sont recyclables. Des usines de fabrication existent en Belgique. La cellulose en vrac correspond au meilleur rapport impact environnemental - prix actuellement sur le marché, cette solution sera donc privilégiée.

4. Finition extérieure de la façade

Dans le cas de la rénovation du bâtiment Campus Irena, la composition des façades est une donnée de base. Cette composition est caractérisée par une absence d'alignements des baies. Cette caractéristique a orienté la sélection des revêtements de façades en écartant les revêtements constitués de grands éléments, comme les bardages en terre cuite, qui peuvent être une réponse architecturale intéressante à l'imposition de terre cuite en façade, mais sont difficiles à calepiner harmonieusement dans ce contexte-ci.



Façades des bâtiments existants, caractérisées par une absence d'alignement vertical des fenêtres.

Six solutions ont été évaluées dans une étude préliminaire d'analyse de cycle de vie, « cradle to gate ». Cette étude a été réalisée par le CTIB¹, en collaboration avec Architecture et climat, pour évaluer adéquatement l'impact des traitements ignifuges sur le bilan environnemental des solutions bois. Cette information n'est en effet pas disponible dans l'outil utilisé pour les autres évaluations. L'étude dans son intégralité est disponible sur le site du CTIB².

La base de données ecoinvent (v.2.2) a été utilisée. Le traitement en fin de vie et les étapes de transport entre l'usine et le chantier ne sont pas considérés. Il est également important de noter que les sources des données ne sont pas caractéristiques de la situation belge, ce qui peut impliquer certaines différences.

1 CTIB : centre technique de l'industrie du bois, <http://www.ctib-tchn.be>.

2 <http://www.ctib-tchn.be/page.php?m=8&s=125&l=FR>

La méthode d'analyse des impacts environnementaux utilisée est la méthode CML¹. Suivant la norme EN 15804, les six indicateurs environnementaux considérés sont :

- » L'épuisement des ressources naturelles / abiotic depletion, exprimée en kilo équivalent antimoine (kea).
- » L'acidification / acidification, exprimée en kg SO₂ équivalent.
- » L'eutrophisation / eutrophisation, exprimée en kg PO₄ équivalent.
- » Les émissions de gaz à effet de serre / global warming, exprimées en kgCO₂ équivalent.
- » La destruction de l'ozone stratosphérique, exprimée en kg CFC-11 équivalent.
- » Les émissions d'ozone troposphérique / photochemical oxydation, exprimées en kg C₂H₄ équivalent.

La méthode CML fournit des résultats normalisés pour ces différents indicateurs. Cette normalisation représente une pondération des différents indicateurs, donnant un poids relatif des différents impacts les uns par rapport aux autres.

Des analyses suivant la méthode « cumulative energy demand » ont également été réalisées pour fournir des indications sur l'énergie grise des matériaux.

Les différentes solutions évaluées sont détaillées ci-après :

- o Solution 1 : bardage bois, avec un traitement de préservation, un traitement ignifuge et un vernis.



Bardage en bois

Cette solution est en dérogation par rapport aux prescriptions urbanistiques, le traitement ignifuge est nécessaire pour les bâtiments moyens et le vernis est indispensable pour la protection du traitement ignifuge.

- Dimension des lattes : 22 mm x 145 mm.
- Bois de bardage scié, raboté, séché en séchoir.

- Bardage : traitement de préservation + traitement ignifuge + verni (2 passages en autoclave).
- Surface de bois pour 1m² de façade : 1.18 m² (en tenant compte des recouvrements, moyenne entre les bardages verticaux et horizontaux).
- Vis de fixation du bardage : 6 mm x 50 mm (0.17 kg/m² de façade).
- Lattage : 19 mm x 75 mm, entraxe de 50 cm.
- Lattage : traitement de préservation + traitement ignifuge (2 passages en autoclave).
- Vis de fixation du lattage : 6 mm x 50 mm (0.066 kg/m² de façade).
- Imprégnation du traitement ignifuge considéré : 100 l / m³, à une concentration de 20 %.
- Vernis acrylique du bardage : 0.09 kg/m².
- Pare-pluie : film de polyéthylène (90 % polyéthylène, 10 % polypropylène).

La durée de vie du bardage est estimée à 30 ans, la durée de vie du vernis est estimée à 15 ans². Sur la durée de 50 ans, les éléments seront donc remplacés 1 fois, et le traitement appliqué 4 fois.

Le tableau ci-après résume les hypothèses considérées.

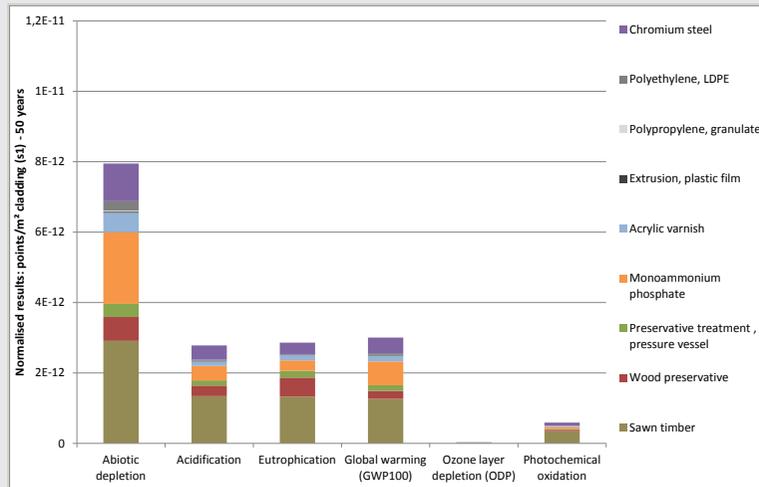
Solution 1 : bardage bois traitement ignifuge, lattage et pare-pluie	
Bois → sawn timber, softwood, planed, kiln dried, at plant	0.0576 m ³
Traitement de préservation → wood preservative, organic salt, cr-free, at plant → preservative treatment, sawn timber, pressure vessel	0.3459 kg 0.0576 m ³
Traitement ignifuge → monoammonium phosphate, as N, at regional storehouse → preservative treatment, sawn timber, pressure vessel	1.153 kg 0.0576 m ³
Vernis → acrylic varnish, 87.5% in H ₂ O, at plant	0.425 kg

² Cette hypothèse est peut-être un peu optimiste. Les analyses de sensibilité des résultats ont montré qu'une durée de vie plus courte ne modifierait pas énormément les impacts environnementaux. Cependant, si cette durée de vie est plus proche de 10 ans, l'impact sur le coût et la gestion de l'entretien est important.

¹ CML 2 baseline 2000 V2.05/West Europe, 1995.

Solution 1 : bardage bois traitement ignifuge, lattage et pare-pluie	
Pare-pluie	
→ polyethylene, LDPE, granulate, at plant	0.1188 kg
→ polypropylene granulate (PP), production mix, at plant	0.0132 kg
→ extrusion, plastic film	0.132 kg
Vis	
→ chromium steel 18/8, at plant	0.472 kg

Résultats spécifiques à cette solution :



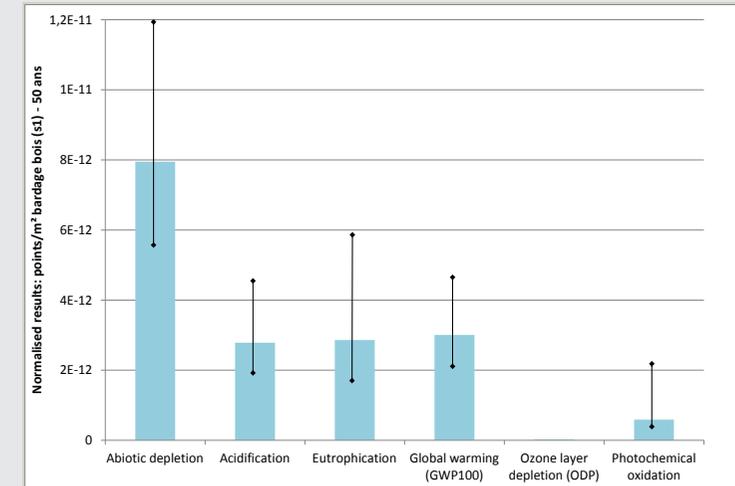
Résultats détaillés et normalisés de l'évaluation de la solution 1, pour les différents indicateurs environnementaux. Résultats obtenus à l'aide de la méthode CML et de la base de données ecoinvent.

Le graphe ci-avant permet d'observer l'influence de chaque composant du système dans les impacts environnementaux.

- » Le bois et le traitement ignifuge sont responsables d'une part importante des impacts.
- » D'après la pondération utilisée dans la méthode CML, c'est l'épuisement des ressources naturelles qui est le plus critique pour cette solution.

La quantité de bois dépend du type de bardage (horizontal, vertical, ajouré...) et le taux d'imprégnation du traitement ignifuge dépend du bois utilisé. La variation de ces deux hypothèses influence directement et proportionnellement les impacts environnementaux.

La qualité et la représentativité des données ont été évaluées (data quality indicators). L'incertitude est évaluée pour chaque catégorie d'impact suivant une analyse de Monte Carlo.



Analyse de l'incertitude pour 1 m² de bardage bois (S1), sur 50 ans (confidence interval : 95 %).

L'analyse d'incertitude illustre la prudence qu'il convient d'adopter quant aux conclusions face à ce type d'évaluation, au vu de l'incertitude parfois importante des résultats.

o Solution 2 : parement brique d'une épaisseur de 6.5 cm.



Parement en brique.

Cette solution est conforme aux prescriptions urbanistiques, mais nécessite un élargissement des fondations et implique une épaisseur importante des façades. Pour réduire l'épaisseur de la façade et les impacts environnementaux, une brique de 6.5 cm d'épaisseur a été considérée (au lieu des 9 cm traditionnels).

- dimension des briques : 220 x 65 x 50 mm ;
- densité : 1 700 kg/m³ ;

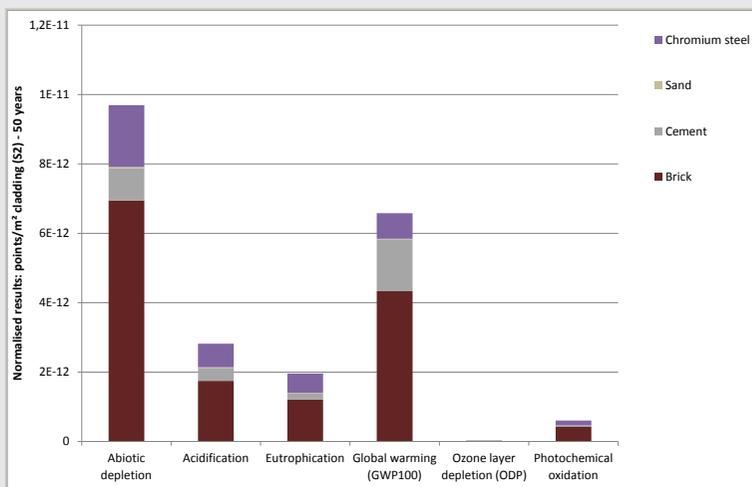
6. MATÉRIAUX ET DÉCHETS DE CONSTRUCTION

- joints d'1 cm, nombre de briques par m²: 72 ;
- durée de vie : 60 ans.

Le tableau ci-après résume les hypothèses considérées.

Solution 2: parement brique de faible épaisseur	
→ brick, at plant	87.5 kg
→ cement, unspecified, at plant	9.45 kg
→ sand, at mine	31.91 kg
Fixations	
→ chromium steel 18/8, at plant	0.784 kg

Résultats spécifiques à cette solution :



Résultats détaillés et normalisés de l'évaluation de la solution 2, pour les différents indicateurs environnementaux. Résultats obtenus à l'aide de la méthode CML et de la base de données ecoinvent.

o Solution 3 : bardage en ardoises artificielles (fibrociment).



Bardage en ardoises artificielles (fibrociment) photo : Eternit.

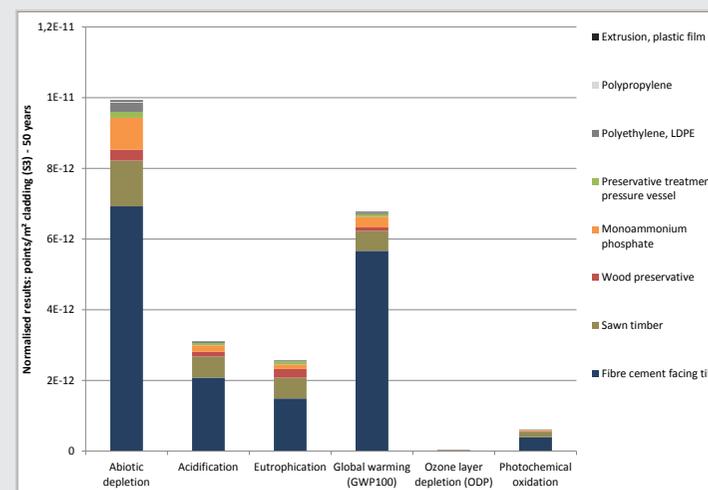
Cette solution n'est pas conforme aux prescriptions urbanistiques.

- ardoises de 4 mm d'épaisseur, pose à recouvrement simple ;
- lattage et contre lattage traité ;
- pare-pluie.

Le tableau ci-après résume les hypothèses considérées.

Solution 3 : bardage en ardoises artificielles	
Ardoises artificielles	26.5 kg
→ fibre cement facing tile, small format, at plant	
Lattage	
→ sawn timber, softwood, planed, kiln dried, at plant	0.02569 m ³
→ wood preservative, organic salt, cr-free, at plant	0.15411 kg
→ monoammonium phosphate, as N, at regional storehouse	0.51371 kg
→ preservative treatment, sawn timber, pressure vessel	0.05137 m ³
Pare-pluie	
→ polyethylene, LDPE, granulate, at plant	0.1188 kg
→ polypropylene granulate (PP), production mix, at plant	0.0132 kg
→ extrusion, plastic film	0.1320 kg

Résultats spécifiques à cette solution :



Résultats détaillés et normalisés de l'évaluation de la solution 3, pour les différents indicateurs environnementaux. Résultats obtenus à l'aide de la méthode CML et de la base de données ecoinvent.

o Solution 4: bardage constitué de plaquettes de brique collées sur un panneau de fibrociment, fixé sur des profilés aluminium.



Plaquettes de brique collées.
Photo : système signa / Vandersandengroup.

Cette solution est conforme aux prescriptions urbanistiques et ne nécessite pas d'intervention sur les fondations.

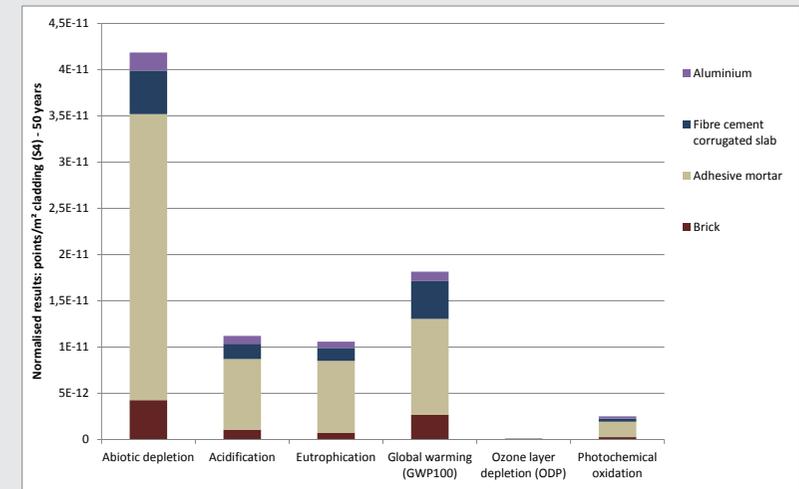
Le type de panneau sur lequel sont collées les plaquettes de briques peut varier, l'option du fibrociment a été retenue ici en raison de la disponibilité des informations environnementales sur ce produit.

- dimension des briques : 0.22m (L) x 0.02m (E) x 0.05m (H) ;
- joints : 1cm, mortier colle ;
- épaisseur de mortier colle : 1 cm ;
- panneau en fibrociment : 12 mm ;
- durée de vie du système « plaquettes sur panneau » : 30 ans ;
- profilés en aluminium, durée de vie : 50 ans.

Le tableau ci-après résume les hypothèses considérées.

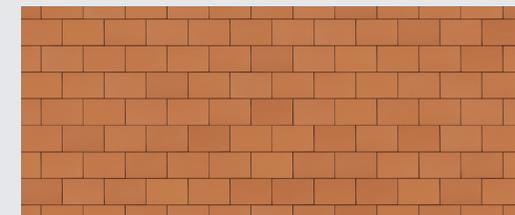
Solution 4: plaquettes de brique sur panneau fibrociment	
Briques → brick, at plant	53.8 kg
Mortier-colle → adhesive mortar, at plant	45.44 kg
Panneau en fibro-ciment → fibre cement corrugated slab, at plant	28.8 kg
Profilés aluminium → aluminium, production mix, at plant	0.42 kg

Résultats spécifiques à cette solution :



Résultats détaillés et normalisés de l'évaluation de la solution 4, pour les différents indicateurs environnementaux. Résultats obtenus à l'aide de la méthode CML et de la base de données ecoinvent.

o Solution 5 : bardage en tuiles de terre cuite



Bardage en tuiles. Photo: système facatile / Koramic.

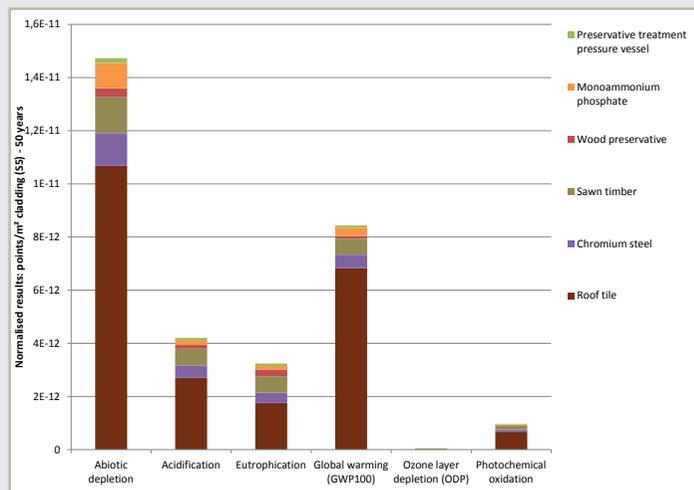
Cette solution n'est pas conforme aux prescriptions urbanistiques.

- tuiles en terre cuite, fixées avec des clips ;
- lattage et un contre lattage bois traité (préservation + traitement ignifuge) ;
- durée de vie du système : 40 ans.

Le tableau ci-après résume les hypothèses considérées

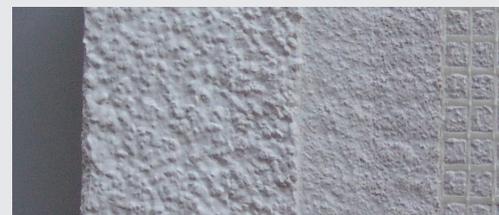
Solution 5 : bardage en tuiles de terre cuite	
Tuiles → roof tiles, at plant	92 kg
Clips → chromium steel 18/8, at plant	0.54 kg
Lattage et contrelattage	
→ sawn timber, softwood, planed, kiln dried, at plant	0.02707 m ³
→ wood preservative, organic salt, cr-free, at plant	0.1624 kg
→ monoammonium phosphate, as N, at regional storehouse	0.54133 kg
→ preservative treatment, sawn timber, pressure vessel	0.054133 m ³

Résultats spécifiques à cette solution :



Résultats détaillés et normalisés de l'évaluation de la solution 5, pour les différents indicateurs environnementaux. Résultats obtenus à l'aide de la méthode CML et de la base de données ecoinvent.

o Solution 6: enduit sur panneaux de support en fibrociment



Enduit de finition sur panneau de support: photo d'un échantillon montrant les différentes couches d'enduit.

Cette solution n'est pas conforme aux prescriptions urbanistiques

Le type de panneau utilisé comme support d'enduit peut varier, l'option du fibrociment a été retenue ici en raison de la disponibilité des informations environnementales sur ce produit et de sa résistance au feu.

Différents types d'enduits peuvent être utilisés, l'évaluation porte ici sur un seul type de finition.

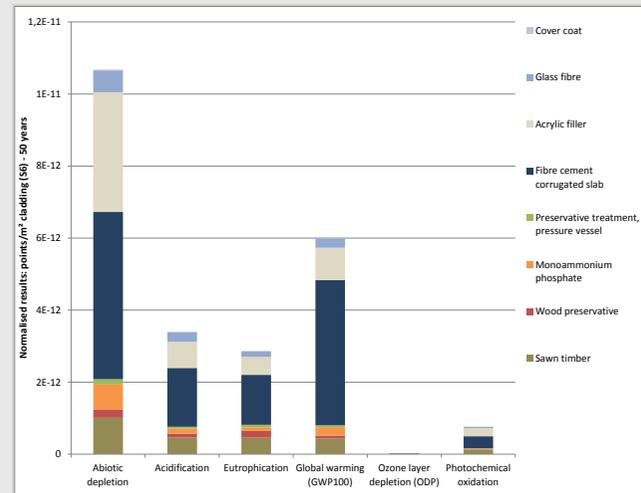
Il a été très difficile de trouver les différents composants de l'enduit dans la base de données ecoinvent, une évaluation plus précise nécessiterait des données du fabricant par rapport aux impacts environnementaux des produits utilisés.

La durée de vie du système a été évaluée à 40 ans.

Le tableau ci-après résume les hypothèses considérées.

Solution 6 : enduit de finition sur panneaux de support en fibrociment	
Enduit	
→ acrylic filler, at plant	10.5 kg
→ glass fibre, at plant	0.47 kg
→ cover coat, organic, at plant	0,16 kg
Panneau en fibro-ciment	
→ fibre cement corrugated slab, at plant	28.4 kg
Lattage	
→ sawn timber, softwood, planed, kiln dried, at plant	0.02 m ³
→ wood preservative, organic salt, cr-free, at plant	0.12 kg
→ monoammonium phosphate, as N, at regional storehouse	0.4 kg
→ preservative treatment, sawn timber, pressure vessel	0.04 m ³

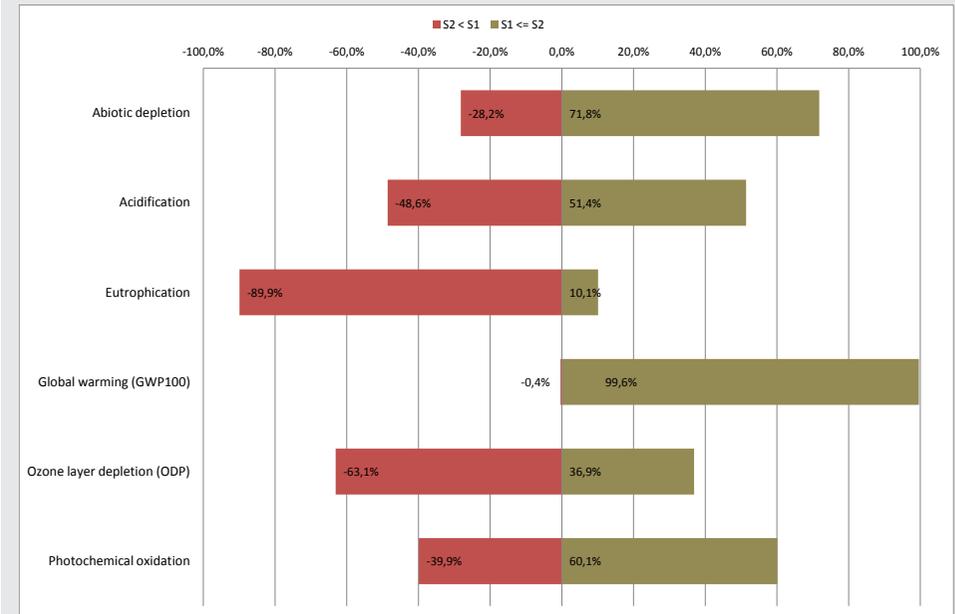
Résultats spécifiques à cette solution :



Résultats détaillés et normalisés de l'évaluation de la solution 6, pour les différents indicateurs environnementaux. Résultats obtenus à l'aide de la méthode CML et de la base de données ecoinvent.

Résultats des évaluations environnementales quantitatives :

L'évaluation portant plus spécifiquement sur les solutions S1 (bardage bois) et S2 (parement brique), une analyse d'incertitude a été réalisée et permet une comparaison en terme de probabilités.



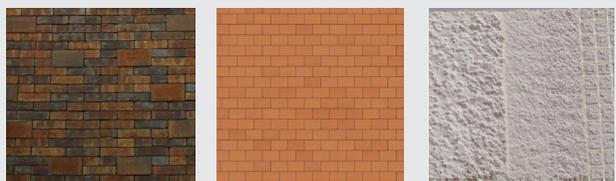
Comparaison entre la solution 1 (bardage bois traité) et la solution 2 (parement brique de .5 cm d'épaisseur), en tenant compte des incertitudes. Ce graphe illustre donc, par exemple, le fait qu'il y a 71.8 % de chance que la solution du bardage ait moins d'impact sur l'épuisement des ressources naturelles que la solution du parement en brique. etc.



S1 : bardage bois.

S2 : parement briques.

S3 : bardage ardoises artificielles.

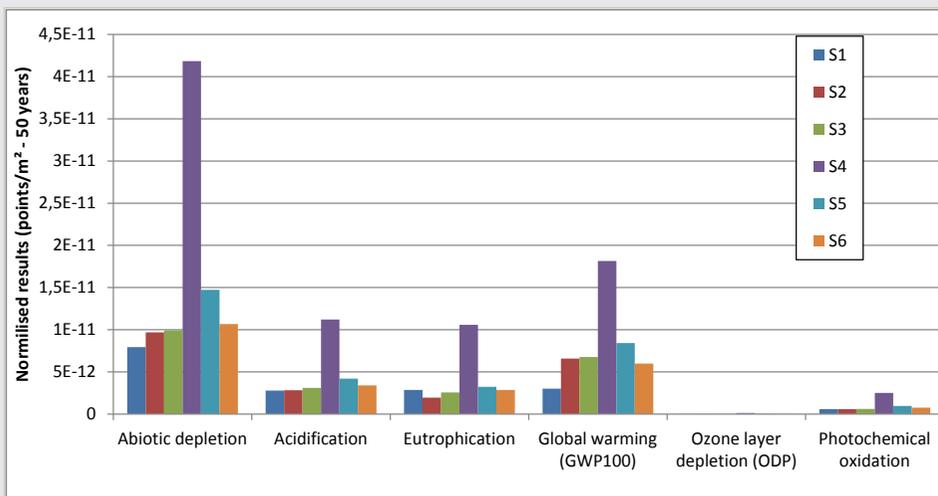


S4 : plaquettes de briques de terre cuite collées.

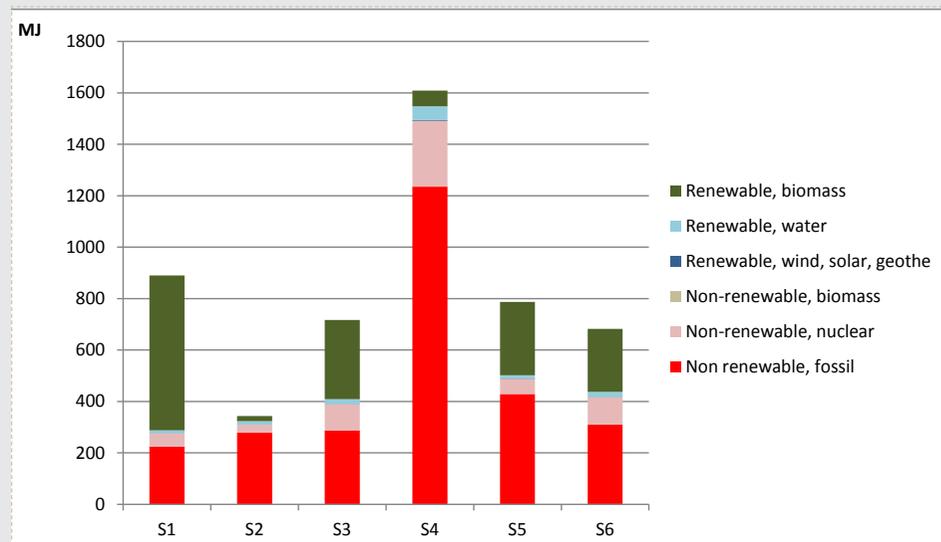
S5 : bardage en tuiles de terre cuite.

S6 : enduit sur panneaux de support.

L'évaluation des autres solutions a été réalisée suivant les différents indicateurs environnementaux. Aucune analyse d'incertitude n'a été effectuée pour les solutions 3, 4, 5 et 6. Les résultats sont donc à considérer avec prudence.



Résultats détaillés et normalisés de l'évaluation des différentes solutions, pour les différents indicateurs environnementaux.



Évaluation de l'énergie grise des différentes solutions par l'outil SIMAPRO - CED (cumulative energy demand analysis).

L'énergie grise considère à la fois l'énergie « procédé », consommée pour la fabrication du « matériau » et l'énergie « matière », qui est le pouvoir calorifique du matériau en lui-même (l'énergie qui serait produite si le matériau de construction était utilisé comme combustible).

Les énergies non renouvelables sont divisées en trois catégories :

- les énergies fossiles ;
- l'énergie nucléaire ;
- la biomasse issue des forêts primaires (nulle ici).

Les énergies renouvelables sont divisées en trois catégories :

- les énergies éolienne, solaire et géothermique ;
- les énergies hydrauliques ;
- la biomasse renouvelable. Cette valeur représente principalement de l'énergie « matière ».

Conclusions des évaluations environnementales quantitatives

- » La solution 4, constituée de plaquettes de brique collées sur un panneau de fibrociment a des impacts environnementaux nettement plus importants que les autres solutions évaluées. L'analyse des résultats détaillés permet d'observer que dans ce système, c'est le mortier-colle qui est responsable de la majeure partie des impacts environnementaux. La solution tient compte

de 1 cm de mortier colle entre les plaquettes de briques et le panneau, en plus des joints.

- » La normalisation indique le fait que le critère sur l'ozone stratosphérique n'est pas déterminant, les taux d'émissions étant négligeables.
- » En tenant compte du niveau d'incertitude relativement élevé, les résultats des solutions 1, 2, 3, 5 et 6 sont assez comparables suivant les critères d'acidification, d'eutrophisation et d'émissions d'ozone troposphérique
- » Suivant les critères d'épuisement des ressources naturelles et d'émissions de gaz à effet de serre, la solution 5 (bardage en tuiles de terre cuite) a probablement les impacts les plus lourds (après la solution 4).
- » Suivant le critère d'émission de gaz à effet de serre et de l'épuisement des ressources naturelles, la solution 1 (bardage bois ignifugé et traité) sera probablement celle qui aura le moins d'impact.
- » Suivant le critère d'énergie grise, si on considère l'énergie non renouvelable, les deux premières solutions (bardage bois et parement brique) sont probablement celles qui ont le moins d'impact sur l'épuisement des ressources énergétiques. Si on observe la totalité de l'énergie (renouvelable et non renouvelable), la solution 2 (parement brique) est la plus intéressante. Il faut cependant bien comprendre que cette situation est due à l'énergie matière présente dans le bois (bardage + lattages), qui est comptabilisée dans la catégorie «renewable, biomass» cette énergie pourrait être restituée en fin de vie, par la combustion effective du bois.

L'évaluation et la comparaison des différentes solutions devront également être faites suivant les autres critères.

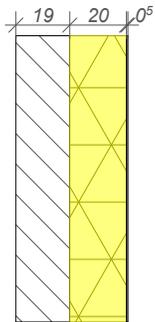
6. MATÉRIAUX ET DÉCHETS DE CONSTRUCTION

Comparaison suivant les autres critères (les critères non pertinents dans le cas de cette évaluation spécifique ne sont pas repris).

paroi U = 0,15 W/m²K	système isolation par l'extérieur + revêtement de façade				quantité, pour 1m² de paroi		remarques	ressource locale/impact du transport	consommation d'eau	rareté de la ressource	déchets, pertes à la pose	démontabilité	possibilités de réutilisation / recyclage
	étanchéité à l'air: membrane PE	ossature	isolation	pare-pluie		unité							
				revêtement extérieur				km	l	kea	faible / moyenne / élevée	faible / moyenne / élevée	non recyclable / recyclable mais non recyclé / recyclé
composition 1				bardage bois résineux ignifugé + lattage bois			en dérogation urbanistique						
composition 2				bardage bois robinier ignifugé + lattage bois			en dérogation urbanistique						
composition 3				enduit sur panneau en fibre de bois			en dérogation urbanistique						
composition 4				bardage en zinc, joints debout, sur lattage en bois;			en dérogation urbanistique						
composition 5				bardage ardoises artificielles (fibro-ciment)			en dérogation urbanistique						
composition 6				plaquettes brique terre cuite collée sur panneau fibro-ciment + lattage bois									

paroi U = 0,15 W/m²K	système isolation par l'extérieur + revêtement de façade				quantité, pour 1m² de paroi		impact sur la santé des travailleurs	impact sur la santé des occupants	contexte social de production - produit équitable?	ATG, assurance de qualité...	coût des matériaux	coût / facilité de la pose
	étanchéité à l'air: membrane PE	ossature	isolation	pare-pluie		unité						
				revêtement extérieur			nuisances avérées / risque de nuisances/ inoffensif	nuisances avérées / risque de nuisances/ inoffensif	aucun contrôle / Europe / matériau «équitable»	faible / moyenne / bonne	€	€
composition 1				bardage bois résineux ignifugé + lattage bois				innofensif				
composition 2				bardage bois robinier ignifugé + lattage bois				innofensif				
composition 3				enduit sur panneau en fibre de bois				innofensif				
composition 4				bardage en zinc, joints debout, sur lattage en bois;				innofensif				
composition 5				bardage ardoises artificielles (fibro-ciment)				innofensif				
composition 6				plaquettes brique terre cuite collée sur panneau fibro-ciment + lattage bois				innofensif				

- Deuxième technique possible : Isolation fixée sur le mur porteur (collage + fixations mécaniques) et support de la finition extérieure.



Les systèmes d'isolation par l'extérieur étant collés sur le mur porteur, cette technique ne permet pas d'utiliser une membrane frein-vapeur pour réaliser l'étanchéité à l'air par l'extérieur. Un système d'enduit de la façade existante, étanche à l'air, pourrait être une solution technique possible, mais elle n'est pas facilement disponible actuellement sur le marché¹.

L'utilisation de panneaux de fibres de bois est une solution possible, mais les épaisseurs disponibles sont limitées à 10 cm, ce qui ne permet pas d'atteindre un U de 0.15 W/m²K considéré comme hypothèse de départ².

Une finition en plaquette de brique, collées sur l'isolant est techniquement possible dans le cas des isolants en laine de roche ou en polystyrène. Cette option implique l'ajout d'une couche de colle.

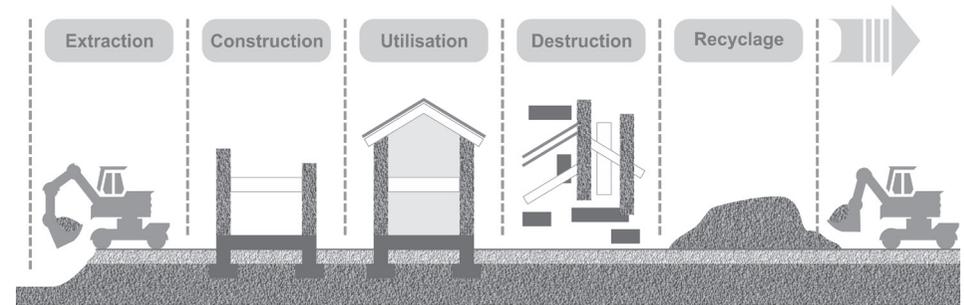
Plusieurs variantes pourraient être comparées :

- Polystyrène expansé, avec graphite, collé et fixé mécaniquement sur la paroi existante et recouvert d'un enduit.
- Panneau de laine de roche, collé et fixé mécaniquement sur la paroi existante et recouvert d'un enduit.
- Panneau de laine de roche, collé et fixé mécaniquement sur la paroi existante et sur lequel sont collées des plaquettes de briques de terre cuite.

Ces solutions n'ont pas été évaluées précisément, du fait de l'absence de données complètes sur le mortier colle dans l'outil d'évaluation³ utilisé. L'analyse réalisée spécifiquement par le CTIB sur les 6 solutions de bardage montre que l'influence du mortier-colle sur le bilan environnemental est déterminante, ce qui laisse supposer que ces solutions auront un lourd impact environnemental et que l'impact du mortier colle ne peut en aucun cas être négligé dans une évaluation.

→ Le matériau terre crue

La terre crue est un matériau qui peut éventuellement être extrait du site même, utilisable pour plusieurs usages dans le bâtiment, et dont l'impact environnemental semble intéressant.



Cycle de vie du matériau terre crue.

Le sol de Louvain-La-Neuve contient de l'argile et pourrait constituer une matière première pour différents usages. Le projet prévoit la création d'emplacements de stationnement semi-enterrés qui généreraient des déblais importants, il serait donc intéressant de valoriser ces terres, ou une partie de ces terres sur le site.

Des évaluations des impacts environnementaux de l'utilisation de la terre crue comme alternative à d'autres matériaux sont proposées ci-après. Le même outil d'évaluation basé sur les travaux de S. Trachte a été utilisé, mais les chiffres pour les matériaux en terre crue n'étant pas disponibles dans les bases de données utilisées, d'autres sources ont été utilisées. Il est important de considérer ces chiffres avec prudence, étant donné le fait que chaque situation sera particulière. Par exemple, la quantité de sable, de chaux ou de granulats à ajouter pour un béton de terre influence fortement son bilan environnemental⁴ et dépend de la nature de la terre prélevée sur le site.

La terre crue peut être utilisée sous différentes formes :

- Les blocs de terre crue comprimés (btc)

La technique du btc, industrielle, permet de valoriser le matériau terre pour la création de murs et cloisons maçonnées. Les caractéristiques des blocs sont :

- Sa résistance à la compression, qui conditionne évidemment son usage comme mur porteur, et dépend de sa composition et de son mode de fabrication. Certains mélanges sable - argile permettent d'atteindre des performances qui rendent la brique de terre crue comparable au bloc de terre cuite. Les mélanges à plus forte proportion d'argile ne pourront pas remplir de fonctions portantes.

¹ Information issue d'une conversation téléphonique avec la firme Sto, qui développe une solution de ce type aux USA.

² Sur base des produits des sociétés Pavatex (diffutherm) et Sto (stotherm wood).

³ Outil basé sur la publication «Choix des matériaux, écobilans de parois» [TRACHTÉ, 2010].

⁴ Selon [ADEME, 2008], dans la composition d'un pisé, 2.5 % de chaux (% massique) sont responsable de 40 % de l'épuisement des ressources et de la consommation d'énergie, et de 65 % des émissions de GES. Le sable a également un impact important.

6. MATÉRIAUX ET DÉCHETS DE CONSTRUCTION

- Son inertie, déterminée par sa grande effusivité. Les blocs de terre crue sont pleins et lourds, leur poids est à prendre en compte dans les calculs de stabilité, ils amènent beaucoup d'inertie dans les espaces.
- Ses propriétés de régulation hygrométriques. Cependant, il n'y a pas actuellement de validation scientifique de l'impact de ces propriétés sur le confort intérieur.
- Sa composition, soit à partir d'une argilière¹ (carrière d'argile), soit à partir du recyclage de terres de déblais², soit à partir de la terre du site (mais on sort alors de la catégorie des produits industrialisés). La composition des blocs varie en fonction de la nature de la terre et des éléments éventuellement ajoutés pour en améliorer les caractéristiques (sable, chaux).
- Ses propriétés d'isolation acoustique, très intéressantes.
- Sa couleur, qui sera déterminée par sa composition, et par l'ajout éventuel de pigments.

Les blocs de terre crue peuvent être utilisés pour des murs porteurs, pour des cloisons non porteuses ou en remplissage d'ossature bois. Ils peuvent être laissés apparents ou enduits.

Le mortier utilisé sera à base d'argile, de sable et de chaux, et de résistance mécanique inférieure à celle des blocs maçonnés, pour permettre leur désassemblage en fin de vie.

Ils sont entièrement recyclables et peuvent aussi être simplement remis à l'état de terre et rendus au sol.

Une production belge existe, les produits étant industrialisés, ils sont normalisés et possèdent des agréments techniques.

Comparaison suivant les critères environnementaux quantitatifs :

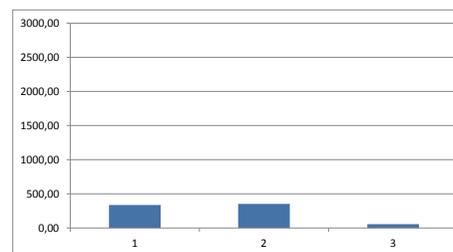
Attention, face à l'impossibilité de trouver des données sur l'énergie grise des blocs en terre crue, les données d'un pisé de même densité, issues du logiciel cocon ont été considérées. La différence entre les deux techniques se situe au niveau du damage (pour le pisé) au lieu d'une compression (pour le bloc de terre crue).

Paroi	Composants		Dimensions			Durée de vie	
	Composants	Densité	Épaisseur couche	Correction plein/vide	Épaisseur corrigée	durée de vie	nombre remplcmt
	ρ	e	α	$d = e \alpha$	années	-	
Composition 1	bloc de béton lourd	2400	0,14	100%	0,140	50	0
Composition 2	bloc silico-calcaire	1800	0,14	100%	0,140	50	0
Composition 3	pisé 2200 kg/m ³ *source: cocon	2200	0,14	100%	0,140	50	0

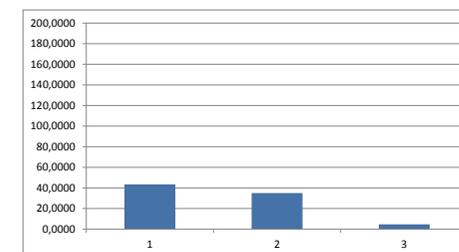
1 Par exemple, dans le cas de la production de l'entreprise argio: <http://www.argio.com/>.

2 Par exemple, dans le cas de la production des entreprises Nonet (<http://www.nonet-entreprise-construction.be/briques-en-terre.html>).

Paroi	Composants		Performances environnementales quantitatives						
	Composants		Energie grise	NRE	Energie grise	Effet de serre	Effet de serre	Acidification	Ozone troposph.
	fab	fab	élim	fab	élim	fab	fab		
Composition 1	bloc de béton lourd	MJ/kg	MJ/kg	MJ/kg	kg CO2 eq/kg	kg CO2 eq/kg	kg SO2 eq/kg	kg H2C2 eq/kg	
		0,8	0,75	0,201	0,12	0,00935	0,00028	0,00001	
Composition 2	bloc silico-calcaire	1,4000			0,1300	0,0088	0	0	
Composition 3	pisé 2200 kg/m ³ *source: cocon	0,18	0	0	0,0150	0	0	0	



Énergie grise [MJ/m²].



Gaz à effet de serre [kg CO₂ eq./m²].

- Les enduits en terre crue

Les enduits en terre remplacent les enduits au plâtre couramment mis en oeuvre. Ils sont mis en oeuvre de manière similaire au plafonnage, avec plus de facilité, mais suivant les techniques et les compositions, plusieurs couches peuvent être nécessaires, et donc plus de main d'oeuvre.

Les enduits comportent souvent une couche de corps et une couche de finition. Leurs caractéristiques sont :

- Leur composition. Les enduits à la terre peuvent être réalisés à partir de la terre du site, si celle-ci convient, ou à partir de mélanges tout prêts, issus du recyclage ou de carrières d'argile, vendus pour cet usage. Il est également possible de réaliser la couche de corps avec la terre du site et la couche de finition avec une terre prémélangée de manière industrialisée. Il existe dans le commerce, des mélanges argile - plâtre qui ne nécessitent qu'une couche (mais leur recyclage n'est plus garanti).
- Leur aspect. Les enduits de finition peuvent être laissés apparents ou peuvent être peints avec une peinture à l'argile ou à la chaux. Leur couleur et leur texture dépendent de leur composition, ils peuvent être teintés dans la masse en ajoutant des pigments au mélange.
- Leur inertie, déterminée par l'effusivité importante de l'argile. Les enduits à l'argile permettent d'optimiser l'inertie des couches superficielles des murs, qui auront le plus d'impact sur le confort thermique des occupants.
- Ses propriétés de régulation hygrométriques. Cependant, il n'y a pas actuellement de validation scientifique de l'impact de ces propriétés sur le confort intérieur.

o Leur résistance aux chocs et à l'abrasion, qui va dépendre de leur composition et de leur mise en oeuvre.

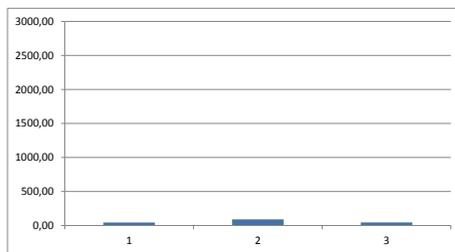
o Leur temps de séchage. Suivant les mélanges et les épaisseurs appliquées, le temps de séchage sera plus ou moins long. Cette donnée doit être intégrée comme critère pour l'évaluation du matériau, et pour la gestion du chantier.

Une bonne expérience et des tests préalables sont nécessaires à l'utilisation de la terre du site. Des entrepreneurs expérimentés existent sur le marché belge, même s'ils ne sont pas très nombreux.

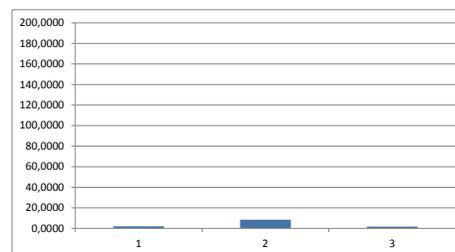
Comparaison suivant les critères environnementaux quantitatifs (pour les enduits, les données sont disponibles dans les bases de données utilisées). Des épaisseurs différentes ont été considérées, pour correspondre aux possibilités de mise en oeuvre:

Paroi	Composants		Dimensions			Durée de vie	
	Composants	Densité	Épaisseur couche	Correction plein/vide	Épaisseur corrigée	durée de vie	nombre remplimnt
		ρ	e	α	$d = e \alpha$	choix éventuel (sinon: info table)	sur 50 ans
		kg/m ³	m	%	m	années	-
Composition 1	enduit au plâtre	1200	0,01	100%	0,010	30	1
Composition 2	enduit à la chaux	1400	0,02	100%	0,020	30	1
Composition 3	enduit à l'argile	1800	0,02	100%	0,020	30	1

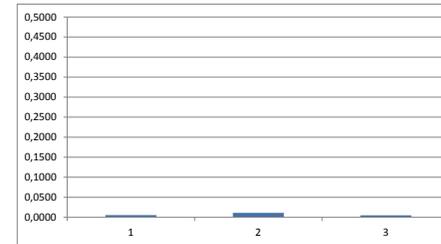
Paroi	Composants	Performances environnementales quantitatives						
		Energie grise	NRE	Energie grise	Effet de serre	Effet de serre	Acidification	Ozone troposph.
		fab	fab	élim	fab	élim	fab	fab
		MJ/kg	MJ/kg	MJ/kg	kg CO2 eq/kg	kg CO2 eq/kg	kg SO2 eq/kg	kg H2C2 eq/kg
Composition 1	enduit au plâtre	1,72	1,51	0,116	0,08	0,00481	0,00023	0,00001
Composition 2	enduit à la chaux	1,6100			0,1500	0	0,0002	0,00001
Composition 3	enduit à l'argile	0,52	0,469	0,116	0,0187	0,00481	0,00007	0,00001



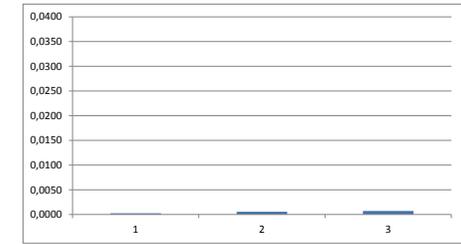
Énergie grise [MJ/m²].



Gaz à effet de serre [kg CO2 eq./m²].



Acidification [kg SO2 eq./m²].



Ozone troposphérique [kg C2H2 eq./m²].

• Les chapes en terre crue

La terre crue peut être utilisée pour réaliser des chapes. Leur rôle est donc de constituer une épaisseur dans laquelle peuvent être intégrées des techniques et qui peut servir de support à un revêtement de sol. Les chapes en terre crue sont une alternative aux chapes en béton. Elles sont caractérisées par :

- o Leur technique de pose. Une chape peut être coulée ou damée, suivant sa composition et le support sur lequel elle est posée.
- o Leur épaisseur. D'après les informations techniques récoltées, une épaisseur de 7 cm au-dessus des techniques doit être assurée. Cette épaisseur doit être considérée dans les évaluations, en intégrant la quantité de parois supplémentaire qu'elle implique par rapport à une solution traditionnelle en béton.
- o Leur inertie, déterminée par leur effusivité importante.
- o L'apport en terme d'isolation acoustique entre les espaces. Les propriétés d'isolation phonique du matériau terre sont excellentes.
- o Leur temps de séchage, qui sera déterminé par la composition du mélange, la technique utilisée et l'épaisseur mise en oeuvre. Cette donnée doit être intégrée comme critère pour l'évaluation du matériau, et pour la gestion du chantier, en distinguant le temps de séchage nécessaire pour marcher sur la chape et le temps de séchage nécessaire pour mettre la finition en oeuvre.

Une bonne expérience et des tests préalables sont nécessaires à l'utilisation de la terre du site. Des entrepreneurs expérimentés existent sur le marché belge, même s'ils ne sont pas très nombreux.

Il existe des techniques permettant de réaliser des revêtements de sol en terre crue. Les exigences par rapport à une finition de sol sont très importantes (résistance au poinçonnement et à l'abrasion, entretien facile, esthétique irréprochable, absence de fissuration...) et le fait que ces techniques sont peu connues et documentées, et que la recherche de cas

6. MATÉRIAUX ET DÉCHETS DE CONSTRUCTION

d'études en Belgique n'a pas été très fructueuse fait que cette solution ne sera pas envisagée pour le projet actuellement.

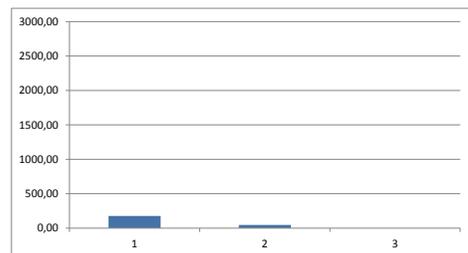
La réalisation de chapes en béton de terre à partir d'un produit commercialisé, prêt à l'emploi est aussi possible.

Comparaison suivant les critères environnementaux quantitatifs :

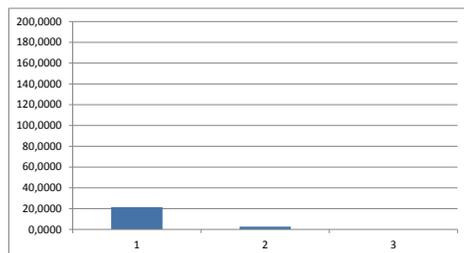
Les données utilisées pour le béton de terre crue sont issues du logiciel cocon. Des épaisseurs différentes ont été considérées, pour correspondre aux possibilités de mise en oeuvre :

Composants	Dimensions				Durée de vie	
	Densité	Epaisseur couche	Correction plein/vide	Epaisseur corrigée	durée de vie	nombre remplcmt
	ρ	e	α	$d = e \alpha$	choix éventuel (sinon: info table)	sur 50 ans
	kg/m ³	m	%	m	années	-
Composition 1						
chape ciment	1700	0,07	100%	0,070	50	0
Composition 2						
béton de terre* source: cocon	2200	0,1	100%	0,100	50	0

Composants	Performances environnementales quantitatives						
	Energie grise	NRE	Energie grise	Effet de serre	Effet de serre	Acidification	Ozone troposph.
	<i>fab</i>	<i>fab</i>	<i>élim</i>	<i>fab</i>	<i>élim</i>	<i>fab</i>	<i>fab</i>
	MJ/kg	MJ/kg	MJ/kg	kg CO2 eq/kg	kg CO2 eq/kg	kg SO2 eq/kg	kg H2C2 eq/kg
Composition 1							
chape ciment	1,292	1,088	0,196	0,17	0,00953	0,00306	0,0000085
Composition 2							
béton de terre* source: cocon	0,2127			0,0123	0	0	0



Énergie grise [MJ/m²].



Gaz à effet de serre [kg CO₂ eq./m²].

**7. EAU,
ASSAINISSEMENT DURABLE**

Analyses et enjeux

Dans la réflexion sur l'architecture durable en Belgique, la question de l'assainissement durable est encore rarement considérée dans sa globalité. La compréhension des multiples aspects en jeu nécessite une vision transdisciplinaire¹.

L'optimisation de la gestion des flux de matières et d'énergie constitue un objectif important des villes de demain. En ce qui concerne plus particulièrement l'eau et l'assainissement, les différents usages de l'eau, la récupération des nutriments et l'augmentation de l'efficacité énergétique en sont des aspects essentiels.

Des concepts innovants pour améliorer la gestion des ressources sont apparus ces dernières années dans le domaine de l'eau et l'assainissement².

À l'image des pratiques en matière de gestion des déchets, la séparation à la source de différents flux joue souvent un rôle majeur dans ces concepts. Des installations pilotes ont été implantées de par le monde. Elles incluent une variété d'approches et de technologies, regroupées sous le terme d'assainissement durable. Leur but commun est d'assurer les besoins en assainissement en ne se concentrant pas uniquement sur l'hygiène et la protection de l'environnement, mais également sur une gestion plus efficace et durable des ressources.

Dans cette approche, le prélèvement de ressources renouvelables et surtout non renouvelables se doit d'être minimisé. La revalorisation des nutriments contenus dans les eaux usées est un aspect important. Une gestion cyclique des éléments minéraux est en effet indispensable à une production agricole durable.

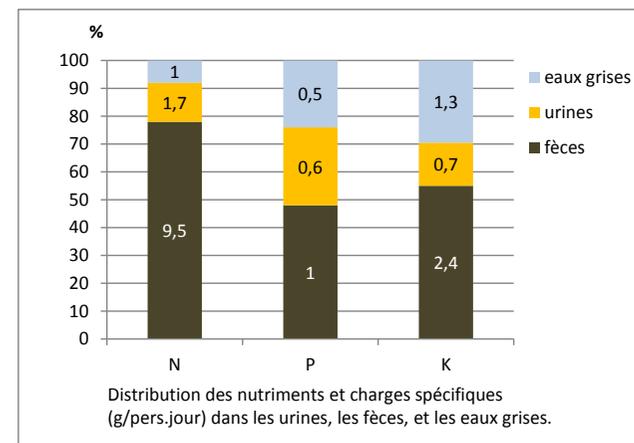
Parler d'architecture durable nécessite de considérer les différents flux qui traversent et sont influencés par le bâtiment. Les occupants utilisent de l'eau, mangent, défèquent et urinent, et de ce fait, influencent les cycles naturels chimiques de l'azote, du phosphore, du potassium et du carbone ainsi que le cycle de l'eau.

Depuis le 19^e siècle, en réponse à la densité de population et à l'augmentation des taux de mortalités et épidémies régulières, le système d'égouttage « tout-à-l'égout » a été développé en Europe. Son objectif était avant tout sanitaire. Le principe est l'utilisation de l'eau pour véhiculer les déchets hors des villes. Au fil du temps, la prise de conscience et l'amplification des problèmes liés à la pollution des eaux ont mené à la conception de systèmes d'épuration pour tenter de protéger l'environnement en aval de l'évacuation.

L'assainissement conventionnel a permis d'améliorer considérablement les conditions sanitaires des villes depuis le 19^e siècle. Il est toutefois actuellement remis en cause pour sa lourdeur en termes de moyens, la rupture de cycle qu'il implique au niveau des éléments minéraux, et les consommations induites en ressources non renouvelables. Les eaux usées issues des habitations sont le mélange de deux types d'eaux fonda-

mentalement différentes : les eaux-vannes (toilettes) et les eaux grises (toutes les eaux usées sauf celles des toilettes). Les eaux de pluie sont évacuées séparément à Louvain-La-Neuve.

Les excréments représentent à peine 1 à 2 % du volume des eaux usées, mais ils contiennent la majorité de la pollution rejetée dans les égouts que génère un ménage. Globalement, entre 1 et 1,5 litre sont dilués dans plus de 100 litres d'eau.



Graphique présentant les proportions en azote (N), phosphore (P), potassium (K) présents dans différentes fractions des eaux usées domestiques³.

Les **eaux grises** représentent 70 %⁴ du volume et sont des effluents aqueux dilués dont la charge polluante est composée essentiellement de carbone. Les eaux grises peuvent être divisées en deux sous-catégories : les eaux grises faiblement chargées, issues des douches, bains et lavabos, et les eaux grises fortement chargées, issues des éviers de cuisines et des machines à laver. La composition des eaux grises dépend fortement du comportement des occupants (type de produits utilisés, quantité de nourriture évacuée dans l'eau de vaisselle, utilisation éventuelle de couches lavables, quantité d'eau utilisée, qui détermine la dilution...).

Les **eaux-vannes** sont des effluents concentrés, riches en carbone et drainant l'azote et le phosphore. Elles sont composées des eaux brunes (fèces), qui concentrent les pathogènes et le carbone, et de l'urine (eaux jaunes), qui concentre la majorité de l'azote, du phosphore et du potassium.

Dans une zone raccordée aux égouts comme Louvain-La-Neuve, l'assainissement dépasse actuellement l'échelle du bâtiment et de la parcelle, pour être géré par la collectivité. Le fait que le bâtiment s'inscrive dans un contexte caractérisé par des choix politiques qui le dépassent ne justifie pas une déresponsabilisation par rapport aux flux

¹ Le travail de synthèse et les entretiens avec Geoffroy Germaud, ir agronome, ont été précieux pour ce chapitre.

² Un nombre important de projets est recensé sur le site de l'Alliance de l'Assainissement Durable (Sustainable Sanitation Alliance : <http://www.susana.org/>).

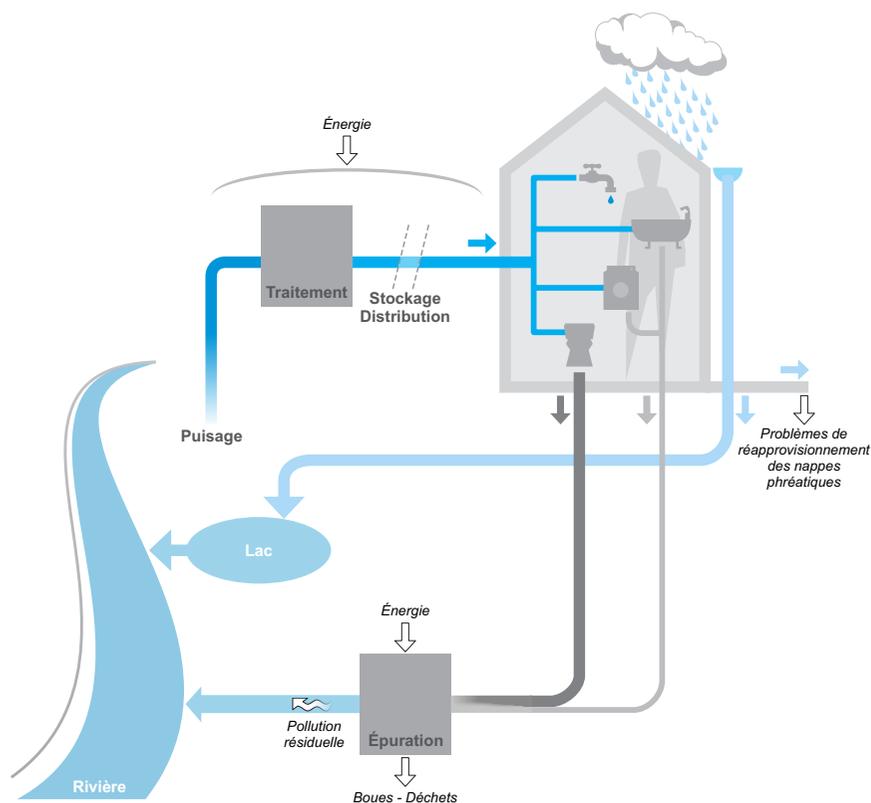
³ [MEINZINGER, 2010], basé sur une compilation d'études européennes.

⁴ Belgaqua, Fédération belge du secteur de l'eau, Livre Bleu. La consommation des toilettes diminue, le chiffre exact se situe probablement entre 70 et 75 %.

qu'il génère, aux cycles qu'il modifie. Il importe d'étudier les possibilités d'évolution du bâtiment et de la gestion collective pour atteindre les objectifs du développement durable dans le domaine de l'assainissement et de l'utilisation des ressources en eau.

Le système d'égouttage mis en oeuvre à Louvain-La-Neuve, illustré par le schéma ci-après, a de multiples impacts. Pour bien prendre la mesure de la problématique, commençons par analyser la situation actuelle, non seulement sous l'angle de la ressource en eau, mais aussi sous celui des nutriments, contenus dans les assiettes, et évacués à l'égout de manière conventionnelle, par les toilettes.

→ L'eau



Réseau d'égouttage séparatif, le cycle de l'eau dans un bâtiment, à Louvain-La-Neuve.

On peut identifier différents impacts de l'utilisation de l'eau dans les bâtiments pendant la phase d'occupation de ces derniers :

- Les impacts de l'approvisionnement en eau potable
 - L'impact sur les milieux naturels par le puisage, risque d'épuisement des ressources des nappes phréatiques profondes¹.
 - La consommation d'énergie pour le puisage, le traitement, le stockage et la distribution², avec les problèmes géopolitiques et les risques environnementaux qui y sont liés.
- Les impacts de la présence de surfaces imperméables :
 - Les eaux de pluie sont collectées et ramenées à l'égout, séparatif dans le cas de LLN. Elles rejoignent le lac.
 - Diminution de l'infiltration de l'eau de pluie au niveau local (non-réalimentation des nappes phréatiques souterraines).
 - Augmentation du risque d'inondation théorique, risque rendu négligeable à LLN grâce à la présence du lac.
- Les impacts de l'évacuation des eaux usées et de leur traitement
 - La production de boues et de déchets, à utiliser comme matières premières pour d'autres filières ou à mettre en décharge.
 - La pollution réduite, mais non nulle des milieux aquatiques naturels.
 - La consommation d'énergie fossile et émission de polluants dans les centrales d'épuration.

→ Les nutriments : entre alimentation, fertilisation et pollution

Au niveau agricole, la récolte extrait des nutriments des surfaces cultivées. Une agriculture durable dépend donc de l'addition de nutriments de sources extérieures. Ces fertilisants peuvent être naturels (organiques ou minéraux) ou industriels (minéraux) et sont indispensables pour maintenir la fertilité des sols.

1 La Belgique fait partie des états européens qui exploitent le plus intensivement ses ressources en eau (http://ec.europa.eu/environment/pubs/pdf/factsheets/water_scarcity/fr.pdf).

2 La consommation d'électricité pour la distribution d'eau à Hambourg (Allemagne) a été évaluée à 0,51 kWh/m³ en 2007 (valeur citée par [MEINZINGER, 2010]). Selon [MEINZINGER, 2010], les systèmes de distribution d'eau et de traitement des eaux usées contribuent seulement marginalement à la consommation globale d'énergie et aux impacts environnementaux liés. Selon une étude menée à Berlin, la distribution d'eau et la gestion des eaux usées contribuent à hauteur de 1 % des émissions totales (Grangler et al., 2001 cité par [MEINZINGER, 2010]).

La demande en énergie électrique pour les eaux usées (égouts non inclus) en Allemagne est d'environ 40-60 kWhél/p/year plus une demande en chaleur d'environ 50 kWhth/p/an. Dans les stations de traitement, la quantité principale d'énergie électrique est utilisée pour l'aération nécessaire à l'oxydation des matières organiques et de l'azote (utilisation d'environ 60-80 % consommation électrique).

Pour le système d'égouttage conventionnel, une consommation électrique de 0,12 kWh/m³ est supposée dans l'étude de [MEINZINGER, 2010].

conséquent de la charge organique, mais rejetant des quantités importantes d'azote et phosphore minéral dans les cours d'eau. Les stations de capacité importantes (> 10 000) doivent être équipées d'un traitement tertiaire, permettant un abattement de minimum 80 % des rejets en azote et phosphore.¹

L'azote est traité par une succession de réactions aboutissant à une forme d'azote gazeux, évacuée dans l'atmosphère. Dans tous les cas, il y a peu de récupération de l'azote contenu dans les eaux usées. On consomme de l'énergie pour fixer de l'azote atmosphérique en amont, et pour volatiliser l'azote présent dans les eaux usées en aval.

Impacts :

- Le procédé chimique de fixation de l'azote atmosphérique consomme de l'énergie. Estimation : 1 kg_{eq} pétrole pour 1 kg d'azote.
- L'épuration des eaux dans les centrales d'épuration actuelle a un coût environnemental et économique (fabrication, fonctionnement, espace...).
- L'eau n'est pas parfaitement épurée avant d'être évacuée vers les eaux de surface. Il reste une pollution en azote, importante ou moins importante suivant le type de station d'épuration, et le cours d'eau récepteur (principe de dilution).
- L'utilisation d'azote dans l'agriculture est une source de pollution importante, cependant, cette question est liée à la gestion agronomique des apports en azote (périodes, quantités...) plus qu'à la gestion des eaux usées. En ce qui concerne l'opposition organique / minéral, on peut très bien reconstituer de l'humus avec de l'azote minéral, le tout est d'apporter des ressources carbonées en suffisance (cfr technique du BRF). C'est un élément qui est largement admis par la communauté scientifique.

• Le phosphore

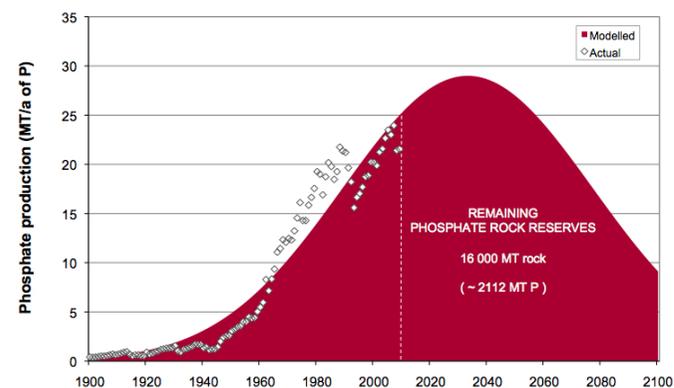
Le phosphore est un élément essentiel à la croissance de tous les êtres vivants, non substituables par une ressource alternative. Il n'existe pas à l'état de gaz, c'est un solide correspondant au symbole P.

La principale source de phosphore est le phosphate, une roche contenant une forte concentration de phosphore, utilisée pour la fabrication d'engrais industriels. Les ressources en phosphates sont limitées et réparties de manière très hétérogène sur la planète. 95 % des ressources sont contrôlées par 5 pays (Maroc, Chine, USA, Jordanie et Afrique du Sud).

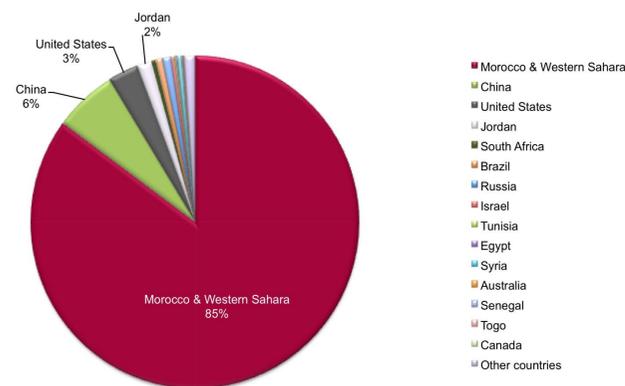
¹ En réalité, on prévoit d'équiper à l'avenir toute les nouvelles stations d'épuration d'un système de dénitrification (= traitement de l'azote), quel que soit leur capacité de traitement (source : Rapport Analytique de l'Environnement Wallon p 381: http://etat.environnement.wallonie.be/uploads/rapports/parties/chapitres/fiches/EAU_02.pdf).

Une théorie similaire à celle du pic de pétrole a été développée, pour définir le pic de phosphore, sur base des réserves actuellement connues, et de scénarios d'augmentation de la demande.

Une théorie de ce type comporte beaucoup d'incertitude, et il peut y avoir débat sur les hypothèses considérées, sur le moment de pic prédit, mais il y a un consensus clair sur la finitude de la ressource et les impacts de plus en plus importants de son exploitation, ainsi que sur l'augmentation de la demande, en raison de l'accroissement démographique, de l'évolution des régimes alimentaires et des biocarburants par exemple.



Le pic de phosphore².



Localisation des réserves de phosphates dans le monde, réparties de manière très hétérogène³.

² Source du graphe: [CORDELL, 2011].

³ Source du graphe: [CORDELL, 2011].

Impacts de l'utilisation du phosphate

o Impacts liés au processus de fabrication:

- » Rejet des eaux polluées par le processus de fabrication dans le milieu naturel (ex. : Pollution du golfe de Gabes, en Tunisie). Il provoque l'asphyxie du milieu et la mort de nombreux animaux.



- » Dégradation des conditions socio-économiques et sur la santé des habitants proches des usines de traitement du phosphate naturel, à cause de la pollution générée. Par exemple : diminution importante des réserves de poissons et mise en difficulté des pêcheurs, ou dégradation des milieux naturels et diminution de l'attractivité touristique, taux de cancer plus élevés qu'ailleurs, problèmes respiratoires...
- » Déchets de production : Le traitement d'une tonne de phosphate génère cinq tonnes de phosphogypse. Ces déchets contiennent du plâtre, mais aussi des impuretés et polluants de type métaux lourds. Ils sont considérés comme trop radioactifs pour être utilisés.
- » Impact sur les paysages aux lieux d'excavation

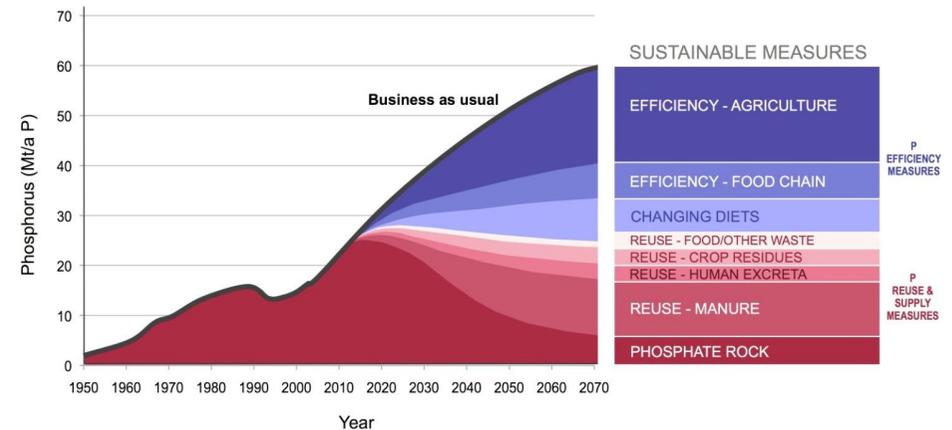


- o Transport, consommation d'énergie fossile et pollutions qui y sont liés. Chaque année, environ 30 millions de tonnes de phosphate et d'engrais phosphatés sont transportés à travers le monde.
- o Impacts économiques et géopolitiques liés au caractère épuisable de la ressource et à sa nécessité pour la survie alimentaire de la planète. L'occupation du Sahara occidental par le Maroc, en contradiction avec

les lois internationales, en est un exemple. L'exploitation des ressources importantes du Sahara occidental par le Maroc est condamnée par les Nations Unies.

- o La pollution résiduelle en phosphate à la sortie des centrales d'épuration, surtout si celles-ci ne sont pas équipées d'un traitement tertiaire, est une pollution pour le milieu aquatique récepteur, responsable d'une eutrophisation du milieu.

Une utilisation plus durable du phosphore nécessite d'une part de réduire les pertes dans le processus, entre la mine et l'assiette, et d'autre part, de recycler le phosphore.



Projection d'une évolution vers une utilisation plus durable du phosphore, suivant CORDELL et WHITE¹.

La problématique du phosphore en tant que ressource est liée au bâtiment par la gestion des eaux noires, et par la possibilité de revalorisation du phosphore contenu dans les urines et les fèces humaines. C'est ce qui est représenté dans le graphe ci-avant par « REUSE - HUMAN EXCRETA ».

La problématique des phosphates en tant que polluant des milieux aquatiques est aussi cruciale, dans un système d'assainissement conventionnel, le phosphore, mélangé dans l'ensemble des eaux usées, est évacué vers des stations d'épuration. Les stations de plus de 10 000 EH sont obligatoirement équipées d'un traitement tertiaire permettant l'abattement de l'azote et du phosphore. Ce traitement permet d'extraire 80 % des phosphates de l'eau vers les boues. Dans les stations d'épurations équipées seulement d'un traitement secondaire, le phosphore n'est presque pas traité.

1 [CORDELL 2011]

La gestion des boues produites dans les stations d'épuration est généralement considérée comme une contrainte. Dans les systèmes de traitement extensifs à faibles coûts, leur gestion constitue généralement l'étape la plus coûteuse du traitement. La présence de métaux lourds et autres polluants restreint leur revalorisation. En Belgique notamment, l'application du principe de précaution a conduit à une diminution de leur revalorisation agricole au cours du temps.

Le phosphore se retrouve donc dans les boues, qui sont évacuées comme suit :

- o Une partie (environ 45 % à l'échelle de la Wallonie et jusqu'à 95 % en Brabant Wallon) est traitée et renvoyée dans le secteur agricole comme amendement. Cette pratique exige des mesures de contrôle strict de la qualité des produits utilisés.
- o Une partie (environ 55 % à l'échelle de la Wallonie et 5 % en Brabant Wallon) est incinérée et ne rejoint pas le circuit agricole.

- Le Potassium

Le potassium est une ressource dont l'épuisement, au taux actuel d'exploitation, n'est pas prévu avant 277 ans¹. Ce n'est pas un élément susceptible de contaminer les eaux, il n'y a pas de valeur guide de l'OMS concernant le potassium pour l'eau potable, il intervient à des concentrations largement en dessous des valeurs pertinentes relatives à la santé.

Ces caractéristiques font qu'il ne constitue pas un élément crucial de la réflexion pour un assainissement durable.

→ Principes de l'assainissement durable

La définition des principes d'un assainissement durable a fait l'objet d'un travail dans le cadre du RAD (Réseau pour un Assainissement Durable). Les points développés ci-après sont issus de ce travail.

Les principes peuvent se résumer en 3 objectifs et de multiples moyens :

1. Fertilité durable des sols

- o Importance d'une vision cyclique : Il est essentiel de boucler les cycles de l'eau et des matières.
- o Amendement des terres par de la matière organique adéquate est indispensable au maintien des propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol, liées à la formation de l'humus et au maintien (retour) de la biodiversité.
- o Reconnaissance des vertus des éléments contenus dans les effluents dont :
 - » L'azote, fertilisant principal de l'agriculture.

- » Le phosphore, fertilisant de l'agriculture, matière première en voie d'épuisement.
- » Le carbone, source de matière et d'énergie pour tous les organismes hétérotrophes et l'amendement des sols.

Cette reconnaissance est la base de la valorisation des effluents domestiques.

- o Les approches d'assainissement durable proposent notamment des séparations à la source – à divers degrés – et traitement sélectif des différents effluents contenus dans les eaux usées afin de faciliter une réutilisation des eaux, de l'énergie et des nutriments.
- o Intelligence écologique : Les techniques de traitement mises en œuvre dans l'assainissement durable se basent sur des processus biologiques de transformation, sur des chaînes trophiques les plus complètes possible. Il s'agit d'une voie dont la maîtrise repose sur l'observation des phénomènes à l'œuvre dans la nature.

2. Minimisation des nuisances

- o Maîtrise des risques sanitaires liés aux germes pathogènes associés à nos déjections. L'assainissement durable et les étapes de traitement / valorisation qu'il propose visent à réduire fortement les probabilités de contamination.
- o Pollution : Les solutions envisagées doivent assurer la protection du milieu naturel pour tout rejet. Le sol constitue un réacteur biologique complexe capable de transformer la matière organique ; son pouvoir autoépuration étant connu, l'infiltration dans le sol est privilégiée par rapport aux rejets dans les eaux de surface.
- o La maîtrise de la pollution au niveau de l'habitation. Au-delà de l'aspect quantitatif, la qualité des produits ingérés, utilisés et rejetés avec les effluents doit être maîtrisée grâce à la biodégradabilité.
- o Le point de vue de l'utilisateur est considéré et l'acceptation psychosociale des solutions doit être assurée. Une sensibilisation peut être envisagée dans ce sens.

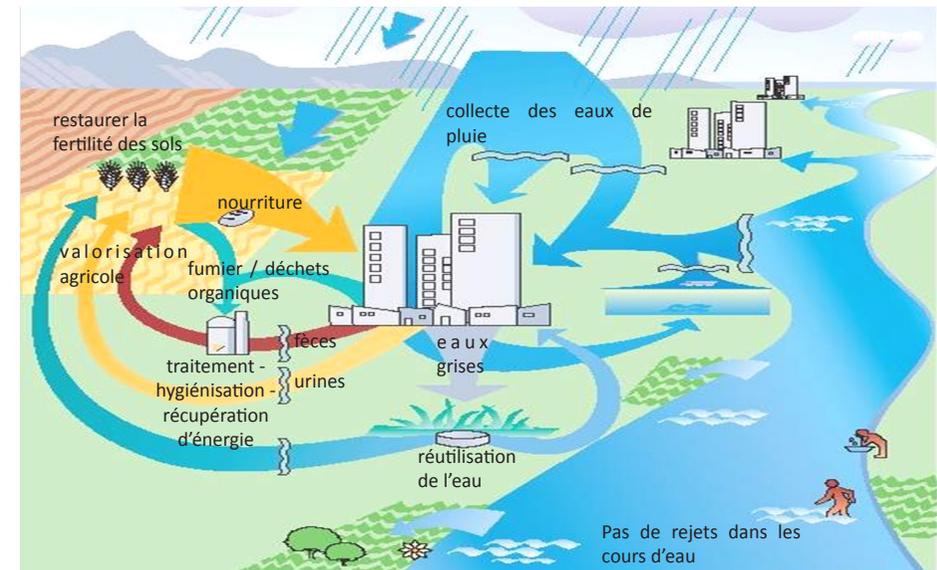
3. Économie des ressources, bilan environnemental

- o Objectif de consommation d'énergie minimum, et de minimisation de l'impact des consommations énergétiques (énergies renouvelables, émissions de gaz à effet de serre...). Une attention est portée à la récupération de l'énergie thermique contenue dans les effluents domestiques et/ou dégagée lors du traitement de ceux-ci (montée en température des tas de compost).

¹ Source : USGS. 2007b. Potash. U.S. geological survey. Mineral commodity summaries. January 2007.

o L'assainissement durable vise à préserver les ressources non renouvelables, par action directe (matériaux de construction, procédés peu énergivores) ou indirecte (substitution aux engrais chimiques de l'agriculture).

Par les principes exposés, l'assainissement durable est économiquement soutenable. Le réseau international SuSanA, alliance pour l'assainissement durable, a développé le schéma de principe ci-après, pour représenter le respect des cycles de l'eau et des nutriments.



Entre agriculture et assainissement : fermer la boucle¹.

Les principes de l'assainissement durable mettent profondément en question le système actuel du tout-à-l'égout, qui ne permet pas la revalorisation des nutriments et génère des pollutions.

Objectifs et solutions concrètes envisagées pour le projet SUD

Objectifs généraux à l'échelle du projet SUD

Dans le contexte du projet SUD, l'objectif sera d'une part de limiter la consommation des ressources, d'autre part de permettre un assainissement durable. L'ensemble des possibilités et des contraintes réelles sont examinés pour intégrer la situation actuelle et les évolutions futures en matière d'assainissement.

→ Au niveau de la consommation d'eau potable de distribution

- Réduire la consommation d'eau

o Sensibilisation à un comportement responsable.

- » charte des habitants - engagement symbolique ;
- » dessin - texte de sensibilisation dans les douches des logements étudiants ;

1 Source du graphe : 5th International Symposium on Wastewater Reclamation and Reuse for Sustainability, IWA, 2005. Planning and implementation of ecological sanitation projects. Ch. Werner, F. Klingel, H-P. Mang, P. Bracken, A. Panesar, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH (disponible sur internet).

2 Source : WWF, 2002.

- o Robinetterie avec limitation de débit ;
- o Chasses d'eau économiques ou microchasses ;
- o Électroménager économe (lave-vaisselle et machine à laver).
- Utiliser de l'eau non potable pour certains usages
 - o Récupération de l'eau de pluie et utilisation de cette eau pour certains usages (WC, nettoyage, jardinage, lessive).
 - o Épuration des eaux grises et utilisation de l'eau épurée pour certains usages (chasses d'eau, nettoyage, arrosage).

point d'eau	source d'alimentation en eau		
	eau potable, de distribution	eau de pluie, filtrée	eau grise, épurée
évier de cuisine	x		
lave-vaisselle	x		
machine à laver	x	x	?
lave-main WC	x	x	
chasse WC	x	x	x
lavabo salle de bain	x		
douche	x		
bain	x		
robinet pour nettoyage	x	x	x
robinet extérieur (arrosage)	x	x	x

Possibilité d'utilisation des différentes sources d'alimentation en eau pour les différents usages domestiques.

La réutilisation d'eau de pluie et d'eaux usées épurées sur place nécessite la mise en place de citernes, pompes, filtres, conduites, etc. Elle entraîne des consommations énergétiques (pompage + énergie grise des dispositifs mis en oeuvre) et nécessite un entretien régulier (changement des filtres en particulier).

Pour garantir un bilan environnemental¹ positif de l'installation, les aspects suivants seront pris en compte :

- o Le système mis en place doit permettre l'utilisation d'une quantité suffisante d'eau. On cherchera l'adéquation entre les besoins et les

quantités d'eau disponibles. Pour ce faire, les possibilités d'utilisation des eaux grises recyclées, d'utilisation d'eau de pluie provenant du réseau de la ville (séparatif) seront analysées.

- o Le système sera conçu pour utiliser au maximum la gravité comme moteur de distribution de l'eau. La pente qui caractérise le site sera exploitée dans cet objectif. Des citernes de jardins seront installées pour fournir l'eau pour l'entretien du rez-de-chaussée et pour l'arrosage des jardins et potagers éventuels, sans nécessiter de pompage électrique. Si un pompage est malgré tout nécessaire, il sera manuel.

La réutilisation d'eau de pluie ou d'eau grise épurée sur place doit répondre à des contraintes législatives pour garantir la sécurité du réseau d'eau de distribution. Il ne peut y avoir aucun contact entre le réseau d'eau de distribution et une autre source d'eau.

De ce fait, l'utilisation de l'eau de pluie pour les douches est difficile :

- o Le réseau d'eau chaude ne peut servir à chauffer à la fois de l'eau de pluie, pour les douches, et de l'eau de distribution, pour les éviers de cuisine. Approvisionner les douches en eau de pluie chauffée nécessite donc d'avoir un réseau d'eau chaude séparatif.
- o Mélanger de l'eau chaude de distribution et de l'eau froide de pluie au sein d'un mitigeur n'est pas autorisé, puisque ce mélange implique un contact entre les deux réseaux au niveau du mitigeur.

→ Au niveau des eaux de pluie

Dans le cas particulier de Louvain-La-Neuve, toute la ville est équipée d'un réseau séparatif et les eaux de pluie ne sont pas mélangées aux eaux usées, mais directement acheminées vers le lac. Le réseau n'est pas saturé, la gestion de l'eau de pluie est donc assurée collectivement à l'échelle de la ville, de manière performante et écologique.

Une action au niveau de l'eau de pluie ne se justifie ici que par le fait qu'elle se substitue à l'eau de distribution, et permet de ce fait de diminuer la consommation de cette dernière. Dans cette optique, la possibilité d'alimenter des citernes avec l'eau de pluie circulant dans les égouts publics (séparatifs) est envisagée pour permettre d'optimiser le remplissage des citernes. En effet, la surface de toiture est relativement faible par rapport la densité d'occupation.

D'après les services techniques compétents², le réseau d'eau de pluie recueille toutes les eaux de voiries, ce qui entraîne la présence de polluants (sel de déneigement, hydrocarbure, toutes eaux sales déversées...). De plus, il existe certains mauvais raccordements : des eaux usées sont déversées dans le réseau d'eau pluviale, ce qui implique le risque de présence de pathogènes.

¹ Il n'existe pas, à notre connaissance, d'étude comparant l'impact écologique d'un système de récupération des eaux de pluies par rapport à son évacuation en Belgique. Il faudrait pouvoir chiffrer la consommation d'un groupe hygrophore, l'énergie grise des systèmes installés et comparer cette consommation à l'impact de la production collective d'eau de distribution.

² Informations communiquées par le GPEX, Arnauld Morize.

Une analyse réelle de la qualité de l'eau au point de collecte concerné pourrait être faite pour évaluer la situation, mais l'absence totale de traitement avant réutilisation semble difficile.

Une autre option serait de reprendre les eaux pluviales issues des toitures d'un des bâtiments voisins, avant qu'elles n'aient rejoint l'égout.

Cette possibilité doit être envisagée sur le plan législatif et technique (la déviation de l'eau collectée est-elle possible, en quel point, quel débit peut être attendu). La question de la sécurité d'un tel système se pose dans le temps. Que se passerait-il en cas de réutilisation, par le bâtiment voisin, de ses eaux pluviales ?

→ Au niveau des eaux grises :

Dans une vision complète d'assainissement durable, les eaux grises, chargées en carbone, mais très peu chargées en azote et en phosphates, devraient être épurées sur place avant d'être infiltrées dans le sol pour bénéficier de l'épuration complémentaire de celui-ci et finalement rejoindre la nappe phréatique.

Cette solution est illégale pour le moment. L'infiltration d'eau dans le sol, même épurée, est interdite dans une zone raccordée aux égouts, ce qui est le cas de Louvain-La-Neuve.

La seule option autorisée serait de valoriser les eaux grises en prévoyant leur réutilisation, après assainissement sur place, pour d'autres usages (chasses de wc par exemple).

→ Au niveau des eaux-vannes

La valorisation des nutriments contenus dans les eaux-vannes est un des objectifs pour permettre un assainissement et une agriculture durable.

Actuellement, il n'existe pas, à proprement parler, de valorisation des excréments humains dans l'agriculture. Seule une partie des boues d'épuration est réintroduite dans le cycle. Ces boues sont considérées comme des déchets.

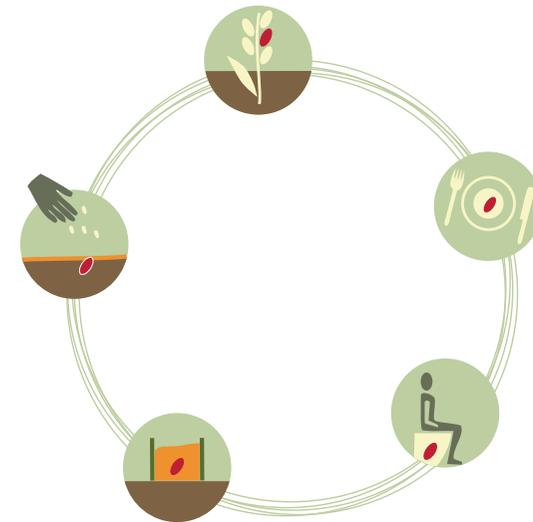
Plusieurs pistes sont à l'étude pour permettre la revalorisation.

- Le compostage, du tout ou d'une partie.

Le processus de compostage permet, par l'ajout de matière carbonée, de produire de la matière organique proche de l'humus. La montée en température qui s'opère pendant le processus de dégradation biologique permet la destruction des pathogènes et des résidus médicamenteux et hormonaux.

Cette technique s'applique déjà aux lisiers d'élevage, mais n'est pas (encore) appliquée aux lisiers humains en Belgique.

Le compostage peut concerner l'ensemble des matières (urines, fèces, papier de toilette, (eau)) ou seulement une partie. Il peut être réalisé sur place ou ailleurs (centre d'imprégnation)



© S. Rouche - Architecture & Climat

- La valorisation des urines

Les urines contiennent la majorité des nutriments, sont stériles et liquides.

- o Elles peuvent être stabilisées par un temps de « maturation », elles constituent alors un engrais azoté minéral intéressant. Elles contiennent cependant des micropolluants (résidus médicamenteux, hormones...).
- o Elles peuvent être traitées pour en extraire les nutriments (azote, phosphore) sous forme pure. Il y a alors production d'un engrais minéral de qualité, issu du recyclage de l'urine.
- o Elles peuvent être compostées.

Le compostage semble être le traitement qui offre les meilleures possibilités de valoriser l'ensemble de la matière, d'éliminer les pathogènes et les polluants médicamenteux, et de se rapprocher du cycle naturel. Pratiquement, plusieurs solutions peuvent être envisagées :

- La toilette à litière biomâtrisée et le compostage manuel sur place. C'est la solution la plus simple et la plus économique, mais cette solution est mal adaptée à un immeuble à appartement, la barrière psychosociale par rapport à la manipulation des excréments humains est encore très présente et les modalités pratiques (escaliers, distance importante...) s'y prêtent mal. De plus, le compostage au sol in situ prendrait trop de place sur la parcelle, demanderait une gestion trop importante pour être efficace et ne pas engendrer de nuisances, et le compost produit, s'il n'est pas valorisé dans l'agri-

culture, serait trop important par rapport aux besoins d'une si petite parcelle plantée. Il ne permettra certainement pas de réduire les besoins en engrais chimiques actuels s'il n'intègre pas une filière de valorisation des matières à destination agricole (centre de compostage par exemple).



- La toilette à litière biomaitrisée et l'évacuation vers un centre de compostage
Cette solution a les mêmes inconvénients, au niveau de l'utilisation, que la toilette à litière biomaitrisée mais permet d'envisager une revalorisation agricole par le biais d'un centre de compostage collectif. Se pose le problème de l'absence actuelle de cette filière de compostage et les questions du stockage et de l'évacuation d'une matière plutôt solide. Une conception de toilettes « à sac » a été envisagée, avec évacuation des sacs par la filière des déchets verts. La centrale de biométhanisation de Tenneville n'y est pas favorable actuellement. Cette centrale traite les déchets verts collectés sur la commune d'Ottignies-Louvain-La-Neuve. Le centre de compostage de Wavre n'accepte pas ce type de déchets, pour des questions de protection des travailleurs, et d'équipements non adaptés. La barrière pratique et psychologique reste une question non résolue (solidité des sacs, conception de la toilette, etc.).

- La toilette à compostage continu

Ce système, appelé aussi « toilettes scandinaves » consiste en une toilette sèche, dont les effluents sont, d'une part compostés dans un composteur en sous-sols et d'autre part (part liquide appelée lixiviat) stockés dans un réservoir en sous-sols, puis évacués.

- o Le mode d'acheminement entre la toilette et le composteur se fait idéalement par tuyaux verticaux (35 cm de diamètre). Cette solution est la plus intéressante pour le compostage (pas d'ajout d'eau), mais peut se révéler difficile à mettre en œuvre pratiquement. Elle nécessite une ventilation spécifique d'un débit important (entre 100 et 150 m³/h) par le tuyau d'évacuation. Cette contrainte devra être combinée à l'utilisation d'une VMC avec récupération de chaleur pendant les périodes

de chauffe. Cette contrainte n'a pas encore été analysée en détail, mais ce type d'aménagement a déjà été réalisé, au moins dans un projet en Suisse. Le diamètre de la conduite de décharge est important, chaque cuvette doit avoir sa propre décharge, et la décharge devant être parfaitement verticale sous la cuvette, les sanitaires ne peuvent pas être strictement superposés. La contrainte spatiale est donc importante.

- o Si le tuyau vertical se révèle impossible à mettre en place, pour des raisons de contraintes spatiales ou de gestion de la ventilation, il est possible d'avoir recours à un tuyau oblique avec microchasse.

- o Un entretien des composteurs devra être régulièrement fait.

- o Les systèmes proposés dans le commerce sont relativement chers, la possibilité de construire les composteurs in situ, en même temps que les sous-sols, pourrait permettre une économie financière. Cependant, la conception de ce type de composteur n'est pas simple (ventilation, ergonomie...) et l'expérience des professionnels en la matière est une réelle plus-value. Des expériences réalisées¹ apportent le témoignage de la difficulté d'une bonne conception des composteurs (ventilation, etc.).

- o La solution proposée par certaines marques, sans ajout de sciure/copeaux supplémentaire ne permet pas la valorisation optimale de la matière. Elle implique la production d'une quantité limitée de compost dont la composition n'est pas idéale, et une quantité plus importante de « lixiviat » (jus de compost), riche en nutriments, mais qui n'a actuellement pas de débouché dans l'agriculture et sera donc évacué par le système d'égouttage traditionnel.

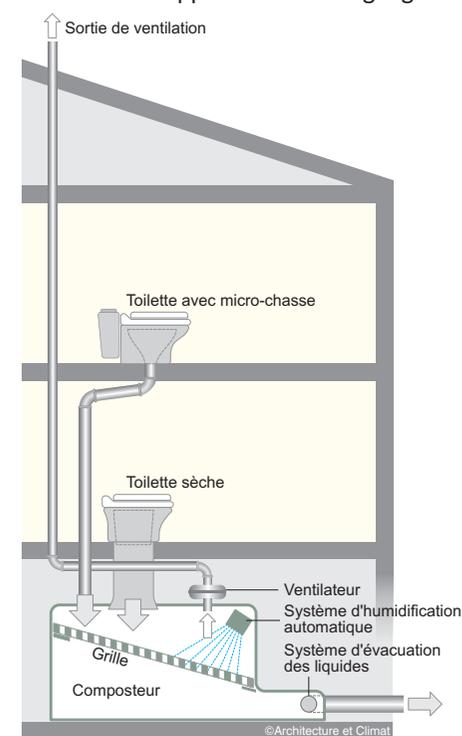


Schéma d'installation d'un système de toilette à compostage continu.

1 Contacts avec Ralph Thielen, à Genève, suite au projet « EQUILIBRE ».

- Ce système a l'avantage de ne pas nécessiter de modification importante des habitudes des occupants et permet de réduire fortement l'impact sur le cycle de l'eau. Cependant, il ne permet actuellement pas de revaloriser les nutriments dans l'agriculture. Une solution pour la valorisation de ces lixiviats serait d'en imprégner de la matière carbonée et de le composter.
- Pratiquement, cette solution impose de nombreuses contraintes spatiales et techniques, qui, dans le cadre d'un immeuble à appartement, ont un impact difficilement gérable et font qu'il est difficile d'imaginer que cette solution peut être massivement adoptée dans un avenir proche.
- La collecte des eaux-vannes concentrées et son traitement dans des centres d'imprégnation et de compostage, suivi d'une valorisation dans l'agriculture.
 - Les toilettes sont des toilettes à chasse économiques ou à micro-chasses, aucun changement de mentalité de la part de l'utilisateur n'est nécessaire.
 - L'impact au niveau de la conception architecturale :
 - » Décharges séparées pour les eaux-vannes et les eaux grises.
 - » Cuves de récoltes et de stockage des eaux-vannes concentrées, dans un endroit accessible pour leur pompage par un camion spécialisé.
 - » Micro chasse (0.6 l - 1.2 l/passage) + broyeur éventuel ou chasse économique classique ? Le choix doit se faire en fonction :
 - Des ressources en eau disponibles pour les chasses (pour éviter la consommation d'eau potable).
 - De la consommation électrique des toilettes à microchasse (eau sous pression).
 - Du volume des cuves de stockage des eaux-vannes à installer, de la fréquence nécessaire des vidanges.
 - De l'énergie nécessaire au transport de l'eau supplémentaire.
 - De la solution idéale au niveau du compostage.
 - De la différence de prix entre les deux options (transport et cuves/ cuvettes de WC spécifiques et consommation).
 - La filière des centres d'imprégnation n'est pas actuellement disponible en Belgique. Le choix de cette option impliquerait donc une phase intermédiaire de « statu quo » pendant laquelle les eaux-vannes sont évacuées à l'égout, mais où tout est prêt, en attente de la filière de traitement en aval. En France, des centres d'imprégnations fonctionnent et permettent de valoriser des matières issues des vidanges de fosses septiques, compostées avec de la paille.

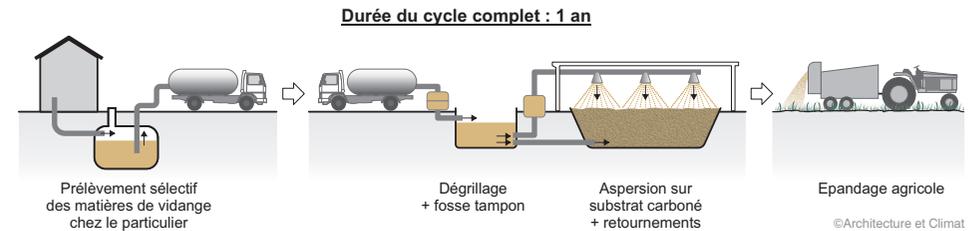


Schéma de fonctionnement de la station trecofim¹.

Assainissement durable : L'échelle de la ville de Louvain-La-Neuve

L'analyse de la gestion des ressources et des pollutions au niveau des cycles de l'eau et des nutriments, ainsi que des infrastructures actuellement disponibles dans la ville de Louvain-La-Neuve ont amené une réflexion sur les possibles évolutions vers un mode d'assainissement collectif durable dans lequel pourrait s'inscrire le projet SUD. Le projet n'a pas les moyens de dépasser sa propre échelle d'action, mais il est essentiel d'anticiper les possibles et nécessaires évolutions de la gestion collective pour ancrer le projet dans cette même évolution.

Les solutions ébauchées partent des principes suivants :

- Le réseau est actuellement composé de deux évacuations différentes.
- Il est nécessaire d'évacuer séparément les eaux pluviales, fécales et usées, soit trois types d'eaux différentes.
- Il est nécessaire de récupérer les nutriments présents dans les eaux-vannes, et le compostage est le moyen le plus complet pour y parvenir.
- Le lac artificiel, en fond de vallée, remplit des fonctions de collecte des eaux de pluie et de bassin d'orage, mais aussi des fonctions récréatives et paysagères.

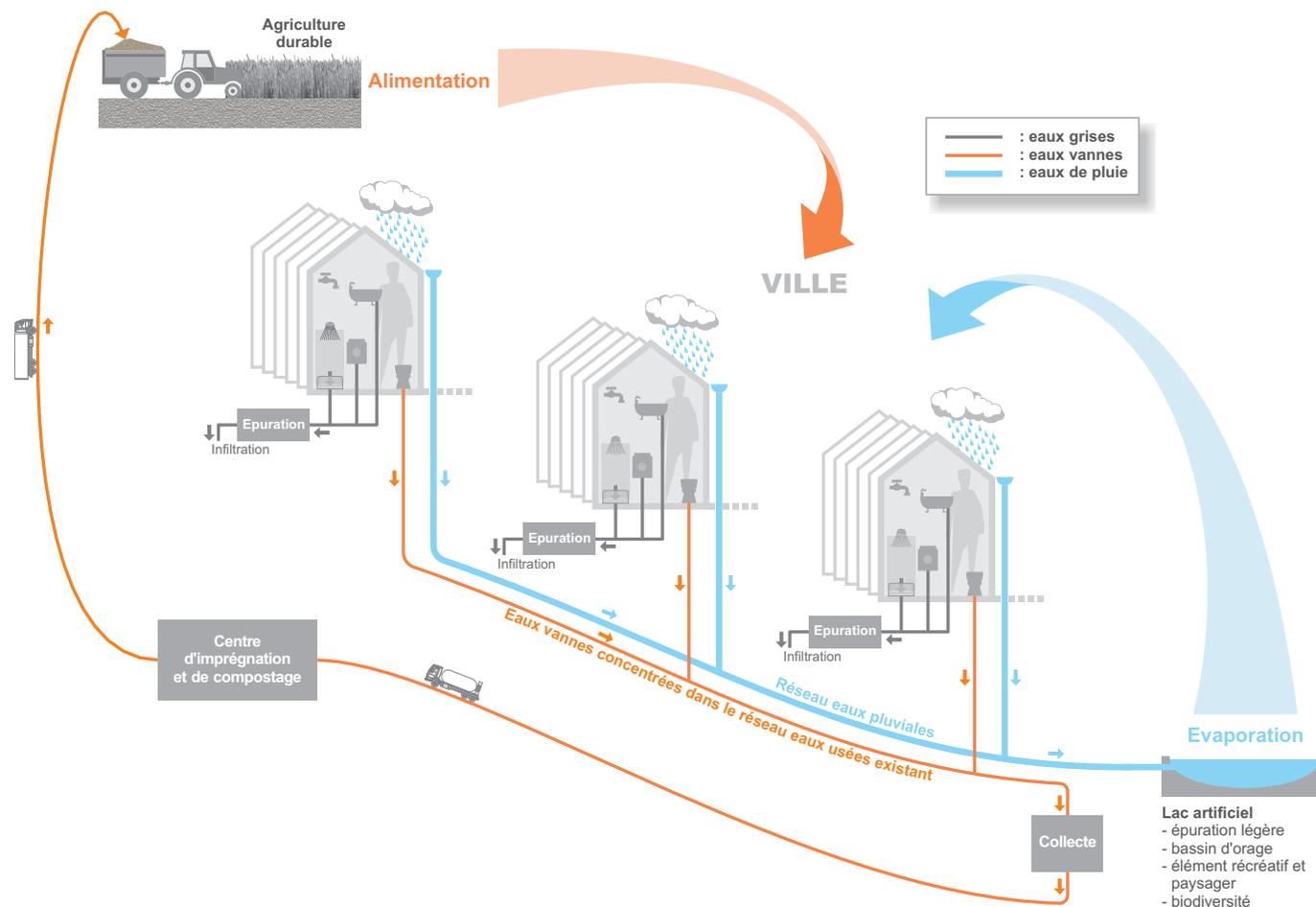
Différentes modifications du système actuel sont proposées. Partant du constat qu'on dispose de deux réseaux qui permettent la centralisation du traitement, et de trois types d'eaux à traiter, les différentes propositions sont caractérisées par les choix en matière de décentralisation du traitement de certains types d'eau.

¹ Station trecofim : traitement biologique des matières de vidange <http://www.trecofim.com/>.

1. Traitement décentralisé des eaux grises et centralisé des eaux pluviales et des eaux-vannes.
 - o Une épuration décentralisée des eaux grises, sur les parcelles des bâtiments qui les produisent, avant leur infiltration dans le sol.
 - o Une collecte centralisée des eaux-vannes, avant leur traitement en centre d'imprégnation, compostage et valorisation agricole.
 - o Le maintien du réseau d'eaux pluviales et du lac tel quel.

Les difficultés pour la mise en oeuvre de cette proposition sont :

- o la généralisation de l'épuration in situ des eaux grises des bâtiments. En effet, les évacuations des eaux usées ne dissocient généralement pas les eaux-vannes des eaux grises, l'espace et la configuration ne s'y prêtent pas nécessairement, cette adaptation aura forcément un coût.
- o La nécessité du développement d'une filière de centre d'imprégnation et de revalorisation agricole d'humus produit à partir d'excréta humain.

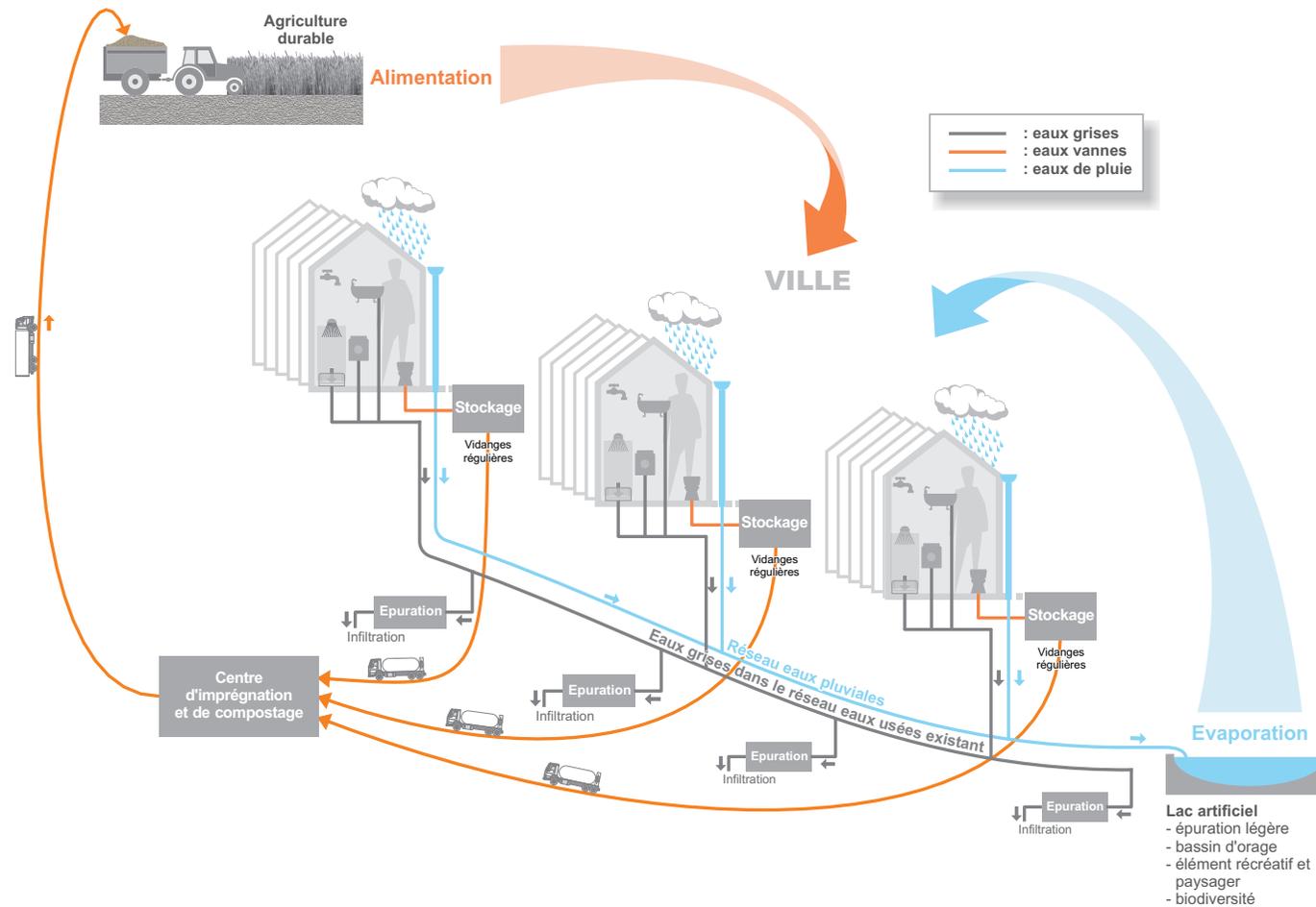


Proposition pour un assainissement durable de la ville de Louvain-La-Neuve : traitement décentralisé des eaux grises, et centralisé des eaux pluviales et des eaux vannes.

2. Traitement décentralisé des eaux-vannes, semi-centralisé des eaux grises et centralisé des eaux pluviales.
- o Une évacuation des eaux grises via le réseau des eaux usées existant, et leur épuration en différents lieux à partir du réseau d'égouttage. Une fois les eaux épurées, elles sont infiltrées dans le sol.
 - o Une collecte décentralisée des eaux-vannes (pompage dans des citernes au niveau de chaque bâtiment), avant leur traitement en centre d'imprégnation, compostage et valorisation agricole.
 - o Le maintien du réseau d'eaux pluviales et du lac tel quel.

Les difficultés pour la mise en oeuvre de cette proposition sont :

- o La généralisation d'un système de stockage individuel et de collecte des eaux-vannes.
- o La nécessité du développement d'une filière de centre d'imprégnation et de revalorisation agricole d'humus produit à partir d'excréta humain.
- o L'espace et l'infrastructure nécessaire pour l'épuration et l'infiltration des eaux usées de manière semi-centralisée. Cette solution devrait être étudiée plus finement pour en évaluer la faisabilité.

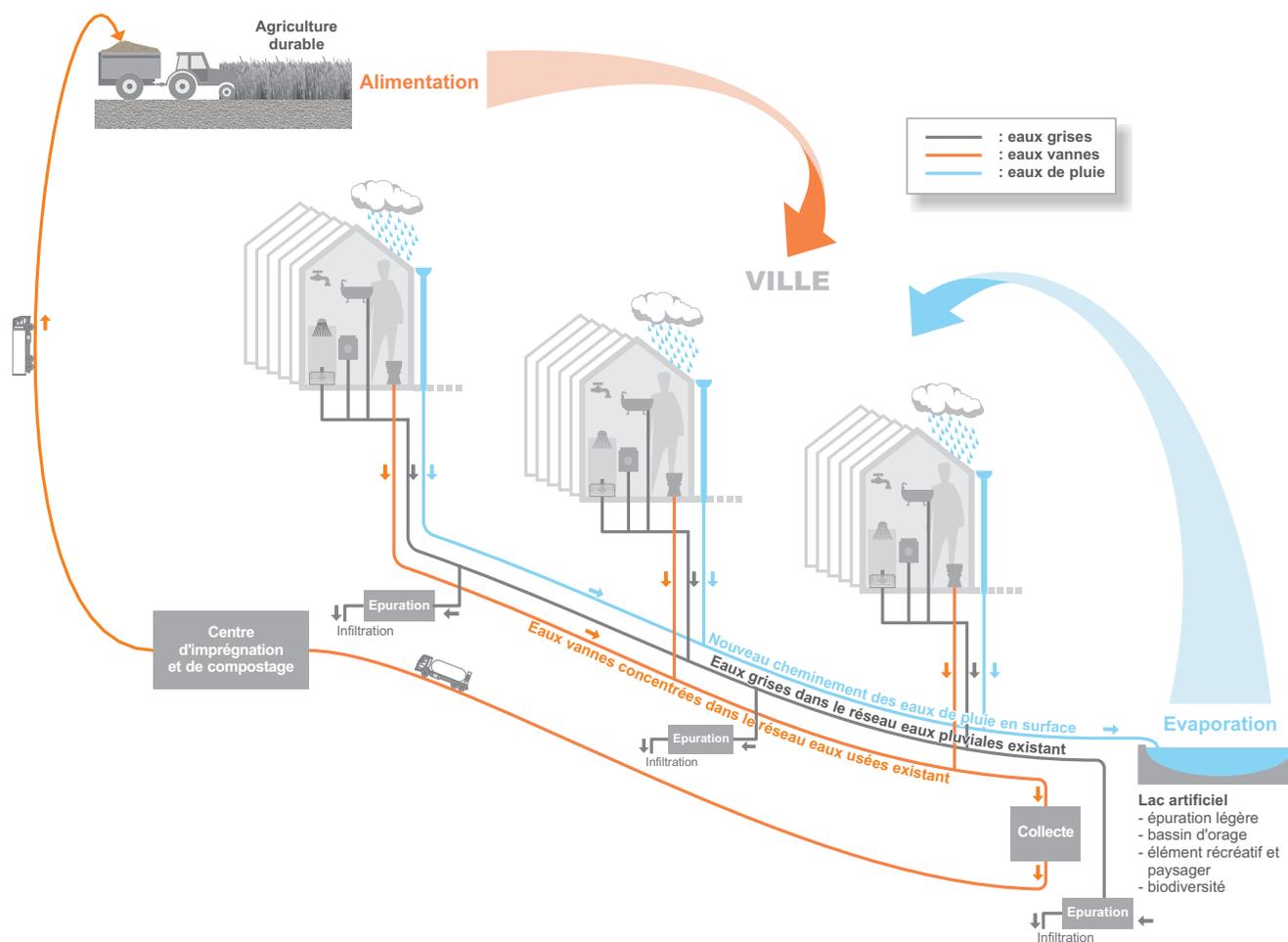


Proposition pour un assainissement durable de la ville de Louvain-La-Neuve :
 traitement décentralisé des eaux vannes, semi-centralisé des eaux grises et centralisé des eaux pluviales.

3. Traitement centralisé des eaux-vannes et des eaux de pluie via un nouveau réseau en surface, traitement semi-centralisé des eaux grises.
 - o Une évacuation des eaux grises via le réseau des eaux usées existant, et leur épuration en différents lieux à partir du réseau d'égouttage. Une fois les eaux épurées, elles sont infiltrées dans le sol.
 - o Une collecte centralisée des eaux-vannes, avant leur traitement en centre d'imprégnation, compostage et valorisation agricole.
 - o La création d'un nouveau réseau d'eaux pluviales, en surface (rigoles, noues, caniveaux...).

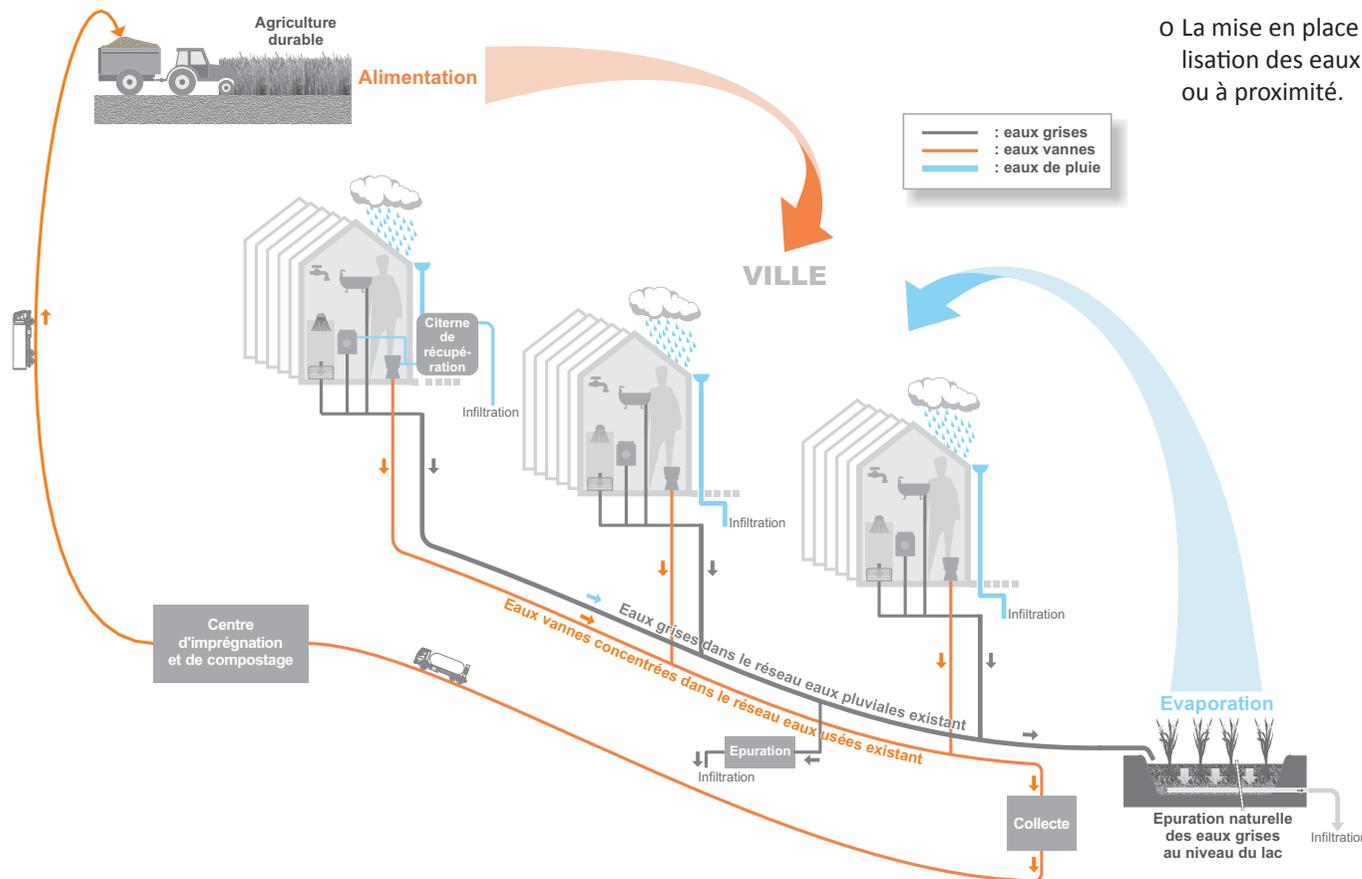
Les difficultés pour la mise en oeuvre de cette proposition sont :

- o La construction d'un nouveau réseau de collecte des eaux de pluie, qui peut être situé en surface, qui permettrait d'agir uniquement au niveau du collectif.
- o La nécessité du développement d'une filière de centre d'imprégnation et de revalorisation agricole d'humus produit à partir d'excréta humain.
- o L'espace et l'infrastructure nécessaire pour l'épuration et l'infiltration des eaux usées de manière semi-centralisée. Cette solution devrait être étudiée plus finement pour en évaluer la faisabilité.



Proposition pour un assainissement durable de la ville de Louvain-La-Neuve :
traitement centralisé des eaux vannes et des eaux de pluies via un nouveau réseau en surface, traitement semi-centralisé des eaux grises.

4. Traitement centralisé des eaux-vannes et des eaux grises, traitement semi-centralisé des eaux de pluie
- Une évacuation des eaux grises via le réseau des eaux usées existant, et leur épuration au niveau du lac, qui serait transformé en zone de phytoépuration, complétée éventuellement par des zones d'épuration décentralisées, le long du réseau d'égouttage.
 - Une collecte centralisée des eaux-vannes, avant leur traitement en centre d'imprégnation, compostage et valorisation agricole.
 - La réutilisation pour d'autres usages ou l'infiltration in situ des eaux de pluie. Ceci pourrait comprendre des zones d'infiltrations collectives, alimentées par un nouveau réseau de collecte en surface.



Les difficultés pour la mise en oeuvre de cette proposition sont :

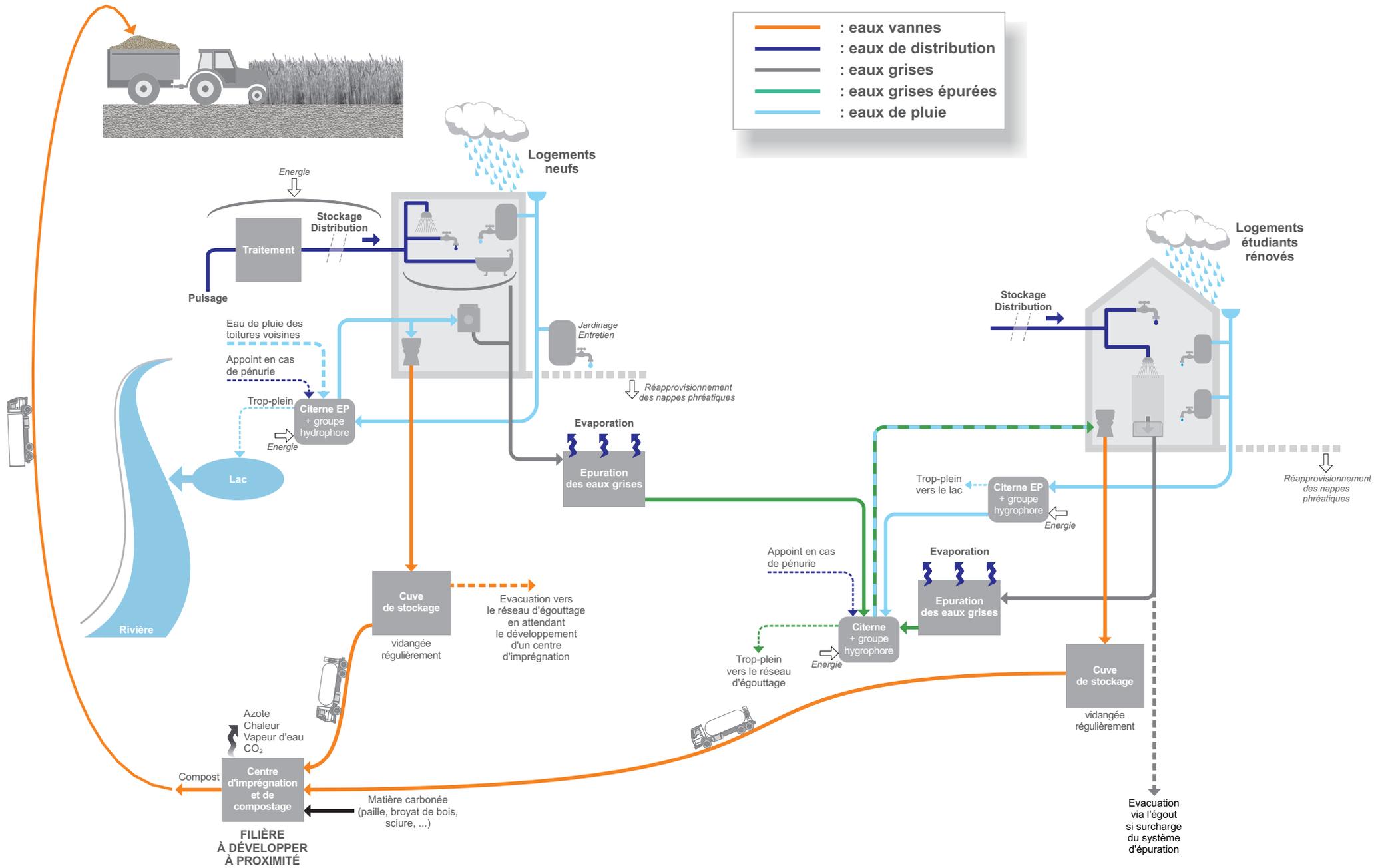
- La transformation du lac en zone d'épuration naturelle des eaux grises de la ville, ce qui est un choix intéressant en termes de développement durable, mais risque de rencontrer des oppositions au niveau des habitants, du fait de la modification des caractéristiques paysagères du lieu. Cette solution doit être examinée plus précisément pour déterminer la surface et la technique nécessaire pour épurer les eaux grises, ainsi que les risques de pollution ou d'inondation en cas de fortes pluies.
- La nécessité du développement d'une filière de centre d'imprégnation et de revalorisation agricole d'humus produit à partir d'excréta humain.
- La mise en place des équipements nécessaires à la collecte et la réutilisation des eaux pluviales, ou à leur infiltration dans le sol, sur place ou à proximité.

Proposition pour un assainissement durable de la ville de Louvain-La-Neuve : traitement centralisé des eaux vannes et des eaux grises, traitement semi-centralisé des eaux de pluie.

Assainissement durable : L'échelle du projet SUD

Pour répondre au mieux aux objectifs et aux contraintes développées ci-avant, une proposition est faite pour le projet SUD. Elle prévoit : la collecte et la réutilisation des eaux de pluie.

- La collecte séparée, l'épuration sur le site et la réutilisation des eaux grises.
- La collecte séparée des eaux-vannes et leur évacuation vers un centre de compostage, pour permettre leur revalorisation agronomique.



Assainissement durable, le cycle de l'eau et des matières (N, P, K, C) dans le projet SUD.

Solutions pour le projet SUD : approche technicopraticque

→ L'épuration et le recyclage des eaux usées :

- Option 1: le système « Traiselect »¹

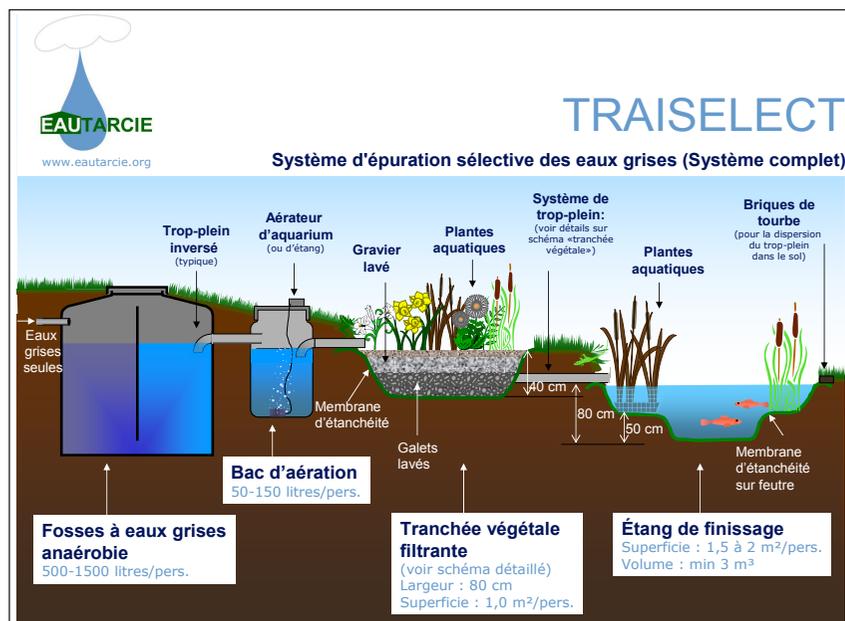


Schéma d'un système "traiselect" d'épuration des eaux grises

Ce système est constitué de différents éléments:

- o Fosses à eaux grises, qui sont des fosses anaérobies enterrées.
- o Tranchée filtrante, plantée, dont la surface nécessaire varie entre 0.5 et 1 m²/EH (Équivalent Habitant).
- o Étang de finissage, dont la surface nécessaire varie entre 1 à 2 m²/EH.

L'emprise au sol d'un tel système est importante. Les surfaces nécessaires ont été évaluées pour l'avant-projet A, et confrontées aux possibilités d'intégration dans l'intérieur d'îlot.

Les indications de surface nécessaires varient du simple au double, ce qui a été représenté par des surfaces pleines et vides dans le plan ci-après.

La solution d'implantation proposée permet d'épurer complètement les eaux usées des nouveaux logements.

La confrontation entre les surfaces nécessaires et les surfaces disponibles mène à plusieurs conclusions :

- o Pour une épuration complète de toutes les eaux usées sur place, on ne dispose pas assez d'espace au sol.
- o Il est possible de réaliser l'épuration complète d'une partie des eaux grises sur le site (solution esquissée dans le plan ci-avant).

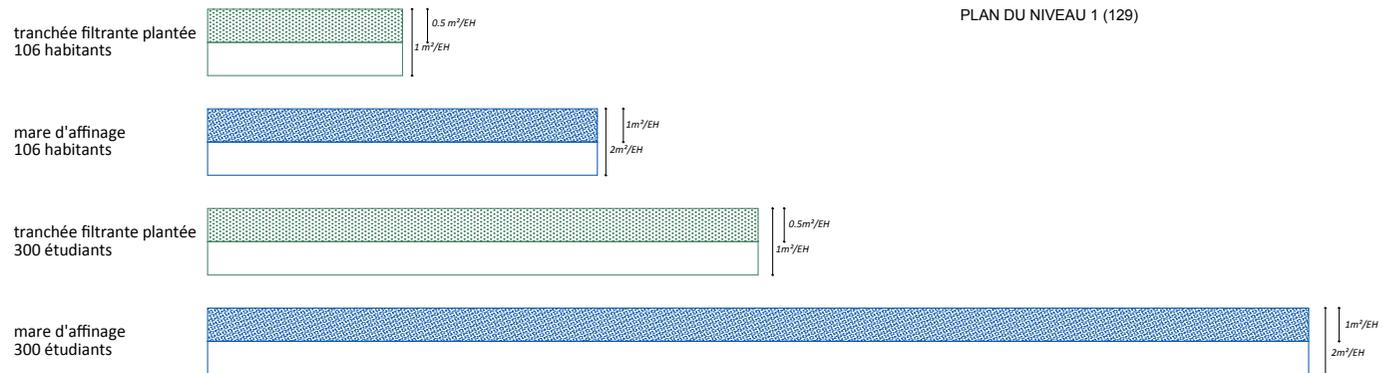
L'épuration partielle de la totalité des eaux usées a été envisagée, mais ne s'avère pas possible :

- o Réutiliser les eaux usées avant leur épuration complète, pour d'autres usages. Dans la fosse, en milieu anaérobie, chimiquement réducteur, les sulfates et sulfonates des lessives sont en (très petite) partie réduits en ions sulfures S²⁻, qui, dissous dans l'eau, dégagent une odeur d'œuf pourri. La réutilisation de ces eaux pour d'autres usages n'est donc pas une solution envisageable. Après une aération dans la tranchée filtrante, les odeurs devraient avoir disparu. Dans la tranchée, une partie de l'eau est évaporée. La diminution du volume d'eau disponible après passage dans la tranchée filtrante est difficile à évaluer, elle dépend de la température, de la surface de contact avec l'air ambiant...
- o L'utilisation du lac de Louvain-La-Neuve comme étang de finissage. Cette solution n'est pas recommandée, elle risque de modifier les caractéristiques biogéochimiques du lac et n'est pas conforme à la législation.

¹ Source : J. Orzag, site « Eautarcie ».



PLAN DU NIVEAU 1 (129)



Emprise au sol d'un traitement des eaux usée par une technique de type « Traiselect », dans le cas du projet SUD.

- Option 2: une épuration par filtre vertical planté.

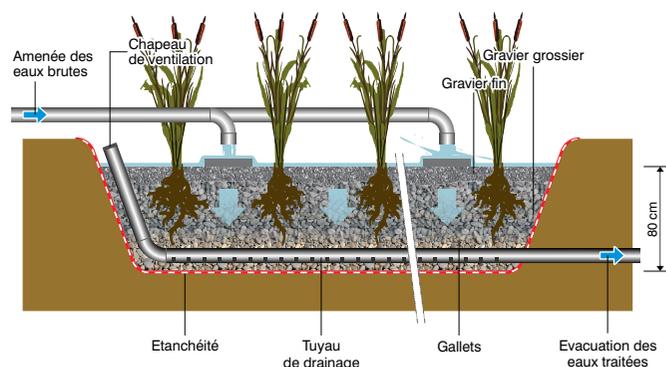


Schéma d'un système d'épuration par filtre vertical planté

Un système de ce type comprend :

- o Un dégrillage fin ou filtre mécanique pour récupérer les cheveux, etc.
- o Une décantation dans une citerne enterrée (certains experts jugent la décantation des eaux grises inutile).
- o Un filtre planté vertical permettant un traitement secondaire aérobique. La surface totale au sol nécessaire renseignée varie entre 1 et 1,5 m²/EH¹. Il faut 2 à 3 filtres en parallèle.
- o Une cuve de préstockage, de faible dimension pourrait être utilisée pour une utilisation d'arrosage à l'extérieur, d'entretien. Le temps de séjour y est faible.
- o La cuve de préstockage pourrait alimenter via pompage un dispositif de désinfection (chlore liquide alimenté par pompe doseuse, eau oxygénée concentrée ou dispositif à UV).
- o Une citerne de stockage d'eau traitée, avec le système de pompage.
- o Un filtre à charbon actif permettra d'éliminer les odeurs éventuelles et de déchlorer au moins partiellement avant utilisation (machine à laver, wc). Ce filtre pourrait être placé avant la cuve de stockage.

L'épuration par filtre vertical planté nécessite plusieurs étages et plusieurs massifs en parallèle, permettant de distribuer l'eau alternativement dans les différents massifs.

Les indications de surface nécessaires varient entre 1 et 1.5 m²/EH, ce qui a été représenté par des surfaces pleines et vides dans le plan ci-après.

La solution d'implantation proposée permet d'épurer complètement les eaux grises de tous les logements, avec une surface de filtration de 1 m²/EH.

Les espaces verts à l'arrière des logements étudiants sont complètement occupés par la surface de filtres plantés. Ceci est cohérent avec le souci d'offrir un recul et une intimité aux logements étudiants du rez-de-chaussée sans favoriser l'usage d'espaces extérieurs en intérieur d'îlot par les étudiants. Seules des chambres sont orientées vers ces espaces, la vie estudiantine potentiellement bruyante étant préférablement orientée vers l'espace de la rue des Blancs Chevaux.

Un dimensionnement plus précis ainsi que la conception des différents massifs et bassins sont nécessaires pour établir la faisabilité de cette solution.

Le projet pourrait être un cas d'étude très intéressant pour l'épuration des eaux grises par ce type de système. Le fait que le projet soit raccordé à l'égout permet de minimiser les risques. Dans l'idée d'objectiver la superficie nécessaire pour l'épuration des eaux grises d'1 équivalent habitant, il est possible de procéder par étape, en prévoyant une possibilité d'évacuation à l'égout en cas de surcharge du système d'épuration.

Pour le succès de l'opération de démonstration, il est essentiel de limiter tout risque de dysfonctionnement et d'éviter toute nuisance pour les occupants. Le processus d'optimisation permettant d'établir la surface nécessaire par EH pour l'épuration des eaux grises pourrait être envisagé comme suit :

1. Étude du système d'épuration, en prévoyant la possibilité d'épurer l'ensemble des eaux grises, avec des surfaces de filtration de l'ordre de 1 m²/EH.
2. Raccordement des eaux grises d'une partie des logements au système d'épuration in situ, pour assurer la bonne qualité de l'eau à la sortie du système (volume d'eau correspondant à environ 1.5 m²/EH ou 2 m²/EH). Le reste des eaux grises étant évacuées à l'égout.
3. Optimisation de la quantité d'eau épurée en augmentant progressivement la proportion d'eau grise évacuée vers le système d'épuration par filtre vertical planté, jusqu'à l'épuration de la totalité des eaux grises, ou l'atteinte des limites du système, qu'il convient de respecter.

Pour l'image du projet et de la technique développée, il est essentiel de procéder à une optimisation en partant d'une solution qui assure le bon fonctionnement, pour la pousser au maximum de ses capacités (démarrer à 2 m²/EH pour essayer d'atteindre 1 m²/EH petit à petit), plutôt que de partir de la solution la plus complète et risquée et revenir en arrière en cas de dysfonctionnement (démarrer à 1 m²/EH et ensuite changer les raccordements pour revenir à 1.5 ou 2 m²/EH).

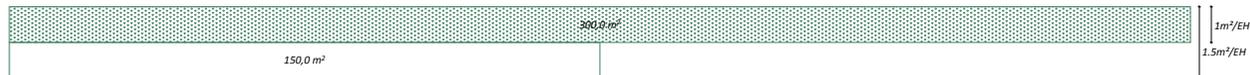
¹ Les surfaces renseignées dans la littérature correspondent à l'épuration de l'ensemble des eaux usées (eaux grises et eaux-vannes), alors que dans ce cas-ci, seules les eaux grises sont épurées in situ. Les valeurs indicatives ont été donnée par G. Germeau (RAD) et Marc Wauthélet (asbl EPUVALEAU).



filtre vertical planté
106 habitants



filtre vertical planté
300 étudiants



PLAN DU NIVEAU 1 (129)

Emprise au sol d'un traitement des eaux usée par une technique de type filtre vertical planté, dans le cas du projet SUD..

→ Volumes disponibles et besoins en eau

Analyse des volumes nécessaires et disponibles pour l'usage des eaux de pluie et le recyclage des eaux usées

- Eau de pluie disponible

L'évaluation de la quantité d'eau de pluie qui peut être collectée sur l'ensemble des toitures a été réalisée à l'aide de l'outil de gestion de l'eau sur la parcelle mis à disposition par l'IBGE¹.

Hypothèse : la totalité des eaux de pluie ruisselant sur les toitures des bâtiments neufs et existants est collectée pour être réutilisée.

On peut calculer, sur l'un des avant-projets, en considérant le maintien des toitures des bâtiments existants, les surfaces de toitures suivantes :

SUD	124,93 m ²	45°
NORD	117 m ²	45°
NORD-OUEST	541,11 m ²	45°
SUD-EST	426,81 m ²	45°
NORD-EST	150,32 m ²	45°
SUD-OUEST	145,3 m ²	45°
PLAT (existant)	1701,59 m ²	0°
PLAT (avant-projet 1)	3207 m ²	0°

Le potentiel de réutilisation dépend des caractéristiques des toitures plates

toiture plate bitume	5007 l/j
toiture verte extensive (5cm)	4165 l/j
toiture verte intensive (20-40cm)	3320 l/j

Dans l'avant-projet A considéré, les bâtiments sont occupés par 106 habitants, 300 étudiants, soit un total de 406 habitants. Le restaurant, la crèche et les bureaux n'ont pas été comptabilisés dans le calcul.

La récupération d'eau de pluie peut donc être estimée entre 8 et 12 l/pers, ce qui est insuffisant pour remplacer l'eau nécessaire aux chasses, aux lessives, au nettoyage et à l'arrosage.

La possibilité d'utilisation d'eau de pluie collectée sur un bâtiment voisin sera sérieusement étudiée. Cette solution permettrait de garantir un approvisionnement suffisant en eau de pluie.

- Eaux usées disponibles

Si on envisage le recyclage de l'ensemble des eaux grises, le volume peut être évalué sur base des indicateurs de consommations présentés dans le tableau ci-après² :

Postes de consommation d'eau par personne	Moyenne logement belge [l/j.pers]
1 ^{er} WC	43
2 ^e WC éventuel	
Jardin	5
Nettoyage maison	2
Nettoyage voiture	3
Lessive	16
Hygiène	39
Vaisselle	8
Cuisine/Alimentation	3

Soit :

- 65 l/j.pers pour les habitants ;

- 49 l/j.pers pour les étudiants (pas de lessive).

Dans l'avant-projet considéré, les bâtiments sont occupés par environ 106 habitants, 300 étudiants, un restaurant, une crèche et un commerce. Si on néglige ces trois dernières fonctions: on peut estimer les eaux grises à 21 590 l/jour.

Attention, cette quantité est la quantité d'eaux grises évacuées, et non la quantité d'eau épurée sur le site. D'une part, il n'est pas certain que la taille du site permette l'épuration de la totalité des eaux grises, et d'autre part, les systèmes d'épuration naturelle sont caractérisés par l'évaporation d'une partie du volume d'eau en cours de processus.

Si seules les eaux grises issues des logements neufs sont épurées, on peut évaluer la production d'eaux grises à 6 890 l/jour. La quantité d'eaux grises épurées, réutilisable, variera fortement, à partir de cette quantité de base, en fonction de l'évaporation.

L'évaporation, pendant une période chaude et ensoleillée peut être estimée à 4 mm/jour, soit 4 l/m².jour. En cas de précipitations, le volume d'eau de pluie vient grossir le volume d'eau disponible, jusqu'à environ 1 l/m².jour.³

- Besoin en eau

L'eau de pluie et l'eau grise épurée peuvent être utilisées pour les mêmes usages, tels que l'eau des chasses, le nettoyage, l'arrosage du jardin. La possibilité d'utiliser l'eau grise épurée pour l'alimentation des machines à laver est à analyser plus finement. Il est à noter que les logements étudiants ne sont a priori pas équipés de machine à laver.

1 <http://www.bruxellesenvironnement.be/Templates/Professionnels/Informer.aspx?id=32554>.

2 Source : outil IBGE disponible à l'adresse <http://www.bruxellesenvironnement.be/Templates/Professionnels/Informer.aspx?id=32554>.

3 Source : asbl Epuvaleur.

406 habitants	volume chasse [l]	nbre de passage par jour par pers	volume total/pers [l/jour.pers]	volume total [l/jour]
chasse économique	6	6	36	14616
micro-chasse	0,6	6	3,6	1462
micro-chasse	1,2	6	7,2	2923

Estimation de la quantité d'eau nécessaire pour les chasses d'eau, en fonction du type de chasse.

Le remplacement de l'eau de distribution par de l'eau de moindre qualité se fera suivant les principes suivants :

- O Utilisation de l'eau grise épurée pour les logements étudiants (chasses + nettoyage).
 - » Approvisionnement complémentaire des citernes avec de l'eau de pluie en cas de manque d'eau grise épurée (si possible par gravité, avec les citernes d'eau de pluie situées en amont).
 - » Dimensionnement des citernes pour éviter tout débordement, trop-plein évacué à l'égout (impératif législatif).
- O Utilisation d'eau de pluie pour les logements neufs (chasses + nettoyage + lessives).
 - » Approvisionnement des citernes par l'eau de pluie collectée sur le site et éventuellement prélevée sur l'évacuation d'un bâtiment voisin.
 - » Évacuation du trop-plein vers le lac.
- O Citernes de jardin permettant, sans pompes, de prélever de l'eau pour l'arrosage et l'entretien du rez-de-chaussée.
- O Petits réservoirs aux étages des communs directement raccordés aux descentes d'eau pluviale, permettant de fournir de l'eau pour l'entretien et l'arrosage des plantes, sans pompes.

→ Fosse à eaux-vannes : technique

Le principe de la solution consiste en la collecte des eaux-vannes dans une cuve étanche. Cette cuve serait vidangée pour traiter les eaux-vannes dans un centre d'imprégnation et de compostage quand cette technique sera disponible. Dans un premier temps, les eaux-vannes seront évacuées vers l'égout. Pratiquement : Évaluation des volumes à vidanger.

• Hypothèses :

- O Fréquence de passage aux toilettes : 6 x / jour et par personne¹.
- O Quantité d'excréments : environ 1.5 l d'urine et 0.3 à 0.5 kg de fèces / jour et par personne.
- O Nouveaux logements (+ crèche) : environ 106 personnes.
- O Occupation des logements non étudiants : 365 jours/an.
- O Logements étudiants : environ 300 personnes.
- O Occupation des logements étudiants : 10 mois par an et 5 jours par semaine : 216 jours/an.

	volume de la chasse (l)	volume des excréments (1,2l d'urine, 0,5 kg de fèces) (l)	nbre de passage par jour par pers	nbre de jours par an	nbre de personnes	volume annuel (m³)	volume du camion vidangeur (m³)	nombre de vidanges par an
logements neufs								
chasse normale	9	1,5	6	365	106	2147,3	12	179
chasse économique	6	1,5	6	365	106	1450,9	12	121
micro-chasse	0,6	1,5	6	365	106	197,3	12	16
micro-chasse	1,2	1,5	6	365	106	336,6	12	28
logements étudiants								
chasse normale	9	1,5	6	216	300	3603,5	12	300
chasse économique	6	1,5	6	216	300	2434,8	12	203
micro-chasse	0,6	1,5	6	216	300	331,1	12	28
micro-chasse	1,2	1,5	6	216	300	564,9	12	47

La seule solution envisageable semble être l'utilisation de microchasses. Les microchasses de 0.6 l/usage, renseignées dans le catalogue Clivius multrum ne sont apparemment pas disponibles.

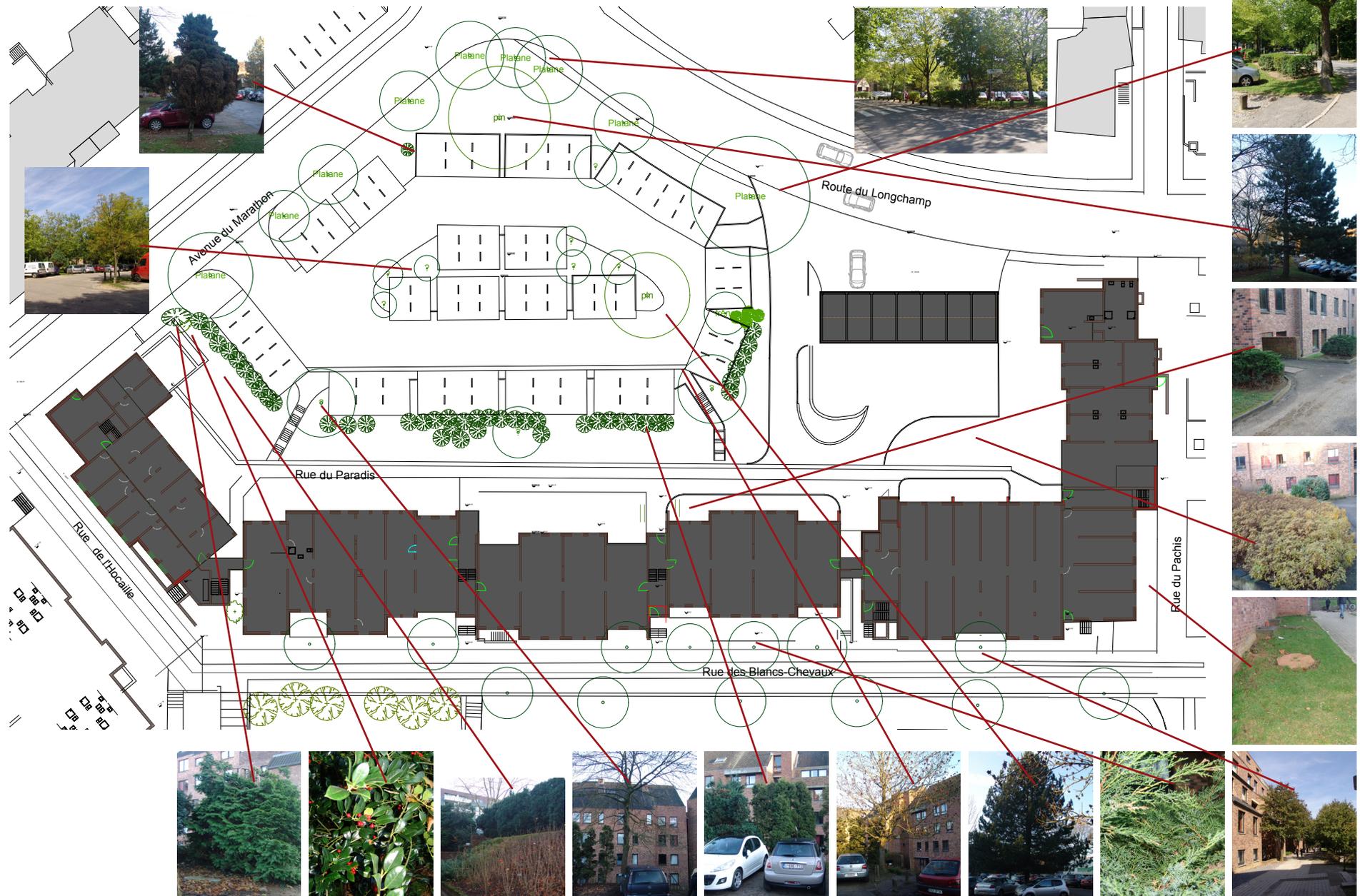
Cette solution n'est donc intéressante que dans le cas d'un pompage régulier, bon marché, lié à un compostage et à un épandage à proximité. Elle dépend de la présence d'un centre d'imprégnation à faible distance.

La question de la phase intermédiaire dans laquelle les eaux-vannes sont évacuées à l'égout nécessite de se poser la question de la fluidité. Est-ce que le mélange est assez fluide avec un volume de chasse si faible ou cela va-t-il occasionner des problèmes d'écoulement ? Doit-on envisager une solution de type « fosse septique » avec une élimination du débordement par le réseau d'égouttage, mais un pompage des gadoues ? La solution pourrait être testée sur un petit nombre d'appartements.

¹ Source : wwf : Vivons l'eau, guide pratique pour une utilisation rationnelle de l'eau.

8. BIODIVERSITÉ

Analyses et enjeux



Inventaire de la végétation présente sur le site. Les positions et les diamètres de tronc et de couronne ont été mesurés approximativement.

Le site est actuellement occupé par des espaces de stationnement une allée qui longe les bâtiments, des accès aux garages et des espaces verts et talus, dans les interstices.



Vue aérienne du site.

Les espaces verts sont constitués de pelouse ou de plantes couvre-sol et buissons bas (cornouillers, cotonéaster, cynorhodon...).

La zone de stationnement et les talus adjacents sont plantés de 20 feuillus, de tailles moyennes (diamètre de tronc entre 14 et 35 cm, voir plan), dont des platanes, des hêtres, et d'autres espèces non identifiées. Il y a également deux grands pins et une série de petits conifères plantés très serrés.

Le long de la rue des Blancs Chevaux, la façade est ponctuée d'arbres, et certains dégagements sont plantés d'arbustes persistants de petite taille.

Le site est localisé à proximité immédiat d'un quartier résidentiel formé de maisons individuelles et de leurs jardins. Le parc des Blancs Chevaux, situé le long de la rue du même nom, est planté de pelouses, d'arbres et d'arbustes. Cet espace est très fréquenté par les étudiants (terrains de sport, barbecues, activités diverses liées aux kots à projet voisins). Le site est situé à 500 m du bois de Lauzelle, à la biodiversité très intéressante.



Vue aérienne du site, proximité du bois de Lauzelle.

Objectifs et solutions concrètes envisagées pour le projet SUD

La construction de nouveaux bâtiments, la modification de l'usage et de l'aménagement du lieu impliquent nécessairement la disparition de certains éléments existants. Les arbres en place ne pourront pour la plupart pas être maintenus si on veut répondre aux objectifs de création de logements neufs.

Un « bilan » au niveau de la biodiversité ne pourrait être pertinent que s'il compare deux situations équivalentes en termes d'usages. Le projet, générant une trentaine de logements, ne permettra pas de maintenir tous les végétaux en place. Il peut être comparé, au niveau de la biodiversité, à la situation existante, et à l'impact sur la biodiversité de la construction du même nombre de logements, ailleurs.

La situation existante est caractérisée par des arbres. Leur présence est positive et intéressante, mais aucun n'est réellement exceptionnel.

Les arbres existants seront maintenus dans la mesure du possible. L'espace extérieur collectif sera conçu pour accueillir des espèces végétales diversifiées et locales, et pour favoriser l'accueil de la faune. D'autres arbres seront plantés.

L'objectif est de développer des espaces riches au niveau de la biodiversité. Une telle démarche ne peut se faire sans la participation des futurs habitants, ceux-ci seront donc impliqués dans le processus aussi tôt que possible.

L'entretien des espaces extérieurs se fera sans engrais chimiques, sans pesticide ni herbicide. Pour ce faire, les espaces extérieurs seront conçus pour nécessiter peu d'entretien.

→ Revêtements ne nécessitant pas de désherbage.

→ Plantes vivaces résistantes.

→ Pelouse à base de graminées variées, résistantes au piétinement, mais aussi à la sécheresse, inclusion de trèfle pour ses capacités de fixation de l'azote.

Pour permettre la libre circulation de la faune (rongeurs, hérissons, renards, belettes...), il n'y aura pas de clôture jusqu'au sol. La conception visera une continuité des espaces permettant à la faune de se cacher et de se déplacer, ainsi que la plantation d'espèces à fruits et baies fournissant de la nourriture.

Le projet visera à intégrer à l'architecture, différents dispositifs d'accueil de la faune, comme :

→ nichoirs pour hirondelles (avec des protections adéquates contre les déjections) ;

→ nichoirs à mésanges et autres petits oiseaux des jardins ;

→ nichoirs à insectes.

Pour favoriser la santé et le confort des habitants, le choix des plantations sera fait en tenant compte de la présence potentielle d'allergènes. L'objectif est d'éviter de créer une concentration d'allergènes par une plantation abondante d'une espèce critique



Accueil de la biodiversité : nichoirs à insectes, à hirondelles et à petits passereaux.

La possibilité d'installer des nichoirs pour chauve-souris sera été envisagée. Cependant, suivant une étude sur les nichoirs et la protection des populations de chauve-souris¹ les nichoirs sont très majoritairement occupés par des pipistrelles, dont la population n'est pas menacée actuellement.



Accueil de la biodiversité : nichoir à chauve-souris, ruches.

La possibilité d'installer des ruches sur le toit sera étudiée, en partenariat avec les habitants. Pour éviter que les abeilles ne descendent dans l'intérieur d'îlot, il suffit d'équiper les ruches d'une « rampe de lancement ».

La toiture, si elle est plate sera dimensionnée pour permettre la création d'une toiture verte extensive.

La possibilité d'installer un point d'eau sera étudiée. La présence d'une mare est très bénéfique pour la biodiversité, mais il est essentiel qu'elle soit sécurisée pour éviter tout risque de noyade et permettre aux parents de laisser leurs enfants jouer sans surveillance rapprochée.



Accueil de la biodiversité : mare, espaces potagers.

L'installation de potagers collectifs sera prévue. Une installation effective ne peut se faire sans un engagement des habitants, ou de certains d'entre eux. Le mode de gestion des espaces potagers doit être décidé par leurs utilisateurs.

¹ <http://www.natagora.be/fileadmin/Plecotus/Documentation/articleNichoirs.pdf>.

9. ÉCONOMIE

Analyses et enjeux

Les enjeux économiques liés au site, aux bâtiments existants et aux différents acteurs du projet sont importants, et multiples.

Les bâtiments existants appartiennent à un ensemble de propriétaires et sont loués, principalement par des étudiants. L'investissement de départ, pour la construction des bâtiments, date de 1976, mais certains logements ont changé de propriétaire depuis ce moment. L'entreprise Eckelmans est propriétaire d'une partie des logements et gestionnaire de l'ensemble.

Les bâtiments sont actuellement occupés par environ 300 étudiants.

Les bâtiments existants sont en mauvais état et leurs performances énergétiques sont médiocres. Les logements ne correspondent plus au marché actuel en termes de sanitaires (insuffisants par rapport au nombre de personnes) et en terme de superficie, en particulier pour les logements situés sous les toits (surface trop grande, logement trop cher pour une ou deux personnes).

Récemment, la construction de nouveaux bâtiments de logements par l'UCL a abouti à une situation d'équilibre immobilier au niveau des logements étudiants¹ à Louvain-La-Neuve. L'insuffisance de logements qui caractérisait la situation jusqu'à présent, en particulier depuis les réformes de Bologne, a été résorbée. L'UCL projette la construction de logements supplémentaires, dans le but de créer un vide locatif et d'ainsi faire pression sur les propriétaires privés, tant au niveau des prix que de la qualité des logements sur le marché.

Pour être compétitif par rapport à l'offre de logements plus récents, et garantir un taux d'occupation important, une rénovation profonde des bâtiments « campus IRENA » est nécessaire.

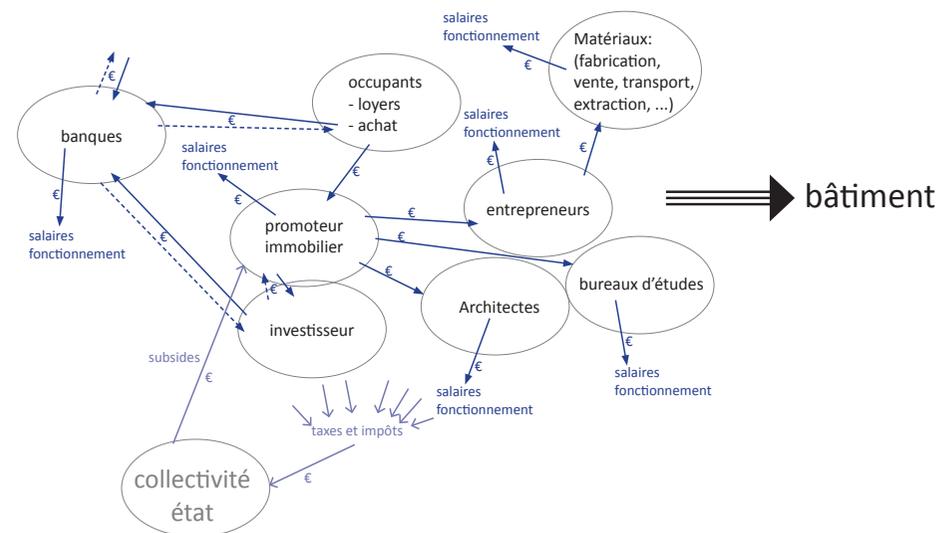
Les consommations énergétiques et l'entretien de bâtiments vétustes sont une charge financière importante. Les logements étudiants sont généralement loués « charges comprises », ce qui implique qu'une diminution des consommations énergétiques est directement profitable au propriétaire-investisseur. Cependant, si la consommation réelle n'a pas d'impact sur les charges payées par le locataire, il est difficile de motiver un comportement économe en énergie, on observe alors plutôt une déresponsabilisation des locataires par rapport à leurs consommations.

Les normes et les standards énergétiques des bâtiments évoluent rapidement. La durée de vie d'une construction ou une rénovation lourde est importante, entre 50 et 80 ans. Du point de vue économique, il est primordial d'évaluer l'investissement et ses bénéfices attendus sur le long terme, et de s'assurer autant que possible que le bâtiment conçu répond aux exigences du marché présent et futur.

Au niveau du marché de logements non étudiants, les prix de l'immobilier à Louvain-La-Neuve sont élevés. L'accès au logement pour des personnes à revenus moyens est donc difficile et la demande pour du logement familial à prix modéré est importante.

1 Communiqué de presse de l'UCL daté du 10/10/2013, disponible sur http://www.uclouvain.be/cps/ucl/doc/ac-arec/documents/10-10-2013_Communique_nouveaux_logements_UCL_Mercator_II_reddot.pdf.

L'université soutient le projet en tant que projet de démonstration, innovateur et ambitieux au niveau de l'architecture durable. Concrètement, l'UCL renonce à certains droits d'amphitèose sur la parcelle du parking si le projet répond à ses objectifs.



Flux financiers dans une opération immobilière.

Analyse économique : le coût global des bâtiments

Le coût global se définit comme une méthode d'évaluation des projets prenant en compte les effets futurs des décisions présentes.²

On peut distinguer :³

- Le coût global direct, qui est l'ensemble des coûts d'investissement et futur d'un projet. Dans un bâtiment, les coûts de fonctionnement sont liés aux consommations (eau, énergie, réseaux) et à l'entretien, qui comprend les remplacements éventuels.
- Le coût global élargi, qui intègre différents critères tels que l'impact des choix architecturaux, l'impact financier ou fiscal du projet ou encore des externalités telles que les émissions de polluants, les nuisances sonores ou la création d'emplois. Les externalités peuvent éventuellement être monétarisées.
- Le coût global partagé, qui consiste à répartir les coûts et bénéfices d'un projet entre les différents acteurs.

L'analyse en coût global d'un projet vise à prendre en compte l'ensemble des coûts du bâtiment, tout au long de son cycle de vie, et pour les différents acteurs.

2 Mission Interministérielle pour la Qualité des Constructions Publiques, Ouvrages publics et coût global, 2006.

3 [CHARLOT-VALDIEU, OUTREQUIN, 2013].

Les hypothèses de ce type d'analyse sont déterminantes. Elles permettent de tenir compte de l'évolution des prix de l'énergie, de l'inflation, de la durée de l'analyse, de l'influence du temps sur l'évaluation des flux financiers.

Le choix des hypothèses doit être détaillé et une analyse de sensibilité par rapport à ces hypothèses permet d'évaluer leur influence sur les conclusions.

Ce type d'analyse conduit à une meilleure information sur les coûts réels, et sur le partage de la valeur entre les différents acteurs. Elle implique la transparence des opérations financières.

Pour réaliser une analyse de ce type, les dépenses et recettes, pour les différents acteurs, ainsi que certains éléments qualitatifs ont été inventoriés, dans le cas de la construction de logements neufs et dans le cas de la rénovation des logements existants.

nouveaux bâtiments construits pas un promoteur immobilier puis loué ou vendu aux occupants			
acteurs	dépenses	recettes	
occupants	charges		€
	loyers si location		
	remboursement emprunt si achat	subventions / déductions fiscales si achat	
	bail amphytéotique si achat		
	entretien si achat		
	taxes		
		qualité de vie - confort	qualitatif - externalités
		mobilité douce	
		cohésion sociale - relations voisinage	
		santé	
	contribution à la construction d'un monde plus durable		
promoteur immobilier	entretien si location	loyers si location	€
	financement des travaux (remboursement emprunts / autofinancement)	prix de vente si vente	
	taxes	subventions / déductions fiscales	
	bail amphytéotique si location		
	frais d'étude, de développement du projet		
		image, promotion de la société	
		nouvelles connaissances / compétences	
		temps de développement	
		contribution à la construction d'un monde plus durable	
	état, région, ville	subventions	Taxes, TVA
		activité économique liée à la construction (+ si matériaux locaux)	
coût des émissions de CO2			
coût santé liés aux pollutions atmosphériques		activité économique liée à l'augmentation de la densité	qualitatif - externalités
		image, projet de démonstration	
		nouvelles connaissances / compétences	
		mobilité douce	
		protection de l'environnement, des zones non urbanisées	
		cohésion sociale	
		contribution à la construction d'un monde plus durable	

Tableau des dépenses, des recettes et des externalités, pour les différents acteurs d'une opération immobilière de construction de logements neufs.

rénovation des bâtiments de logements étudiants existants. Multiples propriétaires, gestion par une société immobilière			
acteurs	dépenses	recettes	
occupants	charges si loyer "hors charges"		€
	loyers		
	qualité de vie - confort		qualitatif - externalités
	mobilité douce		
	nuisances sonores		
	santé		
contribution à la construction d'un monde plus durable			
promoteur immobilier	coûts de gestion des bâtiments rénovés	rémunération de la gestion des immeubles	€
	frais d'étude, de développement du projet		
	image, promotion de la société		qualitatif - externalités
	nouvelles connaissances / compétences		
	contribution à la construction d'un monde plus durable		
propriétaires (dont fait partie la société immobilière)	financement des travaux (remboursement emprunts / autofinancement)	loyers	€
	charges si loyer "charges comprises"	subventions	
	coût de gestion des immeubles (délégué)	déductions fiscales	
	entretien	diminution du taux de vacance des bien en location	
	taxes		
	compétitivité sur le marché, à long terme		qualitatif - externalités
	contribution à la construction d'un monde plus durable		
	nouvelles connaissances / compétences		
	état, région, ville	subventions	Taxes, TVA
coût des émissions de CO ₂		activité économique liée à la construction (+ si matériaux locaux)	
coût santé liés aux pollutions atmosphériques			
image, projet de démonstration		qualitatif - externalités	
nouvelles connaissances / compétences			
mobilité douce			
protection de l'environnement, des zones non urbanisées			
moteur d'amélioration de la qualité du bâti en général, par le jeu de la concurrence			
contribution à la construction d'un monde plus durable			

Tableau des dépenses, des recettes et des externalités, pour les différents acteurs d'une opération immobilière de construction de logements neufs.

Objectifs et solutions concrètes envisagées pour le projet SUD

L'objectif du projet est de concilier un projet ambitieux au niveau du développement durable et une opération financièrement intéressante pour une société immobilière et un ensemble de propriétaires. La considération des contraintes économiques est nécessaire pour pouvoir envisager la reproductibilité de l'opération dans ses principes.

Si l'objectif de bénéfice financier est justifié, sa grandeur et son mode d'évaluation peuvent être discutés.

De manière préalable au projet, un plan financier sera établi, fixant clairement l'objectif de rentabilité économique (taux d'actualisation).

D'autre part, la prévision des recettes par la vente et la location des bâtiments sera faite en concertation avec l'Association des Habitants pour s'assurer que les logements créés ne soient pas financièrement inaccessibles au public visé.

Une analyse en coût global partagé sera réalisée, au fur et à mesure de l'avancement du projet. Elle sera réalisée sur base d'une durée minimale de 30 ans.

Les externalités ne seront pas nécessairement monétarisées mais seront toujours considérées dans les analyses.

Comme dans toute étude comparative, les hypothèses considérées ont énormément d'influence sur les conclusions. Les principales variables à définir sont :

→ Le scénario de projection du prix de l'énergie et du prix de l'eau.

La méthodologie de prédiction de l'évolution des coûts est calquée sur les études de la KUL¹ et de la FPMS².

L'APERe³ publie régulièrement un tableau des prix de l'énergie, par vecteur énergétique. Ces valeurs serviront de point de départ aux scénarios de prix de l'énergie.

Le prix de l'énergie est décomposé en 3 composantes : l'énergie (le produit), le transport et la distribution ainsi qu'un ensemble de taxes et de frais mineurs. Le prix de l'énergie varie suivant un scénario spécifique pour sa composante énergie (raréfaction de la ressource), et conformément à l'inflation pour ses deux autres composantes.

Pour déterminer la variation de la composante énergie, on se réfère aux publications de la commission européenne⁴. Ces scénarii d'évolution des prix de l'énergie aboutissent à des résultats comparables à ceux de l'IEA (2011).

L'évolution du prix du mazout suit celle du prix du pétrole. Le bois-énergie se positionnant principalement comme une alternative au mazout, on peut supposer que, suivant la loi de l'offre et de la demande, son prix évolue de manière similaire

à ce dernier. Quant à l'électricité, les travaux de la KUL¹ font l'hypothèse d'une production électrique principalement basée sur des centrales TGV, ce qui permet de considérer une évolution du prix de l'électricité similaire à celle du prix du gaz naturel. Trois scénarii d'évolution du prix global seront considérés : une évolution faible, une évolution moyenne et une évolution élevée.

Déterminer les scénarii complets nécessite de connaître la part de la composante énergie dans le prix total. En se basant sur les travaux de la KUL², de la FPMS³ et d'Architecture et Climat⁵, cette part est définie dans le tableau ci-après.

	Composante énergie	Autres composantes
Gaz H (Wallonie)	50 %	50 %
Électricité (heures creuses)	36.2 %	63.8 %
Électricité (heures pleines)	49.5 %	50.5 %
Pellets (sacs)	100 %	0 %

Tableau de répartition du prix de l'énergie entre les différentes composantes.

→ Le taux d'actualisation

Le taux d'actualisation permet de comparer des coûts et des dépenses qui ont lieu à des périodes différentes. Ce taux permet de tenir compte des taux d'intérêt, ainsi que d'une éventuelle prime de risque et marge bénéficiaire. C'est la valeur de ce taux qui définit les exigences de rendement du maître d'ouvrage par rapport au capital investi. Le choix de ce taux sera justifié, et situé par rapport aux taux d'actualisation utilisés dans d'autres projets du maître d'ouvrage. Les analyses seront réalisées avec plusieurs taux d'actualisation (variantes) pour permettre d'évaluer l'influence de ce facteur sur les conclusions.

→ La durée considérée par l'analyse

Le développement durable est contradictoire avec une vision à court terme. Le temps d'analyse considéré ne peut être inférieur à 30 ans. Une analyse complémentaire sera réalisée sur une durée de 50 ans.

La méthode du coût global sera appliquée sur l'ensemble du projet, pour s'assurer de la pertinence de celui-ci et éclairer les décisions en matière d'allocation des ressources financières et de partage des dépenses et des recettes entre les différents acteurs.

Elle peut également être appliquée pour comparer deux solutions techniques, deux éléments spécifiques et permettre leur optimisation financière sur la durée de vie du projet. La monétarisation des externalités permettrait d'utiliser la valeur financière comme unique comparaison, mais cet exercice est complexe et les hypothèses sont à la fois très discutables et très influentes. L'analyse conservera donc une partie quantitative monétarisée et une partie qualitative non-monétarisée.

L'analyse économique détaillera les dépenses, les recettes et les externalités, pour les différents acteurs de l'opération (cfr. tableaux ci-avant).

5 [GEORGES, 2009].

1 [DE CONINCK, VERBEECK, 2005].

2 [FPMS, 2008].

3 Disponible via une recherche sur le site de l'APERe : <http://www.apere.org/docnum/recherche/document.php#> dans la thématique énergie, et avec « prix » comme mot-clé.

4 Référence extraite de [CHARLOT-VALDIEU, OUTREQUIN, 2013], p287 : rapport d'évaluation des impacts du document publié en 2011 : « Energy roadmap 2050, Impact Assessment and Scenario Analysis ».

Pour permettre la reproductibilité des principes défendus dans ce projet et assurer la transparence des flux financiers, l'analyse économique complète, comprenant l'évaluation des solutions adoptées ainsi que celle des solutions rejetées sera publiée.



10. BIBLIOGRAPHIE

PROCESSUS

Notes du séminaire *Bâtiment durable, Construire en équipe : qualité, efficacité, rapidité !*, IBGE, 18 octobre 2013 : http://www.icedd.be/downloads/data/SEM12_131018_Livret_FR.pdf.

[NOVETHIC-ADEME, 2007] ADEME, NOVETHIC études, *Construire durable. Une question d'énergie et de financement ? 2007* : http://www.novethic.fr/novethic/upload/etudes/Etude_immobilier_durable_Novethic_Ademe_partie1.pdf.

[La CIDD, 2006] La CIDD : *La responsabilité sociétale des entreprises en Belgique*, 2006 : <http://rse.wallonie.be/apps/spip/IMG/pdf/CadreRefRSE2006-3.pdf>.

[Habitat et participation, 2012] Habitat et Participation : *Notes de la formation méthodologique aux processus participatifs*, 8-23 novembre 2012.

LES GENS, LEURS MODES DE VIE, LE PROGRAMME

CSTC, CAWaB, SWL, CIFFUL, *Guide d'aide à la conception d'un logement adaptable*, Service public de Wallonie, DG04, 2008 : www.construire-adaptable.be/.

ÉNERGIE

[SØRNES, 2011] : K. SØRNES, *Heating and Ventilation of Highly Energy Efficient Residential Buildings : Environmental Assessment of Technology Alternatives*, Norwegian University of Sciences and Technologies (NTSU), 2011.

ARCHITECTURE ET CLIMAT, ENERGIE+, *Aide à la décision en efficacité énergétique des bâtiments du secteur tertiaire* : <http://www.energieplus-lesite.be/>.

[MASSART, 2010], C. Massart, A. DE HERDE, *Conception de maisons neuves durables*, Architecture et climat et la Wallonie, 2010.

[SUISSE ENERGIE, 2012] SUISSE ENERGIE, *Les plaisirs de l'eau pour le corps, l'esprit et l'environnement*, 2012.

[CETIAT, 2012], A. GUEDEL (CETIAT), P. BARLES (PBC), *Étanchéité des Réseaux Aériques*, Guide pratique. CETIAT, 2012 : <http://www.cetiat.fr/fr/publicationsveille/servezvous/guidesgratuits/>.

IBGE, MATriciel, *Fiche 2.1 : La ventilation double flux dans les logements individuels et collectifs. De la conception à la maintenance* : http://documentation.bruxellesenvironnement.be/documents/IF_RT_BATEX_Fiche2.1_Ventilation_FR_bis.pdf.

La Wallonie, Architecture et climat, CSTC, *L'éclairage artificiel des logements - guide pratique à destination du particulier*, 2011 : <http://energie.wallonie.be/fr/l-eclairage-ef-ficace-des-logements-guide-pratique-a-destination-du-particulier.html?IDD=50660&highlighttext=%C3%A9clairage+particulier+&IDC=6081>.

MATÉRIAUX

[CIFFUL, 2013] : CIFFUL, RESSOURCES asbl, CONFEDERATION CONSTRUCTION WALLONNE, *Guide pratique réemploi, réutilisation des matériaux de construction*, 2013.

[TRACHTE, 2012] : TRACHTE S., *Matériau, matière d'architecture soutenable : Choix responsable des matériaux de construction, pour une conception globale de l'architecture soutenable*, Thèse de doctorat, Presses Universitaires de Louvain, Université Catholique de Louvain UCL, Louvain-la-Neuve, Belgique, 2012, 534p.

[TRACHTE, 2010] : TRACHTE S., DE HERDE A. pour Architecture et climat, *Choix des matériaux, écobilan de parois*. Financé par le service public Wallonie. Disponible sur : <http://energie.wallonie.be/fr/choix-des-materiaux-ecobilan-des-parois.html?IDD=44702&highlighttext=ecobilan+de+parois+&IDC=6099>.

[CPDT 16, 2011] : BELLEFONTAINE L., BOTTIEAU V., LÉONARD F., MEURIS C., sous la direction de VANDERSTRAETEN, P., *Notes de recherche 16 : Écoquartiers*. CPDT Conférence Permanente du Développement Territorial, Région wallonne, avril 2011.

[ICEB - ARENE, 2012] : ICEB, sous la coordination de LECERF. C., *L'énergie grise des matériaux et des ouvrages*, Les guides BIO-TECH. Arene, Île de France, ICEB. ISBN EAN174 : 978-2-911-533-037.

[CRATERRE, 1989] : HOUBEN H., et GUILLAUD H., *CRATerre. Traité de construction en terre*, Éditions Parenthèses, 1989. ISBN 2-634-041-0.

[BÂTIR EN TERRE, 2009] : FONTAINE L., ANGER R. *BÂTIR EN TERRE, Du grain de sable à l'architecture*, Éditions Belin / Cité des sciences et de l'industrie, 2009. ISBN 978-2-7011-5204.

[ADEME, 2008] ADEME, PAJANI Océane (ir cstb) *Analyse de cycle de vie des systèmes non industrialisés : 3 applications de la terre crue*, rapport d'étude, 2008.

SITES INTERNET CONSULTÉS

Portail de la récup' et de la revalorisation : <http://www.res-sources.be>.

Guide de réemploi des matériaux de construction : <http://www.opalis.be>.

[BREEAM - 2008] : Spécifications pour la lamellisation BREEAM : http://www.breeam.org/filelibrary/Technical%20Manuals/SD5064_2_1_BREEAM_Multi_Residential_2008.pdf.

[GREENGUIDE] : *The greenguide : outil d'évaluation des matériaux* lié à BREEAM : www.bre.co.uk/greenguide.

Bilans environnemental des matériaux :

<http://www.catalogueconstruction.ch/>.

<http://www.bbl.admin.ch/kbob/00493/00495/index.html?lang=fr>.

Informations techniques sur les membranes de la marque Morgo Folietechniek :

<http://www.cobosystems.be/fr/fiche.php?id=50643&type=5>.

Information sur les solutions proposées par la marque Isoproc :

<https://www.isoproc.be/>.

Informations sur les alternatives aux chevrons massifs (poutre en T) :

<http://www.ecobati.be/fr/Produits/bois/sparren-expander/sparrenexpander.html>.

Information sur les produits eternit :

<http://www.eternit.be/nl/>.

Informations les produits terre crue :

<http://craterre.org/>.

<http://www.asterre.org/>.

<http://www.gillaizeau.com/Eco-materiaux-ARGILUS>.

<http://www.areso.asso.fr/>.

<http://www.beton-de-terre.be/pdf-beton-argile.htm>.

EAU - ASSAINISSEMENT DURABLE

[JÖNSSONS, 2004] JÖNSSONS H., RICHERT STINZING A., VINNERAS B., SALOMON E., *Guidelines on the Use of Urine and Feaces in crop Production*, EcoSanRes publications seriesreport 2004-2.

[CORDELL, 2010] CORDELL D., *The story of phosphorus, Sustainability implications of global phosphorus scarcity for food security*, 2010.

[CORDELL, 2011] CORDELL D. et WHITE S., *Peak Phosphorus : Clarifying the Key Issues of a Vigorous Debate about Long-Term Phosphorus Security - sustainability* - ISSN 2071-1050 (disponible en ligne).

[WILSENACH and LOOSDRECHT, 2003] WILSENACH J. et LOOSDRECHT M., *Impact of separate urine collection on wastewater treatment systems*, 2003.

[MEINZINGER, 2010] MEINZINGER F., *Resource efficiency of urban sanitation systems : a comparative assessment using material and energy flow analysis*.

BURHARDT D. *Étude des systèmes décentralisés d'assainissement, critères caractérisant les toilettes écologiques*, Unité mixte de recherche Cemagref-ENGEEs, Strasbourg, 2006.

GERMAIN A., COLLIN M.C., LASSAUX S., RENZONI R. et WERY D., *Analyse du cycle de vie de l'eau produite, distribuée et épurée - Dépôts atmosphériques*, PIRENE Programme Intégré de Recherche Environnement-Eau, Université de Liège, Laboratoire de chimie industrielle, 2004.

THIELEN R., *Une gestion naturelle des eaux domestiques avec un prototype de toilette à compost dans le cadre d'un projet d'habitation durable* - Rapport de la phase d'étude. Equilibre - Natéo environnement, Genève, 2011.

OFEFP, Office fédéral de l'environnement des forêts et du paysage (Suisse), *Utilisation judicieuse de l'eau de pluie, Possibilités et limites, conseils et critères*, 2003.

Informatie van de Vlaamse overheid - *Waterwegwijzer voor architecten, een handleiding voor duurzaam watergebruik in en om de particuliere woning*.

GERMEAU G., *Traitement de effluents liquides - formation des éco-conseillers en environnement 2010-2011*.

IBGE, *Guide pratique pour l'éco-construction*, info-fiches sur l'eau.

SITES INTERNET CONSULTÉS

FBR - Association for Rainwater Harvesting and Water utilization, Greywater Recycling and Reuse : http://www.fbr.de/fileadmin/user_upload/files/Englische_Seite/Greywater_Recycling_Introduction.pdf.

Groupe macrophytes et traitement des eaux, agence de l'eau, *Épuration des eaux usées domestiques par filtres plantés de macrophytes, recommandations techniques pour la conception et la réalisation*, 2005 : http://www.ain.fr/upload/docs/application/pdf/guide_macrophytes.pdf.

Site de Belgaqua, Fédération belge du secteur de l'eau, Livre Bleu : <http://www.belgaqua.be/document/LivreBleu.pdf>.

Rapport de la commission européenne: Rareté de l'eau et sécheresse au sein de l'Union européenne, 2010 : http://ec.europa.eu/environment/pubs/pdf/factsheets/water_scarcity/fr.pdf.

Site du professeur Orzagh sur la gestion de l'eau dans le monde : <http://www.eautarcie.com/index-fr.html>.

WWF : *vivons l'eau, guide pratique pour une utilisation rationnelle de l'eau* : http://www.wwf.be/_media/vivons_l_eau_139526.pdf.

Outil IBGE pour la gestion des eaux de pluie : <http://www.bruxellesenvironnement.be/Templates/Professionnels/Informer.aspx?id=32554>.

Site d'information sur la station trecofim : traitement biologique des matières de vidange : <http://www.trecofim.com/>.

Site reprenant de nombreuses présentations sur la thématique de l'assainissement durable : <http://www.sansed.uni-bonn.de/download/en-ecosan-capacity-building-material-2006.pdf>.

Site de SuSanA Sustainable Sanitation Alliance : <http://www.susana.org/>.

Site reprenant les estimations des ressources en potassium du gouvernement américain : <http://www.usgs.gov/> USGS. 2007b. Potash. U.S. geological survey. Mineral commodity summaries. January 2007.

Rapport Analytique de l'Environnement Wallon : <http://etat.environnement.wallonie.be/uploads/rapports/parties/chapitres/>.

ÉCONOMIQUE

[CHARLOT-VALDIEU, OUTREQUIN, 2013] C. CHARLOT-VALDIEU et P. OUTREQUIN, *Coût global des bâtiments et des projets d'aménagement, mode d'emploi*, Le Moniteur, 2013.

[GIEC, 1997], GIEC, *Résumé à l'intention des décideurs : aspects socio-économiques de l'évolution du climat* : <http://www7.inra.fr/dpenv/giec-c31.htm#r>.

[DE CONINCK, VERBEECK, 2005] R. De Coninck and G. Verbeeck., *Analyse technico-économique de la rentabilité des investissements en matière d'économie d'énergie*, Technical report, IBGE et KUL, 2005.

[FPMS, 2008] F. Renard, S. Nourricier, M. Di Pietrantonio, and V. Feldheim., *Analyse technico-économique de la rentabilité des investissements en matière de performance énergétique des habitations résidentielles*, Technical report, Faculté Polytechnique de Mons (FPMS), 2008. Étude réalisée dans l'Action Construire avec l'Énergie financée par la Région Wallonne.

[GEORGES, 2009] L. Georges, *Élaboration d'un outil d'aide à la conception des maisons individuelles à Basse Énergie et Très Basse Énergie : partie systèmes*, Architecture et climat, 2009.

Les remerciements des auteurs s'adressent en premier lieu au Département de l'Energie et du bâtiment durable du Service public de Wallonie, qui nous a permis de réaliser ce travail.

Nous tenons à remercier sincèrement tous ceux qui ont contribué à cette publication :

- Martin Outers, ir architecte, pour sa participation à la recherche
- José Flémal et Sylvie Rouche, pour leur aide précieuse en matière de graphisme
- L'ensemble de l'équipe d'Architecture et climat, pour le partage de leurs connaissances
- La société immobilière Eckelmans et les autorités UCL, pour leur intérêt pour le projet
- Le RAD (réseau pour l'assainissement durable) et plus particulièrement Geoffroy Germeau pour leur expertise en matière d'assainissement durable
- L'Association des habitants et l'AGL pour leur implication dans le processus de participation, en début de recherche
- Le CTIB et plus particulièrement Nelle Thyssen pour leur travail sur l'évaluation environnementale de différentes solutions de parements
- Graphisoft, pour la mise à disposition du logiciel Archicad à des fins de recherche.
- Les nombreuses entreprises contactées pour leurs compétences techniques

Cette publication a été finalisée en 2014

TABLE DES MATIÈRES

1. Processus

Analyses et enjeux

11

Les acteurs et leurs motivations 11

Méthodologie: d'une approche linéaire à une approche intégrée 11

1. Processus

Développement du projet et participation citoyenne 12

Du bâtiment écologique au projet de société durable 13

Objectifs et solutions concrètes envisagées pour le projet SUD

14

Méthodologie 14

Participation citoyenne 14

2. Territoire , lieu

Analyses et enjeux, à l'échelle de la ville

21

Objectifs et solutions concrètes envisagées pour le projet SUD, à l'échelle de la ville

21

Analyses et enjeux, à l'échelle de l'îlot et de ses environs

22

Objectifs et solutions concrètes envisagées pour le projet SUD, à l'échelle de l'îlot et de ses environs immédiats

24

3. HABITANTS, modes de vie, programme

Analyses et enjeux, à l'échelle de la ville

27

Contexte économique-social	27
Contexte socio-démographique	27
Contexte socio-urbanistique	27

Analyse à l'échelle de l'îlot et de ses environs immédiats

28

Processus de participation : résultats de la consultation préliminaire 29

Programme et stationnement 31

Programme et maître d'ouvrage 31

Analyses et enjeux, à l'échelle des bâtiments

31

Programmes des bâtiments existants 31

Bâtiments existants et sécurité incendie 33

Programme des bâtiments neufs 33

Objectifs et solutions concrètes envisagées pour le projet SUD

33

Au niveau du projet global 33

Programme et stationnement 33

Programme et bâtiments existants 34

Programme et bâtiments neufs 34

Espaces extérieurs et intimité 38

Contexte économique-social 39

Logements neufs et personnes à mobilité réduite 39

Programme et flexibilité 40

4. MOBILITÉ

Analyses et enjeux

45

À l'échelle de la ville de LLN 45

À l'échelle du quartier 45

À l'échelle de l'îlot 45

Objectifs et solutions concrètes envisagées pour le projet SUD

47

Soutien de la mobilité douce 48

Circulations et stationnement automobile 49

Circulations piétonnes 50

5. ÉNERGIE

Analyses et enjeux

55

Objectifs et solutions concrètes envisagées pour le projet SUD 57**Premier objectif énergétique : Limiter au maximum les consommations d'énergie et leurs impacts 59**

→ Consommations de chauffage	59
• Minimiser les déperditions thermiques par transmission	59
• Minimiser les déperditions de ventilation et d'infiltration	70
• Optimiser les gains solaires - implantation	74
• Inertie thermique	79
• Sensibilisation des occupants sur les modes de vie et sur les exigences de confort.	79
• Minimiser les impacts négatifs de la production de chaleur pour le chauffage.	80
• Limitation des besoins	84
• Récupération de chaleur instantanée sur les évacuations d'eaux grises.	85
• Limitation des impacts du système de production d'eau chaude sanitaire	86
→ Consommation d'énergie pour du refroidissement actif	86
• Inertie	86
• Ventilation naturelle	86
• Protections solaires	86
• Contrôle des gains internes	87
→ Consommation d'énergie électrique pour l'électroménager et la bureautique	87
→ Consommation d'énergie électrique pour l'éclairage	87
• Éclairage naturel	87
• Éclairage artificiel	87
→ Consommation électrique pour les auxiliaires techniques	88
→ Consommation d'énergie au niveau des matériaux mis en oeuvre	88
→ Consommation d'énergie pour la mobilité	88
→ Consommation d'énergie pour l'alimentation	88
Deuxième objectif énergétique : production maximale d'énergie renouvelable 88	
→ La production de chaleur par capteurs solaires thermiques	88
→ La production d'électricité par capteurs solaires photovoltaïques	88
→ L'intégration des technologies solaires.	89
→ La production d'électricité par une installation de cogénération à la biomasse	89

6. Matériaux et déchets de construction**Matériaux et déchets de construction****Analyses et enjeux****93**

→ Les normes et réglementations	93
→ Les méthodes d'évaluation existantes	95
→ Le site et les bâtiments existants	98

Objectifs et solutions concrètes envisagées pour le projet SUD 100

Action 0 : éviter l'utilisation de matière et la production de déchets	100
Action 1 : Maintenir, utiliser l'existant	100
Action 2 - 3 : Réutiliser et recycler sur le site	100
Action 4 : minimiser et gérer les déchets	101
Action 5 : Privilégier les matériaux durables	101
→ Hypothèses et méthode d'évaluation :	101
→ Critères environnementaux	103
→ Critères sociaux :	108
→ Critères techniques :	109
→ Critères économiques	111
Méthode	112
Evaluation de solutions concrètes	112
→ Solutions pour l'isolation et le parement des façades existantes	112
• Première technique analysée : parement fixé à une ossature bois elle-même fixée au mur porteur et remplie avec un isolant.	113
• Deuxième technique possible : Isolation fixée sur le mur porteur (collage + fixations mécaniques) et support de la finition extérieure.	129
→ Le matériau terre crue	129

**7. Eau,
assainissement durable****Analyses et enjeux****135**

→ L'eau	136
→ Les nutriments : entre alimentation, fertilisation et pollution	136

→ Principes de l'assainissement durable	140
Objectifs et solutions concrètes envisagées pour le projet SUD	141
Objectifs généraux à l'échelle du projet SUD	141
→ Au niveau de la consommation d'eau potable de distribution	141
→ Au niveau des eaux de pluie	142
→ Au niveau des eaux grises :	143
→ Au niveau des eaux-vannes	143
Assainissement durable : L'échelle de la ville de Louvain-La-Neuve	145
Assainissement durable : L'échelle du projet SUD	150
Solutions pour le projet SUD : approche technico-pratique	152
→ L'épuration et le recyclage des eaux usées :	152
→ Volumes disponibles et besoins en eau	156
→ Fosse à eaux-vannes : technique	157

8. BIODIVERSITÉ

Analyses et enjeux	161
Objectifs et solutions concrètes envisagées pour le projet SUD	162

9. ÉCONOMIE

Analyses et enjeux	167
Analyse économique : le coût global des bâtiments	167
Objectifs et solutions concrètes envisagées pour le projet SUD	170

10. BIBLIOGRAPHIE

