



Réno2020

Méthodologie d'insertion
des nouvelles technologies
dans la rénovation durable
du logement wallon

Tâche 8 : Synthèse et conclusions

Rapport final

Sommaire

1. Introduction	6
2. Présentation du projet	7
2.1. Objectifs	7
2.2. Partenaires	8
2.2.1. Coordination	8
2.2.2. Partenaires industriels	8
2.2.2.1. 1 : ArcelorMittal	8
2.2.2.2. 2 : Knauf	9
2.2.2.3. 3 : AGC Glass Europe	9
2.2.2.4. 4 : Aldes	10
2.2.3. Partenaires scientifiques	10
2.2.3.1. 5 : Université de Liège	10
2.2.3.2. 6 : CSTC	11
2.2.3.3. 7 : SECO	11
2.2.4. Maîtrise d'ouvrage : 8 : Eriges	12
2.3. Phases du projet	12
2.4. Délivrables	13
2.5. Planning	13
2.6. Objet de ce rapport	14
3. Tâche 0 : Coordination du projet	15
3.1. Définition de la tâche	15
3.2. Méthodologie	15
3.2.1. Comité de Gestion	15
3.2.2. Club d'Acteurs	16
3.2.3. Cap2020	17
3.2.4. Information et communication	17
3.3. Résultats, conclusions et livrables	19
4. Tâche 1 : Etat des lieux du logement sérésien	21
4.1. Définition de la tâche	21
4.2. Méthodologie	22
4.2.1. Incitants	22
4.2.2. Etat des lieux du Logement sérésien	22

4.2.3. Etude énergéico-typologique	23
4.3. Résultats, conclusions et livrables	24
4.3.1. Incitants	24
4.3.2. Etude énergéico-typologique	24
5. Tâche 2 : Choix des projets pilotes.....	29
5.1. Définition de la tâche.....	29
5.2. Méthodologie	29
5.2.1. Choix des typologies	29
5.2.2. « Ferrer 13 ».....	30
5.2.3. « Molinay 34 »	31
5.3. Résultats, conclusions et livrables	33
6. Tâche 3 : Référentiel	34
6.1. Définition de la tâche.....	34
6.1.1. Tâche 3.1.....	34
6.1.2. Tâche 3.2.....	36
6.2. Méthodologie	36
6.2.1. Valideo	36
6.2.2. Le référentiel « logement durable ».....	38
6.2.2.1. 1 ^{ère} étape : définition des thèmes	38
6.2.2.2. 2 ^{ème} étape : établissement d'une méthode d'évaluation par thème	41
6.3. Résultats, conclusions et livrables	42
6.3.1. Référentiel logement durable.....	42
6.3.2. Valideo	43
6.3.3. Comparaison	46
7. Tâche 4 : Catalogue.....	49
7.1. Définition de la tâche.....	49
7.1.1. Activités ArcelorMittal	49
7.1.2. Activités Knauf	49
7.1.3. Activités AGC.....	50
7.1.4. Activités Aldes.....	50
7.1.5. Activités communes.....	50
7.2. Méthodologie	51
7.2.1. Catalogue	52

7.2.2. Logiciel	54
7.3. Résultats, conclusions et livrables	56
7.3.1. Catalogue	56
7.3.1.1. Exemple 1 : toiture de « Ferrer 13 »	57
7.3.1.2. Exemple 2 : la façade de « Molinay 34 »	59
7.3.2. Logiciel	60
8. Tâche 5 : Méthode d'évaluation financière	64
8.1. Définition de la tâche	64
8.2. Méthodologie	65
8.3. Résultats, conclusions et livrables	67
9. Tâche 6 : Cahier des charges performantiel	69
9.1. Définition de la tâche	69
9.2. Méthodologie	69
9.2.1. Ambitions performantielles du maître d'ouvrage	69
9.2.2. Cahier des Charges Performantiel	70
9.3. Résultats, conclusions et livrables	71
9.3.1. Ambitions performantielles du maître d'ouvrage	71
9.3.2. Cahier des Charges Performantiel	74
10. Tâche 7 : Chantier « développement durable »	77
10.1. Définition de la tâche	77
10.1.1. Tâche 7.1 : Conception DD et certification	77
10.1.2. Tâche 7.2 : ACV et LCC	78
10.1.3. Tâche 7.3 : Réalisation et réception	78
10.1.4. Tâche 7.4 : Monitoring	78
10.2. Méthodologie	79
10.2.1. Présentation des projets	80
10.2.1.1. « Ferrer 13 »	80
10.2.1.2. « Molinay 34 »	82
10.2.2. Monitoring	84
10.2.2.1. Avant rénovation	84
10.2.2.2. Après rénovation	85
10.2.3. Suivi des chantiers	86
10.2.3.1. « Ferrer 13 »	86

10.2.3.2. « Molinay 34 »	92
10.2.4. LCA/LCC.....	95
10.3. Résultats, conclusions et livrables	99
10.3.1. Suivi des chantiers	99
10.3.1.1. « Ferrer 13 »	100
10.3.1.2. « Molinay 34 »	103
10.3.2. Monitoring	106
10.3.2.1. « Ferrer 13 »	106
10.3.2.2. « Molinay 34 »	107
10.3.3. LCA/LCC.....	108
10.3.3.1. « Ferrer 13 »	108
10.3.3.2. « Molinay 34 »	115
10.3.3.3. Conclusion :.....	121
11. Conclusions générales	123
11.1. Contexte de la rénovation.....	123
11.2. Le point de vue technique.....	123
11.2.1. Priorité à l'isolation.....	123
11.2.2. Etanchéité à l'air et ventilation	124
11.2.3. Quelle préfabrication ?.....	125
11.2.4. Applications réelles : « Ferrer 13 » et « Molinay 34 ».....	126
11.3. Le point de vue économique	127
11.4. Le point de vue sociologique	128
11.5. Suggestions	129

1. Introduction

Les bâtiments représentent 42% de la consommation d'énergie finale totale de l'Union européenne et 35% des émissions de gaz à effet de serre ; les immeubles d'habitation sont responsables de 77% des émissions de CO₂ des bâtiments. En Belgique, particulièrement, les logements dits « anciens » (50% du parc de logements a été construit avant 1945, 60% avant 1971) sont globalement vieux, peu efficaces et grands consommateurs d'énergie, présentant ainsi un potentiel important d'amélioration (pointé par le GIEC dans son rapport de 2007¹, le secteur économique du bâtiment présente le plus grand potentiel de réduction de la consommation et des émissions de GES).

Cependant, malgré l'évident impact capital de la rénovation des bâtiments résidentiels dans les années à venir, la complexité de ce marché le rend particulièrement difficile à pénétrer. Compte tenu de la diversité des types de bâtiment, les opérations de rénovation des logements collectifs sont souvent longues, complexes et coûteuses. Or le potentiel de gain énergétique est particulièrement accessible au moment de la rénovation des immeubles, qui présente une rare opportunité dans la vie des bâtiments, qu'il serait logique d'exploiter par la prise de mesures adéquates.

L'approche globale des travaux de rénovation d'un bâtiment est à privilégier, même si la réalisation doit être étalée dans le temps, au contraire d'une succession de gestes d'amélioration déconnectés ; elle met en place de manière coordonnée les activités complémentaires des métiers du bâtiment vers un résultat final. Cela concerne à la fois les métiers techniques et les aspects financiers. Or, actuellement, la majorité des rénovations ne sont pas globales et n'améliorent donc pas l'entièreté du bâtiment. Elles sont généralement ponctuelles et ne prennent pas toujours en compte les problèmes de ponts thermiques, de confort intérieur ni de besoins de nouveaux espaces. Ni les architectes, ni les particuliers, ne disposent d'outils facilitant la gestion intégrale du processus de rénovation.

Le projet Réno2020 fédère les acteurs de la construction (fournisseurs de matériaux, maîtrise d'œuvre, maîtrise d'ouvrage et centres techniques et scientifiques) afin d'établir des stratégies globales cohérentes pour la réhabilitation des bâtiments selon leurs différentes typologies. En s'inquiétant de la faisabilité technique et économique (et de sa reproductibilité) et en améliorant la qualité environnementale du parc existant, les retombées pressenties du projet sont considérables :

- Economies d'énergies induisant une forte réduction de la facture énergétique et des émissions de CO₂.
- Amélioration du bien-être des occupants (cadre plus agréable, meilleur confort à l'intérieur des bâtiments, prestations plus adaptées...)
- Développement de l'emploi dans le bâtiment et la modernisation de l'image de ce secteur.

¹ PACHAURI, Rajendra K., dir., Bilan 2007 des changements climatiques : rapport de synthèse, ICC / GIEC, 2008, 114 p., trad. de Climate Change 2007: Synthesis Report – Summary for Policymakers, Fourth Assessment Report, 2007.

En valorisant les différents aspects du développement durable dans une approche holistique de la rénovation, le projet Réno2020 s'inscrit ainsi dans les objectifs généraux du cluster Cap2020 :

- Economique :
 - Donner un nouvel élan au secteur de la construction, en tirant avantage du nouveau contexte énergético-environnemental.
 - Développer une offre de services et de produits de qualité, permettant de répondre adéquatement à une demande grandissante du marché.
- Social :
 - Accroître le niveau quantitatif et qualitatif de l'emploi dans le secteur construction.
 - Améliorer le bien-être des occupants des bâtiments et des utilisateurs des infrastructures.
- Environnemental :
 - Réduire l'impact environnemental du bâtiment, et réduire significativement la consommation énergétique du parc immobilier wallon (et donc réduire la production de CO₂) en anticipant la transition vers le « bâtiment à énergie positive ».
 - Diviser la consommation énergétique par 4 d'ici 2020.
 - Assurer 30% de couverture des besoins énergétiques à partir de sources renouvelables associées au bâtiment d'ici 2020 (au niveau d'un bâtiment individuel et/ou via des solutions collectives).

2. Présentation du projet

2.1. Objectifs

Ce projet, dont les objectifs sont en phase avec ceux du cluster CAP 2020, accélérera le développement du secteur de la construction durable. Nous avons proposé de définir et de mettre en œuvre des solutions industrialisées, standardisées et transposables, visant à l'amélioration des performances du stock résidentiel wallon urbain et semi-urbain en vue d'élaborer les bases d'une méthodologie applicable plus largement. À cette fin, l'ensemble des aspects liés au développement durable ont été pris en compte : l'économique, le social et l'environnement.

Dans le cadre de ce projet, la recherche a pour objectif de faire émerger des solutions qui permettront entre autres :

- De développer une compétence wallonne en matière de développement durable appliquée au bâtiment existant, et de créer des conditions de croissance économique du secteur, favorables à la création d'activités économiques nouvelles en la matière (création d'emplois permanents, de starts-up...).
- D'intervenir sur tous les types d'immeubles résidentiels grâce à une étude approfondie des différentes typologies et à l'élaboration de solutions adaptables.

- D'évaluer la performance environnementale des solutions, notamment au travers de l'analyse du cycle de vie.
- De maximiser l'amélioration de la qualité environnementale en fonction du budget disponible, dans le cadre d'une analyse multicritère des solutions.
- D'assurer une performance technique durable grâce à l'association maîtrisée de composants et une bonne prise en compte des interfaces.
- De réduire les coûts et garantir la faisabilité économique des opérations de rénovation, grâce à la mise en œuvre de composants industrialisés, ce qui en garantit leur reproductibilité.
- De réduire les délais d'intervention grâce à une préfabrication intensive des solutions proposées (facilité de mise en œuvre, augmentation de la sécurité du personnel lors de la mise en œuvre, réduction de la gêne pour l'occupant).
- D'augmenter le pouvoir d'achat des ménages et des entreprises par la réduction de la facture énergétique et, par là, d'augmenter l'activité économique...

2.2. Partenaires

2.2.1. Coordination

La coordination du projet est à charge d'ArcelorMittal Liege Research. Toutefois, une sous-traitance a été assurée par E3Performances (François Radelet).

2.2.2. Partenaires industriels

2.2.2.1. 1 : ArcelorMittal



ArcelorMittal

ArcelorMittal est le numéro un du marché européen au niveau des solutions constructives en acier pour l'enveloppe (bardage, couverture) et la structure du bâtiment. Engagé depuis des décennies dans une démarche de réduction des nuisances environnementales de son activité industrielle, le groupe ArcelorMittal trouve dans le projet Réno2020 une légitimité pour aider ses marchés à améliorer leurs propres performances dans le secteur du bâtiment, pour saisir les opportunités d'innovations technologiques qu'offre le marché de la rénovation, pour développer des solutions innovantes et pour faciliter l'émergence de nouvelles filières en construction adaptées au marché de la réhabilitation.

Document de présentation annexé : [Présentation Partenaire AMLR.pdf](#)

2.2.2.2. 2 : Knauf

Leader mondial dans l'extraction et la transformation de produits à base de gypse, la société Knauf fabrique et commercialise des matériaux de parachèvement et d'isolation partout dans le monde depuis 1932. A ce jour, le groupe Knauf compte plus de 150 usines réparties dans près de 80 pays. Avec un effectif de 25.000 employés et un chiffre d'affaire de 6,1 milliards €, cette multinationale a toutefois su préserver son caractère familial, gage d'indépendance et de prospective.

En Belgique, la société compte près de 750 collaborateurs, dont plus de 600 en Wallonie. Les solutions proposées permettent de répondre efficacement aux exigences les plus sévères dans les domaines de l'énergie, de l'acoustique ou du feu, tant en construction neuve qu'en rénovation.

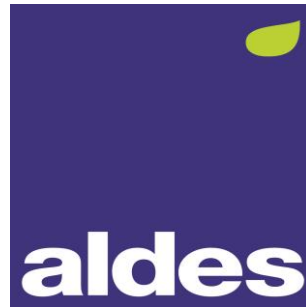
Document de présentation annexé : [Présentation Partenaire Knauf.pdf](#)

2.2.2.3. 3 : AGC Glass Europe

Glaverbel, depuis peu devenue AGC, a toujours été à la pointe du développement des vitrages offrant des performances accrues (isolation thermique, protection solaire, protection acoustique, sécurisation...). Le verre est un élément crucial dans l'apport d'énergie solaire : des développements de produits optimisant le bilan gains solaires passifs / déperditions thermiques ont été testés sur les façades exposées au soleil. Dans le sillage de ces produits les plus performants, la promotion des assemblages « standard », économes en énergie, offrant un très bon rapport prix / performances est également considérée.

Document de présentation annexé : [Présentation Partenaire AGC.pdf](#)

2.2.2.4. 4 : Aldes



Aldes est le leader français de la ventilation des habitations. Le groupe est également présent dans le marché de la ventilation tertiaire, en diffusion et distribution d'air, protection incendie, acoustique, et leader européen en aspiration centralisée. La bonne intégration de la ventilation au cours d'une rénovation des logements répond d'une part à un besoin de confort des occupants, mais aussi et surtout à une prise en compte de leur santé en améliorant significativement la qualité de l'air intérieur. La ventilation a bien sûr aussi une dimension incontournable dans la performance énergétique des bâtiments (augmentation des déperditions thermiques et du besoin de chauffage, maîtrise mécanique, récupération de chaleur, régulation...). Par conséquent, ce projet est à même de fournir une solution adaptée pour améliorer la qualité de l'air dans les logements existants en assurant un renouvellement de l'air maîtrisé dans le respect de très fortes performances énergétiques.

Document de présentation annexé : [Présentation Partenaire Aldes.pdf](#)

2.2.3. Partenaires scientifiques

2.2.3.1. 5 : Université de Liège



L'unité de recherche « Energie et Développement Durable » ('EnergySuD' pour « Energy and Sustainable Development ») de l'Université de Liège (Faculté des Sciences, Département des Sciences et Gestion de l'Environnement) se préoccupe d'encadrer les architectes auteurs de projet afin de les aider à réaliser les choix environnementaux efficaces dans leurs projets de bâtiments résidentiels, neufs ou existants. Le but recherché est la mise sur pied de méthodologies multicritères (tenant compte de critères performantiels, financiers, environnementaux, sociaux, urbanistiques, réglementaires...) et multi-acteurs des projets de bâtiments. Le projet Réno2020 s'inscrit parfaitement dans cette stratégie, puisqu'il rassemble

tous les acteurs – publics et privés – concernés par un projet dont la faisabilité technique et économique sera largement améliorée grâce à la mise au point de solutions techniques industrialisées adaptées aux spécificités des interventions sur le bâti existant.

2.2.3.2. 6 : CSTC



Le CSTC, à travers ses divisions « Energie et Climat » et « Développement Durable et Rénovation », participe au projet de rénovation durable du logement wallon. À ce titre, l'intérêt du CSTC réside dans le développement d'un référentiel « rénovation durable » (englobant les différents thèmes liés au développement durable) en vue d'une éventuelle labellisation, l'approche LCC (Life Cycle Costing) des solutions performantes, l'évaluation de l'impact environnemental via l'analyse de cycle de vie (ACV), l'analyse et l'optimisation des thèmes « construction durable » autres que la performance énergétique (matériaux, chantier, déchets, site, accessibilité, mobilité...) en vue de réaliser des projets exemplaires de rénovation « énergétique et durable » ou encore le monitoring des performances avant et après rénovation.

2.2.3.3. 7 : SECO



Le Bureau de Contrôle Technique pour la Construction, SECO, a été fondé pour veiller au contrôle technique des études et de l'exécution de tous ouvrages, pour contrôler, inspecter et certifier des produits, systèmes (qualité, sécurité et environnement) et personnes dans le domaine de la construction et des industries apparentées, ou encore pour gérer la coordination de la sécurité et de la santé, contribuant ainsi à la promotion de la qualité et de la fiabilité dans le domaines de la construction. SECO apporte ainsi un point de vue neutre et impartial qui repose sur la compétence d'experts reconnus. Depuis quelques années, SECO a enrichi sa mission de contrôle technique par une offre d'attestation « Construction Durable » afin de contribuer à la réduction des impacts environnementaux d'une construction grâce à l'accompagnement des équipes de conception, au suivi de l'exécution et à la validation lors de la mise en service.

2.2.4. Maîtrise d'ouvrage : 8 : Eriges



La Ville de Seraing souhaite l'intégration de technologies de gestion et d'économie d'énergie, lors d'appels publics ou en partenariat public et privé pour ses projets de construction, de rénovation et de développement immobilier, sollicitant ainsi la prise en compte du développement durable dans la rénovation et la construction des bâtiments. Demandeuse d'outils lui permettant de rédiger au mieux les clauses des cahiers des charges relatives au développement durable, de veiller au bon déroulement du chantier et d'assurer une maintenance optimale des constructions et rénovations, la Ville de Seraing propose donc que soient utilisés les appels d'offres et chantiers à venir pour « tester » les prescriptions du développement durable. À ce titre, Eriges, la Régie communale autonome de Seraing responsable de la gestion de la rénovation urbaine, est chargée de mener le bâti résidentiel à la rénovation efficace et performante, en lien avec la démarche actuelle de requalification urbaine.

2.3. Phases du projet

Pour atteindre les objectifs, dix phases ont été identifiées. Elles seront définies plus en détail dans la suite de ce rapport :

- La communication (tâche 0) a été établie entre les divers partenaires au travers d'une plate-forme collaborative. La communication vers le monde extérieur s'est faite grâce à un site Internet (www.reno2020.be) permettant une parfaite lisibilité des actions menées dans le cadre du projet. Par ailleurs, une « newsletter » a été diffusée via le cluster CAP 2020 et sur le site Internet du projet.
- Eriges a réalisé un état des lieux du parc résidentiel de Seraing tandis que l'Université de Liège a caractérisé les profils types de typologies de l'habitat représentatifs du parc immobilier (tâche 1). Deux projets pilotes de rénovation ont ainsi été sélectionnés sur base de cette étude (tâche 2), rénovés (mise en œuvre in situ d'un ensemble de solutions performantes) et étudiés (tâche 7 : guidance à la construction, évaluation PEB/LCA/LCC des solutions, certification, monitoring...).
- Le bureau SECO et le CSTC ont travaillé à l'adaptation du référentiel « Construction Durable » au secteur résidentiel rénové (tâche 3). L'objectif ici était de développer un guide qui précise et éclaire les grands principes nécessaires pour une démarche en construction durable.
- La définition de l'offre « Qualité Environnementale » a été l'objet d'échanges entre les industriels partenaires (synthèse des solutions de rénovation performantes d'un point de vue environnemental). Sur base de l'écart entre les besoins et l'offre disponible, un programme d'amélioration et de développement de concepts



innovants de réhabilitation (efficacité et reproductibilité), de nouveaux systèmes, de composants et de produits est initié afin d’élargir et d’améliorer l’offre de produits et systèmes (tâche 4).

- Elaborer une méthode d’évaluation financière de projet de rénovation (tâche 5) en « coût total » (coûts de construction, d’utilisation et de démolition) ainsi qu’un cahier des charges performantiel spécialement adapté à la rénovation (tâche 6) ont été à la base de la mise sur pied d’un outil pratique pour les architectes et les propriétaires, par l’Université de Liège.
- Les deux dernières tâches du projet sont la rédaction du présent rapport de synthèse (tâche 8), et la diffusion des résultats, en Wallonie puis en Europe. Cette tâche spécifique a cependant été retirée lors de la convention.

2.4. Délivrables

Les livrables généraux du projet sont les suivants :

- Une méthodologie d'approche orientée construction durable pour la rénovation du parc résidentiel existant.
- Un catalogue de solutions standardisées, adaptées à la typologie du parc résidentiel wallon, accompagné d’un guide de bonne pratique. Ces solutions résultent de concepts validés grâce aux bâtiments de démonstrations rénovés.
- En impact différé, l’émergence de filières nouvelles de construction facilitant la création de sociétés spécialisées.

Les livrables spécifiques à chaque phase du projet sont explicités dans la suite du rapport.

2.5. Planning

N° tâche	0 9												1 0												1 1												1 2											
	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
1																																																
2																																																
3																																																
4																																																
5																																																
6																																																
7.1																																																
7.2																																																
7.3																																																
7.4																																																
8																																																

Fig. 1 : Planning initial du projet Réno2020

2.6. Objet de ce rapport

Selon la définition initiale, les conclusions du projet devaient être tirées dans un document de synthèse (tâche 8) et l'expérience acquise diffusée Wallonie et dans l'Europe des 27 (notamment avec le support des groupes internationaux, ArcelorMittal, Knauf, AGC et ALDES).

Ce document est donc le fruit de la tâche 8, le rapport final du projet, établissant son déroulement et détaillant ses résultats ; il constitue la mémoire de toutes les étapes du projet, permettant d'en résumer l'ensemble sans en omettre les aspects fondamentaux. Il s'attelle à situer la reproductibilité de la démarche réalisée dans le cadre des deux projets de rénovation sérésiens, étendue au tissu résidentiel urbain wallon et à celui de villes européennes à forte présence industrielle.

3. Tâche 0 : Coordination du projet

3.1. Définition de la tâche

Partenaire responsable : ArcelorMittal

Autre(s) partenaire(s) impliqué(s) : Knauf, AGC, Aldes, ULg, CSTC, SECO, Eriges

Résultats visés :

- Fonctionnement efficace du « Comité de gestion » ;
- Apport d'expertise du « Club d'acteurs » ;
- Réalisation d'un site Internet et de newsletters.

L'objet de cette tâche est d'assurer le bon déroulement du projet, entre autres :

- D'assurer la liaison avec la Région Wallonne ;
- De coordonner et organiser les échanges entre partenaires ;
- De vérifier l'avancement des différentes tâches ;
- D'alerter les partenaires sur les risques et les dérives ;
- De relancer les actions qui « piétinent » ;
- De régler les éventuelles difficultés rencontrées entre partenaires.

3.2. Méthodologie

3.2.1. Comité de Gestion

Un Comité de Gestion a été constitué au démarrage du projet ; il comprend un représentant de chaque partenaire repris ci-avant, et a assuré le pilotage du projet, organisant à intervalles réguliers des réunions d'avancement.

Ce Comité de Gestion a permis aux différents partenaires du projet de se réunir régulièrement, d'échanger les résultats des études en cours et de se tenir au courant de l'état d'avancement du projet. Les volets administratifs (conventions, avenants et rapports d'activités, par exemple) et financiers (rapports d'activités et déclaration de créances) y ont également été discutés. Plusieurs rapports des réunions du Comité, transmis par François Radelet (coordinateur du projet pour ArcelorMittal) aux différents partenaires sont annexés au présent rapport final :

- o [090513 E3P RapportComitéGestion.pdf](#)
- o [100326 E3P PPT ComitéGestion.pdf](#)
- o [100517 E3P RapportComitéGestion.pdf](#)
- o [101202 PPT RéunionComitéGestion.pdf](#)
- o [110204 E3P RapportComitéGestion.pdf](#)
- o [110527 E3P RapportComitéGestion.pdf](#)

- [110628 E3P RapportComitéGestion.pdf](#)
- [110803 E3P RapportComitéGestion.pdf](#)
- [111013 E3P RapportComitéGestion.pdf](#)

Les principales présentations réalisées par les partenaires au cours de ces réunions sont également reprises en annexe :

- [Eriges Présentation Tâche1 EtatDuLogementSérésien.pdf](#)
- [Aldes Présentation DoubleFlux.pdf](#)
- [AGC Présentation Produits.pdf](#)
- [090623 Eriges PrésentationsChoixProjetsPilote.pdf](#)
- [100517 ULg Présentation PEBFerrer ComitéGestion.pdf](#)
- [100517 ULg Présentation EvaluationFinancière ComitéGestion.pdf](#)
- [101001 ULg Présentation PropositionLogiciel ComitéGestion.pdf](#)
- [101222 ULg Présentation Logiciel ComitéGestion.pdf](#)
- [101222 ULg Présentation Toiture ComitéGestion.pdf](#)
- [110527 ULg Présentation ComitéGestion.pdf](#)
- [120203 ULg Présentation ComitéGestion.pdf](#)
- [120306 CSTC Présentation MonitoringFerrer.pdf](#)
- [120628 ULg Présentation ComitéGestion.pdf](#)
- [120628 AMLR PrésentationComitéGestion.pdf](#)
- [121204 ULg Présentation ComitéGestion.pdf](#)

3.2.2. Club d'Acteurs

Un « Club d'Acteurs », constitué d'architectes, d'entreprises, d'organismes gestionnaires de logements, de promoteurs immobiliers et d'utilisateurs finaux, a été constitué afin d'apporter son expérience en construction durable. Il s'est réuni à deux reprises au cours du projet (le 22 Janvier 2010 et le 09 Décembre 2011), donnant son avis, participant à l'analyse du parc, précisant le cahier des charges et évaluant les solutions en fonction des différentes réalités.

La composition de ce Club d'Acteurs (arrêtée le 24/11/2011) se trouve dans le document annexé intitulé [111124 E3P CompositionClubActeurs.pdf](#).

L'invitation à la réunion du 22 Janvier 2010 est repris dans le document joint [100122 Invitation ClubActeurs.pdf](#).

L'invitation et l'ordre du jour de la réunion du 09 Décembre 2011 sont détaillés dans le document joint [111209 Invitation ClubActeurs.pdf](#). Le Power Point de coordination est également joint : [111209 ClubActeurs E3P PPT.pdf](#).

Lors de ces réunions du Club d'Acteurs, plusieurs intervenants (internes ou externes au projet) ont présenté l'état d'avancement du projet (dans son ensemble ou pour certaines tâches en particulier) :

- [100122 ULg PPT EtudeTypologies.pdf](#)
- [111209 ClubActeurs Eriges&Archis PrésentationProjetMolinay.pdf](#)
- [111209 ClubActeurs Eriges&Archis PrésentationProjetFerrer.pdf](#)
- [111209 ClubActeurs AMLR&Knauf SolutionsIndustrielles.pdf](#)
- [111209 ClubActeurs RWSFontaine Incitants.pdf](#)
- [111209 ClubActeurs CCW.pdf](#)
- [111209 ClubActeurs AMLR Présentation.pdf](#)

3.2.3. Cap2020



Un retour régulier a été maintenu vers le Cluster Cap2020, qui était partie prenante du Comité de Gestion et du Club d'Acteurs. Ainsi, des documents de synthèse ont été envoyés (voir [1012 Synthèse to Cap2020.pdf](#) et [1106 Synthèse to Cap 2020.pdf](#)) et une rencontre a été organisée dans le cadre des « Midis de Cap2020 » : il s'agit de réunions de mi-journée, qui peuvent aborder divers sujets tels que la présentation d'une entreprise, une visite de chantier, la présentation d'un produit, la démonstration d'une mise en œuvre ou des exposés autour d'un thème spécifique. Un « midi de cap2020 » a donc été organisé autour du projet Réno2020 le 20 Janvier 2011, au cours duquel ont été exposés l'étude des typologies présentée à la tâche 1 ([110120 ULg PrésentationEtudeTypologies Cap2020.pdf](#)) et la proposition de création d'un logiciel (voir tâche 4 et le document annexé [110120 ULg PrésentationLogiciel MidiDeCap2020.pdf](#)).

3.2.4. Information et communication



Fig. 2 : Logo du projet Réno2020

Pour bien identifier le projet, un logo a été imaginé par les partenaires et finalisé par la graphiste d'Eriges. Il représente une rue de ville avec plusieurs maisons accolées, dont l'une (en vert) a été rénovée suivant les règles du développement durable et de la performance environnementale.

Au démarrage du projet, il a été décidé de mettre en place un site Internet et une newsletter pour permettre une communication optimale des partenaires, entre eux et vers l'extérieur. Ces deux outils imaginés lors de l'élaboration du projet ont vu leur forme évoluer afin d'être plus efficaces.

Les partenaires se sont d'abord mis d'accord sur la création d'une « plate-forme collaborative », un outil uniquement accessible par les partenaires, leur permettant de déposer des fichiers dans le cadre confidentiel du partenariat. C'est le logiciel d'E-Groupware, déjà utilisé par ailleurs par ArcelorMittal, qui a été choisi. Deux modes d'emploi ont été fournis aux partenaires (d'abord le document [ULg ModeD'Emploi PlateFormeCollaborative.pdf](#). Après amélioration du logiciel pour qu'il devienne un instrument interactif entre les partenaires, le document [ULg ModeD'UtilisationPratique PlateForme Collaborative.pdf](#) a été distribué). Les fonctionnalités de cette plate-forme d'échange sont nombreuses, parmi lesquelles l'agenda partagé (reprenant les réunions, les tâches en cours et à réaliser...), l'envoi automatique de courriels prévenant tous les partenaires qu'un nouveau document a été déposé, la visualisation de l'état d'avancement des travaux réalisés, etc.

Ensuite, il s'est avéré que la « newsletter » pouvait se fondre au site Internet pour en faire un unique moyen de communication facilement accessible à toutes les personnes intéressées (mais non partenaires) par le projet. Dès l'entrée en fonction du Club d'Acteurs, nous avons décidé de les informer via le site Internet www.Reno2020.be, un module réalisé avec le logiciel Joomla qui se greffe sur le logiciel E-Groupware. Nous avons aménagé une présentation publique (donc également accessible aux membres du Club d'Acteurs, qui sont ainsi tenus informés de toute modification importante apportée au contenu du site et qui peuvent « suggérer une idée » leur permettant de faire des commentaires, s'ils le désirent, sans attendre la prochaine rencontre avec les partenaires).

Plus d'informations sur la tâche « information et communication » sont disponibles dans le document [0902 to 1002 ULg RapportScientifique.pdf](#).

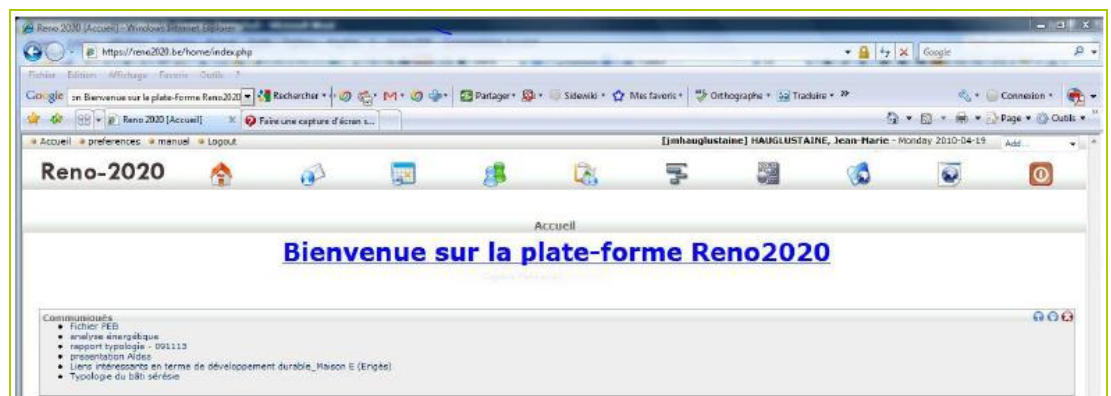


Fig.3 : capture de l'écran d'accueil de la plate-forme collaborative Reno2020

Une communication a également été réalisée pour permettre une diffusion facile des objectifs du projet :



L'objectif général de Reno2020 est de démontrer que le parc résidentiel wallon existant représente un vaste chantier régional de rénovation à haute qualité environnementale et que des solutions industrielles peuvent y aider...

Le projet a fédéré des acteurs de la construction (maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre, centres de recherche et fournisseurs de matériaux) afin d'établir des stratégies globales cohérentes pour la réhabilitation des logements selon leurs différentes typologies.

Projets pilotes en cours :

Parit immeuble collectif (rez + 3 niveaux)

Maison unifamiliale mitoyenne

La recherche s'est orientée vers la mise au point de solutions qui permettront, entre autres :

- d'avoir une **approche environnementale**, dont l'analyse du cycle de vie des solutions et l'évaluation des performances énergétique et environnementale avant et après rénovation ;
- de **réduire les coûts** et **garantir la faisabilité économique** des opérations de rénovation, grâce à la mise en œuvre de composants industrialisés, ce qui en garantit leur reproductibilité ;
- de **réduire les délais** d'intervention grâce à une préfabrication intensive des solutions proposées (facilité de mise en œuvre, augmentation de la sécurité du personnel, réduction de la gêne pour l'occupant) ;
- d'**intervenir sur tous les types d'immeubles résidentiels** grâce à une étude approfondie de leur typologie et à l'élaboration de solutions adaptées ;
- d'**assurer une performance technique soutenable** grâce à l'association maîtrisée de composants et une bonne prise en compte des connexions entre composants.

www.reno2020.be

Projet financé par la Région wallonne dans le cadre du Plan Marshall

ERIGES AGC aides KNAUF ArcelorMittal SECO CSTC ULg

Fig. 4 : Résumé des objectifs du projet pour assurer la communication

Enfin, en termes de communication, nous devons également mentionner l'initiative d'Eriges, qui a lancé le tournage d'une série de reportages filmés sur les projets de rénovation à Seraing, dans lesquels apparaissent les chantiers « Ferrer 13 » et « Molinay 34 ».

Ces vidéos sont disponibles sur le site Internet d'Eriges :

- <http://www.eriges.be/fr/projects/24-00-seraing-en-son-et-en-image/47-visualiser.aspx>
- <http://www.eriges.be/fr/pages/renovation-maison-projet-primo.aspx>

Une communication sur le projet a également été publiée par l'unité de recherche EnergySuD dans un supplément, paru dans toutes les éditions de *L'Avenir*, consacré au campus d'Arlon de l'ULg. Elle est disponible dans la pièce jointe [120523 EnergySuD Article Avenir.pdf](#).

3.3. Résultats, conclusions et livrables

Le projet Reno2020 a débuté en Février 2009. Il était initialement prévu sur une durée de 3 ans mais a dû faire face à une série de difficultés et d'imprévus qui ont bousculé le planning du projet, ce qui n'a pas simplifié la coordination du projet. Les diverses contraintes rencontrées étaient d'ordres différents :

- Modification du rôle de SECO dès les premiers stades du projet.
- Réorganisation du centre de Recherche de ArcelorMittal Liège, dans la conjoncture

socio-économique à présent bien connue.

- Restrictions budgétaires sur le projet « Molinay 34 ».
- Faillite de l'entreprise générale du projet « Ferrer 13 ».
- Evolution des circonstances entourant la tâche 3, amenant à une refonte du Référentiel Logement Durable du CSTC (voir le chapitre 6).

Pour aboutir aux différents résultats et livrables présentés dans ce rapport, et malgré les quelques avatars précités, le partenariat a su garder sa cohésion, transformer certaines tâches (à l'instar des tâches 4, 5 et 6) en solutions novatrices (mise en place d'un outil informatique et création d'un concept de système de façade), et s'investir pour certains au-delà de la durée du projet (comme nous l'expliquons plus bas, Eriges suivra la fin du chantier « Ferrer 13 », dont le monitoring par le CSTC se déroulera dans les mois à venir, de même que le développement de l'outil informatique par EnergySuD).

4. Tâche 1 : Etat des lieux du logement sérésien

4.1. Définition de la tâche

Partenaire responsable : Eriges

Autre(s) partenaire(s) impliqué(s) : ULg, CSTC

Résultats visés :

- Relevé des incitants publics activables par des particuliers ou des sociétés publiques ou privées dans le cadre de la rénovation de maisons unifamiliales ou d'immeubles collectifs (Eriges).
- Relevé des acteurs ayant des compétences en construction durable, bureaux d'étude, architectes, constructeurs, gestionnaires d'immeubles et création du Club d'Acteurs (Eriges).
- Définition de la typologie de l'habitat afin de dégager les principaux profils d'habitat en centre urbain sérésien et d'en définir les éventuelles particularités, par rapport aux caractéristiques du tissu résidentiel urbain de la Région wallonne notamment et éventuellement d'autres centres urbains européens comparables (dans les zones urbaines fortement industrialisées) (ULg).
- Relevé des contraintes et opportunités liées à des rénovations à hautes performances environnementales en centre urbain (Eriges)
- Caractérisation de profils types qui serviront de chantiers pilotes pour la mise en œuvre d'une rénovation à hautes performances environnementales (ULg).

Description du travail à effectuer :

- Définition de la typologie de l'habitat, sur base de l'enquête INS 2001² notamment pour la partie relative à la caractérisation des logements belges. Les retours d'expérience de projets aux objectifs similaires réalisés à l'étranger seront analysés [...].
- Il s'agit d'établir les principales typologies présentes en centre urbain à Seraing : mitoyen, petit immeuble collectif, semi-mitoyen, 4 façades, et de caractériser ces principales typologies (année de construction, niveau de confort, superficie, matériaux...).
- Une fois les principales typologies retenues, il s'agit de relever les contraintes et opportunités liées à des rénovations à haute performance environnementale en centre urbain : contraintes et opportunités légales notamment (règlement d'urbanisme, plan de secteurs, zones d'interventions prioritaires...), contraintes techniques (stabilité, orientation, localisation, densité du tissu...) et environnementales (air ambiant, nuisances sonores liées à l'industrie, au trafic, à la densité du tissu urbain...).

² SPF Economie, 2007, *Enquête Socio-économique 2001 - Monographies ; Le logement en Belgique*, Politique Scientifique Fédérale publication n°2.

- Parmi les principales typologies dégagées et en fonction des contraintes et opportunités, la recherche déterminera 3 profils types qui permettront, sur autant de chantiers pilotes, de mettre en œuvre les techniques de rénovation à haute performance environnementale proposées dans le présent projet. Ces 3 profils constitueront des cas différents ; présentant des spécificités et manières d'intervenir en rénovation reproductibles sur le territoire de Seraing mais aussi plus largement en centres urbains de même type (climat, densité, typologies...) en Wallonie et en Europe ; activant des mécanismes financiers et incitants eux aussi reproductibles sur le territoire de Seraing mais aussi plus largement en centres urbains wallons et européens ; dégageant un équilibre coûts-rentabilité démontrable en fonction des techniques retenues pour la rénovation.

4.2. Méthodologie

4.2.1. Incitants

Une première étude des incitants a été réalisée en 2009/2010 par Eriges, au début du projet Réno2020, dans le but d'avoir une vision globale des incitants activables pour les travaux de rénovation prévus. Eriges a ainsi relevé quatre grandes catégories d'incitants publics activables dans le cadre de la rénovation d'immeubles privés ou à usage des collectivités.

- Incitants à la rénovation d'un immeuble destiné au logement ;
- Incitants à la rénovation d'un immeuble destiné aux entreprises, indépendants et professions libérales ;
- Incitants à la rénovation d'un immeuble destiné aux Provinces, Communes, CPAS... ;
- Incitants à la rénovation d'un immeuble destiné aux bâtiments destinés à l'enseignement, écoles...

Les informations collectées à ce sujet se retrouvent dans les rapports [Eriges Tâche1 Incitants.pdf](#) et [0902 to 1002 Eriges RapportScientifique.pdf](#).

Les systèmes d'incitants (primes et réductions fiscales) étant actualisés chaque année pour coller au mieux aux réalités techniques et économiques du secteur, cette liste a ensuite été mise à jour en avril 2013 par Eriges. Le fichier [1304 Eriges MàJ Tâche1 Incitants.pdf](#) nous permet donc de délivrer une information actualisée dans le cadre de ce rapport final.

4.2.2. Etat des lieux du Logement sérésien

Eriges a exposé une première approche de l'action menée dans la Vallée sérésienne au travers du projet Primo (pour PRIorités IMmobilières), qui vise à l'acquisition d'immeubles sur- ou sous-exploités, situés au cœur de zones prioritaires de la requalification urbaine de Seraing. Une fois acquis (dans des procédures à l'amiable), ces bâtiments sont rénovés afin que soient créés davantage de logements de qualité dans la vallée, que ces rénovations aient un impact positif (visibilité, nouveaux habitants, effet de contagion), qu'elles véhiculent des valeurs architecturales de qualité et de gestion intelligente des énergies. Restant propriétés

de la Ville de Seraing ou de la Régie Communale Autonome (RCA Eriges), ces biens destinés à la location constituent un patrimoine immobilier susceptible de permettre de nouvelles opérations de rénovation immobilière.

L'annexe [Eriges Présentation Tâche1 EtatDuLogementSérésien.pdf](#) montre les actions entreprises par Eriges sur un certain nombre de bâtiments d'ores et déjà acquis par la Ville de Seraing ou par Erigès, la régie communale autonome de Seraing.

4.2.3. Etude énergético-typologique

Cette étude a pour objectif d'analyser le parc résidentiel bâti wallon, dans ses caractéristiques urbanistiques, typologiques, techniques et thermiques, dans un but bien précis : déterminer quels bâtiments feront l'objet d'une rénovation durable, et les choisir consciencieusement afin de s'assurer de la portée du projet en Région wallonne.

Cataloguer le bâti wallon nous a permis d'identifier des catégories de logements prioritaires, de typologies majoritaires, largement représentatives de l'ensemble des logements wallons améliorables, de dégager des potentiels d'amélioration et des priorités d'action en termes de rénovation énergétique et durable du parc de logements wallons.

Nous avons donc tenté de donner une vue d'ensemble du bâti existant, par la mise en évidence de différentes caractéristiques :

- Générales : quelle est l'importance du parc de logements wallons ? Quelles sont les configurations de logements les plus courantes ? Qu'en est-il de la taille des logements, de leur ancienneté ? Quelle est la satisfaction des habitants par rapport à leur environnement et leur « cadre de vie » (facilités, services, éventuelles nuisances...) ?
- Énergétiques et environnementales : quelles sont les consommations du secteur domestique et comment se répartissent-elles en fonction du type de logement, du type d'utilisation... ? Quels sont les choix en matière de combustibles ? Quelle est la qualité thermique actuelle des logements wallons (isolation des parois, chaudières...) ? Plus largement, quel en est l'impact environnemental (consommation d'eau, production de déchets...) ?
- Socio-économique : quels types de ménages ? Quels types d'occupation ? Combien de logements sociaux... ?

Le corps de cette étude ne sera pas développé dans le présent rapport : pour de plus amples informations sur les caractéristiques étudiées, le rapport complet de l'étude typologique est annexé au présent rapport scientifique ([ULg Rapport EtudeTypologies.pdf](#)). Il se conclut par une mise en évidence de huit typologies, largement représentatives du parc immobilier, visées par ce projet. Ces résultats sont donnés ci-dessous (voir 4.3.2). L'étude typologique se retrouve également résumée dans le rapport scientifique de l'Université de Liège couvrant la période de Février 2009 à Février 2010 : [0902 to 1002 ULg RapportScientifique.pdf](#).

Cette étude a fait l'objet de plusieurs présentations : au Comité de Gestion, durant son élaboration (pour témoigner de l'état d'avancement, mais aussi pour récolter

les avis et suggestions des partenaires), au Club d'Acteurs ([100122 ULg PPT EtudeTypologies.pdf](#)) ou encore au « Midi de Cap2020 » ([110120 ULg PrésentationEtudeTypologies Cap2020.pdf](#)).

4.3. Résultats, conclusions et livrables

4.3.1. Incitants

La liste complète des incitants relevés par Eriges dans le cadre de la tâche 1 est disponible dans le document [Eriges Tâche1 Incitants.pdf](#) et dans sa mise à jour, [1304 Eriges MàJ Tâche1 Incitants.pdf](#).

4.3.2. Etude énergétypologique

En parcourant très brièvement l'ensemble des caractéristiques étudiées, nous pouvons identifier une série de « cas types », typologies représentatives de l'ensemble des logements de la Région, sur base de critères que sont leur âge, leur degré d'isolation thermique, leur taille, leur configuration, leur localisation, certaines caractéristiques constructives, le type d'occupation...

La plupart des caractéristiques ci-dessus sont liées et interdépendantes. Leur croisement permet de mettre en évidence 8 typologies de logements qui semblent prioritaires. Ensemble, ces catégories couvrent $\pm 76\%$ des logements construits avant 1991. Signalons tout de suite que les logements sociaux ne sont pas repris ici.

- 1. La maison de type vernaculaire ($\pm 6\%$ des logements construits avant 1991, voir Fig. 5) :
 - Elle est le plus souvent rurale et ancienne (datant des 18^e, 19^e et début 20^e siècle) ; de ce fait, l'accès aux réseaux de gaz naturel n'est généralement pas possible.
 - Le caractère agricole de ces bâtiments explique leur isolement géographique (type « 4 façades »). Ils présentent des volumétries diverses, mais en général un grand volume habitable ;
 - Les matériaux et techniques constructives sont traditionnels : des murs pleins, pouvant être très épais, en pierre ou brique, des charpentes en bois, l'utilisation d'argile, de chaux... (issues de ressources locales) ;
 - Leur valeur patrimoniale est indéniable, qui en fait ainsi un héritage culturel à préserver (rendant la rénovation difficile, bien qu'elle soit parfois plus que nécessaire).
- 2. La maison urbaine moyenne ($\pm 16\%$ des logements construits avant 1991, voir Fig. 6) :
 - Datant du début du 20^e siècle, il s'agit généralement d'une maison mitoyenne ou semi-mitoyenne, de taille moyenne à grande (5 à 6 m de façade, plafonds hauts, trois niveaux habitables dont les combles, présence de caves à voussettes... ;
 - Elle présente souvent en façade arrière des annexes plus récentes, de

moindre qualité.

- La façade avant est souvent plus travaillée, présentant des détails et des ornements (balcons, pierre sculptées...) typiques de ces « maisons de maître » (qui marquent ainsi leur supériorité par rapport aux ouvriers des maisons modestes) ;
 - Elle manque souvent de lumière naturelle au rez-de-chaussée ;
 - La période de construction de ces bâtiments explique généralement la présence conjointe de matériaux « traditionnels » (brique, pierre) et industriels (tels que l'acier) ;
 - Sa présence urbaine rend le gaz naturel généralement disponible.
- 3. Maison villageoise ($\pm 5\%$ des logements construits avant 1991, voir Fig. 7) :
- Construite dans la période « entre-deux-guerres », la maison villageoise est généralement moyenne à grande, avec une cave (au moins partielle), un rez-de-chaussée, un étage et des combles ;
 - De volumétrie assez simple, elle est allongée mais présente souvent des volumes annexes en appentis ;
 - Là encore, la période de construction marque son empreinte par la simplicité constructive (volumes simples et peu d'ornements) et la présence de matériaux industriels : béton, brique (murs pleins d'une brique et demi d'épaisseur), acier ou bois... ;
 - Suivant la localisation, le gaz naturel pourrait être disponible, mais ce n'est pas une généralité.
- 4. La maison ouvrière « modeste » ($\pm 18\%$ des logements construits avant 1991, voir Fig. 8) :
- Il s'agit d'une maison mitoyenne, souvent construite avant 1945, caractérisée par de très petits volumes, des plafonds assez bas, deux pièces au rez-de-chaussée (absence fréquente d'un hall d'entrée), deux pièces au premier étage, des combles souvent occupés et une petite cave (basse) ;
 - Ces maisons étaient à l'origine construites pour les ouvriers des nouvelles industries (d'où leur appellation), ce qui explique leur simplicité constructive, la présence de matériaux industriels, la présence encore fréquente d'un chauffage au charbon (bien que le gaz naturel soit maintenant plus répandu) ;
 - Souvent en mauvais état, elles présentent généralement des problèmes d'insalubrité ; les annexes qui ont quasi constamment été ajoutées ne sont pas en meilleur état.
- 5. Les « villas » des premières extensions urbaines ($\pm 6\%$ des logements construits avant 1991, voir Fig. 9) :
- Construites dans les années 30 à 60, ce sont des maisons moyennes à grandes, isolées ou jumelées, souvent assez complexes en termes de

- volumétries ou de matériaux... ;
- Au vu de la période de construction, elles présentent souvent des murs creux dits de « 1^{ère} génération », avec des ponts thermiques fréquents ;
 - Le chauffage central au mazout fit son apparition à cette époque et est donc assez fréquemment représenté.
- 6. Les appartements dans un immeuble (\pm 6% des logements construits avant 1991, voir Fig. 10) :
- Ces immeubles sont construits dans les années 50, 60 et 70 (de type « Etrimo ») avec une ossature en béton et en acier, des panneaux de fibre-ciment et des simples vitrages. Il en résulte une qualité thermique souvent catastrophique, que peine à combler un chauffage électrique fréquent ;
 - Ces bâtiments présentent évidemment plusieurs niveaux et un toit plat en couronnement. Balcons et ascenseurs sont fréquents ;
 - Ils sont gérés en copropriété, ce qui complexifie les éventuelles actions de rénovation.
- 7. La maison 4 façades de type « lotissement » (\pm 13% des logements construits avant 1991, voir fig. 11) :
- De construction plus récente (années 70 et 80), ces maisons sont d'abord apparues en banlieue, puis sur l'ensemble du territoire (urbanisation diffuse) ;
 - Elles sont constituées d'un rez-de-chaussée et d'un étage (souvent partiellement en toiture), avec ou sans cave ;
 - Les murs sont creux (de « deuxième génération, c'est-à-dire peu ou pas isolés et présentant moins de ponts thermiques que ceux de « première génération ») et les matériaux « conventionnels » (briques, béton) ; l'état et la qualité du bâtiment sont donc globalement meilleurs ;
 - Le gaz naturel y est souvent absent ;
 - Malgré sa très forte représentativité, cette typologie n'a pas été retenue car elle est plus récente, le plus souvent isolée thermiquement (même si faiblement) et présente moins de problèmes de salubrité ; les habitants y sont plus aisés et/ou plus conscientisés.
- 8. Les appartements dans un « bâtiment divisé en plusieurs unités de logement » (\pm 6% des logements construits avant 1991, voir Fig. 12) :
- Ce type d'appartement peut se retrouver sous différentes configurations selon le bâtiment divisé ; on peut donc y retrouver plusieurs typologies présentées ci-dessus, bien qu'il s'agisse le plus souvent « maisons urbaines moyennes » (ou « maisons de maître ») ;

- Ces logements sont le plus souvent loués, permettant ainsi au parc locatif privé de combler le déficit en logements sociaux ;
- Le caractère locatif est généralement synonyme d'un nombre accru de problèmes de salubrité et de qualité.



Fig. 5 : Maison vernaculaire



Fig. 6 : Maison urbaine moyenne



Fig. 7 : Maison villageoise



Fig. 8 : Maison ouvrière modeste



Fig. 10 : Immeuble d'appartement des années 60



Fig. 9 : Villa des premières extensions urbaines



Fig. 11 : Maison 4 façades de lotissement



Fig. 12 : Maison de maître divisée en plusieurs appartements

Les résultats de cette étude typologique ont été amplement utilisés pour poser le choix des bâtiments sérésiens à rénover dans le cadre de ce projet. Ainsi, évacuant d'office les typologies périurbaines ou rurales pour se consacrer aux bâtiments purement urbains, nous avons sélectionné (voir tâche 2) :

- La maison urbaine moyenne (telle que Fig. 6) ;
- La maison ouvrière modeste (telle que Fig. 8) ;
- L'appartement dans un « bâtiment divisé en plusieurs unités de logement » (Fig. 12).

Un autre résultat important de cette étude typologique est son intégration dans le logiciel d'aide à la décision pour les stratégies de rénovation (en cours de développement, voir tâche 4). L'étude typologique est, outre une statistique de représentativité sur le territoire wallon, une étude de l'évolution de cette architecture au fil des années et de ses caractéristiques. Grâce à cela, l'étude typologique permet de déterminer un métré approximatif du bâtiment, utile pour la modélisation de ses performances et du budget nécessaire. A cet effet, la question de la typologie (« Quel type de logement souhaitez-vous modéliser ? ») a été implémentée dans les questions posées au préalable à l'utilisateur du logiciel, nous permettant ainsi de tenir compte de leurs caractéristiques moyennes comme valeurs par défaut (métré, composition de parois, types de systèmes...).

La liste des valeurs par défaut considérées pour chacune de ces typologies se trouve dans le document PDF [Valeurs défaut typologies.pdf](#) annexé au rapport [ULg Rapport Logiciel.pdf](#) décrivant ce logiciel (voir tâche 4).

5. Tâche 2 : Choix des projets pilotes

5.1. Définition de la tâche

Partenaire responsable : Eriges

Autre(s) partenaire(s) impliqué(s) : ArcelorMittal, ULg, CSTC

Résultats visés : rapports de visite et émission de documents de synthèse.

Description du travail à effectuer :

- Sur base des rénovations, aussi performantes que possible d'un point de vue environnemental, effectuées jusqu'au premier semestre 2009 par la Ville de Seraing, Eriges fera une synthèse des difficultés rencontrées notamment dans la phase diagnostic et dans la mise en œuvre des matériaux.
- Analyse précise de l'état du bâtiment à rénover (année, techniques, matériaux de construction, structure, niveau d'isolation, systèmes énergétiques existants, localisation, orientation...), de ses éventuelles pathologies (humidité, lit de Meuse, stabilité...) et de son environnement (air ambiant pollué, nuisances sonores liées à l'industrie, au trafic...), de ses performances énergétiques et environnementales avant rénovation, de ses coûts de consommations (factures précédentes).
- Etablissement des objectifs à atteindre en matière de performances environnementales, sur base du « référentiel construction durable ».

5.2. Méthodologie

5.2.1. Choix des typologies

Le choix des bâtiments qu'Erige a achetés pour être rénovés dans le cadre de ce projet Réno2020 s'est basé sur les résultats de l'étude typologique, comme nous l'avons mentionné plus haut (voir tâche 1).

Plusieurs bâtiments potentiels ont été présélectionnés par Eriges puis visités par les partenaires (pour validation de l'adéquation avec l'étude typologique, avis préalable et première estimation des travaux réalisables). En voici quelques exemples :



Fig. 13 : Exemple de maisons sérésiennes visitées et envisagées pour rénovation

D'autres exemples (accompagnés de quelques caractéristiques typologiques) sont donnés dans le document annexé [090623 Eriges PrésentationsChoixProjets Pilote.pdf](#).

Le groupe de travail a finalement déterminé trois types de profil représentatifs de l'habitat wallon, susceptibles de développer autant de chantiers pilotes en matière de rénovation à haute performance environnementale :

- Une petite (100 à 120 m²) maison ouvrière familiale mitoyenne ;
- Un petit (150 à 200 m²) immeuble collectif (souvent une « maison de maître » divisée en plusieurs unités de logement) ;
- Un immeuble (de préférence une maison urbaine moyenne) mixte (logement à l'étage et commerce au rez-de-chaussée) de coin (car les deux bâtiments précédents sont souvent mitoyens).

5.2.2. « Ferrer 13 »

Suite à ce choix des partenaires, Eriges a acquis rapidement le premier bâtiment à rénover, sis au numéro 13 de la rue Francisco Ferrer :



Fig. 14 : Premier bâtiment choisi pour rénovation (Ferrer 13)

Il répond à la description du troisième type de bâtiment décrit ci-dessus, un immeuble mixte (le rez-de-chaussée est occupé par un « espace public numérique », et les trois niveaux supérieurs par trois appartements) de coin (deux façades à rue ; cependant, l'espace situé à droite du bâtiment principal n'est pas complètement exploité, ce qui donne une troisième façade déperditive au bâtiment).

Une description plus complète du bâtiment avant transformation se trouve dans les documents suivants :

- [0902 to 1002 Eriges RapportScientifique.pdf](#) (point 2.2.3 : « Premier bâtiment à rénover », relevé de la situation existante, planning, bilan

- énergétique, définition d'objectifs énergétiques et environnementaux et proposition des architectes retenus après appel à projets d'architecture).
- [0902 to 1002 ULg RapportScientifique.pdf](#) (point 2.3 : « tâche 2 », avec le bilan énergétique du bâtiment initial et quelques modélisations exploratoires ayant permis l'élaboration d'objectifs énergétiques à intégrer dans l'appel à projets d'architecture).
 - [1108 to 1201 ULg RapportScientifique.pdf](#) ; au point 2.6.1.1 sont décrits les résultats des certificats PEB réalisés sur les appartements avant rénovation. Ces certificats sont également joints à ce rapport :
 - [110922 ULg CertificatPEBAvantRéno FerrerRapportPartiel.pdf](#)
 - [110922 ULg CertificatPEBAvantRéno FerrerR+1.pdf](#)
 - [110922 ULg CertificatPEBAvantRéno FerrerR+2.pdf](#)
 - [110922 ULg CertificatPEBAvantRéno FerrerR+3.pdf](#)
 - Le choix du bâtiment ainsi qu'une description minimale du bâtiment se trouve également dans une présentation réalisée par les architectes pour la deuxième réunion du Club d'Acteurs (voir 3.2.2) : [111209 ClubActeurs Eriges&Archis PrésentationProjetFerrer.pdf](#).
 - Enfin, un monitoring complet du bâtiment avant transformation a été réalisé par le CSTC. Une description peut se trouver ici : [CSTC RapportMonitoring Ferrer Eté2010.pdf](#) ou ici : [CSTC SynthèseMonitoring.pdf](#).
 - Diverses présentations ont également été préparées pour divers événements : [091118 Eriges&ULg PrésentationChoixFerrer.pdf](#), [100517 ULg Présentation PEBFerrer ComitéGestion.pdf...](#)

5.2.3. « Molinay 34 »

Le deuxième bâtiment a été acquis un peu plus tard pour faire l'objet du second projet de rénovation. Conformément aux conclusions de l'analyse typologique réalisée en début de projet, il s'agit d'une maison « ouvrière », modeste, représentative de près de 20% des logements en Région wallonne : mitoyenne, datant d'avant 1945, simple mais en assez piteux état, caractérisée par de faibles surfaces et de petits volumes, et généralement une ou plusieurs annexe(s) à la limite de la salubrité. Cette maison est sise au 34, rue Molinay à Seraing.

Le rez-de-chaussée est composé d'un living, d'une salle à manger et d'une cuisine (située dans une annexe en mauvais état, construite après le bâtiment principal, comme on en trouve très régulièrement dans ce genre de bâtiments). Les étages abritent 3 chambres et une salle de bain. L'immeuble a été partiellement rénové à une date inconnue (double vitrage et toit légèrement isolé).



Fig. 15 : Deuxième bâtiment choisi pour rénovation (Molinay 34)

Une description plus complète du bâtiment avant transformation se trouve dans les documents suivants :

- [0902 to 1002 Eriges RapportScientifique.pdf](#) (point 2.2.4 : « Deuxième bâtiment à rénover », le descriptif y est cependant minimal puisque le bâtiment était en cours d'acquisition lors de la rédaction de ce rapport scientifique). Cette étude initiale est complétée par le rapport issu du logiciel PEB : [130619 ULg RapportLogPEB Molinay Initial.pdf](#).
- [1008 to 1107 ULg RapportScientifique.pdf](#) (point 2.6.1 : bilan énergétique de la situation existante et améliorations potentielles).
- Le bâtiment a également fait l'objet d'un certificat PEB avant rénovation : [110922 ULg CertificatPEBAvantRéno Molinay.pdf](#) et d'une étude du CSTC, principalement axée sur un test d'infiltrométrie dont les résultats (avant rénovation) sont visibles ici : [100630 CSTC RapportInfiltrométrieInitiale Molinay.pdf](#) et ici : [CSTC SynthèseMonitoring.pdf](#)
- Le projet a également été présenté par les architectes et Eriges lors de la première réunion du Club d'Acteurs : [111209 ClubActeurs Eriges&Archis PrésentationProjetMolinay.pdf](#).

Ces deux projets ont donc fait l'objet d'une rénovation approfondie qui sera explicitée dans la suite de ce rapport.

Initialement, un troisième bâtiment (répondant aux critères de la maison de maître, plus architecturée) aurait également dû être acheté et rénové (la définition initiale de la tâche stipulait « deux ou trois bâtiments »), mais des contraintes principalement imputables au contexte socio-économique difficile dans lequel le projet a évolué ont imposé à l'équipe de faire l'impasse sur ce troisième projet de rénovation, pour deux raisons principales :

- L'allongement imprévu de la durée du chantier « Ferrer 13 » (qui n'est toujours pas terminé à l'heure d'écrire ces lignes) et les contraintes inhérentes aux marchés

publics, qui allongent considérablement les délais d'attribution, tant pour le marché de service (architecture) que pour le marché de travaux. De plus, un soumissionnaire de « Molinay 34 » ayant introduit un recours, le maître de l'ouvrage a décidé de recommencer la procédure afin de clore toutes critiques.

- D'autre part, au moment du choix du troisième projet, Eriges faisait face à des problèmes budgétaires et administratifs liés au gel des aides et subventions « Grandes Villes ». Afin de mener le projet « Ferrer 13 » à un niveau proche de l'excellence et d'appliquer au chantier « Molinay 34 » des techniques innovantes, Eriges a décidé de concentrer ses moyens financiers sur 2 projets seulement.

5.3. Résultats, conclusions et livrables

Le choix des bâtiments a été réalisé en parfait accord avec les conclusions de la tâche 1.

L'un des critères qui a guidé le choix du maître de l'ouvrage est la situation urbaine des biens, particulièrement en accord avec les objectifs de la Région wallonne de densifier l'habitat en zone urbaine, ayant pour but de diminuer l'emprise foncière du bâti, de réduire le temps de déplacement des occupants, ou encore de favoriser les transports en commun et tous types de mobilité douce.

Un autre critère de sélection important est la mixité de l'immeuble « Ferrer 13 », qui permet de faire se côtoyer service et logements.

Il faut également reconnaître, outre la cohérence des choix par rapport à l'étude typologique, l'importance qu'ont eu ces choix sur le travail qui a été réalisé en aval. Lors de la sélection, un œil vigilant a toujours été porté sur le potentiel de rénovation et d'intervention industrielle. Le type des immeubles retenus a ainsi permis aux différents partenaires scientifiques et industriels de mettre en œuvre et de tester une grande variété de solutions techniques, tant en matière d'isolation thermique que de reconstruction partielle ou du parement.

6. Tâche 3 : Référentiel

6.1. Définition de la tâche

Titre complet : « Développement et adaptation du référentiel CSTC/SECO « Bâtiment Durable » au logement »

Partenaire responsable : CSTC

Autre(s) partenaire(s) impliqué(s) : ULg

Résultats visés :

- 3.1 : Elaborer un cadre de référence pour la rénovation « durable » de bâtiments résidentiels existants, ainsi qu'un cadre d'évaluation connexe lié à différents niveaux de performance.
- 3.1 : Disposer d'un cadre de référence constituant une approche intégrée et globale des différents thèmes liés au développement durable dans lequel les trois dimensions (environnement, société et économie) sont envisagées avec une importance équivalente et en relation avec les possibilités du projet, compte tenu du budget disponible à la rénovation, des contraintes existantes avant intervention et des solutions techniques industrialisées applicables.
- 3.2 : Elaborer une méthode de management de projet, nécessaire dans la démarche de construction durable. Cette méthode sera traduite à l'aide d'une structuration des informations comprenant également leur formatage. Cette base de données dynamique aura pour but de faciliter l'évaluation en continu mais surtout de pouvoir apporter précision et traçabilité aux données nécessaires pour l'appréciation des aspects durables, données qui doivent être partagées par les différents acteurs, depuis l'avant projet jusqu'à l'exploitation, en passant par la phase de construction.

6.1.1. Tâche 3.1

Description précise et détaillée du travail à effectuer :

- Le cadre de référence « rénovation durable de bâtiments résidentiels existants » sera principalement élaboré sur base d'une adaptation préalable du cadre de référence analogue récemment développé par le CSTC en collaboration avec SECO pour les « bâtiments de bureaux neufs durables ». Les étapes suivantes seront réalisées :
 - Etape 1 : définition des thèmes en relation avec le bâtiment résidentiel existant durable.

L'établissement des thèmes de référence sera effectué sur base d'une analyse détaillée des 4 thèmes (site & construction, gestion, confort, bien être & santé, et valeur sociale) du référentiel CSTC/SECO « bâtiment de bureaux neuf durable » et des thèmes spécifiques abordés dans des outils d'évaluation existants (Référentiel CSTC/SECO, HQE en France ou BREEAM au Royaume-

Uni).

Cette analyse couplée à une étude bibliographique basée sur les recherches et expériences réalisées à l'étranger devrait permettre de faire émerger de nouveaux thèmes à prendre en compte dans l'expression de la durabilité du bâtiment résidentiel existant.

Les différents thèmes retenus et les indicateurs d'évaluation associés seront définis dans le respect des exigences suivantes : objectivité, mesurabilité, transparence et applicabilité dans le cadre de la rénovation de bâtiment résidentiel. Aussi l'applicabilité au type de logement wallon sera importante comme critère de sélection.

- Etape 2 : établissement d'une méthode d'évaluation par thème, couplé à la définition de niveau de performance.

Pour les différents thèmes, le travail consistera à définir une méthode d'évaluation spécifique concordante avec les indicateurs définis dans l'étape 1. Le développement de la méthode d'évaluation sera couplé à la définition de niveaux de performance associés. Afin que le cadre de l'évaluation permette de quantifier avec justesse l'aspect durable du bâtiment rénové, les critères suivants seront pris en compte dans la définition des niveaux de performances : l'implantation du logement (ville, campagne...), la nature du logement (appartement, maison unifamiliale, logement groupé), l'état du logement avant intervention (faiblement dégradé, fortement dégradé...)...

Pour la définition des niveaux de performance, des critères minimaux seront définis pour les différents thèmes, et ce après analyse de la réglementation. Concernant la définition du niveau « cible » à atteindre, ce dernier niveau sera défini comme étant celui qui nécessite un effort maximum dans la mise en place de solutions techniques industrialisées disponibles, tout en assurant que ces solutions soient adéquates en terme de coût et de construction durable.

Sur base du niveau de performance « minimal » et « cible », une échelle de niveaux de performance intermédiaire sera définie. Elle illustrera avec justesse le rapport entre l'apport positif « construction durable » et l'effort investi.

- Enfin, pour obtenir une évaluation pertinente de la durabilité globale du logement rénové, il s'agira en bout de course d'une part, de définir le score minimum de chacun des quatre thèmes (« Site & Construction », « Maîtrise », « Confort & Santé », « Valeur sociale ») afin que l'évaluation globale, traduite par la synthèse des quatre thèmes, puisse refléter au mieux le caractère durable du logement, sans déséquilibre dans les niveaux de performances de chaque cible ; ensuite, il s'agira de définir les combinaisons de niveaux de performance qui permettront d'octroyer un niveau de performance

globale du bâtiment rénové en terme de durabilité.

6.1.2. Tâche 3.2

Description précise et détaillée du travail à effectuer :

- En liaison avec les différents acteurs, cette tâche a pour but de définir une méthode permettant de rassembler et d'enregistrer les éléments nécessaires pour évaluer les performances relatives à la construction durable, au fur et à mesure de la progression d'un projet.
- Elle fait suite à la tâche 3.1 en apportant les éléments utiles pour faciliter et améliorer le suivi d'un projet engagé dans une démarche de rénovation de logements, avec le souci d'optimiser l'ensemble des performances socio-environnementales. Il s'agit dès lors en premier lieu de définir une structure d'information qui rassemble les informations nécessaires à l'appréciation des aspects durables du projet. A cette structure, on associera un formatage des données qui devront être mises à jour en fonction des évolutions du projet. Cet ensemble devra permettre une traçabilité maximale afin de guider au mieux la démarche. Aux différentes étapes, la méthode devrait synthétiser le niveau de performance du projet mais surtout permettre aux intervenants ultérieurs de prolonger et même d'améliorer la démarche engagée. Par exemple, à la livraison du bâtiment rénové, ces informations devraient au minimum permettre de vérifier si tout ce qui est nécessaire à une gestion correcte a été rassemblé et est bien disponible, et donner les moyens pour y accéder. La structuration se basera sur le référentiel « construction durable » CSTC-SECO adapté aux cas à étudier (voir 3.1). Le développement de la méthode se fera en suivant des opérations en vraie grandeur afin d'aboutir directement à un système praticable aisément.

6.2. Méthodologie

6.2.1. Valideo

Le projet Réno2020 a pour ambition d'étudier la rénovation de l'habitat dans la Région wallonne. Plusieurs objectifs ont été fixés (et exposés dans ce rapport en de multiples endroits), parmi lesquels celui d'effectuer une analyse critique des résultats obtenus et des monitorings détaillés des bâtiments rénovés.

Le CSTC et SECO sont les deux partenaires responsables de cette tâche 3. Il semblait naturel, en préambule à la création du référentiel dédié à la rénovation durable, de chercher une référence dans le seul référentiel belge alors existant : Valideo, développé par SECO et le CSTC (le processus de certification étant géré par BCCA, voir Fig. 16). Il a été convenu de l'utiliser pour produire d'abord une attestation qui pourra ensuite être proposée à la certification lorsque les bâtiments rénovés seront terminés et puis mis à disposition des occupants.



Fig. 16 : Le référentiel Valideo a été créé par SECO et le CSTC (WTCB).
La procédure de certification est gérée par BCCA.

A l'origine, le projet Réno2020 envisageait la vérification, sur le terrain, des concepts développés au cours de la recherche dans le cas des trois rénovations d'habitat wallon type, choisis par Eriges en fonction des typologies représentatives issues de la tâche 1. Au final, pour les raisons qui ont également mené à la seule évaluation du chantier de la rue Ferrer dans le « référentiel rénovation durable », seul ce premier bâtiment rénové aura été évalué dans Valideo.

L'évaluation par Valideo est effectuée de manière objective pour les 4 thèmes comportant 4 rubriques (donc 16 rubriques au total), à l'aide de tableaux Excel qui rassemblent les critères permettant d'établir une notation objective à chaque niveau. Voici la liste des rubriques :

- 1. Site et construction
 - 1.1. Intégration dans le site et sa valorisation
 - 1.2. Chantier
 - 1.3. Matériaux et produits
 - 1.4. Adaptabilité
- 2. Gestion
 - 2.1. Energie
 - 2.2. Eau
 - 2.3. Entretien et maintenance
 - 2.4. Déchets en exploitation
- 3. Confort
 - 3.1. Confort hygrothermique
 - 3.2. Confort visuel

- 3.3. Confort acoustique
- 3.4. Santé
- 4. Valeur sociale
 - 4.1. Lieu de vie
 - 4.2 Mobilité
 - 4.3 Accessibilité
 - 4.4 Protection contre la malveillance

Les tableaux d'analyse relatifs au bâtiment examiné sont repris en annexe ([121126_SECO RapportAttestationValideo.pdf](#)). Sur base de ces tableaux, un rapport d'analyse souligne les points forts et les points faibles pour chaque rubrique, avec une note moyenne pour la rubrique. Les résultats globaux de l'évaluation sont repris dans les « conclusions / résultats » ci-dessous (6.3) ; l'évaluation complète est disponible dans le rapport d'évaluation mentionné ci-dessus.

6.2.2. Le référentiel « logement durable »

Pour atteindre les buts décrits dans la définition de la tâche 3 ci-dessus (6.1), la tâche 3 a été phasée en deux étapes :

- Une définition des thèmes en relation avec le bâtiment résidentiel existant durable ;
- L'établissement d'une méthode d'évaluation par thème, couplée à la définition de niveaux de performance adaptés à la rénovation.

6.2.2.1. 1^{ère} étape : définition des thèmes

En correspondance avec les trois piliers du développement durable que sont les piliers social, économique et environnemental, 4 rubriques ont été définies, dans lesquelles se répartissent 16 thèmes pertinents pour l'évaluation de la durabilité des bâtiments.

Les rubriques (données ci-dessous), ainsi que les thèmes qui y sont définis, sont compatibles avec les thèmes du référentiel Valideo.

- Site et Construction
 - 1.1. Relation bâtiment / environnement : la présence d'un bâtiment a un impact sur son environnement, tant sur les environs directes (vie privée, ensoleillement, pollution lumineuse, effets du vent et îlots de chaleur), que sur l'utilisation du site proprement dit (utilisation du site à valeur écologique faible, terrain anciennement construit ou à assainir, surface du bâtiment sur le site, maintien / amélioration de la valeur écologique sur le site).
 - 1.2. Chantier : la construction d'un bâtiment est source de nuisances pour les riverains, et de dommages environnementaux. Dans la détermination de ceux-ci, il

convient de se préoccuper de la prévention et de la gestion des déchets, des nuisances sonores, de la pollution du sol, de la mobilité, de l'utilisation d'énergie, de l'émission de poussière...

- 1.3. Matériaux : la limitation de l'impact environnemental résultant de l'utilisation de matériaux est possible à travers le recours à une utilisation rationnelle des matériaux (recyclage), l'utilisation de matériaux faisant l'objet d'informations environnementales validées (label environnemental, Environmental Product Declaration) et l'application d'outils comme l'ACV (analyse de cycle de vie).
 - 1.4. Flexibilité : la durée de vie du bâtiment peut être prolongée en rendant possibles des modifications de fonction ou de volume dans le futur.
- Confort et Santé
- 2.1. Confort hygrothermique : l'utilisateur du logement peut se sentir bien dans son environnement intérieur, en prévoyant par exemple une température intérieure agréable et une qualité pas trop élevée en été (surchauffe) et suffisamment en hiver (surfaces froides).
 - 2.2. Confort acoustique : l'objectif est d'offrir aux habitants un bon confort acoustique dans le logement et de les protéger contre le bruit aérien, les bruits de contact, les bruits environnants, la résonance et le bruit des installations.
 - 2.3. Confort visuel : l'objectif est d'assurer un bon confort visuel pour les habitants, en veillant à la présence suffisante de la lumière du jour, au contact visuel avec l'environnement extérieur, à la présence d'un système de gestion d'entrée de la lumière du jour et à la possibilité de contrôle par l'utilisateur de la lumière artificielle.
 - 2.4. Santé : une approche axée sur le choix des matériaux en contact avec l'environnement intérieur permet d'éviter les émissions de COV (composés organiques volatils), le développement de moisissures et de bactéries ainsi que les nuisances olfactives et d'assurer de cette manière un climat intérieur sain.
- Gestion
- 3.1. Energie : la consommation énergétique durant la phase d'utilisation du bâtiment peut être réduite par l'optimisation des besoins énergétiques en chauffage (demande nette + rendement des systèmes), en eau chaude, en refroidissement et en énergie d'appoint et par l'apport d'énergie provenant de sources renouvelables.

- 3.2. Eau : la consommation d'eau potable peut être réduite par l'introduction de mesures d'économie d'eau et par l'utilisation d'eau de pluie. L'infiltration d'eau de pluie stockée est prise en considération pour alimenter le niveau de la nappe phréatique, amortir les pics du réseau d'égouts et permettre une épuration des eaux la plus efficace possible.
 - 3.3. Entretien (facilité de maintenance) : l'entretien nécessaire du logement peut être optimisé en posant des choix sur le plan de l'environnement et du concept du bâtiment, en veillant à la qualité et à la mise en œuvre des matériaux, et en facilitant l'entretien pour l'utilisateur en lui transmettant suffisamment d'informations lors de la réception du bâtiment.
 - 3.4. Gestion des déchets en phase d'utilisation : la collecte des déchets ménagers ayant fait l'objet d'un tri sélectif, et le compostage peuvent être facilités en prévoyant l'espace et les équipements suffisants au niveau de l'unité de logement et du bâtiment. Ce thème a été fusionné avec le thème « qualité d'utilisation ».
- Valeur sociale
 - 4.1. Accessibilité : l'objectif est de concevoir des logements entièrement accessibles et adaptables. Ceci implique qu'ils soient au minimum visitables, accessibles (pour un groupe d'utilisateurs le plus large possible) et qu'ils puissent être adaptés simplement en fonction des besoins futurs (car ils auront déjà été pris en compte dans la phase de conception).
 - 4.2. Sécurité : le sentiment de sécurité de l'habitant peut être augmenté en appliquant des mesures anti-effraction et retardant l'effraction en fonction des risques (résultant de la situation du logement, du contrôle social, de la configuration du bâtiment...).
 - 4.3. Mobilité : l'utilisation de moyens de transport « plus doux », comme les vélos et les transports en commun, peut être stimulée pour réduire l'impact du trafic motorisé (embouteillages, émissions, utilisation de carburant...).
 - 4.4. Qualité d'utilisation : la facilité d'utilisation du logement par l'utilisateur doit être la plus élevée possible en veillant, dès la phase de conception, à la proximité des équipements (magasins, médecin, centre sportif...), des dispositifs de sécurité, en prévoyant une zone privative à l'extérieur, à travers la fonctionnalité du plan...

6.2.2.2. 2^{ème} étape : établissement d'une méthode d'évaluation par thème

Sur base d'une première approche des méthodes développées dans le référentiel « logement durable » et d'études bibliographiques, des méthodes d'évaluation pour chacun des thèmes précités ont été élaborées. Ces méthodes d'évaluation ont été rédigées et/ou adaptées par des experts du domaine. Elles ont été conçues sur base d'une méthode scientifique qui s'appuie sur l'étude de la législation, des normes et des codes de bonne pratique dont le CSTC a une bonne connaissance. Ces méthodes permettent d'évaluer des logements et fournissent un score qui se situe sur une échelle qui comprend cinq valeurs :

- A : Excellent (à la pointe de la technologie).
- B : Très bon ;
- C : Bon ;
- D : Satisfait aux exigences légales et aux codes de bonne pratique ;
- 0 : Ne satisfait pas aux exigences légales.

De plus amples explications sur le développement du référentiel peuvent être trouvées dans les documents annexés [0902 to 1002 CSTC Draft RapportScientifique.pdf](#), [CSTC Référentiel ModeOpératoire.pdf](#) ou encore [CSTC DocExpl RéférentielLogementDurable.pdf](#).

Le premier bâtiment rénové (« Ferrer 13 ») a fait l'objet d'une analyse du groupe de travail dans le référentiel décrit ci-dessus. Les résultats de cette analyse sont visibles dans la section 6.3 « Résultats, conclusions et livrables » ci-après.

En cours de projet cependant, un bouleversement inattendu a mené à une conclusion rapide de cette tâche 3 : le développement d'un référentiel belge pour la labellisation et la certification des bâtiments durables, développé par les trois Régions.

À partir de 2010, une première phase d'étude de faisabilité a consisté à comparer les trois systèmes qui correspondaient au mieux aux ambitions de la Région de Bruxelles-Capitale, à savoir BATEX (pour « BÂTiments Exemplaires », dont les acquis devaient être gardés), BREEAM (pour « British Research Establishment Environmental Assessment Method », le plus ancien, rôdé et devenu système international d'évaluation de la performance environnementale des bâtiments neufs) et Valideo, (plus récent, très complet et adapté aux pratiques belges).

En 2011, la RBC, avec le concours des Régions flamandes et wallonnes, a initié un travail de mise en forme d'un référentiel commun, comportant critères et méthode d'évaluation.

Ce référentiel belge a pour ambition d'être :

- Opérationnel dans les trois Régions avec un outil d'évaluation facilitant le travail des assesseurs ;

- Utilisable pour les immeubles de bureaux et de logements, y compris les projets modestes, entre autres les maisons individuelles ;
- Le support pour une certification ou une labellisation dans les cas plus modestes, support facilité par la mise à disposition d'un outil d'auto-évaluation ;
- Une synthèse de ce qui était disponible.

Plus d'informations sont disponibles dans le document [120216 SECO Note Synthèse Ref-B.pdf](#) et sur le site Internet www.ref-b.be.

6.3. Résultats, conclusions et livrables

Aucune évaluation n'a été réalisée avec le référentiel belge récemment développé, puisqu'il était toujours en développement (confidentiel) lors de la clôture du projet.

6.3.1. Référentiel logement durable

Le projet de la rue Ferrer a été évalué à l'aune du référentiel « logement durable » et a obtenu les résultats globaux suivants (Fig. 17) :

	Avant projet	Score
1.1 Relation bâtiment - environnement	B	C
1.2 Chantier	B	0
1.3 Matériaux	D	B
1.4 Flexibilité	0	D
2.1 Confort thermique	B	0
2.3 Confort visuel	B	D
2.4 Santé	B	C
3.1 Energie		C
3.2 Eau	B	D
3.3 Facilité de maintenance	A	
4.1 Accessibilité	D	0
4.2 Sécurité contre l'effraction	A	0
4.3 Mobilité douce	A	B
4.4 Qualité d'utilisation	B	A
Score Moyen		D

Fig. 17 : Résultats (par critère) délivrés par le référentiel « logement durable » pour Ferrer 13

Lors de l'analyse d'un projet, une série de scores peuvent être attribués lors de l'avant-projet sur base des prévisions. Une deuxième analyse (colonne « score ») est réalisée en fin de chantier pour attester de la performance « as built ». La différence entre ces deux scores (parfois importante) s'explique à la fois par la diminution des ambitions du projet, l'impossibilité (budgétaire, technique...) de mettre en œuvre telle ou telle solution, ou encore l'indisponibilité de certaines informations ou fiches

techniques lors de l'analyse finale. Dans le cas de « Ferrer 13 », pour les raisons que nous avons expliquées plus haut, il n'y a pas encore eu d'analyse en fin de chantier (qui n'est de toute manière pas terminé). Cette évaluation a été réalisée en début de chantier, sur base des objectifs, des prévisions et des documents disponibles. Les résultats obtenus sont les suivants (Fig. 18) :

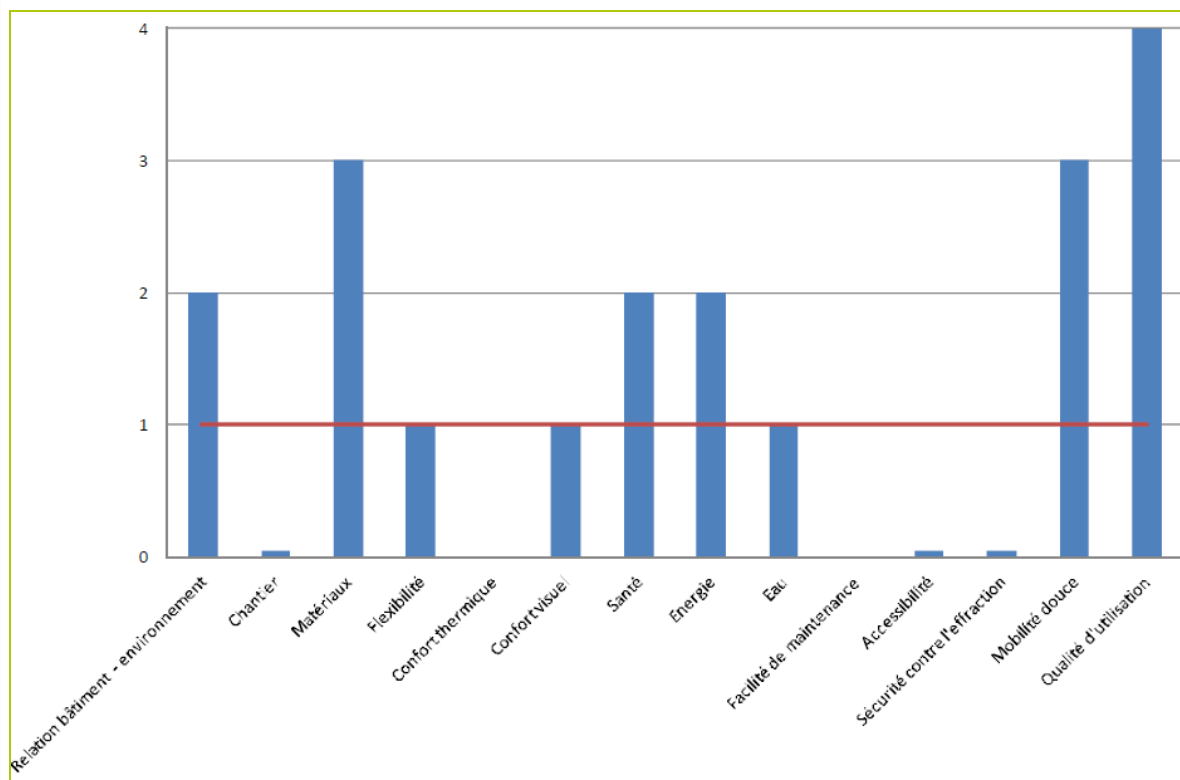


Fig. 18 : Graphique des résultats (par critère) délivrés par le référentiel « logement durable » pour « Ferrer 13 »

Les résultats complets sont disponibles, critère par critère, dans le dossier [CSTC Référentiel EvaluationRueFerrer PDF](#) annexé au présent rapport.

6.3.2. Valideo

À l'inverse, l'évaluation avec Valideo a été réalisée en fin de projet. Le projet n'était pas encore terminé, suite à une défaillance de l'entreprise générale, mais les informations disponibles et les certitudes sur les caractéristiques et performances des solutions placées permettent une analyse plus fouillée du projet. Les résultats complets de l'évaluation Valideo sont visibles dans le rapport [121126 SECO RapportAttestationValideo.pdf](#). À juste titre, SECO indique dans ce rapport que « raisonnablement, il n'est pas possible économiquement de réaliser certaines opérations (par exemple, rendre le bâtiment accessible aux PMR, ce qui nécessiterait l'ajout d'un ascenseur) : cela ne veut pas dire que globalement de gros efforts n'ont pas été réalisés, mais l'attestation (vérité et transparence) doit dire clairement [et honnêtement] quel est le niveau atteint [...] »

Nous allons donner ci-dessous un aperçu général des résultats (Fig. 19) :

- Points remarquables :
 - La **protection contre la malveillance (4.4)** : le site, la fonction et

l'architecture du projet permettent une protection contre la malveillance quasi parfaite, sans investissement complémentaire particulier, ce qui est idéal.

- **L'implantation** est un plus, par la revalorisation d'un quartier en centre ville (**1.1 intégration dans le site et valorisation**) et pour les usagers du bâtiment (**4.1 lieu de vie**).
- Points forts à bon :
 - **Le confort hygrothermique hivernal (3.1)**. Grâce à l'amélioration de l'enveloppe et l'intégration d'une HVAC de qualité, entre autre une ventilation double flux. Un point négatif concerne cependant le confort en période estivale.
 - **L'énergie (2.1)** : la notation est basée sur la performance absolue du bâtiment (neuf ou rénové : index de consommation), ce qui explique une note en apparence très moyenne. Dans notre cas cependant (en rénovation), les contraintes n'ont pas permis d'isoler par l'extérieur et une isolation intérieure convenable de l'enveloppe a été réalisée (ce à quoi s'ajoutent des baies vitrées très performantes ou encore une ventilation double flux). Bref, dans ces conditions, ce résultat est au-delà de la moyenne et constitue un exemple.
 - L'évolution future possible du bâtiment atteint un bon résultat (**1.4 adaptabilité**) dans le contexte particulier du projet.
- Points à haut potentiel :
 - **La gestion des déchets en exploitation (2.4)** principalement parce qu'il manque encore l'information à destination de l'occupant (manuel, affichage).
 - **La mobilité (4.2)** : la situation est idéale mais il manque encore l'affichage d'un plan de mobilité et la disponibilité de transports alternatifs à proximité du bâtiment, et de moyens pour favoriser la mobilité douce.
 - **Le chantier (1.2)**, si des justificatifs permettent de prouver une gestion correcte adaptée à l'échelle du chantier.
- Points à vérifier :
 - **Les matériaux (1.3)**, pour lesquels il faudrait obtenir des informations plus complètes (actuellement, ce point reste difficile à évaluer : l'élaboration des FDES – fiches de déclarations environnementales et sanitaires – des produits sont programmées par les fabricants de matériaux mais ne sont pas encore vraiment disponibles).
 - **Le confort visuel (3.2)**, pour lequel une évaluation des facteurs de lumière de jour est nécessaire.
 - **Le confort acoustique (3.3)**, qui nécessite des mesures sur le terrain, une fois la construction terminée.

- **La santé (3.4)** : son évaluation nécessite de disposer de plus d'information sur le système de ventilation.
- **L'entretien et la maintenance (2.3)** : ce point doit être repris, notamment en se basant sur un manuel qui doit encore être élaboré (rarement pris en compte dans une rénovation classique, n'est pas évalué dans les autres référentiels).
- Points qui ne peuvent être raisonnablement améliorés :
 - **L'accessibilité (4.3)**, impossible pour les PMR. Au-delà de l'élargissement des accès, ce point aurait aussi imposé la présence d'un ascenseur.
 - **La gestion de l'eau (2.2)** : le stockage et l'utilisation des eaux pluviales devraient d'ailleurs plutôt être examiné à l'échelle du quartier.

En conclusion, dans l'ensemble, le résultat obtenu est tout à fait convenable, et reste à compléter lorsque le bâtiment sera terminé. Un manuel à l'usage de l'occupant (prévu) et des affichages adéquats amélioreront encore sensiblement plusieurs points.

POINTS FORTS DU PROJET	
Intégration dans le site	B
Chantier	E
Matériaux et produits	/
Adaptabilité	C
Energie	D
Eau	E
Entretien maintenance	/
Déchets en exploitation	D
Hygrothermique	B
Visuel	D
Acoustique	/
Santé	D
Lieu de vie	B
Mobilité	D
Accessibilité	E
Protection contre la malveillance	A

Fig. 19 : Résultats (par critère) délivrés par Valideo pour « Ferrer 13 »

6.3.3. Comparaison

Une comparaison complète entre les résultats délivrés par le référentiel d'un côté et Valideo de l'autre, est difficile parce que ces deux analyses ont été réalisées à des stades différents du projet et pour lesquels les ambitions, le contexte économique et la disponibilité des informations techniques étaient différentes. De plus, il est utile de rappeler qu'il faudrait pour cela entrer dans le détail des calculs, des critères (non) pris en considération et de la pondération. Prenons un exemple simple : les échelles de cotation :

- Référentiel logement durable :
 - A : Excellent (à la pointe de la technologie) ;
 - B : Très bon ;
 - C : Bon ;
 - D : Satisfait aux exigences légales et aux codes de bonne pratique ;
 - 0 : Ne satisfait pas aux exigences légales ;
- Valideo :
 - A : résultat exceptionnel ;
 - B : Très bon résultat ;
 - C : Bon résultat ;
 - D : Satisfait aux exigences de base ;
 - E : Inférieur aux exigences de base.

Il serait facile, pour comparer les résultats, de considérer une équivalence des niveaux d'échelles de cotation ($A_{\text{référentiel}} = A_{\text{Valideo}}$, etc.). Cependant, sans connaître le détail des calculs effectués de part et d'autre, cette vue est déjà biaisée, puisqu'une cotation A dans Valideo pourrait être B dans le référentiel...

Voici toutefois ce que nous pouvons dire sur base des résultats globaux :

- La « **relation bâtiment – environnement** » proposée par le référentiel (grade B pour l'avant-projet « Ferrer 13 », C pour le score final) se rapproche du critère « **intégration dans le site** » de Valideo (le bâtiment « Ferrer 13 » y a obtenu un grade B).
- Le **chantier**, tel qu'évalué dans l'avant-projet de « Ferrer 13 », aurait pu être noté B dans le référentiel, mais obtient finalement la pire note, « 0 », ce qui est comparable à la note « E » délivrée par Valideo. Ce critère, qui ne pourrait être objectivement évalué qu'en fin de chantier, apparaît cependant comme un « haut potentiel d'amélioration ».
- Seul le référentiel a noté le critère « **Matériaux** », lui donnant un B pour le score final (alors qu'au stade de l'avant-projet, le résultat prévu était D). Valideo préfère s'abstenir de cotation par manque d'informations disponibles (FDES) en la matière.
- On constate un grade d'écart en ce qui concerne la « **flexibilité** » du projet

selon le référentiel (grade final : D) et l'« **adaptabilité** » du projet selon Valideo (grade C). Le rapport de Valideo explique son meilleur résultat par l'impossibilité de mettre plus de solutions en œuvre dans la rénovation d'un bâtiment urbain.

- **L'énergie** s'est vue attribuer un grade D par Valideo, qui est cependant prêt à y voir « un résultat au-delà de la moyenne et un exemple », compte tenu du contexte de la rénovation (impossibilité d'impact extérieur mais isolation quasi complète). Le référentiel donne d'ailleurs une cote légèrement meilleure (C). Il faut ajouter que l'évaluation est basée sur la performance absolue, et non sur la réduction des besoins en énergie.
- La **gestion de l'eau** n'est pas le point fort du chantier, évaluée aux niveaux D par le référentiel et E par Valideo.
- **L'entretien et la maintenance** n'ont été évalués par aucun des deux référentiels étudiés ici. Ce point est considéré « à vérifier » par Valideo, notamment quand le manuel prévu (rare en rénovation) sera élaboré en fin de chantier pour faciliter la maintenance.
- L'évaluation de la **gestion des déchets en exploitation** n'est pas réalisée par le référentiel, mais obtient un grade D chez Valideo parce qu'« il manque actuellement l'information à destination de l'occupant ». Ce point possède donc un haut potentiel d'amélioration.
- Le **confort hygrothermique** est un des critères dont la différence de résultat est difficile à expliquer, principalement parce que peu d'arguments nous ont été donnés à l'issue de l'évaluation par le référentiel (grade 0, alors qu'à l'avant-projet, le score était un grade B). Valideo y voit par contre un point « fort à bon » (grade B), avec une mise en garde en ce qui concerne le confort en période estivale (la surchauffe).
- Le **confort visuel** obtient un score semblable pour les deux tests : un grade D. Il demeure cependant un « point à vérifier » pour Valideo parce qu'« une évaluation des facteurs de lumière de jour est nécessaire ».
- « Le **confort acoustique** nécessite des mesures sur le terrain, une fois la construction terminée », ce qui explique que ni le référentiel, ni Valideo, n'ont remis d'évaluation pour ce critère.
- Le référentiel voit un potentiel grade B pour le critère de la **santé** au stade de l'avant-projet, grade qui se transforme en C pour le score final. Valideo quant à lui estime qu'il manque d'information sur le système de ventilation et que ce point est « à vérifier », lui attribuant toutefois un grade D.
- La **qualité d'utilisation**, selon le référentiel, est digne d'un grade A, alors que SECO estime qu'en terme de « lieu de vie », un grade B seulement est mérité, l'ayant toutefois qualifié de « point remarquable ».
- La **mobilité** est également source de différences, ayant été gradée B dans le référentiel (« mobilité douce ») et D dans Valideo. Ce grade est toutefois tempéré par l'avis de l'expert, qui estime que « la situation est idéale mais il manque encore l'affichage d'un plan de mobilité et la disponibilité de

transports alternatifs à proximité du bâtiment, de moyens pour favoriser la mobilité douce », faisant de ce critère un « point à haut potentiel ».

- Les deux référentiels s'entendent toutefois pour qualifier l'**accessibilité** d' « inférieure aux exigences de base » (grades E dans Valideo et 0 dans le référentiel). Dans le contexte qui nous préoccupe ici, cependant, Valideo pointe justement que ce point « ne saurait raisonnablement être amélioré ».
- Le dernier point présentant une différence notable mais non expliquée à ce jour est la « **protection contre la malveillance** », jugée à un niveau médiocre (grade 0) par le référentiel et excellent (grade A) par Valideo qui y voit un point remarquable du projet.

En conclusion, nous pouvons nous risquer à dire que les deux évaluations (qui ne sont pas – encore – des certifications à proprement parler) présentent deux images globales du bâtiment qui se ressemblent. Il y a cependant peu de critères (3, sans compter ceux pour lesquels une évaluation n'a pas été remise par l'un et/ou l'autre référentiel) se présentant au même niveau des deux échelles de cotation. Dans les deux cas, les référentiels s'accordent sur la médiocrité du résultat de l'évaluation du chantier, qui pourrait être améliorée. Le confort visuel est difficile à évaluer sans l'évaluation des facteurs de jour. Enfin, les référentiels expliquent la mauvaise note de l'accessibilité par une impossibilité à améliorer le résultat, due au contexte de rénovation.

Il y a 4 critères pour lesquels la comparaison n'est pas possible, puisqu'une évaluation n'a pas été rendue par l'un ou l'autre partenaire : les matériaux, la maintenance, la gestion des déchets en exploitation et le confort acoustique. Ces 4 critères requérant des informations indisponibles ou difficiles à obtenir à ce stade des travaux, nous ne nous en étonnerons pas.

6 critères se situent à un niveau de différence entre les deux échelles. Les différences d'évaluation permettraient peut-être de l'expliquer, mais pour tirer une réelle conclusion sur ce point, il faudrait se lancer dans une analyse bien plus détaillée des paramètres qui se trouvent derrière chacun de ces grades (hypothèses, éléments pris et non pris en compte, pondération des sous-critères entre eux, méthode d'évaluation et de calcul, protocoles de récoltes de données...). Ce sujet pouvant faire l'objet d'une thèse à lui seul, nous ne nous lancerons pas dans ce travail ici.

7. Tâche 4 : Catalogue

7.1. Définition de la tâche

Titre complet : « Catalogue, définition de l'offre 'qualité environnementale' »

Partenaire responsable : ArcelorMittal

Autre(s) partenaire(s) impliqué(s) : Knauf, AGC, Aldes, ULg

Résultats visés par la tâche en termes de livrables :

- Un « inventaire » des systèmes / composants / produits des différents partenaires industriels, envisageables pour la rénovation de logement.
- Un catalogue d'adaptation des systèmes / composants / produits
- Un rapport de vérification et d'évaluation des concepts
- Une liste de nouveaux projets R&D

7.1.1. Activités ArcelorMittal

Description du travail à effectuer : ArcelorMittal aura pour rôle principal de proposer des solutions et de dire comment il envisage de répondre à la demande imaginée et évaluée avec les partenaires du projet. Il s'agit de proposer des alternatives innovantes en introduisant, dans la rénovation, des solutions techniques inspirées de celles généralement utilisées dans le neuf ou bien en optimisant ou en adaptant des technologies existantes mais insuffisamment valorisées.

- Objectifs techniques : l'objectif est de sélectionner, d'adapter et de valider des composants de construction industrialisés constituant les éléments de base d'une rénovation durable.
- Définition et critères de sélection des composants : un cahier des charges des performances définira les prestations auxquelles devront satisfaire les composants pour répondre de façon compétitive aux exigences de ce projet.

Les composants sélectionnés seront issus de solutions multi-matériaux, avec comme objectif d'optimiser les performances (poids, coût, ...) par rapport aux solutions actuelles. Par composant, il faut entendre les éléments d'enveloppe (éléments plans opaques et transparents et les modénatures) et les éléments de structure (planchers, charpente de toiture, structure des murs).

7.1.2. Activités Knauf

Description du travail à effectuer :

- Inventaire des systèmes / composants / produits adaptés aux typologies, et de leurs performances acoustiques, thermiques, mécaniques, résistance au feu ou à l'eau.
- Identification du potentiel d'adaptation de chaque système / composant /

produit en fonction des objectifs recherchés (rénovation à haute performance) et des contraintes liées au projet (typologie des bâtiments). Adaptation des solutions disponibles et élaboration de systèmes globaux intégrés aux impératifs.

- Evaluation des propriétés de ces matériaux en fonction de leur impact sur l'environnement (coût énergie grise / système de production / possibilité de recyclage). Recherche de techniques de mise en œuvre optimales afin d'associer coût, performances et efficacité (règles de l'art).
- Identification des composants indisponibles mais nécessaires aux objectifs et définition d'un programme Recherche et Développement.

7.1.3. Activités AGC

Description du travail à effectuer : AGC prendra part au projet par la participation aux réunions techniques et l'alimentation en informations techniques. Si une attente majeure en termes de produits verriers se dégageait, AGC évaluera comment y répondre.

7.1.4. Activités Aldes

Description du travail à effectuer : l'objectif est de proposer un ensemble de solutions de ventilation performante, adaptées à la rénovation et éventuellement des solutions, complètement intégrées, de double flux sur l'air, visant à :

- Utiliser les double flux statiques à récupération sur l'air extrait ;
- Utiliser les Adapter des nouveaux systèmes de ventilation double-flux à récupération (y compris thermodynamique) en cours de développement chez Aldes, au marché de la ventilation de bâtiments basse consommation en rénovation sous nos climats ;
- Pour cela, le système viendra récupérer de la VMC le maximum d'énergie disponible ;
- La déclinaison ultime de la gamme de produit sera capable de produire du chauffage et de l'eau chaude sanitaire de manière thermodynamique.

7.1.5. Activités communes

Description du travail à effectuer : cette tâche apportera une vision complète et globale des solutions, de leurs avantages et inconvénients. Il s'agit d'une étape clé du projet.

- Une étude de marché sur « les composants et systèmes complémentaires à l'offre des 4 industriels » sera réalisée. Cette étude permettra d'identifier les acteurs qui ont une offre de qualité environnementale, notamment dans les domaines des menuiseries extérieures, du chauffage, de l'utilisation rationnelle de l'eau, du recyclage des déchets de construction. Elle sera sous-traitée à la société HighTrack qui a une solide expérience en étude de marché dans les secteurs des matériaux de construction et de l'environnement.

- L'analyse et la sélection des différentes solutions seront effectuées sur base d'un certain nombre de contraintes essentielles, comme par exemple :
 - La performance énergétique envisagée.
 - Les contraintes de réalisation : par étapes, aspect modulaire, adaptabilité aux différents types de maisons anciennes, souvent avec un fort caractère régional...
 - Les contraintes de fonctionnement et de mises en œuvre avec les industriels et l'architecte.
 - La conformité aux réglementations en vigueur (feu, acoustique...).
 - L'acceptabilité par les communes et les propriétaires.
 - Le financement...
- Les solutions retenues seront défendues et détaillées comme suit :
 - Définition des gammes (comment se présente l'offre produit)
 - Performance des interfaces
 - Filières de production, de distribution et de mise en œuvre
 - Analyse du cycle de vie
 - Vérification des performances sur composants
- Evaluation des performances énergétiques : évaluation des gains en termes de confort et d'économie d'énergie.

Les outils existants seront adaptés afin de pouvoir répondre aux différentes configurations technologiques envisagées. Des études de sensibilité seront conduites pour évaluer les performances et pour optimiser les solutions proposées. Elles mettront en avant les performances attendues en terme d'efficacité énergétique mais aussi du point de vue du confort, de la qualité et de la gestion de l'air.

De plus, considérant l'aspect global du protocole de rénovation proposé, d'autres outils de calcul, disponibles dans le consortium (TRNSYS, CAPSOL, COMFIE-PLIADÉ, GLASTA, WUFI...) seront aussi utilisés par l'ULg pour évaluer les performances des systèmes et de la maison avant et après rénovation.

- Evaluation de la performance environnementale globale des solutions proposées selon les 16 rubriques du référentiel CSTC / SECO adapté à la rénovation de logements (voir tâche 3 – Développement d'une méthode de montage et suivi d'opérations de rénovation). Ce référentiel servira d'indicateur de la performance environnementale des solutions proposées.

7.2. Méthodologie

Plusieurs tâches du projet ont subi une évolution nécessaire pour s'adapter au travail réalisé, et la tâche 4 ne fait nulle exception. Au final, elle se divise en deux phases que nous expliciterons plus loin : la première phase a consisté, comme le prévoyait le projet, en

l'élaboration d'un catalogue de solutions de la part des industriels partenaires sous l'impulsion d'ArcelorMittal ; la seconde phase a vu naître, à la suggestion de l'Université de Liège, un projet de logiciel d'aide à la décision en rénovation, intégrant notamment les résultats de la tâche 1 (typologies et incitants), de la tâche 4 (catalogue) et de la tâche 5 (évaluation financière).

7.2.1. Catalogue

Les quatre industriels partenaires se sont employés à réaliser un catalogue de leurs propres solutions de rénovation, puis à les rassembler dans un document de synthèse. La contribution des différents partenaires dans l'exposé de leurs produits est visible dans plusieurs documents annexés :

- [Aldes Présentation DoubleFlux.pdf](#)
- [AGC Présentation Produits.pdf](#)
- [111209 ClubActeurs AMLR&Knauf SolutionsIndustrielles.pdf](#)
- [120919 AMLR Présentation WorkshopRetrofittingParis.pdf](#)
- [110527 AMLR PrésentationParticipationTâches4&7.pdf](#)
- [120203 AMLR PrésentationMarchéExistant.pdf](#)

Aldes, dans son rapport ([Aldes Rapport Ventilation Ferrer.pdf](#)) sur la ventilation du premier bâtiment (voir tâche 7 également), commence par un état de l'art sur les pratiques en ventilation, initiant ainsi une réflexion de contenu du catalogue sur les systèmes de ventilation disponibles :

- Ventilation simple flux.
- Ventilation hygroréglable, ajustant les débits en fonction du taux d'humidité.
- Ventilation double flux, avec un échangeur qui récupère les calories de l'air extrait et réchauffe ainsi l'air insufflé dans les pièces principales.
- « Températion » de l'habitat individuel, avec une régulation permanente des débits (insufflation et extraction) et un système thermodynamique réversible qui permet de préchauffer l'air en saison de chauffe et de le rafraîchir en saison chaude.
- Systèmes de récupération de chaleur sur l'air vicié en ventilation simple flux (via une pompe à chaleur) pour chauffer l'eau sanitaire contenue dans le ballon de stockage (système « T-Flow »).

ArcelorMittal donne de plus amples explications sur la sélection de ses produits. Par exemple, le document [1008 to 1107 AMLR RapportScientifique.pdf](#) fait état des solutions suivantes :

« Une réponse intéressante dans ce projet est le développement de la solution 'Styletech façade' développée **en collaboration avec Knauf**.

À partir des différentes solutions de rénovation identifiées dans le groupe ArcelorMittal et hors du groupe, trois pistes ont été sélectionnées afin d'offrir une solution correspondant aux critères suivants :

- Le système Styltech déjà proposé dans le groupe ArcelorMittal pour des solutions de maisons complètes (Fig. 20).
- Une solution développée spécifiquement pour la rénovation.
- Une solution basée sur le système Styltech, développée avec la collaboration de Knauf en ce qui concerne la partie isolante et tenant compte des limites des deux premières solutions. »



Fig. 20 : exemple d'une maison expérimentale construite avec le principe Styltech

Ce document s'accompagne d'annexes techniques sur les évaluations réalisées en interne par ArcelorMittal sur le système Styltech :

- [AMLR NoteInterne AcoustiqueFaçadesStyltech&Traditionnelles.pdf](#)
- [AMLR NoteInterne DilatationStyltech.pdf](#)
- [AMLR NoteInterne PerméabilitéAL'AirBâtimentsStyltech.pdf](#)
- [AMLR NoteInterne PerméabilitéAL'AirParoisStyltech.pdf](#)

En complément à ce rapport scientifique, une étude de marché sur l'utilisation de l'acier en rénovation dans le monde a été réalisée, portant principalement sur la structure et l'enveloppe du bâtiment, permettant d'identifier de nouvelles opportunités de développement Recherche et Développement. La société HighTrack, qui a une solide expérience en étude de marché dans les secteurs des matériaux de construction et de l'environnement, a délivré au final le rapport [AMLR Hightrack PrefabricatedSystemsUsedInBuildingRenovation.pdf](#) joint au présent rapport.

Un autre rapport scientifique d'ArcelorMittal ([1108 to 1201 AMLR Rapport Scientifique.pdf](#)) et un document rédigé sur les « applications de l'acier en rénovation de bâtiments résidentiels : opportunités de développement de nouveaux systèmes industrialisés » ([AMLR RapportOpportunitésRénovation Résidentielle.pdf](#)) font une distinction entre les solutions acier pour l'enveloppe (façades / toitures inclinées) et celles pour la structure (planchers / toitures / extensions horizontales).

L'acier est-il un matériau durable ? ArcelorMittal s'est également penché sur cette question, menant ainsi une évaluation de la durabilité de l'acier dont le constat complet est disponible dans le document [AMLR NoteInterne L'AcierEstIlUn MatériauDurable.pdf](#). Dans cette étude, le groupe sidérurgique explique qu'un matériau durable se doit, a priori :

- De résister aux intempéries (conditions météorologiques) ;
- De ne pas se dégrader dans le temps, sur le plan qualitatif ;
- De répondre à un bilan environnemental positif en respectant l'idée de développement durable à toutes les étapes de son cycle de vie :
 - Extraction (de la matière première) ;
 - Production (fabrication) ;
 - Mise en œuvre (sur chantier) ;
 - Usage (du bâtiment) ;
 - Démontage, réutilisation ou recyclage au terme de son cycle de vie.

Nous renvoyons donc à ce document pour les réponses à cette question complexe.

Par la suite, les contributions des différents partenaires industriels ont été rassemblées dans un document de synthèse ([AMLR Tâche4 CatalogueSolutions Industrielles.pdf](#)) rédigé par ArcelorMittal. Ce document étant le livrable de la tâche 4, il sera décrit dans la section 7.3 (« Résultats, conclusions et livrables »).

7.2.2. Logiciel

Lors d'une réunion entre le coordinateur, ArcelorMittal (partenaire responsable de la tâche 4) et l'Université de Liège (initiateur de la réflexion), la possibilité de mettre sur pied un outil d'aide à la décision à destination des concepteurs a été envisagée.

Le principe est le suivant : lorsqu'un architecte mène un projet de rénovation, il se trouve confronté à des contraintes budgétaires, urbanistiques, performantielles (réglementaires au minimum), ainsi qu'aux besoins et aux envies du client. Dès lors, comment arranger ces contraintes au mieux pour atteindre un objectif réalisable, dès le stade de l'avant-projet ? La rénovation est sujette aux impondérables plus encore que la construction neuve ; il est difficile de concilier envies et budget et, parfois, un choix doit être fait, une priorité doit être établie dans le projet. L'outil imaginé jusqu'à présent, qui a pour but de présenter au concepteur des scénarii de rénovation sélectionnés au travers d'une série de filtres (typologie, budget, faisabilité, desiderata...) et une analyse multicritère (Électre ou Prométhée), devrait aider à visualiser ces priorités, à définir des scénarii de rénovation possibles, à structurer les envies, réalisables et irréalisables.

Il a donc été présenté au Comité de Gestion complet (voir [101001 ULg Présentation PropositionLogiciel ComitéGestion.pdf](#)) deux outils développés par EnergySuD utiles dans cette perspective :

- un « outil typologique » imaginé par Marie Descamps dans son DEA en 2008, qui permet de dresser un « profil ADN » d'un bâtiment existant par le biais d'une série de questions simples sur la typologie du bâtiment analysé.
- Le logiciel REFLEX (pour 'Rénovation Efficace d'un Logement EXistant'), développé précédemment par le laboratoire, dont le schéma de fonctionnement est repris à la Fig. 21.

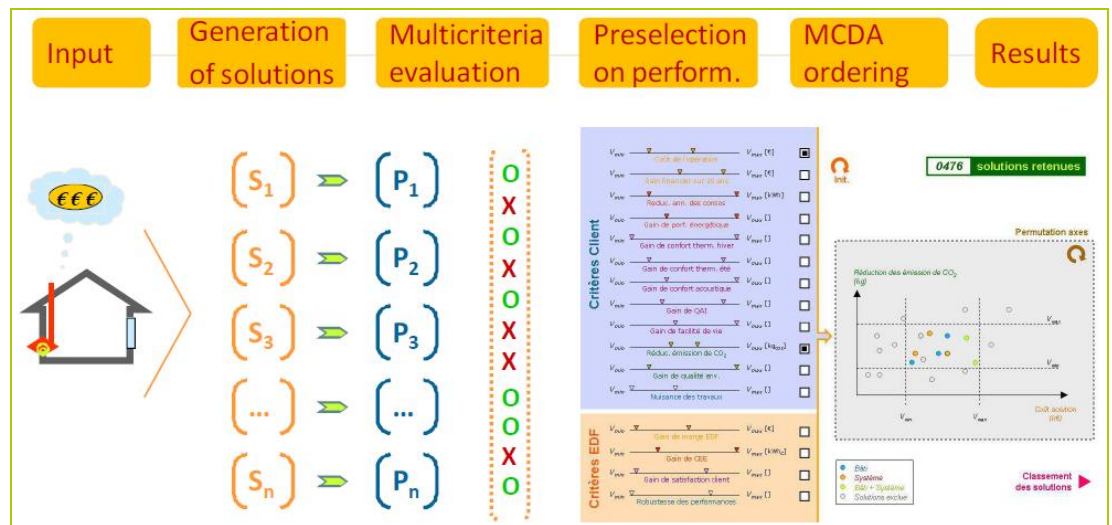


Fig. 21 : Principe de fonctionnement du logiciel d'aide à la décision Reflex.

Il a été décidé de reprendre la base du logiciel « Reflex » et de l'adapter au contexte du projet Réno2020, requérant pour cela :

- D'intégrer les résultats de l'étude des typologies (tâche 1).
- D'intégrer le catalogue des solutions (tâche 4) dans les interventions proposées.
- De mettre à jour les arbres de décision (description de l'existant et sélection des interventions réalisables).
- De remplacer le module de calcul par la méthode de calcul utilisée pour l'établissement des certificats PEB en Région wallonne.
- D'adapter la méthode d'évaluation financière des scénarii d'intervention (tâche 5).
- De modifier les critères d'analyse des interventions (analyse multicritère).
- De gérer le foisonnement des solutions proposées par le logiciel initial.
- D'ajouter quelques améliorations telles que la possibilité d'agrandir le volume protégé, l'intégration d'un phasage des interventions, la suppression des solutions de climatisation...
- De changer l'interface graphique...

L'évolution de cette sous-tâche est visible au travers des rapports scientifiques de l'ULg ([1002 to 1008 ULg RapportScientifique.pdf](#), [1008 to 1107 ULg Rapport Scientifique.pdf](#), [1108 to 1201 ULg RapportScientifique.pdf](#)), et des diverses présentations qui ont été faites, au Comité de gestion et au « Midi de Cap2020 » organisé autour du projet Réno2020 :

- [101001 ULg Présentation PropositionLogiciel ComitéGestion.pdf](#)
- [101222 ULg Présentation Logiciel ComitéGestion.pdf](#)
- [110120 ULg PrésentationLogiciel MidiDeCap2020.pdf](#)
- [110527 ULg Présentation ComitéGestion.pdf](#)

- [120628 ULg Présentation ComitéGestion.pdf](#)
- [121204 ULg Présentation ComitéGestion.pdf](#)

7.3. Résultats, conclusions et livrables

7.3.1. Catalogue

Le catalogue ([AMLR Tâche4 CatalogueSolutionsIndustrielles.pdf](#)) recense et évalue les solutions existantes d'ArcelorMittal, de Knauf, d'AGC Glass Europe et d'Aldes, qui permettent d'améliorer l'efficacité énergétique des logements rénovés. Les principaux avantages/inconvénients de chaque solution y sont présentés. En voici la structure :

- 1. Introduction
- 2. Les murs
 - 2.1. Isolation thermique par l'extérieur (ITE)
 - 2.1.1. Introduction
 - 2.1.2. Panneaux d'isolation recouverts d'un enduit ou de briquettes
 - 2.1.3. Panneaux d'isolation protégés par un bardage
 - 2.1.4. Panneaux sandwichs préfabriqués
 - 2.2. Isolation thermique par l'intérieur (ITI)
 - 2.2.1. Introduction
 - 2.2.2. Panneaux d'isolation entre lattes (ou cloison de doublage)
 - 2.2.3. Panneaux collés sur la maçonnerie
 - 2.3. Isolation thermique par insufflation des murs creux
 - 2.4. Mur à remplacer
 - 2.5. Les extensions
- 3. Les baies
 - 3.1. Double vitrages à haut rendement
 - 3.2. Triple vitrages
 - 3.3. Vitrages à contrôle solaire
 - 3.4. Thermobel Green
- 4. La toiture
 - 4.1. Toiture inclinée
 - 4.1.1. Isolation thermique de combles habités
 - 4.1.2. Isolation thermique de combles non habitables

- 4.1.3. Couverture à remplacer
- 4.1.4. Charpente à remplacer
- 4.2. Toiture plate
 - 4.2.1. Isolation thermique
 - 4.2.2. Couverture à remplacer
- 4.3. Rehausse
- 5. Les planchers
 - 5.1. Isolation thermique posée sur le plancher
 - 5.2. Isolation thermique en sous face
 - 5.3. Plancher à remplacer
 - 5.3.1. Plancher sec
 - 5.3.2. Plancher collaborant
 - 5.3.3. Plancher préfabriqué
- 6. La ventilation
 - 6.1. Ventilation simple flux
 - 6.2. Ventilation hygroréglable
 - 6.3. Ventilation double flux
 - 6.4. La température habitat

Ce catalogue n'est pas le seul résultat du projet Réno2020, puisque certaines de ces solutions ont été mises en application dans les chantiers « Ferrer 13 » et « Molinay 34 ». La plupart d'entre elles sont décrites dans la tâche 7 (« chantier développement durable »), mais nous donnons en exemple ci-dessous la nouvelle toiture de « Ferrer 13 » et la nouvelle façade de « Molinay 34 ».

7.3.1.1. Exemple 1 : toiture de « Ferrer 13 »

La toiture repose sur 2 poutres cintrées IPE 240 en acier et une poutre de même épaisseur (240 mm) en béton, placée le long du mur mitoyen de la rue Ferrer (aucun de ces trois éléments de structure n'est encodé dans la PEB). Entre ces poutres sont placés des bacs en acier, profonds de 9 cm, remplis d'isolant, sur lesquels la couverture en tôle d'acier est posée (séparée cependant des bacs par des rupteurs thermiques en polyéthylène extrudé). Sous les bacs, un plenum est disponible pour renforcer l'isolation et placer les techniques éventuelles ; une double plaque de plâtre referme le complexe de toiture.

La première composition proposée ne comportait que 9 cm d'isolant placés à l'intérieur des bacs. Les remarques que l'ULg a formulées concernant la trop faible épaisseur d'isolant et le non-respect de la réglementation (la valeur U était proche de 0,7 W/m²K alors que la réglementation imposait un U_{max} de 0,3 W/m²K) ont été prises en compte, et l'on a rempli une partie du

plenum de la toiture de 10 cm d'isolant supplémentaires, ne laissant vides que les espaces nécessaires au passage des techniques en toiture. Il a été décidé en cours de chantier qu'une couche supplémentaire d'isolant (4 cm) serait ajoutée au-dessus des bacs, afin de remplir l'espace laissé libre sous la couverture (entre les rupteurs thermiques), notamment parce que cet espace ne peut être ventilé (pour éviter de court-circuiter la rupture thermique).

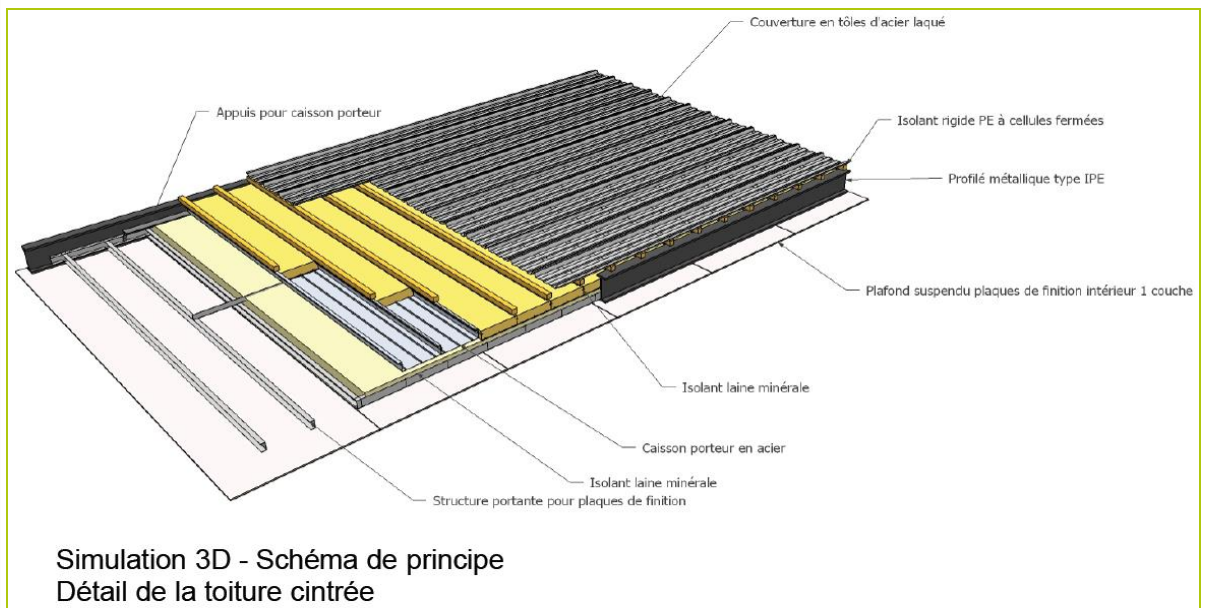


Fig. 22 : Schéma de composition de la nouvelle toiture de la rue Ferrer 13



Fig. 23 : photo prise sur le chantier « Ferrer 13 » de la nouvelle toiture cintrée. Les portiques métalliques et les bacs acier sont placés, en attente de l'isolant.

L'étude complète de cette toiture se trouve dans le rapport [130701 ULg RapportEnveloppeFerrer.pdf](#). Une présentation a été faite au Comité de Gestion ([101222 ULg Présentation Toiture ComitéGestion.pdf](#)) à ce sujet.

Cette solution a été développée conjointement par ArcelorMittal, Knauf, Eriges et l'Université de Liège (avec le support et l'aide des autres partenaires, notamment Aldes pour l'intégration des conduites de ventilation).

7.3.1.2. Exemple 2 : la façade de « Molinay 34 »

Sur le chantier « Molinay 34 », il a également été décidé d'appliquer une solution développée conjointement par ArcelorMittal et Knauf et étudiée par l'Université de Liège (voir le rapport [120309 ULg RapportEtudeFaçade Molinay.pdf](#)) : la mise à terre de l'ancienne façade à rue (en mauvais état) et son remplacement pas une façade Styltech (étudiée dans [1008 to 1107 AMLR RapportScientifique.pdf](#), ainsi que dans les notes d'études internes jointes). La nécessité de cette étude plus poussée se justifie par la présence d'une structure métallique et la potentialité de nombreux ponts thermiques ponctuels tels qu'illustrés dans la Fig. 24 ci-dessous.

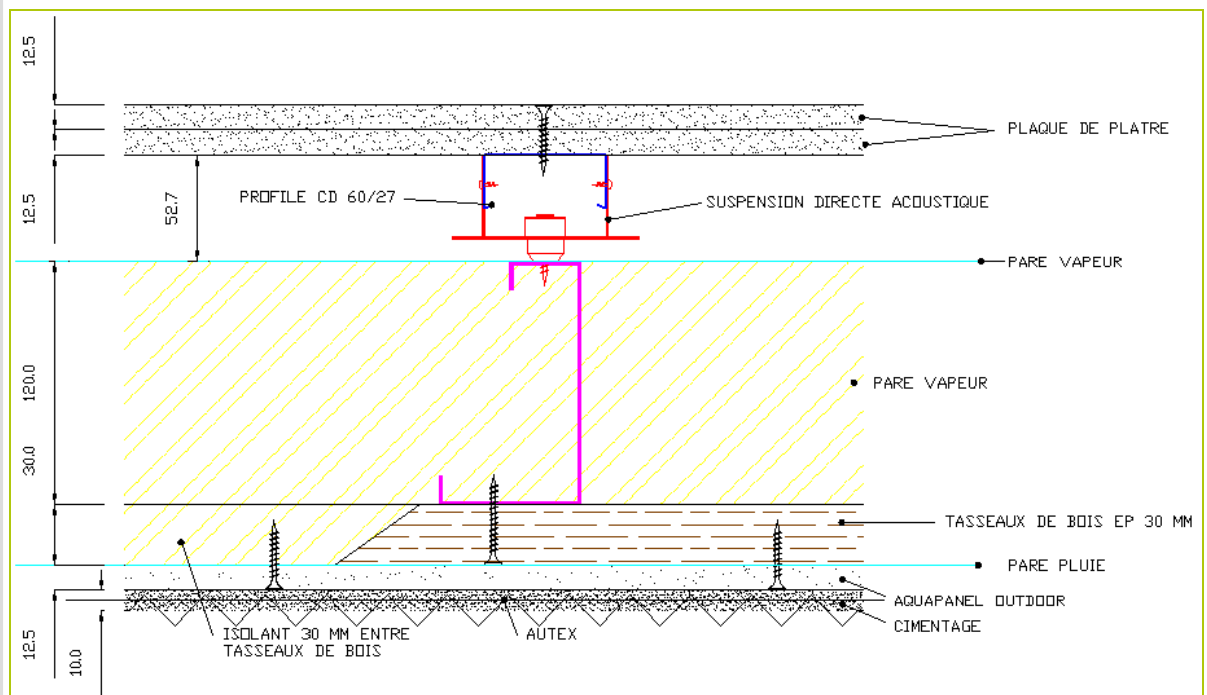


Fig. 24 : Composition (en coupe horizontale) de la nouvelle façade Styltech du chantier « Molinay 34 ».

La façade se compose d'une structure métallique de type Styltech (en rose sur la Fig. 24), qui est « noyée » dans l'isolant thermique et acoustique.

Côté extérieur, des tasseaux de bois sont fixés horizontalement sur cette structure métallique. Un remplissage d'isolant est réalisé entre les tasseaux (également avec de la laine de verre type Naturoll 035, technologie Ecosse de Knauf). Les tasseaux de bois reçoivent quant à eux la tâche de servir de support au panneau Aquapanel Outdoor (un panneau de fibre-ciment développé par Knauf pour des applications de façades extérieures) qui sert de support pour l'enduit de crépis extérieur.

Côté intérieur, une structure secondaire, également en acier, est fixée sur la structure principale, créant ainsi un espace technique dans la façade. Des

éléments ponctuels en néoprène sont placés au niveau des fixations visées, rendant la paroi plus performante d'un point de vue énergétique (réduction des déperditions supplémentaires dues aux nœuds constructifs) et acoustique (aspect non traité ici).



Fig. 25 : Façade du bâtiment « Molinay 34 » avant rénovation (à gauche), pendant le montage de la nouvelle façade Styltech (au centre) et en cours de finition (à droite).

7.3.2. Logiciel

Le résultat du développement du logiciel est prometteur. Il est visible dans le rapport final ([ULg Rapport Logiciel.pdf](#)) et dans ses annexes listées ci-dessous :

- Arbres de décision :
 - Baies : [130611 org BAI.pdf](#)
 - Chauffage : [130611 org CHA.pdf](#)
 - Eau Chaud Sanitaire : [130611 org ECS.pdf](#)
 - Murs : [130611 org MUR.pdf](#)
 - Planchers : [130611 org PLA.pdf](#)
 - Systèmes solaires : [130611 org SOL.pdf](#)
 - Toitures (plates ou inclinées) et planchers de combles : [130611 org TOI TOP PC.pdf](#)
 - Ventilation : [130611 org VEN.pdf](#)
- Méthode de calcul :
 - [Méthode calcul.pdf](#)
 - [Valeurs défaut.pdf](#)
 - [Conséquences interventions PEB&prix.pdf](#)
- Méthode d'évaluation financière : [Méthode financière.pdf](#)

- Valeurs par défaut issues de l'étude des typologies : [Valeurs défaut typologies.pdf](#)
- Matériaux, systèmes et fenêtres :
 - [Choix matériaux.pdf](#)
 - [Propriétés&prix baies nouvelles.pdf](#)
 - [Propriétés&prix matériaux.pdf](#)
 - [Propriétés&prix systèmes.pdf](#)
 - [Propriétés baies existantes.pdf](#)

Un aperçu du résultat final prévu a été présenté au Comité de Gestion du 04/12/2012 ([121204 ULg Présentation ComitéGestion.pdf](#)) (Fig. 26 à 28) :

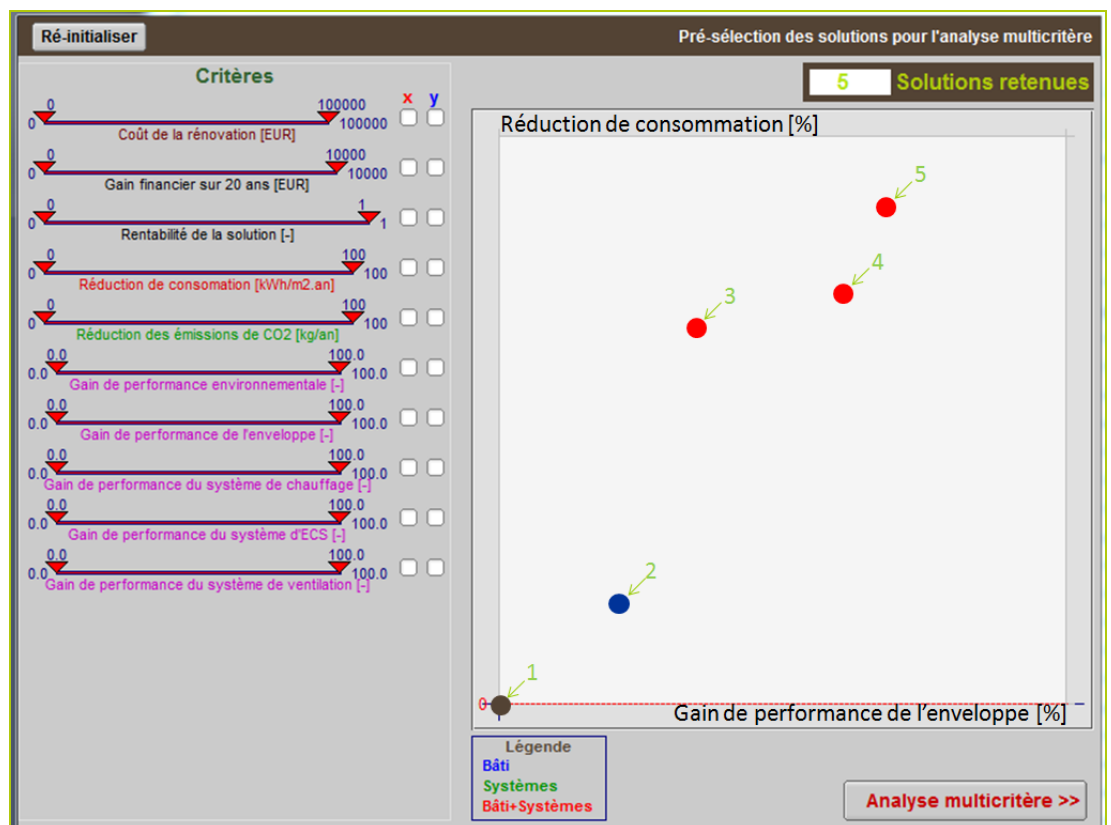


Fig. 26 : Adaptation des critères pour l'analyse multicritère des scénarii d'intervention. Intégration des résultats de cinq cas d'étude (réalisés sur le chantier Molinay 34) dans le tableau d'analyse multicritère.

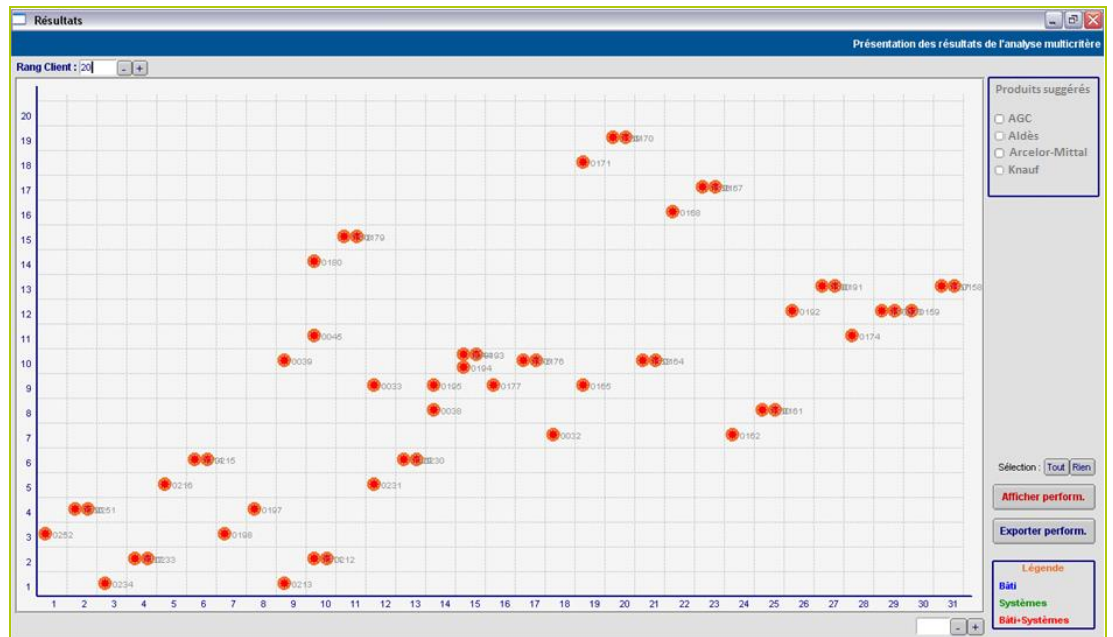


Fig. 27 : Pointage des scenarii d'intervention intégrant les produits des partenaires industriels.

Tableau comparatif des résultats

Consommation initiale : **302776**

Solution		Critères Client									
		Coût	Gain fin.	Rentabilité	Réduc. cons.	Réd. ém. CO2	G. P. E.	G. perf. env.	G. P. vent.	G. P. chauff.	G. P. ECS
Cas 2	TOI02	?	?	?	-18%	-18%	?	21%	0%	0%	0%
	MUR05										
	BAI07 CHA09										
Cas 3	TOI02	?	?	?	-70%	-70%	?	33%	0%	47%	19%
	MUR05										
	BAI07 CHA09										
Cas 4	TOI02	?	?	?	-77%	-76%	?	59%	-6%	47%	22%
	MUR05										
	BAI07 CHA09										
Cas 5	TOI02	?	?	?	-88%	-81%	?	70%	48%	70%	19%
	MUR05										
	BAI07 CHA09										

Fig. 28 : Exemple de tableau de résultats (multicritère) pour les cas d'étude (Moliny 34) sélectionnés.

Cette sous-tâche non prévue initialement demande un développement minutieux qu'il serait dommage de précipiter, aussi a-t-il été décidé au sein du Comité de Gestion de **continuer ce travail jusqu'à obtenir une version de démonstration**, reprenant les fonctionnalités de base que sont la description du bâtiment existant (grâce notamment à l'étude des typologies), les propositions d'interventions (intégrant partiellement le catalogue de solutions), les calculs de performance selon la méthode de calcul PEB et l'analyse multicritère (critères de performance énergétique, environnementale et financière) des scenarii.

À toutes fins utiles, nous allons ici reprendre les autres développements initialement prévus pour le logiciel, qui ont été mis de côté pour le moment par

souci de simplification :

- Il serait envisageable, dans la continuité de l'analyse multicritère, de concevoir un module de sélection d'une « solution idéale ». La complication amenée par cette suggestion tient principalement dans la pondération des critères entre eux : une solution qui apparaît idéale pour un maître d'ouvrage ne sera peut-être pas la même pour un autre. Une première ébauche de cette sélection se retrouve dans le « principe d'itération » (voir [ULg Rapport Logiciel.pdf](#), point 2.7.10), une méthode de tri basée sur l'évaluation financière permettant d'ignorer les scénarii dont le coût est inférieur à un seuil à définir, permettant de ne conserver que ceux qui se rapprochent plus du budget défini par l'utilisateur, tout en gardant un œil vigilant sur les résultats énergétiques pour ne pas évincer des scénarii intéressants et moins onéreux.
- Le phasage des interventions, en fonction du budget disponible et de la priorité des interventions, est également un développement ultérieur intéressant. Ainsi, l'utilisateur pourra par exemple commencer par choisir les solutions d'isolation de l'enveloppe en fonction de son projet ; lorsqu'un nouveau budget pourra être consacré à l'habitation, viendront les solutions « systèmes », tenant compte des choix d'isolation (ou de non-isolation) antérieurs.
- La gestion des nœuds constructifs pourrait constituer une suite intéressante, mettant en évidence la nécessité de garder un œil vigilant sur ces points faibles particuliers lors de l'isolation des parois de déperdition. Il serait alors possible de délivrer un message d'alerte lorsque le risque semble élevé, voire de proposer des solutions de résolution.
- Dans le même ordre d'idées, le transfert de vapeur d'eau pourrait être analysé lorsqu'une solution d'intervention est proposée. Ainsi, par exemple, il serait possible de préconiser l'emploi d'un pare-vapeur ou d'un autre type d'isolant lors de l'isolation par l'intérieur des murs existants.
- La liste des critères d'analyse pourrait être étendue à de nouveaux critères, suivant les évolutions philosophiques que l'on souhaiterait donner à une future version du logiciel. Ainsi, par exemple, il serait possible de qualifier la nuisance des travaux ou de quantifier le risque de surchauffe généré par l'isolation rapportée. Il est à noter toutefois que toute modification des critères impose la révision du système de pondération utilisé dans l'analyse multicritère existant actuellement au sein du logiciel.
- ...

8. Tâche 5 : Méthode d'évaluation financière

8.1. Définition de la tâche

Partenaire responsable : ULg

Autre(s) partenaire(s) impliqué(s) : CSTC et Eriges

Résultat visé par la tâche en termes de livrables : un rapport établissant une méthodologie d'évaluation financière d'un projet aux différents stades de son élaboration, permettant d'évaluer le coût total du projet dès l'esquisse (sur la base de paramètres globalisés) et de le maîtriser tout au long de sa réalisation.

Description précise et détaillée du travail à effectuer :

- A. Coûts de construction
 - A1. Etablissement d'une base de données (de 1^{er} niveau) de prix unitaires pour les ouvrages courants (composants) des corps de métier requis pour la rénovation résidentielle.
 - A2. Au départ de cette base de données, élaboration d'une base de données de 2^e niveau pour des ouvrages intégrés (par exemple mur extérieur, toiture... au m²) utilisable à l'esquisse de l'avant-projet.
 - A3. Estimation du projet au stade du dossier d'exécution, avant l'appel d'offres.
 - A4. Au fur et à mesure de la réception des offres pour les différents corps de métier, mise à jour de la base de données du 1^{er} niveau. Idem en cours de travaux.
 - A5. En fin de projet, mise à jour de la base de données de 2^e niveau (ouvrages globalisés).
- B. Coûts d'utilisation

Selon les choix (enveloppe et systèmes) des projets de rénovation :

 - B1. Estimation des coûts énergétiques d'utilisation.
 - B2. Estimation des coûts de maintenance des systèmes.
- C. Coût global
 - C1. Choix d'hypothèses économiques : coût des énergies (et leur évolution), taux d'intérêt pour le financement, taux d'actualisation, etc. et leur variation sur une durée d'utilisation à fixer (20 ans, 30 ans ?).
 - C2. Estimation du coût global intégrant : le coût d'achat du bien immobilier, les coûts de rénovation et d'utilisation.
- D. Coûts de démolition du projet, en fin de vie
 - D1. Établissement d'une base de données de coûts de démontage, démantèlement, recyclage, mise en décharge...

8.2. Méthodologie

Comme annoncé dans la méthodologie de la tâche 4, la méthode d'évaluation financière prévue dans la tâche 5 a été finalement intégrée à la méthode de calcul développée dans le logiciel. La philosophie sous-tendant la méthode proposée a tout d'abord été présentée au Comité de Gestion ([100517 ULg Présentation EvaluationFinancière ComitéGestion.pdf](#)).

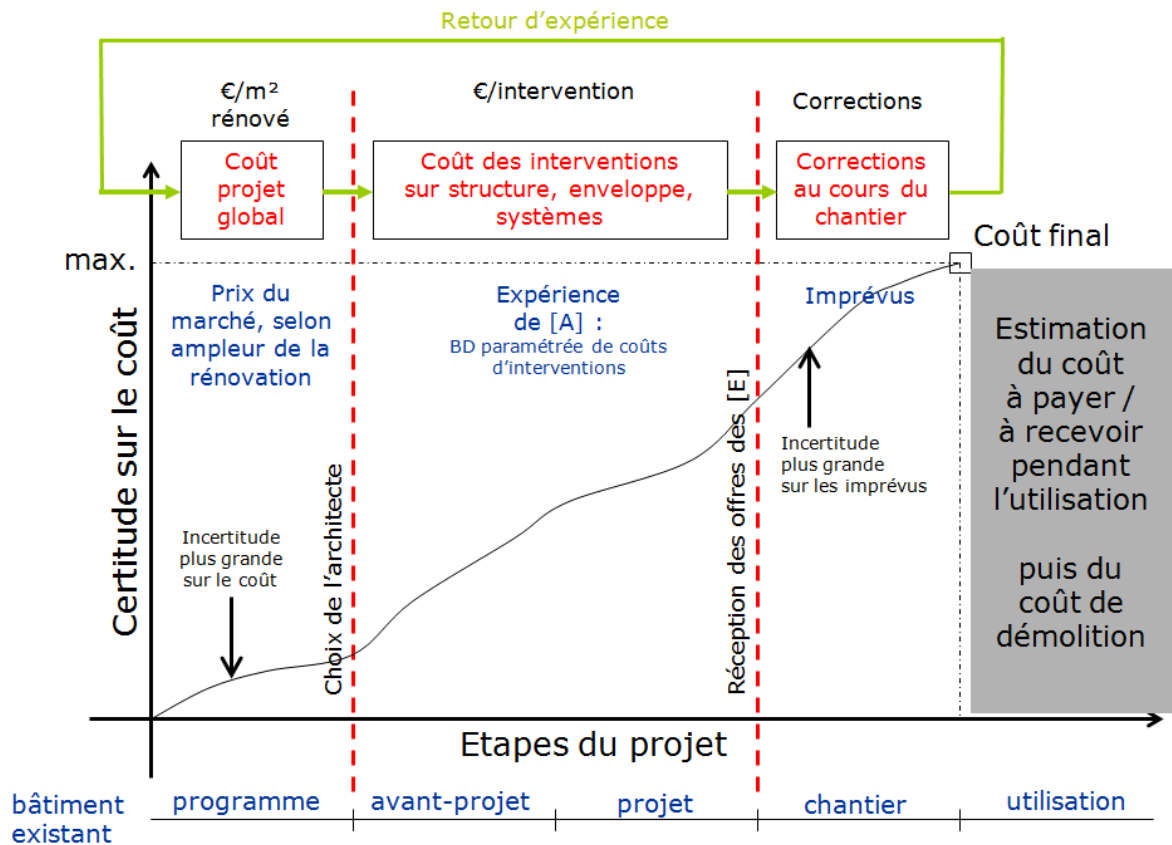


Fig. 29 : Présentation d'une méthode itérative pour la mise à jour d'une base de données de prix aux différents stades d'avancement d'un projet de rénovation.

On le sait, la question du budget est un sujet délicat dans le domaine de la construction et encore plus de la rénovation. Il est extrêmement difficile d'évaluer correctement le coût d'un projet au stade de l'avant-projet, voire au stade du projet. Seules les factures des entrepreneurs permettent, à la fin d'un chantier, de connaître le prix exact d'un ouvrage (as built), et de le comparer avec les estimations réalisées en début de projet. Plusieurs raisons à cela : l'inflation, les imprévus découverts en cours de chantier, les changements en cours de chantier, les intempéries... Le chantier « Ferrer 13 » en est un exemple criant. L'objectif est donc, dans l'outil, d'établir une méthode d'évaluation adaptée au stade de son utilisation dans un projet :

- Lors de l'avant projet, il est préférable de s'en tenir à un métré très global et peu détaillé, auquel on applique des coûts, plutôt regroupés par composants (murs, planchers, toitures, installations de chauffage...);
- La connaissance progressivement plus détaillée du projet permet une définition progressivement plus précise du coût des travaux;
- À la fin du projet, les coûts reçus servent à actualiser la base de données des coûts

des composants.

Au-delà de l'estimation arithmétique proportionnelle à l'importance des ouvrages, il y a lieu également d'identifier les difficultés dues au contexte du chantier qui influencent le coût globalement, comme par exemple l'accès malaisé à un charroi important (camion + semi-remorque).

Il a été discuté, en réunion, de plusieurs difficultés rencontrées par expérience par les partenaires du projet :

- Les bases de données de prix : il en existe plusieurs, de qualités différentes et difficilement compatibles ;
- Certains prix sont introuvables, notamment en ce qui concerne l'entretien ;
- La rénovation est, plus que la construction neuve, une affaire de cas particuliers ; aussi va-t-il être ardu de prévoir un prix global initial et de le faire correspondre aux réalités du terrain et aux impondérables rencontrés pendant la phase de chantier, réclamant des ajustements budgétaires.

La première étape a donc consisté en une mise à jour des bases de données de prix (visibles dans les annexes du rapport du logiciel : [Propriétés&prix baies nouvelles.pdf](#), [Propriétés&prix matériaux.pdf](#), [Propriétés&prix systèmes.pdf](#)). Cette mise à jour s'appuie sur plusieurs sources de coûts telles que :

- Bordereaux des prix unitaires « UPA / BUA » de 2005, 2007 et 2009 ;
- Mercuriale « Je Vais Construire » ;
- Etudes économiques réalisées par le Laboratoire EnergySuD (ULg), notamment lors du développement du logiciel Reflex ;
- Expérience professionnelle de Jean-Marie Hauglustaine, en tant qu'architecte et praticien ;
- Office des Prix du Bâtiment : mercuriale mise régulièrement à jour, accessible par Internet ;
- Base de données de l'annuel des prix BTP (pour la construction et la rénovation) que l'on trouve dans le logiciel EC Estimation.

Un œil vigilant est bien sûr porté sur la date de publication des données, afin de les actualiser régulièrement selon les indices des matériaux et des salaires en vigueur dans le secteur de la construction.

Durant la période couverte par ce rapport, cette base de données de prix a principalement été alimentée par les industriels partenaires du projet Réno2020 :

- AGC pour les vitrages ;
- Aldes pour les éléments constituant les systèmes de ventilation ;
- Knauf pour les isolants (MW et EPS), les plâtres (plaques et enduits) et crépis ;
- ArcelorMittal pour les solutions acier (panneaux sandwichs, structures, bardages...)

L'aide précieuse de la société Viessmann a également été sollicitée pour les systèmes de

chauffage et d'ECS.

Toutefois, certains prix ont dû être calculés de manière bien moins directe. La méthode employée et les prix en résultant sont explicités dans le document annexé, [ULg Rapport Logiciel.pdf](#). Il s'agit notamment de :

- Mettre un prix sur l'étanchéité à l'air du bâtiment (et son amélioration post-rénovation) n'est pas chose aisée, puisqu'elle dépend de la surface de déperdition du bâtiment, de la qualité d'exécution des travaux et du résultat du test d'étanchéité qui en résulte ;
- Compiler les prix des éléments dissociés d'un système de ventilation pour obtenir un prix global. Celui-ci dépendra non seulement de la taille du bâtiment, mais aussi du nombre d'occupants...
- Certains prix de systèmes de chauffage ou d'ECS ont demandé une recherche supplémentaire, comme les planchers chauffants, les sondes géothermiques, les installations solaires thermiques ou photovoltaïques.

La suite du rapport sur le logiciel ([ULg Rapport Logiciel.pdf](#)) explique les étapes suivantes, notamment le calcul du « coût global », tenant compte :

- De l'investissement total pour les interventions proposées.
- Du mode de financement (sur fonds propres ou via un montant emprunté, avec une durée et un taux d'emprunt à préciser).
- Des taux d'inflation et d'actualisation, nécessaires pour les scénarii d'évolution des prix et des coûts de consommations.
- De la facture énergétique issue du calcul PEB.
- Du prix de l'énergie, dépendant du type de vecteur énergétique employé.
- Des incitants (primes et réductions d'impôts) disponibles (voir les résultats de la tâche 1 à ce sujet).

L'évolution progressive de la réflexion est visible au travers des divers documents annexés que sont :

- [0902 to 1002 ULg RapportScientifique.pdf](#)
- [1002 to 1008 ULg RapportScientifique.pdf](#)
- [1008 to 1107 ULg RapportScientifique.pdf](#)
- [1108 to 1201 ULg RapportScientifique.pdf](#)

8.3. Résultats, conclusions et livrables

Il serait laborieux d'expliciter ici, dans le détail, la méthode de calcul complète mise en place dans le logiciel. Nous renvoyons au document [ULg Rapport Logiciel.pdf](#) et surtout à son annexe [Méthode financière.pdf](#) pour plus de détail.

Nous pouvons cependant rappeler les grands résultats issus de la méthode qui servent de base aux critères financiers utilisés dans la méthode multicritère d'analyse des scénarii d'intervention :

- Le coût de l'opération [€] :
 - Les coûts totaux sont égaux à la somme de l'investissement, financé ou non, et de la facture énergétique pendant 20 ans, de laquelle on déduit les primes et les réductions d'impôts auxquelles l'utilisateur peut prétendre.
 - Bien que demandant une mise à jour de la base de données des coûts des solutions applicables, ce critère est primordial pour l'évaluation de la pertinence des interventions, puisqu'il est en lien direct avec le filtre budgétaire.
- Le gain financier sur 20 ans [€]
 - Il tient compte du coût de l'opération, de la réduction de la facture énergétique et des primes éventuelles, ainsi que des paramètres économiques et financiers décrits dans la tâche 5.
- La rentabilité, basée sur le calcul de la Valeur Actualisée Nette (VAN).
 - La VAN est la différence entre les gains nets actualisés de l'investissement et l'investissement de départ. Étant donné que l'investissement est considéré rentable si la VAN est positive, le meilleur scénario de ce point de vue est celui qui a la VAN la plus élevée.
 - Les gains nets actualisés sont l'économie actualisée sur la facture énergétique par rapport au cas de base (fonction du taux d'actualisation).

9. Tâche 6 : Cahier des charges performantiel

9.1. Définition de la tâche

Partenaire responsable : ULg

Autre(s) partenaire(s) impliqué(s) : ArcelorMittal, CSTC et Eriges

Résultat visé par la tâche en termes de livrables : un mode de rédaction d'un cahier des charges performantiel applicable à un projet de rénovation d'un logement et des exemples de cahiers des charges performantiels relatifs aux projets étudiés.

Le cahier des charges performantiel encourage l'entrepreneur à la créativité, par la suggestion qu'il peut faire de solutions techniques innovantes conduisant à une performance souhaitée.

Description du travail à effectuer :

- 1. Faisant suite à l'ensemble des postes d'ouvrages courants déterminés à la tâche 5 « évaluation financière », sélection des postes ayant une influence sur la performance environnementale future du bâtiment.
- 2. Rédaction des articles du cahier des charges performantiel, avec mise en évidence de la (des) performance(s) exigée(s) et en faisant référence aux modes d'évaluation de ces performances.

9.2. Méthodologie

Lorsque l'on décide de réaliser un projet avec des objectifs ambitieux de performance environnementale, il est primordial de s'assurer que tous les intervenants (architecte, entrepreneur général, sous-traitants) soient au diapason du maître d'ouvrage (le pouvoir décisionnel). Cette démarche doit donc être intégrée au sein des différents documents rédigés aux différentes phases du projet. Dans cette optique, l'outil d'action principal pour intégrer ce souci environnemental lors de la phase de chantier est le cahier des charges. Nous pouvons en distinguer deux types, qui sont exposés ci-dessous.

9.2.1. Ambitions performantielles du maître d'ouvrage

Chronologiquement, il y a d'abord les ambitions de performance du bâtiment rénové dont le maître d'ouvrage doit faire part à son architecte. Il s'agit ici d'une étape essentielle dans la définition d'un projet de rénovation : jusqu'à présent, ces envies étaient principalement reflétées dans l'esthétique, la fonctionnalité ou la surface de l'ouvrage. L'objectif de cette tâche est d'élargir cet éventail de critères à une liste d'indicateurs de la performance environnementale, qui doivent être fixés dès le début du projet car ils conditionnent les démarches à réaliser ultérieurement. Tous ces critères sont définis par le CSTC et SECO dans leur référentiel sur la rénovation durable. Nous renvoyons donc à la tâche 3 pour plus d'informations.

Lors de la rédaction du cahier spécial des charges, distribué lors de l'appel à projets pour la rénovation du premier bâtiment à Seraing (« Ferrer 13 »), il a donc été fait appel au référentiel développé dans la tâche 3, avec pour objectif principal

d'informer l'architecte intéressé de la portée environnementale des objectifs de rénovation. Le tableau inséré dans ce CSCh est visible dans la section « Résultats, conclusions et livrables » (9.3) ci-dessous ainsi que dans le document annexé [Eriges CSdChPrimo Ferrer.pdf](#).

9.2.2. Cahier des Charges Performantiel

Cette première mise au point des objectifs performantiels mène à la rédaction d'un cahier des charges, visé par cette tâche 6 : ciblant et mettant en évidence la (les) performance(s) exigée(s) et faisant référence aux modes d'évaluation de ces performances, ce « cahier des charges performantiel » encourage l'entrepreneur à la créativité, par la suggestion qu'il peut faire de solutions techniques innovantes conduisant à une performance souhaitée. Il permet une meilleure implication de l'entrepreneur, dont le rôle de simple exécutant s'élargit au choix de la solution technique à mettre en œuvre, décrite par un article du cahier des charges, parmi un certain nombre de solutions présentant la même performance souhaitée. Un cahier des charges performantiel devrait donc expliciter, en introduction, la démarche et le niveau d'ambition voulu par le maître d'ouvrage, ceci afin de définir au mieux pour l'entrepreneur les objectifs environnementaux qu'il devra atteindre lors de la réalisation de ce projet.

Les premières réflexions quant à la mise sur pied de ce cahier des charges performantiel se trouvent dans le document [1002 to 1008 ULg Rapport Scientifique.pdf](#). Toutefois, les sources qui y sont mentionnées n'ont pas toutes été utilisées, notamment le référentiel SB-Tool qui avait été proposé par l'Université de Liège comme base de réflexion. Cet outil est un module international d'évaluation générique très complet, reprenant 136 critères repartis selon différentes thématiques. L'appréciation de la performance environnementale d'un projet de construction est au cœur de cette évaluation adaptable au contexte, régional ou national, en fonction du climat, du contexte réglementaire, de la fonction du bâtiment, des techniques de construction... Ce rôle étant déjà en partie rempli, au sein du projet Réno2020, par le référentiel « logement durable » du CSTC et de SECO, l'outil SB-Tool a donc été mis de côté.

Suite à l'apparition, sur la scène énergétique fédérale, du référentiel pour la labellisation et la certification des bâtiments durables (« ref-b »), qui est en dernière phase de test actuellement, il a été décidé, en Comité de Gestion, de l'inclure dans la tâche 6, en parallèle avec le « référentiel de rénovation durable » mis au point par le CSTC et SECO dans la tâche 3.

La sélection des articles de ces deux sources pour la rédaction du cahier des charges performantiel de Réno2020 a été exposée aux membres du Comité de Gestion le 04/12/2012 (voir [121204 ULg Présentation ComitéGestion.pdf](#)). S'agissant d'un cahier des charges à destination des entrepreneurs intéressés par le chantier, les décisions prises par l'architecte et le maître d'ouvrage lors la conception du projet de rénovation ne sont pas considérées dans ce cahier des charges, puisqu'elles ont lieu en amont du projet. Seules les « marges de manœuvre » laissées à l'entrepreneur sont à considérer ici, ce qui limite le nombre de domaines à quatre :

- La gestion du chantier ;

- La gestion des déchets ;
- Le choix des matériaux ;
- La rédaction et la mise à disposition des utilisateurs finaux, d'un document reprenant les directives d'entretien, de maintenance et de bonne utilisation du bâtiment.

Le plan des articles considéré est décrit dans la section des résultats ci-dessous.

La coordination sécurité – santé, imposée pour quasi tout chantier de construction, doit également être prise en charge de manière responsable et peut être considérée comme une étape sociale indispensable à la durabilité d'un chantier de rénovation.

9.3. Résultats, conclusions et livrables

9.3.1. Ambitions performantielles du maître d'ouvrage

Voici un exemple de tableau de performances, délivré par le maître d'ouvrage aux architectes lors de l'appel d'offres pour la réalisation des travaux de rénovation à Seraing. La pondération des critères est propre au projet Réno2020, et doit être adaptée en conséquence par le maître d'ouvrage selon ses objectifs performantiels propres.

NB : les exigences, correspondant aux réalités d'alors (bonnes pratiques, technique et optimum économiques) du secteur de la construction, peuvent évidemment être révisées pour des projets ultérieurs.

Tableau : évaluation du projet vis à vis de la construction durable

	Points à traiter	Formulation de la performance	Données à utiliser, points à mettre en évidence	Points
1.1	Implantation	Empreinte environnementale, intégration architecturale : exploiter au mieux les ressources et minimiser l'empreinte écologique de la construction, tout en l'intégrant à l'environnement direct.	Mettre en évidence les aspects favorisant l'intégration du projet dans son environnement (rapport aux autres constructions, au paysage...) et limitant son empreinte environnementale. Indiquer comment sont exploitées les ressources et comment est minimisée l'empreinte du bâtiment.	/3
1.2	Gestion du chantier	Maîtrise des nuisances sonores, des déchets, des circulations...	S'engager sur une stratégie de gestion de chantier, la décrire et montrer comment cette approche permettra de limiter les nuisances.	/7

1.3	Choix des matériaux	Limitation des quantités, prise en compte de la provenance, de la durabilité et du recyclage des matériaux ainsi que des nuisances potentielles (environnement et santé).	Définir les types de matériaux utilisés et la gestion des quantités. Expliquer sur quelle base les choix seront effectués et les garanties offertes sur leurs performances environnementales et sanitaires, ainsi que les possibilités de recyclage.	/8
1.4	Adaptabilité	Facilité avec laquelle le bâtiment pourra évoluer tant au niveau des usages que des performances.	Mettre en évidence les choix (structurels, d'équipements, d'enveloppe et d'aménagement intérieurs) optimisant les possibilités d'évolution du bâtiment sans transformations lourdes ni coûteuses.	/4
2.1	Confort hygrothermique	Maîtrise des températures, de l'hygroscopie et de l'homogénéité dans l'espace et le temps.	Définir le concept énergétique choisi pour maîtriser les risques d'inconfort tout au long de l'année.	/7
2.2	Confort acoustique	Maîtrise des nuisances externes et internes au bâtiment.	Définir les choix architecturaux et techniques mis en œuvre pour limiter les nuisances sonores.	/7
2.3	Confort visuel	Exploitation optimale de la lumière naturelle.	Montrer comment la lumière naturelle est exploitée, comment les risques d'éblouissement sont maîtrisés et comment est géré l'apport d'éclairage complémentaire (par ex : gestion des communs).	/6
2.4	Santé	Gestion de la qualité de l'air, de l'eau, du matériel...	Montrer comment éviter les risques liés à la santé : matériaux, ventilation, éviter les odeurs, les légionnelles...	/7
3.1	Energie	Limitation des besoins en énergie, usages d'énergie renouvelables, optimisation des équipements.	S'engager sur un niveau K le plus bas possible (max K 40) et expliquer comment il sera atteint. S'engager sur un niveau E le plus bas possible (max E 70), expliquer les choix et montrer comment la consommation sera optimisée.	/10

3.2	Gestion de l'eau	Limiter des besoins, maîtriser les eaux pluviales (récupération et infiltration)	Montrer comment on compte maîtriser les consommations d'eau froide.	/7
			Si pertinent : Montrer comment on compte maîtriser les consommations d'eau chaude, et expliquer la technique du traitement des eaux et/ou la maîtrise des eaux pluviales (rejet et éventuelles utilisations).	
			Si non pertinent : Expliquer pourquoi.	
3.3	Entretien et maintenance	Dès la conception, prendre en compte la gestion d'entretien et de maintenance du bâtiment tout au long de sa vie.	Expliquer le plan d'entretien-maintenance, avec, si possible, une estimation du coût annuel.	/6
3.4	Gestion des déchets d'exploitation	Limitation des quantités et nuisances. Prévoir des zones de stockage et d'enlèvement adaptées.	Indiquer comment seront triés et stockés les déchets : volume de stockage, nature des déchets et estimation des flux.	/6
4.1	Accessibilité (PMR)	Faciliter l'accès aux personnes à mobilité réduite, y compris aux personnes équipées de matériels encombrant (par ex : personnel d'entretien).	<u>Si pertinent :</u> Mettre en évidence les accès et chemins, permettant l'accès aux PMR en tout point du bâtiment. <u>Si non pertinent :</u> Mettre en évidence les accès et chemins, permettant l'accès aux PMR en certains lieux du bâtiment (accueil, commerce, hall principal...).	/6
4.2	Sécurité à l'effraction	Assurer une protection vis-à-vis des intrusions	Décrire les moyens utilisés pour sécuriser les lieux et protéger l'accès.	/6

4.3	Mobilité	Pour les sites à front de rue prévoir : <ul style="list-style-type: none"> • Prévoir un affichage des commodités de proximité comme les transports en communs. • Prévoir des emplacements de vélo. 	Schématiser la mise en place de l’affichage indiquant les commodités alentours. <u>Si pertinent :</u> Définir le nombre d’emplacements pour vélos ainsi que le système prévu. <u>Si non pertinent :</u> Expliquer pourquoi.	/4
4.4	Qualité d'utilisation	Optimalisation du cadre de vie.	Indiquer quels seront les concepts mis en œuvre afin de favoriser le bien-être des occupants (espaces communs conviviaux, espaces verts...)	/6

Les architectes ont été interrogés sur la pertinence du tableau de critères rassemblant les ambitions du maître d’ouvrage (voir 9.2.1) : s’ils reconnaissent l’importance de faire passer le message auprès des entrepreneurs, ils insistent sur la nécessité d’une rédaction « digeste », connaissant par expérience l’inclination des entrepreneurs à gonfler leurs prix lorsque les clauses techniques se complexifient et les objectifs à atteindre se multiplient.

9.3.2. Cahier des Charges Performantiel

Le document [ULg Rapport CdCPerformantiel.pdf](#) reprend dans le détail les conclusions de cette tâche. Nous allons toutefois donner ci-dessous le plan des différents articles sélectionnés comme livrables pour ce cahier des charges :

- Thème 1 : Gestion de chantier
 - Mise en place d’un processus de gestion responsable du chantier.
 - Analyse des risques environnementaux et de gestion.
 - Points d’attention pour la réalisation du Plan de Gestion.
 - Plan de Gestion.
 - Minimisation des risques et plan de gestion des risques environnementaux.
 - Personne responsable des aspects environnementaux du chantier.
 - Information et communication avec les riverains.
 - Information et communication avec les différents corps de métier intervenant sur le chantier.
 - Mesures pour minimiser la perturbation du trafic.
 - Mesures pour garantir la propreté de la voie publique et des

abords.

- Mesures pour limiter les nuisances sonores.
 - Mesures pour la protection de la faune et de la flore locale.
 - Mesures pour limiter la pollution lumineuse de l'environnement.
 - Mesures pour éviter la poussière.
 - Mesures pour limiter les émissions des engins de chantier.
 - Mesures pour limiter la pollution des eaux usées.
 - Mesures pour éviter la pollution du sol.
 - Mesures pour limiter la consommation d'énergie et d'eau de l'installation de chantier.
 - Monitoring de la consommation d'énergie ou des émissions de CO₂ provenant du site.
 - Monitoring de la consommation d'énergie ou de la production de CO₂ provenant du transport des biens nécessaires à la réalisation des travaux.
 - Monitoring de la consommation d'eau utilisée sur le site.
- Thème 2 : Gestion des déchets
- Plan de gestion responsable des déchets
 - Gestion des déchets sur chantier
 - Personne responsable de la gestion des déchets sur chantier
 - Information et communication avec les différents corps de métier intervenant sur chantier
 - Inventaire des matériaux présents sur le site
 - Estimation des flux et des quantités de déchets selon leurs types qui seront produites durant les différentes phases des travaux
 - Mesures de prévention envisagées pour limiter la production de déchets
 - Tri des déchets
 - Monitoring
 - Filières de gestion prévue pour la valorisation des différentes fractions de déchets générés
- Thème 3 : Choix des matériaux
- Matériaux de récupération

- Matériaux recyclés
- Matériaux munis d'un écolabel (déclaration environnementale de type I)
- Matériaux dotés d'une déclaration environnementale de type III (EPD)
- Matériaux issus d'une production / exploitation durable
 - Matières premières renouvelables
 - Matières premières non renouvelables
- Matériaux produits localement
- Matériaux à haut indice GWP (Global Warming Potential)
- Autres points d'attention
- Thème 4 : Guide pour l'utilisateur et le gestionnaire
 - Guide technique à destination du gestionnaire
 - Guide de l'utilisateur

Un autre résultat de cette tâche 6 pourrait être l'introduction de ces articles dans le développement du logiciel : lorsque certaines solutions sortiront de l'analyse multicritère du logiciel, il sera possible à l'utilisateur d'obtenir des fiches informatives à insérer dans le cahier des charges que l'architecte remettra à l'entrepreneur, leur garantissant ainsi la qualité d'exécution desdits travaux.

10. Tâche 7 : Chantier « développement durable »

10.1. Définition de la tâche

Partenaire responsable : CSTC et SECO

Autre(s) partenaire(s) impliqué(s) : ArcelorMittal, ULg, Eriges

Résultats visés par la tâche en termes de livrables :

- 7.1 : Procédure de guidance qui permet d'orienter les projets en rénovation de logement afin d'optimiser les performances au sens de la construction durable, dans une vision économiquement viable.
 - o Apporter la guidance nécessaire pour amener le projet pris comme exemple à un niveau permettant une certification.
- 7.2 : Une analyse pour les 4 thèmes spécifiques et sur base des niveaux de performance préalablement définis dans la tâche 3 pour un bâtiment pilote, l'efficacité des mesures choisies, objectivée par le biais d'outil LCA (Life Cycle Assessment) et LCC (Life Cycle Costing).
 - o Un écobilan complet et une analyse du coût de vie du bâtiment.
- 7.3 : Une analyse comparative entre le résultat atteint et les objectifs initialement fixés. Une analyse qui permette de situer les points d'achoppement dus à la mise en œuvre et de les expliquer, en vue de les éviter dans les projets futurs lorsque c'est possible ou d'en tenir compte pour obtenir une estimation plus proche de la réalité.
- 7.4 : Un monitoring du/des bâtiment(s) sélectionné(s) avant et après rénovation et une comparaison afin de déterminer l'impact réel de la rénovation.

10.1.1. Tâche 7.1 : Conception DD et certification

Description du travail à effectuer :

- o Guidance à la construction durable : il s'agit de mettre au point une procédure de guidance qui permette à une équipe d'experts d'apporter tous les éléments utiles tout au long du projet pour que les différents acteurs puissent décider avec un maximum d'information partagée et avec la volonté d'atteindre un niveau de qualité maximum au sens de la construction durable.

Cette tâche sera menée en cohérence et en étroite relation avec la tâche 3 en la complétant par une procédure destinée à assurer un service de guidance.

- o Aide à la certification : il s'agit principalement de la mise en application de la procédure développée en tâche 7.2 afin d'amener le projet pris comme exemple au meilleur niveau en construction durable.

Cette mise en application examinera également des variantes non retenues

afin de bien situer les avantages et limites atteintes dans le cas retenu.

10.1.2. Tâche 7.2 : ACV et LCC

Description du travail à effectuer : la pertinence des niveaux de performance établis pour le cadre de référence sera évaluée sur base des instruments LCA et LCC. Pour ce faire, les 2 étapes suivantes seront d'application :

- 1. Analyse de Cycle de Vie (ACV) et écobilan global du bâtiment.
 - Réalisation par le biais d'instruments LCA, d'un écobilan du bâtiment dans sa globalité et estimation des impacts environnementaux tels que acidification, bilan carbone, ressources primaires...
 - Cette étude LCA sera réalisée pour diverses interventions techniques et scénarii d'utilisation propres au logement pilote.
 - Le calcul du LCA sera effectué avec un software spécifique tel que SIMAPRO.
- 2. Life Cycle Costing comme outil d'optimisation et de démonstration.
 - Réalisation par le biais d'instruments LCC (Life Cycle Costing), d'une analyse de coûts et estimation des solutions techniques et des alternatives les plus opportunes au regard du budget initial.
 - Cette étude LCC sera réalisée pour diverses technologies de rénovation et scénarii propres au logement pilote et pour différents niveaux de performance spécifique. Pour chaque scénario, une série de solutions techniques et d'alternatives seront définies et analysées.
 - L'analyse LCC sera effectuée via des feuilles de calcul Excel

10.1.3. Tâche 7.3 : Réalisation et réception

Description du travail à effectuer :

- Il est prévu d'effectuer l'évaluation du niveau atteint au moment de la livraison et de le comparer à ce qui avait été envisagé au cours du développement du projet.
- Au cours de la mise en œuvre, des aléas nous montrent que certains concepts ne peuvent atteindre le niveau espéré. Il est essentiel d'en connaître les raisons exactes, soit pour corriger l'estimation a priori de la performance, soit pour apporter les améliorations nécessaires pour atteindre le niveau prévu.
- Tout en prenant en compte les aléas dus à la mise en œuvre, il s'agit d'une procédure d'apprentissage en boucle rétroactive : passage de la théorie à la pratique, analyse des écarts et reprise de l'acquis dans la théorie.

10.1.4. Tâche 7.4 : Monitoring

Description du travail à effectuer : 2 types de mesures seront réalisés :

- 1. Les mesures « in situ » ponctuelles suivantes sont prévues :

- Mesure de l'étanchéité à l'air du bâtiment
- Mesure à la caméra infrarouge afin de détecter d'éventuels ponts thermiques
- Mesure du coefficient de transmission thermique (valeur U) de différentes parois
- Mesure de l'éclairage naturel disponible à l'intérieur du bâtiment

Ces mesures seront effectuées avant rénovation et après rénovation. Les situations avant et après rénovation seront comparées.

Ces mesures permettront de vérifier si les performances annoncées de l'enveloppe après rénovation (valeur U d'un mur par exemple) sont effectivement atteintes.

Ces mesures seront réalisées par le CSTC, qui se chargera également de l'analyse des mesures.

○ 2. Les mesures continues

Un monitoring sera effectué afin de déterminer les performances du bâtiment en termes de consommation énergétique et de climat intérieur et de suivre ces performances de manière continue dans le temps.

Plus précisément les opérations suivantes seront effectuées :

- Suivi de la température intérieure et de l'humidité relative à l'intérieur du bâtiment
- Suivi du climat extérieur (température, ensoleillement, humidité relative, etc.)

L'installation du système de monitoring, le suivi et l'analyse des données mesurées se feront par le CSTC.

Des mesures de confort intérieur seront effectuées avant et après rénovation. Les situations avant et après rénovation seront comparées. Certaines mesures pourront être effectuées en cours de rénovation (étanchéité à l'air par exemple). Les consommations énergétiques et autres performances seront comparées avec une base de données de bâtiments existants.

Le système de monitoring sera mis en fonctionnement :

- Avant rénovation : dès que possible après le choix du chantier
- Après rénovation : dès la fin des travaux de rénovation du bâtiment.

Certains capteurs seront installés si nécessaire au cours des travaux de rénovation.

10.2.Méthodologie

L'exposé de la 7^{ème} tâche se fera en trois parties : le monitoring in situ des performances avant et après rénovation, le suivi des chantiers et de leurs performances et enfin l'analyse

par cycle de vie et de coût.

10.2.1. Présentation des projets

10.2.1.1. « Ferrer 13 »

Comme énoncé dans le chapitre consacré à la phase 2, le projet de la rue Ferrer consiste en une rénovation importante d'un bâtiment de coin, constitué d'un rez-de-chaussée commercial / de service, et de trois niveaux résidentiels supérieurs.

Le projet de rénovation initial ne devait pas intégrer la rénovation du rez-de-chaussée, pour que celui-ci puisse continuer son activité lors du chantier. Les architectes ont cependant proposé dans leur projet de « réquisitionner » une partie de cet espace à rue (du côté de l'annexe, rue de la Glacière) afin de reformater la fonctionnalité globale du bâtiment.

Voici les intentions que les architectes ont évoquées en justification de leur projet dans les documents [0912 BAPC ProjetFerrerInitial 1.pdf](#) et [0912 BAPC ProjetFerrerInitial 2.pdf](#) :

- [...] redonner du lustre, une présence et une cohérence à un immeuble ayant subi les vicissitudes du temps et de multiples interventions malheureuses [...].
- [...] requalifier le volume dans son ensemble et attribuer une fonction à l'ouverture située du côté du pignon Sud.
 - Notamment via la « création d'un nouveau volume en toiture tout en conservant la rupture typique de la corniche. »
- [...] redéfinir les plateaux et organiser de manière rationnelle les logements.
 - « Standardisation des aménagements par la superposition des fonctions », « gestion de la circulation verticale »...
- [...] offrir une réelle qualité architecturale à l'ensemble tant dans l'expression générale de la volumétrie que dans la gestion spatiale des espaces.
- [...] construction en accord avec le principe d'économie d'énergie et du développement durable.
 - « Matériaux issus de la métallurgie traditionnelle locale », « pose de capteurs solaires », « récupération d'eau de pluie », « ré-isolation complète », « chaudière au gaz à condensation », « produits et matériaux dont l'empreinte carbone est la plus réduite possible », « système de ventilation simple mais efficace » figurent parmi les ambitions annoncées.

Les plans complets sont visibles dans les documents annexés : [100901 Eriges&Archis Plans Ferrer.pdf](#) et [111021 Eriges&Archis Plans Structure Ferrer.pdf](#) En voici les images principales (Fig. 30 et 31) :

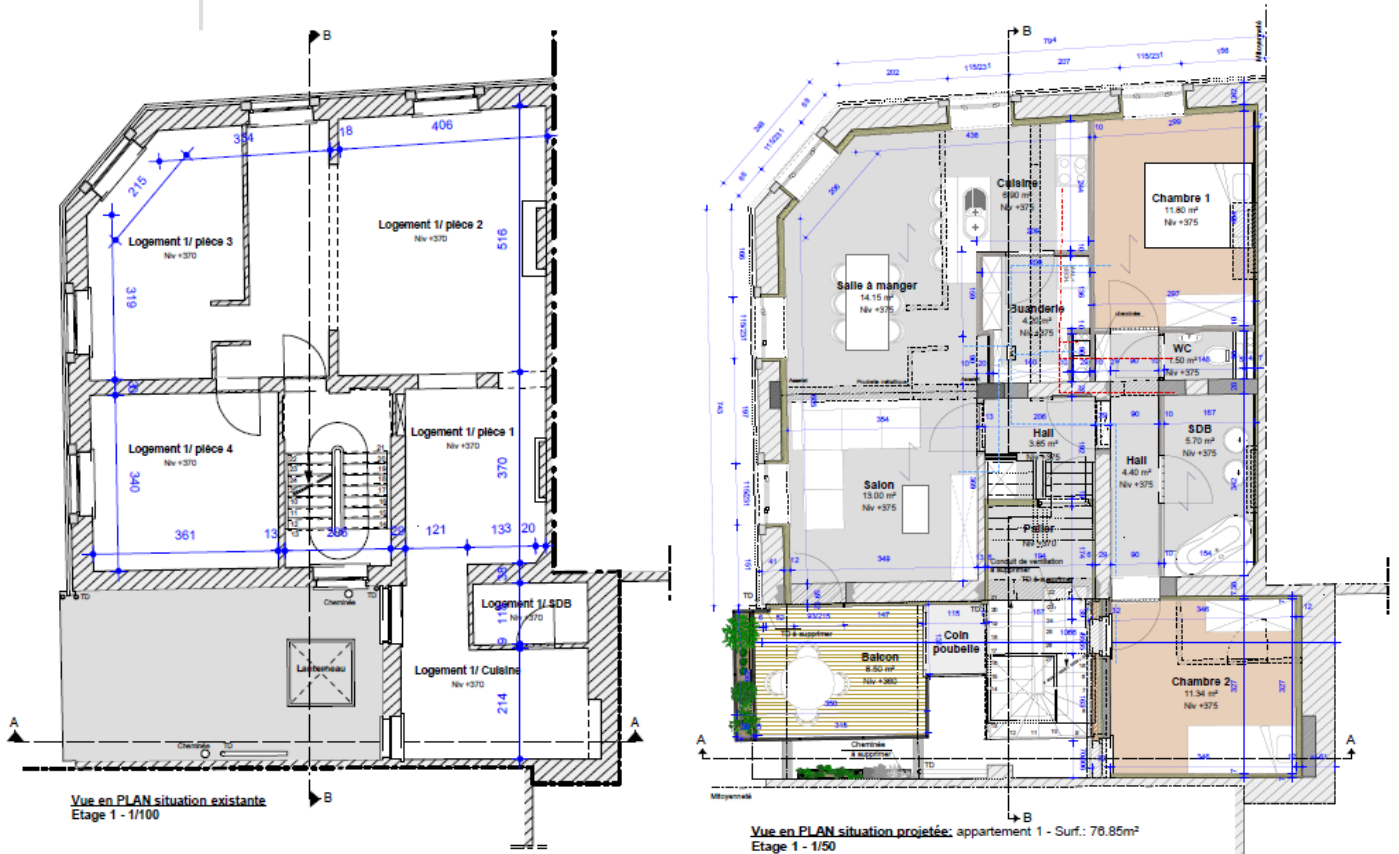


Fig. 30 : Vue en plan des situations initiale (à gauche) et projetée (à droite) de l'appartement (R+1) du chantier « Ferrer 13 ».

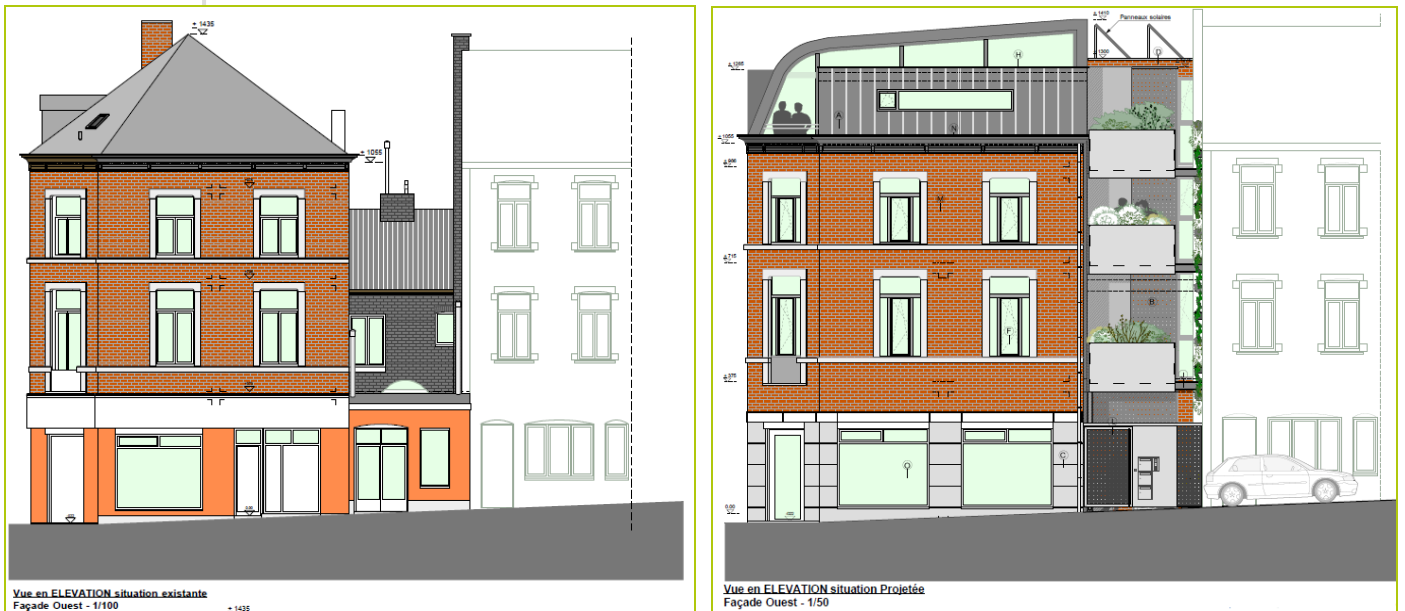


Fig. 31 : Façade Ouest initiale (à gauche) et projetée (à droite) du bâtiment « Ferrer 13 ».

Les différentes interventions et leurs conséquences sur la performance énergétique sont abordées ci-dessous et dans une série de documents annexés dont nous donnons la liste plus bas. Voici ce que nous pouvons résumer des travaux réalisés sur le chantier « Ferrer 13 » :

- Déplacement de la cage d'escalier distributive dans l'espace « annexe » donnant sur la rue de la Glacière (espace dénommé par

après la « dent creuse »).

- Réaménagement fonctionnel du rez-de-chaussée et des étages suite à ce déplacement de la cage d'escalier.
- Déconstruction de l'annexe existante et élévation d'un nouveau volume annexe (dans la moitié arrière de la « dent creuse ») sur la totalité de la hauteur du bâtiment.
- Déconstruction de la toiture existante et aménagement d'un nouveau troisième étage par la construction d'une nouvelle toiture surélevée, cintrée, métallique.
- Mise en place de terrasses privées pour chaque appartement, dans le reste du volume (extérieur) de la « dent creuse ».
- Amélioration de la performance énergétique (voir les points 10.2.2 : « monitoring » et 10.2.3 : « suivi des chantiers »)

Le projet dans son ensemble a été présenté par les architectes et Eriges lors de la réunion du Club d'Acteurs de décembre 2011 : [111209 ClubActeurs Eriges&Archis PrésentationProjetFerrer.pdf](#).

10.2.1.2. « Molinay 34 »

Le second projet de rénovation a également été présenté à Club d'Acteurs de décembre 2011 ([111209 ClubActeurs Eriges&Archis PrésentationProjet Molinay.pdf](#)), et les plans d'urbanisme sont donnés ([1105 Eriges&Archis Plans Molinay.pdf](#)) pour compléter les quelques illustrations (Fig. 32 et 33) ci-dessous :



Fig. 32 : Façade avant initiale (à gauche) et projetée (à droite) du bâtiment « Molinay 34 ».

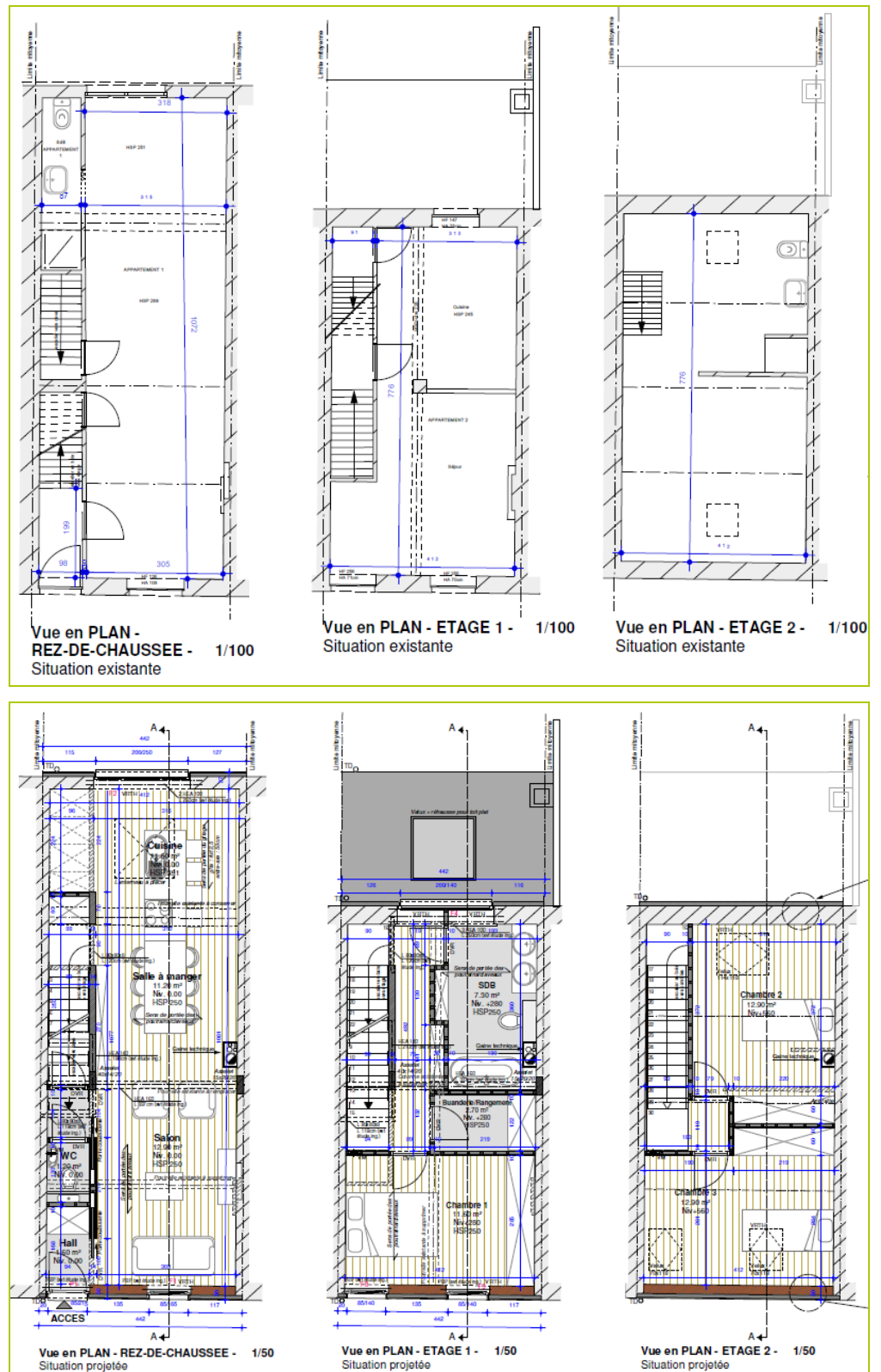


Fig. 33 : Vue en plan des situations initiale (à gauche) et projetée (à droite) du logement « Moliny 34 ».

Ce projet est moins conséquent que le premier, principalement pour des raisons budgétaires. En voici les caractéristiques principales :

- Pas d'ajout de nouveaux volumes, mais rénovation des volumes

existants.

- Réaménagement fonctionnel intérieur, notamment au niveau des chambres.
- Harmonisation fonctionnelle et architecturale.
- La façade principale (à rue) est déconstruite (entièrement) et remplacée par une nouvelle façade suivant un système mis au point par ArcelorMittal et Knauf (voir 10.2.3 : « Suivi des chantiers »).
- Amélioration de la performance énergétique (voir les points 10.2.2 : « monitoring » et 10.2.3 : « suivi des chantiers »).

10.2.2. Monitoring

Cette section de la tâche 7 comprend l'ensemble des mesures réalisées avant la rénovation (c'est notamment le cas de l'étanchéité à l'air des deux bâtiments et du monitoring du confort thermique estival dans le bâtiment « Ferrer 13 ») ainsi que les performances mesurées (ou prévues) par le CSTC après rénovation (étanchéité à l'air, températures de parois...).

10.2.2.1. Avant rénovation

Trois types d'études ont été réalisés, avant rénovation, dans les deux bâtiments :

- Un certificat PEB (« Ferrer 13 » et « Molinay 34 »), établis conformément à la réglementation. Ils sont donnés en annexe, et les résultats sont discutés dans la section « résultats, conclusions et livrables » (10.3) :
 - [110922 ULg CertificatPEBAvantRéno FerrerRapportPartiel.pdf](#)
 - [110922 ULg CertificatPEBAvantRéno FerrerR+1.pdf](#)
 - [110922 ULg CertificatPEBAvantRéno FerrerR+2.pdf](#)
 - [110922 ULg CertificatPEBAvantRéno FerrerR+3.pdf](#)
 - [110922 ULg CertificatPEBAvantRéno Molinay.pdf](#)
- Un monitoring du confort thermique estival (« Ferrer 13 ») a été décrit dans le document [CSTC RapportMonitoring Ferrer Eté 2010.pdf](#). Une canicule de plusieurs jours, causant un grand inconfort du climat intérieur, a pu être enregistrée pendant cette période. L'évaluation ne peut cependant être qu'approximative étant donné que les locaux n'étaient pas habités au moment du monitoring, qui comprend la mesure de la température et de l'humidité relative à l'intérieur et du climat extérieur, en ce compris l'ensoleillement.
- Un test d'étanchéité à l'air. Dans le cas de « Ferrer 13 », une première mesure a été effectuée pour le bâtiment dans son ensemble ($v_{50} = 17,4 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$) et a été suivie par des mesures étage par étage, avec l'objectif d'évaluer les performances spécifiques de chacun des appartements du bâtiment ($v_{50} = 23,7 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$ pour le

R+1, 17,3 m³/h.m² pour le R+2, 20 m³/h.m² pour le R+3 et 40,9 m³/h.m² pour la cage d'escalier). Le rapport complet des tests se retrouve également dans le document [CSTC RapportMonitoring Ferrer Eté2010.pdf](#). Dans le cas de « Molinay 34 », le test d'infiltrométrie (décrit dans [100630 CSTC RapportInfiltrométrie Initiale Molinay.pdf](#)) a révélé une étanchéité à l'air bien meilleure, avec un $v_{50} = 5,3 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$.

10.2.2.2. Après rénovation

À l'heure d'écrire ces lignes, le chantier « Ferrer 13 » n'a pas été terminé pour les raisons mentionnées dans la lettre du 26/11/2012 qu'Eriges a adressé à la Région wallonne ([121218 Eriges LettreàlaRW Faillite Sowaco.pdf](#)). Il en résulte que le monitoring du bâtiment après rénovation est toujours à l'état de projet. Le document [120309 CSTC Rapport PréparationMonitoringAprèsRéno Ferrer.pdf](#) décrit les mesures prises dans cette optique :

« Le monitoring d'après rénovation permettra de quantifier l'impact positif de la rénovation sur les aspects de l'étanchéité à l'air et du confort thermique estival : les mêmes essais seront effectués [...].

Par ailleurs, deux autres aspects seront étudiés : le profil de température et d'humidité au sein d'une paroi en brique (mur plein existant) isolée par l'intérieur, ainsi que les températures superficielles au droit de quelques nœuds constructifs. Ces mesures pourraient permettre d'évaluer les risques liés à une isolation par l'intérieur dans un contexte de rénovation. Elles pourraient également servir de support pour la validation de certaines simulations numériques. »

Seront donc étudiés, dès que le bâtiment sera loué :

- Les climats intérieur et extérieur (pendant au moins une saison de chauffe et une période estivale).
- L'étanchéité à l'air du bâtiment dans son ensemble et des appartements séparés.
- Les profils de température et d'humidité dans un mur de briques isolé par l'intérieur.
- Les températures superficielles de six nœuds constructifs déterminés, dont l'étude théorique et numérique des performances se trouve dans le document [130701 ULg RapportEnveloppeFerrer.pdf](#).

Le CSTC a présenté aux membres du Comité de Gestion le plan de monitoring de la rue Ferrer après rénovation. Ces présentations sont visibles ici : [120306 CSTC Présentation MonitoringFerrer.pdf](#) et [120628 CSTC Présentation MonitoringFerrer 2.pdf](#).

Note du CSTC : depuis la présentation du planning de monitoring, des difficultés sont survenues au niveau du chantier et un an et demi s'est écoulé. Nos techniciens ont dû revenir de nombreuses fois sur

chantier pour assurer une coordination en ce qui concerne le placement de filaires et de capteurs. Si la saison de chauffe initialement prévue pour effectuer des mesures (hiver 2011-2012) s'est révélée caduque très rapidement, la saison de chauffe suivante a subi le même sort. Nous entamons, au moment d'écrire ces lignes, l'ultime saison de chauffe pendant laquelle on aurait déceimment pu effectuer des mesures et à notre connaissance, le bâtiment n'est toujours pas occupé. Il n'est donc plus raisonnable de promettre un monitoring complet, le matériel devant également être utilisé afin d'assurer le bon déroulement d'autres projets auquel le CSTC contribue. Il en va de même de la disponibilité de nos techniciens et ingénieurs. Pour ces raisons, le CSTC envisage de se concentrer sur les mesures (profil de température et d'humidité) de la paroi en maçonnerie isolée par l'intérieur, et en second plan, des nœuds constructifs. En ce qui concerne le dépouillement des données, la priorité est mise sur la paroi isolée par l'intérieur.

Le chantier « Molinay 34 » a quant à lui été achevé en Septembre 2012 et mis en location dès que le test d'étanchéité à l'air a été réalisé. Ce test, malheureusement, a montré des résultats médiocres ($v_{50} = 13,7 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$, voir [100630 CSTC RapportInfiltrométrieInitiale Molinay.pdf](#)), dus à de piètres finitions, défauts de rénovation qui ont été corrigés suite aux conseils du CSTC.

10.2.3. Suivi des chantiers

Le suivi des chantiers de la part des différents intervenants a consisté en un va-et-vient de mails, d'informations, de fiches techniques et de réunions de travail donc le compte-rendu détaillé serait fastidieux et inintéressant. Nous allons toutefois, ci-dessous, décrire les différentes étapes de la rénovation, les changements apportés aux projets initiaux et les décisions prises en cours de chantier.

10.2.3.1. « Ferrer 13 »

La situation (plans et performance) initiale du chantier de la rue Ferrer a été décrite dans la tâche 2 (choix des projets pilotes) et dans les points 10.2.1 et 10.2.2 ci-dessus, nous ne reviendrons donc plus dessus. En ce qui concerne la rénovation :

- Isolation thermique :
 - À cause de l'occupation prévue du rez-de-chaussée pendant les travaux, son isolation a posteriori n'a pas été envisagée. La seule intervention prévue initialement est, outre le réaménagement fonctionnel des locaux suite au déménagement de l'escalier, le changement des vitrages (placement de double vitrage d'une valeur $U_g = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$). Le plancher sur cave n'a pas pu être isolé par l'intérieur (à cause de l'occupation prévue des locaux) ni par l'extérieur (manque de hauteur sous plafond dans les caves). Les murs, que leur environnement soit extérieur ou mitoyen, ne

devaient pas être isolés mais, en cours de chantier, cette position a été revue lorsque les panneaux publicitaires extérieurs ont été enlevés, révélant la présence d'anciens caissons à volets qui ont donc été démontés et remplacés par une structure isolée (voir le document [130701 ULg Rapport EnveloppeFerrer.pdf](#) pour leur étude complète).

- Toutes les baies des étages supérieurs (nouvelles ou remplacées) sont équipées d'un châssis en aluminium à coupure thermique et d'un double vitrage Thermobel 0.8 [W/m²K] d'AGC.
- Les murs extérieurs existants des trois étages supérieurs sont également isolés :
 - Les murs de façade donnant sur les rues de la Glacière et Francisco Ferrer sont isolés par l'intérieur par 12,5 cm de laine minérale. Les 5 premiers centimètres sont placés en rupture thermique entre la maçonnerie existante en briques et la structure métallique de contre-cloison (fixée au sol et au plafond) renfermant les 7,5 cm de laine minérale restants. Ce système a été étudié en détail (voir le document [130701 ULg RapportEnveloppeFerrer.pdf](#)) pour vérifier ses caractéristiques réelles ; en effet, il a été constaté rapidement que le calcul du coefficient de transmission thermique (« U ») selon la méthode de calcul PEB réglementaire est erroné et le résultat largement supérieur à la valeur obtenue après modélisation de la paroi dans le logiciel de simulation tridimensionnelle du transfert thermique, Trisco. Les conclusions de cette étude ont été transmises à la Région pour adaptation de la réglementation en conséquence.
 - Les murs mitoyens sont isolés par l'intérieur par 5 cm de laine minérale, retenue par une plaque de plâtre fixée sur une structure métallique similaire à la contre-cloison évoquée ci-dessus.
 - La façade extérieure donnant sur la « dent creuse » est isolée par l'extérieur, par 10 cm de laine minérale placée en deux couches de 5 cm entre deux structures croisées de chevrons en bois. Cette structure permet également de fixer le bardage extérieur de parement.
- La nouvelle annexe respecte les exigences en vigueur au moment de la dépose du permis d'urbanisme :
 - Le mur creux, composé de blocs creux de béton lourd et d'une brique de façade, comporte en son sein 8 cm

de polyuréthane, pour une valeur $U = 0,29 \text{ W/m}^2\text{K}$.

- La toiture est isolée par une moyenne de 27 cm de laine minérale (18 cm entre les pannes structurelles principales, 6 cm entre les chevrons placés sur les pannes, et 3 cm de moyenne entre les chevrons de pente), soit une valeur $U = 0,19 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- La nouvelle toiture métallique cintrée, qui a fait l'objet d'une étude particulière (voir le point 7.3.1.1 du présent rapport ou les documents [111114 ULg EtudeToiture Ferrer.pdf](#) et [130701 ULg RapportEnveloppeFerrer.pdf](#)), est isolée par un total de 23 cm de laine minérale ($U = 0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$). Elle est composée de bacs en acier, remplis de 9 cm de laine, sous lesquels 10 cm du même isolant ont été rajoutés. La couverture métallique est fixée sur les bacs au travers d'une rupture thermique de 4 cm en polyéthylène, laissant ainsi un espace qui a également été remplis d'isolant (soit 23 cm au total). Une étude du comportement face au transfert de vapeur d'eau a également été conduite (les bacs acier constituaient le pare-vapeur désigné du complexe avant l'ajout des 10 cm de laine supplémentaires en sous face) et a résulté en l'ajout d'un pare-vapeur.
- Les planchers entre appartements ont été remplis de laine minérale, pour des raisons thermiques et acoustiques.
- Une étude a également été réalisée sur les nœuds constructifs de cet immeuble. Dans le rapport [130701 ULg Rapport EnveloppeFerrer.pdf](#), un résumé de la méthode d'analyse des nœuds constructifs est exposé, de même que l'évaluation de la conformité des nœuds à la PEB et le calcul numérique (via le logiciel de simulation tridimensionnelle du transfert de chaleur développé par Physibel, Trisco) de plusieurs dizaines de nœuds potentiellement récurrents dans un chantier de rénovation. L'étude des nœuds constructifs devant aller plus loin que la « simple » attestation de leur conformité : les nœuds ont été choisis parce qu'ils sont représentatifs de situations délicates régulièrement rencontrées dans un chantier de rénovation performantielle.
- Six nœuds ont donc été choisis avec soin pour faire l'objet d'une analyse approfondie (en ce compris une modélisation Trisco) dans leur configuration réelle (Fig. 34 à 39). L'objectif final est de comparer les résultats théoriques issus des simulations avec les résultats mesurés par le CSTC grâce au monitoring mis en place.

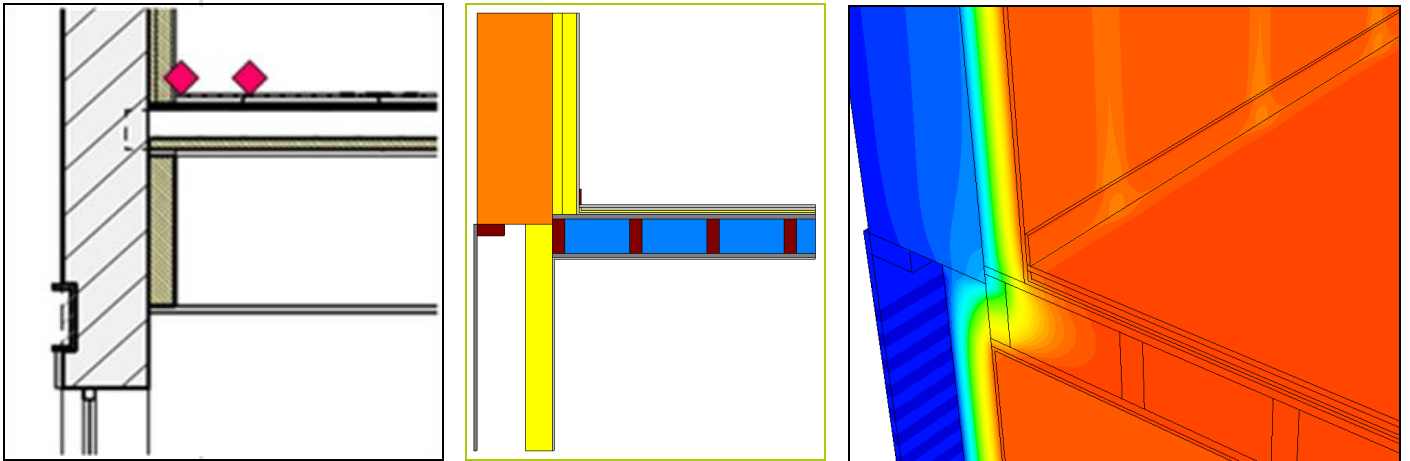


Fig. 34 : Illustration du nœud 88 : rencontre d'un plancher en bois, d'un mur de façade isolé par l'intérieur et d'un ancien caisson à volet rempli d'isolant

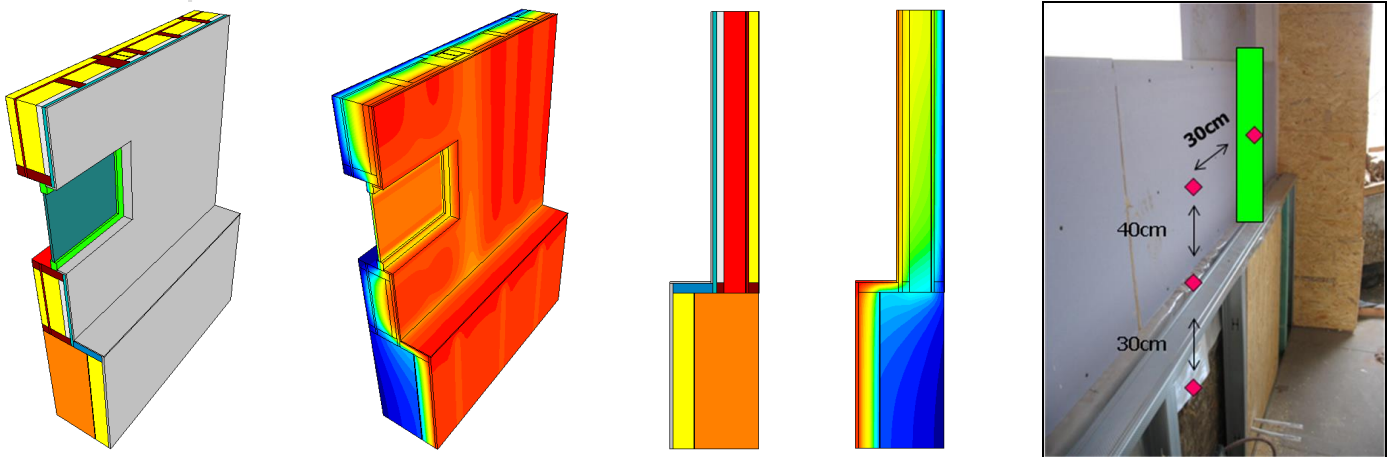


Fig. 35 : Illustration du nœud 14 formé par le nouveau mur léger et l'ancien mur plein isolé par l'intérieur

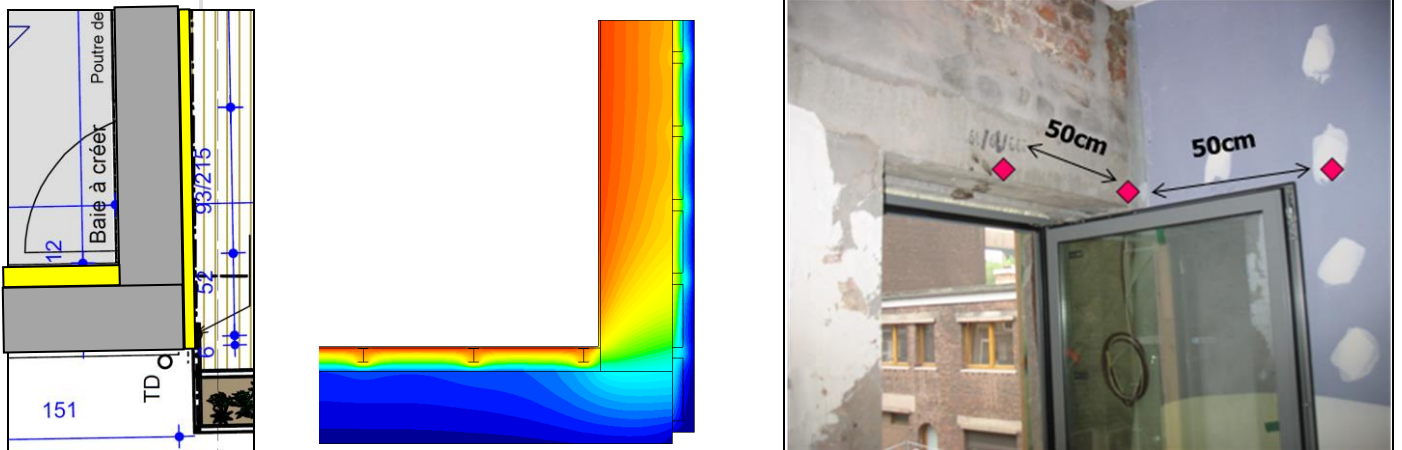


Fig. 36 : Illustration du nœud 21 formé par les anciens murs pleins, l'un isolé par l'intérieur et l'autre par l'extérieur, et par la porte d'accès à la terrasse.

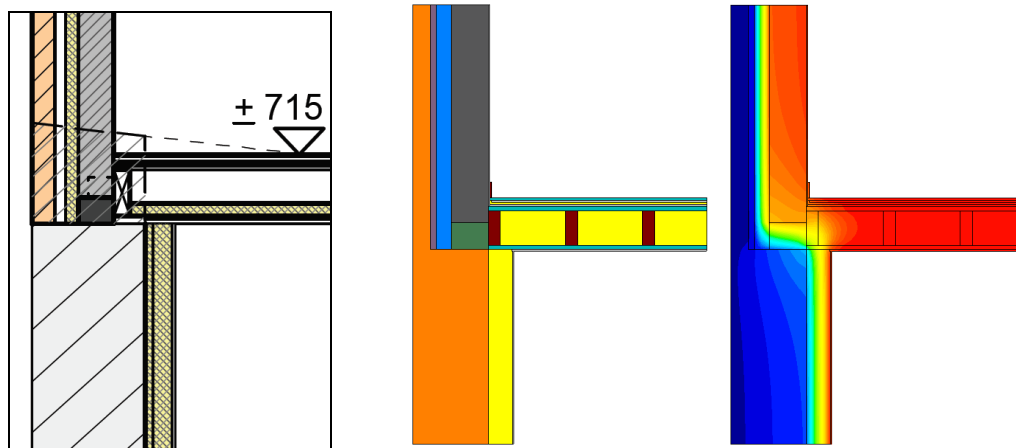


Fig. 37 : Illustration du nœud 32 formé par la jonction d'un nouveau mur creux construit sur un ancien mur isolé par l'intérieur et d'un plancher intérieur.

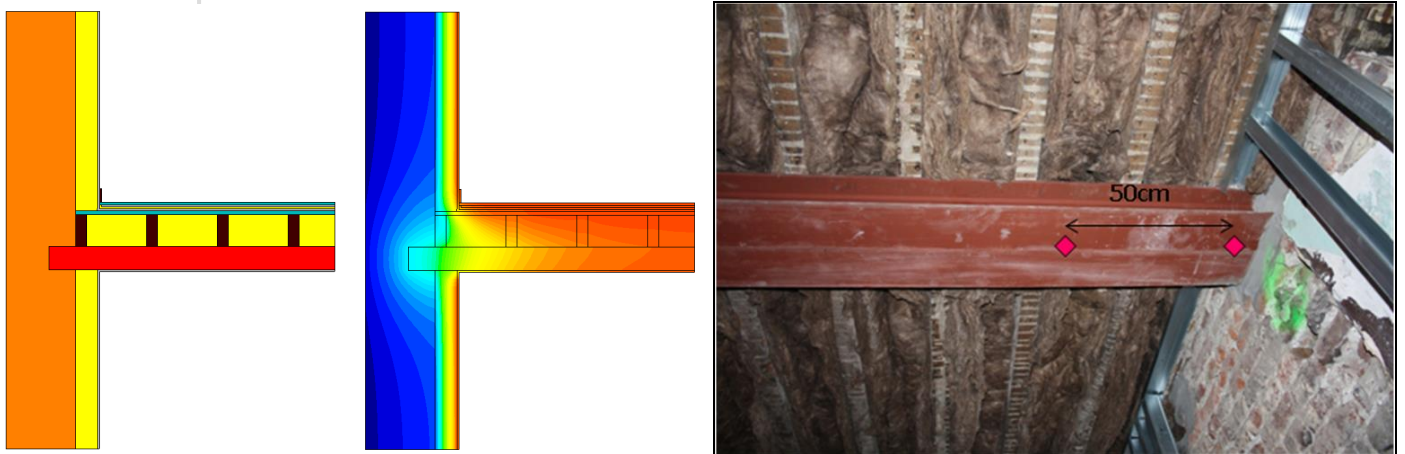


Fig. 38 : Illustration du nœud 999 formé par l'encastrement d'une double poutre métallique structurale (soutien de plancher intérieur) dans un mur existant isolé par l'intérieur.

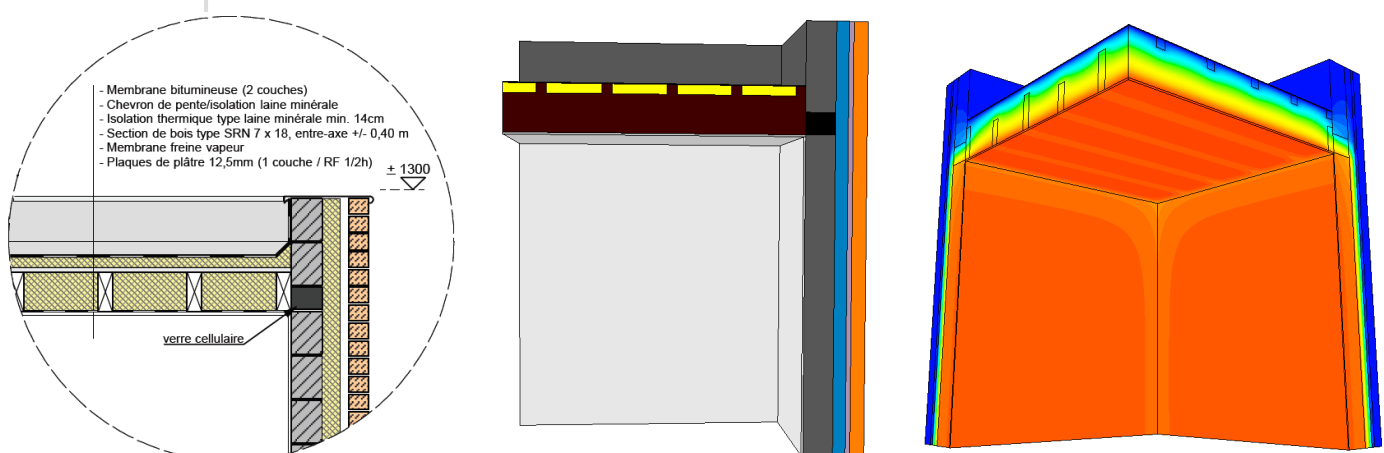


Fig. 39 : Illustration du nœud 34 formé par l'intersection de deux murs creux, de la toiture plate qu'ils supportent et de l'acrotère.

- Certains nœuds constructifs bien particuliers sont créés aux jonctions de la structure métallique de la nouvelle toiture

cintrée couvrant le troisième niveau avec les autres éléments de l'enveloppe : murs de façade avant, arrière et latéral, mur mitoyen, « chiens assis » (boîtes formée par les fenêtres en façade avant), « boîte » latérale (salon – salle à manger de l'appartement au R+3), raccord avec la toiture plate de l'annexe... L'étude de ces nœuds constructifs relatifs à la structure métallique posée sur le bâtiment a été confiée au partenaire industriel ArcelorMittal, premier intéressé par les résultats de performance et les solutions éventuelles pour réduire les déperditions. Les résultats des quelques simulations réalisées pour eux par Cenaero sont visibles dans les rapports correspondants : [130429 AMLR Cenaero RapportNC1.pdf](#), [121015 AMLR Cenaero RapportNC2.pdf](#), [120520 AMLR Cenaero RapportEtudeToitureFerrer.pdf](#).

▪ Systèmes :

- Un document intitulé [100608 SECO RéflexionsChauffage Ferrer.pdf](#) fait état des réflexions de SECO quant au système de chauffage qui devrait être mis en place. L'utilisation d'une pompe à chaleur a été évoquée, mais rapidement mise de côté pour des raisons de faisabilité technique. Finalement, le choix posé sera la prise en charge du chauffage et de l'eau chaude sanitaire par des chaudières individuelles à condensation fonctionnant au gaz naturel (de ville). La chaleur est émise via un réseau de distribution vers des radiateurs.
- La ventilation est prise en charge par des unités double flux individuelles avec récupération de chaleur. Les réseaux se répartissent entre l'alimentation (dans le séjour, la salle à manger et les deux chambres) et l'extraction (dans la cuisine, la salle de bain et le WC).
- Des panneaux solaires photovoltaïques sont prévus sur le toit de l'annexe pour alimenter les communs en électricité.

Les résultats de performance énergétique sont donnés dans la section « résultats, conclusions et livrables » ci-dessous.

Il est cependant important de mentionner un paramètre important du chantier de rénovation « Ferrer 13 », à regarder en parallèle avec les résultats de performance : le coût des travaux.

- L'immeuble a été acheté 185.000 € hors frais (\pm 210.000 €, frais compris), grâce au Service Politique des Grandes Villes (<http://www.politiquedesgrandesvilles.be>) qui fait partie du Service Public de Programmation (SPP) Intégration Sociale, Lutte contre la Pauvreté et Economie Sociale.

- Le budget annoncé en 2009 pour les travaux était de 330.000 €, ce qui était déjà considéré comme « élevé ». L'estimatif réalisé en mai 2010 sur base de l'avant-projet s'élevait à près de 400.000 € (hors marges de manœuvre). Le coût final des travaux n'est pas encore connu, puisque le chantier n'est pas encore terminé, mais il est possible d'avancer qu'il frôle les 500.000 € (hors achat, hors aides). Considérant une surface de plancher rénové de 380 m², le coût unitaire de la rénovation s'élève à 1300 €/m².
- Grâce aux « subsides » obtenus grâce à l'appel à projets « bâtiments durables » lancé par la Région, aux interventions des « Grandes Villes » et de la Province de Liège (Eriges est une régie communale) et des partenaires industriels (AGC, Knauf et ArcelorMittal), le coût des travaux pour Eriges s'élève à peu près à 170.000 €.
- Les loyers espérés après travaux sont de 1.950 € mensuels totaux pour les trois appartements et de 900 € pour le rez-de-chaussée. Eriges prévoit donc une rentabilité atteinte en 6 ans.
- Il faut noter qu'un tel calcul financier est difficile à concevoir si le maître d'ouvrage était un privé. À compter qu'il ait répondu à l'appel à projet de la Région, il ne pourrait pas compter sur les interventions des Grandes Villes, de la Province ou des industriels. Il en résulte un coût total de l'opération (achat de l'immeuble compris, hors primes et aides fiscales) de près de 500.000 € (en imaginant une rénovation identique), difficilement amortissable en 6 ans...

10.2.3.2. « Molinay 34 »

La situation (plans et performance) initiale du chantier de la rue Molinay a été décrite dans la tâche 2 (choix des projets pilotes) et dans les points 10.2.1 et 10.2.2 ci-dessus, nous ne reviendrons donc plus dessus.

Eriges, maître d'ouvrage des travaux entrepris, a fait état au début de ce deuxième projet de rénovation de difficultés financières compréhensibles, dans le contexte global économique et financier « délicat » et suite aux dépenses excessives du chantier « Ferrer 13 ». Les efforts entrepris par les partenaires pour aboutir à un projet en phase avec les objectifs de Réno2020 sont reconnus, mais Eriges demande une révision du projet, sur de nouvelles bases financières, afin de réduire l'enveloppe budgétaire à un maximum de 100.000 € pour les travaux.

Cette démarche de réduction des coûts demandée par le maître d'ouvrage est extrêmement intéressante car elle permet un exercice plus restrictif mais plus proche des réalités économiques du citoyen. Ainsi, par rapport au projet initial, les panneaux photovoltaïques ne seront pas placés, les planchers seront renforcés mais ne seront pas remplacés (ArcelorMittal et Knauf proposaient une solution comparable à celle mise en œuvre pour la façade), la pompe à chaleur et la ventilation double flux avec récupération de chaleur ne seront pas des options envisageables...

Ont été mis en œuvre :

▪ Isolation thermique :

- La façade à rue est déconstruite (totalement, du sol du rez-de-chaussée à la corniche conservée) et reconstruite avec un système mis au point par ArcelorMittal et Knauf (ce point a déjà été abordé dans la tâche 4, voir 7.3.1.2). Elle est composée d'une structure métallique de type Styltech (en rose dans la Fig. 40), « noyée » dans 12 cm de laine minérale. Ses caractéristiques (et fonctions) structurelles obligent à fixer dessus les autres éléments constitutifs de la façade, ce qui ne manquera pas de créer quelques ponts thermiques ponctuels.

Côté extérieur, des tasseaux de bois horizontaux sont fixés sur cette structure métallique, accueillant ainsi 3 cm de laine minérale supplémentaire et servant de support au panneau Aquapanel Outdoor (un panneau de fibre-ciment développé par Knauf pour des applications de façades extérieures), sur lequel l'enduit de crépis extérieur est appliqué.

Côté intérieur, une structure métallique secondaire est fixée sur la structure principale, créant ainsi un espace technique refremé par deux plaques de plâtre vissées dans la structure secondaire au travers de rupteurs thermiques en néoprène (pour des raisons thermiques et acoustiques).

Les résultats de cette étude sont également visibles dans le document [120309_ULg_RapportEtudeFaçadeMolinay.pdf](#). La paroi est étudiée du point de vue de la PEB, mais également au travers de simulation dans Trisco (le logiciel de modélisation du transfert thermique au travers d'objets tridimensionnels) et Glasta (un logiciel de simulation du transfert de vapeur d'eau au travers d'une composition de paroi).

Quelques photos prises pendant le montage de cette façade sont visibles dans le document [E3P_RapportPhotos Façade Molinay.pdf](#).

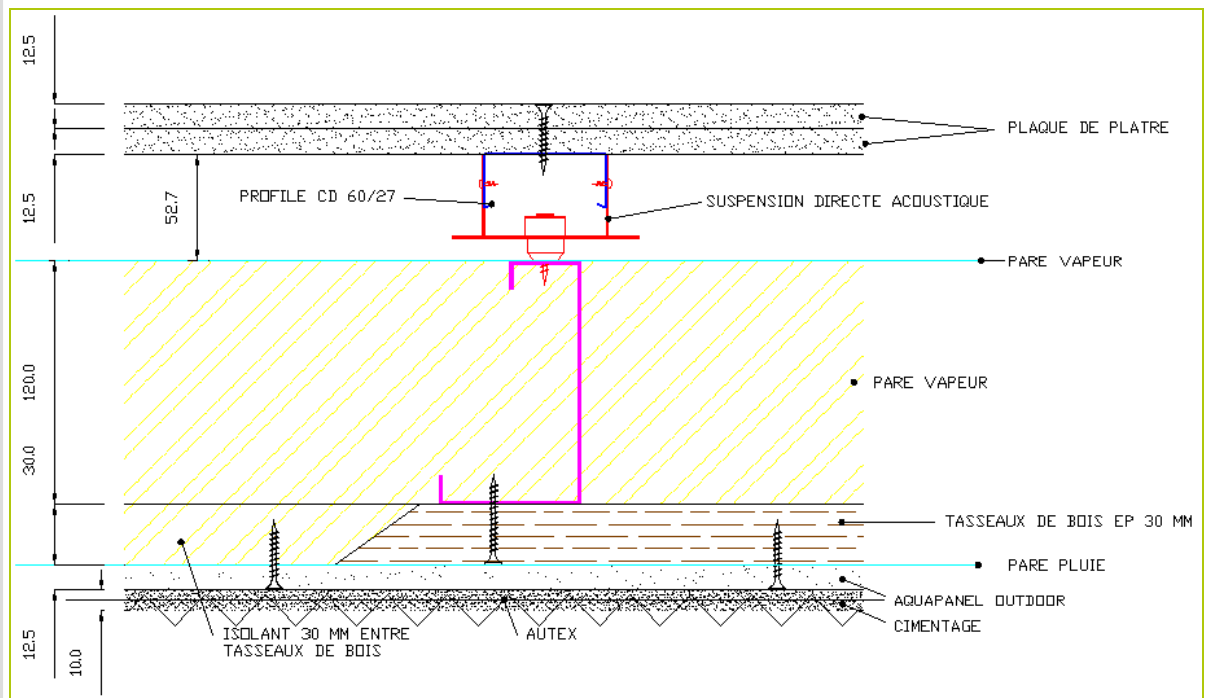


Fig. 40 : plan et composition de la paroi

- Les maisons ouvrières modestes sont caractérisées par de petits volumes, une rationalisation des surfaces de plancher chauffé et une faible largeur de façade : les murs mitoyens ne sont donc pas isolés, pour éviter de diminuer la largeur utilisable.
- Dans la toiture inclinée, 15 cm de laine minérale ont été ajoutés aux 6 cm existants. La toiture plate de l'annexe a été complètement refaite et comporte 24 cm d'isolant.
- Le plancher (sur cave pour le volume principal, sur sol pour la cuisine en annexe) a été isolé par 4 cm de polyuréthane, ce qui est assez rare dans la rénovation, parce que cette intervention requiert généralement de creuser le plancher existant ou de relever le niveau général du rez-de-chaussée. La résistance thermique du plancher est supérieure à la résistance minimale requise ($1 \text{ m}^2\text{K/W}$).
- La façade arrière a été renforcée par endroits (des fissures ont été constatées sur chantier) et est maintenant protégée par 8 cm de laine minérale placés à l'extérieur, sous un revêtement en crépis.
- Tous les châssis existants, dans les parois conservées rénovées, ont été changés par des châssis en aluminium à coupure thermique et des doubles vitrages ($U_g = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$). Les nouveaux châssis placés dans la nouvelle façade à rue ont la même composition. Les lucarnes de toiture partagent le même type de vitrage, mais celui-ci est placé dans des châssis en bois.

▪ **Systemes :**

- Contrairement au bâtiment « Ferrer 13 », la ventilation est ici semi-mécanisée, avec des extracteurs placés dans les locaux humides que sont la cuisine, la salle d'eau et le WC. Il s'agit d'un système moins performant que la ventilation double flux avec récupération de chaleur, mais plus souvent placé dans les bâtiments rénovés grâce au plus faible encombrement des gainages nécessaires. Ici encore, les petites dimensions de la maison ouvrière justifient des choix performantiels.
- À l'instar de la rue Ferrer, une chaudière gaz à condensation a été placée pour la production de chauffage et d'eau chaude sanitaire. Une pompe à chaleur air/eau ou sol/eau était initialement prévue, mais le contexte budgétaire n'a pu concrétiser ce projet.
- Pour les mêmes raisons économiques, les panneaux solaires prévus dans le projet initial ne sont pas placés.

À l'instar de « Ferrer 13 », nous allons ici dresser un résumé du bilan financier de l'opération de rénovation de « Molinay 34 » :

- Acquisition du bâtiment : 87.375 €, frais compris. Ici aussi, c'est le Service Politique des Grandes Villes qui est intervenu pour l'achat.
- Coûts des travaux (mission d'architecture comprise) : ± 126.380 € (réparti en 112.940 € pour les travaux et 13.440 € pour les frais d'architecte). Ce montant est entièrement pris en charge par Eriges dans ce chantier.
- Le montant global de l'opération s'élève donc à 213.755 €, soit le montant total que tout investisseur privé devrait déboursier pour obtenir un résultat équivalent (sans l'appui des Grandes Villes).
- Le loyer demandé s'élève à 700 € par mois, ce qui n'est pas excessif pour une maison avec 3 chambres, rénovée et performante. La rapidité avec laquelle des occupants ont été trouvés en est d'ailleurs la preuve.
- Le rendement locatif moyen est évalué à 5,7%, et le temps de retour sur investissement à 22 ans, ce qui est relativement élevé. À noter toutefois qu'en cas d'investissement privé, le montant des charges (diminuées grâce à la meilleure performance du bâtiment) serait à prendre en compte dans le calcul de rentabilité, ce qui n'est pas le cas ici puisque l'investissement est réalisé en vue d'une location (seul le loyer est considéré comme rentrée).

10.2.4. LCA/LCC

Le Life Cycle Assessment (LCA ou ACV en français pour Analyse du Cycle de Vie) est une technique utilisée pour évaluer les impacts environnementaux d'un bâtiment tout au long de son cycle de vie, considérant les impacts de ses matériaux autant que ceux de l'énergie utilisée pendant ses années de service. De manière similaire, les coûts d'un bâtiment au travers de son cycle de vie sont évalués grâce au Life Cycle Costing (LCC, une analyse des coûts sur le cycle de vie).

La technique de l'ACV est définie par l'Organisation Internationale de Normalisation ISO (normes ISO 14040 et 14044). Elle se déroule en 4 phases :

- Phase de définition des objectifs et du champ des études, qui doit décrire :
 - Le système de produit étudié
 - L'unité fonctionnelle
 - La frontière du système
 - Les types d'impacts
- Phase d'inventaire, qui consiste en un recueil de tous les intrants (matériaux et énergie) et extrants (émissions dans l'air, l'eau et le sol) du système de produit étudié, et ce pour chaque bâtiment.
- Phase d'évaluation de l'impact, qui consiste en l'évaluation des impacts environnementaux potentiels du système de produit étudié, et ce pour chaque bâtiment.
- Phase d'interprétation des résultats obtenus pour chaque bâtiment.

Une ACV permet généralement de faire des comparaisons entre 2 systèmes, que ce soit 2 systèmes en compétition, un système et ses alternatives ou encore un système et une référence. Les comparaisons peuvent également se rapporter aux phases du cycle de vie d'un même système. Dans le cas des bâtiments « Ferrer 13 » et « Molinay 34 », les projets rénovés seront donc analysés en parallèle avec certaines rénovations alternatives, développées et analysées pour comparaison avec les projets « as-built ». Voici les alternatives prévues pour les deux bâtiments :

- « Ferrer 13 »
 - La première alternative proposée est de remplacer la toiture cintrée métallique par une toiture de composition plus traditionnelle, avec une structure en bois, une quantité équivalente d'isolation thermique et une finition de tuiles en terre cuite. Sa performance en termes de PEB est résumée dans le rapport du logiciel : [ULg RapportLog PEB Ferrer Alternative1.pdf](#).
 - La seconde alternative voit l'isolation des murs de façade appliquée par l'extérieur et recouverte par un enduit de finition de façade. Le rapport PEB correspondant est [ULg RapportLog PEB Ferrer Alternative2.pdf](#).
- « Molinay 34 »
 - La première version comparative consiste à imaginer la reconstruction de la façade avant avec un système plus traditionnel, composé d'une structure en blocs de terre cuite, une isolation de polystyrène expansé et un revêtement extérieur de crépis. La performance énergétique de cette autre façade a été prise équivalente à celle de la façade réellement placée, nous permettant de conserver l'analyse PEB réalisée (voir [ULg RapportLog PEB Molinay Rénové.pdf](#)).

- La seconde alternative (analysée uniquement par ArcelorMittal dans son rapport [AMLR RapportFinal LCA.pdf](#)) a supposé la destruction complète de la maison et une reconstruction complète d'un bâtiment aux mêmes propriétés géométriques avec le système Styltech mis en avant par la façade réellement reconstruite. Un doublage des murs mitoyens était également prévu avec le même système. Le rapport du fichier PEB établissant sa performance est donné en annexe : [130619 ULg RapportLogPEB Molinay Reconstruit.pdf](#).

Le CSTC ([130411 CSTC RapportFinal LCALCC.pdf](#)) détaille les résultats selon la méthode 'ReCiPe' qui tient compte d'un plus grand éventail d'indicateurs environnementaux : déplétion de l'ozone, acidification terrestre, eutrophisation de l'eau, toxicité humaine...

ArcelorMittal fournit les résultats de ces ACV ([AMLR RapportFinal LCA.pdf](#)) pour les 2 indicateurs suivants :

- Le potentiel de réchauffement climatique, noté GWP et exprimé en t-CO₂eq
- La demande en énergie primaire, notée PED et exprimée en GJ

Certains paramètres de l'étude doivent être fixés dès le départ :

- L'unité fonctionnelle correspond aux bâtiments dans leur configuration rénovée pour une durée de vie de 60 ans. Seuls les bâtiments sont pris en compte dans ces analyses, excluant leur environnement direct (routes, etc.).
- Les frontières du système ou « les phases qui sont prises en compte » :
 - La phase de production des matériaux utilisés pour la rénovation (extraction des matières premières, transport du site d'extraction jusqu'à l'usine de fabrication des matériaux, transformation des constituants bruts, fabrication du produit ou du matériau...).
 - La phase d'usage du bâtiment après rénovation (consommations d'énergie de chauffage, d'eau chaude sanitaire et des auxiliaires).
 - Le remplacement des matériaux pendant la durée de vie considérée du bâtiment.
 - La phase de transport des matériaux depuis les sites de production jusqu'aux chantiers.
 - La phase de construction des bâtiments.
 - La démolition du bâtiment et la « fin de vie » des matériaux.
 - Les phases suivantes ne sont pas prises en compte :
 - Les différents impacts produits par les engins de levage pendant la phase de construction du bâtiment.
 - La production et le remplacement des différents systèmes du bâtiment (chauffage, ventilation, ECS...), des appareils domestiques (électroménagers, lampes...) et des autres types de fournitures (éviers, cuisine, douche...).

- L'entretien « quotidien » de la maison (nettoyage, peinture...).
- L'inventaire du cycle de vie :
 - Les phases de production et fin de vie, mesurées par les quantités des matériaux utilisés, calculés sur base des plans et métrés fournis par l'architecte et des corrections apportées par des visites régulières du chantier.
 - La phase d'usage, qui regroupe les différents postes de consommation liés à l'occupation du bâtiment par l'utilisateur, calculées par l'ULg sur base du logiciel PEB. Dans le cas d'une occupation résidentielle, les consommations prises en compte sont le chauffage, l'Eau Chaude Sanitaire (ECS), et l'électricité consommée par les auxiliaires. Le rez-de-chaussée commercial a été considéré comme une zone de service, et le calcul des consommations se base sur les consommations de chauffage, des auxiliaires et d'éclairage. La phase d'usage calculée dans le cadre de ces ACV ne prend pas en compte le refroidissement fictif.

D'autres documents traitant de la méthodologie appliquée pour l'étude LCA sont les suivants :

- [1108 to 1201 AMLR RapportScientifique.pdf](#)
- [AMLR OrdreDuJour Réunion LCALCC.pdf](#)
- [110527 AMLR PrésentationParticipationTâches4&7.pdf](#)

En ce qui concerne le Life Cycle Costing (LCC), seul le CSTC l'a abordé dans son rapport [130411 CSTC RapportFinal LCALCC.pdf](#).

Les calculs de LCC (et de Whole Life Cost – WLC) sont réalisés en accord avec la norme ISO 15686-5. Les coûts de construction, d'utilisation (consommation d'énergie, nettoyage...), de maintenance (préventive ou curative, remplacements...) et de fin de vie sont pris en compte dans le calcul du LCC. Dans le calcul du WLC, les externalités (coûts causés par le bâtiment, mais à charge d'une tierce partie), coûts de non-construction et revenus (loyers, subsides...) sont ajoutés. Toutefois, les bâtiments loués sont vus comme un tout, incluant tous les « cash flows ». Les loyers sont donc hors de propos, puisqu'ils sont à la fois un coût (pour les locataires) et un revenu (pour le propriétaire), résultant en un flux financier net nul au niveau du bâtiment.

L'indicateur économique utilisé pour décrire le LCC est la Valeur Actuelle Nette.

Ici également, certains paramètres de l'étude doivent être précisés :

- La période d'analyse (30 ans dans ce cas, la plus fréquente période d'analyse utilisée dans le LCC : il s'agit d'un compromis acceptable entre la prise en compte des effets à long terme des décisions conceptuelles et la recherche d'un temps de retour sur investissement acceptable).
- L'inflation, l'augmentation du niveau de vie global, pris dans ce cas à 2,3% pendant toute la période d'analyse (moyenne des 10 dernières années de l'indice des prix à la consommation, fourni par le Service Public Fédéral

Economie).

- Les prix de l'énergie (et leurs scénarii d'évolution) : 0,07 €/kWh pour le gaz, 0,23 €/kWh pour l'électricité.

En ce qui concerne les coûts de fin de vie, trois scénarii sont envisagés par le CSTC dans son étude :

- Le premier scénario prévoit une continuation de la location du bâtiment au bout des trente ans. Aucun coût ou revenu particulier n'intervient à la fin de la période analysée
- Le second scénario prévoit la vente des appartements en fin de période d'analyse, à une valeur du marché évaluée à 1650 €/m².
- Le troisième scénario considère également la vente des appartements au bout des trente ans, mais une valeur du marché bien moindre (donc une inflation plus faible dans la période considérée) : 1180 €/m².

10.3. Résultats, conclusions et livrables

10.3.1. Suivi des chantiers

L'entièreté de l'étude de la tâche 7 est constituée d'une multitude de résultats, distillés au fur et à mesure du projet, visibles au travers d'une série de documents annexés :

- Rapports scientifiques reprenant l'évolution progressive des études menées sur l'étude des enveloppes de déperdition (PEB, Trisco, nœuds constructifs, transfert de vapeur d'eau...) des situations existante et rénovée.
 - [1002 to 1008 ULg RapportScientifique.pdf](#)
 - [1008 to 1107 ULg RapportScientifique.pdf](#)
 - [1108 to 1201 ULg RapportScientifique.pdf](#)
- Autres rapports (logiciel PEB, étude des enveloppes des bâtiments...)
 - [ULg RapportLogPEB Molinay Rénové.pdf](#) établissant la performance énergétique du bâtiment « Molinay 34 » après rénovation.
 - [ULg RapportLogPEB SituationInitiale Ferrer.pdf](#), établissant la performance énergétique du bâtiment « Ferrer 13 » dans sa situation initiale avant rénovation.
 - [ULg RapportlogPEB Ferrer Rénové.pdf](#), établissant la performance énergétique du bâtiment « Ferrer 13 » après rénovation.
 - [ULg RapportLogPEB Molinay Initial.pdf](#) établissant la performance énergétique du bâtiment « Molinay 34 » dans sa situation initiale avant rénovation.
 - [111114 ULg EtudeToiture Ferrer.pdf](#), un document établi lors de l'étude demandée par ArcelorMittal et Knauf sur la nouvelle toiture construite pour couvrir bâtiment « Ferrer 13 ». À noter que cette étude a permis de décider d'ajouter les 4 cm de laine minérale

supplémentaires sous la couverture (qui n'apparaissent donc pas dans ce document, mais bien dans le document [130701 ULg RapportEnveloppeFerrer.pdf](#).

- [120309 ULg RapportEtudeFaçadeMolinay.pdf](#), un document établi lors de l'étude demandée par ArcelorMittal et Knauf sur la nouvelle façade érigée pour le bâtiment « Molinay 34 ».
 - [130701 ULg RapportEnveloppeFerrer.pdf](#), un rapport complet sur l'étude de l'enveloppe de déperdition du bâtiment « Ferrer 13 ». Il reprend l'étude des parois (avec le logiciel PEB et, en cas de nécessité, les logiciels Trisco et Glasta) et des nœuds constructifs (un résumé de la méthode et une analyse des principaux nœuds, y compris les six nœuds détaillés dont l'étude théorique sera comparée aux résultats du monitoring du CSTC).
 - Les 3 rapports de Cenaero sur leur étude des nœuds constructifs particuliers à la structure métallique de la toiture « Ferrer 13 » : [120520 AMLR Cenaero RapportEtudeToitureFerrer.pdf](#), [130429 AMLR Cenaero RapportNC1.pdf](#) et [121015 AMLR Cenaero RapportNC2.pdf](#).
- Présentations :
- [110527 ULg Présentation ComitéGestion.pdf](#), une présentation réalisée par l'ULg en cours d'étude des nœuds constructifs
 - [120203 ULg Présentation ComitéGestion.pdf](#), présentant l'étude de parois particulières (telles que celle du mur plein existant en briques, isolé par l'intérieur, celle de la toiture de la rue Ferrer ou encore celle des anciens caissons à volets) et de nœuds constructifs.

Nous renvoyons donc à la littérature jointe pour toute information sur les performances des bâtiments, avant et après rénovation. Nous reprendrons uniquement ci-dessous les résultats globaux « avant/après » selon la PEB :

10.3.1.1. « Ferrer 13 »

Avant rénovation, le bâtiment avait une performance estimée fort médiocre (comme nous nous y attendions suite au rapport du monitoring du bâtiment réalisé par le CSTC avant les travaux, résultats intégrés dans le calcul PEB) :

Voici, pour information et comparaison avec les performances après rénovation, les valeurs U des principales parois de déperditions :

- Murs extérieurs pleins en briques : $U = 2,3 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Murs de l'ancienne annexe : $U = 3,25 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Fenêtres : $U = 3 \text{ W/m}^2\text{K}$ pour les châssis PVC avec un ancien double vitrage (les « vitrines » du rez-de-chaussée) ; $5,07 \text{ W/m}^2\text{K}$ pour les châssis bois avec simple vitrage (dans l'ancienne annexe) ; $6,73 \text{ W/m}^2\text{K}$ pour les châssis en aluminium avec simple vitrage (aux étages).

- Plancher sur cave (non isolé par après) : $U_{\text{équivalent}} = 1,39 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Plancher sur sol (non isolé par après) : $U_{\text{équivalent}} = 0,72 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Toit plat de l'ancienne annexe : $U = 1,54 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Toiture inclinée : $U = 1,7 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Nom	U/R	K	Ew	Espéc	Ventil.	Surch.
service RDC	✘	✘ 172	✘ 287	-	✘	-
appartement R+1	✘	✘ 172	✘ 462	✘ 742	?	✓
appartement R+2	✘	✘ 172	✘ 374	✘ 616	?	✓
appartement R+3	✘	✘ 172	✘ 502	✘ 1.133	?	✓
communs	✘	✘ 172	-	-	-	-

Exigences K

Résumé

Niveau K	172,00	! Cette exigence n'est pas remplie.
Valeur U moyenne Um	2,29 W/m ² .K	
Surface de déperdition At	729,00 m ²	
Volume protégé	1.445,84 m ³	
Compacité	1,98 m	
Le coefficient de déperdition de chaleur par transmission dû à la construction	1.668,29 W/K	
Le coefficient de déperdition de chaleur par transmission dû aux nœuds constructifs	0,00 W/K	
Le coefficient de déperdition de chaleur totale par transmission	1.668,29 W/K	

Fig. 41 résultats complets (selon la PEB) du bâtiment « Ferrer 13 » avant rénovation

Certaines de ces parois ont été isolées a posteriori, comme nous le savons maintenant ; d'autres ont été déconstruites et remplacées par de nouvelles parois (au même endroit, ou renfermant de nouveaux volumes). Voici, pour comparaison, les valeurs U des principales parois de déperdition du bâtiment après rénovation :

- Murs extérieurs du rez-de-chaussée, non isolés mais recouverts de pierre : $U = 1,52 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- Murs extérieurs, donnant sur la « dent creuse », isolés par l'extérieur avec 10 cm de laine minérale placée entre les éléments d'une structure en bois supportant le revêtement extérieur en acier : $U = 0,39 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- Anciens caissons à volets découverts en cours de chantier, remplis ensuite d'une structure en bois et de 14 cm de laine minérale : $U = 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- Fenêtres du rez-de-chaussée, composées de l'ancien châssis en PVC et d'un nouveau double vitrage ($U_g = 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$) : $U_w = 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- Les planchers sur cave et sur sol n'ont pas changé.
- Plafond du rez-de-chaussée sous le seuil d'entrée de l'appartement

du 1^{er} étage : $U = 0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$.

- Murs extérieurs pleins en briques, isolés par l'intérieur par 12,5 cm de laine minérale (7,5 desquels sont placés entre les éléments d'une structure de contre-cloison en acier) : $U = 0,275 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Nouveaux murs extérieurs de la nouvelle annexe (composés d'une maçonnerie en blocs creux de béton lourd, de 8 cm de polyuréthane et d'une maçonnerie de parement en briques) : $U = 0,29 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- Fenêtres des étages, composées d'un châssis en aluminium à coupure thermique et d'un double vitrage ($U_g = 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$) : $U_w = 1,68 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- Toiture cintrée métallique couvrant le troisième étage, renfermant 23 cm de laine minérale : $U = 0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- Toiture plate de la nouvelle annexe : $U = 0,19 \text{ W/m}^2\text{K}$

Les résultats globaux sont donnés ci-dessous (Fig. 42). Pour rappel, ils tiennent compte, outre de l'isolation mentionnée ci-dessus, des paramètres suivants :

- Chauffage par chaudière gaz à condensation (avec un rendement de production à 30% de charge de 108%), une émission par radiateurs, une régulation...
- La présence dans chaque appartement d'une ventilation double flux avec récupération de chaleur (rendement de récupération selon la EN308 : 90%)
- La production instantanée d'ECS via la chaudière à condensation.

Nom	U/R	K	Ew	Espéc	Ventil.	Surch.
service RDC	✘	✔ 41	✘ 130	-	✔	-
appartement R+1	✔	✔ 41	✔ 73	✔ 107	✔	✔
appartement R+2	✔	✔ 41	✔ 61	✔ 90	✔	✔
appartement R+3	✔	✔ 41	✔ 81	✔ 146	✔	✔

Exigences K	
Résumé	
Niveau K	41,00
Valeur U moyenne Um	0,57 W/m ² .K
Surface de déperdition At	720,59 m ²
Volume protégé	1.505,56 m ³
Compacité	2,09 m
Le coefficient de déperdition de chaleur par transmission dû à la construction	407,54 W/K
Le coefficient de déperdition de chaleur par transmission dû aux noeuds constructifs	0,00 W/K
Le coefficient de déperdition de chaleur totale par transmission	407,54 W/K

Fig. 42 : résultats complets (selon la PEB) du bâtiment « Ferrer 13 » après rénovation

Les efforts consentis pas les différents partenaires (et surtout les efforts financiers du maître d’ouvrage, Eriges), ont donc permis de réduire drastiquement la consommation (au m²) estimée des appartements (et, dans une moindre mesure, du rez-de-chaussée pour lequel les objectifs de rénovation était moins ambitieux dès le départ). Comme le montre la Fig. 42 ci-dessus, ces trois logements respectent maintenant les exigences qui étaient applicables au bâtiment neuf à la date où le permis d’urbanisme a été déposé, alors que les exigences réglementaires nous auraient permis de simplement assurer l’isolation thermique. Ainsi :

- L’appartement du premier étage voit son indicateur E_{spec} passer de 742 kWh/m².an à 107 kWh/m².an, soit une division par 7 (-85,5%) de la consommation au m².
- La consommation de l’appartement du deuxième étage suit la même tendance (division par 7, à peu près : -85,4%). Son niveau de consommation est globalement plus bas parce que cet appartement est complètement « enclavé » entre des espaces chauffés (alors que le 1^{er} étage est adjacent au rez-de-chaussée moins performant et que le 3^{ème} étage possède un volume plus important et une surface de déperdition augmentée par la présence de la toiture cintrée).
- Le troisième étage, justement, présente une réduction de la consommation estimée par unité de surface de plancher chauffé encore plus importante : elle descend de 1133 kWh/m².an à 146 kWh/m².an (-87,2%, soit près de 8 fois moins).

10.3.1.2. « Molinay 34 »

Voici les résultats de performance énergétique avant rénovation :

Nom	U/R	K	Ew	Espéc	Ventil.	Surch.
habitation	✘	✘ 130	✘ 258	✘ 405	?	✓

Exigences K	
Résumé	
Niveau K	130,00 ! Cette exigence n'est pas remplie.
Valeur U moyenne Um	1,78 W/m ² .K
Surface de déperdition At	165,59 m ²
Volume protégé	345,84 m ³
Compacité	2,09 m
Le coefficient de déperdition de chaleur par transmission dû à la construction	293,92 W/K
Le coefficient de déperdition de chaleur par transmission dû aux noeuds constructifs	0,00 W/K
Le coefficient de déperdition de chaleur totale par transmission	293,92 W/K

Fig. 43 résultats complets (selon la PEB) du bâtiment « Molinay 34 » avant rénovation

Comme nous l’avons fait pour le bâtiment « Ferrer 13 », voici un récapitulatif

des performances des différentes parois de déperdition :

- Façades avant et arrière du volume principal (mur plein en briques) :
 $U = 2,3 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Façade arrière de l'annexe (mur plein en briques également, mais moins épais : 29 cm) : $U = 2,7 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Fenêtres verticales, composées de châssis en bois et d'un simple vitrage : $U = 5,03 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- Lucarnes, composées également d'un châssis en bois et d'un simple vitrage : $U = 5,93 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- Plancher sur terre plein : $U_{\text{équivalent}} = 0,71 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Plancher sur cave : $U_{\text{équivalent}} = 1,22 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Toiture inclinée : $U = 0,74 \text{ W/m}^2\text{K}$. Cette toiture comportait déjà en son sein une faible couche de laine minérale qui, malgré la prise en compte d'une valeur λ défavorable, lui attribue déjà une certaine résistance thermique.
- Toiture plate de l'annexe : $U = 2,22 \text{ W/m}^2\text{K}$

Dans le cas de « Molinay 34 », bien que la qualité de l'enveloppe ne soit globalement ni pire ni meilleure que celle de « Ferrer 13 », le bâtiment jouit à l'état initial d'une meilleure performance, que l'on peut attribuer à ses paramètres géométriques : un volume plus faible, moins de surfaces de déperdition et, en conséquences, une meilleure compacité.

Ces mêmes parois, après rénovation, présentent les performances suivantes :

- Comme indiqué précédemment, la façade à rue du bâtiment a été reconstruite avec un système mis au point par ArcelorMittal et Knauf. Cette nouvelle façade a été caractérisée (dans l'étude décrite dans [120309_ULg_RapportEtudeFaçadeMolinay.pdf](#) et au point 7.3.1.2) par une valeur $U = 0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$
- La façade arrière a été isolée par l'extérieur, par un système de crépis sur isolant. Ainsi, la partie basse (façade de l'annexe) voit sa valeur U descendre à $0,33 \text{ W/m}^2\text{K}$, et la partie haute (façade du volume principal) à $0,32 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- Les fenêtres verticales sont neuves et composées d'un châssis en aluminium avec une coupure thermique et d'un double vitrage ($U_g = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$) : $U_w = 1,89 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- Les velux présentent une valeur U_w de $1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$, grâce à un châssis en bois et un double vitrage ($U_g = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$).
- Grâce aux 4 cm de polyuréthane placés sur le plancher existant, le $U_{\text{équivalent}}$ de la partie sur sol est maintenant de $0,43 \text{ W/m}^2\text{K}$; celui de la partie sur cave, de $0,51 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- Aux 6 cm de laine minérale existante dans la toiture inclinée, ont été

rajoutés 15 cm de nouvelle laine minérale (caractérisée cette fois par une valeur λ de 0,035 W/mK). En conséquence, sa valeur U descend de 0,74 W/m²K à 0,24 W/m²K.

- Dans la toiture plate de l'annexe, qui est complètement reconstruite, 18 cm de laine minérale sont associés à 6 cm de fibre de bois pour obtenir un U = 0,17 W/m²K.

Cette nouvelle enveloppe est donc associée à une chaudière gaz à condensation (rendement de production de chauffage à 30% de charge : 108%) qui produit également l'eau chaude sanitaire. Une ventilation simple flux (système C, avec une extraction mécanisée) est installée pour assurer un bon renouvellement d'air.

Les résultats de performance de « Molinay 34 » après rénovation sont donnés dans la Fig. 44 ci-dessous.

Dans le cas présent, la réduction de la consommation par unité de surface de plancher chauffé est de -73% selon la PEB. Cela peut paraître moins impressionnant que les résultats de la rue Ferrer, mais il faut garder en mémoire que :

- La situation énergétique initiale était moins déplorable.
- Le budget investi dans les travaux de rénovation de « Molinay 34 » est bien moins élevé.
- Le bâtiment rénové respecte les exigences applicables aux bâtiments neufs à la date de dépôt du permis d'urbanisme ce qui, en termes de rénovation, est un très bon résultat.

Nom	U/R	K	Ew	Espéc	Ventil.	Surch.
habitation	✘	✔ 37	✔ 95	✔ 151	?	✔

Exigences K	
Résumé	
Niveau K	37,00
Valeur U moyenne Um	0,49 W/m ² .K
Surface de déperdition At	168,54 m ²
Volume protégé	338,89 m ³
Compacité	2,01 m
Le coefficient de déperdition de chaleur par transmission dû à la construction	82,57 W/K
Le coefficient de déperdition de chaleur par transmission dû aux noeuds constructifs	0,00 W/K
Le coefficient de déperdition de chaleur totale par transmission	82,57 W/K

Fig. 44 : résultats complets (selon la PEB) du bâtiment « Molinay 34 » après rénovation

10.3.2. Monitoring

Peu de résultats peuvent être délivrés pour le monitoring, puisque la majeure partie de ceux-ci seront donnés par l'étude du bâtiment « Ferrer 13 » après rénovation (les travaux ne sont pas encore terminés à l'heure de clôturer ce rapport). Certains résultats peuvent cependant déjà être révélés :

10.3.2.1. « Ferrer 13 »

Un test d'infiltrométrie a été réalisé sur le bâtiment avant rénovation, révélant des résultats très médiocres ([CSTC RapportMonitoring Ferrer Eté2010.pdf](#)). Pour rappel, la valeur par défaut du v_{50} (débit de fuite à 50 Pa de différence de pression, par unité de surface de déperdition) utilisable en PEB lorsqu'un test n'est pas réalisé est de $12 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$.

- Bâtiment complet : $17,4 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$.
- Cage d'escalier seule : $40,9 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$.
- Appartement R+1 : $23,7 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$.
- Appartement R+2 : $17,3 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$.
- Appartement R+3 : $20 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$.

Un test comparatif sera réalisé lorsque le chantier sera terminé.

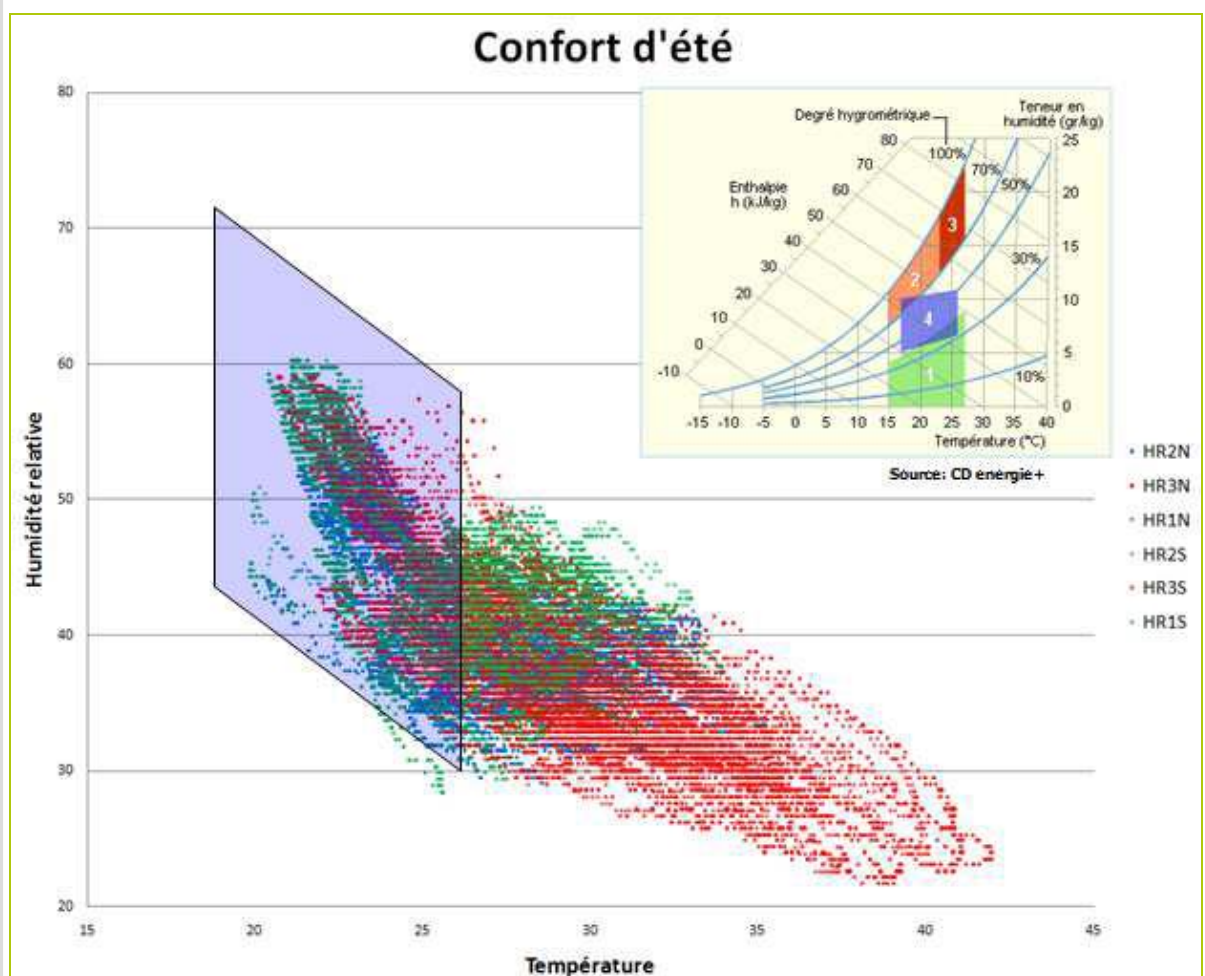


Fig. 45 : couples température-humidité pendant la campagne de mesure. Le parallélogramme représente la

zone de confort, les points en vert / bleu / rouge sont relatifs au 1^{er} / 2^{ème} / 3^{ème} étage.

Une étude du confort hygrothermique à l'intérieur du bâtiment avant rénovation a également été réalisée (voir Fig. 45) et est décrite dans le document [CSTC RapportMonitoring Ferrer Eté2010.pdf](#) :

- À l'intérieur du bâtiment, on a observé une nette stratification des températures et humidités relatives par étage, mais pas de stratification notable au sein d'un même étage.
- Les températures intérieures mesurées pendant une période de canicule sont relativement plus élevées que la température qui règne à l'extérieur, à un endroit ombragé. Au niveau de l'humidité relative de l'air, c'est donc l'inverse (bâtiment peu étanche et inoccupé).
- Les variations extérieures (T° et HR) sont nettement plus prononcées qu'à l'intérieur sur un cycle de 24 heures, le 3^{ème} étage montrant des variations plus prononcées qu'aux étages inférieurs.
- Pour la période de canicule, la température intérieure monte jusque 40°C au 3^{ème} étage et (environ 5°C de moins) aux étages inférieurs. Au niveau de l'humidité relative, elle est plus faible au 3^{ème} étage et parfois même extrêmement basse en journée.
- Les séries extrêmes pourraient peut-être en partie être dues à un renouvellement de l'air plus prononcé. En effet, le 3^{ème} étage est beaucoup moins étanche à l'air que le 2^{ème} étage (l'isolation serait loin d'être la seule à influencer le confort d'été).
- Le graphique ci-dessous (Fig. 45) indique que, globalement, les mesures enregistrées sortent assez fort de la zone de confort communément admise et définie par des intervalles de températures et d'humidités relatives.

D'autres informations sur le monitoring (réalisé avant rénovation ou prévu après travaux) sont disponibles dans les documents suivants :

- [120306 CSTC Présentation MonitoringFerrer.pdf](#)
- [120628 CSTC Présentation MonitoringFerrer 2.pdf](#)
- [CSTC RapportMonitoring Ferrer Eté2010.pdf](#)
- [120309 CSTC RapportPréparationMonitoringAprèsRéno Ferrer.pdf](#)

10.3.2.2. « Molinay 34 »

De manière similaire au bâtiment « Ferrer 13 », un test d'étanchéité à l'air a été réalisé avant la rénovation du bâtiment, révélant un résultat bien plus encourageant ($v_{50} = 5,3 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$, décrit dans le rapport de test [100630 CSTC RapportInfiltrométrieInitiale Molinay.pdf](#)).

Le même test a été réalisé en fin de chantier ([121024 CSTC Rapport InfiltrométrieFinale Molinay.pdf](#)), révélant que les travaux n'ont pas été réalisés avec le soin souhaité, puisque le v_{50} correspondant est de $13,7 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$. Les points de fuite principaux ont été relevés et colmatés.

10.3.3. LCA/LCC

Il est difficile de comparer les résultats délivrés par ArcelorMittal d'un côté ([AMLR RapportFinal LCA.pdf](#)) et par le CSTC de l'autre ([130411 CSTC RapportFinal LCA LCC.pdf](#)), parce qu'il faudrait pour cela connaître le détail des hypothèses utilisées. Voici le plan des résultats donnés par chacun des deux partenaires :

- ArcelorMittal, pour chacun des deux bâtiments, propose les études et résultats suivants :
 - Description du bâtiment.
 - Inventaire du cycle de vie.
 - Impacts durant la phase de vie du bâtiment.
 - Impacts dus à la production et à la fin de vie.
 - Résultats pour les 3 alternatives de la rénovation.
 - Analyse de sensibilité sur les scénarii de fin de vie.
- Le CSTC, pour chacun des deux bâtiments, propose les études et résultats suivants :
 - Description du bâtiment.
 - Méthodologie ACV (le but, la portée, l'inventaire du cycle de vie).
 - Méthodologie LCC.
 - Analyse des impacts environnementaux.
 - Résultats du LCA pour le cas « as-built ».
 - Impacts dus à la production, la construction et la fin de vie.
 - Impacts dus aux remplacements pendant la phase d'usage du bâtiment.
 - Impacts dus à l'utilisation d'énergie pendant la phase d'usage.
 - Analyses comparatives.
 - En général.
 - Discussion des différences.
 - Analyse des coûts.
 - Cas « as-built ».
 - Analyses comparatives.

10.3.3.1. « Ferrer 13 »

La Fig. 46 ci-dessous provient du rapport du CSTC et met en lumière les impacts environnementaux des matériaux employés dans le cas « as-built » de la rue Ferrer. On peut y voir, pour les différentes parois du bâtiment,

l'impact des phases de production, de transport, de construction, de remplacement (certains éléments doivent être remplacés dans la période de 60 ans analysée), d'EOL (« End Of Life » ou « fin de vie ») et celui du potentiel de recyclage.

Le rapport ([130411 CSTC RapportFinal LCALCC.pdf](#)) présente également le même graphique sans tenir compte du potentiel de recyclage ou encore une autre version, sans le remplacement des éléments dont la durée de vie est inférieure à la période analysée, ni le potentiel de recyclage.

Dans le cas de la toiture, la production de l'acier est à l'origine de la majeure part des impacts. Les planchers intermédiaires présentent également un impact important, attribuable au revêtement intérieur (production, traitement, remplacement...). En ce qui concerne les portes et fenêtres, le remplacement complet est prévu après 30 ans, ce qui explique une part d'impact du remplacement égale à celle de la production (le potentiel de recyclage est celui de l'aluminium).

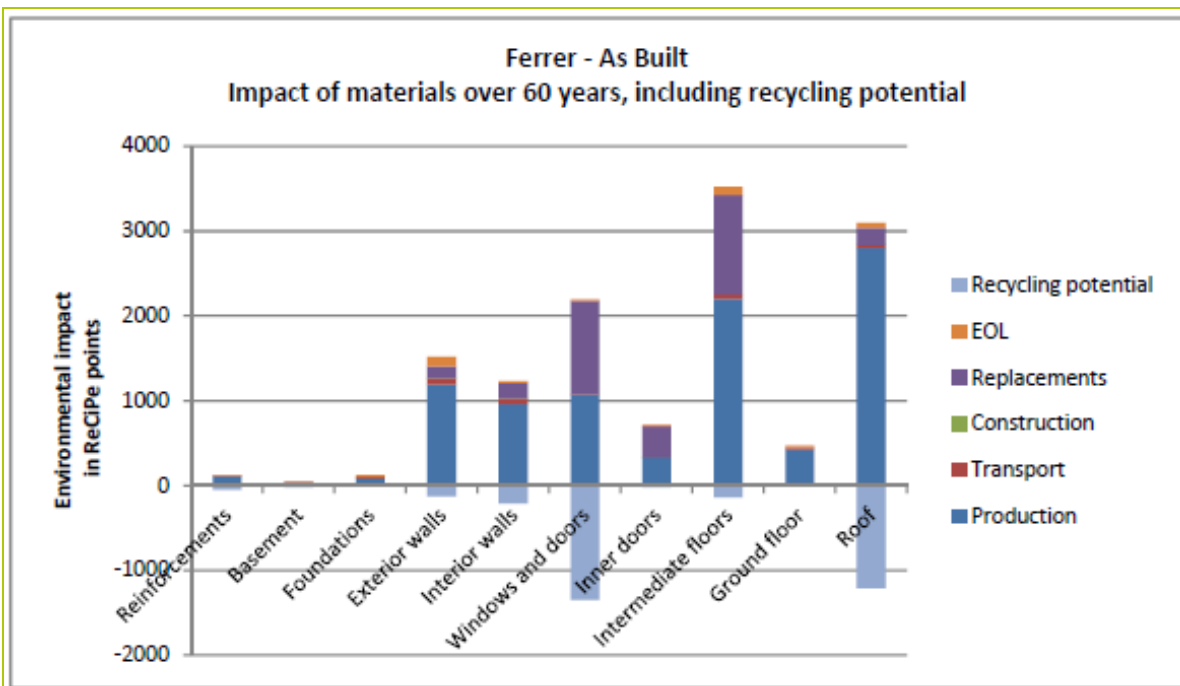


Fig. 46 : Impacts environnementaux des matériaux (remplacements et potentiel de recyclage inclus) du cas « as built » de la rue Ferrer.

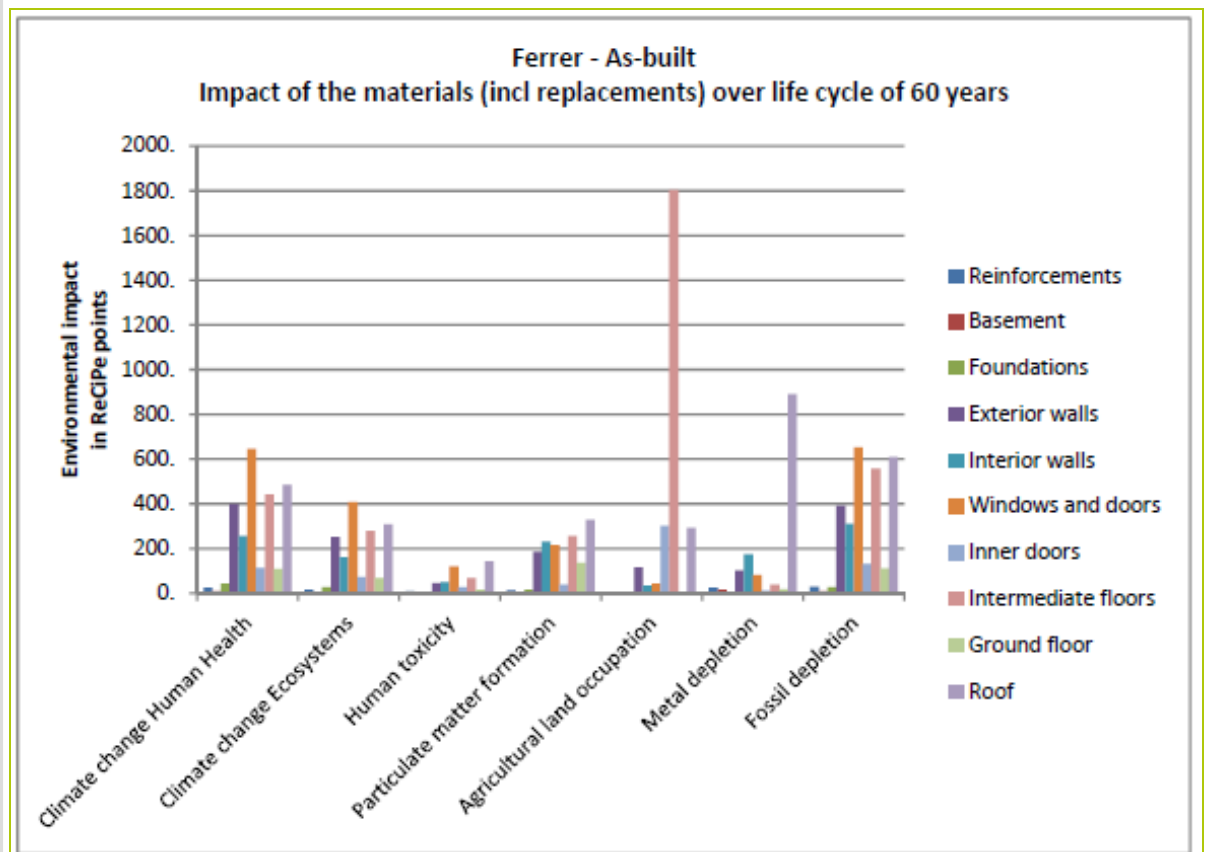


Fig. 47 : Impacts environnementaux des matériaux pour le cycle de vie entier du bâtiment (remplacements inclus) pour les différents indicateurs environnementaux (cas « Ferrer 13 – as built »).

Dans la Fig. 47 ci-dessus, nous pouvons voir la répartition des impacts environnementaux des différentes parois pour chaque indicateur environnemental. Ici également, les planchers intermédiaires présentent un impact important en termes d'occupation des terres agricoles (sylviculture). De manière peu étonnante, la toiture est la principale responsable de l'impact « déplétion des métaux ».

Un autre résultat intéressant proposé par le CSTC est présenté dans la Fig. 48 ci-dessous : il s'agit de la répartition des impacts environnementaux totaux du bâtiment pendant sa durée de vie, pour la période du cycle de vie considérée. De manière peu étonnante, les impacts environnementaux des matériaux ont lieu principalement à la production et au remplacement. Le potentiel de recyclage permet une certaine compensation des impacts après la durée de vie du bâtiment (en dehors des frontières du système). La majeure partie des impacts générés pendant la période de 60 ans considérée l'est pour la production de chauffage et d'eau chaude sanitaire.

Ensuite, une comparaison est réalisée dans l'étude entre le cas « as built » et deux alternatives :

- 1. Une toiture en bois, plus traditionnelle dans sa composition, est placée à la place de la toiture cintrée métallique couvrant le R+3.
- 2. L'isolation des murs extérieurs se fait par l'extérieur et la façade est couverte par un enduit.

La Fig. 49 montre une comparaison des impacts environnementaux des trois scenarii envisagés, pour les différentes phases considérées (production, transport, construction, remplacement, end of life et potentiel de recyclage).

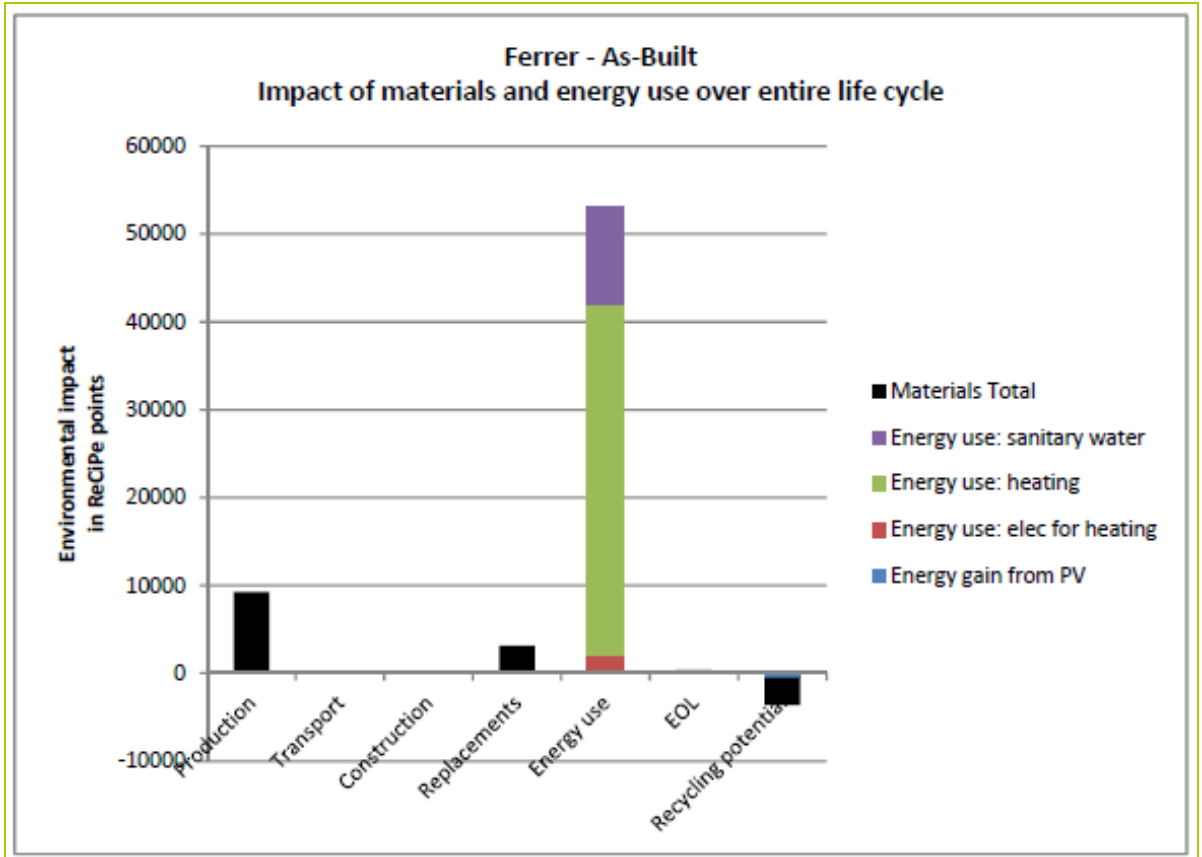


Fig. 48 : Impacts des matériaux et de la consommation d'énergie sur tout le cycle de vie (cas « Ferrer 13 – as built »).

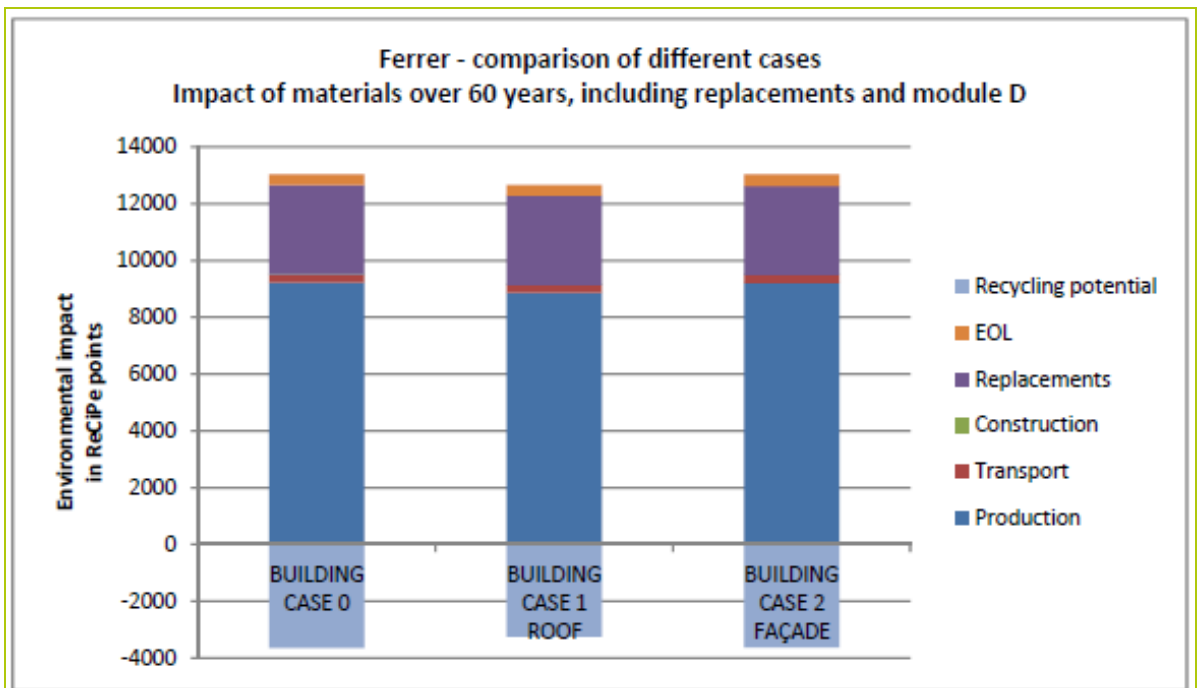


Fig. 49 : Impacts environnementaux des différents cas d'étude (cas 0 : « as-built » ; cas 1 : « toiture

traditionnelle en bois » ; cas 2 : « isolation par l'extérieur des façades »).

On y voit que les différences entre les différents scénarii sont minimes, ce qui est confirmé par les autres graphiques de comparaison visibles dans le rapport [130411 CSTC RapportFinal LCC.pdf](#). La seule différence notable tient dans l'utilisation de bois au lieu de métal pour la toiture.

Par comparaison, voici les résultats délivrés par ArcelorMittal dans son rapport ([AMLR RapportFinal LCA.pdf](#)). Rappelons que les deux indicateurs étudiés sont ici :

- Le GWP (Global Warming Potential) que l'on peut traduire par « potentiel de réchauffement climatique », avec pour unités les tonnes d'équivalent CO₂, ou t-CO₂eq.
- La PED (Primary Energy Demand), appelée « demande en énergie primaire », exprimée en GJ.

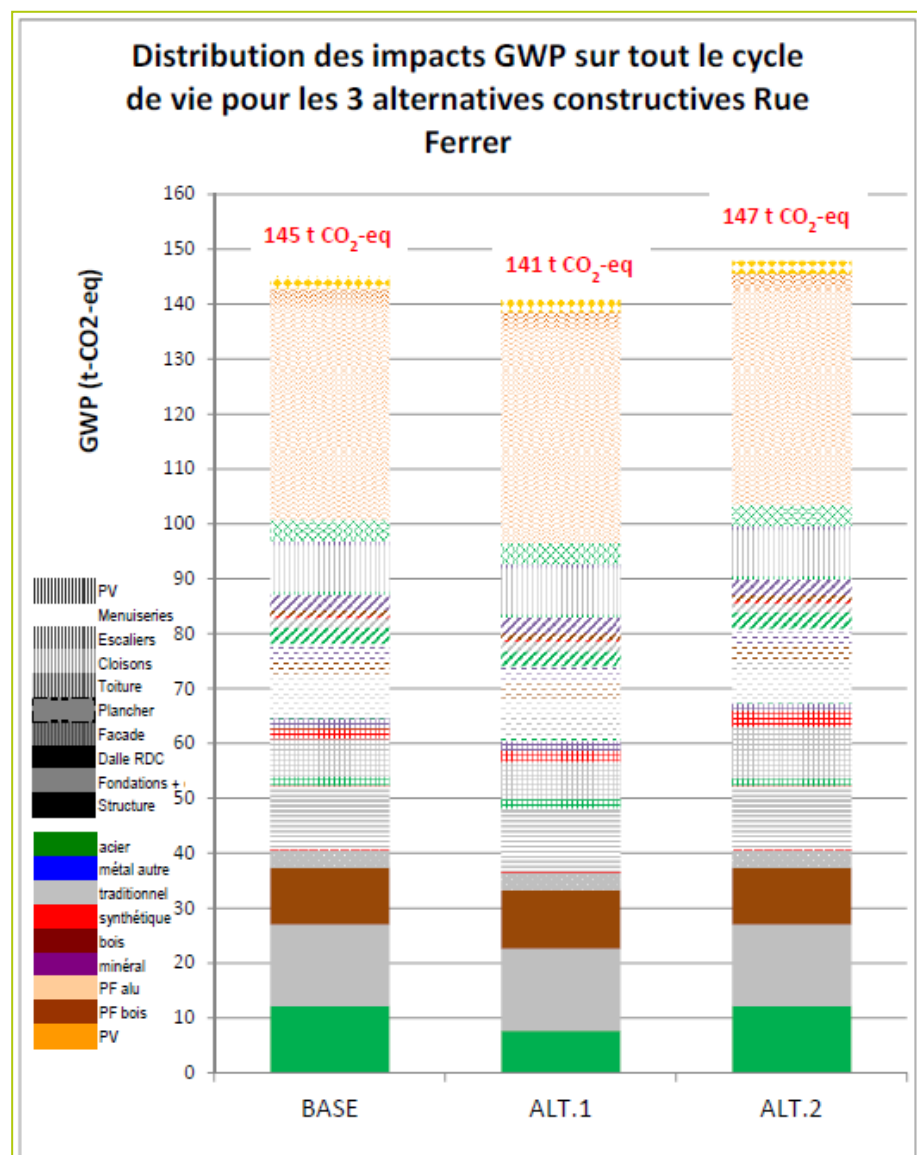


Fig. 50 : Profils environnementaux (GWP) du bâtiment « Ferrer 13 » complet (base = « as-built » ; ALT1 = « toiture en bois » ; ALT2 = « isolation extérieure des façades »).

Les résultats (Fig. 50 et 51) sont comparables à ceux de la Fig. 49 ci-dessus, avec un léger avantage aux solutions incluant une plus faible utilisation de l'acier.

Une remarque est cependant d'importance : « pour l'impact GWP, la différence est de 2 et 3% pour les alternatives 1 et 2 respectivement par rapport à la rénovation de base. On constate que les différences entre les alternatives et la rénovation de base sont encore plus faibles pour l'impact total PED : -0.4% et +1.5%. Or, il est important de signaler que le seuil d'incertitude communément reconnu et admis dans les ACV des bâtiments est de l'ordre de 20%. Ce seuil d'incertitude, qui prend en compte les incertitudes sur les données sources des impacts notamment, fixe une limite en-dessous de laquelle aucune conclusion n'est possible. Les différences entre les alternatives étant inférieures à ce seuil, les solutions de rénovation sont donc considérées comme équivalentes d'un point de vue environnemental. »

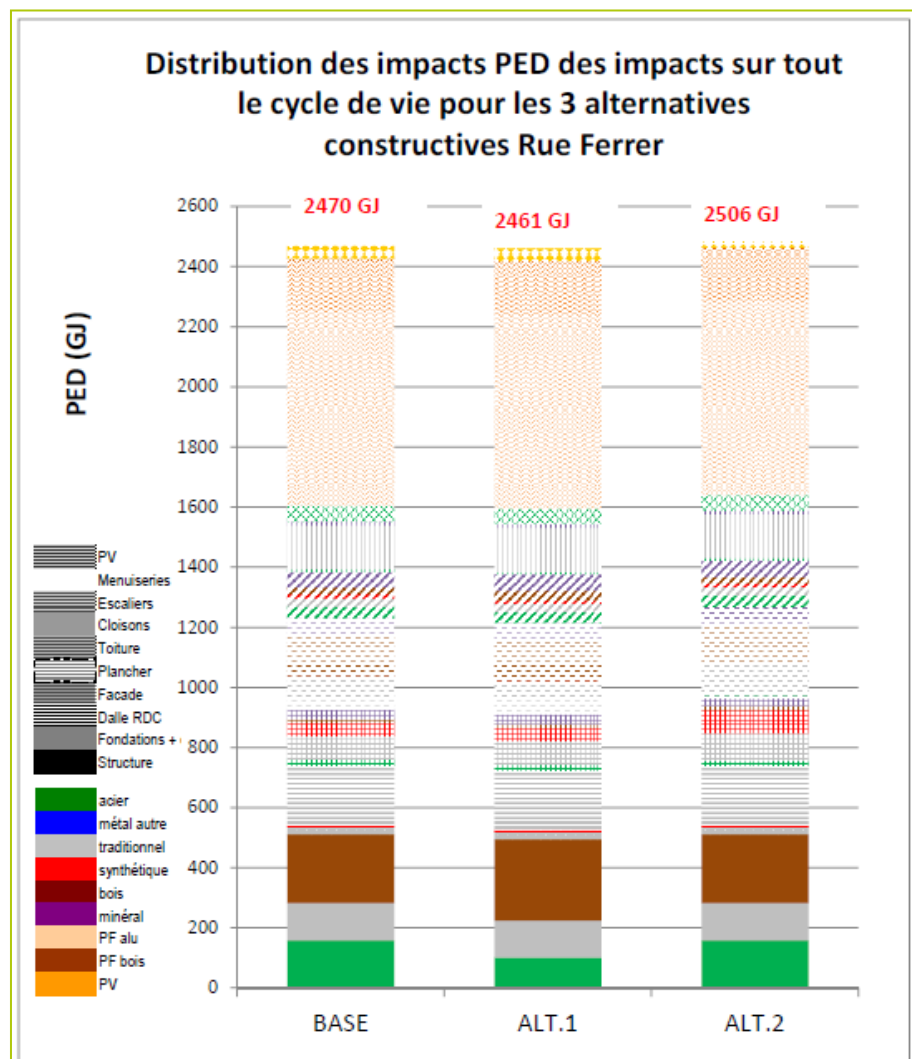


Fig. 51 : Profils environnementaux (PED) du bâtiment « Ferrer 13 » complet (base = « as-built » ; ALT1 = « toiture en bois » ; ALT2 = « isolation extérieure des façades »).

En complément, une analyse de sensibilité est présentée sur deux cas différents de « fin de vie » :

- Scenario Fin de Vie 1 : mise en décharge pour tous les matériaux sauf pour l'acier qui est recyclé à 60% pour les armatures et 90% pour tous les autres types d'acier.
- Scenario Fin de Vie 2 : on considère que le bois est incinéré en fin de vie et que l'on récupère donc de l'énergie, et que le recyclage des métaux est de 100%.

Les graphiques sont visibles dans le rapport ([AMLR RapportFinal LCA.pdf](#)) ; on peut y voir que les impacts GWP et PED diminuent de respectivement 11 et 16%, ce qui représente un bénéfice environnemental considérable.

Le CSTC présente également une étude du « Life Cycle Costing ». Le rapport [130411 CSTC RapportFinal LCC.pdf](#) permet de juger des hypothèses et inventaires réalisés. Pour rappel, le temps d'analyse considéré ici est de 30 ans, et les scénarii de fin de vie sont les suivants :

- Situation de base (scenario 1) : pas de changement de situation au bout de 30 ans, pas de revenus ni de coûts supplémentaires.
- Scenario 2 : le bâtiment est revendu au bout de 30 ans en considérant une augmentation des prix de 6,15% par an.
- Le scenario 3 est identique au scenario 2, mais en tenant compte d'une augmentation des prix de 4,99% par an. Le revenu de la vente sera donc moins élevé.

Les résultats de base sont donnés ci-dessous (Fig. 52) en fonction de la « Net Present Value » ou « Valeur Actuelle Nette » :

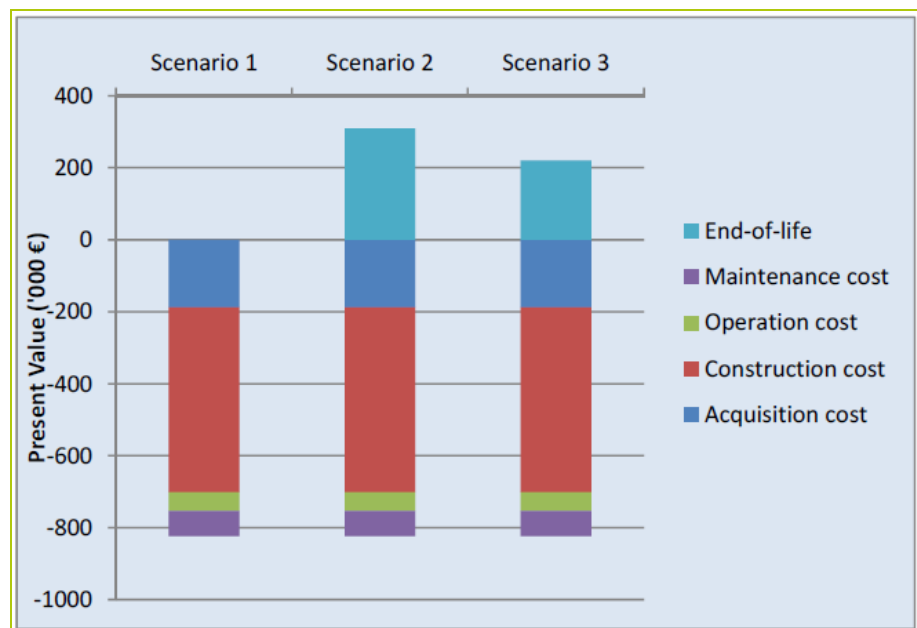


Fig. 52 : Valeur Actuelle Nette des trois scénarii de fin de vie considéré pour le cas « Ferrer 13 – as built ».

Les coûts principaux sont représentés par la rénovation, et par l'acquisition

du bâtiment. Le revenu présumé dans les scénarii 2 et 3, à la fin de la période analysée, ne compensent pas les coûts considérés pendant cette période, résultant en une VAN négative.

Cette analyse est suivie par une étude de sensibilité portant sur le taux d'intérêt considéré dans l'étude, puisqu'il s'agit d'un paramètre difficile à déterminer, mais avec un impact important sur l'étude LCC. La VAN des coûts d'usage et de maintenance va diminuer si le taux d'intérêt augmente, mais celle du revenu de fin de vie va également diminuer. Le résultat est une meilleure (mais toujours négative) valeur de la VAN pour des taux d'intérêt plus faibles.

La sensibilité aux prix de l'énergie a également été étudiée par le CSTC. Le tableau ci-dessous (Fig. 53) reprend la VAN des coûts énergétiques pour différents scénarii d'évolution du prix de l'énergie :

Real yearly price increase	Present Value of Energy Costs
0.75%	-42 181.78
1.25%	-44 983.76
1.75%	-48 040.34
2.25%	-51 377.80
2.75%	-55 025.29
3.25%	-59 015.11
3.75%	-63 383.09

Fig. 53 : VAN des coûts énergétiques pour différents taux d'augmentation des prix de l'énergie (cas « Ferrer 13 – as built »).

Ces différences significatives montrent que des investissements économisateurs d'énergie ne sont pas seulement réalisés pour réduire les coûts énergétiques d'un bâtiment, mais aussi pour réduire la variabilité des coûts.

La comparaison avec les deux rénovations alternatives est également présentée dans la suite du rapport [130411 CSTC RapportFinal LCALCC.pdf](#).

10.3.3.2. « Molinay 34 »

L'analyse des coûts du cycle de vie suit bien évidemment la même trajectoire que celle décrite pour la rue Ferrer, mais les scénarii diffèrent légèrement :

- Situation de base (scenario 1) : pas de changement de situation au bout de 30 ans, pas de revenus ni de coûts supplémentaires.
- Scenario 2 : le bâtiment est revendu au bout de 30 ans en considérant une augmentation des pris de 7,1% par an (soit la moyenne des 25 dernières années).
- Le scenario 3 est identique au scenario 2, mais en tenant compte d'une augmentation des prix de 6,32% par an (la moyenne sur les 7 dernières années).

Les conclusions tirées sur les résultats sont sensiblement les mêmes que

dans le cas de Ferrer : bien que les coûts consentis pour la rénovation (ou « construction » dans le graphique ci-dessous, Fig. 54 et 55) soient moins élevés, la somme de ceux-ci et des coûts d'utilisation restent supérieurs aux revenus de fin de vie pour les scénarii 2 et 3 :

	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
Acquisition cost	-94118.75	-94118.75	-94118.75
Construction cost	-114849.50	-114849.50	-114849.50
Operation cost	-22021.88	-22021.88	-22021.88
Maintenance cost	-13902.90	-13902.90	-13902.90
End-of-life	0.00	119150.83	95227.87
NPV	-244893.03	-125742.20	-149665.16

Fig. 54 : Valeurs Nettes Actuelles des scénarii 1, 2 et 3 pour le cas « Molinay – as built »

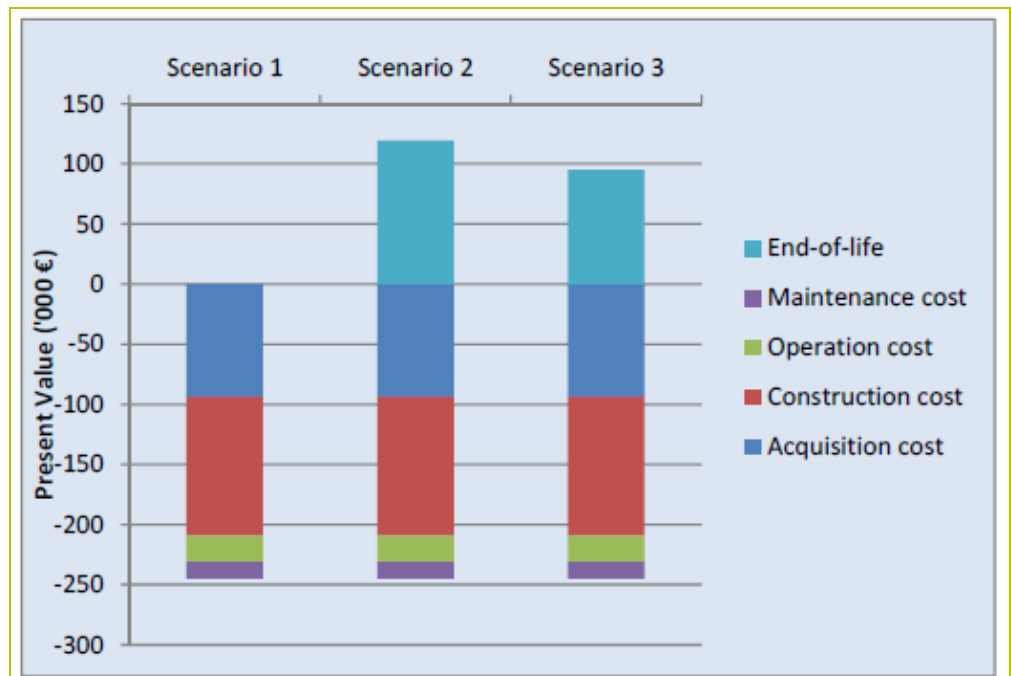


Fig. 55 : Valeur Actuelle Nette des trois scénarii de fin de vie considéré pour le cas « Molinay 34 – as built ».

Les analyses de sensibilité (au taux d'intérêt ou à l'évolution des prix de l'énergie) sont ponctuées de conclusions similaires à celles tirées sur le cas de la rue Ferrer.

La comparaison est également réalisée dans le rapport du CSTC ([130411 CSTC RapportFinal LCCALCC.pdf](#)) avec une solution alternative de rénovation du bâtiment qui voit la façade à rue également reconstruite, mais avec une technique plus traditionnelle employant des blocs de terre cuite et un crépi sur isolant.

Dans l'étude LCA, une autre alternative est proposée, mais uniquement par ArcelorMittal : la prise en compte d'une intervention plus « radicale » dans laquelle le bâtiment existant de la rue Molinay est complètement déconstruit (jusqu'au niveau du rez-de-chaussée) et remplacé par une nouvelle construction (de mêmes caractéristiques géométriques) dont la

totalité de la structure serait composée d'éléments Styltech identiques à ceux placés dans la nouvelle façade du projet as built.

Les Fig 56 et 57 ci-dessous montrent les impacts (en termes de GWP d'abord, de PED ensuite) des trois scenarii envisagés.

On peut voir que les différences d'impacts GWP et PED total entre la rénovation de base et le scenario alternatif n°1 sont négligeables : ces deux solutions sont donc équivalentes d'un point de vue environnemental, en ne considérant que ces 2 impacts. Il faudrait donc compléter cette analyse par d'autres catégories d'impacts, afin d'avoir une vue globale sur le profil environnemental complet du bâtiment rénové.

Comme attendu, l'alternative de rénovation n°2 (la reconstruction complète du bâtiment avec une structure acier) montre des impacts plus importants que la rénovation de base : +41% pour l'impact GWP, et +47% pour l'impact PED. Cela s'explique par la nouvelle structure du bâtiment en acier, qui représente 32% de l'impact GWP total et 47% de l'impact PED total.

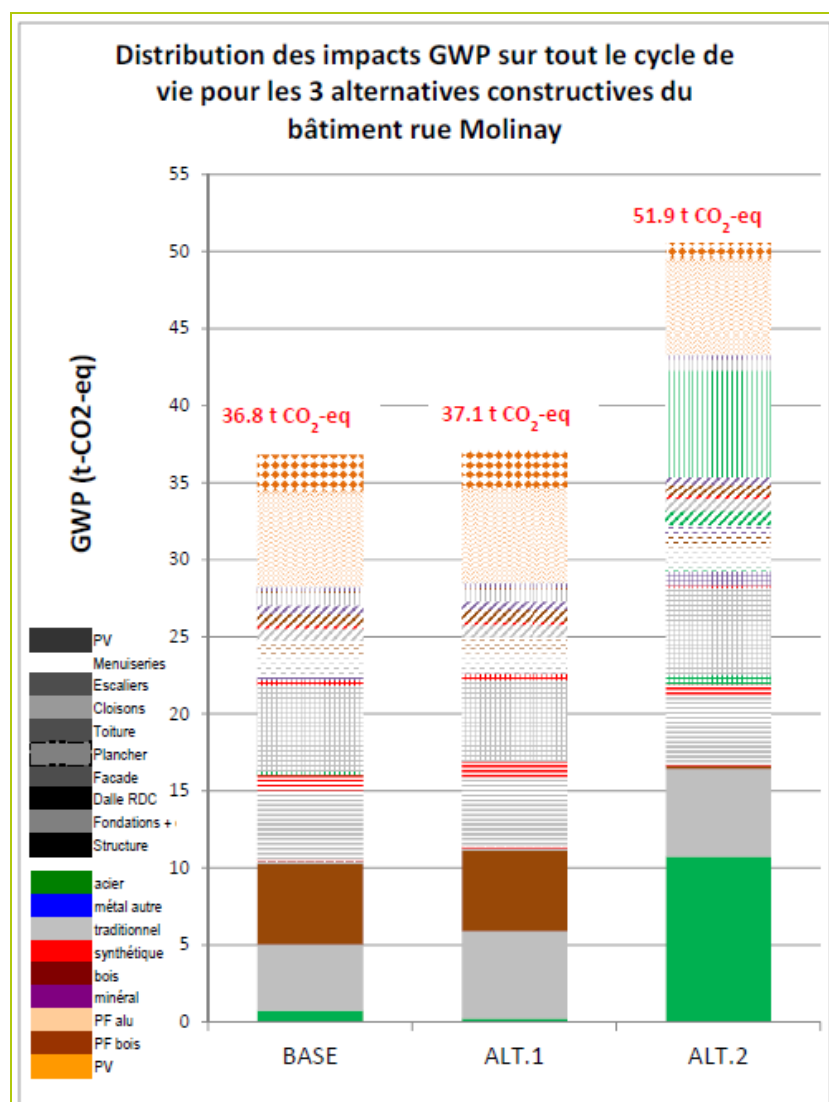


Fig. 56 : Profils environnementaux (en termes de GWP) du bâtiment Molinay 34 complet (base = « as built » ; ALT1 = « façade traditionnelle en terre cuite » ; ALT2 = « reconstruction complète en acier »).

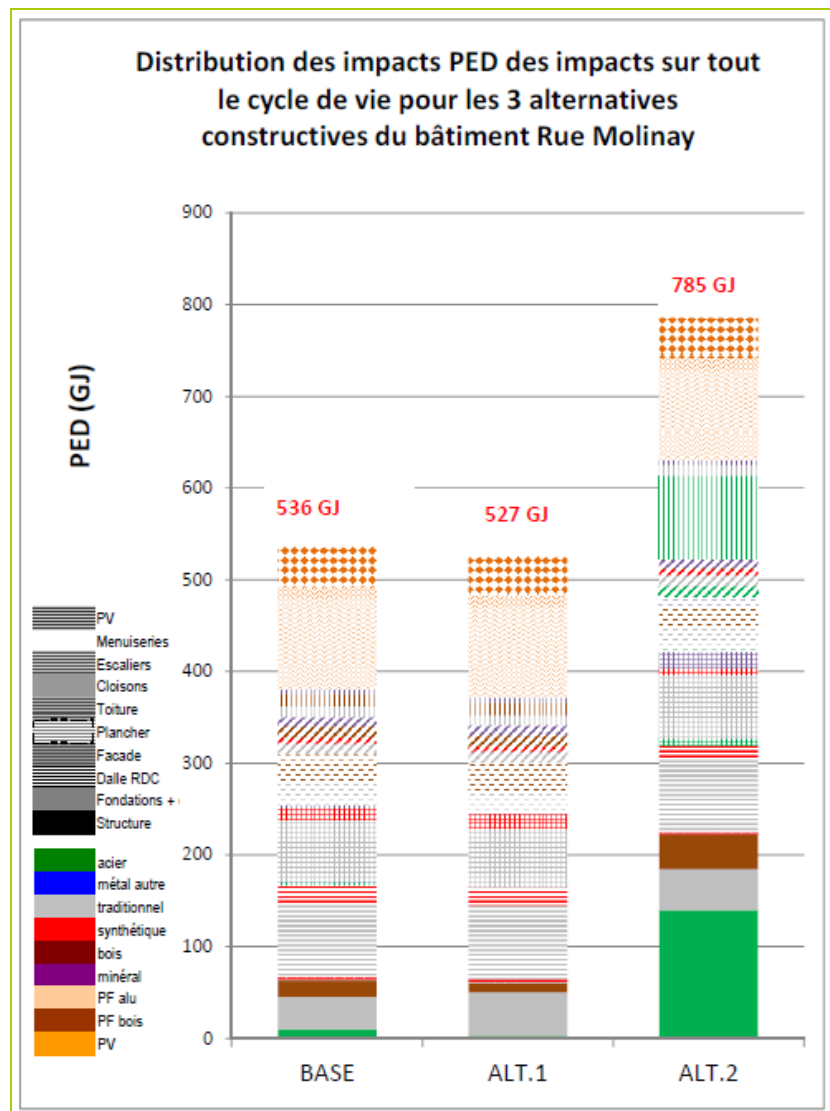


Fig. 57 : Profils environnementaux (en termes de PED) du bâtiment Molinay 34 complet (base = « as built » ; ALT1 = « façade traditionnelle en terre cuite » ; ALT2 = « reconstruction complète en acier »).

Complétons ces informations en concordance selon le conseil d'ArcelorMittal, « par d'autres catégories d'impacts, afin d'avoir une vue globale sur le profil environnemental complet du bâtiment rénové », ce qu'a réalisé le CSTC en comparant les impacts des deux types de façade (la façade Styltech as built et son alternative traditionnelle en terre cuite). Dans la Fig. 58 ci-dessous, nous pouvons voir la part des différents composants de la façade Styltech dans l'impact environnemental de la paroi. L'acier, sans surprise, est responsable de la majeure partie (malgré l'absence de remplacement pendant les 60 ans considérés). Le crépi de façade et les plaques de plâtre intérieures doivent par contre être remplacés après 30 ans.

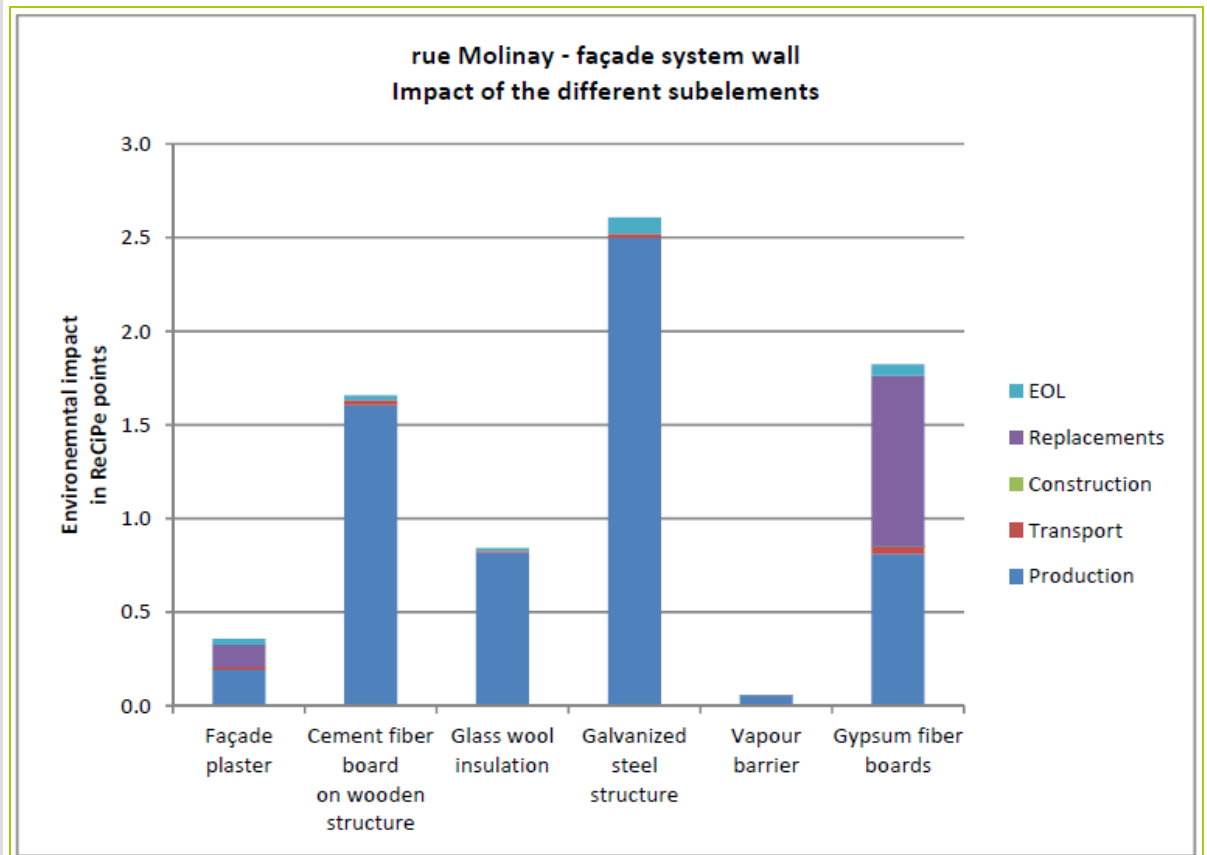


Fig. 58 : Impact environnemental des différents composants de la façade as built pour les différentes phases du cycle de vie

La Fig. 59 ci-dessous étend l’analyse à un éventail d’indicateurs de l’impact environnemental :

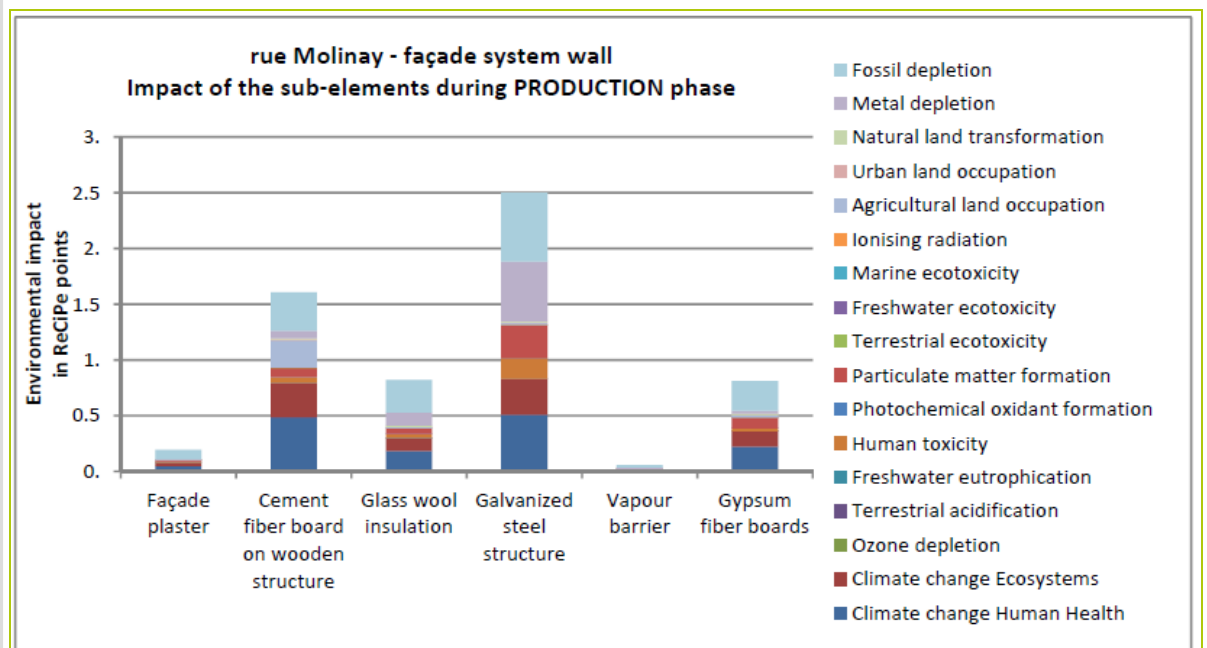


Fig. 59 : Impact environnemental des différents composants de la façade as built pour les différents indicateurs environnementaux.

La comparaison avec la façade alternative se trouve dans les Fig. 60 et 61 ci-dessous. La première donne l'évaluation globale (pour chaque phase du cycle de vie : production, transport, constructions, remplacements, fin de vie) d'1 m² de chaque façade. La seconde détaille l'impact pour chaque indicateur environnemental.

D'une manière générale, l'alternative présente de meilleurs résultats que la situation as built.

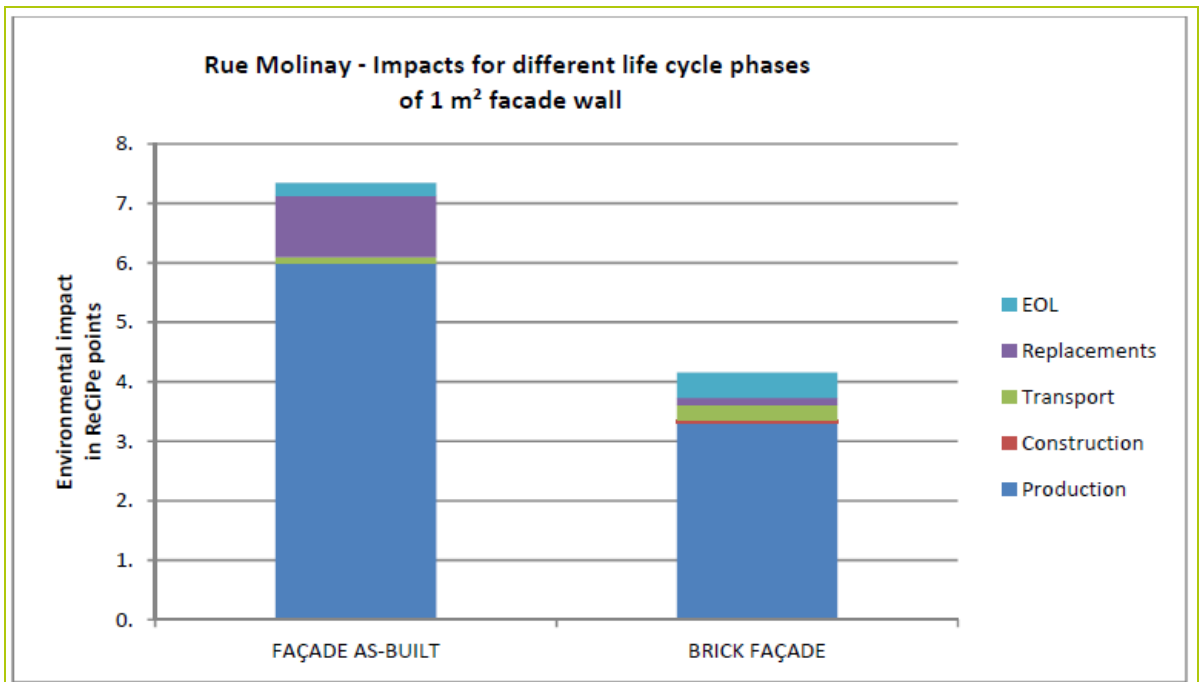


Fig. 60 : impact environnemental d'1 m² de la façade as built et de son alternative traditionnelle pour chaque phase de l'analyse du cycle de vie

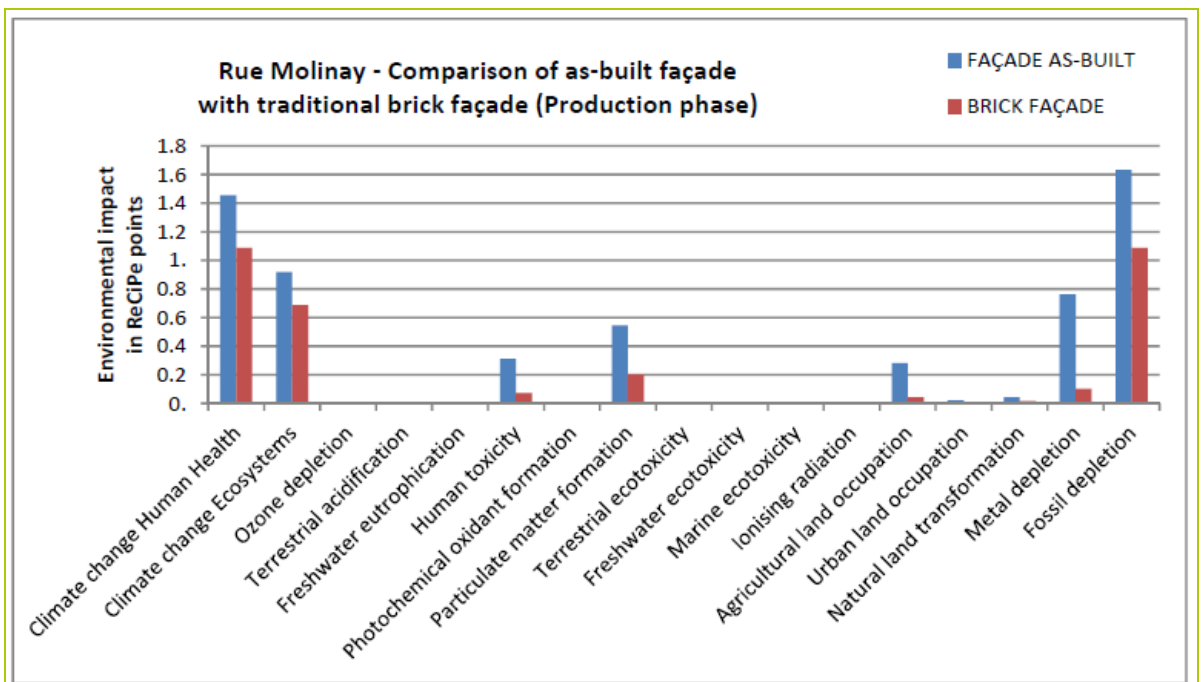


Fig. 61 : Impact environnemental de la façade as built et de son alternative traditionnelle par indicateur environnemental (uniquement la phase de production)

10.3.3.3. Conclusion :

- « Ferrer 13 » :
 - L'impact environnemental principal est à imputer à la phase d'usage (consommation énergétique).
 - L'impact des matériaux représente à peu près 20% de l'impact total sur une période d'analyse de 60 ans.
 - Les comparaisons, à cette échelle, ne montrent pas de différences significatives entre les scénarii.
 - La structure traditionnelle en bois (pour la toiture) présente de meilleurs résultats globaux que la structure métallique d'un point de vue environnemental : la première est cependant pire pour l'utilisation de terres agricoles, la seconde pour la déplétion des métaux. D'un point de vue économique, la structure en bois coûte plus cher en maintenance, mais ce surcoût est compensé par un coût d'investissement plus bas, ce qui aboutit à un coût de cycle de vie plus avantageux comparé à la structure métallique.
 - La différence entre les cas « as built » et « isolation des façades par l'extérieur » n'apporte pas de différence significative d'un point de vue environnemental. Économiquement parlant, l'alternative est plus chère à l'investissement et légèrement moins chère à la maintenance.
- « Molinay 34 » :
 - Les études (économiques) LCC de la façade et de son alternative traditionnelle ne montrent pas de différence importante.
 - Par contre, la différence environnementale se fait sentir, puisque l'impact de la solution as built est presque le double de la solution traditionnelle (principalement à cause de la phase de production de l'acier galvanisé et de l'utilisation d'une double plaque de plâtre intérieure à remplacer après 30 ans).
- Conclusions générales :
 - Les deux études mettent en lumière l'importance des études de sensibilité :
 - La phase de fin de vie (que fait-on des matériaux au bout de 60 ans ?) impacte le résultat de manière significative.
 - Les résultats économiques peuvent varier de manière importante en fonction du taux d'intérêt ou du prix de l'énergie considéré.

- Bien que les solutions alternatives soient comparables d'un point de vue environnemental, il est important de souligner qu'au travers d'une optimisation des solutions qui exploitent l'acier et ses propriétés intrinsèques, il est possible de diminuer l'impact environnemental du secteur de la construction :
 - La phase d'optimisation d'une structure acier est cruciale au stade de conception d'un bâtiment car elle permet d'augmenter la portance d'un élément (grâce aux propriétés mécaniques de l'acier) tout en réduisant le poids de la structure.
 - La durée de vie de l'acier peut être considérablement augmentée, d'une part grâce aux nouveaux revêtements de surface qui permettent de protéger le composant durablement et, d'autre part, grâce à la possible réutilisation complète de certains composants acier, sans étape supplémentaire coûteuse pour l'environnement.
 - La recyclabilité de l'acier représente de loin son avantage majeur au regard de la durabilité et de l'environnement : récupérer et trier l'acier est aisé grâce à ses propriétés magnétiques, et il se recycle en gardant ses propriétés et qualité constantes.

C'est pourquoi intégrer les solutions acier dès le stade de conception du bâtiment est essentiel, afin de pouvoir en tirer le meilleur parti possible.

11. Conclusions générales

11.1. Contexte de la rénovation

Nous ne reprendrons pas les résultats spécifiques de chaque tâche ou de chaque chantier, puisque ceux-ci ont fait l'objet du présent rapport. Nous nous attacherons ici à apporter une réflexion générale sur la rénovation, sur les acquis du projet Réno2020 et sur certaines suggestions tirées en conclusions de l'expérience des chantiers « Ferrer 13 » et « Molinay 34 ».

La rénovation est un enjeu majeur du futur de la construction, spécialement en Wallonie dont le niveau de qualité de la majorité des bâtiments est largement insuffisant à l'heure actuelle. Malheureusement, si l'on veut pousser les performances globales, la rénovation reste encore un challenge qui n'est pas résolu de manière satisfaisante. Rénover, c'est devoir faire avec une situation initiale, un bâtiment existant, un environnement parfois contraignant et des techniques de rénovation qui ne sont pas toujours adaptées. C'est aussi devoir concilier les envies d'un client (pas toujours porté sur les questions de performance énergétique, bien que la crise énergétique-économique actuelle tend à modifier leur vision des choses), leur portefeuille et les impositions réglementaires (aussi légères soient elles). C'est ensuite faire passer le message performantiel dans un chantier où chaque acteur concerné doit comprendre la motivation qui anime le concepteur et le maître d'ouvrage.

11.2. Le point de vue technique

11.2.1. Priorité à l'isolation

À l'instar de la plupart des discours délivrés ces dernières années sur l'importance du « trias energetica » comme approche de la réduction de consommation, nous avancerons ici que l'isolation du bâtiment reste un objectif primordial de la performance énergétique. Bien entendu, on ne sait pas toujours isoler où on le voudrait, comme on le voudrait ; souvent, les travaux de rénovation énergétique d'un logement existant se résument à l'isolation du toit et au remplacement des châssis, travaux qui se justifient pleinement pour des raisons techniques (facilité) et économiques (le temps de retour sur investissement est surtout intéressant pour l'isolation des parois opaques).

D'une manière générale, grâce à un travail plus complet sur l'isolation de l'enveloppe, le projet Réno2020 a permis d'atteindre des niveaux de performance énergétique intéressants ; ainsi, le chantier « Ferrer 13 » a vu ses déperditions par transmission diminuées de 75%, contre 72% pour « Molinay 34 ». L'objectif initial, qui était de prouver que l'on peut diviser la consommation d'un bâtiment par 4 en menant une opération de rénovation en profondeur, semble ici trouver sa réponse.

Knauf, en leader incontournable des produits d'isolation, a ainsi fourni toutes les données et suggestions nécessaires à la bonne isolation des deux chantiers. Soulignons également, du point de vue de la performance environnementale, l'apport d'une solution innovante : la technologie Ecosé, un liant de laine minérale

créé à partir de matières premières durables qui remplacent les produits pétrochimiques utilisés traditionnellement. Ce liant sans formaldéhyde, « l'une des innovations les plus révolutionnaires de l'industrie de l'isolation de ces 20 dernières années », permet ainsi une laine minérale plus facile à travailler, agréable au toucher, inodore, qui génère peu de poussières et qui, grâce à l'utilisation de matières premières et de verre recyclé (jusqu'à 78%), économise 500 fois plus d'énergie sur toute sa durée de vie que l'énergie utilisée pour sa production.

Le projet « Ferrer 13 » a également permis à AGC de placer les premiers doubles vitrages « $U = 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ » de leur gamme Thermobel, un double vitrage ultra-performant qui voit dans la rénovation résidentielle performante un marché potentiel florissant grâce à ses caractéristiques :

- La meilleure valeur d'isolation thermique du marché pour un double vitrage ($U_g = 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$)
- Le poids d'un double vitrage, ne nécessitant pas d'office le remplacement du châssis s'il est en bon état.
- Une transmission lumineuse de 64%, ce qui est relativement élevé pour un double vitrage possédant deux couches de revêtement à basse émissivité (maintenant le facteur solaire à 43%).

11.2.2. Etanchéité à l'air et ventilation

Le principe de l'isolation est maintenant bien ancré dans les traditions constructives ou rénovatrices. La plupart des projets de rénovation, s'ils sont bien conçus et bien mis en œuvre, apportent une amélioration de l'étanchéité à l'air (ce qui ne s'est pas vérifié à « Molinay 34 » à cause d'un vraisemblable manque d'attention de la part d'une entreprise peu professionnelle, ce qui fait partie des aléas que peut rencontrer tout candidat à la rénovation).

Une ventilation correcte et conforme du logement devient donc indispensable au renouvellement hygiénique de l'air et au confort des habitants.

Or, contrairement à la croyance populaire, ce n'est pas le bâtiment qui doit « respirer » au travers de ses parois et de ses failles, mais bien la ventilation qui doit permettre un renouvellement de l'air à l'intérieur des habitations. Dans le corps humain, ce n'est pas la peau qui respire (ou très peu), mais le système respiratoire.

Bien qu'un occupant doive pouvoir agir sur son confort intérieur en ouvrant portes et fenêtres pour ventiler son logement, cela n'est pas toujours possible (risques d'effraction, environnement pollué...).

Nous avons cependant remarqué, surtout sur le chantier « Molinay 34 », que la nécessité de placer un système de ventilation conforme n'est pas toujours bien perçue.

Il est essentiel que la conscientisation quitte les sphères scientifiques et se répercute chez les maîtres d'ouvrage, les concepteurs et entrepreneurs, car l'impasse sur les systèmes de ventilation conformes ne peut avoir que des conséquences négatives sur la performance environnementale d'un bâtiment :

- La mauvaise qualité d'air intérieur peut causer un « sick building syndrom »,

un sentiment de mal-être causé par un bâtiment dans lequel le renouvellement d'air n'est pas suffisant, provoquant une concentration de polluants (plusieurs symptômes connus attestent de ce phénomène).

- Des dégradations (moisissures..) dues à la condensation causée par un mauvais renouvellement d'air (c'est le système de ventilation qui devrait être responsable de la « respiration » du bâtiment et de l'évacuation de l'air vicié et humide, pas les murs).
- En période de chauffe, la mauvaise qualité d'air intérieur peut demander l'ouverture des fenêtres, ce qui peut provoquer une perte importante de performance énergétique...

La mécanisation de la ventilation est souhaitable mais elle n'est pas triviale, particulièrement avec les systèmes « double flux », qui restent malgré tout l'objectif idéal... Les problèmes sont divers :

- L'encombrement : la section des gaines nécessaire à l'installation impose des caissons volumineux ou de surbaisser considérablement les plafonds, ce qui représente un frein à l'utilisation d'une VMC double flux ; de même, la motorisation occupe un volume non négligeable.
- Les normes en matière de prise et de rejet d'air imposent une dispersion des différentes bouches, parfois difficile à mettre en œuvre.
- L'intérêt : la nécessité d'une ventilation correcte et conforme n'est pas encore dans tous les esprits, surtout au prix affiché par un système de ventilation double flux avec récupération de chaleur complet.
- La performance : tous les travaux de rénovation ne présentent pas la même ambition performantielle, ce qui signifie que, souvent, un système « D+ » est perçu comme un « respirateur artificiel » bien trop technologique pour une maison à peine rénovée, isolée et étanchéifiée.

Au-delà de la conscientisation, la mise en place de stratégies et d'outils est nécessaire pour parvenir au résultat escompté (performance de l'isolation, de l'étanchéité à l'air et à la vapeur). Ces caractéristiques ne bénéficient pas encore d'une visibilité/d'un niveau de détail suffisants dans le cahier des charges, à l'étude et sur chantier, et tendent à être relayées au second plan. Les commerciaux devraient également sensibiliser la main-d'œuvre, comme ils le font pour les cadres, aux qualités spécifiques auxquelles elle est réceptive, ainsi qu'à l'importance du soin apporté à la mise en œuvre.

11.2.3. Quelle préfabrication ?

La question de la préfabrication en rénovation est plus délicate, car la plupart des systèmes constructifs qui sont proposés sur le marché ciblent initialement la construction neuve, où l'apport de solutions « complètes » préfabriquées est plus facile.

Dans le projet Réno2020, l'objectif de préfabrication annoncé est passé par le développement ou la mise en œuvre de solutions faisant intervenir l'acier comme système structurel, montrant ainsi qu'elle (la préfabrication) est également

envisageable en rénovation résidentielle.

Mais, contrairement à la construction neuve où plusieurs bâtiments similaires peuvent être construits avec des performances semblables en utilisant la préfabrication, la rénovation est à chaque fois un cas d'espèce. La première tâche de ce projet ayant permis la réalisation d'une étude typologique du parc résidentiel wallon, nous pouvons bien sûr prévoir des solutions qui s'adaptent « facilement » à une typologie particulière ; cela étant, on ne peut reproduire une solution à l'identique sans une adaptation (même minime) qui n'est jamais évidente. Le facteur d'échelle joue donc un rôle important qui rend difficiles les développements ultérieurs d'améliorations marquantes, car ils doivent pouvoir être rentabilisés sur un large éventail de projets de rénovation similaires.

11.2.4. Applications réelles : « Ferrer 13 » et « Molinay 34 »

Parmi les solutions intéressantes et les développements industriels importants dont le projet Réno2020 s'est fait le témoin, citons :

- Le remplacement d'une façade existante entière, illustré dans le chantier « Molinay 34 », par une association entre une structure en « light steel framing » Styltech (développée par ArcelorMittal et sa filiale Profil du Futur) et l'Aquapanel Outdoor de chez Knauf. Outre les très bonnes performances démontrées pour ce système constructif, il est important de souligner le potentiel d'une telle solution, applicable tant en construction neuve (voir l'exemple de la maison expérimentale construite par ArcelorMittal dans son centre de recherche du Sart-Tilman), qu'en rénovation. La solution présente une grande flexibilité pour s'adapter à toute structure de maison et à différents choix architecturaux, tout en présentant de bonnes performances économiques, thermiques et structurelles. Nous savons maintenant que les maisons ouvrières modestes en rangées représentent plus de 18% des logements en Wallonie : lors de grandes actions de rénovation urbaine, ce système combiné pourrait facilement être appliqué sur de longues rangées. Knauf s'est d'ores et déjà montré intéressé par la poursuite de la recherche et du développement de cette solution de façade sèche, et le prescrit dans divers projets.
- La création d'un étage supplémentaire sur un bâtiment existant, grâce au complexe structurel développé en toiture du chantier « Ferrer 13 », présentant pourtant une géométrie compliquée. La présence d'acier en toiture n'est pas à proprement parler une révolution (surtout dans le bassin sidérurgique), mais l'acier était plus souvent utilisé en revêtement qu'en structure. Malgré une adaptation à l'existant un peu plus complexe (qui met en lumière la difficile reproductibilité de la solution), la relative souplesse de la structure portante de la toiture a, entre autre, permis un design et une légèreté visuelle très prisée par les architectes et le maître d'ouvrage.
- Bien qu'il ne s'agisse pas à proprement parler d'une innovation majeure, la structure utilisée pour l'isolation par l'intérieur de la maison « Ferrer 13 » est un autre exemple de produit dont les performances et la facilité de placement en font un atout des projets sans permis d'urbanisme (soit un

potentiel non négligeable dans le marché de la rénovation). Fixée au sol et au plafond, elle permet l'ajout d'une couche d'isolation en rupture thermique, et démontre une certaine souplesse adaptative que l'on ne rencontre pas toujours avec d'autres structures faites de bois ou de métal. Parmi les autres avantages, citons une régularisation du support, un possible écart de la paroi, qui peut s'avérer nécessaire en cas de mur humide... Cette solution relativement récente nécessite toutefois l'étude approfondie de nœuds constructifs, induit une perte d'inertie thermique et sollicite une étude approfondie du transfert de vapeur d'eau. Elle requiert également une compétence technique que peu d'acteurs de la mise en œuvre maîtrisent à l'heure actuelle.

D'une manière générale, dans les chantiers « Ferrer 13 » et « Molinay 34 », l'apport de métal dans la conception des communications verticales, des balcons, de la toiture ou de la façade permet un allègement de la structure, un gain de place et une amélioration de la vitesse d'exécution, permis par la préfabrication. Citons toutefois certains inconvénients de l'acier dont ce projet se fait le témoin :

- Ses faibles performances énergétique (rendant nécessaire une étude PEB minutieuse : coefficient U, nœuds constructifs...) et environnementale (à ce niveau, la tâche 7 sur les analyses LCA/LCC n'a pas permis de tirer une conclusion solide sur la comparaison avec des systèmes plus traditionnels). Cependant, combiné avec du bois ou certains matériaux modernes (tels que les matériaux à changement de phase, les revêtements intelligents, les nano-isolants ou les isolants sous vide), il serait possible de créer des systèmes réellement efficaces.
- Le manque d'accessoires indispensables à la jonction avec l'existant, obligeant le recours à divers matériaux ou solutions plus ou moins compatibles, lui laissant finalement peu de place dans les « aléas » de la rénovation.... Une bibliothèque d'éléments de jonction et de finition permettrait d'améliorer l'intégralité du système et la vitesse d'exécution, afin que l'ensemble constitue un véritable complexe homogène.
- Son coût, souvent plus élevé que le bois traditionnellement utilisé dans des applications similaires.

La continuation de l'optimisation des solutions acier pour la rénovation, et plus spécialement celle de la rue Molinay, passe par la volonté de la poursuite de ces pistes et de la continuité stratégique du secteur sidérurgique dans cette voie.

11.3. Le point de vue économique

Il est évident que le maître d'ouvrage tient les cordons de la bourse dans le projet de rénovation. Il est même souvent constaté que, logiquement, c'est souvent cette bourse, plus que les envies du client, qui freine les performances finales du bâtiment rénové. Ainsi, le rapport entre le coût, la performance, la possibilité d'amortissement et l'impact sur l'environnement doivent trouver un délicat équilibre, ce qui nous a certes permis d'atteindre un niveau de performance élevé, mais à un coût que peu d'investisseurs consentiraient sur fonds propres (du moins dans le cas de « Ferrer 13 »). Dans le second cas, l'enveloppe dédiée aux travaux de rénovation n'a pas pu être modifiée ; un

investissement supplémentaire nous aurait permis d'obtenir facilement des performances meilleures, mais nous n'avons pas à rougir du résultat atteint. Les performances correspondent au résultat maximal que nous pouvions espérer atteindre dans le cadre d'une enveloppe budgétaire qui n'était déjà pas négligeable.

Un constat cependant est que les normes et autres exigences que nous impose le simple bon sens rendent la construction (et la rénovation) de plus en plus chère. Nous, industriels, concepteurs, créateurs, novateurs, devons apprendre à maîtriser les coûts, au risque de voir les marchés se restreindre. Aujourd'hui, les techniques que nous avons mises en œuvre ont un coût très élevé et feront reculer plus d'un investisseur. Demain, la simplification et la rationalisation de la fabrication et de la mise en œuvre seront les clés d'un possible succès.

Deux pistes peuvent être suivies pour diminuer le coût des solutions proposées :

- La préfabrication en atelier, qui permettra :
 - o D'augmenter la qualité.
 - o D'être indépendant vis-à-vis des conditions climatiques lors de la préfabrication.
 - o De diminuer les coûts de production.
 - o De réduire la période durant laquelle le bâtiment est inhabitable.
- La reproduction du schéma de rénovation sur un type de projet de rénovation présentant une quantité supérieure de maisons identiques (type cité). La rationalisation de la production et de la mise en chantier doit permettre de :
 - o Diminuer les coûts de production.
 - o Rentabiliser les études sur des quantités de bâtiments plus élevées que par la rénovation de maisons individuelles.

11.4. Le point de vue sociologique

Au-delà de l'évidente réussite humaine de ce projet réunissant diverses expertises (scientifiques, industriels, maîtres d'ouvrage, architectes), la coordination d'une équipe pluridisciplinaire aussi importante sur un chantier de rénovation a présenté les défauts de ses qualités, la motivation principale des différents acteurs portant logiquement sur leur domaine respectif. La multiplication des acteurs pourrait expliquer un manque de communication, pas uniquement entre les acteurs traditionnels (architectes, maître d'ouvrage, entrepreneurs et sous-traitants), mais également entre ce groupe et les « nouveaux venus » (l'encadrement scientifique, sous-utilisé par les acteurs traditionnels, et les partenaires industriels).

La gestion du planning en a probablement souffert, par manque de considération pour la succession des travaux dont dépendait une nécessaire anticipation des différents intervenants.

Les concepteurs devraient être davantage à l'écoute des exécutants de terrain et prendre en compte leurs remarques fondées sur l'expérience et sur la sagesse populaire, afin d'établir des notes techniques (de mise en œuvre de solutions commerciales) simples et

complétées éventuellement de schémas de montage.

Les chantiers représentant (par leurs objectifs performantiels autant que par l'importante équipe les encadrant) une situation peu ordinaire pour des acteurs habitués à des chantiers plus traditionnels, nous avons constaté une élévation sécuritaire des prix ainsi qu'un recours peu automatique aux compétences offertes par les partenaires.

Pour atteindre de vraies performances énergétiques et environnementales, il est donc crucial que TOUS les acteurs du chantier soient conscientisés et proactifs. Il suffit d'un acteur qui ne soit pas motivé par l'enjeu pour que la chaîne s'en trouve fragilisée, et les performances, réduites.

11.5. Suggestions

Pour progresser, il faudrait obligatoirement associer une réflexion en recherche et développement avec des tests en situation réelle, à l'exemple de Réno2020, trouver les méthodes pour stocker et partager les acquis du terrain, voire modifier les démarches utilisées :

- Mener une réflexion plus approfondie dans le but d'optimiser la conception sous les multiples aspects (architecturaux, performantiels et économiques) est primordial. Effectivement, il n'est pas toujours facile d'intégrer un complexe dans un projet terminé, par contre tenir compte des produits, techniques et matériaux dès la conception de l'esquisse permet un gain de temps, de performance et d'argent qui se ressentiront tout au long du chantier.
- L'importance d'une phase d'étude préalable solide et déterminante justifierait un supplément d'honoraire du bureau d'architecture ou la prise en charge de cette étude par les industriels eux-mêmes. Cette association avec des entreprises à la réflexion, dès la conception d'un projet de rénovation, permettrait de tirer le meilleur parti des matériaux, techniques, systèmes ou solutions qu'ils peuvent proposer (et qui ne sont pas toujours connus du grand public).
- L'information la plus complète doit circuler bilatéralement à tous niveaux dès la conception du produit, de sorte que l'auteur de projet intègre son choix le plus tôt possible. Pour cela, il serait intéressant d'établir des modèles, des rubriques (concises, simples et claires) de cahier des charges ainsi que des banques d'information d'exemples de solutions, précisant les points d'attention en notant bien les performances à atteindre et comment elles seront évaluées, illustrer de solutions types, sans les imposer, en laissant l'ouverture à la créativité pour autant que l'on puisse prouver la performance (critères à bien définir). Il serait donc utile d'établir un canevas type de tels cahiers des charges avec une base de connaissance de rubriques, des sortes de notes techniques simplifiées, utilisables directement tant à la conception qu'à la mise en œuvre.
- Renforcer les filières de formation et de spécialisation des acteurs d'un chantier de rénovation. Il est primordial que ces connaissances soient transférées à tous les acteurs, pas seulement à l'un ou l'autre « élu » d'une entreprise.
- Généralement, les techniques constructives du neuf sont adaptées au cas par cas à la rénovation. L'expérience acquise, cependant, est perdue la plupart du temps.

Comment faire en sorte que l'on puisse en tirer des acquis plus facilement exploitables pour d'autres cas ? Au-delà de ce type de « fiches techniques », si des méthodes permettant d'enregistrer la connaissance qui revient du terrain étaient développées pour un nombre de rénovations statistiquement significatif, on capitaliserait l'information (avis technique, y compris en cas d'écartement de la solution, documentation disponible, liens, coûts réels, y compris les surcoûts et leurs raisons...) qui permettrait d'aider tout candidat à gérer une opération.

- Les industriels qui proposent des solutions techniques devraient participer à l'adaptation de leurs produits, spécialement en apportant des réponses aux questions des liaisons : à nouveau, il s'agit d'investissements intéressés, supportés par les industriels, qui devraient démontrer un retour sur investissement positif assez rapidement.

Nous démontrons ainsi que, malgré que le projet soit mené par un maître d'ouvrage motivé et qu'il bénéficie d'une guidance (recherche financée) par des spécialistes, un projet de rénovation de grande ampleur reste délicat, alors que pour un projet normal, il n'y aura pas de telles compétences pour gérer les projets.

- Comment bénéficier des compétences nécessaires pour mener une rénovation de qualité (formation et surcroît de travail) ?
- Comment rendre rentables des efforts de rénovation qui améliorent la performance environnementale ?

Les questions sont posées au politique afin qu'il ait les éléments nécessaires fiables (dont une partie se trouve dans les résultats de notre projet de recherche), ceci afin de chercher des réponses dans le contexte actuel.