

Économie circulaire dans la construction

Lycée Michel Lucius
Luxembourg
Un projet pilote

Préface



Le réaménagement du Lycée Michel Lucius à Luxembourg est un exemple concret d'un projet de circularité dans la construction, notamment concernant le réemploi des matériaux. Le campus du Lycée Michel Lucius - International School a été construit en plusieurs phases au cours des années 1970, dans le quartier du Limpertsberg à Luxembourg-Ville.

L'économie circulaire vise à créer un système économique durable et régénérateur, caractérisé par la maximisation de l'efficacité des ressources, la minimisation de la production de déchets et la réduction de l'impact environnemental. Elle s'efforce de s'éloigner du modèle linéaire traditionnel consistant à prendre, à fabriquer et à jeter, pour adopter un modèle circulaire qui encourage l'utilisation, la réutilisation et le recyclage continus des matériaux.

Plutôt que de démolir la structure provisoire des années 1990 et de la remplacer par un bâtiment modulaire temporaire, l'ancienne aile 6000 des salles de classe est transformée en bibliothèque. De cette manière, une grande partie de la construction en bois, et donc des ressources, peut être conservée sur place.

L'aile 3000 a dû être démontée, étant donné son type de construction et l'impossibilité de réaffectation. Une grande partie du socle est toutefois conservée en vue d'y aménager les locaux du service technique qui faisaient défaut jusqu'à présent. Le chantier est réalisé selon les principes de la déconstruction sélective, dans le but de récupérer le plus de matériaux possible pour une utilisation future.

En dernier lieu, la cour de récréation centrale fait l'objet d'un réaménagement afin d'améliorer sa qualité de séjour en augmentant les espaces verts. Ainsi, les élèves bénéficient d'un nouveau jardin scolaire et d'une nouvelle pergola.

Les nouveaux aménagements sont réalisés en privilégiant les matériaux de réemploi. Cette approche permet de réutiliser sur site une grande partie des matériaux démontés.

J'apprécie fortement ce projet pilote et félicite mon administration pour cette réalisation. Il illustre le changement d'approche qui s'applique dans la construction et s'inscrit dans la stratégie d'économie circulaire du gouvernement luxembourgeois.

Je remercie toutes les collaboratrices et tous les collaborateurs de mon administration, les bureaux d'architectes et d'ingénieurs, ainsi que les entreprises pour leur engagement dans ce projet précurseur.



François Bausch,
Vice-Premier ministre,
Ministre de la Mobilité
et des Travaux publics

Lycée Michel Lucius Luxembourg :
un projet pilote,
deux ailes,
trois thématiques traitées

Projet pilote

Évolution architecturale du campus	p. 6
Aile 6000 Reconversion - transformation	p. 30
Aile 3000 Déconstruction sélective	p. 70
Ailes 3000 et 6000 Réemploi et construction	p. 128
Campus adapté aux besoins	p. 164

Économie circulaire

Économie circulaire	p. 20
<i>Petite maison</i>	<i>p. 28</i>
Réduction de l'impact environnemental	p. 60
<i>Benu Village</i>	<i>p. 67</i>
Impact de la législation	p. 116
<i>Ärdscheff</i>	<i>p. 125</i>
De la déconstruction au réemploi	p. 154
<i>L'annexe du château de Sanem</i>	<i>p. 162</i>

Les exemples de construction et de déconstruction ont tous trait à l'Administration des bâtiments publics, mais ne sont pas les seuls au Luxembourg.

Évolution architecturale

du campus

Histoire de l'évolution architecturale du campus Michel Lucius

Origine du Lycée Michel Lucius

Le Lycée Michel Lucius se situe au 157, avenue Pasteur à Luxembourg Limpertsberg, dans un quartier résidentiel de la Ville de Luxembourg. Densifiée à l'appui des plans d'urbanisme de Josef Stübben¹, l'extrémité du quartier, dénommée Roudebiérg, a d'abord vu s'installer des congrégations religieuses, de vastes plantations de rosiers avec leurs fermes et des maisons construites avant la Seconde Guerre Mondiale. S'ensuivit l'implantation de deux établissements scolaires : l'école professionnelle en 1964 et l'école moyenne, créée suite à la loi du 16 août 1965.

Les premières salles de classe² de l'enseignement moyen à Luxembourg-Ville étant réparties sur plusieurs sites au Limpertsberg, il s'est avéré nécessaire de les regrouper progressivement, dès 1969/70, à proximité de l'ancien séminaire. C'est ainsi que le campus de l'actuel Lycée Michel Lucius a vu le jour. Aujourd'hui, le quartier du Limpertsberg est voué au logement et est de plus en plus dynamique. Il est donc difficile

d'imaginer qu'à la fin des années 1960, l'idée était de faire de ce quartier le plus grand centre scolaire du pays avec au moins une douzaine d'écoles, faciles à rejoindre à pied ou en bus³.

Implantation du campus scolaire en étapes

Le terrain de l'ancien séminaire fut acquis par l'État en échange de la construction d'un séminaire neuf à « Weimeschhaff »⁴. Deux lois successives autorisèrent le gouvernement à y implanter les deux premiers bâtiments : la loi du 27 juin 1968 et la loi du 12 août 1972.

Le premier bâtiment, désigné **bloc 2000**, a été construit en 1969 pour 260 élèves. Son inauguration a eu lieu en février 1970, en même temps que celle de l'école moyenne de Pétange. Le ministre Jean Dupong et les directeurs des deux établissements respectifs y ont assisté : à savoir, M. Cornel Meder, diplômé en lettres, à Pétange, et le mathématicien, M. Lucien Kieffer, au Limpertsberg.



Le premier bâtiment, dit bloc 2000, établi dans l'ancien jardin du séminaire, fut inauguré en février 1970, en même temps que l'école moyenne de Pétange (LW 16/02/1970).

Le bloc 2000 disposait de laboratoires de physique et de chimie bien équipés, ayant amené les élèves du Lycée Michel Rodange du Geeseknäppchen de Merl, à venir suivre leurs cours⁵ au Limpertsberg. Il y avait également un laboratoire de langues hautement équipé. Si l'aile 2000 a toujours servi en tant que bâtiment scolaire, la vocation pédagogique des salles a cependant changé au fil du temps. Elle a été démolie en 2008/2009.

Quelques années plus tard, en 1973, une deuxième aile, le **bloc 3000**, est construite afin de parer au manque d'espace. Cette dernière fit l'objet du projet pilote d'économie circulaire en 2021.

Selon le projet de loi discuté dans la Chambre des Députés⁶, les fonctions du nouveau bâtiment devraient prévoir un préau couvert, des bureaux pour l'administration, un laboratoire de langues et 14 salles de classe au deuxième étage. Le projet n'a pas été exécuté exactement selon le plan initial, mais en suivant le modèle d'un bâtiment standard avec un couloir central et des salles de classe réparties de part et d'autre, ainsi qu'un logement de service incorporé au bout du bâtiment.



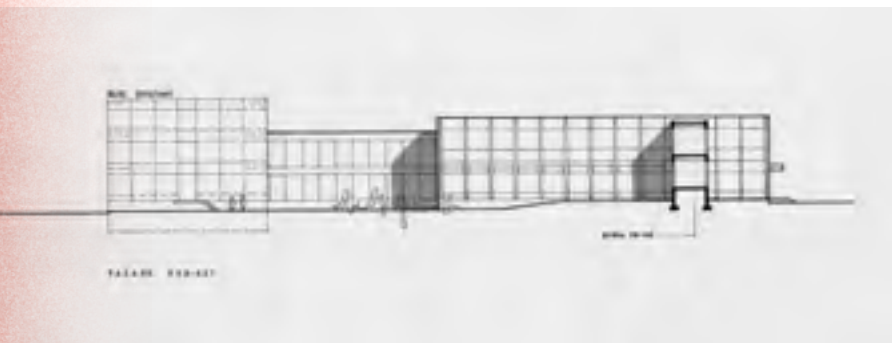
Les deux premiers bâtiments du campus, les ailes 2000 et 3000, sont considérés comme étant parfaitement intégrés dans l'environnement verdoyant, grâce aux éléments de couleur vert-olive des panneaux de leur façade.



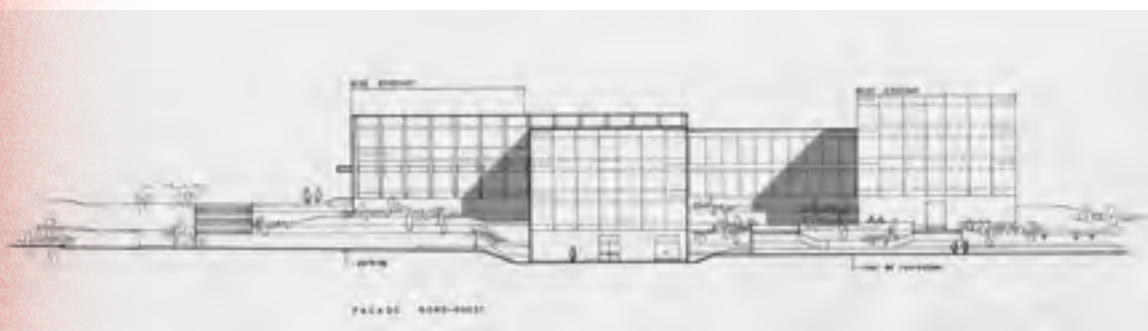
L'aile 3000 en planification avec son plan du sous-sol : le préau couvert et le logement du concierge. L'aile n'a cependant pas été construite telle quelle. Plan de 1972 par ABP.

La troisième aile, le **bloc 1000**, et la quatrième aile, le **bloc 4000**, ont été réalisées suite à la loi du 25 août 1975 et datent des années 1977/78. L'aile 1000 prend une position centrale et fait la jonction avec les trois

autres ailes. Les coupes conservées dans les archives de l'Administration des bâtiments publics, datant de mai 1974, représentent l'intégration des bâtiments dans le dénivelé du terrain.



Extrait du calque montrant les bâtiments existants (l'aile 2000 et l'aile 3000 dénommées blocs existants), ainsi que la réalisation future des ailes 1000 et 4000. Plans datant de mai 1974. ABP.



En 1977, le campus formait les quatre barres observables ci-dessus. Celles-ci étaient reliées à l'aile 1000 par le biais de passerelles à deux niveaux. Aujourd'hui, les blocs 1000 et 4000 sont les bâtiments les plus anciens du campus, datant de 1977⁷.

En 1979⁸, l'enseignement moyen et professionnel s'inscrit dans la réforme de l'enseignement secondaire technique. Durant cette même année, le collège moyen prend le nom de Lycée Technique Michel Lucius (LTML).

Le **centre sportif scolaire**, facilement reconnaissable à sa façade rouge, a vu le jour en 1980. Sa piscine a ouvert ses portes en 1982. De cette façon, le centre sportif servait également aux écoles environnantes. À cette époque, ce campus scolaire était bien cerné et délimité, comme le démontre le plan de situation de 1981 signé par l'architecte Armand Welter. En 1980, 1250 élèves étaient présents sur le campus.

Les entretiens au niveau des bâtiments étaient effectués en permanence, tandis que les transformations majeures ont eu lieu à la fin des années 1990. Des remises à niveaux et des redressements de non-conformité à la RSFP⁹ ont été réalisés sur l'ensemble du campus.

L'**aile 6000** a été construite en 1997. Elle se situe entre l'aile 4000 et le centre sportif. Il était nécessaire de mettre en place des salles de classe pour pouvoir déloger puis reloger les élèves de l'aile 2000, qui ne correspondait plus aux normes et devait donc être démolie. L'aile 6000 a été construite en peu de temps grâce à un système préfabriqué en panneaux de bois plein. En 2019, ce bâtiment a pu être jugé par certains comme étant « en fin de vie » (acoustique, isolation, technique). Cependant, considérant qu'elle disposait encore d'un large spectre de qualité, l'aile 6000 a été intégrée dans le projet pilote d'économie circulaire de 2021.



Plan de situation du campus avec les espaces de circulation et de stationnement en couleur foncée, de 1981, signé par l'architecte Armand Welter, ABP.

Concernant les travaux de transformation des ailes, il faut premièrement noter que le bloc 1000 doit être agrandi en 2014 avec sa nouvelle extension. Désormais désigné comme **bloc 1000/2000**, le bâtiment intègre le préau. Les blocs 1000 et 4000 restent reliés par la passerelle de jonction, la seule qui demeure en fonction. Il reste encore un bout de la passerelle vers le bloc 3000, celle-ci n'ayant pas été déconstruite bien qu'elle ne possède plus cette fonction.

Deux nouvelles ailes sont construites derrière le centre de sports. Le **bloc 5000**, dénommé Da Vinci, est une construction en dur réalisée en 2004 par le bureau d'architecture Teisen & Giesler sarl, initialement pour le compte de l'École Française de Luxembourg (EFL).

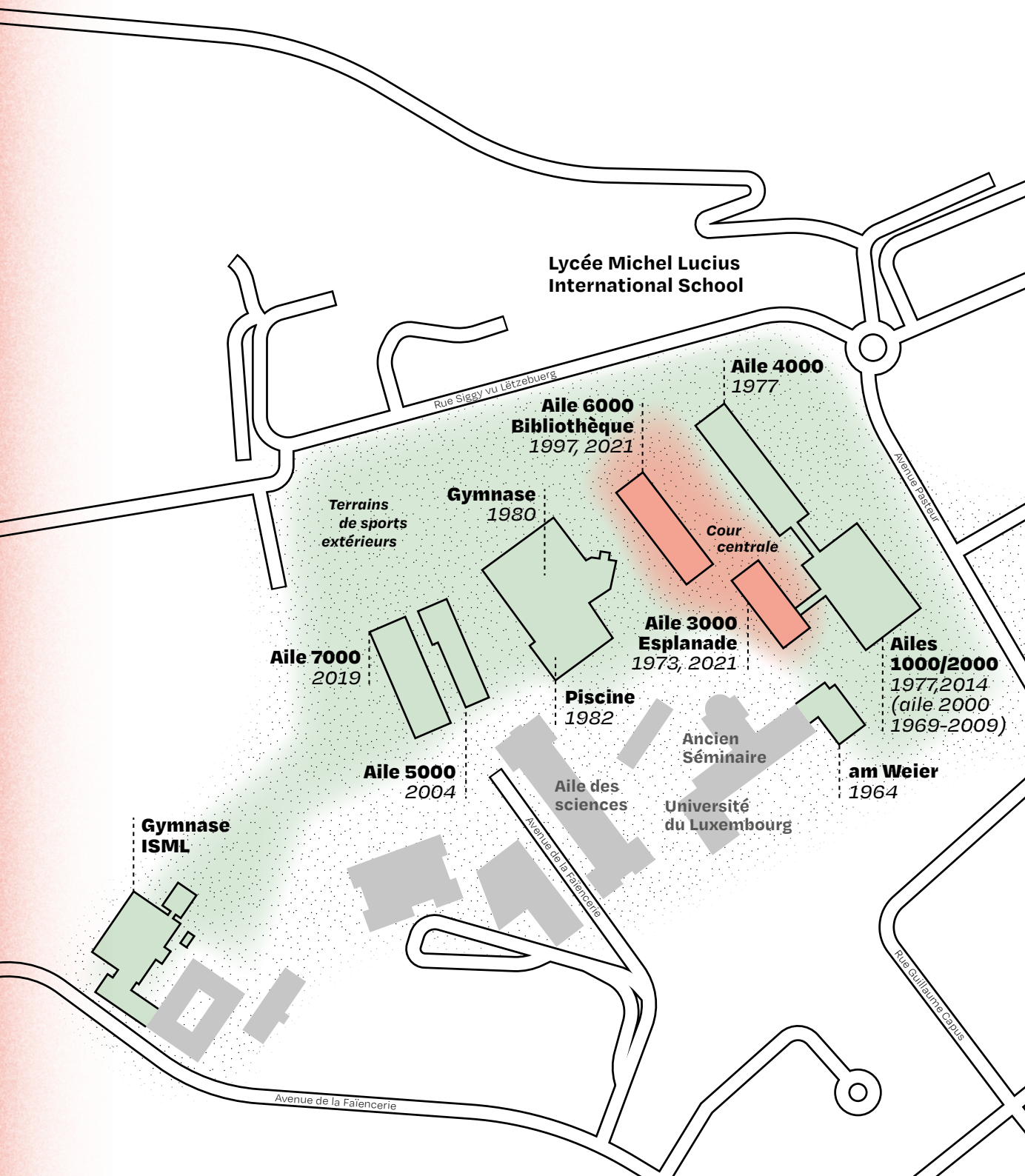
Le **bloc 7000** est une construction modulaire en métal, mise en place en 2019 par Mersch & Meyers Architectes. L'aile se trouve à l'emplacement de l'ancienne école maternelle et primaire française.



En 2011, le lycée a créé une filière internationale anglophone, qui est devenue une école internationale diversifiée et de grande qualité, accueillant plus de 400 élèves de plus de 70 nationalités différentes. En 2017, le lycée prend le nom de Lycée International School Michel Lucius¹⁰. Il constitue aujourd'hui une communauté d'apprentissage et d'enseignement inclusive et florissante, comptabilisant plus de 1500 élèves et 150 membres du personnel enseignant¹¹.

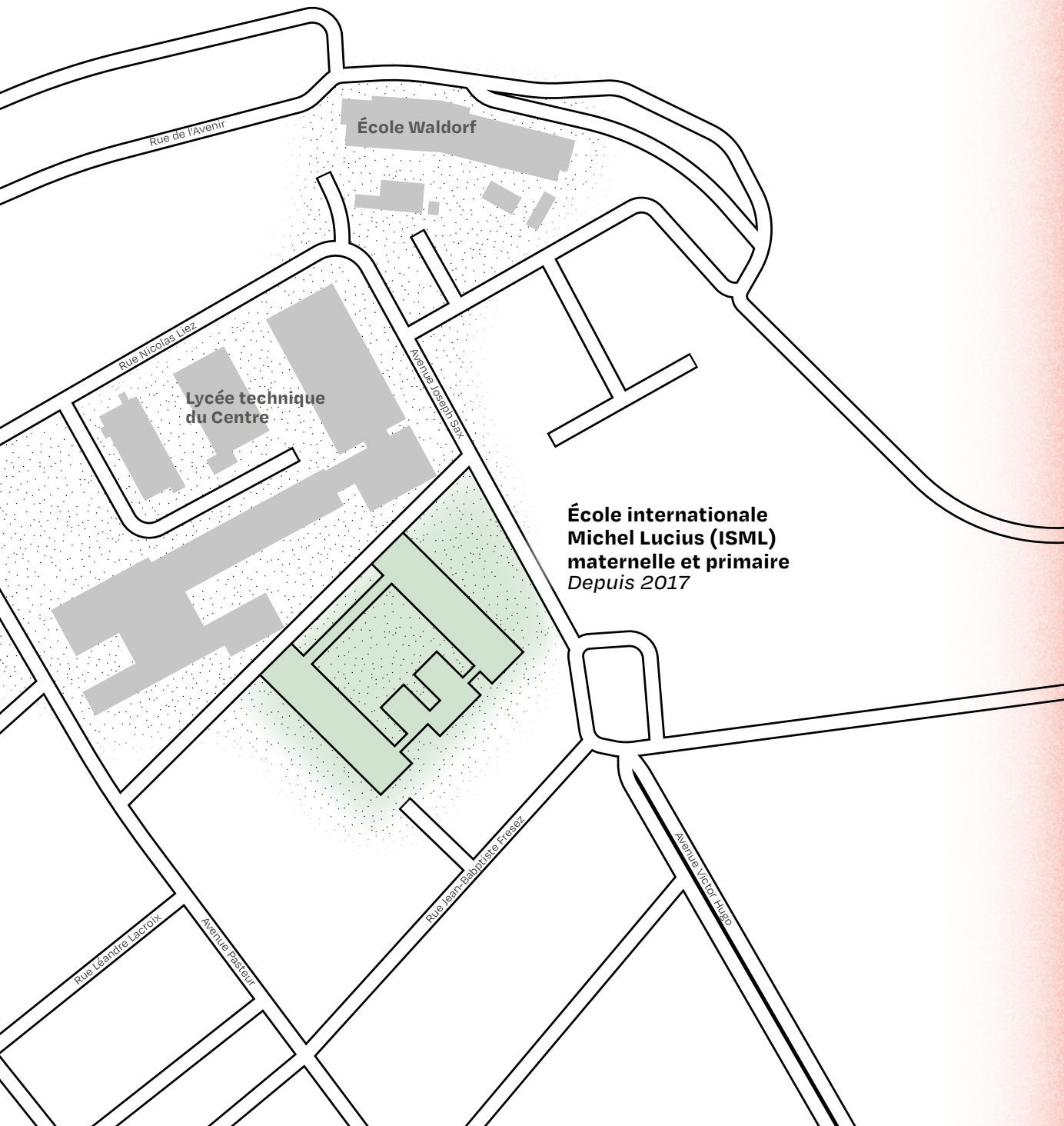
À ce stade, le campus ne peut plus accueillir l'ensemble des élèves. C'est pourquoi des solutions sont actuellement élaborées afin de regrouper les élèves au sein d'un nouveau campus scolaire au Kirchberg¹².

Plan de situation

Campus Lampertsbiert



-  LML-ISML
-  Projet Pilote



Les constructions scolaires dans les années 1960 à Luxembourg

L'architecture scolaire a connu une évolution très importante au fil du XX^{ème} siècle. La pédagogie a évolué et les bâtiments également. À partir des années 1960, les constructions publiques scolaires se caractérisent du point de vue architectural par des lignes novatrices et modernes avec leurs toitures plates, les façades rideaux, l'usage du béton armé et les poutres métalliques. Les façades disposent de grandes baies vitrées qui se démarquent des bâtiments scolaires antérieurs, largement caractérisés par le « Heimatstyle ». L'école professionnelle moyenne (Lycée Technique du Centre) située au Limpertsberg, achevée en 1964, et celle de l'Athénée de Luxembourg située au Geeseknäppchen, mise en service en 1964, suivent ce courant d'architecture moderne.

En réponse au nombre croissant d'élèves et à la nécessité de disposer au plus vite de locaux scolaires, les constructions préfabriquées vont voir le jour et se généraliser. La très forte demande, la rapidité de mise en œuvre et le coût réduit, jouent en leur faveur. Après la mise en place des premières constructions modulaires à un niveau, désignées « baraques »¹³, antérieures aux années 1960, on constate l'importation sur notre territoire, de modèles allemands et français de bâtiments préfabriqués d'un niveau plus élevé.

Au campus Geeseknäppchen, le modèle du Schroerbau¹⁴ est introduit¹⁵. Au Limpertsberg et à Pétange, la construction Fillod est mise en place¹⁶.

Les constructions préfabriquées industrialisées

Le modèle Fillod des années 1960 et 1970

En 1968, en France, 255 écoles et 35 lycées ont été construits en modules préfabriqués, soit 1,7 million de mètres carrés, équivalant à la construction d'un collège par jour¹⁷. Ainsi, à la fin des années 1960, un grand nombre de sociétés et d'entreprises françaises connues sous des enseignes telles que Bender, GEEP industries, ou encore Société Anonyme F. Fillod (FSA), ont réalisé des constructions industrialisées en acier. Fillod était un constructeur de Longuyon. L'ingénieur et designer français Jean Prouvé de la même région était l'un des spécialistes de l'industrialisation. La société Fillod était le fournisseur des premières écoles préfabriquées à Luxembourg et à Pétange.

La construction est simple : on montait des éléments de plancher et des panneaux de façade incluant des portes, avec la technique dite « à cloisons sèches », par opposition aux cloisons enduites. La trame de 1,80 m s'est imposée et pouvait être dédoublée en 3,60 m ou 7,20 m, permettant la mise en place de carrelages de 20 ou 30 cm. Comme parachevement, les cloisons sèches de plâtre préfabriquées sont les plus fréquentes. Le bâtiment répondait à des plans-types, qui pouvaient être répartis jusqu'à quatre niveaux de part et d'autre d'un couloir central. Ces écoles ont été construites suivant « une logique d'ingénieur, au service d'un programme minimum »¹⁸. C'était l'époque de la normalisation analogue et des plans-types face aux enjeux de la croissance démographique d'après-guerre.

La préfabrication était un symbole de modernité et de progrès social¹⁹.

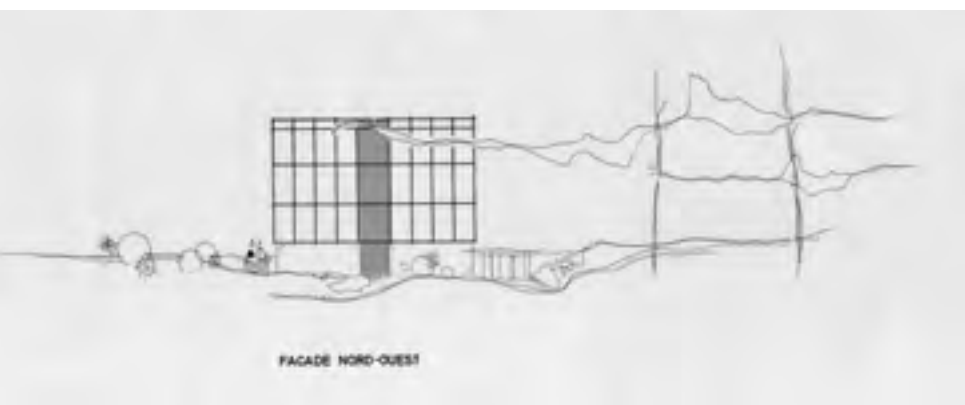
C'est un drame qui a radicalement changé la donne pour les établissements scolaires français. Le 6 février 1973, un incendie détruisait une école dans la rue Pailleron à Paris, faisant 20 morts dont 16 enfants. Le désigné coupable était le bâtiment de type Fillod, livré en 1969.

À la suite de ce terrible incident, ce modèle est très critiqué, surtout en France. Il est même désigné comme école-caserne qui constituerait un obstacle au renouvellement pédagogique que beaucoup souhaitent après 1968. En France, la décennie 1970 fut marquée par des recherches architecturales et administratives visant à établir un cahier des charges plus complexe, avec des règles de sécurité plus strictes et des normes techniques plus rigoureuses. Au début des années 1980, le modèle traditionnel rejoint le modèle industriel dans la construction²⁰.

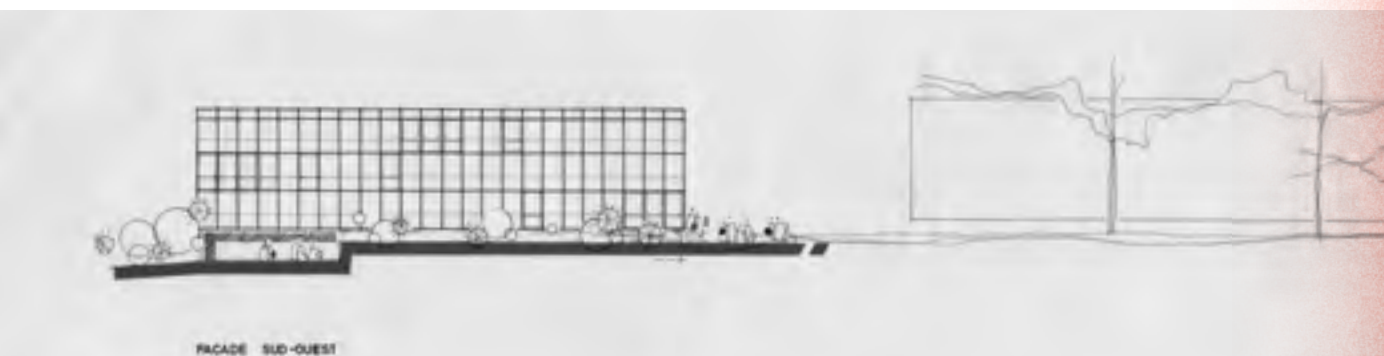
Venons-en aux constructions Fillod au Limpertsberg.

Malheureusement, peu de données sont connues sur l'établissement des premières constructions modulaires réalisées pour la rentrée 1969/1970. Le type de bâtiment préfabriqué, notamment le bloc 2000, était considéré comme le mieux adapté à la situation d'urgence. Le besoin en salles de classe était très important, ce qui a rendu nécessaire la construction de l'aile 3000, suivie par la construction des ailes ultérieures.

L'argumentaire établi dans le projet de loi en vue de la construction de l'aile 3000 était le suivant : « Une solution rationnelle et économique s'impose dans les plus brefs délais, celle qui a été adoptée par le ministère de l'Éducation Nationale en France : les constructions industrialisées à deux niveaux. Ces bâtiments sont aménagés selon les normes prescrites par le ministère français »²¹.



L'aile 3000, vue latérale et vue longitudinale du schéma directeur par ABP.



L'avantage du type français est la livraison en sept mois du bâtiment en mode de construction préfabriquée avec des éléments industrialisés. Les murs-rideaux sont fournis par des firmes étrangères. Les autres travaux sont exécutés par les entrepreneurs ou artisans luxembourgeois.

Le devis de construction intégré de manière très détaillé dans le projet de loi, prévoit pour l'aile 3000, le budget pour vingt-trois corps de métiers ou fournitures. Soit une somme de 33 millions de francs luxembourgeois, resp. 44 millions avec les aménagements extérieurs, l'ameublement et les honoraires.

L'avis du Conseil d'État en date du 15/06/1972, précise que nous sommes face à un nouveau mode de soumission, ce qui constitue une innovation. Il est à retenir que dans le cas de figure d'une construction préfabriquée, la soumission des travaux devrait s'adresser à des sociétés à caractère d'entreprise générale, et non pas aux architectes, comme c'était le cas habituellement. La commission des travaux publics en date du 07/07/1972, valide le schéma directeur du gouvernement et demande que les plans d'exécution détaillés lui soient présentés. Elle ne souhaitait pas « éliminer les architectes du secteur privé des travaux exécutés pour le compte de l'État »²². Les dépenses relatives à la construction de l'aile 3000 sont imputables sur le fonds d'investissement public scolaire. Concernant la suite réelle de l'exécution de la loi, les documents n'ont pas encore été retrouvés²³.

Il est un fait que la catastrophe Pailleron à Paris en 1973, a interpellé les députés luxembourgeois qui ont voté en faveur de la construction d'un bâtiment préfabriqué plus tard la même année. Toutefois, leur réponse est évasive et confiante dans notre façon de construire des bâtiments préfabriqués, à savoir bien plus lentement. À l'époque, l'équipement des bâtiments en extincteurs a été contrôlé²⁴.

Toujours est-il qu'en France, ce type de construction finissait par être rejeté pour ses standards de sécurité insuffisants, son architecture caserne trop simpliste et son inadaptation aux évolutions pédagogiques. Au fil du temps, on lui reprocha ce qui faisait son avantage dans les années 1960 : le renoncement catégorique au luxe, le rationnel, le fonctionnel et la facilité à concevoir et construire ce genre de bâtiment. Le seul atout qu'on lui a concédé à la suite de la catastrophe Pailleron, était que ce mode de préfabrication était surtout bon marché.

Le bâtiment modulaire, l'aile 6000 en 1997

L'aile 6000 mise en place en 1997 est un modèle préfabriqué des Vosges de la société Houot Constructions, leader français de la construction à ossature bois, implantée à Fraize. À l'époque, elle avait renforcé son activité²⁵ au Luxembourg avec la construction d'un bâtiment en bois de 500 bureaux, en 1998. On lui reconnaît toujours l'avantage de la rapidité de la mise en œuvre, à partir des éléments modulaires tridimensionnels, déjà équipés.

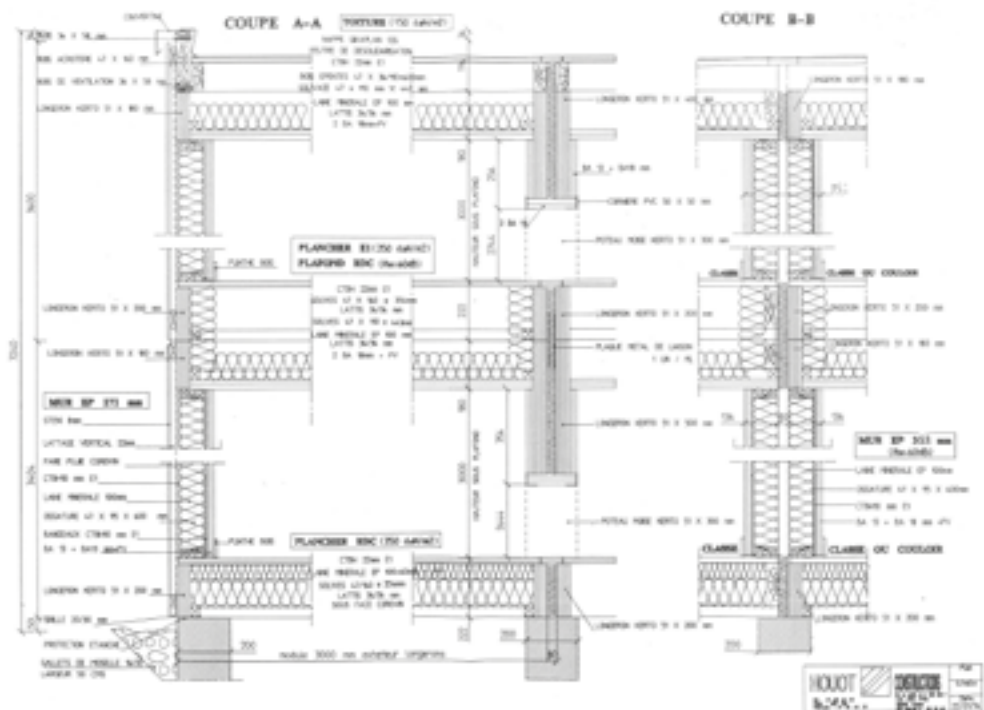
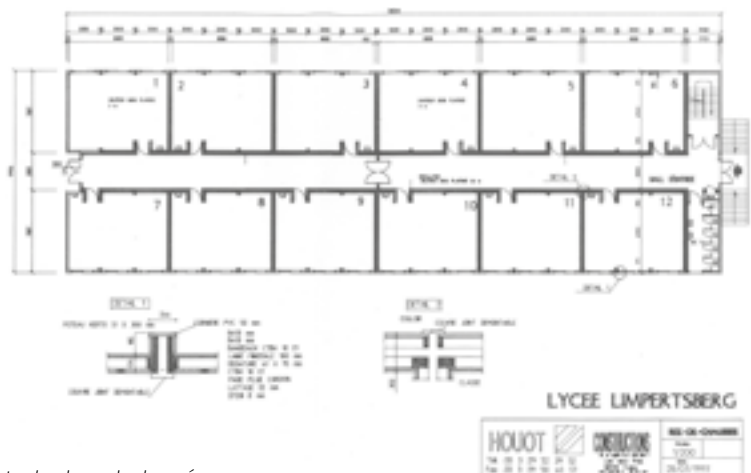


Schéma des parois et planchers, en 1996 par Houot Constructions.



Le plan du rez-de-chaussée de l'aile 6000, en 1997 par Houot Constructions.

État des lieux, les différences entre les deux ailes

	aile 3000	aile 6000
<i>demande initiale</i>	transformation/ agrandissement éventuel	démolition
<i>utilisation avant travaux</i>	salles de classe, bureaux, département d'éducation artistique et bibliothèque	salles de classe
<i>construction</i>	définitive	provisoire
<i>type</i>	préfabriqué ossature métal	préfabriqué éléments en bois
<i>mise en service</i>	1973	1997
<i>analyses</i>	3 niveaux + 1 niveau semi-enterré	2 niveaux + vide sanitaire
<i>conforme à la RSFP⁹</i>	non	non
<i>résistance à l'incendie</i>	insuffisante	suffisante
<i>structure portante</i>	a atteint ses limites	peut être adaptée
<i>installations techniques</i>	mise à niveau nécessaire	mise à niveau nécessaire
<i>parachèvement</i>	fonctionnel, démodé	fonctionnel, démodé
<i>enveloppe thermique</i>	fin de vie dépassée	fin de vie dépassée
<i>étude ACV</i>	N/A	conserver le bâtiment est favorable
	démontage	reconversion
<i>réalisation</i>	reconversion du sous-sol en atelier et stockage création de l'esplanade et de la pergola	reconversion en bibliothèque et lieu pour le service éducatif / Jugendtreff
	<ul style="list-style-type: none"> travaux de démontage soigné réaménagement des espaces extérieurs 	<ul style="list-style-type: none"> travaux de transformation nouveau concept thermique mise à niveau concernant la RSFP⁹

Conclusion

La préfabrication industrialisée a connu ses débuts au niveau des bâtiments scolaires à Luxembourg à la fin des années 1960. Les bâtiments ne sont pas conçus pour durer et ne vieillissent pas bien. Leur démolition progressive peut être constatée. Le modulaire reste un mode de construction avantageux à certains égards : le coût et la rapidité de mise en service. Les ailes 3000 et 6000 présentent beaucoup de similarités. Les deux bâtiments sont des

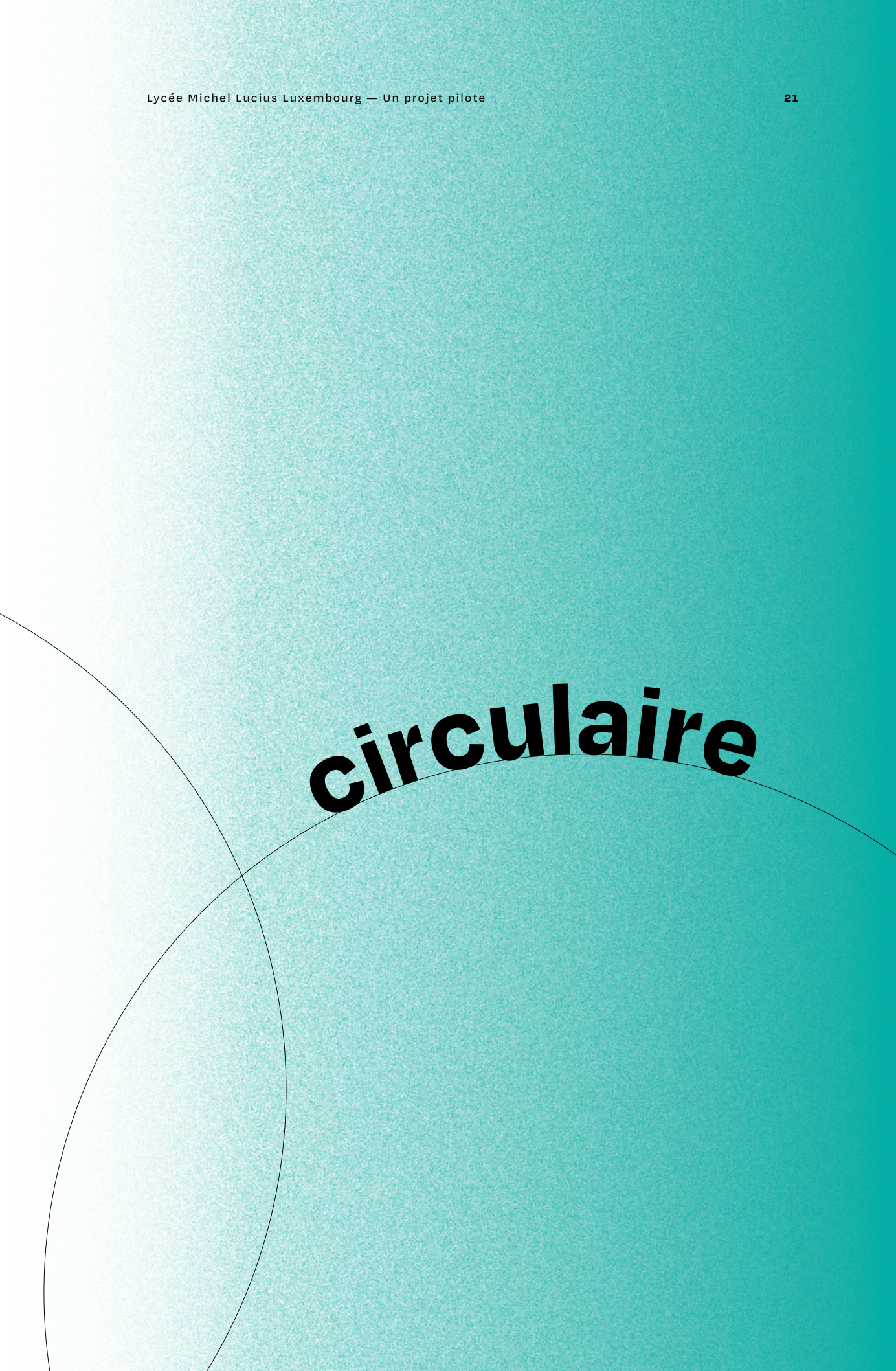
constructions à haut degré de préfabrication : le premier en ossature métallique et le second en bois. Cependant, ces deux bâtiments ne correspondent plus aux normes en vigueur, notamment celles concernant la sécurité des usagers. Leur reconversion et leur transformation ont été réalisées entre 2019 et 2021. Le devenir des deux bâtiments illustre le propos de l'économie circulaire dans la construction.

1. Plan Stübben de 1901 et 1921, Archives de la Ville de Luxembourg.
2. 360 élèves en ville ont été intégrés dans les salles de classe de l'École Européenne au boulevard de la Foire et du Centre d'Enseignement Professionnel, bd Pasteur. 526 élèves se sont ensuite installés dans les pavillons de la rue Joseph Sax, construits rapidement entre octobre 1966 et 1967, puis démolis en l'année 2000. À lire dans le projet de loi de 1972.
3. LW 04/01/1969.
4. LW 09/01/1970, mise à l'écrit de l'acte d'échange en 1970.
5. LW 16/02/1970.
6. LW 12/07/1972.
7. Les autres passerelles sont démolies en 2000. Roger Scholtes, Du collège d'enseignement moyen au Lycée Technique Michel Lucius, brochure éditée par le Lycée Michel Lucius, sans date.
8. Loi du 21 mai 1979.
9. Réglementation de la sécurité dans la fonction publique qui régit également la sécurité dans les écoles.
10. Le Lampertsberg, Histoire d'un quartier Florissant, Lampertsberger Geschichtsfrënn ASBL, p.135.
11. <https://www.lml.lu>
12. <https://fondskirchberg.public.lu/fr/projets/equipements-publics/lml.html>
13. Le Lycée Technique du Centre : Éléments historiques de l'école professionnelle (1946) et technique (1979) du Limpertsberg, recherche Luc Diederich et Yves Olinger, Luxembourg, 2014, p. 17.
14. Brigitte Buchler-Schmitz, Daniel Ludwig, Historique, in : 50 Joer école de commerce et de gestion Luxembourg 1970-2020, Luxembourg, 2018, p.41.
15. L'inventeur Wilhelm Bernhard Schroer qui avait établi à Dortmund une fabrique d'éléments préfabriqués en béton, faciles à transporter et à monter sur le chantier. Schroer signa de son nom les plans de construction en 1963 pour le bâtiment à deux ailes qui hébergea d'abord l'American School of Luxembourg, puis l'ECG dès 1977.
16. La loi du 27 juin 1968 autorisait la construction d'un bâtiment préfabriqué (système Fillod), disponible à partir du premier trimestre 1969/1970. In : Exposé des motifs et texte du projet de loi datant du 01/11/1971, p. p. 2315 et voir aussi p. 2310.
17. Prost Antoine, Jalons pour une histoire de construction des lycées et collèges de 1960 à 1985. In : Lycées, lycéens, lycéennes, deux siècles d'histoire, institut national de recherche pédagogique, 2005, p. 459-478. Référence principale de la description du modèle français.
18. Ibidem.
19. Aleyda Resendiz-Vazquez, L'industrialisation du bâtiment : le cas de la préfabrication dans la construction scolaire en France (1951 - 1973), CNAM, 2010. Le procédé Fillod est illustré et bien documenté dans cet article, voir p.319.
20. Peter Bachtold, Pour l'élaboration d'un manuel de construction, 328/85, ministère de l'Urbanisme, du logement et des transports, 1985.
21. Projet de loi nr 1618, p. 2308, https://wdocs-pub.chd.lu/docs/archive/19/2b/3143275_pdf
22. Ibidem, p. 2315.
23. Pour tout projet exécuté, la conservation d'au moins un échantillon de factures s'avère déterminante pour connaître dans les faits, le nom des bureaux et corps de métiers présents dans le processus de la construction.
24. LW 21/02/1973.
25. <https://www.lesechos.fr/1998/04/houot-constructions-se-renforce-sur-le-marche-luxembourgeois-790829>

Économie

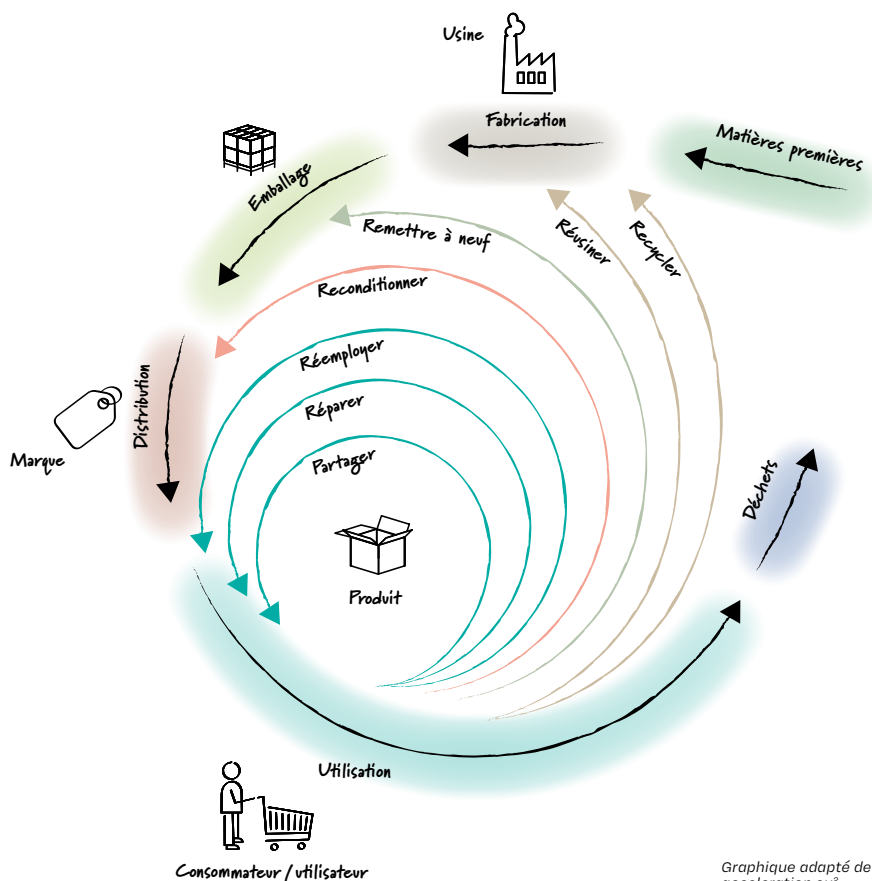


circulaire

The page features a teal-to-white gradient background. A large, thin white circle is partially visible on the left side, overlapping a smaller teal circle. The word "circulaire" is written in a bold, black, sans-serif font, following the curve of the teal circle.

L'économie circulaire

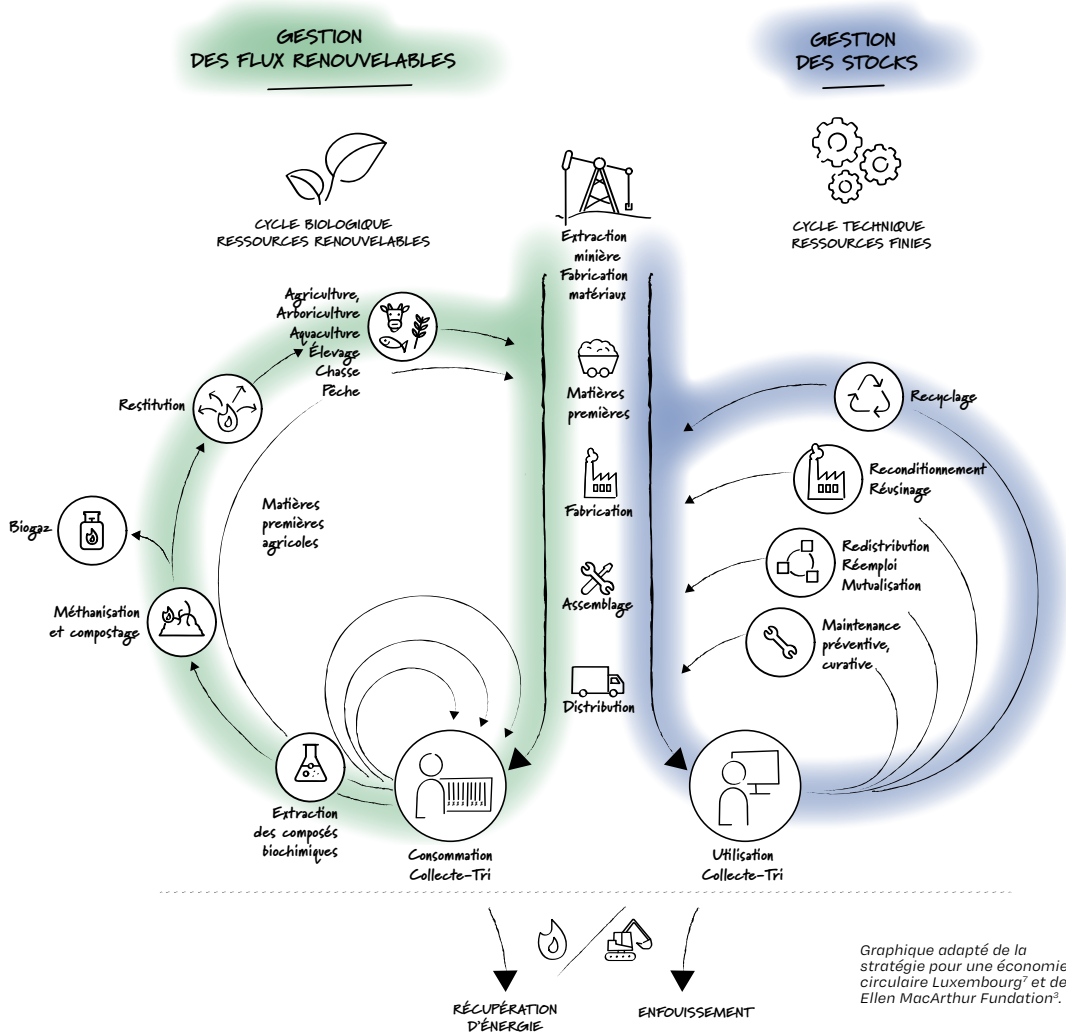
Le Parlement européen définit l'économie circulaire comme un modèle de production et de consommation qui consiste à partager, réutiliser, réparer, rénover et recycler les produits et les matériaux existants le plus longtemps possible afin qu'ils conservent leur valeur. De cette façon, le cycle de vie des produits est étendu afin de réduire l'utilisation de matières premières et la production de déchets. En pratique, cela implique de réduire les déchets au minimum. Lorsqu'un produit arrive en fin de vie, les ressources qui le composent sont maintenues autant que possible dans le cycle économique grâce au recyclage. Elles pourront ainsi être utilisées encore et encore pour recréer de la valeur¹.



Graphique adapté de [acceleration.eu²](https://www.acceleration.eu2).

La fondation Ellen MacArthur³, une association à but non lucratif, a été créée en 2009 pour promouvoir une économie qui, par des approches et conceptions innovantes, restaure et régénère notre environnement naturel. Elle différencie le cycle biologique du cycle technique des ressources. La boucle biologique est un flux de ressources renouvelables, tandis que la boucle technique est plutôt une expression de bonne gestion des stocks, en faisant perdurer les différents matériaux. Les deux boucles de ressources sont idéalement fermées afin d'éviter une perte de valeur et de minimiser la pression sur les écosystèmes vitaux pour l'être humain. Le secteur de la construction se retrouve majoritairement dans le cycle technique et dans la gestion des stocks.

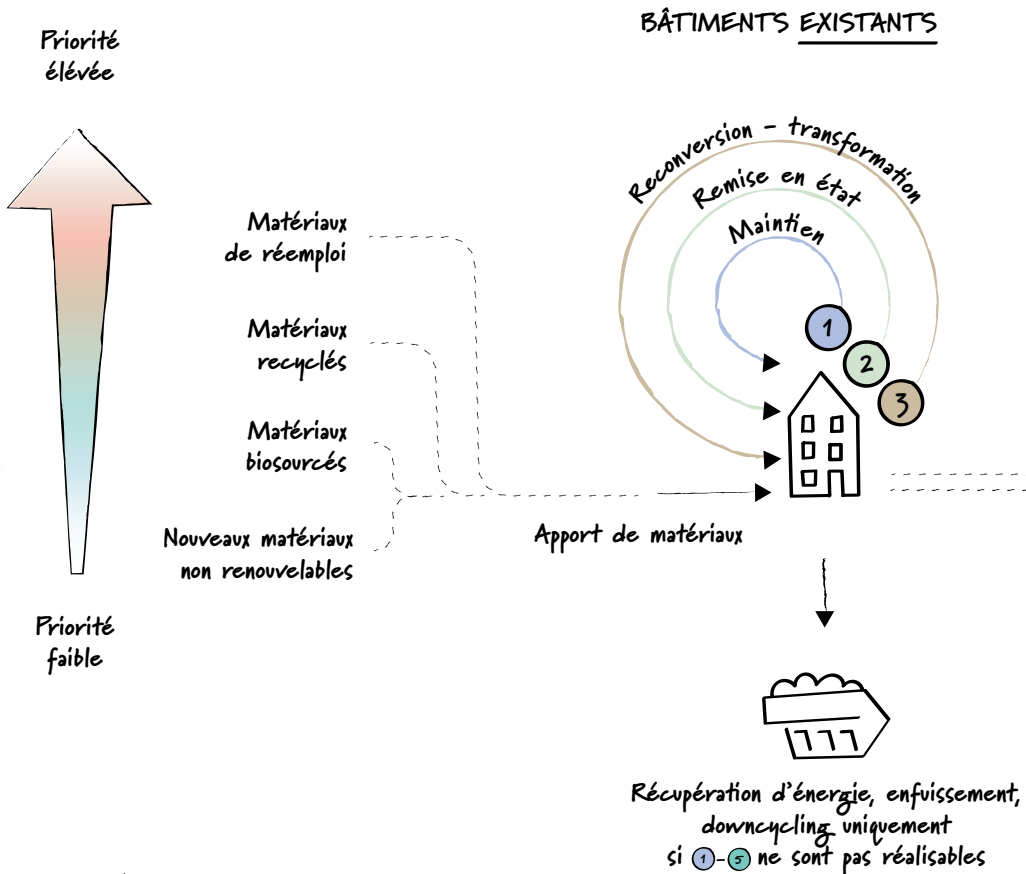
À l'heure actuelle, il n'est pas encore possible de récupérer 100% des matériaux, notamment car le cycle technique génère des pertes qui rendent une mise en décharge finale inévitable. L'objectif des projets s'inscrivant dans la logique de l'économie circulaire doit donc être de minimiser le pourcentage de perte en optant primordialement pour l'optimisation de la planification, la fabrication, l'entretien, puis seulement dans une phase ultérieure, le démontage sélectif et le tri pour le recyclage. Par conséquent, l'éco-design adopte une approche globale de l'ensemble du cycle de vie, qui prend en compte non seulement la phase de construction, mais aussi l'exploitation, la maintenance et la fin du cycle de vie.



Les bâtiments conçus selon les principes de l'économie circulaire utilisent des techniques de construction qui facilitent le démontage et le réassemblage, permettant ainsi de réparer, de rénover et de récupérer facilement les matériaux. Cette approche rend le bâtiment adaptable et prolonge sa durée de vie. Ils se concentrent sur l'utilisation optimale des matériaux et mettent l'accent sur l'efficacité énergétique et l'utilisation intelligente des techniques du bâtiment et des mesures d'économie d'eau, telles que la récupération des eaux de pluie et le recyclage des eaux grises.

L'idée de ne rien perdre, c'est-à-dire de tout utiliser et réutiliser à l'infini, n'est pas nouvelle. Pendant des millénaires,

les êtres humains, à l'exemple de la nature, ont recyclé la quasi-totalité des denrées biologiques et techniques qui étaient à leur disposition. Ce n'est qu'avec l'industrialisation à la fin du XIX^{ème} siècle, que le modèle économique naturellement cyclique et régénératif a été remplacé par le modèle économique linéaire reposant sur le principe du « prendre-fabriquer-consommer-jeter ». Ce principe dirige la société de consommation émergente par la mise à disposition de produits à obsolescence programmée. Et en retour, ce principe est alimenté par une demande croissante de produits bon marché facilement accessibles et remplaçables.

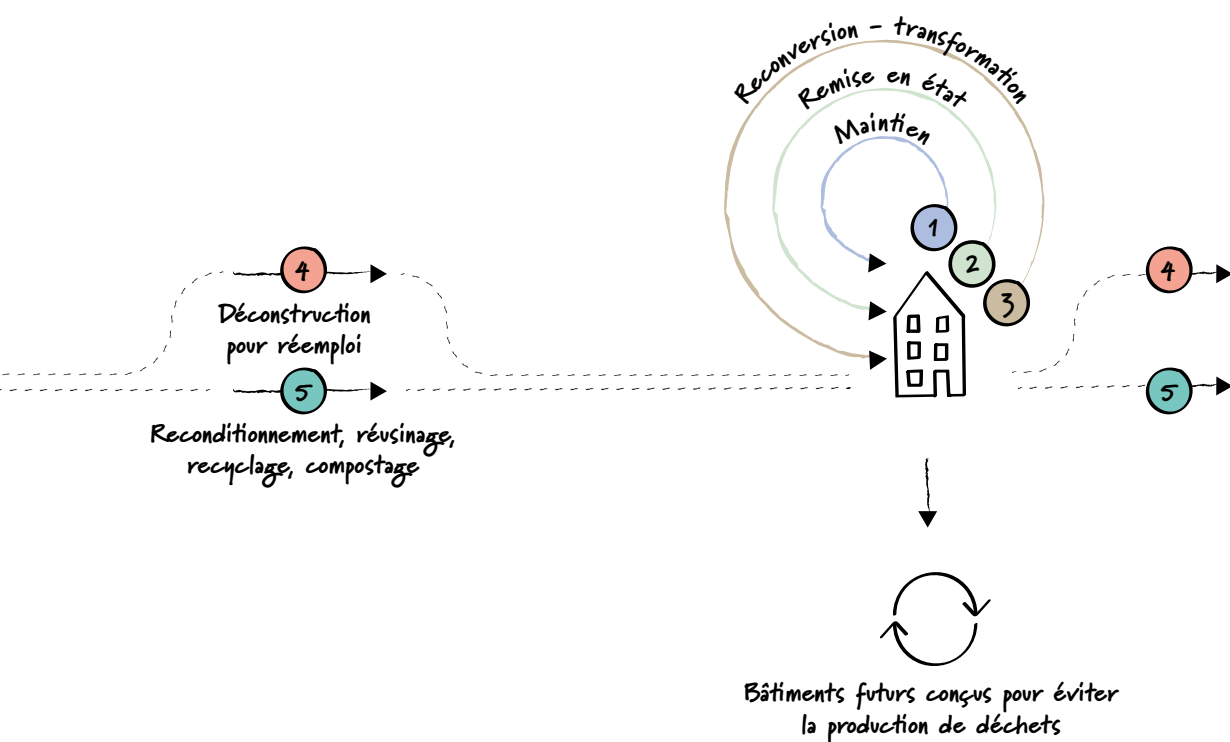


Les flux de matériaux entre l'environnement bâti existant et futur, selon les principes de l'économie circulaire traduit de leti.uk²³.

En 1966, l'économiste et philosophe Kenneth Boulding⁴ théorise le concept de la circularité, en déclarant que l'être humain devrait (re)trouver sa place dans un système écologique cyclique de reproduction et de régénération perpétuelle. C'est en 1989 que l'expression « économie circulaire » apparaît pour la première fois dans le livre « Economics of Natural resources and the Environment »⁵. D'abord un modèle purement économique, il est théorisé plus largement pendant les années 1990 et 2000, notamment par l'économie de la fonctionnalité (économie de la performance) de Walter Stahel⁶.

Dès l'an 2000, le concept de l'économie circulaire investit la scène internationale et est adopté par des politiques. L'espoir de pouvoir développer un modèle alternatif de consommation plus respectueux de l'environnement en gaspillant moins de ressources trouve son attrait, d'autant plus que le principe de la croissance n'est pas remis en question. À partir de 2016, l'Union européenne opte pour l'économie circulaire comme outil pour pouvoir atteindre plusieurs objectifs que sont : la neutralité climatique, la préservation de la biodiversité et la lutte contre la pénurie d'eau.

BÂTIMENTS FUTURS



En 2021, le Luxembourg s'est donné une stratégie d'économie circulaire⁷ visant à créer et à partager de la valeur économique, écologique et sociale. Les grandes lignes ont été tracées dès 2014 dans l'étude « Luxembourg as a knowledge capital and testing ground for the circular economy »⁸, suivie de la stratégie de la troisième révolution industrielle (Third Industrial Revolution - TIR)⁹ découlant de l'étude dite « Rifkin ». Entre autres, le projet « Luxembourg in transition – repenser le territoire »¹⁰ tente d'énoncer les règles pour augmenter la durabilité du Luxembourg et réduire son empreinte écologique.

À noter que ces initiatives nationales s'inscrivent dans le cadre des efforts de l'Union européenne, qui met en place son Green Deal¹¹ dès 2019, visant ainsi à devenir le premier continent neutre pour le climat en 2050, et à réduire d'au moins 55% les émissions nettes de gaz à effet de serre jusqu'à 2030, par rapport à 1990. Le pacte vert pour l'Europe est notamment concrétisé par l'initiative The New European Bauhaus¹² pour ce qui concerne notre environnement construit. Il vise à démontrer que l'innovation durable se décline par des expériences concrètes et positives dans notre vie quotidienne : *beautiful, sustainable, together*¹³.

1. https://www.europarl.europa.eu/news/fr/headlines/economy/20151201STO05603/economie-circulaire-definition-importance-et-benefices?&at_campaign=20234-Economy&at_medium=Google_Ads&at_platform=Search&at_creation=RSA&at_goal=TR_G&at_audience=circular%20economy%20action%20plan&at_topic=Circular_Economy&at_location=LU&gclid=EAIaIQobChMljfuAyYLo_wIV3ZNoCR30KAH1EAAVASAAEgJE0vD_BwE
2. <https://www.acceleratio.eu/circular-economy/>
3. <https://ellenmacarthurfoundation.org/>
4. Boulding, K.E. (1966). *The Economics of the Coming Spaceship Earth*, in: H. Jarrett (ed.) 1966. *Environmental Quality in a Growing Economy*, pp. 3-14. Baltimore, MD: Resources for the Future/Johns Hopkins University Press.
5. Pearce, D.W. and Turner, R.K. (1989). *Economics of Natural Resources and the Environment*, John Hopkins University Press.
6. W. R. Stahel, *L'économie de la performance*, Palgrave Macmillan, 2006.
7. <https://gouvernement.lu/dam-assets/documents/actualites/2021/02-fevrier/08-strategie-economie-circulaire/20210208-Strategie-economie-circulaire-Luxembourg.pdf>
8. <https://www.luxinnovation.lu/news/luxembourg-knowledge-capital-testing-ground-circular-economy>
9. <https://www.troisiemerevolutionindustrielle.lu>
10. <https://luxembourginttransition.lu/en/>
11. https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_fr
12. https://new-european-bauhaus.europa.eu/index_fr
13. https://www.leti.uk/_files/ugd/252d09_ecec993000bf4cf9acba953b845eb9af.pdf

Interview

De quelle manière un projet particulier fait-il progresser l'économie circulaire dans son ensemble ?

À travers une conception se basant sur les principes de l'économie circulaire, chaque projet peut, avec ses spécificités et les solutions trouvées et appliquées, contribuer aux compétences et connaissances du secteur de la construction. Les projets pilotes et démonstrateurs permettent d'expérimenter et de valider ces solutions en vue d'un déploiement plus vaste et d'une approbation par le marché. Les solutions validées permettent d'alimenter les réflexions sur un cadre réglementaire propice à une construction circulaire, sur les outils financiers à mettre en place, ainsi que sur les programmes de formation.

Actuellement, quelles sont les priorités pour l'économie circulaire au Luxembourg ? Et concrètement pour le secteur de la construction ?

L'économie circulaire est un outil important pour réduire l'empreinte carbone et l'impact environnemental du secteur de la construction de manière générale. Elle vise une meilleure utilisation des ressources et la mise en place de boucles vertueuses, d'abord par une conception pour la modularité et la multifonctionnalité, et donc une durée de vie prolongée des bâtiments, ainsi que par la déconstruction sélective en vue de réutiliser et recycler des produits et matériaux. Elle fait donc partie intégrante de la « feuille de route construction bas carbone Luxembourg » des ministères compétents. De manière concrète, les acteurs travaillent sur des plateformes de réemploi et de recyclage, p.ex. du béton. La promotion des matériaux biosourcés, donc issus du cycle biologique, est une autre piste.

Ministère de l'Énergie et de l'Aménagement du territoire,
Département de l'Énergie,
Direction de la construction durable et de l'économie circulaire,
Paul Schosseler,
chargé de la Direction

Un exemple de construction



petitemaison.lu

Petite Maison

La Petite Maison, placée durant l'année 2022 devant la maison du savoir de l'Université du Luxembourg à Belval, est un prototype élaboré suivant un dispositif d'assemblage de type Lego. Il s'agit d'une construction flexible, sèche, modulable et basique, voire brute – c'est un parti pris – qui s'appuie sur des matériaux en partie usagés, choisis pour leurs propriétés physiques, leur durabilité, leur esthétique naturelle, leur déconstruction aisée et sans pertes, et donc leur potentiel élevé de réutilisation. Tous les composants sont principalement préfabriqués, avec un haut degré de précision qui permet un assemblage exclusivement mécanique.

Les matériaux ont été étudiés et testés, en tenant compte de leur disponibilité sur un périmètre géographique resserré. Nous avons voulu qu'ils soient le moins transformés possible et que le travail de découpe et d'usinage puisse être standardisé et réalisé par des PME ou des artisans locaux à l'échelle de la Grande Région. Cela contribue également à l'économie régionale, tout en réduisant la dépendance vis-à-vis des grandes industries et des ressources lointaines et en diminuant la production de CO₂ générée notamment par le transport.

Quel est le rôle des différents intervenants dans le projet de la Petite Maison ?

Petite Maison a réuni une communauté motivée pour collaborer sur la conception et la construction en vue de sa future déconstruction. L'équipe était composée de chercheurs, d'étudiants et de professeurs de l'Université, de centres de recherche, d'organisations publiques et privées, ainsi que de bureaux d'études, d'entreprises et de fournisseurs. Chacun a participé à hauteur de ses compétences et des moyens qu'il souhaitait engager bénévolement. La communauté a souhaité partager son expérience avec le public d'Esch 2022, European Capital of Culture, et au-delà, avec tous ceux avides de changer le paradigme des modes constructifs. Tous partageaient une vision commune sur les transformations culturelles, économiques et technologiques nécessaires à opérer dans le futur, pour améliorer sensiblement le sort de nos ressources planétaires.

**Université du Luxembourg,
Carole Schmit,
architecte et professeure invitée**

**L'Administration des bâtiments publics
est partenaire du projet de l'Université du
Luxembourg.**

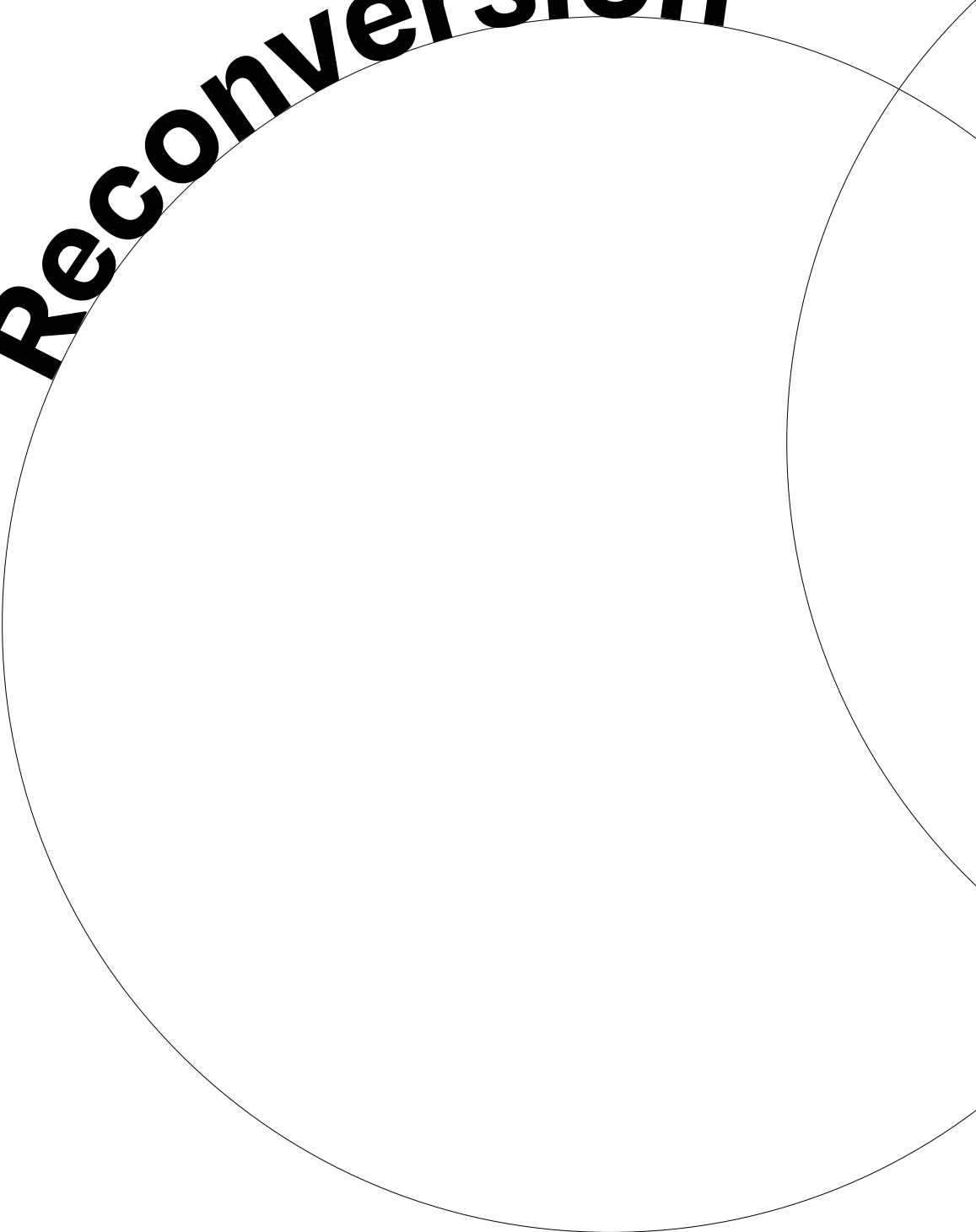


Les rôles traditionnels des intervenants changent-ils ? Et quelles compétences seront de plus en plus utiles et demandées ?

Petite Maison montre à quoi l'architecture du futur pourrait ressembler. Quelle est l'attitude des concepteurs face aux principes de la construction circulaire, à la fois abordable et attirante pour ses utilisateurs ? La vue sur les boulons, le soin apporté aux fixations mécaniques apparentes et l'attrait des finitions de matériaux bruts, font partie du langage architectural à assumer pour montrer comment les bâtiments fonctionnent et délivrent ce qu'on attend d'eux. Un champ esthétique s'ouvre au monde de l'architecture et de l'ingénierie.

L'approche collective du projet aura vocation à faire école en mettant en évidence la nécessité de créer des lieux d'échange, de recherche et de formation, capables de partager le savoir entre entreprises, concepteurs, maîtres d'ouvrage et utilisateurs. Les équipes chargées de construire dans le futur ne pourront plus s'acquitter des réflexions quant à la création d'un maximum de flexibilité, tout en transformant les matériaux le moins possible, de sorte à ce qu'ils préservent au maximum leur potentiel de réutilisation le moment venu. Il faudra valoriser le progrès technique et technologique, notamment par le biais de la digitalisation, la recherche sur le réemploi des matériaux usagés et de nouveaux modes constructifs, tout en intégrant astucieusement les bâtiments dans des alentours durables et en préservant avec sensibilité le contexte existant. Pour ce faire, de multiples compétences sont nécessaires, dont la digitalisation et la modélisation systématique, la collaboration active, ainsi que l'octroi de plus de temps de conception pour raccourcir idéalement les délais de construction et d'assemblage.

Reconversion





transformation

Reconversion - transformation

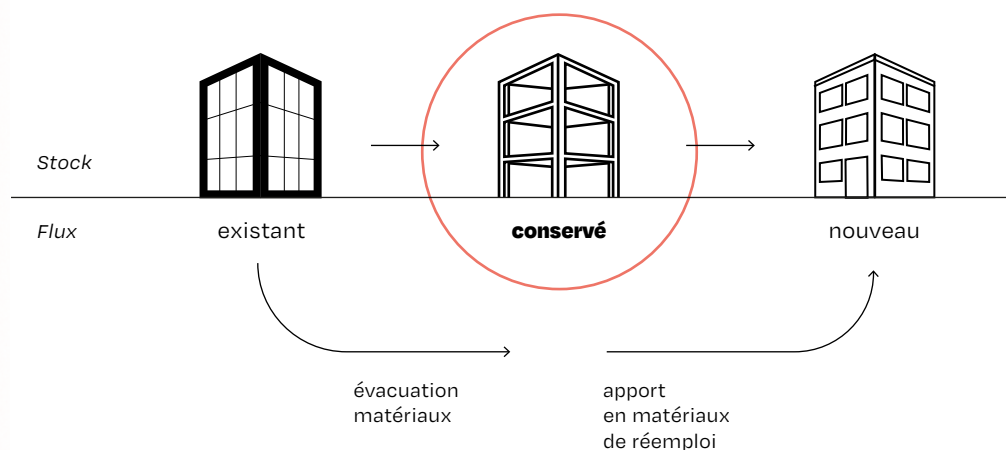
Aile 6000

Limiter l'impact environnemental d'un bâtiment, c'est d'abord limiter les mesures de construction au strict nécessaire.

Au début de chaque projet, deux questions se posent :

- A-t-on vraiment besoin d'une nouvelle construction ?
- L'ancien bâtiment peut-il encore servir ?

L'objectif principal est de minimiser les interventions.



Graphique adapté du projet FCRBE, projet Interreg NWE.

Ce n'est que dans un deuxième temps que se posent les questions suivantes :

- Pouvons-nous conserver une partie du bâtiment ?
- Pouvons-nous récupérer les matériaux déconstruits pour les réemployer ?
- Si nous n'en avons pas d'utilité sur notre chantier, quelqu'un d'autre peut-il les utiliser ?

Le but est de maximiser le stock, c.à.d. les éléments qui restent en place et qui n'ont pas besoin d'être manipulés.

La solution la plus écologique est toujours de continuer à utiliser le bâtiment sans le transformer, ce qui est possible grâce à un bon entretien préventif et à une planification flexible et prévoyante. Et ce n'est qu'ensuite que les éléments qui ne sont plus utilisés sont soigneusement démontés et retirés du bâtiment existant. Dans l'idéal, ils sont réutilisés sur place ou utilisés sur un autre chantier.

Là encore, l'objectif est de limiter le nombre d'interventions importantes. La solution pour assurer la longévité du bâtiment consiste à l'entretenir régulièrement et scrupuleusement et à le rénover dès que cela s'avère nécessaire. De cette manière, la structure du bâtiment peut idéalement être conservée et utilisée le plus longtemps possible.

Le principe de conservation et de reconversion est illustré par la transformation des salles de classe de l'aile 6000 en bibliothèque.

Ce qui semble peu de chose dans la vie d'un bâtiment représente cependant dans la vie d'un lycée quatre générations entières d'élèves qui ne connaîtront que l'état provisoire pendant tout leur parcours scolaire au lycée. Le site du Lycée Michel Lucius - International School disparaîtra à moyen terme pour laisser place à un nouveau quartier d'habitation. Le lycée déménagera dans une dizaine d'années sur un nouveau site au Kirchberg.

Les principes suivants guident le processus de la planification

- La structure porteuse existante possède les conditions nécessaires pour être transformée et adaptée au grand volume de la bibliothèque. (= condition sine qua non)
- L'utilisation est limitée dans le temps.
- L'impact environnemental est minimisé en réduisant la quantité de nouveaux matériaux nécessaires à la construction.
- La nouvelle bibliothèque doit créer une valeur ajoutée pour le campus et être attractive pour les étudiants.

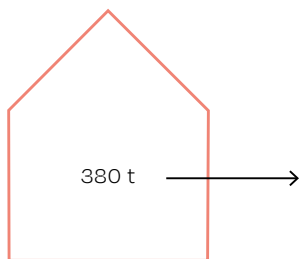


Analyse du cycle de vie (ACV)

Le programme pour la nouvelle bibliothèque et ses salles annexes prévoit quelque 500 m². Théoriquement, une nouvelle construction pour la bibliothèque pourrait donc se limiter à un volume total de 3 100 m³. Le bâtiment en bois existant a un volume d'environ 7 300 m³ et héberge 24 salles de classe. Ce qui permet de le transformer en bibliothèque tout en gardant 10 salles pour des activités parascolaires.

Déconstruction sélective

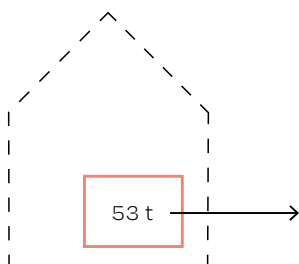
Bibliothèque /
Nouvelle construction



—	Emploi continu
—	Réutilisation
80 t	Réemploi sur site
170 t	Recyclage
130 t	Élimination

	30 t Maçonnerie
	17 t Laine minérale
	15 t Panneaux façades
	153 t Béton
	120 t Plâtre
	32 t Bois

Reconversion



327 t	Emploi continu
—	Réutilisation
—	Réemploi sur site
20 t	Recyclage
33 t	Élimination

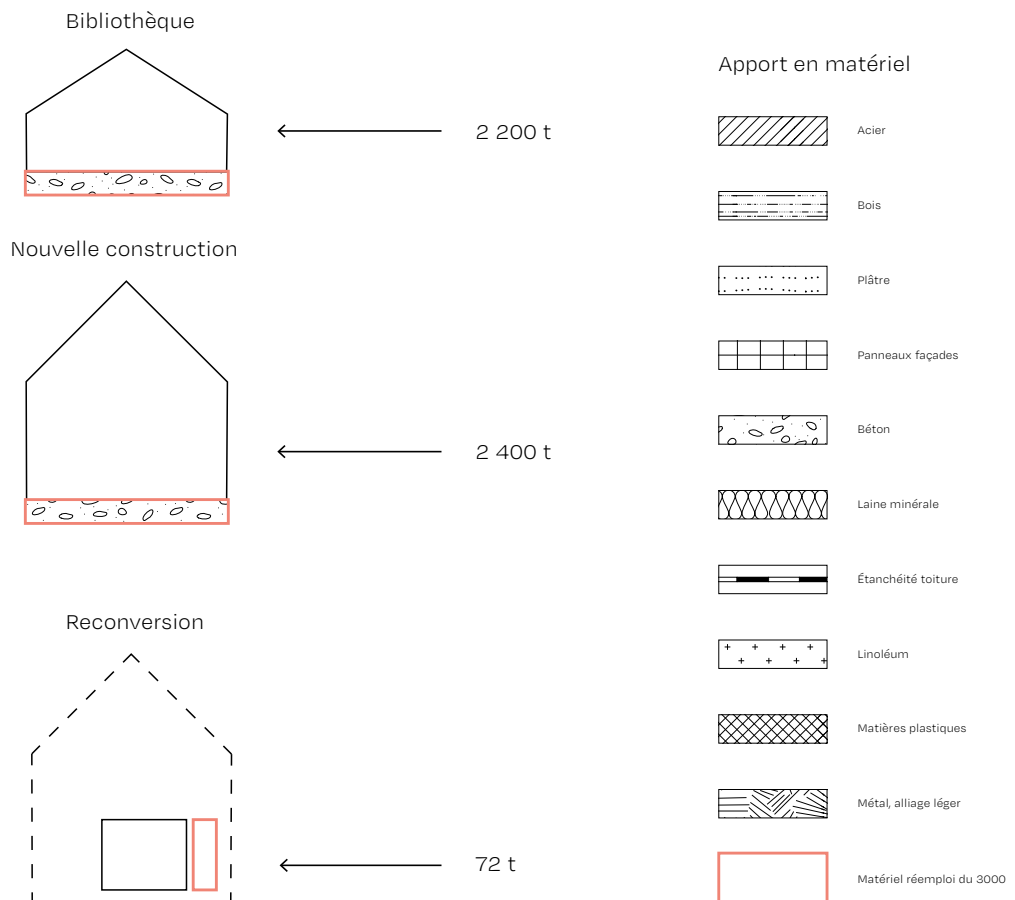
	34 t Plâtre
	11 t Bois
	6 t Laine minérale
	2,7 t Acier
	1,6 t Étanchéité toiture
	1 t Linoléum

Trois scénarios sont considérés

- La déconstruction du volume existant et une nouvelle construction modulaire préfabriquée à taille identique (**nouvelle construction 2 étages**)
- La déconstruction du volume existant et une nouvelle construction modulaire préfabriquée pour la bibliothèque (**bibliothèque 1 étage**)
- La transformation de l'existant en bibliothèque (**reconversion 2 étages**)

Graphique adapté de l'étude « Environmental assessment of Lucius high school building 6000 – renovation vs new construction report by LIST 09/10/2020 ».

Construction

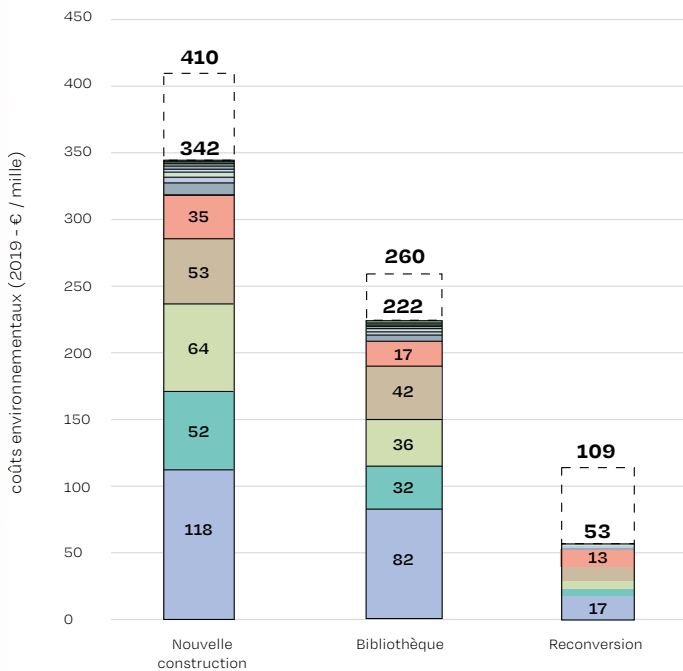


La méthodologie d'analyse du cycle de vie quantifie les impacts environnementaux, tels que le changement climatique, l'acidification terrestre, la toxicité humaine ou encore l'épuisement de l'eau de chaque variante, et les convertit en coûts monétaires. Ceci permet d'intégrer ces derniers plus aisément dans le processus de décision.

Le graphique suivant montre que les coûts environnementaux pour le scénario reconversion représentent environ un sixième des coûts d'une nouvelle construction à deux étages en modules préfabriqués.

Le résultat reste favorable pour le scénario reconversion, même pour le calcul 2030 qui prend en compte l'évacuation définitive de l'aile 6000 pour laisser de la place au futur quartier d'habitation.

Les constructions modulaires préfabriquées des scénarios nouvelle construction et bibliothèque pourraient être déplacées et réutilisées sur un autre site. Cette étape nécessiterait toutefois des ressources supplémentaires, même si celles-ci seraient moindres que pour une nouvelle construction.



Graphique adapté de l'étude « Environmental assessment of Lucius high school building 6000 - renovation vs new construction report by LIST 09/10/2020 ».

Coûts environnementaux par scénario :

- | | | | |
|------|--|---|---|
| 2021 | ■ L'occupation des terres agricoles | ■ L'appauvrissement de la couche d'ozone | ■ L'écotoxicité terrestre |
| | ■ Le changement climatique | ■ L'écotoxicité marine | ■ L'occupation des sols urbains |
| | ■ L'acidification terrestre | ■ L'eutrophisation de l'eau douce | ■ La formation d'oxydants photochimiques |
| | ■ La toxicité humaine | ■ L'eutrophisation marine | ■ Les rayonnements ionisants |
| | ■ La formation de particules | ■ L'écotoxicité de l'eau douce | |

2030 - - - - -

Les coûts évalués comprennent les émissions de gaz à effet de serre. Reconvertir le bâtiment existant plutôt que d'en construire un nouveau représente une économie de 458 à 792 tonnes équivalent CO₂¹. La majorité des coûts environnementaux provient des émissions de particules, de l'acidification terrestre, de la toxicité humaine et du changement climatique.

En plus de générer des coûts environnementaux inférieurs de 76 à 84% par rapport aux scénarios de nouvelle construction, le scénario reconversion génère également moins de déchets. En combinant la production de déchets dans les deux périodes de 2021 et 2030, le scénario reconversion offre l'avantage de réduire de 79% le total des déchets de déconstruction et de 20% les déchets destinés à être mis en décharge. Ceci est important, compte tenu de la capacité limitée des sites potentiels de remblayage et des décharges au Luxembourg.

Après le déménagement du lycée et une durée d'utilisation d'environ 35 ans, le bâtiment provisoire existant 6000 doit être définitivement démonté pour faire place aux nouvelles constructions résidentielles. À moins qu'une utilisation ultérieure de la structure existante soit envisageable dans le cadre du réaménagement du Limpertsberg, en cas de changement d'affectation.

Même si les coûts environnementaux du scénario reconversion sont notablement inférieurs à ceux des deux autres scénarios, d'autres facteurs ont également influencé la décision de garder le volume existant. Les critères de temps (mise à disposition rapide) et de coûts de construction (le bâtiment sera utilisé pendant une dizaine d'années avant de devoir faire place à l'habitation), ainsi que la surface qui peut être mise à disposition du lycée sont également considérés.



Comparaison des différents scénarios considérés pour la nouvelle bibliothèque du Lycée Michel Lucius - International School

	scénario 1 Nouvelle construction	scénario 2 Bibliothèque	scénario 3 Reconversion
	déconstruction	déconstruction	travaux préparatoires
	7 300 m ³ 560 000,00€ *	7 300 m ³ 560 000,00€ *	340 000,00€ *
	nouvelle construction	nouvelle construction	transformation
	7 300 m ³ 4 280 000,00€ **	3 100 m ³ 1 820 000,00€ **	7 300 m ³ 1 660 000,00€ **
coûts de construction	4 840 000,00€	2 380 000,00€	2 000 000,00€
frais, réserves, honoraires, TVA	2 530 000,00€	1 230 000,00€	1 370 000,00€
coûts environnementaux	389 000,00€ ***	253 000,00€ ***	60 000,00€ ***
	7 759 000,00€	3 863 000,00€	3 430 000,00€
ESTIMATION COÛT	7 800 000,00€	3 900 000,00€	3 400 000,00€
durée de la planification	6 mois	6 mois	6 mois
durée des travaux	12 mois	10 mois	7 mois
	18 mois	16 mois	13 mois
ESTIMATION MISE EN SERVICE	mars 2021	janvier 2021	septembre 2020
AVANTAGES/ DÉSAVANTAGES			projet exemplaire en économie circulaire
	nouvelle structure	nouvelle structure	ancienne structure
	aspect standard	aspect standard	bâtiment unique offrant un espace bibliothèque exceptionnel
	« Jugendtreff » et salles d'activité	/	« Jugendtreff » et salles d'activité
	beaucoup de déchets	beaucoup de déchets	peu de déchets
	mauvais bilan écologique	mauvais bilan écologique	bon bilan écologique
	/	/	projet à caractère novateur et précurseur

En supplément d'être la moins coûteuse et la plus rapide, la variante reconversion permet de garder des surfaces existantes et fonctionnelles. L'école peut ainsi profiter des anciennes salles de classe pour y installer le Jugendtreff et des salles d'activité.

Le scénario Reconversion est donc choisi.

* estimations par la maîtrise d'œuvre

** estimations à l'aide de valeurs de référence

*** résultat ACV, coûts 2021 sans prise en compte de la déconstruction future prévue pour +/- 2030

indice octobre 2021



1. La tonne équivalent CO₂ (eq CO₂) est un indice introduit dans l'« IPCC First Assessment Report » du GIEC. Cet indice permet de comparer les impacts que les gaz à effet de serre (GES) ont sur l'environnement en simplifiant cette comparaison, mais permet également de les cumuler grâce à un unique indice. <https://www.hellocarbo.com/blog/calculer/tonne-equivalent-co2/>

Interview

Quelles informations supplémentaires une analyse du coût du cycle de vie fournit-elle et comment les résultats sont-ils intégrés dans le processus décisionnel ?

Une analyse du coût du cycle de vie (ACV) fournit des informations supplémentaires au-delà des coûts initiaux d'un produit ou d'un projet, en prenant en considération tous les coûts encourus tout au long de sa durée de vie. En tenant compte de l'ensemble du cycle de vie, y compris les phases de production, d'utilisation et d'élimination, l'ACV aide à déterminer les impacts environnementaux associés à un produit ou à un projet. De plus, elle permet d'identifier les possibilités de réduction des déchets, d'allongement de la durée de vie des produits et d'optimisation de l'utilisation des ressources. En considérant l'ensemble des coûts du cycle de vie et des impacts environnementaux, l'ACV soutient les principes de l'économie circulaire. Elle favorise une prise de décision plus durable et plus efficace.

Lors de l'étude que nous avons fait réaliser, les impacts environnementaux sont convertis en euros. Ils peuvent ainsi être facilement pris en compte dans le processus de décision.

Les impacts environnementaux tiennent compte des coûts de restauration des habitats écologiques ou de compensation des dommages environnementaux qui sont

supportés par l'Etat, même s'ils dépassent le budget du projet strictement dit. Il est donc logique que les coûts environnementaux au sens large soient également considérés dans la recherche de la meilleure solution pour chaque projet.

C'est aussi un aspect du « Nohaltegekeetscheck » récemment introduit par le gouvernement luxembourgeois, qui évalue la durabilité des projets législatifs.

La décision de conserver l'aile 6000 a-t-elle été influencée par l'analyse du cycle de vie ?

En fait, nous nous attendions à ce que le résultat de l'ACV soit une recommandation pour la conservation et la transformation du volume existant, par rapport à une démolition suivie d'une nouvelle construction. Nous avons toutefois été surpris par la grande différence entre les résultats des divers scénarios, de l'ordre de 600%. L'analyse du cycle de vie a fourni des arguments décisifs aux utilisateurs et aux autorités budgétaires en faveur du scénario 3 : reconversion et transformation.

La direction des travaux et les entreprises impliquées dans le projet, mises au défi par la complexité des travaux de transformation, ont également été étonnées par les résultats de l'étude.

**Administration des bâtiments publics,
Sophie Maurer,
cheffe de projet**

Concept énergétique

Composée d'éléments préfabriqués en bois, l'aile 6000 est une construction légère qui n'est pas suffisamment isolée et ne présente pas assez de masse pour offrir un confort thermique adéquat. Lors de la reconversion en bibliothèque, l'amélioration des conditions d'utilisation est l'une des préoccupations importantes et une condition non négociable de l'utilisateur.

Le projet se concentre sur les mesures les plus efficaces pour limiter les moyens à mettre en œuvre. Les solutions retenues permettent de réduire l'utilisation de nouveaux matériaux et de laisser un maximum d'éléments en place.

Et ce, même si leurs caractéristiques techniques ne correspondent plus aux normes énergétiques actuelles.

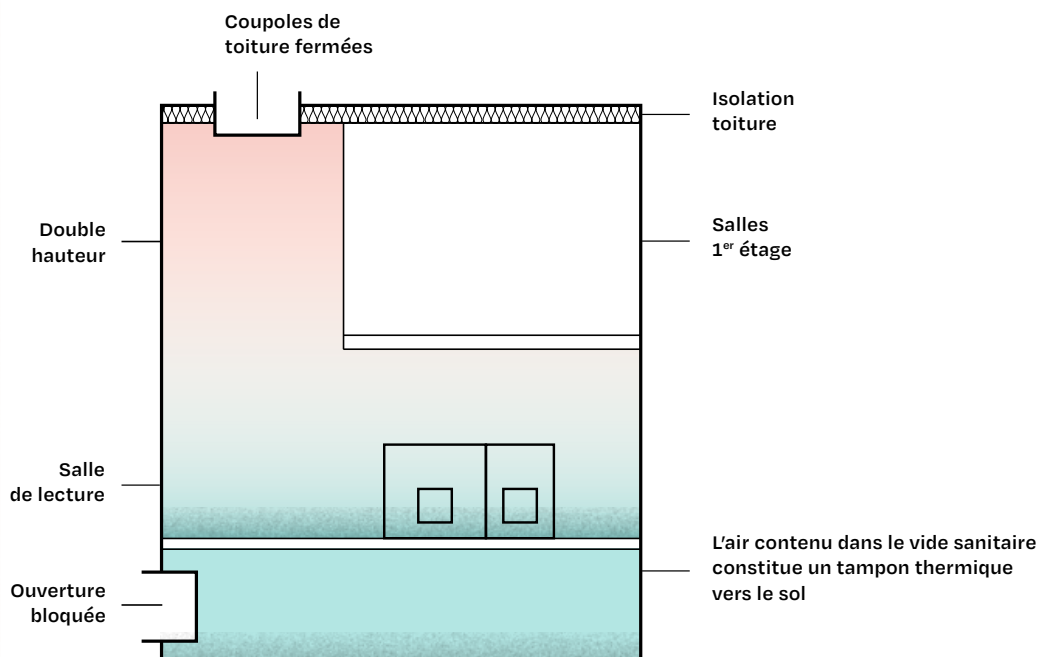
Ainsi, l'empreinte carbone de la « nouvelle » bibliothèque est sensiblement réduite.



Froid hivernal

- À cause de nombreuses infiltrations, le revêtement de la toiture doit être renouvelé pour assurer un bon fonctionnement durant les dix prochaines années.
- Profitant de ces travaux, l'isolation existante est également remplacée par une isolation plus épaisse utilisant toute la hauteur disponible. Le choix du matériau est un compromis entre son poids, sa performance d'isolation et la facilité de mise en œuvre.
- Les façades ne sont pas modifiées car elles sont encore dans un état acceptable. Une rénovation énergétique entraînerait un gain d'énergie plus faible que l'isolation du toit, car les pertes de chaleur vers le haut sont plus importantes que les pertes de chaleur vers les côtés. Pour cette même raison, les fenêtres ne seront pas remplacées.
- Le chauffage existant reste en place mais le système de contrôle est remis à niveau.
- Les pertes en chaleur hivernales se voient ainsi fortement réduites.

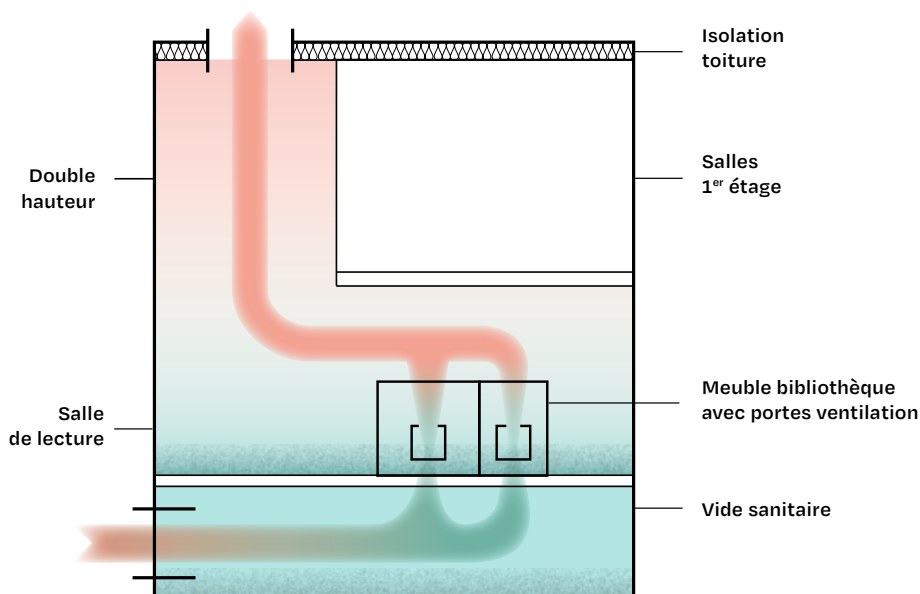
Hiver



Surchauffe estivale

- L'isolation du toit vers le haut est également une mesure permettant d'éviter une chaleur excessive dans la nouvelle bibliothèque. Elle assure un déphasage entre la chaleur extérieure et la chaleur intérieure.
- Le doublement de la hauteur de la salle de lecture offre, grâce au volume d'air supplémentaire créé, de la place pour absorber la chaleur excédentaire.
- Un système de ventilation naturelle permet à l'air frais de circuler dans le vide sanitaire et à l'air vicié d'être évacué par les coupoles motorisées du toit. Le vide sanitaire fonctionne selon le principe d'un puits canadien ou provençal. L'air extérieur passe par le vide sanitaire où il se refroidit, avant de traverser le mobilier de la bibliothèque pour arriver dans la salle de lecture. Grâce aux forces thermiques, le système fonctionne sans système de ventilation technique.
- Le soir, les portes des meubles sont ouvertes manuellement pour que la bibliothèque puisse se refroidir pendant la nuit. Le passage de l'air par le vide sanitaire a en outre l'avantage de protéger l'entrée d'air de la pluie.

Été



Système de ventilation naturelle.

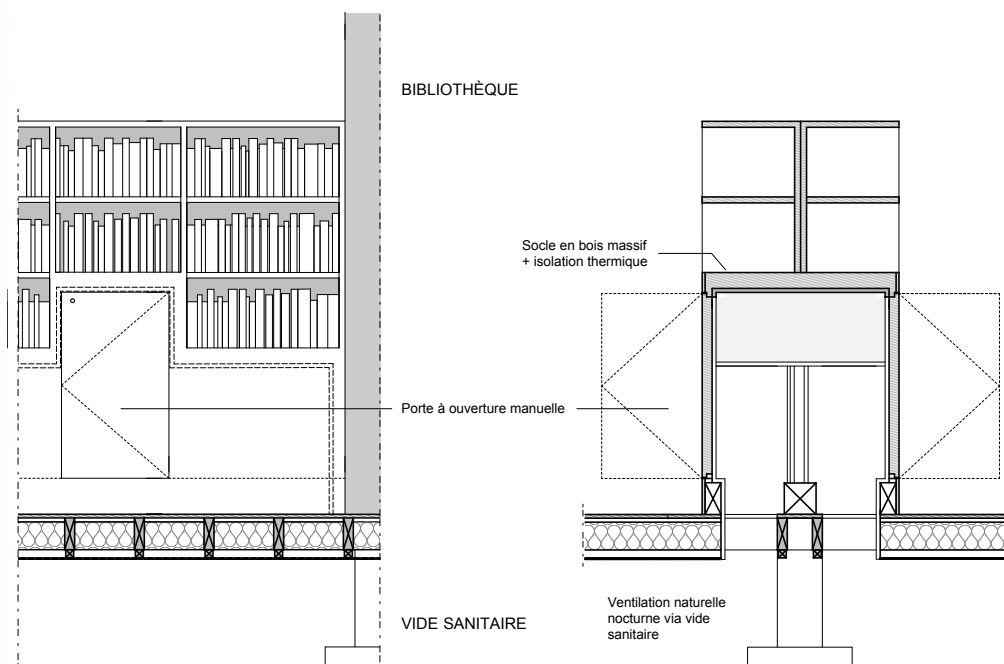
Meubles de bibliothèque

La circulation de l'air selon le principe du puits provençal a nécessité une planification minutieuse de l'arrivée d'air depuis le sol.

Étant donné qu'il était nécessaire d'ajouter des éléments supplémentaires aux meubles existants, les nouvelles étagères de la bibliothèque ont été fabriquées sur mesure. De cette manière, il a été possible d'y intégrer l'arrivée d'air frais. Les portes d'aération sont verrouillées et ne peuvent être ouvertes que par le personnel de l'école, puisqu'elles s'ouvrent en direction du vide sanitaire. Pour éviter les dommages causés

par la condensation, les meubles sont isolés à l'intérieur. Les meubles reposent sur les découpes réalisées spécifiquement pour cette utilisation dans le plancher en bois existant.

Les quatre ouvertures existantes dans les murs extérieurs du vide sanitaire sont protégées par une grille. En hiver, elles sont entièrement obstruées par de grandes plaques métalliques pour empêcher tout échange d'air entre le vide sanitaire et l'extérieur.



Détail d'exécution du meuble
par Schmets Architectes.

Interview

Quelle est l'importance du confort thermique dans un projet comme la reconversion de l'aile 6000 ?

Même si le confort thermique est un élément fondamental du bien-être des personnes, d'autres facteurs tout aussi importants contribuent à la qualité de séjour des espaces intérieurs. En termes d'une planification intégrale, les considérations thermiques sont toujours à harmoniser avec sensibilité avec les aspects d'architecture, tels que la lumière naturelle et artificielle, l'acoustique de la pièce et la qualité de l'air intérieur, afin d'obtenir le résultat optimal.

Quelle approche choisir pour un projet circulaire voué à une utilisation limitée à 10 ans ?

Pour moi, il est très inhabituel de planifier un projet qui n'a qu'une durée de vie limitée de 10 ans. L'expérience montre que les bâtiments provisoires avec leurs utilisations successives durent bien plus longtemps que prévu, pour diverses raisons. C'est pourquoi je recommande toujours d'adopter une perspective à plus long terme lors de rénovations - en général d'une trentaine d'années. Mais même en cas de perspectives d'utilisation plus courtes, comme ce sera le cas ici, le confort de l'utilisateur est une priorité absolue.

En même temps, les thèmes comme l'utilisation des ressources, l'énergie grise et les coûts d'investissement, jouent certainement un rôle encore plus important que d'habitude. Bien que les principes de base restent identiques dans le domaine de la construction durable, les solutions adoptées dans de tels projets peuvent différer. Dans le présent cas de figure, on mise souvent davantage sur la responsabilité individuelle des utilisateurs, afin de pouvoir réduire considérablement l'utilisation de la technique et notamment l'automatisation.

**EBP Schweiz,
Martin Meier,
conseiller en climatisation,
énergie et technologie**

Structure portante

L'aile 6000 existante dispose d'un système statique perfectionné. Il exploite de manière optimale les limites des matériaux de la structure porteuse entièrement en bois. Depuis les années 1970, ce système statique a été optimisé en vue d'éviter l'utilisation de matériaux superflus.

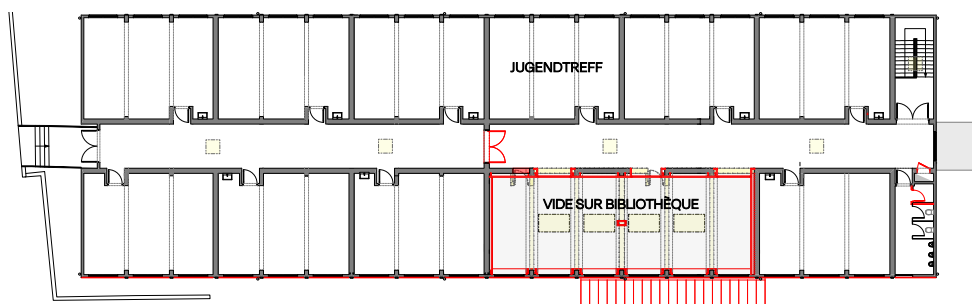
Des poutres de lamibois collées Kerto sont utilisées pour les murs. Celles-ci peuvent supporter un poids élevé, sont très rigides et légères, tout en ayant une section transversale réduite. Néanmoins, les poutres Kerto sont employées uniquement à des endroits précis définis par la nécessité statique. Les autres murs sont des constructions à ossature en bois, moins chères et plus simples à mettre en œuvre. Les bâtiments ainsi conçus devaient être faciles à préfabriquer, à transporter et à monter sur chantier.

Chaque module de salle de classe de l'aile 6000 peut être considéré comme une caisse

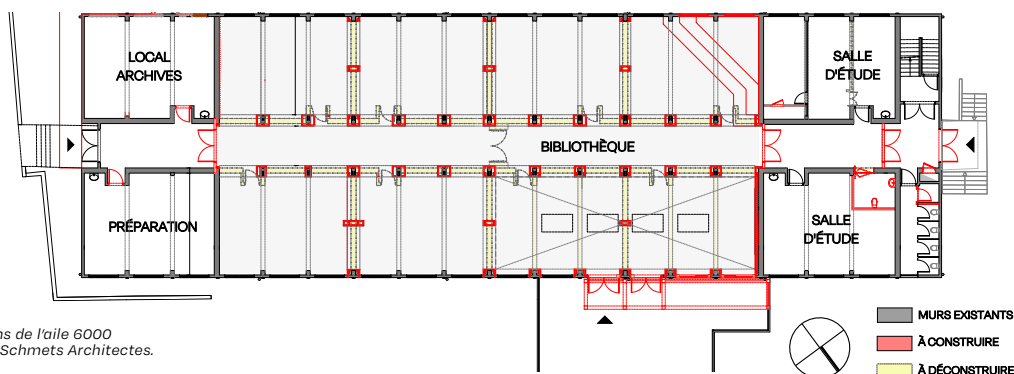
en bois rigide autoportante. Comme pour les conteneurs en acier, ces boîtes sont assemblées en ligne. Le corridor fait office d'élément de liaison entre les deux côtés du bâtiment ainsi créé. L'ensemble repose sur des fondations ponctuelles posées sur l'ancienne cour de l'école.

En raison de la pente relativement importante, un vide sanitaire a dû être aménagé sous le bâtiment préfabriqué. Pendant la phase de construction, il a fallu veiller à ne pas surcharger la dalle de sol existante puisque celle-ci est également autoportante et se trouve au-dessus du vide sanitaire ventilé.

1^{er} étage



Rez-de-chaussée



Le projet de reconversion

Pour le réaménagement, une partie des parois latérales supérieures et inférieures de ces boîtes est retirée afin de créer le grand volume prévu pour la bibliothèque. Les murs et les sols en bois démontés sont remplacés par un nouveau système structurel en acier capable de supporter le poids des éléments restants. Parallèlement, les assemblages rigides de la nouvelle structure garantissent la stabilité globale du bâtiment afin d'éviter son renversement.

Les nouveaux cadres en acier, composés de poteaux et de poutres en acier, sont optimisés de manière à utiliser le moins de matériaux de construction possible. C'est d'ailleurs la même raison pour laquelle le projet ne fait pas appel à une structure auxiliaire temporaire, ce qui rend le processus de construction un peu plus complexe. La structure en acier, aussi fine que possible, permet de laisser plus de place aux grandes ouvertures. Le résultat est le volume continu et généreux de la bibliothèque.

La modification du système statique et la localisation des nouveaux poteaux nécessitent la mise en place de fondations ponctuelles supplémentaires. Des dalles de béton non armé sont utilisées pour permettre un montage rapide et un démontage ultérieur facile.

La structure métallique de l'aile 3000, qui est démontée à côté et en parallèle, n'a pas pu être utilisée pour la fabrication des cadres de l'aile 6000. Construire dans l'existant implique certaines contraintes. Dans ce cas, la section des poutres métalliques disponibles était trop importante. La hauteur libre des salles de classe existantes ne correspond pas aux exigences minimales pour une bibliothèque. Dans les zones sans double hauteur, une dérogation a été accordée pour réduire encore davantage la hauteur aux endroits où la nouvelle structure en acier sera installée. La condition était le maintien d'une hauteur libre d'au moins 2,60 mètres.





Planification et exécution

Pour pouvoir mener à bien cette intervention majeure sur le système structurel existant, il faut respecter un phasage précis et prédéfini. Les travaux sont réalisés en six phases, conformément à la planification minutieuse et aux calculs de l'ingénieur en génie civil.

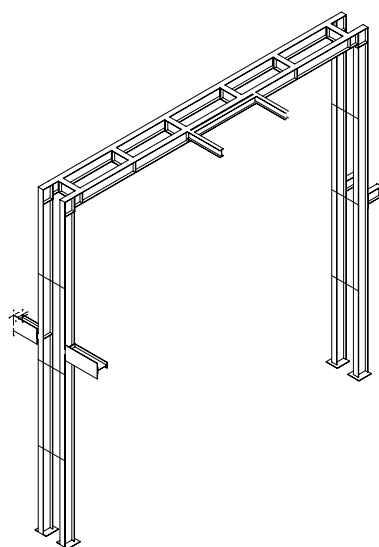
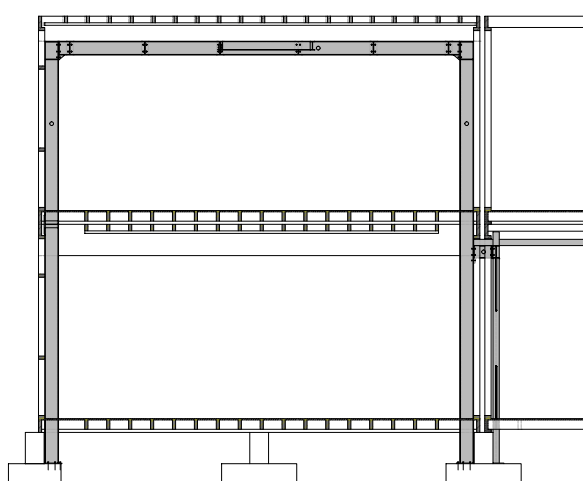
D'abord, les revêtements ont été retirés partiellement pour créer des ouvertures dans les murs et les planchers. Ce n'est qu'à ce moment que les mesures exactes de l'existant ont pu être prises. Sur la base de ces données, l'entreprise chargée de l'opération a établi les plans pour la fabrication et l'installation des nouvelles structures métalliques.

Les grandes poutres en acier ont dû être divisées afin de pouvoir être transportées. Mais surtout, les poteaux ont dû s'adapter à la taille des salles existantes, étant donné que le démontage des murs et planchers existants n'a pu avoir lieu qu'après le montage de la structure définitive. Par conséquent, les différents éléments des cadres sont assemblés et vissés sur place.

Chaque cadre est composé de deux moitiés montées de part et d'autre du mur sur les nouvelles fondations. Les parois sont localement démontées pour pouvoir monter les profils de liaison des cadres. Les cadres des salles de classe et du couloir sont liés. Ce n'est qu'une fois que les deux parties du cadre sont en place et fixées que les mur en bois sont définitivement démontés.

Les grands cadres de la double hauteur sont montés selon le même principe, sauf que les quatre poteaux doivent à chaque fois être assemblés à travers le plancher existant.

En dernier lieu, la structure portante pour les nouvelles coupoles de toit est mise en place entre les cadres de la double hauteur.



*Coupe classe - couloir
zone du grand cadre en
acier et vue isométrique
sur le grand cadre en acier,
extraits de plans élaborés
par Daedalus Engineering.*

Phasage



Création des ouvertures dans le plancher du rez-de-chaussée pour les nouvelles fondations.



Montage des deux moitiés de cadres de part et d'autre du mur existant.



Création des ouvertures dans les murs en ossature bois pour pouvoir réaliser une liaison entre les cadres salle de classe et ceux du couloir.



Démolition des murs en bois une fois que les deux parties du cadre sont en place et reliées.



Création d'ouvertures dans le plancher du 1^{er} étage permettant l'assemblage des quatre poteaux du cadre à double hauteur et le montage du cadre à travers les planchers existants.



Démolition du plancher et des anciens murs en bois dans la future salle de lecture à double hauteur.

Interview

Quelle est l'importance des sondages et de la recherche historique ?

Lorsque nous avons commencé à réfléchir sur le projet, nous n'avions à notre disposition qu'un seul plan sommaire de la structure en bois préfabriquée.

L'objectif des sondages effectués était de déterminer si la construction réalisée correspondait exactement à la représentation du plan. Les sondages permettaient aussi de faire des investigations plus détaillées sur les détails d'assemblage et les complexes mis en œuvre. Les données, telles que les dimensions des sections et les assemblages n'apparaissant pas sur le plan, ont pu être complétées.

S'y ajoute une recherche historique sur les modes constructifs et la qualité des matériaux disponibles au moment de la réalisation de la construction initiale. En effet, nous savons qu'au fil du temps, certains systèmes constructifs changent, mais aussi notamment que la qualité des matériaux mis en œuvre varie d'une époque à l'autre, et même d'un chantier à l'autre. Si les documents disponibles ne fournissent pas ce type d'informations, il est possible de compléter la campagne de sondages par une prise d'échantillons pour les faire analyser en laboratoire.

Quelles ont été les stratégies pour utiliser le moins de nouveaux matériaux possible ?

Des hypothèses vagues et souvent trop axées sur la sécurité engendrent des solutions techniques demandant un apport important en matériaux. C'est la raison pour laquelle les sondages, analyses et recherches en amont, sont très importants pour pouvoir optimiser les besoins en nouveaux éléments de construction.

Il est important d'avoir une idée précise des processus de réalisation des travaux de transformation prévus. Dans le cas précis, les structures provisoires de stabilisation souvent nécessaires dans le cadre de transformations lourdes ont été analysées. Ces structures à caractère temporaire demandent souvent un important apport en matériaux. Après réalisation de la solution structurelle définitive, les constructions temporaires sont démontées et éliminées. Comme il s'agit très souvent d'éléments découpés sur mesure, il est impossible de les réutiliser dans le cadre d'autres projets.

Grâce aux informations obtenues lors des sondages, il a été possible de développer des structures de renforcement définitives qui pouvaient déjà être montées avant le démontage des murs à démolir. Le transfert des charges de l'étage supérieur a ainsi pu être garanti pendant toute la durée des travaux, sans structures d'étagage permettant une économie importante en matériaux.

Sécurité et accessibilité

La sécurité est un volet à multiples facettes. D'un côté, il faut respecter les normes et réglementations en matière de construction ainsi que les prescriptions de sécurité dans la fonction publique, ce qui n'est pas toujours simple dans le bâti existant. D'un autre côté, il faut limiter les dangers et risques potentiels pendant les travaux, ce qui vaut tant pour les travailleurs sur le chantier, que pour la population scolaire quand le site reste en fonctionnement pendant la durée des travaux.

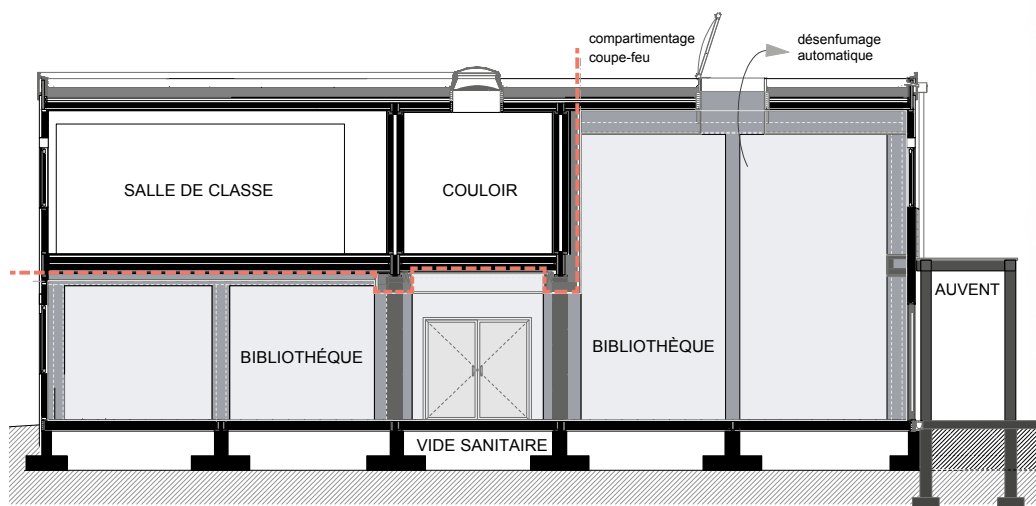


Le risque d'incendie

La protection contre l'incendie est un point essentiel. Dès le départ, la résistance au feu de la construction en bois existante n'était pas optimale. L'aménagement d'une bibliothèque ajoute une charge calorifique importante sous forme de livres. Afin de garantir la résistance au feu réglementaire de soixante minutes (EI60), des solutions préférablement économes en matériaux sont recherchées dès la phase de conception en collaboration avec les autorités chargées de délivrer les autorisations. Dans le cas présent, il n'était pas nécessaire de renforcer la résistance au feu du plafond par le haut. Ainsi, il n'était pas utile de refaire le plancher du premier étage.

Le cloisonnement EI60 exigé détermine l'esthétique du projet. Il est réalisé avec des plaques de plâtre qui recouvrent la structure portante en bois et en acier. L'aspect final des intérieurs ne laisse plus deviner la structure complexe et élégante dissimulée sous ce revêtement. Une grande quantité de matériaux a été utilisée pour cela, mais les exigences en matière de sécurité ne permettaient pas d'en utiliser moins.

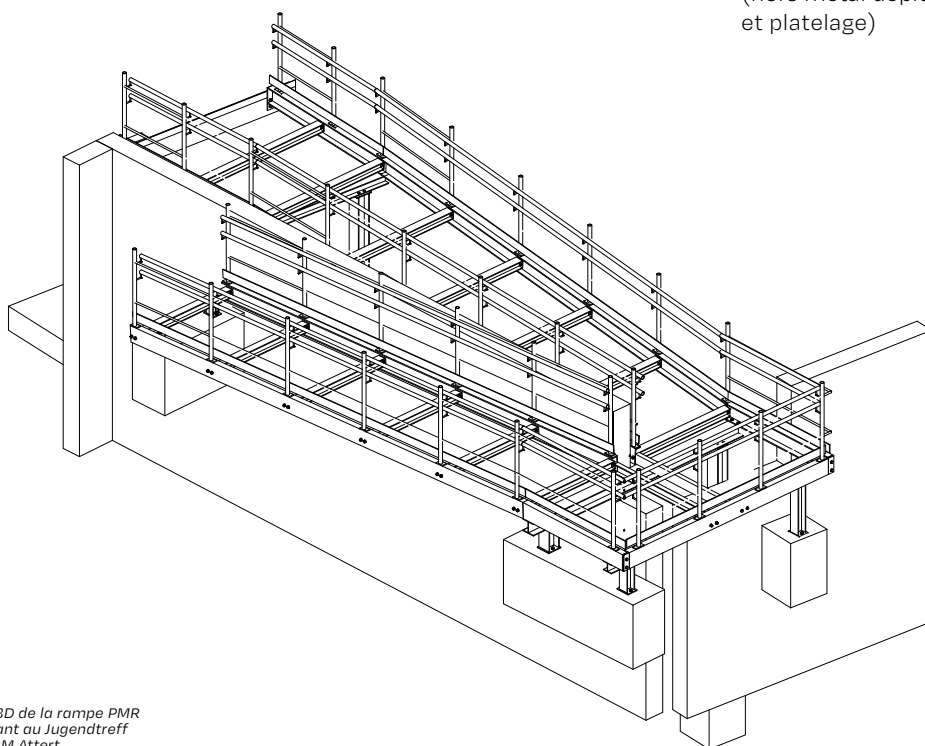
Le bâtiment a également été équipé d'un système intégral de détection d'incendie qui, en cas d'alarme, déclenche l'évacuation vers les nouvelles sorties de secours supplémentaires. En même temps, l'ouverture automatique des nouvelles coupes de désenfumage est déclenchée.



Coupe transversale de l'axe 6000 montrant les éléments coupe-feu par Schmets Architectes.



Structure
(hors métal déployé
et platelage)



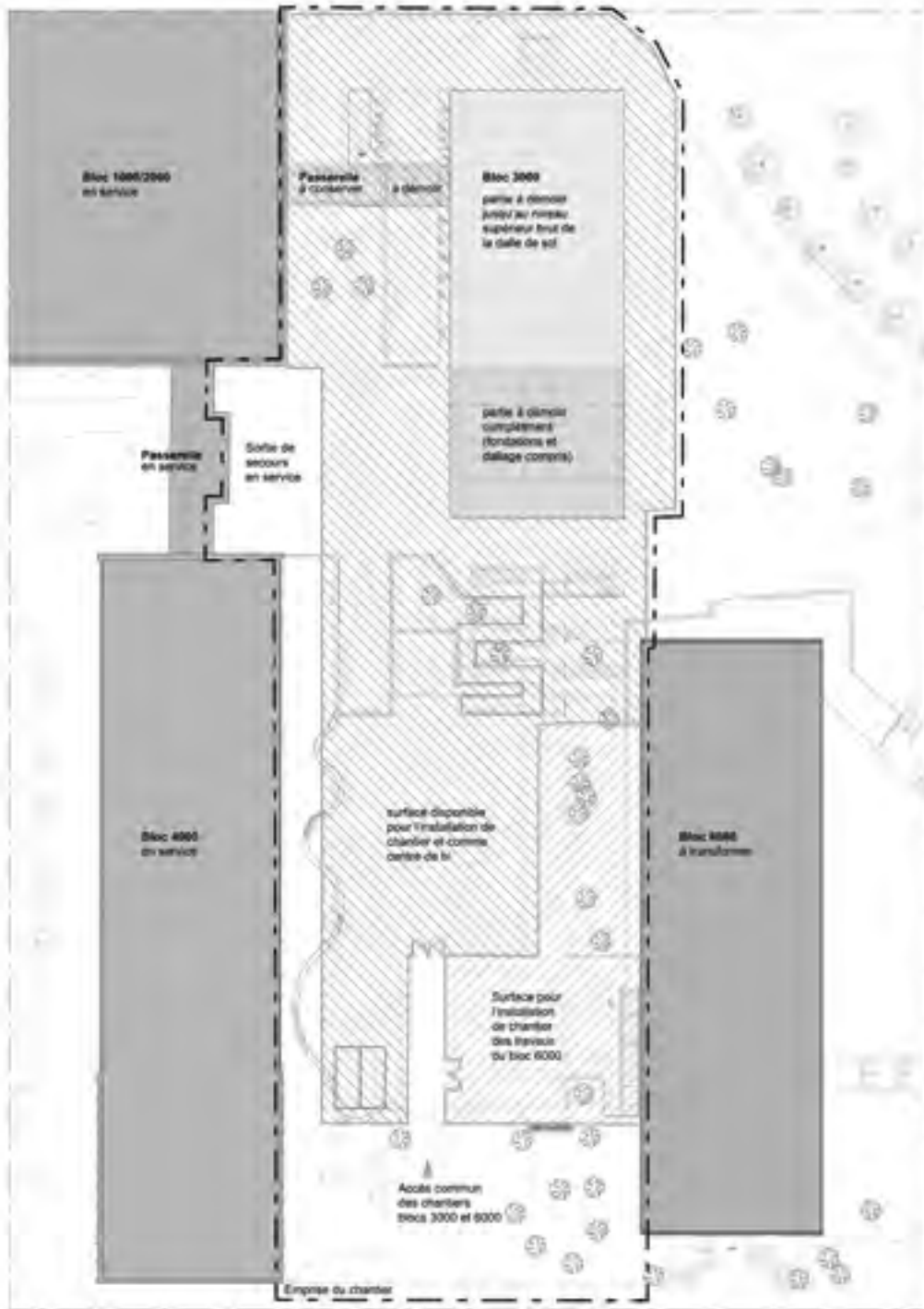
*Vue 3D de la rampe PMR
menant au Jugendtreff
par CM Attert.*

L'accessibilité

L'aile 6000 n'était pas accessible aux personnes à mobilité réduite avant les travaux de reconversion. Le nouvel accès depuis la cour centrale permet d'entrer et de sortir de la bibliothèque de plain-pied. Une nouvelle rampe conforme à la réglementation permet d'accéder au Jugendtreff et aux autres espaces parascolaires du premier étage.

Les nouvelles sorties vers la cour intérieure et le doublement de la hauteur des pièces contribuent à créer une atmosphère ouverte, lumineuse et calme. Il en résulte un sentiment de sécurité pour les utilisateurs.

La coexistence étroite de deux activités aussi différentes que l'école et le chantier, a été une recherche constante de compromis. La prise en compte des risques potentiels dès le début de la planification ont aidé à optimiser le déroulement du chantier pour toutes les parties.



Plan d'installation chantier par Daedalus Engineering.

Interview

Comment faire fonctionner un chantier au milieu d'un site scolaire en activité ?

Faire fonctionner un chantier au milieu d'un site scolaire en activité nécessite toujours la composition d'une équipe pluridisciplinaire de bonne constitution. Ce sont des gens ouverts et concernés par le projet et qui n'ont pas peur d'innover, tant dans la conception que dans la réalisation du projet. En bref, des personnes qui agissent en bonne mère et bon père de famille dans l'intérêt des enfants et du corps enseignant.

Il faut veiller à respecter les contraintes du chantier et du lycée en même temps. Par exemple, le cahier des charges donne déjà des indications respectives aux horaires de livraison en accord avec le fonctionnement de l'école.

Tout au long du chantier, il est important de mettre à disposition des cheminements sécurisés et séparés pour le lycée et le chantier. Les points de croisement sont à éviter au maximum et à surveiller particulièrement. Les différentes phases du chantier ont été planifiées de manière à conserver un niveau de sécurité élevé sur l'ensemble du site, malgré une multitude de travaux divers et variés.

Y a-t-il eu des discussions ou des points particulièrement critiques pour le chantier de la bibliothèque ?

Les points critiques de la sécurité des usagers du site au sens large et de la sécurité incendie en particulier, ont fait partie intégrante du projet dès le début. Ces points constituent un défi permanent à relever par tous les intervenants tout au long du chantier.

Réduction de l'impact

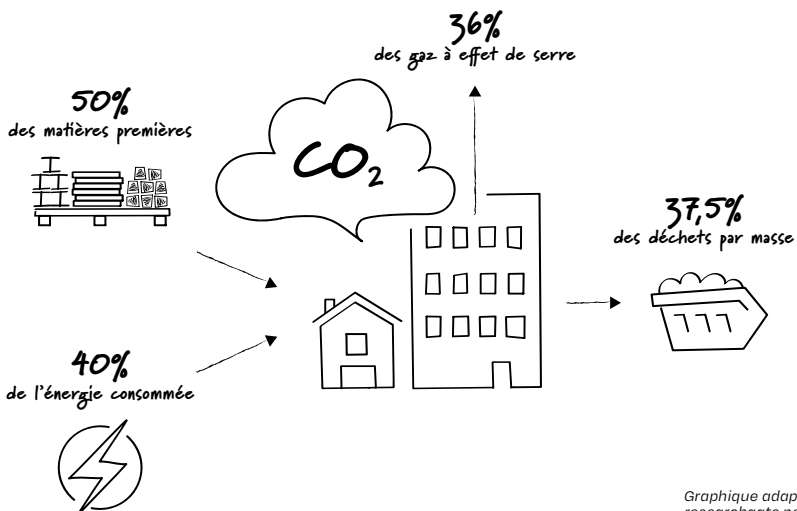
environnemental

L'économie circulaire pour réduire l'impact environnemental

L'économie circulaire est un outil servant à réduire l'empreinte écologique. En évitant de faire sortir les ressources des cycles biologiques et techniques respectifs, des conséquences négatives pour l'environnement telles que la production de déchets ou encore de gaz à effet de serre ou la perte de biodiversité, sont évitées ou du moins réduites.

L'écosystème de la construction de l'Union européenne (UE) emploie 24,9 millions de personnes et génère une valeur ajoutée de 1 158 milliards d'euros par an (9,6 % du total de l'UE)¹. Selon les données de la Commission européenne, les bâtiments utilisent 50% de toutes les matières premières extraites ainsi que 40% du total de l'énergie consommée, tandis qu'ils produisent 36% des gaz à effet de serre et 37,5% des déchets par tonnage². Ceci fait du secteur de la construction un acteur important pouvant contribuer à la réduction de l'empreinte écologique et de l'augmentation de la durabilité.

La gestion des ressources est l'élément central de l'économie circulaire, et la construction utilise environ la moitié des matières premières négociées dans l'UE. Le fer, l'aluminium, le cuivre, l'argile, le sable, le gravier, le calcaire, le bois et la pierre, sont les ressources les plus utilisées dans le bâtiment. La plupart ne sont pas renouvelables et des pénuries sont prévisibles. Par exemple, le sable est la deuxième ressource la plus exploitée au monde. Or, le sable du désert est impropre à la construction. Celui des rivières, des carrières et de la mer est exploité pour la production du béton, du verre et d'autres produits tels que les panneaux solaires



ou encore les puces informatiques. Dans son enquête « le sable : une enquête sur sa disparition »³ de 2013, Denis Delestrac a démontré les conséquences d'une surexploitation souvent frauduleuse des sables marins. Il a même estimé que dans les décennies à venir, 75 à 90% des plages disparaîtront à cause de l'extraction massive.

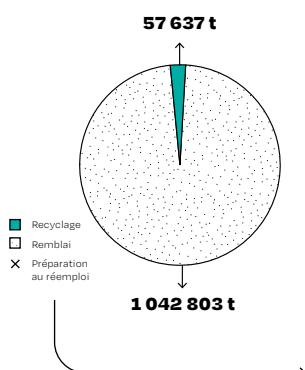
Un emploi plus efficace des ressources et l'utilisation systématique de matériaux de récupération permettraient potentiellement de diminuer de 30% les besoins en matières premières², le sable inclus. Une des pistes à explorer est une production plus automatisée, respectivement semi-industrialisée, qui éviterait une surconsommation non nécessaire de matériaux. Certaines matières telles que l'asphalte, le gypse ou les métaux, sont même recyclables à 100%, du moins en théorie.

Une gestion plus locale des ressources, par exemple en utilisant les matériaux déconstruits sur place, permet également une plus grande indépendance des marchés mondiaux de matières premières et d'éléments constructifs. Les dépendances stratégiques se situent souvent tout au début de la chaîne de valeur, soit au niveau de l'extraction. En réutilisant p.ex. des poutres en acier existantes, il n'est pas nécessaire d'exploiter les gisements de minerai de fer.

Outre la préservation de la matière première et de la valeur, recycler le gypse a, par exemple, également l'avantage d'éviter une mise en décharge plutôt problématique. De fait, sous certaines conditions, il réagit avec son environnement pour former un gaz sulfurique soluble dans l'eau. Le plâtre est considéré non pas comme déchet inerte banal, mais comme déchet industriel entraînant des restrictions pour une mise en décharge.

Au Luxembourg, le taux de récupération des déchets provenant des chantiers de construction et de déconstruction atteint 88% en masse pour l'année 2021⁴. Cependant, la plus grande partie des matériaux recyclés sert en tant que remblai et soubassements pour des projets routiers. Conformément à la hiérarchie des déchets et du réemploi, il faudra prioriser, dans le futur, la prévention des déchets avant de les recycler.

Chiffres sur les déchets inertes publiés par l'Administration de l'environnement.



Total des déchets relevés en 2021

Matériel*	Total déchets (t)	Recyclage en tant que soubassement (t)	Remblai (t)	Total du matériel récupéré (t)
Déchets inertes hors excavation	1 202 343	1 014 711	57 637	1 072 348
Métaux	29 989	26 990		26 990
Verre	1 224	1 102		1 102
Plastiques	2 538	0		0
Bois	13 538	0		0
Total	1 249 632	1 042 803	57 637	1 100 440

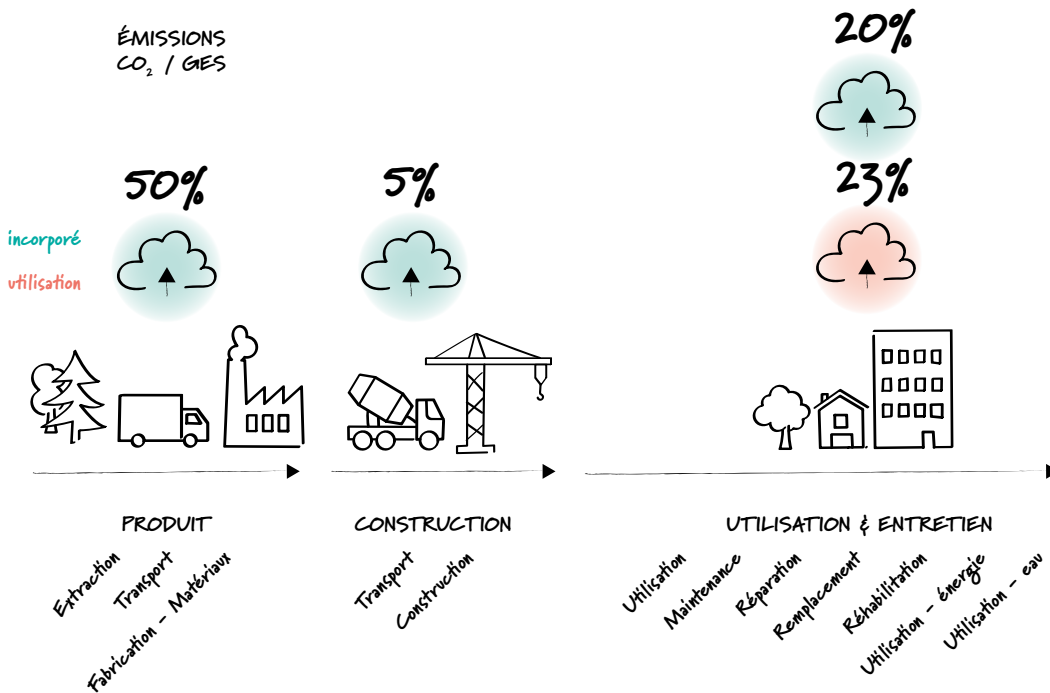
* les données pour la préparation au réemploi ne sont pas encore disponibles

La prévention des déchets pourrait également permettre d'économiser 80% des émissions de gaz à effet de serre dont le secteur est directement responsable². Ces émissions de gaz à effet de serre⁵ proviennent de l'extraction des matériaux, de la fabrication des produits de construction, du transport et de la construction, ainsi que de la rénovation des bâtiments. Ensemble, ils sont estimés à 5-12% du total des émissions nationales de gaz à effet de serre par les pays de l'Union européenne⁵.

Dans le cycle de vie d'un bâtiment, les sources de carbone intégrées sont plus importantes que celles du carbone opérationnel, libéré lors de son exploitation. Différentes études sur la répartition de la consommation de carbone au cours du cycle de vie d'un bâtiment, montrent que le carbone intégré représente la plus grande part. Le carbone intégré des produits de construction et des équipements arrive à plus de 50% du total du carbone émis par le bâtiment au cours de sa durée de vie, tandis que le chantier, y inclus le transport, ne représente que 5%⁶.

Les chiffres ci-dessus montrent clairement que le réemploi et l'optimisation des matériaux ont une fonction clef pour réduire l'impact environnemental de nos bâtiments, que ce soit pour la réduction des déchets ou des émissions de gaz à effet de serre, ou pour la préservation des ressources et, par ce biais, de la biodiversité.

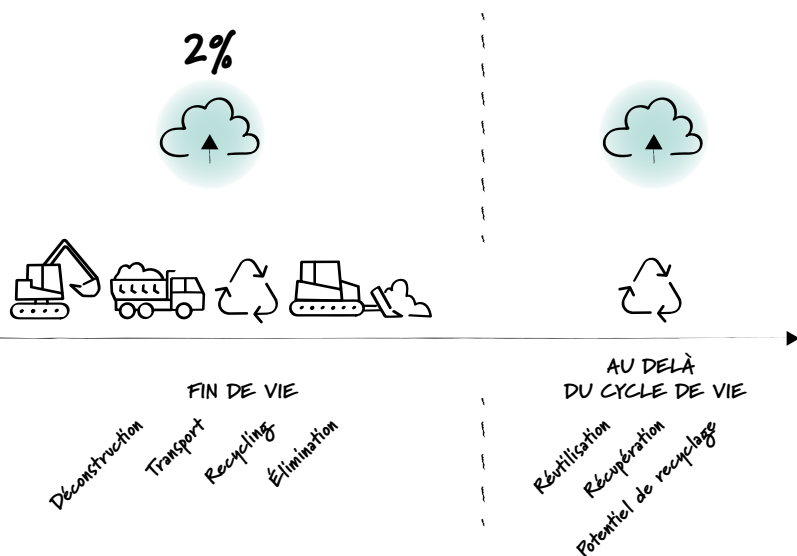
Graphique montrant la répartition des émissions en carbone sur le cycle de vie d'un bâtiment adapté de newbuildings.org⁹.



Au Luxembourg, le volume construit par an est de 7 030 000 m³ en moyenne sur les dix dernières années⁷. L'impact du secteur de la construction et de l'environnement bâti peut être réduit en appliquant les trois principes clefs de l'économie circulaire, à savoir :

- Prolonger au maximum la durée d'utilisation des bâtiments
- Extraire un maximum de leur valeur pendant l'utilisation des ressources
- Récupérer et régénérer les produits et les matériaux à la fin de leur cycle de vie

De nombreux outils numériques existent ou sont en cours de développement pour aider les porteurs de projet et leurs équipes à relever le défi. Les maquettes numériques du Building Information Modeling (BIM) permettent d'encoder des informations supplémentaires et de les lier aux éléments constructifs dans la maquette. Bien réalisées, elles centralisent et relient entre elles les informations pertinentes, que ce soient des calculs et analyses tels que les coûts de cycle de vie, des inventaires de matériaux, ou encore des données spécifiques sur les matériaux employés et leur impact sur l'environnement, lié au bien-être de l'humain. Par ce biais, l'ensemble de ces données est exploitable par toutes les parties concernées et contribue ainsi à l'optimisation du projet et de l'entretien, réduisant finalement l'impact environnemental du bâtiment.



1. <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/47996>

2. *Transition pathway for construction, Union européenne 2023.*

3. https://boutique.arte.tv/detail/sable_enquete_disparition

4. *Chiffres de l'Administration de l'environnement luxembourgeoise.*

5. https://single-market-economy.ec.europa.eu/industry/sustainability/buildings-and-construction_en

6. Selon le LETI, le carbone intégré des produits de construction et équipements peut même représenter jusqu'à 80% du carbone libéré pour les petites maisons. <https://www.leti.uk/cedg>

7. <https://statistiques.public.lu/fr/themes/economie-finances/indicateurs-court-terme.html>

8. https://www.researchgate.net/figure/Buildings-consume-40-of-the-worlds-energy-and-50-of-raw-materials-producing-30-of_fig1_357554683

9. https://newbuildings.org/code_policy/embodied-carbon/

Interview

Quel rôle joue la recherche dans un projet pilote de construction ?

Une des missions d'un institut tel que le LIST est d'épauler les acteurs publics dans leur démarche d'innovation, et notamment dans le cadre de projets pilotes tels que celui du Lycée Michel Lucius. Ceci permet de tester des processus originaux ou adaptés de méthodes méconnues au Luxembourg, et d'en analyser les résultats de manière scientifique et systématique. Si les résultats sont positifs, cela contribue à la dissémination à plus large échelle de bonnes pratiques, tout en contribuant, dans certains cas, à la réalisation de projets européens. Finalement, c'est le domaine entier de la construction qui pourra, à terme, bénéficier des retombées directes et indirectes de cette expérimentation.

L'économie circulaire comme on la connaît aujourd'hui est-elle innovante, ou plutôt un retour vers d'anciens principes ?

Je pars du principe que l'économie circulaire devrait également intégrer les principes de la durabilité. Pour moi, un de ses objectifs serait aussi de s'inscrire dans une démarche de sobriété. Elle recourra alors avec parcimonie aux nouvelles technologies aux impacts non négligeables. Elle redécouvrira avec raison les principes découverts et promus avec sagesse par nos prédécesseurs. L'économie circulaire ne doit pas chercher à réinventer la roue mais doit, à mon sens, allier la robustesse des procédés anciens à la souplesse et la puissance d'analyse et de traitement des technologies modernes. Je pencherais plus pour une économie circulaire basée sur des critères low-tech, tels que la pérennité, la maintenabilité et la simplification, en précisant que la low-tech n'exclut pas systématiquement le recours à toute forme de nouvelle technologie.

Selon vous, quel est l'outil le plus important pour faire avancer l'économie circulaire dans le secteur de la construction ?

Je considère le recours à l'économie circulaire comme une forme de progrès social. Or, celui-ci a, à ma connaissance, souvent été le résultat d'une volonté politique forte. Dans la mesure où les grands changements résultent rarement d'une démarche volontaire, je dirais que le recours à des outils réglementaires bien structurés devrait constituer un levier efficace pour dynamiser l'économie circulaire. Le secteur de la construction fait l'objet d'un arsenal de normes et de standards, dont certains sont opaques, voire obsolètes. Je suis convaincu que l'on devrait laisser la porte ouverte à plus d'innovation en autorisant plus d'expérimentation dans le domaine, notamment en autorisant de déroger à certaines règles. Parallèlement, il serait bon d'avoir le courage de promulguer des règles strictes en matière de gestion des ressources, notamment en matière de réemploi.

**Luxembourg Institute
of Science & Technology,
Environmental Policies Group,
Bruno Domange,
Senior Engineer**

Un exemple de construction



benu.lu

Benu Village

La construction du Benu Village suit le principe de l'économie circulaire durable. Toutes les nouvelles parties du bâtiment sont constituées d'anciens conteneurs maritimes réutilisés. Pour l'aménagement, nous utilisons des matériaux démontés d'autres projets de construction et des restes d'entreprises partenaires. L'utilisation des conteneurs dans notre construction nous permet de minimiser le compactage et l'imperméabilisation des sols. Le revêtement extérieur est également réduit à un minimum, ce qui permet de conserver l'infiltration de l'eau de pluie et donc d'éviter des modifications négatives du cycle de l'eau. L'eau de pluie est collectée et utilisée pour les chasses d'eau et l'arrosage du jardin. L'écovillage utilise également un système de chauffage/refroidissement autonome avec des panneaux solaires réutilisés et des échangeurs d'air, ainsi qu'un réservoir d'eau mobile expérimental de grande capacité.

Nous avons réussi à construire notre écovillage en évitant presque entièrement le recours aux matériaux polluants tels que le béton, le bitume, le plâtre ou le silicone.

- Pour la construction, nous utilisons presque exclusivement du métal et du bois usagé, tout comme de la paille provenant de la région.
- L'isolation extérieure des conteneurs maritimes est constituée d'un mélange de « miscanthus » (roseau de Chine) provenant de la région immédiate, et de chaux non modifiée chimiquement. Lors de la déconstruction, les matériaux peuvent être réutilisés comme engrais organiques, sans avoir un impact sur le climat et l'environnement.
- Les façades sont enduites d'argile, extraite directement sur place.
- À l'intérieur, le chanvre est utilisé comme isolant acoustique et thermique. L'utilisation de l'argile contribue positivement au climat intérieur.
- Avec le projet BENU METAMORPHOSE, l'écovillage sera aménagé de manière artistique et participative dans ses espaces extérieurs et intérieurs : des matériaux naturels locaux, des soi-disant « déchets ». BENU VILLAGE attend une transformation communautaire dans tous ses coins, niches et surfaces.



Est-ce que les visiteurs se posent des questions vis-à-vis du fait que la plus grande partie des matériaux de construction proviennent du réemploi ?

Oui. Le réemploi, en combinaison avec la sélection des nouveaux matériaux utilisés, est en général au centre des intérêts. La conclusion que cette approche nécessite une remise en question du mode actuel de planification de la construction, fait souvent réfléchir. En effet, partir d'un plan détaillé figé de l'architecte réduit sensiblement les options du réemploi. Il s'agit plutôt de sortir de la zone de l'habitude, du confort, pour d'abord considérer les matériaux réutilisables avant de développer les plans. En investissant un peu de temps de recherche supplémentaire et en restant ouvert à une réalisation moins classique mais d'autant plus surprenante et, en fin de compte, d'autant plus durable au sens socio-écologique, on va découvrir que d'excellentes options existent déjà aujourd'hui. Les doutes quant à la qualité du « non neuf » peuvent dans la plupart des cas être dispersés. Nous invitons toute personne intéressée à nous contacter.



Est-ce que l'esthétique spécifique résulte du fait que les matériaux sont réemployés ? Ou est-ce que le même type de construction peut mener à d'autres expressions ?

Question fréquente :) Vu la folie du concept et de l'équipe, BENU se doit une expression esthétique provocatrice. Ne négligeons pas que cette façon de nous exprimer nous apporte plus de questions, remarques et visiteurs, ce qui nous permet de sensibiliser plus efficacement... Mais bien entendu, l'expérience et le savoir accumulés en échange avec des spécialistes, peut facilement se mettre au service d'attentes plus calmes et modérées. Ce qui compte en définitif, c'est la réduction de nouveaux matériaux nécessaires. BENU expérimente activement, toujours moyennant des matériaux soit récupérés soit produits localement, dans le domaine d'une présentation finale plus neutre, appréciable par la majorité de la société. Il suffit de venir voir au BENU VILLAGE. Bénéfique pour tout le monde, cette approche fournit des espaces pas uniquement meilleurs pour la planète, mais également pour la santé de l'humain.

**BENU VILLAGE ESCH,
Georges Kieffer,
fondateur et directeur**

BENU FORM est une des entreprises qui ont aidé à réaliser le projet LML en fournissant le mobilier et en fabriquant les éléments sur mesure en bois recyclé.

Déconstruction

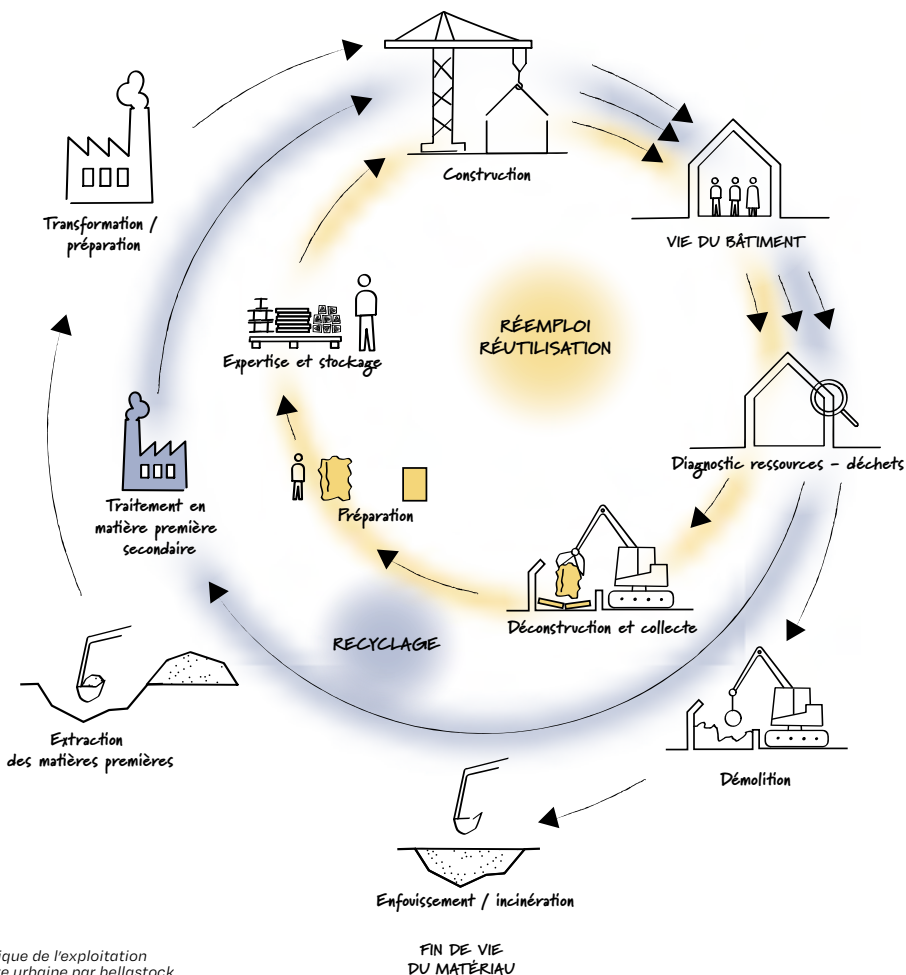
The page features a decorative graphic consisting of two overlapping circles. The larger circle is a light red color, and the smaller one is white. The word "sélective" is written in a bold, black, sans-serif font, following the curve of the top edge of the larger red circle. The background of the page is a solid, light red color.

sélective

Déconstruction sélective

Aile 3000

Les besoins, les utilisations et les fonctions des bâtiments évoluent au fil du temps. Souvent, les bâtiments doivent être transformés, agrandis ou même remplacés avant que leurs composants n'arrivent au terme de leur durée de vie. Dans ce cas, la déconstruction sélective génère des matériaux de seconde main qui peuvent être réemployés dans un autre projet de construction. Les bâtiments existants sont de fait de véritables entrepôts de ressources et non de déchets. Tel est le principe de l'« urban mining ».



Ainsi, avant de pouvoir réutiliser des matériaux, il faut d'abord les déconstruire à partir d'un premier bâtiment. Or, pour disposer de matériaux de qualité à réutiliser, la déconstruction doit être préparée et réalisée avec le plus grand soin. Ce qui permet non seulement de conserver un maximum d'éléments de construction et de matériaux en vue d'une réutilisation ou d'un réemploi immédiat, mais aussi de maintenir des flux de matériaux plus homogènes, ce qui réduit la contamination des différentes fractions de matériaux.

S'ensuit la démolition sélective, avec tri sur chantier en vue du recyclage de haute qualité. Le projet de déconstruction sélective de l'aile 3000 a été réalisé selon ces principes.

Il était initialement prévu de conserver la structure porteuse de l'aile 3000 construite en 1973, et de l'agrandir pour l'adapter à l'évolution des besoins du lycée. Les documents et plans d'origine étaient quasiment inexistant, il a donc été nécessaire de réaliser une exploration par

sondages afin de connaître les particularités techniques des éléments constructifs. Le constat est que la structure métallique et les planchers légers avaient été optimisés à tel point que les exigences réglementaires actuelles sont loin d'être satisfaites. La construction existante ne pouvait plus reprendre le poids propre des renforcements nécessaires et le bâtiment a donc dû être abandonné. Il a été définitivement fermé à l'exploitation à la fin de l'année 2017.

La démolition de l'aile 3000 a ensuite été choisie par l'Administration des bâtiments publics et le ministère de l'Environnement, du Climat et du Développement durable comme projet pilote de déconstruction sélective. Il est convenu de tester l'application de l'inventaire modèle et de son guide d'accompagnement² élaborés par l'Administration de l'environnement, et d'explorer les limites de la réutilisation des matériaux déconstruits d'un bâtiment scolaire au type de construction industrielle des années 1970.





**DÉCONSTRUCTION:
ÉCONOMIE CIRCULAIRE**

L'objectif du projet de déconstruction

Lors de la planification du projet, l'une des tâches essentielles du maître d'ouvrage consiste à définir avec précision les objectifs, qui sont dans ce présent cas de figure, les mises en application des principes de l'économie circulaire :

- Suivre l'approche durable définie par le gouvernement luxembourgeois
- Éviter le gaspillage de matières premières et de matériaux de construction
- Développer l'économie circulaire et soutenir une économie durable

La déconstruction de l'aile 3000 est à réaliser avec le moins de pertes de matériaux possible. Pour ce faire, le projet doit opérer avec la transparence et la traçabilité nécessaires et viser de rester le plus haut possible dans la pyramide des hiérarchies de déchets³.

Au fur et à mesure de la progression du projet, les informations générées lors des différentes phases de planification ainsi que pendant l'exécution, aident à affiner l'objectif initial.

Les résultats des sondages et de l'inventaire permettent notamment de répondre aux questions suivantes :

- Quels matériaux doivent absolument être conservés ?
- Sont-ils réutilisés sur place ?
- Si non, ces matériaux possèdent-ils encore une valeur marchande ?
- Quel est l'objectif pour les matériaux récupérables restants, c'est-à-dire, les matériaux qui ne sont pas contaminés et qui peuvent être extraits de manière à pouvoir être réutilisés ?

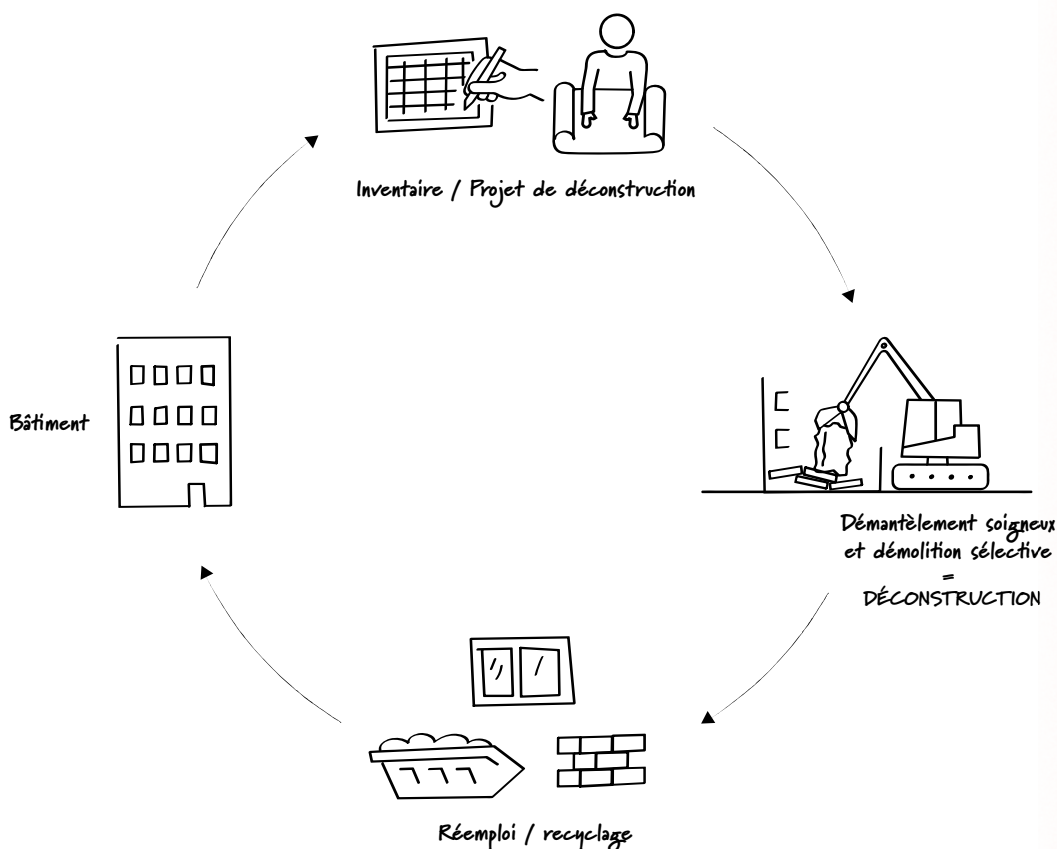




Déroulement du projet de déconstruction

Le projet pilote est divisé en quatre phases principales, qui correspondent aux grandes lignes générales d'un projet de construction.

1. Le développement du projet de déconstruction et la mise en œuvre de la méthodologie d'inventaire des déchets de construction [mi-2018 à fin 2019].
2. L'élaboration des cahiers des charges, l'appel d'offres public et la négociation [fin 2018 - publication des appels d'offres mai/juin 2019 - négociation de l'appel d'offres pour la déconstruction sélective en novembre 2019/mars 2020].
3. L'exécution des travaux : L'enlèvement des éléments meublants, l'assainissement des polluants, le curage et la déconstruction, voire la démolition soignée partielle [mi-2019 juillet 2020 (assainissement), à novembre 2020 (déconstruction)].
4. La construction avec des matériaux de seconde main issus de la déconstruction préalable [de décembre 2020 à novembre 2021], abordée et détaillée dans le chapitre suivant.



La première phase consiste à identifier les données nécessaires à l'établissement de l'inventaire, mais aussi à la détermination du potentiel de réutilisation des éléments du bâtiment. Le levé précis et les sondages effectués permettent d'identifier les éléments contaminés à assainir au préalable et à repérer les différentes couches de matériaux pour pouvoir déterminer leur valeur résiduelle.

Sur la base de ces informations, la systématique générale du projet de déconstruction est définie. Le détail de l'exécution est laissé au choix de l'entreprise de déconstruction qui doit tout de même respecter des contraintes de déconstruction prédéfinies. Les matériaux à réutiliser sont identifiés et indiqués dans la liste des matériaux. Un tri sélectif soigneux doit être prévu pour chaque type de matériau.

La valeur écologique de l'offre est introduite dans le projet à la phase de soumission. Elle sert de valeur de référence et permet de garantir la qualité des objectifs durables.

Après avoir défini le projet, les différents éléments nécessaires à l'appel d'offres sont élaborés. Le planning prend une place importante, puisqu'il est essentiel de prévoir suffisamment de temps pour opérer à un démantèlement soigneux. Comme pour tout projet de construction, les conditions générales et particulières sont définies et présentées.

Dans le cadre de projets publics, la législation sur les marchés publics prévoit des conditions spécifiques³. Vu que les projets de référence ayant pour sujet la déconstruction manquent, la définition du cadre contractuel des travaux a dû être mis en place. Ceci s'avère être l'une des missions principales du projet pilote.



L'élaboration des clauses a fait l'objet d'un travail itératif intensif entre les bureaux d'études, le responsable de l'inventaire, les avocats-conseils et les juristes du ministère de la Mobilité et des Travaux Publics.

La mise en marché s'est avérée compliquée. Le sujet n'était pas familier aux entreprises et elles éprouvaient des difficultés à chiffrer les prestations et les travaux demandés. Dans un contexte de forte conjoncture, avant la pandémie sanitaire, aucune d'entre elles n'a rendu une offre. Dans un deuxième temps, une procédure négociée a permis de sélectionner une entreprise pour l'exécution des travaux parmi cinq concurrents. Afin de garantir la qualité des prestations et leur conformité au cahier des charges, les offres sont pondérées en fonction de leur valeur écologique.

En dernier lieu, la réutilisation des matériaux déconstruits sur place a permis de vérifier si le système retenu tenait ses promesses.

Les différentes étapes sont détaillées par la suite.







E

Interview

Y a-t-il des différences entre un projet de construction et un projet de déconstruction ?

Oui, il y a des différences très nettes. D'une manière simplifiée, pour un projet de construction, on peut généralement partir d'une feuille blanche pour développer un projet respectant les contraintes et le programme définis par le maître de l'ouvrage. On a la liberté de développer une construction avec des matériaux normés ou standardisés et on peut se baser sur ces données normatives. L'exécution de la construction elle-même peut également se faire suivant des procédés et processus prédéfinis par les règles de l'art, les normes, ou des agréments spécifiques. Tout ce processus est bien réglé et est limité par des glissières réglementaires connues par les hommes de l'art.

Pour la déconstruction, cette situation est souvent fondamentalement différente. Il faut dans un premier temps se procurer un maximum d'informations sur le bâtiment à déconstruire. Ce processus peut s'avérer difficile et n'est pas toujours, pour tous les aspects, forcément couronné de succès. En fonction des données ainsi obtenues et suite à une analyse visuelle détaillée de la construction à déconstruire, il faut comprendre en détail le fonctionnement de cette construction. Cela permet alors d'élaborer un plan de déconstruction, tout en dégageant les éléments constructifs potentiellement réutilisables après celle-ci. Toutes ces réflexions et analyses demandent des compétences accrues dans tous les domaines de la construction, mais aussi du courage, puisqu'il s'agit là de quitter les chemins battus et sécurisés par des prescriptions normatives.

Quelles sont les données les plus importantes dont on doit disposer pour réussir le chantier ?

La base d'un projet de déconstruction réussi est la bonne compréhension de la construction à déconstruire. Cette compréhension se fait sur la base de différents éléments : les plans de la construction si existants, ou sinon le levé de la construction à déconstruire, la réalisation de sondages in situ, ainsi que l'inventaire des matériaux. Il est indispensable de faire une recherche poussée sur la construction. Une recherche historique sur les méthodes et modes constructifs d'application au moment de la première construction, voire lors d'éventuels travaux de transformation de cette construction, sont utiles. Ceci demande une certaine curiosité du planificateur de la déconstruction et le développement de certaines compétences transversales. La compréhension d'une construction à déconstruire ne se limite pas seulement à une vue purement architecturale, statique, ou technique, mais demande manifestement une vue d'ensemble. Il s'avère qu'à défaut de plans, la réalisation d'un nombre adapté de sondages est une bonne source d'information. De plus, suivant la nécessité, la réalisation de sondages permet également la prise d'échantillons de matériaux qui peuvent, par la suite, être analysés en laboratoire afin de mieux connaître leurs propriétés physiques et mécaniques. Puisqu'il existe rarement des fiches techniques pour les matériaux à déconstruire, il est important, surtout dans un but de réutilisation, d'avoir un maximum d'informations sur la nature et les qualités des matériaux disponibles. Ceci permet de lever certains doutes du ré-utilisateur, mais aussi de conforter et faciliter la volonté d'accepter des matériaux provenant d'une déconstruction en vue de leur réutilisation pour d'autres projets.

Quels ont été les défis majeurs dans le projet de déconstruction de l'aile 3000 ?

Ce projet a présenté plusieurs défis. Le fait que certains éléments du bâtiment ont été couverts ou habillés de substances nocives et dangereuses, n'a pas permis de réaliser tous les sondages et essais préliminaires estimés nécessaires de notre part. Étant donné que le planning d'exécution ne permettait pas de réaliser les travaux de décontamination en amont de la publication de la soumission pour la déconstruction, le dossier de soumission a dû être élaboré sur la base de certaines hypothèses. Ces dernières, dénoncées en tant que telles dans les textes de ce dossier, étaient à confirmer au début de la phase de déconstruction. Cette situation a généré un certain stress pour les équipes au début de la réalisation du chantier, puisque le plan de déconstruction s'est vu adapté tandis que les travaux étaient en cours. D'un point de vue administratif et réglementaire, il faut noter que si la gestion de questions d'ordre juridique, notamment pour la mise en soumission, était sans nul doute très intéressante, elle était également énergivore et chronophage.

Il faut souligner que l'exécution d'une déconstruction avec l'objectif d'une réutilisation maximale de matériaux est aussi une terre inconnue pour les exécutants. Il est évident qu'on ne peut pas exclure des surprises en cours de chantier, lesquelles engendrent parfois des frais d'exécution supplémentaires et non prévus dans l'offre initiale. Ceci a fait apparaître certaines discussions en cours d'exécution.

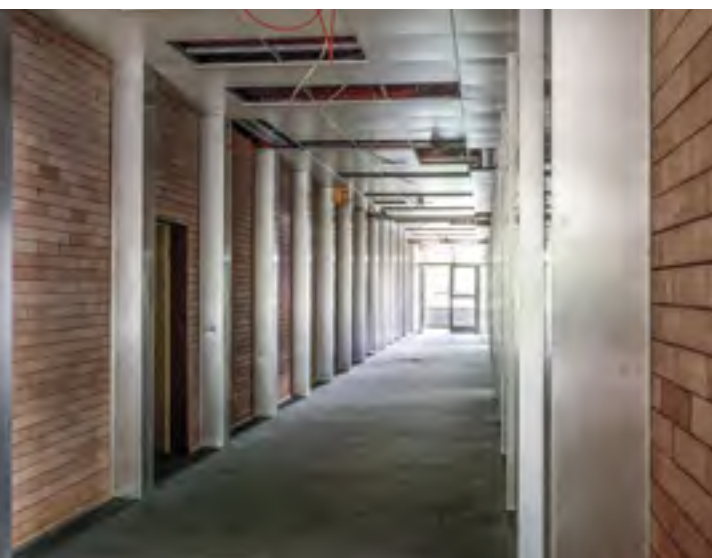
On peut également constater que les ouvriers sur chantier ne sont pas encore sensibilisés ou formés pour des déconstructions. Ces derniers ont souvent travaillé, dont certains pendant des décennies, en démolition classique et avaient, surtout au début du chantier, des difficultés à comprendre l'objectif et l'intérêt particulier de cette déconstruction. Ceci étant, il s'avère utile de prévoir des formations continues spécifiques dédiées aux sujets de la déconstruction sélective, destinées aux ouvriers sur chantier et aux cadres techniques. Cela permettrait de sensibiliser chaque acteur et donc d'induire une compréhension et une volonté d'adapter les méthodes de travail à cette nouvelle réalité.

L'inventaire

L'inventaire des matériaux est la pièce maîtresse de tout projet de déconstruction. Il rassemble toutes les informations connues sur la construction et les matériaux utilisés. Il renseigne les types d'éléments et de matériaux disponibles pour le démantèlement, ainsi que leur état, leur quantité, leur mode de fixation et l'endroit où ils se trouvent. L'inventaire est réalisé en tout premier et permet de préparer le chantier, mais aussi de définir les objectifs de circularité réalisables.

Il se compose de deux types d'informations complémentaires. Une recherche à partir des documents existants fournit des informations sur l'histoire du bâtiment, tandis que des plans et des documents « tels que construits » renseignent sur les éléments de construction utilisés et sur la réalisation. Idéalement, toutes les informations nécessaires à la déconstruction sont disponibles et connues après examen des documents.





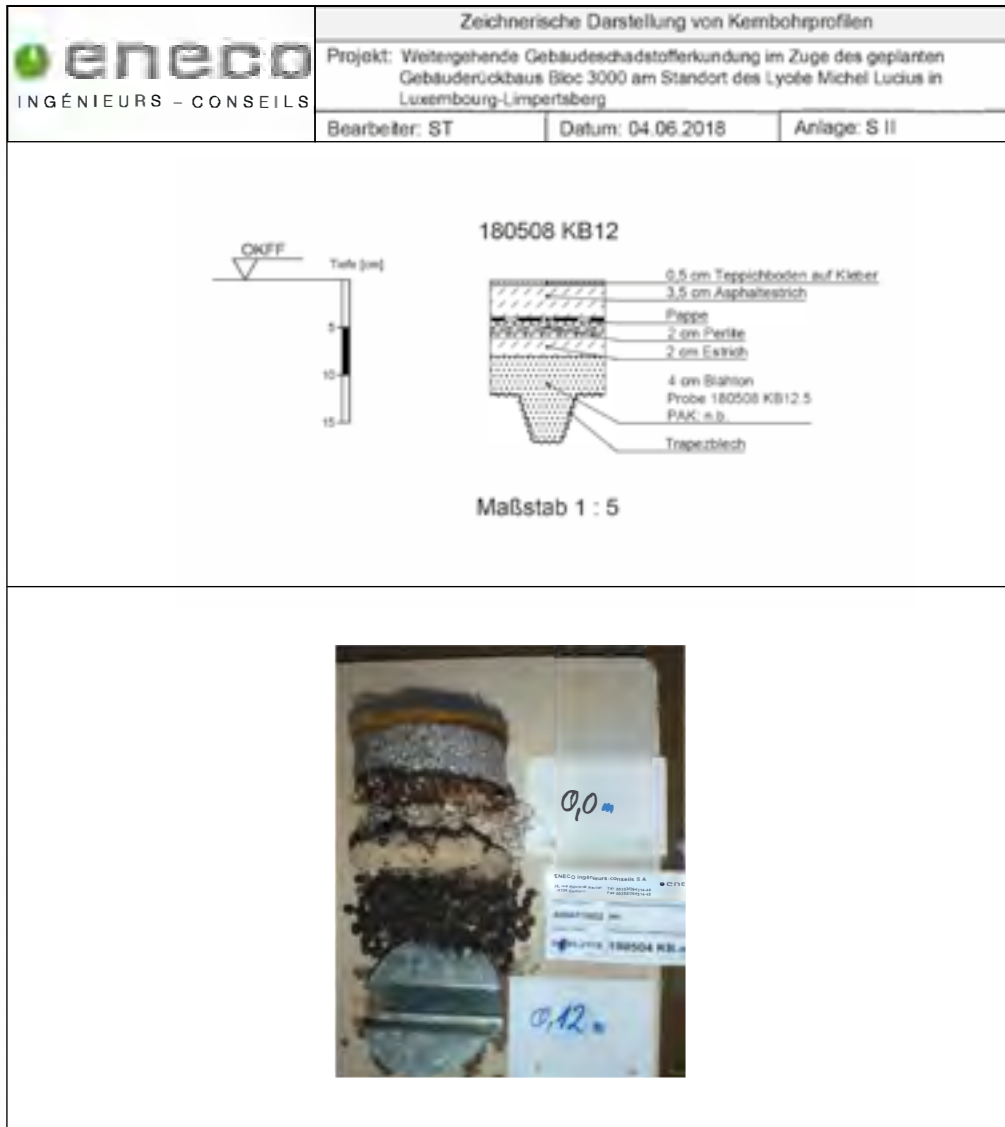
Après la libération du bâtiment et un nettoyage sommaire, les luminaires ont déjà été démontés pour être réutilisés dans l'aile 6000.



Si ce n'est pas le cas comme pour l'aile 3000, un levé complet, y compris des alentours, est effectué afin d'établir une base de plans pour l'inventaire. Étant donné que le levé ne porte que sur les éléments visibles, il ne donne donc aucune information sur le type de construction, les matériaux utilisés ou encore leur fixation.

Les sondages fournissent alors des informations sur les différentes couches constructives des sols, des plafonds et des murs. Comme le bâtiment était vide, la réalisation de carottages destructeurs n'a pas posé de problème.

Représentation graphique d'un profil de carottage d'une dalle de sol. Extrait du rapport « Recherche de polluants supplémentaires dans le cadre de la déconstruction prévue du bâtiment bloc 3000 sur le site du LML », réalisé par Eneco Ingénieurs-conseils en 2018.



Afin de fournir des indications précises sur la qualité et donc la performance structurelle de l'acier et du béton, des échantillons sont prélevés et envoyés à un laboratoire. Des tests de traction et de compression, ainsi que des analyses granulométriques, servent à définir la composition exacte. Sur place, l'ingénieur prend les dimensions exactes des profilés.

En croisant ces informations avec les connaissances historiques sur les types de poutres en acier utilisés dans les années 1970, il est possible de déterminer les caractéristiques exactes des poutres et poteaux en acier employés. Ces informations sont essentielles pour la réutilisation.

Dans le cas du béton, les analyses détaillées fournissent les informations nécessaires sur la composition des granulats réutilisables à l'avenir, ce qui permet aux ingénieurs de calculer précisément la qualité de béton qui pourra être obtenue.

Extraits du rapport « Mise en conformité LML Bloc 3000, sondages » réalisé par Daedalus Engineering en 2018.

17-053 Mise en conformité LML Bloc 3000

22



Bild 37: Blick auf den Anschluss in der Achse Ü-14, Fassadenstütze HEA 120, Unterzug IPE 300 sowie dem U-Profil U100, Nr. 36



Bild 35: Fassadenstütze (HEA 120) in der Achse 14 im Raum 3108, Nr. 34



Bild 36: Fassadenstütze (HEA 120) in der Achse 14 im Raum 3108, Nr. 35

Les sondages sont réalisés en collaboration avec un bureau d'études spécialisé dans l'analyse des polluants. Le risque de contamination est pris en compte dès le début du projet.

Souvent, les matériaux contaminés sont confinés ou intégrés dans des éléments de construction. Ainsi, ils ne posent pas de problème pendant la phase d'utilisation du bâtiment, car ils ne sont pas manipulés.

Extraits du rapport
« Mise en conformité LML Bloc 3000, sondages » réalisé par
Daedalus Engineering en 2018.

17-053 Mise en conformité LML Bloc 3000							5
Lage	Nr.	Durchmesser	Höhe	Längsbewehrung	Querbewehrung	Betondeckung	
		[cm]	[cm]	[mm]	[mm]	[cm]	
Decke über 1. UG	1	10	26,5	Ø14	Ø14	3	
Decke über 1. UG	2	10	26	Ø12	Ø14	7,5	
Decke über 1. UG	3	10	26,5	Ø12	Ø14	2	
Decke über 1. UG	4	10	28,5	-	Ø14	-	
Decke über 1. UG	5	10	26	Ø14	Ø14	12,5	

Die Bewehrung sowie die Betondeckung wurden aus den ausgebohrtem Kern gemessen.



Bild 3: Kernbohrung aus dem Treppenhaus zwischen der Achse B-C/2-3, Nr. 1






Bild 4: Kernbohrung aus dem Flur, Nr. 2



Toutefois, lors de la réalisation de sondages, il existe un risque que des polluants soient libérés et que des matériaux autrement récupérables deviennent inutilisables. Même après plusieurs assainissements au fil des ans, la campagne de reconnaissance et les sondages effectués dans l'aile 3000 révèlent des contaminations par l'amiante et les fibres minérales artificielles (FMA).

Toutes ces informations, accompagnées de photos représentatives des éléments, sont intégrées dans le tableau de l'inventaire des matériaux de construction. Ce document permet d'obtenir une vue d'ensemble des fractions de matériaux ainsi que de leurs quantités disponibles pour la déconstruction. Chaque fraction est analysée en détail afin de définir si elle peut être recyclée et dans quel état.

Inventaire et document de suivi élaborés par le Luxembourg Institute of Science and Technology et Daedalus Engineering.

Annexe - Inventaire des matériaux													
Veuillez utiliser le fichier excel du dossier pour remplir les informations requises par le dossier de soumission. Veuillez indiquer l'utilisation prévue pour chaque matériau en cochant la case correspondante. Des commentaires en texte libre peuvent être faits dans la dernière colonne. Les indications de quantités concernent les matériaux qui seront disponibles pour la valorisation par l'entreprise. Les quantités pour la valorisation sur le chantier ont déjà été soustraites. Les indications de quantités, de qualité et de dimensions des éléments repris dans ce fichier ont été établies sur base de sondages et à partir des plans théoriques avec tout le soin nécessaire. Néanmoins, il n'est pas à exclure que des variations concernant les quantités, la qualité ou les dimensions apparaissent lors des travaux de déconstruction. Le maître de l'ouvrage décline toute responsabilité pour de telles variations.													
Ref.	Étage	localisation dans le bâtiment	description	quantité	dimensions	Photo	RD	PR	FR	RC	EN	DC	Commentaires
							Légende pour les options RD - réemploi direct sans rénovation/entreposage d'un matériau - 100 points par matériau PR - préparation au réemploi - 90 points par matériau FR - mise en dépôt du matériau en vue d'un éventuel futur réemploi - 80 points par matériau RC - recyclage de la matière composant les matériaux aux fins de sa fonction initiale ou à d'autres fins - 25 points par matériau EN - Valorisation énergétique - 10 points par matériau DC - Mise en décharge - 0 point par matériau						
1. Inventaire des matériaux disponibles au réemploi													
1.25	déjà déposé		Double porte battante Aluminium	14	10 vantaux de portes à 90cm x 222cm 4 vantaux de porte à 121cm x 222cm								
1.26	bâtiment entier		Installations sanitaires, divers	26	4 lavabos - 57cm x 48,5cm 14 cuvettes 2 urinoires - 128cm x 41 cm x 7cm								
1.27	bâtiment entier		meublier, bureaux et tables	16	4 bureaux 11 tables 1 buffet diverses dimensions								

Finalement, trois inventaires aux finalités différentes sont établis :

- L'inventaire des polluants indiquant les matériaux contaminés devant être éliminés séparément
- L'inventaire des objets et équipements d'aménagement montrant les éléments pouvant être pris en charge pour une réutilisation immédiate sans traitement intermédiaire
- L'inventaire des matériaux à démonter soigneusement et à démolir sélectivement en vue d'une réutilisation future, d'une préparation au réemploi et d'un recyclage





Interview

Pourquoi est-il important de réaliser un inventaire détaillé des matériaux pollués ?

Il s'agit en premier lieu de la sécurité et de la protection de la santé de toutes les personnes qui effectuent des travaux dans le bâtiment. Les inventaires de polluants sont donc toujours la première étape avant la planification et les interventions de construction. Il s'agit également d'assurer la sécurité de la planification, notamment en ce qui concerne les coûts et la durée des travaux ainsi que la réutilisation. Cela nécessite des connaissances spécifiques en matière de construction et une longue expérience.

Les résultats de l'inventaire doivent être reproductibles, représentatifs et résistants, c'est pourquoi les concepts d'analyse doivent toujours être adaptés aux types de bâtiments. Ils servent également de documentation vis-à-vis de tiers, tels que les inspections commerciales ou les certificats comme le BREAM.

Le fait que les éléments et matériaux déconstruits soient réutilisés change-t-il la manière dont vous réalisez un inventaire ?

Oui, énormément. La réutilisation pose des exigences plus élevées, par exemple en matière d'absence de substances nocives et de documentation. Par rapport à une élimination conventionnelle, il faut analyser davantage d'échantillons et d'autres paramètres. Cela favorise l'acceptation et augmente la valeur de la réutilisation.



La planification

Une fois la décision de déconstruire l'aile 3000 prise, il semblait évident que le chantier se terminerai rapidement. Cependant, il a été nécessaire de prendre du recul et de répondre aux questions suivantes :

- Quelle est la meilleure approche pour minimiser l'élimination ?
- Devons-nous vraiment tout démolir ?

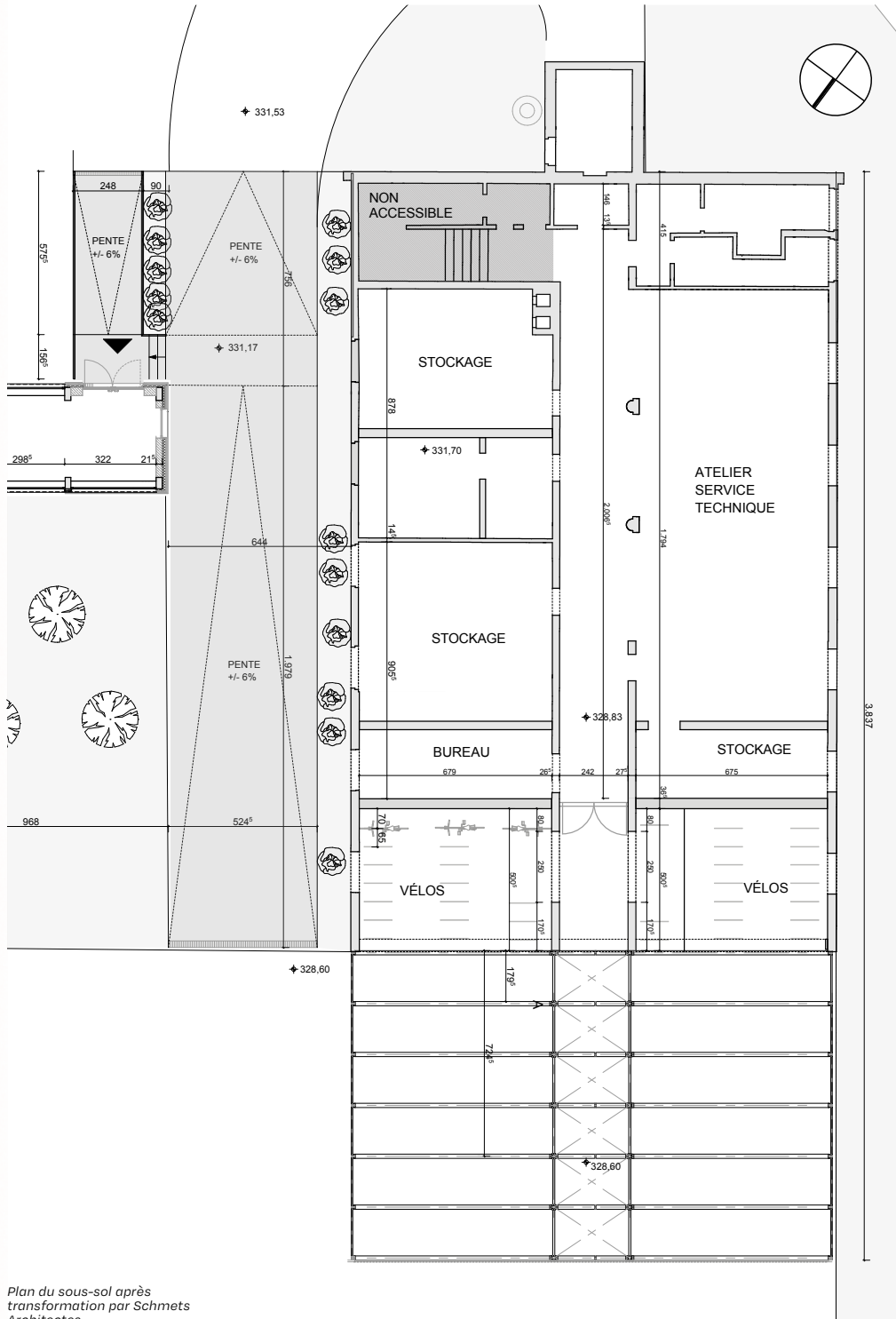
En effet, comme pour le projet de l'aile 6000, l'objectif est de limiter les interventions.

Partant du principe que chaque élément a une valeur résiduelle, économique ou autre, les effets de la démolition de l'aile 3000 sont analysés dans son ensemble. Seuls les étages supérieurs présentent des non-conformités. La cave en béton coulé sur place peut être maintenue et puisque la partie enterrée de la cave sera conservée, le chantier s'en trouve simplifié.

Le sol n'a pas besoin d'être stabilisé et il n'est pas nécessaire de prévoir un remblayage.

L'ancienne cave servira d'atelier et d'entrepôt pour le lycée et pourra abriter le chauffage pour l'aile 1000/2000, lorsque l'aile 4000 sera déconstruite à son tour. Le bâtiment est réduit de manière à ce que les distances des voies d'évacuation prescrites puissent être respectées, même si l'escalier nord est fermé. Une partie de la dalle de plafond est conservée pour abriter les nouveaux emplacements pour vélos. La partie de la cave qui est démolie sera quant à elle remplacée par une pergola en acier.

Le réaménagement suit ainsi la logique de la durabilité, en conservant et en transformant un maximum de volumes et de surfaces existants.



Plan du sous-sol après transformation par Schmets Architectes.

C'est pourquoi le projet de déconstruction a évolué et se compose de deux volets :

La déconstruction proprement dite et le réaménagement de la cour centrale, ainsi que le réaménagement du sous-sol en utilisant des matériaux déconstruits sur site.

La méthodologie et les moyens du rapportage ont dû être fixés en détail et décrits clairement dans les documents de la soumission. Même en disposant de toutes les informations nécessaires, un suivi minutieux du chantier sera essentiel

afin de ne pas abandonner des matériaux potentiellement aptes au réemploi à du recyclage, ou pire, à la mise en décharge. Les différents outils développés à cet effet sont détaillés par la suite.

Il ne faut pas oublier l'importance de la communication avec la direction du lycée. La manière de procéder est exprimée en détail, ce qui justifie les délais supplémentaires causés par le démontage sélectif.







La valeur écologique du projet

Les valeurs extra-monétaires de l'économie circulaire sont intégrées au projet par le biais de la notion de valeur écologique de l'offre de prix. Elle donne l'avantage à l'entreprise pouvant réutiliser un maximum de matériaux. Sur la base de la liste d'inventaire, les soumissionnaires indiquent l'utilisation finale et le taux de récupération visé pour chaque élément et chaque fraction de matériau déconstruit.

Lors de l'évaluation des offres, des points sont attribués pour chaque poste de l'inventaire, en fonction des informations fournies par l'entreprise. Afin de permettre une évaluation écologique indépendante des offres en tenant compte de la quantité des différents matériaux, les points obtenus pour chaque matériau sont multipliés par la quantité indiquée pour chacun d'entre eux, afin d'obtenir une « fourchette écologique » par matériau. La somme obtenue à partir de toutes ces fourchettes écologiques de l'offre est ensuite divisée par la somme des quantités indiquées et constitue la valeur écologique de l'offre. Celle-ci est prise en compte à hauteur de 55% dans les critères d'attribution et devient ainsi partie intégrante du contrat.

Le pouvoir adjudicateur s'assure que ces données sont respectées tout au long du projet en demandant à l'opérateur économique de fournir, pendant l'exécution et avant la réception de ses travaux, des détails sur l'utilisation des matériaux issus du démantèlement. Une vérification de la valeur écologique est effectuée à la fin du projet.

Le fait qu'aucune utilisation spécifique ne soit imposée pour les différentes fractions des matériaux extraits, laisse à l'opérateur économique la liberté nécessaire pour rechercher lui-même les débouchés les plus appropriés et ingénieux pour ces derniers. Les matériaux destinés à être récupérés sur place font exception à cette règle. Les retours d'information des entreprises indiquent qu'il faut beaucoup de temps pour trouver les bonnes filières d'écoulement pour les différentes fractions de matériaux issus de la déconstruction.

RD	PR	FR	RC	EN	DC	Commentaires
Légende pour les options						
RD - réemploi direct sans rénovation/entreposage d'un matériau - 100 points par matériau						
PR - préparation au réemploi - 90 points par matériau						
FR - mise en dépôt du matériau en vue d'un éventuel futur réemploi - 80 points par matériau						
RC - recyclage de la matière composant les matériaux aux fins de sa fonction initiale ou à d'autres fins - 25 points par matériau						
EN- Valorisation énergétique - 10 points par matériau						
DC - Mise en décharge - 0 point par matériau						

Légende pour les options d'utilisation finale, extrait de l'inventaire et du document de suivi élaborés par le Luxembourg Institute of Science and Technology et Daedalus Engineering.







La mise en marché

L'un des objectifs du projet pilote est le développement de cahiers des charges qui soient à la fois conformes à la législation sur les marchés publics et adaptés à la déconstruction sélective, respectivement au réemploi ultérieur des matériaux.

Il s'est avéré difficile de définir les opérateurs économiques ou autres, qui peuvent être intéressés par les matériaux déconstruits aux différentes étapes du projet de construction. Finalement, les types d'appels d'offres suivants ont été publiés.

- Marché au prix le plus bas : l'assainissement est un marché classique
- Marché à zéro euro : les objets meublants qui n'ont plus de valeur économique, mais qui restent parfaitement fonctionnels, sont proposés à l'enlèvement gratuit par l'adjudicataire lui-même. Ainsi, la contrepartie financière est l'économie réalisée par l'État sur le transport et l'élimination en décharge, qui seraient autrement nécessaires.
- Appel à intérêt : Il s'agit d'annoncer par publication via les canaux habituels (portail des marchés publics et journaux, y compris les journaux de la Grande Région) les matériaux à être déconstruits et disponibles. Lors de l'élaboration du projet, il n'existe pas encore de plateforme virtuelle pour les projets de déconstruction au Luxembourg.⁴ L'appel à intérêt doit permettre d'obtenir une liste de candidatures pour les différentes fractions de matériaux à récupérer qui seront, dans un deuxième



temps, intégrées dans le dossier d'appel d'offres pour la déconstruction sélective. De cette manière, l'Administration des bâtiments publics espère aider les opérateurs économiques à trouver des débouchés pour les matériaux déconstruits et ainsi augmenter la valeur écologique des offres.

- Marché à critères extra-financiers : La déconstruction sélective et la construction/l'aménagement extérieur avec des matériaux recyclés sont regroupés dans une seule offre d'entreprise générale.

Les pondérations des différents critères d'attribution sont les suivants :

- Prix de l'offre remise par l'opérateur économique : 30%
- Future utilisation des matériaux (« valeur écologique ») : 55%
- Description détaillée de la déconstruction sélective du bâtiment : 10%
- Planning d'exécution élaboré par l'opérateur économique : 5%

La plus grande importance est mise sur la valeur écologique des offres.

Lors de l'établissement du cahier des charges, des positions séparées sont prévues pour la main d'œuvre et les matériaux. Cela permet à l'entreprise d'être correctement payée pour le démontage sélectif, tout en lui offrant la possibilité d'indiquer un prix négatif pour les matériaux qu'elle peut revendre avec profit.

Il a été essentiel d'accorder aux entreprises suffisamment de temps pour soumettre leur offre. D'autant plus qu'elles devaient indiquer comment elles réutiliseraient les fractions de matériaux pour lesquelles il n'existe pas de filières de reprise établies.



Interview

Quels ont été les défis à relever lors de la rédaction d'un cahier des charges pour un projet de déconstruction ?

Les procédures des marchés publics tendant à assurer une bonne gestion des deniers publics, la rédaction des cahiers des charges doit donc permettre d'assurer qu'un maximum d'entreprises s'intéressent au marché. La déconstruction comporte des aspects tout à fait nouveaux dans le cadre de la commande publique, comme la réutilisation ou le recyclage d'éléments constructifs et de matériaux de construction, de sorte que les entreprises intéressées étaient obligées de nouer des liens avec des partenaires spécialisés dans ces divers domaines.

Évidemment, afin que le cahier des charges soit le plus complet possible, une multitude d'analyses ont dû être réalisées en amont. Tous ces efforts consentis seront utiles non seulement pour ce projet, mais également pour des projets ultérieurs. Par le fait que les pouvoirs adjudicateurs gestionnaires du Patrimoine public lancent des marchés de déconstruction sur base de cahiers des charges accessibles à tous, une véritable offre dans ce domaine pourra être créée.

Le droit des marchés publics est-il adapté aux projets d'économie circulaire ?

La loi modifiée du 8 avril 2018 sur les marchés publics ainsi que son règlement d'exécution, donnent le cadre légal suivant lequel doivent se dérouler les procédures d'attribution des marchés publics. Un des principes généraux de la passation des marchés publics est l'égalité de traitement des opérateurs économiques sans qu'il n'y ait de discriminations, ce qui requiert l'organisation de procédures transparentes et proportionnées. De même, la législation sur les marchés publics prévoit que les pouvoirs adjudicateurs tiennent compte, lors de la passation des marchés publics, des aspects et problèmes liés à l'environnement et à la promotion du développement durable. Ainsi, l'utilisation de critères d'attribution qualitatifs tels que des caractéristiques environnementales ou innovantes liées à l'objet du marché, permettent que l'attribution d'un marché ne se fasse pas uniquement sur base du prix. Ces critères d'attribution font l'objet d'une pondération afin de garantir une évaluation des offres transparente.

Assainissement

Les études ont révélé que la contamination⁵ par l'amiante et les fibres minérales artificielles est telle qu'une grande partie des matériaux doit être éliminée en raison de la pollution. Le potentiel de récupération s'en trouve ainsi fortement limité. À titre d'exemple, il s'est avéré que la colle utilisée pour la construction des murs en briques apparentes était contaminée. Il était donc impossible de garder la maçonnerie, car il aurait été beaucoup trop complexe et coûteux de nettoyer chaque brique sous atmosphère contrôlée.

La réalisation de travaux d'assainissement, en particulier dans le cas de l'amiante, est strictement réglementée. De nombreuses obligations, telles que la mise en place de

protections étanches et de chambres à pression négative, sont obligatoires. Afin d'avoir des matériaux de qualité après l'assainissement, il est indispensable de tenir également compte des priorités indiquées dans l'inventaire des matériaux à récupérer.

Les matériaux identifiés comme récupérables sont protégés avec un soin particulier. Il a été veillé à ne pas les endommager lors de la mise en place des dispositifs de protection. Par exemple, l'utilisation de mousse expansive permet de créer rapidement des séparations étanches, mais il n'est souvent pas possible de nettoyer les parties ainsi collées. La solution rapide n'est pas la meilleure.



Chantier

Le chantier de déconstruction sélective proprement dit débute après :

- Le déblaiement du bâtiment
- L'enlèvement des objets meublants par les adjudicataires des marchés à zéro euro
- L'assainissement du bâtiment par une entreprise spécialisée

Lors de la réunion de lancement avec l'entreprise, un plan de gestion des flux est établi. À ce stade, les filières exactes de valorisation des matériaux sont connues et le projet de déconstruction se concrétise.

Sur la base des données du cahier des charges, l'entrepreneur établit son plan d'installation de chantier. Ce dernier indique les détails du centre de tri, le stockage ou l'entreposage temporaire des différentes fractions de matériaux sur place, ainsi que l'emplacement de la balance et des bennes. En somme, le plan contient les informations concrètes sur le déroulement des travaux.

Par ailleurs, les documents de traçabilité sont préparés. Après la déconstruction du bâtiment Jean Monnet au Kirchberg, celle de l'aile 3000 du Lycée Michel Lucius - International School est la deuxième de ce type au Luxembourg et la première avec un objectif circulaire aussi ambitieux. De ce fait, il n'y avait pas réellement de données empiriques sur lesquelles s'appuyer.

Au début du projet, il y a donc une phase d'incertitude, où les données récoltées ne sont pas assez précises, tandis que les acteurs essaient de définir la méthode de travail optimale pour eux.

L'entreprise n'a pas l'habitude de réaliser une planification détaillée, car elle organise généralement elle-même les démolitions et les déconstructions sans directives externes. Au bout de quelques semaines, les outils de suivi utilisés se sont mis en place et les rapports sont optimisés. Toutefois, le démantèlement n'a duré que trois mois, de sorte qu'une partie des données de suivi reste incomplète, étant donné qu'il est impossible de reconstituer les quantités et les détails a posteriori.

Conformément au cahier des charges, le stockage sur place des matériaux à réutiliser avait été laissé à l'entreprise, ce qui s'est avéré insuffisant. Il doit impérativement être planifié et prévu à l'avance selon les besoins : à l'abri des intempéries, à l'intérieur ou à l'extérieur.

L'ensemble de la planification du chantier de réutilisation se fait en parallèle du chantier de déconstruction. Un suivi précis du chantier et des matériaux déconstruits par la maîtrise d'œuvre est indispensable et permet de développer des solutions adaptées à l'état réel des matériaux déconstruits.





Interview

Quels ont été les principaux défis à relever sur ce chantier ?

Le plus grand défi consistait à fabriquer un garde-corps à partir des éléments de la façade qui soit conforme aux exigences de sécurité d'un bâtiment scolaire, malgré la mauvaise qualité et la dégradation des éléments démontés.

La collaboration avec l'entreprise Feidt a également été enrichissante. Il s'agissait de mettre au point un mélange de béton dont la qualité permettrait une mise en œuvre, malgré la forte proportion de matériaux recyclés. D'ailleurs, l'entreprise Feidt a réutilisé 100 % des matériaux obtenus sur le chantier. Il est à noter qu'il existe déjà des projets, par exemple à Bruxelles, dans lesquels des bâtiments entiers sont construits en béton recyclé.

Quels sont les points à retenir pour les futurs chantiers similaires ?

Puisqu'à l'avenir, davantage de circularité sera exigée dans les projets de construction, il faudra donc faire preuve de plus d'anticipation, surtout dans les projets publics. En général, beaucoup plus de composants pourraient être réutilisés, notamment des éléments d'ameublement, à condition que les projets soient conçus en conséquence.

Nous travaillons actuellement sur un projet de déconstruction dans le quartier de la gare, pour lequel une visite virtuelle a été créée. Il est possible de s'y inscrire pour sélectionner des éléments ou des matériaux dans le but d'un futur réemploi.

Les investisseurs privés nous demandent régulièrement de réutiliser des matériaux de construction, puisque cela améliore le bilan écologique de leur bâtiment. Et cela signifie que la valeur marchande internationale de leur bâtiment augmente à son tour. Nous remarquons une forte évolution des mentalités, ce qui est très encourageant.

Quel élément/matériau déconstruit et réutilisé sur place préférez-vous ?

Les poutres en acier et le béton de démolition sont depuis longtemps les matériaux les plus faciles à récupérer. Toutefois, cela n'exclut pas que tous les matériaux puissent être intéressants pour le réemploi.

Il faut toujours garder à l'esprit que ce type de travaux requiert plus de temps et d'efforts. Cependant, il est important de noter que le réemploi compte des avantages notables, puisqu'il permet notamment d'économiser du CO₂.



Rapportage

Le traçage soigneux des matériaux déconstruits sert surtout à se rendre compte de leur destination finale réelle et par ce biais, de constater si les objectifs du projet ont été atteints.

À première vue, la tâche semble simple, mais elle s'avère complexe et surtout chronophage. Le cahier des charges du projet pilote contient trois positions spécifiques pour le tri des matériaux, le contrôle des quantités et la documentation des travaux de déconstruction sélective.




- La collecte et le tri des matériaux résultant de la déconstruction avec surveillance permanente

Cette position détaille la collecte et le tri sur site des matériaux, avant leur départ du chantier et leur éventuelle réutilisation respective. Le centre de tri y est décrit, ainsi que les zones potentielles pour l'entre-stockage sur place. Il est demandé à l'entrepreneur d'établir un document descriptif du concept de gestion et de tri des matériaux résultant de la déconstruction. À cet effet, il doit désigner une personne qui sera en permanence sur site et assurera un contrôle visuel des matériaux résultant de la déconstruction, quant à leur nature et leur qualité et la documentation continue des matériaux démontés.

- Dispositifs et prestations de contrôle permanent des quantités de matériaux résultant de la déconstruction sélective

À cet effet, la personne nommée réalise et tient à jour un journal détaillé cataloguant les matériaux résultant de la déconstruction. Celui-ci est diffusé au moins une fois par semaine à la direction des travaux.

Il est important de connaître exactement le volume et le poids des fractions de matériel déconstruites. Les masses pour chaque transport, mais également pour les matériaux réutilisés sur chantier, sont déterminées via un passage du camion sur la bascule installée sur site.

<p>23.09.2020</p>	<p>Entsorgung der Bitumenbahnen in den Container</p>	
<p>23.09.2020</p>	<p>Entsorgen der Betonziegel vom 3 und 2 Stock in den Bauschuttcontainer</p>	
<p>23.09.2020</p>	<p>Ausbau der Grünen Fassaden Elementen</p>	

Extrait du rapport journalier
établi par Entrepaulus.

- Dossier final documentant les travaux de déconstruction sélective

Le dossier final sert à documenter les travaux de déconstruction sélective. Il reprend toutes les pièces portant preuve à l'utilisation, comme les tickets de pesage, des photos de la réutilisation, ou encore une documentation photographique détaillée des travaux de déconstruction et des travaux de tri des matériaux.

Enfin, le recollement de l'inventaire des matériaux complété y figure, avec les quantités réelles des matériaux et les utilisations finalement retenues.

À la fin, suffisamment de données ont été recueillies pour réaliser le bilan de la valeur écologique et pour pouvoir acter la réussite du projet.



Interview

Pourquoi est-il nécessaire de répertorier les éléments et matériaux déconstruits ?

Un inventaire préalable approfondi des éléments et des matériaux déconstruits permet tout d'abord d'appréhender de manière rationnelle les travaux de déconstruction, et notamment de connaître l'effort de curage à apporter avant les travaux de déconstruction structurelle. Il fournit également une évaluation chiffrée de la nature et de la quantité de matériaux et d'éléments pour lesquels un réemploi peut être envisagé, ainsi que ceux devant obligatoirement être évacués du chantier en tant que déchets en vue de leur recyclage ou de leur traitement. C'est un passage obligé parmi les démarches préalables à une déconstruction sélective contrôlée. En recourant à cet exercice, le maître d'ouvrage collecte les informations destinées à alimenter les différents cahiers des charges et appels d'offres à destination des entreprises chargées des travaux. Le coût de cet inventaire est très largement compensé par les économies réalisées lors des travaux, notamment via la vente des matériaux et le tri des déchets à la source. S'il privilégie la récupération en vue du réemploi, une attention supplémentaire doit être apportée à cet inventaire.

Avez-vous été surpris par les résultats en matière de réutilisation des matériaux qui ont été effectivement obtenus ?

Malgré la typologie particulière du bloc 3000, les efforts consentis en matière de réemploi et de réutilisation ont permis la valorisation d'un nombre non négligeable de matériaux et d'éléments. Cela démontre l'intérêt de la démarche et le potentiel que recèle nombre de bâtiments soumis à une déconstruction complète, voire une rénovation lourde. Le succès d'une telle entreprise dépend en grande partie des objectifs clairs du maître d'ouvrage et de sa volonté d'envisager ce type de démarches. Par-là, je voudrais également souligner la conviction sans faille des acteurs impliqués dans la réalisation des travaux au Lycée Michel Lucius et le succès qu'ils ont finalement rencontré. J'ai effectivement été positivement surpris par les résultats enregistrés.

1. Le ministère de l'Environnement, du Climat et du Développement Durable (MECDD) a accompagné et soutenu le projet de la déconstruction de l'aile 3000 dans le cadre des travaux sur « Guide pour l'élaboration d'un inventaire des matériaux de construction lors de la déconstruction d'un bâtiment ».

<https://www.guidebatimentdurable.brussels/protocole-deconstruction>

2. <https://environnement.public.lu/fr/offall-ressourcen/types-de-dechets/dechets-construction-demolition-dcd/inventaire-dechets-construction.html>

3. voir le chapitre « Impact de la législation ».

4. Depuis l'élaboration du projet, de premières initiatives pour le réemploi commencent à se mettre en place au Luxembourg.

5. Il est important de noter que l'exploitation du bâtiment avant son démantèlement ne posait pas de problème, car l'amiante et les FMA étaient tous deux encastés dans des structures qui empêchaient la libération de fibres potentiellement dangereuses pour la santé humaine.

Liens vers des sites contenant des informations complémentaires

<https://environnement.public.lu/fr/offall-ressourcen/types-de-dechets/dechets-construction-demolition-dcd/guide-deconstruction.html>

<http://www.crtib.lu/fr/construction-durable/projet-ctg-deconstruction-demolition>

<https://www.guidebatimentdurable.brussels/protocole-deconstruction>

Impact

de la

législation

L'économie circulaire et la législation

Le secteur de la construction est régulé par une multitude de lois et de règlements visant à assurer la qualité de notre environnement bâti. Les règlements sur les bâtisses, les prescriptions de sécurité et les lois sur la performance énergétique, contiennent par exemple des exigences spécifiques aux matériaux à employer. D'autres réglementations contraignent plutôt les agencements spatiaux ou encore la manière de travailler.

Les ressources et les déchets

L'Union européenne indique dans son document « Transition pathway for Construction »¹ que l'écosystème de la construction a besoin d'un cadre favorable pour être résilient, compétitif et innovant. L'UE contribue notamment à sa mise en place par le biais du marché unique et du règlement sur les produits de construction. Ce dernier prend en compte le reconditionnement et le recyclage lorsque l'allongement de la durée de vie et la réutilisation ne sont plus possibles.

Au Luxembourg, le plan national de gestion des déchets et des ressources (PNGDR) regroupe les mesures pour la prévention et la réduction des déchets. Ce dernier décrit les stratégies et les mesures mises en place. Son complément, la stratégie zéro déchets « Null Offall Lëtzebuerg »² identifie les politiques à mettre en œuvre pour une meilleure gestion des ressources.

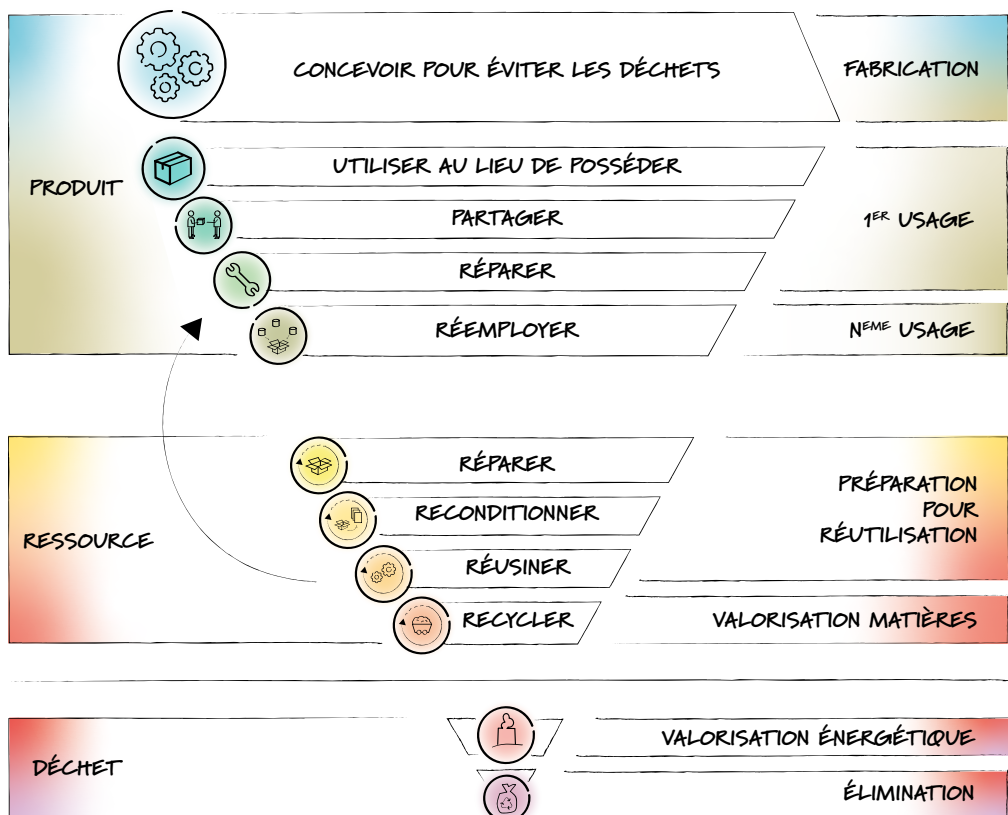
Les textes de loi actualisés combinent les deux volets – déchets et ressources – et visent à implémenter les principes de la hiérarchie des déchets tels que définis par le PNGDR³. Elle reprend l'échelle dite de Lansink⁴, qui classifie les différents traitements des déchets (prévenir, réemployer, recycler, valoriser et éliminer les déchets).

Le diamant des ressources affine l'échelle de Lansink en montrant les liens qui existent avec la colline des valeurs de l'économie circulaire⁵, qui est une visualisation de la hiérarchie des valeurs de l'économie circulaire. Le but est d'adopter une vue orientée vers la préservation des ressources et la réduction de production de déchets.

Malgré les adaptations récentes intégrant les ressources, les législations sur les déchets sont écrites pour assurer la régulation des déchets, notamment pour éviter la pollution et bannir le trafic illégal. Par exemple, le transport et l'exportation des déchets sont strictement réglementés et soumis à des autorisations et contrôles à différents niveaux. Seules des entreprises spécialisées et agréées peuvent traiter les déchets.

« Le déchet » est défini par la législation luxembourgeoise⁶ comme « toute substance ou tout objet dont le détenteur se défait ou dont il a l'intention ou l'obligation de se défaire ».

Cette définition sous-entend que le matériel ou l'objet n'a plus d'utilité ou de valeur pour son détenteur. Si ce dernier le vend en vue d'une utilisation future par le nouveau propriétaire, comme une voiture d'occasion ou une antiquité, l'objet en question ne rentre pas dans le statut de déchet. Par contre, si le détenteur se défait d'un objet sans intention d'une réutilisation future immédiate, et même si cet objet est encore fonctionnel et possède une valeur intrinsèque, il devient un déchet. Autrement dit, il obtient le statut de déchet. Le détenteur est légalement obligé de l'éliminer via les filières appropriées et de payer les taxes y rattachées.



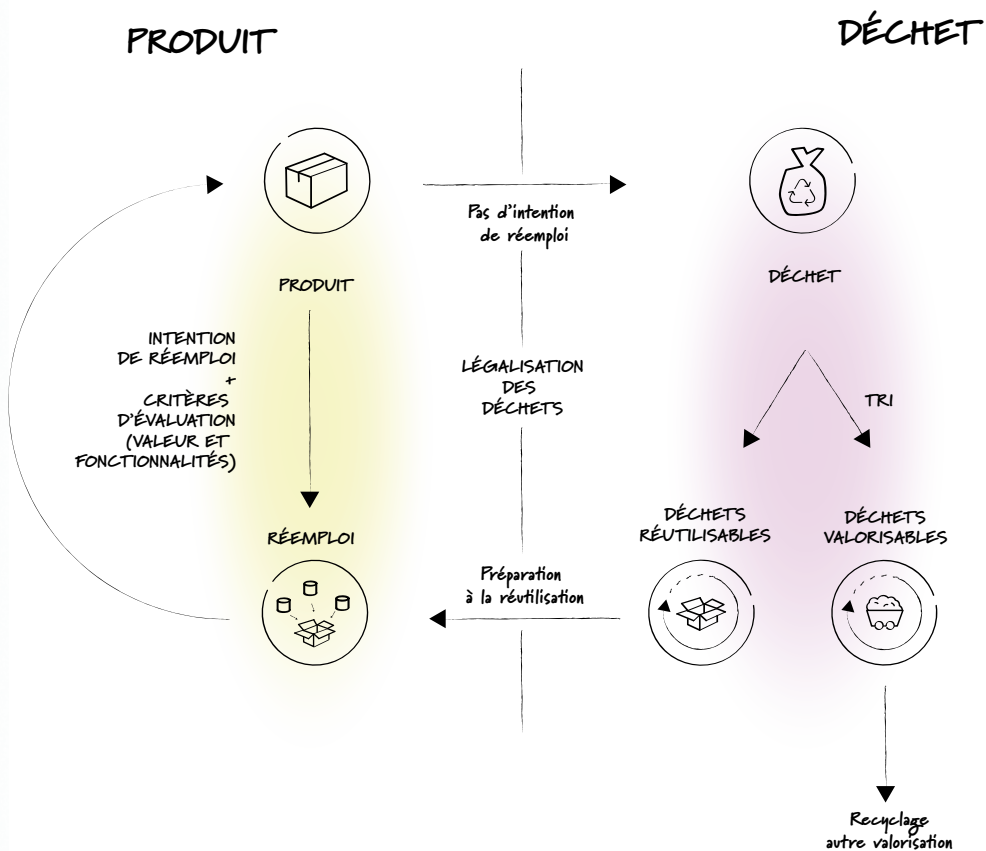
Triangle des ressources pour les nutriments techniques adapté de la stratégie « Null Offall Lëtzebuerg »².

De nombreuses initiatives visent à promouvoir l'économie circulaire et donc l'optimisation de l'utilisation des objets et matériaux, non seulement en tant que produit, mais également en tant que ressource pour en refaire des produits. Les critères de sortie de statut de déchet devront être simplifiés afin de récupérer plus de ressources en voie d'élimination. Ceci est particulièrement important pour les grandes quantités générées par la construction.

En outre, il faut mettre en place des conditions de concurrence équitables pour la commercialisation de produits issus de matières premières secondaires. L'élaboration de normes spécifiques aux matériaux recyclés ou récupérés pourrait également aider à faciliter leur mise sur le marché.

La mise en place d'inventaires, tels que le registre informatique des matériaux de construction⁶, vise à gagner une vue d'ensemble sur les quantités et la nature des matériaux mis en œuvre dans le patrimoine construit. Les dispositions sur la déconstruction⁶ servent à assurer la qualité des matériaux à déconstruire, donc des futurs matériaux de seconde main.

La transposition de ces initiatives dans des projets de loi et des règlements entraîne de multiples obligations de traçabilité et de déclaration, avec le risque d'alourdir le travail des acteurs de la construction, et ainsi d'augmenter les délais et les coûts des futurs bâtiments.

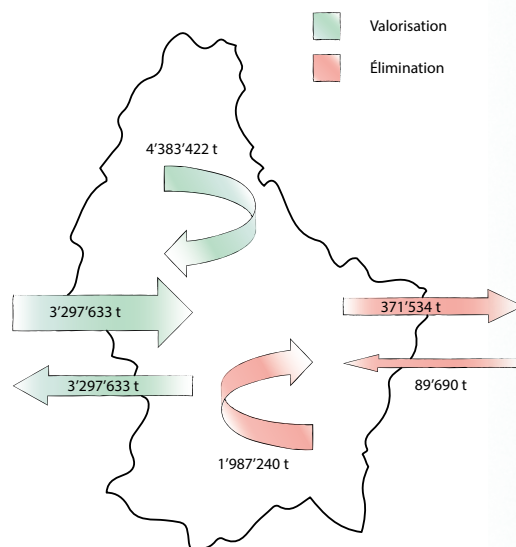


Visualisation des notions de réemploi et de préparation en vue de la réutilisation, en relation avec l'usage des produits adapté de « Null Offall Lëtzebuerg »².

Malgré cela, certaines questions restent ouvertes :

- Qui est responsable et qui donne les garanties pour les matériaux de réemploi ?
- Qui est responsable du stockage des matériaux ? Qui finance ce stockage ?
- Qui s'occupe du traitement des matériaux de démolition destinés à la réutilisation et au recyclage ?

Le Luxembourg étant un petit pays, il est important que le marché pour les produits et matériaux de réemploi, respectivement de recyclage, s'étende à la Grande Région. La libre circulation des marchandises, mise en place par l'Union européenne, est garantie par la suppression des droits de douane et des restrictions quantitatives aux échanges. Le principe de la reconnaissance mutuelle, l'élimination des barrières physiques et techniques, et la promotion de la normalisation, favorisent également le marché intérieur européen⁷.



Flux de la totalité des déchets en 2021

Les marchés publics

Les marchés publics jouent un rôle important dans les économies des États membres et leur valeur correspondrait à plus de 16% du PIB⁸ de l'Union européenne. L'enjeu est donc considérable et les lois et réglementations régissant les marchés publics y sont adaptées. Elles garantissent l'égalité de traitement de tous les opérateurs économiques intéressés par un marché spécifique.

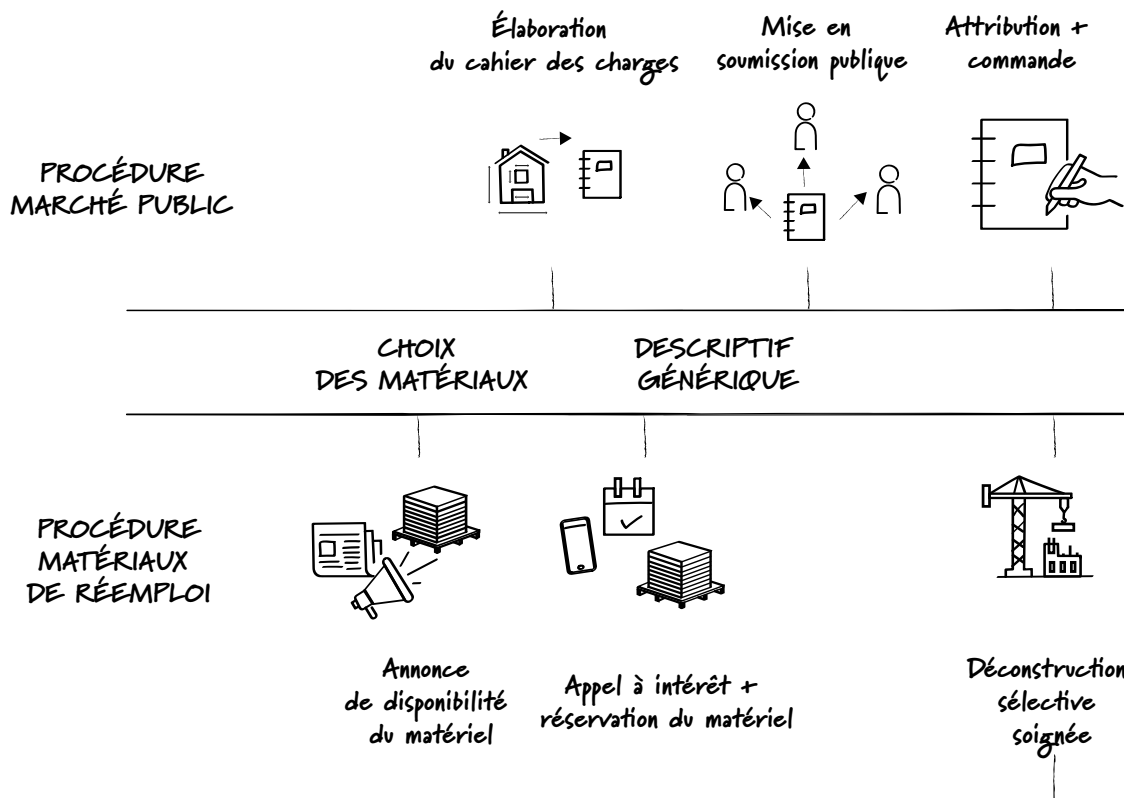
Par exemple, la description de certains produits par type et par marque n'est pas autorisée dans les documents d'appel d'offres. En effet, le marché des produits de construction usagés est freiné par cette réglementation destinée à favoriser la concurrence.

Comme les plateformes de matériaux de réemploi provenant de déconstructions ne peuvent pas garantir un approvisionnement régulier, il se peut que le matériel décrit dans le cahier des charges ne soit pas disponible dans les temps voulus.

Afin d'avoir la garantie que le matériel nécessaire soit disponible au bon moment, il existe deux options. La première serait d'acheter le matériel dès qu'il est disponible, ce qui correspond souvent au moment de la conception du projet. S'ensuivent d'une part des problèmes de stockage, puisque le projet n'est pas encore en construction, et d'autre part d'éventuelles discussions de responsabilité et de prix avec l'entreprise qui sera désignée pour la mise en œuvre. L'autre option serait de laisser un maximum de flexibilité dans la planification pour adapter le projet au besoin et en accord avec les matériaux disponibles au moment de l'exécution. Cette manière de faire va à l'encontre de la logique des bordereaux de soumission classiques qui définissent clairement les différentes positions pour éviter les ambiguïtés lors de l'exécution.

Afin de garantir au moins la concurrence pour les travaux, il est possible de séparer les fournitures et poses dans différents cahiers des charges. Ce n'est pas une pratique courante, et les entreprises ont l'habitude de baser leur prix en partie sur les plus-values réalisées sur les matériaux. Comme indiqué ci-dessus, il faut également clarifier les responsabilités de la qualité du matériel s'il n'est pas livré par l'entreprise qui le pose. Une autre option est de rester flexible sur le type de matériel de seconde main qui sera employé, en définissant par exemple un pourcentage de matériel de réemploi à intégrer dans l'exécution, tandis que le choix du matériel exact qui sera réemployé reste la décision de l'adjudicataire.

Une autre particularité des marchés publics et du principe d'égalité de traitement, est que les organismes publics ne sont pas autorisés à donner des matériaux encore fonctionnels issus de leur déconstruction, même s'ils n'ont plus de valeur commerciale. Il est alors possible d'avoir recours à une mise sur le marché à zéro euro, c'est-à-dire un marché sans flux monétaire. Le transfert de propriété se fait en contrepartie d'une prestation en nature, usuellement la récupération du produit ou matériel sur le site de la déconstruction. Les économies réalisées par l'État sur les frais de transport et de mise en décharge, ainsi que les taxes d'élimination, définissent la contre-valeur économique sur laquelle se base le marché avec le futur propriétaire. Il y a donc bien la conclusion d'un contrat avec transfert de propriété, et donc de responsabilité, en accord avec les législations sur les marchés publics.

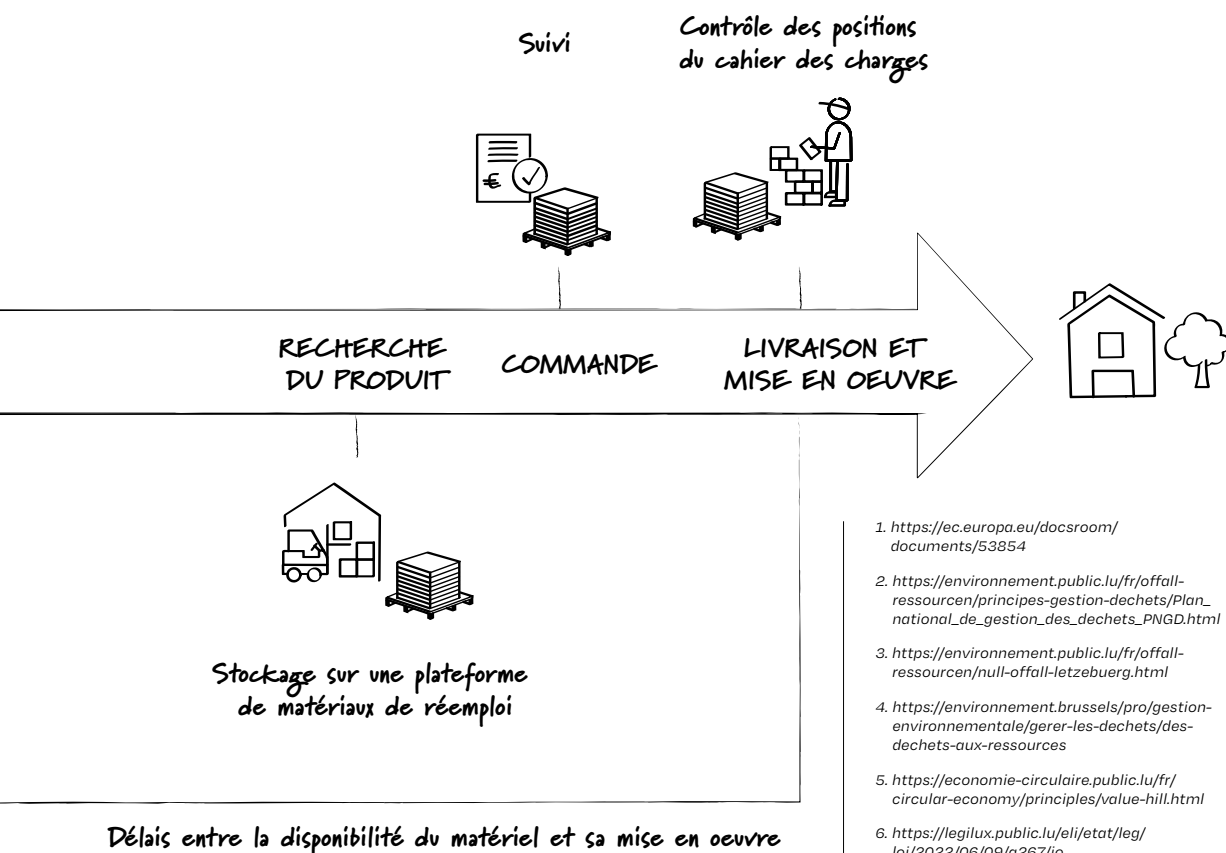


Graphique montrant la relation des procédures de marché public avec la disponibilité de matériaux provenant de déconstructions.

Les critères d'attribution sont le troisième paramètre à prendre en considération. À défaut de l'attribution du marché au moins-disant (au prix le plus bas), la législation revue inclue la possibilité de choisir l'offre la plus avantageuse économiquement, visant ainsi à garantir le meilleur rapport qualité-prix. Il est désormais possible de prendre en compte d'une part, la notion de qualité des travaux ou des services en question, et d'autre part, le prix ou les coûts du cycle de vie. Il est également possible d'introduire des critères extra-financiers, c'est-à-dire basés sur d'autres paramètres que le prix.

Ceci dit, il est important de garantir la transparence à chaque étape, notamment par la fourniture d'une documentation éclairant toutes les étapes de la procédure et décrivant clairement, par exemple, les modalités d'attribution, si elles diffèrent de l'attribution par le prix le plus bas.

Les exemples ci-dessus montrent qu'il est possible d'intégrer les principes de la circularité dans les projets de construction privés et publics, mais au stade actuel, ceci demande une planification et des efforts supplémentaires qu'il n'est pas toujours possible de fournir. Une simplification et une harmonisation des réglementations seraient favorables au développement d'un plus grand nombre de projets circulaires dans le secteur de la construction.



- <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/53854>
- https://environnement.public.lu/fr/offall-ressourcen/principes-gestion-dechets/Plan_national_de_gestion_des_dechets_PNGD.html
- <https://environnement.public.lu/fr/offall-ressourcen/null-offall-letzebuerg.html>
- <https://environnement.brussels/pro/gestion-environnementale/gerer-les-dechets/des-dechets-aux-ressources>
- <https://economie-circulaire.public.lu/fr/circular-economy/principes/value-hill.html>
- <https://legilux.public.lu/eli/etat/leg/loi/2022/06/09/a267/jo>
- <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/fr/sheet/38/libre-circulation-des-marchandises>

Interview

Quelles sont les considérations lors de la mise en place de nouvelles réglementations ?

Lors de l'élaboration de nouvelles réglementations, plusieurs éléments essentiels guident notre approche. Avant tout, nous valorisons une démarche participative en collaboration avec les parties prenantes et les acteurs concernés. Leurs contributions garantissent que les réglementations répondent efficacement aux besoins du secteur, tout en restant adaptées aux enjeux environnementaux actuels. Dans ce contexte, une coordination interministérielle est également indispensable pour assurer une approche holistique.

Il est primordial de tenir compte du contexte européen. En effet, les directives européennes fournissent un cadre pour nos actions. La transposition de ces directives au niveau national doit garantir un alignement avec les objectifs communautaires.

Au-delà, afin d'assurer les résultats attendus des mesures proposées dans une nouvelle réglementation, il est parfois judicieux de se faire assister par des études plus spécifiques. Cela permet d'ajuster les projets de règlements en temps utile, si nécessaire.

Enfin, nos réglementations doivent offrir un cadre propice au développement de solutions novatrices. Dans le contexte environnemental, cela contribue par exemple à l'émergence de nouvelles méthodes ou de technologies de production.

En résumé, notre processus d'élaboration de réglementations repose sur une collaboration inclusive, des évaluations rigoureuses et une harmonisation avec les cadres européens, afin d'assurer la pertinence et la cohérence avec les objectifs nationaux et européens.

Comment les lois et les règlements peuvent-ils contribuer à faire augmenter le nombre de projets d'économie circulaire ?

Les lois et les règlements jouent un rôle essentiel pour cadrer la transition vers une économie circulaire. Tout d'abord, elles ancrent l'économie circulaire dans un contexte juridique, établissant ainsi une base solide pour l'adoption de pratiques respectueuses de l'environnement. La législation existante, notamment la loi relative aux déchets, définit des objectifs clairs en matière de réduction des déchets.

Pour renforcer les principes de gestion de ressources dans le contexte de la construction et ainsi inciter les acteurs à privilégier une approche de construction plus durable, la loi prévoit que le maître d'ouvrage d'un bâtiment tienne à jour un registre informatique répertoriant les matériaux utilisés, dès la phase de planification. Pour fermer la boucle en fin d'utilisation du bâtiment, un inventaire des matériaux à déconstruire est réalisé. Celui-ci permet d'identifier le mode de valorisation le plus adapté en tenant compte du réemploi avant le recyclage et en incitant davantage à la déconstruction sélective et soignée.

Enfin, les lois peuvent également fournir des incitations financières telles que des subventions. La récente mise à jour du cadre légal du fonds pour la protection de l'environnement souligne la volonté du gouvernement de soutenir les initiatives innovantes en économie circulaire, en introduisant des aides financières spécifiques.

**Ministère de l'Environnement,
du Climat et du Développement
durable,
Yannick Pau,
chargé de projets**

Un exemple de construction



Äerdschëff

L'Äerdschëff est un tiers lieu pionnier pour l'apprentissage, la recherche et l'enseignement de la démarche low-tech et de l'économie circulaire, installé à Rédange. Il s'agit d'un lieu destiné à documenter, éduquer et rechercher, ainsi qu'à stimuler la curiosité et la créativité en vue d'un avenir souhaitable pour tous.

Les principes de conception d'un Earthship tournent autour de la création d'un bâtiment durable, autosuffisant et respectueux de l'environnement. Voici quelques-uns des principes de conception clés couramment associés aux Earthships :

- Gestion des déchets : les Earthships utilisent des stratégies de gestion durable des déchets.



aerdscheff.lu

- Matériaux recyclés et naturels : les Earthships utilisent des matériaux recyclés et naturels pour réduire les déchets et minimiser l'utilisation de matériaux de construction conventionnels. Les pneus, les bouteilles de verre et d'autres matériaux récupérés sont souvent incorporés dans la construction des murs, créant ainsi des structures durables et isolantes.
- Masse thermique : les Earthships utilisent la masse thermique comme moyen de réguler les températures intérieures.
- Conception solaire passive : les Earthships sont conçus pour maximiser les apports solaires.
- Ventilation naturelle : les Earthships sont conçus pour favoriser la ventilation naturelle et la circulation de l'air.

Dans la construction, l'utilisation de plastique et de béton a été réduite au strict minimum, et des matériaux alternatifs tels que le dertonon ont été employés comme pare-vapeur pour la sous-couche et entre les pneus et la berme. À l'intérieur du bâtiment, sur les parois et le sol, beaucoup de matériaux naturels différents et de techniques traditionnelles – ou à aspect durabilité forte – ont été expérimentés.

Comment les professionnels réagissent-ils à l'idée de construire avec des matériaux de réemploi ?

L'idée de construire avec des matériaux de réemploi suscite différentes réactions parmi les professionnels du secteur de la construction. Nombre d'entre eux soutiennent l'utilisation de matériaux de réemploi. Ils reconnaissent les avantages environnementaux et durables de cette approche, tels que la réduction des déchets de construction, la préservation des ressources naturelles et la réduction de l'empreinte carbone. Ils sont souvent engagés dans des pratiques de construction écologiques et voient l'utilisation de matériaux de réemploi comme une extension de leur philosophie.

Certains professionnels voient l'utilisation de matériaux de réemploi comme une opportunité d'innovation et de créativité dans la conception architecturale et la construction. Ils considèrent les matériaux de réemploi comme une ressource précieuse pour des projets de construction originaux.

D'autres peuvent exprimer des préoccupations concernant les défis techniques liés à l'utilisation de matériaux de réemploi. Ils soulèvent des questions sur la qualité, la durabilité et la conformité aux normes de construction. Ces préoccupations peuvent nécessiter une évaluation approfondie des matériaux et une expertise technique pour s'assurer de leur adéquation et de leur sécurité. Les professionnels de la construction doivent également se conformer aux réglementations et aux normes en vigueur dans le secteur. L'utilisation de matériaux de réemploi peut nécessiter une évaluation supplémentaire pour s'assurer de leur conformité aux exigences légales et réglementaires.

Quels défis le réemploi a-t-il posés dans le cadre du projet Äerdscheff ?

Tout d'abord, la disponibilité d'un espace de stockage pour les matériaux de récupération peut être un défi pour une association, car ces matériaux peuvent avoir besoin d'être collectés et stockés pendant une longue période avant de pouvoir être utilisés dans la construction. Cela nécessite une planification et une coordination minutieuses pour s'assurer que les matériaux sont protégés et organisés de manière adéquate.

Deuxièmement, l'utilisation de matériaux non standard dans la construction de l'Äerdschëff, tels que des pneus recyclés, des bouteilles de verre ou du bois récupéré, peut nécessiter des connaissances et des compétences spécialisées. Nous avons une toute petite équipe professionnelle, une main-d'œuvre bénévole, ce qui a nécessité une formation et une supervision supplémentaires.

En outre, le travail avec des matériaux de récupération implique souvent des variations de taille, de forme et de qualité. Les volontaires peuvent rencontrer des difficultés pour adapter ces matériaux aux exigences spécifiques de la conception de l'Äerdschëff. Il faut donc faire preuve de souplesse et de créativité dans la résolution des problèmes pour s'assurer que les matériaux peuvent être incorporés efficacement dans la construction, tout en maintenant l'intégrité structurelle. Par exemple, les bénévoles n'étaient pas impliqués dans les travaux de toiture pour des raisons de sécurité du bâtiment et de réception par l'organisme de contrôle.

**Äerdscheff,
Dr Katy Fox,
chercheuse, designer en
permaculture et enseignante**

L'ABP a un rôle de conseil et d'assistance pour les demandes d'autorisation dans le cadre du projet Äerdscheff.

Réemploi

construction

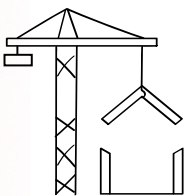
Construire avec des matériaux de réemploi

Aile 3000 et 6000

Les matériaux réutilisés, qui peuvent même avoir été détournés de leur fonction initiale, racontent l'histoire du lieu. Ils sont des traces de ce qui a été et permettent en même temps de créer du nouveau.

Autrefois, il était courant d'intégrer dans les façades des nouveaux bâtiments des objets marquants, tels que des statues ou des ornements du bâtiment démolé ou même d'un bâtiment voisin. Ainsi, on conservait un élément du passé, ce qui devait aider à protéger la nouvelle maison contre le mal. L'observateur attentif découvre ainsi des traces de bâtiments beaucoup plus anciens, qui s'intègrent dans les maisons historiques de la ville de Luxembourg.

Le réemploi n'a bien entendu rien à voir avec des émotions ou avec une historicisation, mais sert en premier lieu à la réutilisation des ressources, c'est-à-dire des matériaux de construction, jusqu'au point où ils ne peuvent plus être récupérés et doivent être recyclés ou, dans le pire des cas, finir comme déchets. Une fois le chantier terminé, la plupart des matériaux de réemploi ne sont plus visibles. Néanmoins, les concepteurs ont adapté le projet, y compris l'esthétique, en les considérant, ce qui diffère de l'approche habituelle de conception d'un projet.



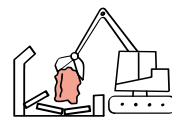
CONSTRUCTION



VIE DU BÂTIMENT



DIAGNOSTIC / RESSOURCE



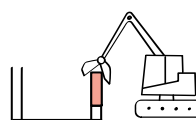
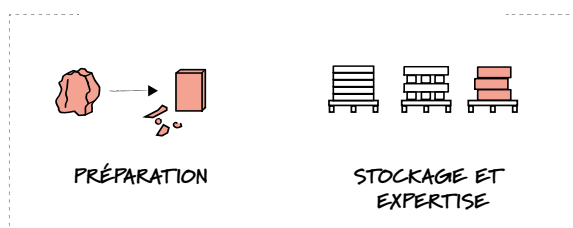
COLLECTE

La réutilisation des matériaux de construction est une mesure pour réduire les déchets qui reste encore largement inexploitée. Le réemploi est pourtant une priorité, car il constitue une mesure de prévention de déchet en amont de sa production.

En dehors de ces considérations, l'option la plus durable reste l'utilisation continue des bâtiments existants, y inclus la réalisation de travaux d'entretien et d'adaptations mineures. Les projets développés aujourd'hui sont en conséquence conçus pour être faciles à rénover et, si on le souhaite, faciles à démonter. Ainsi, les ressources utilisées sont conservées lorsque le cycle d'utilisation du bâtiment prend fin. Une réutilisation ultérieure est facilitée par des constructions conçues pour durer. Leurs éléments et matériaux sont simples à démonter, à séparer et à réutiliser.

La décision de déconstruire l'aile 3000 et de transformer une partie du sous-sol a entraîné la volonté de réutiliser sur place autant de matériaux démontés que possible. Le chantier de transformation de l'aile 6000 en bibliothèque est exécuté parallèlement au chantier de déconstruction, ce qui a facilité la réutilisation des matériaux et des éléments de réemploi sur le chantier voisin.

RÉEMPLOI DIRECT



CONSTRUCTION

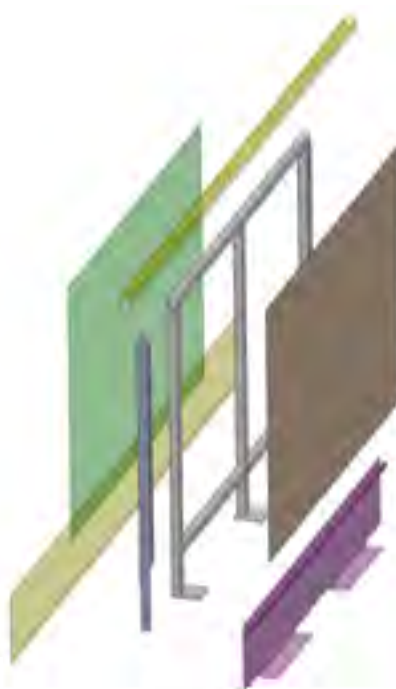


VIE DU BÂTIMENT



Les plaques de façades

Les panneaux de façade d'origine sont entièrement démontés, cependant, seules les tôles vertes des faces extérieures et les tôles grises intérieures sont récupérées. Une nouvelle structure métallique fabriquée sur mesure intègre les panneaux et confère de la stabilité au nouveau garde-corps de la terrasse. Les plans d'atelier tiennent compte des propriétés techniques des panneaux de réemploi.





Démontage
Entrapaulus construction

Plans d'exécution,
fabrication et montage de
garde-corps

**MSN Maintenance Soudure
Nucléaire**

Application des films
Sign Consulting

Photos
Levygraphie

Conception
Schmets Architectes

Conception

Lors de la construction d'un bâtiment, il est courant de commencer par concevoir le bâtiment, puis de définir les matériaux et enfin de les acheter à des fournisseurs capables de produire les quantités nécessaires. Dans le cadre du projet pilote, les matériaux ont été récupérés à l'avance, sur la base de l'inventaire des matériaux de réemploi établi pour la déconstruction. L'objectif du projet était donc de définir les constructions en fonction des matériaux disponibles.

Le projet prévoyait une grande quantité de matériaux de réemploi. L'architecte a donc exclusivement défini le projet par ses qualités spatiales et fonctionnelles. Il n'était pas possible de fixer à l'avance l'aspect final du bâtiment. Ce n'est que sur chantier, après le démontage des matériaux, qu'il était envisageable de définir la forme et la couleur exactes des nouveaux éléments constructifs.

Les matériaux qui devaient être conservés afin d'être utilisés pour les besoins propres étaient clairement définis dans le cahier des charges de la déconstruction de l'aile 3000. Ce dernier prévoyait également le stockage temporaire sur le chantier. Les prestations pour la nouvelle construction ne comprenaient donc que la partie des travaux de (re)montage, sans la fourniture de matériel. Chaque matériau fait l'objet d'une réflexion séparée, la réutilisation donnant lieu à des solutions plus ou moins complexes.

- Des solutions évidentes : les panneaux de plafond sont démontés dans l'aile 3000 et remontés de l'autre côté dans l'aile 6000.
- Des solutions simples : le mobilier réutilisé, comme les tables, les chaises ou les rayons de bibliothèque, est déménagé. Les lampes sont démontées dans l'aile 3000 et remontées en l'état dans la bibliothèque.
- Des solutions innovantes : la proportion d'agréats réutilisés dans le béton est généralement limitée à 25%. Des études approfondies et des analyses en laboratoire ont permis d'utiliser jusqu'à 60% de matériaux recyclés pour le béton de la cour principale.
- Des solutions complexes : une partie de l'acier démonté est réinstallée sous forme de pergola. Pour que cela soit possible, les éléments en acier doivent être partiellement adaptés. À cet effet, ils sont transportés dans l'atelier de l'entreprise. Ils y sont modifiés avant d'être réinstallés sur place.
- Des solutions participatives : les tôles des planchers de l'aile 3000 sont démontées. Ce faisant, elles sont soigneusement séparées des autres couches. Elles sont ensuite mises en couleur par une classe de l'école. La peinture murale ainsi réalisée a ensuite été installée sur la façade ouest de la bibliothèque.
- Des solutions externes : les pavés utilisés ont été démontés, livrés sur place et posés par l'entreprise chargée des travaux. De même, le mobilier de comptoir et certaines étagères provenant du Centre National de l'Audiovisuel ont été intégrés dans le nouvel aménagement intérieur de l'aile 6000.





- Des solutions impraticables : les dalles de sol de l'esplanade sont neuves. Une solution réutilisable, disponible en quantité suffisante et réalisable dans les délais impartis, n'a pu être trouvée, même après des recherches intensives.
- Des solutions prêtes à l'emploi : des coussins et quelques sièges fabriqués à partir de matériaux recyclés ont été fournis prêts à l'emploi.

Les éléments et matériaux réutilisés ont été laissés dans leur état d'origine autant que

faire se peut. Il s'agit d'un choix esthétique visant à rendre visible la réutilisation des matériaux. Ainsi, la peinture n'a été appliquée que là où elle était absolument nécessaire, par exemple, pour protéger les assises en bois des intempéries.

Le résultat est un site à caractère unique, que lui confèrent les matériaux réutilisés. Ils conservent les traces de leur passé, même s'ils ne sont pas tous apparents. Le résultat visuel est surprenant par endroits et justifie le surcroît de travail qu'ont nécessité la conception et la réalisation.

Interview

Le béton aux agrégats recyclés est fabriqué depuis un certain temps. Quelles sont les raisons pour lesquelles l'utilisation n'est pas encore très répandue au Luxembourg ?

Jusqu'à présent, l'application principale d'agrégats issus du concassage de béton recyclé était leur utilisation dans les couches de base de structures routières. Ce matériau a en quelque sorte remplacé les scories de haut-fourneaux, qui sont produites aujourd'hui en plus faible quantité. Il existait ainsi une application utile et nécessaire pour ces agrégats.

Aujourd'hui, l'intérêt de réduire notre impact climatique et de réutiliser les matériaux dans le sens d'une économie circulaire, c'est-à-dire de les réutiliser dans la même filière et le même produit dont ils proviennent, nous montre la nécessité de prévoir également leur utilisation dans des structures en béton.

Le nouveau document national d'application de la norme ILNAS EN 206 tient compte de la volonté de l'industrie de construction d'aller dans la direction de l'utilisation de béton recyclé, en définissant différents taux d'ajout d'agrégats recyclés en fonction de l'application plus ou moins critique du béton.

Quelles connaissances attendez-vous du projet au Lycée Michel Lucius - International School ?

Une des questions les plus importantes que nous nous posons toujours est celle de la durabilité de nouveaux mélanges. Nous nous attendons à pouvoir constater ou non la bonne tenue dans le temps d'un point de vue carbonatation, mais également de résistance par rapport à d'autres influences atmosphériques telles que le gel. Lorsqu'un nouveau mélange est confectionné, nous vérifions en général sa résistance à la compression après 28 jours, ce qui est assez facile à atteindre. D'autres propriétés comme la durabilité restent plus difficiles à déterminer au Laboratoire que dans le contexte d'un projet réel.

Serait-il souhaitable de mettre en place davantage de projets pilotes de ce genre ?

Avant de pouvoir adapter une norme, respectivement son document national d'application, nous devons collecter nos propres données, même si d'autres pays travaillent déjà régulièrement avec des agrégats recyclés et peuvent partager leurs expériences. Les marchés de la construction, la géologie, et aussi la façon d'organiser les marchés publics, diffèrent d'un pays à l'autre.

Si nous essayons actuellement de restreindre les quantités d'agrégats de béton dans des mélanges plus critiques, un recyclage plus poussé pourrait toutefois s'avérer nécessaire à l'avenir. C'est pourquoi, il est souhaitable de réaliser des projets pilotes comme celui-ci bien avant de vouloir augmenter les pourcentages applicables pour le marché entier.

Les pouvoirs publics doivent aider à atteindre ce but en créant des opportunités pour l'utilisation de produits innovants lors de ces projets « hors norme ».

Administration des ponts
et chaussées,
Laboratoire,
Georges Blasen,
chef du laboratoire



La structure en acier

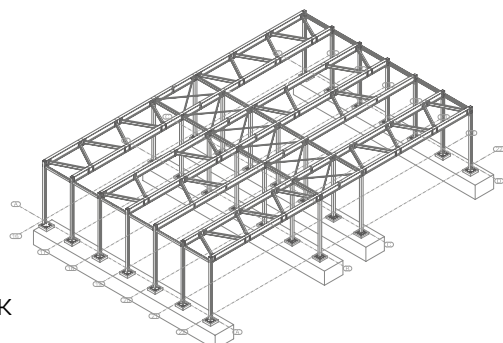
Une partie des poutres et des poteaux déconstruits est utilisée pour la construction de la nouvelle pergola, qui met en valeur la cour d'école réaménagée.

La mise en place des voiles d'ombrage nécessite un calcul poussé de la part de l'ingénieur, afin de s'assurer que la structure réutilisée résiste aux charges exercées par les éléments. Les forces statiques

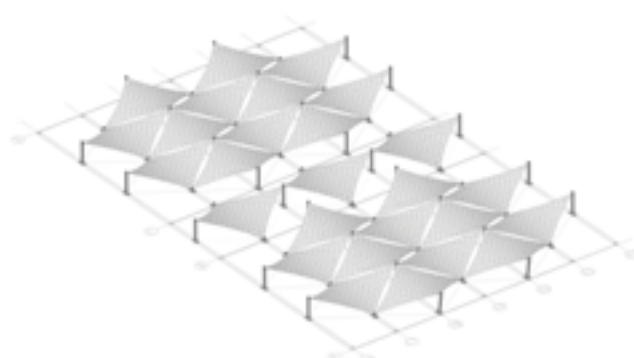
effectives diffèrent considérablement au nouveau lieu d'installation car la force du vent joue désormais un rôle. Des éléments de contreventement additionnels et des fixations au sol sont ajoutés en atelier aux éléments d'acier existants, avant leur remontage sur site.



E



K



Démontage
Entrapaulus construction

Plans d'atelier, travaux en acier et montage de la structure portante
Kerger Constructions

Voile d'ombrage et sous-structure
Technique Voile

Conception
Schmets Architectes

Calculs statiques et conception de la structure
Daedalus Engineering

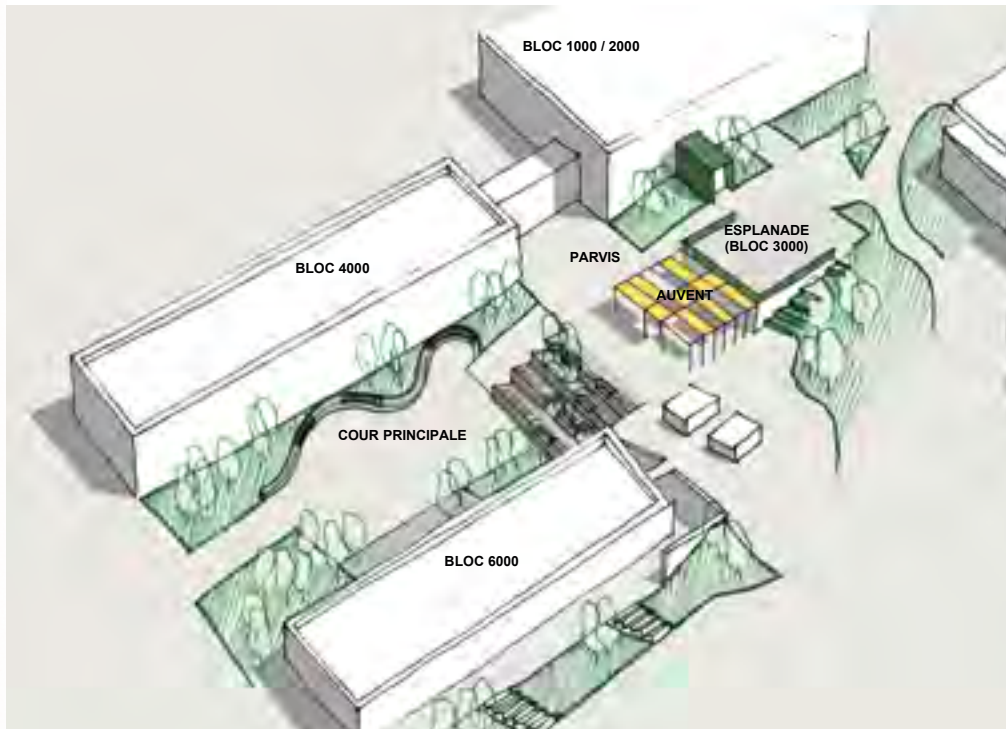
Défis pour les concepteurs

Le projet d'exécution prépare la mise en œuvre matérielle de l'idée créative. Il s'agit de trouver les meilleurs matériaux pour la réalisation. L'architecte fait des propositions précises pour le montage et la fixation. Les caractéristiques techniques des matériaux sont connues, de sorte que les plans donnent une image concrète de la réalisation ultérieure. Les plans d'exécution sont la base des descriptions dans les cahiers des charges.

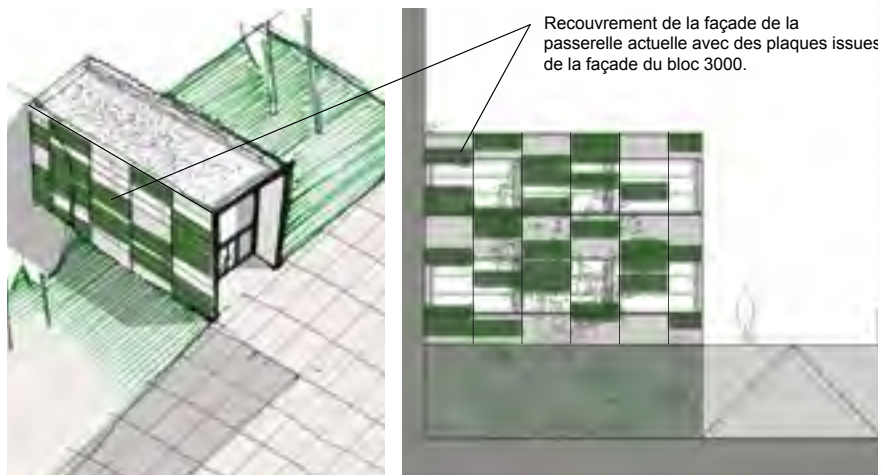
Pour le projet pilote, seules les informations de l'inventaire étaient disponibles au moment de la planification de l'exécution. Une entreprise générale a été chargée à la fois de la déconstruction et de la construction avec les matériaux de réemploi. Il n'était donc pas possible de connaître l'état exact des matériaux de déconstruction avant la fin de l'appel d'offres. La planification devait rester flexible tout en contenant suffisamment de détails pour pouvoir quantifier les travaux prévus.

Par exemple, lors du démontage, il s'est avéré que les différentes couches des panneaux de façade se détachaient les unes des autres. Le détail de fixation prévu n'a pas pu être réalisé et un nouveau type de sous-structure a été développé en étroite collaboration avec l'entreprise exécutante. Ces modifications ont conduit à la décision d'apposer des photos de la déconstruction à certains endroits de la balustrade. Ces deux facteurs ont eu une influence décisive sur l'aspect final de la balustrade.

Les pierres naturelles de l'escalier devaient être enlevées en vue d'un réemploi. En raison de la présence d'amiante dans le bâtiment, le test de démontage n'a pu être effectué qu'après l'assainissement du bâtiment. Il s'est avéré que les plaques étaient collées, ce qui ne permettait pas un démontage sans dommage. Les panneaux n'ont donc pas pu être réutilisés.



Extrait de l'étude de faisabilité par le bureau d'architecture Jean-Marie Wirtz (après Schmets Architectes) en 2018.



PASSERELLE

Passerelle existante partiellement conservée comme nouvel accès et extension de la cafétéria du bloc 1000.

*Extrait de l'étude de faisabilité
par le bureau d'architecture
Jean-Marie Wirtz (après
Schmets Architectes) en 2018.*

Les portes extérieures prévues pour l'atelier ont été légèrement endommagées lors du démontage. De plus, il s'est avéré qu'elles ne pouvaient plus être réglées. Au moment de la planification, nous étions conscients qu'elles ne répondraient plus aux exigences de la législation énergétique actuelle, mais cela pouvait être accepté pour l'utilisation prévue. Ces trois facteurs regroupés ont fait qu'une réutilisation n'était plus jugée raisonnable. Aussi, deux nouvelles portes doubles ont donc été installées.

Malgré ce type d'inconnues, le cahier des charges devait définir précisément quels matériaux devaient être réutilisés, de quelle manière et en quelle quantité. Pour couvrir toutes les éventualités, des positions d'alternatives ont été prévues, ne devant entrer en application que si la position principale n'était pas réalisable.

Pour la construction métallique, par exemple, le cahier des charges prévoyait des positions séparées pour chaque étape de travail et séparait strictement les travaux de la livraison des matériaux. Les positions pour la construction de la pergola prévoyaient

la livraison des matériaux par le maître d'ouvrage, les travaux en régie pour les modifications et les traitements nécessaires, les pots de peinture, les nouveaux panneaux de tête, etc. Lors de l'élaboration du projet d'exécution et des cahiers des charges, l'ingénieur a estimé les quantités nécessaires, ce qui a permis de disposer d'un budget fiable.

La préparation des plans d'autorisation a constitué un autre défi. Il est essentiel que toutes les informations nécessaires y figurent, tout en laissant la possibilité de procéder à des adaptations sur le chantier. Une description un peu plus générale a été acceptée par le service d'urbanisme de la ville de Luxembourg, à la suite de quoi la bourgmestre a délivré le permis de construire.



Interview

Le sujet de la construction avec des matériaux de réemploi était-il nouveau pour eux ?

Depuis quelques années, notre attention se porte sur une architecture plus raisonnée et plus respectueuse de notre environnement avec notamment le réemploi de certains matériaux, bien que ce ne soit pas un sujet prédominant. Aussi, ces actions étaient réalisées de manière très limitée et non systématique, en réemployant des matériaux uniquement pour une même fonction. Ce projet a donc été l'occasion de se challenger nous-même en recherchant des solutions de réemploi des matériaux présents sur site et en faisant preuve d'un peu d'imagination, afin de leur donner une seconde vie et une nouvelle fonctionnalité. Dans le cas présent, pour la majorité des matériaux réemployés, il s'agit de solutions collégiales étant donné que chaque intervenant sur ce dossier a amené sa pierre à l'édifice.

Depuis cette expérience, nous nous efforçons d'introduire ce principe de réemploi maximal dans nos projets, entre autres, ceux de rénovation.

Le projet a-t-il évolué selon vos attentes ?

Au départ de l'étude du projet, nous n'avions pas d'attentes claires définies, si ce n'est l'idée générale des aménagements projetés. Au fil des études et de l'exécution, nous avons été confrontés à diverses contraintes liées au réemploi de matériaux, comme par exemple les difficultés de mise en œuvre dans leurs nouvelles fonctions, les matériaux s'avérant finalement irrécupérables, les contraintes normatives, etc. Le projet a donc sans cesse évolué au fil de l'avancement des études et de l'exécution, ce qui a également permis de lui donner une vie à part entière. De ce fait, il a dépassé nos attentes et nous a apporté une expérience non négligeable sur divers aspects de la construction et du réemploi. Enfin, il nous a permis de revenir à une phase de conception parfois peu présente dans notre quotidien.

Existe-t-il un point que vous aborderiez différemment dans un prochain projet ?

Chaque projet apporte son lot d'expériences et permet de nous faire évoluer au quotidien dans notre métier, c'est pourquoi il est difficile de ne parler que d'un seul point. Nous soulignerions plutôt la manière dont nous abordons nos dossiers de manière générale, en y intégrant dès le départ cet aspect de réemploi maximal sans se limiter sur les différentes possibilités, et en intégrant toutes les parties participantes au projet.

Enfin, bien cela puisse sembler utopique, nous pensons qu'il est essentiel de créer une sorte de mouvement collectif où chacun s'implique, que ce soit le concepteur ou l'utilisateur final.

Le béton à agrégats recyclés

Après achèvement de la déconstruction sélective, les murs en béton et en briques rouges sont démolis à la machine. Une fois séparés des armatures en acier, les débris de béton sont collectés et broyés afin d'être utilisés comme agrégats dans le béton recyclé. Les briques rouges sont broyées et utilisées comme matériau de remplissage pour les joints de béton.

La production et la mise en œuvre du béton à base d'agrégats recyclés sont suivies par le laboratoire de l'Administration des ponts et chaussées. Il réalise un essai de longue durée avec le but d'étudier le comportement de ce type de béton lors de son exposition aux intempéries.





Démolition et transport
Entrapaulus construction

Mise en œuvre
Trolux, Béton's Concept

Béton à agrégats recyclés
Bétons Feidt

Suivi et conseil
**Laboratoire de
l'Administration des ponts et
chaussées**

Conception
Schmets Architectes

Planification et supervision
Daedalus Engineering

Construire avec des matériaux de réemploi

Le chantier s'avère moins spectaculaire une fois que le matériau est récupéré, que ses caractéristiques techniques sont parfaitement connues et que le plan d'exécution est établi sur la base de ces informations. Il a été possible de trouver des solutions aux quelques défis qui subsistaient. Par exemple, la sous-structure d'origine pour les dalles de plafond n'était plus disponible. Grâce à leurs dimensions normalisées, les éléments ont pu être réutilisés sans trop de problèmes, même si le système de fixation choisi a été optimisé pour un autre produit.

Souvent, il n'y a d'ailleurs pas de différence entre la mise en œuvre de matériel neuf et celle de matériel de seconde main. Les artisans spécialisés connaissent bien les propriétés des matériaux avec lesquels ils travaillent et n'ont pas besoin d'instructions techniques détaillées. Ce sont plutôt la maîtrise d'œuvre et les bureaux de contrôle qui se réfèrent aux fiches techniques lorsqu'ils vérifient que les travaux ont été réalisés selon les règles de l'art.

Dans le cadre du projet au Limpertsberg, il s'est néanmoins avéré difficile de trouver des entreprises prêtes à utiliser les matériaux déconstruits. La thématique du réemploi est encore peu connue. Aussi, de nombreuses entreprises ont hésité à s'engager dans ce projet pilote aux objectifs ambitieux. Il faut également tenir compte du fait que le projet a été exécuté dans le contexte de la crise

sanitaire. Bien que l'approvisionnement en matériaux de construction dans le cadre de ce projet n'ait pas posé de problème, les entreprises ont préféré les projets plus traditionnels avec des déroulements connus. À un certain moment, il a même semblé que le garde-corps du nouveau parvis ne pourrait pas être fabriqué à partir des éléments de remplissage de la façade, car aucune entreprise n'était prête à effectuer les travaux.

Cependant, une fois la commande passée, les entreprises étaient toutes, sans exception, prêtes à trouver des solutions sur mesure. Il s'agissait souvent de petites adaptations, comme par exemple la nouvelle disposition en angle des deux éléments de comptoir de bibliothèque, initialement agencés en ligne. Certains éléments, comme les nouveaux garde-corps, nécessitent un agrément technique. Comme il ne s'agit pas d'éléments normalisés et certifiés, l'entreprise a dû prouver la stabilité de la construction à l'aide de calculs détaillés. Ceux-ci ont été contrôlés par le bureau d'ingénieur et le bureau de contrôle avant que l'autorisation finale ne soit accordée pour l'utilisation dans une école secondaire.

Dans certains cas, la réutilisation de matériaux donne lieu à des solutions extravagantes. La pergola en est un bon exemple. Si la structure en acier est intéressante, les voiles d'ombrage ont constitué un véritable défi.





Bien qu'il s'agisse d'une construction nouvelle, le montage sur la structure récupérée a nécessité la mise au point d'un système de fixation innovant. Sans le réemploi des poutres en acier, il aurait été possible d'installer une ou plusieurs voiles d'ombrage standard. Dans ce cas, le nouveau développement n'aurait pas été nécessaire.

Comme la plupart des matériaux n'ont pas changé de propriétaire, les entreprises ne devaient garantir que la qualité de leur propre travail. L'État, en tant que propriétaire, prenait en charge les risques liés aux défaillances potentielles des matériaux. Cela a permis d'éviter de nombreuses discussions sur chantier. Actuellement, le réemploi de certains équipements, notamment des installations techniques, est rare, car les responsabilités des différents intervenants ne sont pas clairement définies.

Cependant, en raison de l'évaluation minutieuse de la qualité des matériaux lors de l'établissement de l'inventaire, le risque lié à l'équipement ou au matériel récupéré est généralement très faible. De toute manière, une évaluation critique a été effectuée avant chaque mise en œuvre pour déterminer si un réemploi était judicieux ou s'il fallait quand même opter pour l'utilisation de nouveaux matériaux.

Comme nous l'avons mentionné plus haut, les règles de sécurité applicables à un établissement scolaire devaient être respectées. À cette fin, les différentes constructions ont fait l'objet d'une évaluation et d'une réception par un bureau de contrôle, et finalement par le Service national de la sécurité dans la fonction publique.

Une partie non négligeable du matériel démonté a pu être réutilisée sur place, malgré ces contrôles parfois restrictifs et les difficultés rencontrées.



Interview

Trouvez-vous la demande de travailler avec du matériel existant étrange ?

Non, l'exigence de travailler avec le matériel existant n'est pas étrange du tout. Elle est même positive. En fait, il s'agit d'une pratique de plus en plus courante dans de nombreux domaines tels que l'architecture, le design ou la construction. Travailler avec des matériaux existants permet d'économiser des ressources et de minimiser l'impact sur l'environnement. Cette pratique peut aussi apporter une dimension unique et authentique au projet en utilisant des éléments qui ont une histoire et une patine.

Plutôt que de les jeter, ils font l'objet d'une on a une nouvelle utilisation.

Le résultat des projets vous a-t-il étonné ?

J'ai été agréablement surpris par les résultats des deux projets. L'aile 3000, dont la structure massive a été conservée, a été intelligemment transformée en atelier pour les services techniques et répond ainsi à un véritable besoin de l'école. La réutilisation de la dalle du sous-sol comme terrasse ensoleillée complète de manière tout à fait attrayante le concept global.

En ce qui concerne l'aile 6000, j'ai été vraiment surpris de voir que l'on a réussi à la transformer en une nouvelle bibliothèque étonnante. Je n'aurais jamais imaginé que cet ancien bâtiment modulaire provisoire puisse être transformé de manière aussi remarquable et agréable. L'attention portée aux détails et le soin apporté à la transformation sont vraiment louables.

Comment avez-vous vécu la planification détaillée, le chantier et les travaux de construction ?

Pour ce projet de construction, nous n'avons pas travaillé comme habituellement. Plutôt que de jeter des matériaux, nous avons essayé de les réutiliser et de les transformer. Au cours des différentes phases du projet, nous avons examiné attentivement chaque matériau afin de voir comment et où nous pouvions l'utiliser efficacement pour le projet. Cette approche est conforme aux principes de l'économie circulaire, qui vise à minimiser les déchets et à utiliser les ressources existantes.

Pour mettre en œuvre cette approche, nous avons beaucoup travaillé sur le terrain. Nous avons évalué l'état et le potentiel des différents matériaux et déterminé la meilleure façon de les intégrer dans le projet. Ce faisant, nous avons veillé à ce qu'ils répondent aux normes de qualité et de sécurité nécessaires. En fin de compte, je me suis plus impliqué que d'habitude dans le processus de construction.

**Administration
des Bâtiments publics,
André Monien,
ingénieur-technicien**

Le bois retravaillé (récupération de palettes) et le canal préfabriqué

Les éléments détachés du canal en béton démonté sont récupérés et réutilisés comme sièges. Les assises en palettes de bois sont traitées de manière à résister à l'action des éléments.

Deux méthodes de traitement différentes sont testées : le passage à la flamme suivi de l'application d'une couche de protection et la coloration sur une couche de fond.



Déconstruction
Entrapaulus construction

Sièges en bois, élaboration
du système, fabrication et
montage

BENU FORM

Conception
Schmets Architectes

Coordination, anticipation, flexibilité et surtout collaboration

Lors de la planification, la maîtrise d'œuvre doit faire preuve de flexibilité dès le début. Comme pour les rénovations ou les transformations, le concepteur travaille avec du matériel existant. Sauf que dans le cas du réemploi, il est livré sur le chantier en tant que matériau de seconde main, s'il n'y est pas déjà présent.

Le projet naît de la confrontation avec l'existant. La double hauteur de la bibliothèque a une utilité pratique, car ce volume sert de zone tampon pour la fumée en cas d'incendie et de stockage pour l'air chaud en cas de risque de surchauffe. En

même temps, l'ouverture vers le haut crée un espace unique. Ce dernier doit son existence au fait que le volume était déjà construit et disponible.

La décision de proposer aux élèves un espace particulier dans la cour de récréation, à l'abri du soleil, anime la mise en place de la pergola. L'idée de marquer le volume de la structure d'origine à l'aide de la structure métallique s'est imposée comme une évidence. Il est probable que sans connaître la nature des matériaux démontés et la volonté de les réutiliser sur place, une autre solution, plus banale, aurait été choisie.



Vue des ombres solaires par technique de voiles.

Lors de la planification, il existait un nombre relativement important d'inconnues. Il était donc d'autant plus important d'anticiper dans la mesure du possible. Ainsi, les surprises ont pu être réduites au minimum. L'équipe de la direction des travaux a été adaptée en fonction des exigences de plus en plus concrètes du projet. Le mandat de l'architecte a été élargi. Le cahier des charges a été rédigé avec le plus grand soin. La surveillance des travaux a été renforcée. De cette manière, il a été possible d'éviter de devoir « piloter à vue » le chantier à un moment donné. Les procédures sur le

chantier étaient claires, mais suffisamment souples pour que les situations imprévues puissent être gérées sans perturber le déroulement du chantier.

La direction des travaux n'était pas seulement responsable de la coordination des entreprises sur le chantier. Elle coordonnait également une partie du flux de matériaux. Une tâche qui, dans la plupart des cas, est assurée par les entreprises elles-mêmes. Dans le cas d'un chantier de réemploi, ces deux parties doivent collaborer sur ce point. Une question importante à laquelle plusieurs intervenants doivent





répondre simultanément est par exemple :
« Où stocker quoi, quand et comment ? »

En fin de compte, ce chantier n'a pu être mené à bien que grâce à la coopération et à la confiance mutuelle. La bonne collaboration entre les bureaux de la maîtrise d'œuvre, mais aussi avec les entreprises et le maître d'ouvrage, a été encore plus importante que d'habitude. Le processus de construction implique inévitablement des contrôles, qui sont importants et nécessaires. Il est toutefois impossible de tout contrôler. Le coût d'un contrôle sans faille aurait été beaucoup trop élevé et certainement pas en rapport avec les moyens mis en œuvre.

Le principe de l'économie circulaire consiste à conserver la matière première pour la réutiliser. Le principe d'un chantier de réemploi doit être le maintien de la confiance mutuelle dans le but de la multiplication. La valeur ajoutée et l'originalité du projet naissent de la collaboration - et souvent de la controverse - entre les différentes parties prenantes et de leur volonté de s'engager au-delà de la simple exécution du contrat. En effet, ce n'est que si la construction remplit entièrement sa fonction et est de qualité qu'elle sera conservée et ne sera pas bientôt transformée ou démolie.



Interview

*Quelle a été votre première réaction au fait que le projet utilise des matériaux de réemploi ?
Le résultat vous surprend-il ?*

Ma première réaction fut un mélange d'enthousiasme et de curiosité envers la réutilisation des anciens matériaux de l'aile 3000 datant des années 70. Cette approche novatrice démontre l'engagement des acteurs publics pour l'économie circulaire et pour la préservation des ressources. Le résultat m'a agréablement surpris, car l'équipe d'architectes et d'ingénieurs a réussi à créer un design contemporain, tout en incorporant les matériaux de construction typiques des années 70.

*Avez-vous eu des craintes quant à la durabilité des matériaux de réemploi ?
Si oui, persistent-elles ?*

S'il y avait des craintes concernant la durabilité des matériaux utilisés, elles ont été largement dissipées lorsque j'ai vu le projet achevé. Les matériaux ont été soigneusement sélectionnés et traités pour assurer leur durabilité à long terme, ce qui est rassurant pour la pérennité de l'ouvrage.

Quel est votre élément favori du projet ?

Je parlerais plutôt d'aspect favori. J'adore à quel point nos élèves se sont appropriés l'espace et y séjournent durant leur temps libre. Les jeunes y cultivent aussi, avec dévouement, un grand potager d'école.

De plus, la réalisation d'une œuvre d'art exceptionnelle par l'une des classes, avec un dessin conçu sur d'anciennes plaques métalliques réutilisées apposées sur la façade de l'aile 6000, démontre la créativité de nos jeunes tout en incarnant l'idée de donner une nouvelle vie à des objets anciens avec une touche esthétiquement attrayante.

La tôle métallique

Une partie des tôles métalliques provenant des sols de l'aile 3000 est récupérée pour être réutilisée comme revêtement décoratif de la façade de l'aile 6000. La peinture murale permet de transformer la façade sans avoir à refaire le crépi.

Après leur retrait, les tôles sont nettoyées et reçoivent une couche de peinture de fond. Dans le cadre des cours d'éducation artistique, des élèves du lycée ont conçu la fresque et l'ont finalement transposée sur le support en tôles réutilisées. Une fois mises en couleur, ces dernières sont montées sur les supports en métal prévus à cet effet sur la façade de l'aile 6000.



Déconstruction
Entrapaulus construction

Sous-construction
métallique
C.M. Attert

Dimensionnement statique
Daedalus Engineering

Conception
Schmets Architectes

Fonds de peinture
Peinture Feltus Dave

Création et réalisation
de la fresque murale
**Lycée Michel Lucius -
International School**

De la déconstruction

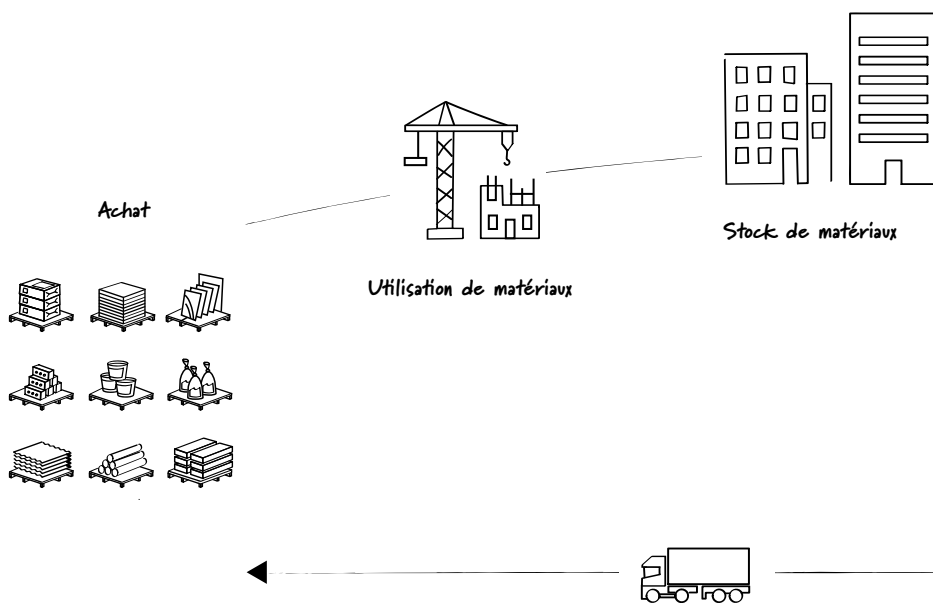
au réemploi

L'économie circulaire appliquée, de la déconstruction au réemploi

On entend par « déconstruction », ainsi que par démontage, le fait d'extraire de manière sélective et soignée des matériaux d'une construction. Ces méthodes offrent la possibilité d'obtenir des matériaux en bon état permettant ainsi leur réemploi. La démolition, à l'inverse, est un procédé destructif, sans soins particuliers pour les matériaux et composants de l'ouvrage, limitant de fait, voire rendant impossible, leur réemploi futur¹.

Même si la démolition est la technique habituelle pour supprimer un bâtiment, la déconstruction gagne de plus en plus en importance. Les matériaux ainsi récupérés et leur réemploi dans de nouvelles constructions peuvent fournir des réponses à des défis tels que la pénurie de ressources en matières premières, respectivement

les difficultés d'approvisionnement en éléments constructifs sur le marché mondial. Construire avec des matériaux de seconde main est également une des pistes désignées par le gouvernement luxembourgeois² pour réduire les gaz à effet de serre. Finalement, dans le cadre de l'économie circulaire, le réemploi de



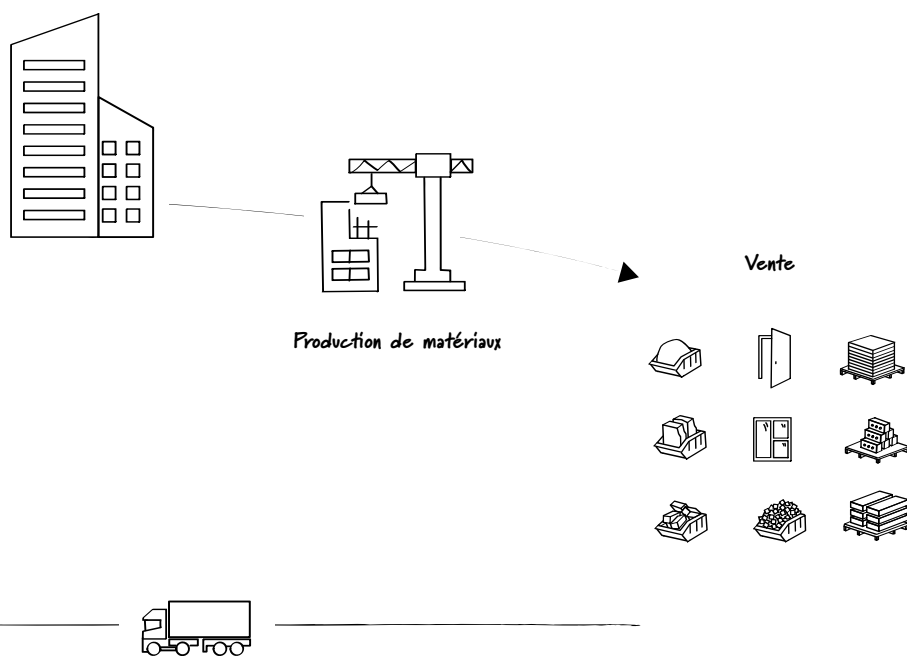
matériaux de construction est un moyen d'atteindre les objectifs de développement durable (ODD 12 et 13) tels qu'adoptés en 2015 par les Nations Unies.

Les enjeux sont donc considérables. L'Union européenne impose un taux de récupération de 70% en masse pour les chantiers de construction et de démolition depuis 2020³. La stratégie « Null Offfall Lëtzebuerg » vise à réduire à zéro le pourcentage des déchets de construction et de déconstruction, de mise en décharge et donc une récupération à 100% que ce soit par réemploi, recyclage ou bien valorisation. Pour favoriser les pratiques de réemploi et assurer l'alimentation de la filière des matériaux de seconde main, l'enjeu clef est l'extraction des matériaux présentant un potentiel de réemploi des bâtiments voués à disparaître. Une attention particulière est désormais portée sur les pratiques des projets et chantiers de déconstruction.

Dans les faits, la systématique d'un projet de déconstruction ne diffère guère d'un projet de construction. La planification se fait sur base d'états des lieux, appelés inventaires des matériaux, et suit les étapes d'avant-

projet à projet d'exécution en passant par un descriptif détaillé pour la mise en concurrence éventuelle. La planification soignée de la déconstruction est un élément important pour garantir la réussite du chantier. Uniquement si les données de base sont clairement définies, les entreprises exécutantes peuvent réaliser un travail de démontage sélectif de qualité. Dès lors, ils peuvent récupérer les matériaux et éléments désignés pour leur potentiel de réemploi en bon état, afin que ces derniers puissent être préparés en vue d'une remise en œuvre.

La grande différence entre un projet de construction et un projet de déconstruction réside dans le flux des matériaux. D'un côté, les éléments et matières sont produits et livrés pour être intégrés dans la nouvelle construction et les entreprises repartent les mains vides du chantier. De l'autre côté, le bâtiment en voie de déconstruction sert de « mine » pour en extraire des matériaux, afin de les expédier vers de nouveaux chantiers. Après la réalisation des travaux de démontage soigné, les entreprises repartent potentiellement avec une multitude de matériaux et éléments constructifs.



Circulation de matériaux, et si nécessaire, entrepôt de matériaux

Graphique montrant le flux des matériaux de construction.

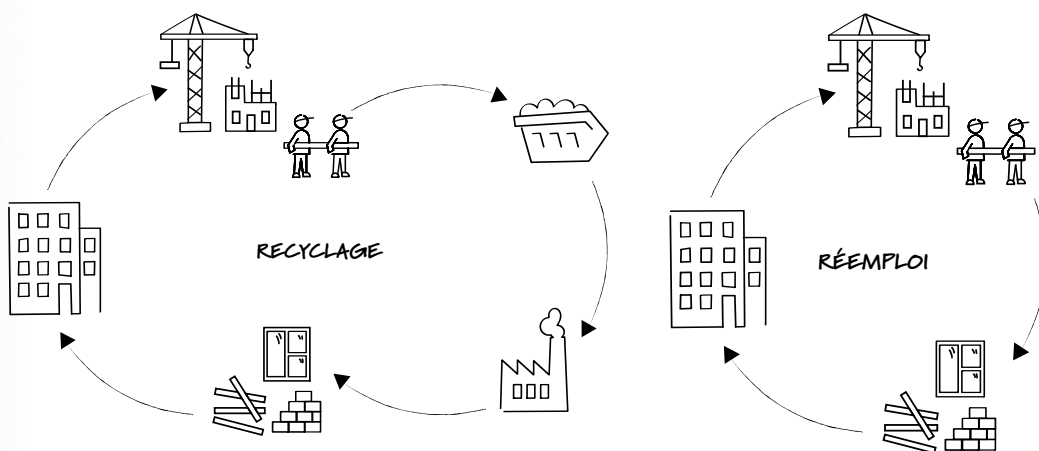
Le travail de démontage soigné sur chantier est exigeant. Il ne faut pas endommager les futurs éléments constructifs mais les sortir en bonne condition. Afin de réussir, le travailleur doit avoir la connaissance d'une multitude de techniques de mise en œuvre et le savoir-faire pour les déconstruire. Le métier de « déconstructeur » doit encore se développer, de la même manière que les bonnes pratiques des nombreux projets pilotes et les études de recherche doivent être intégrées dans les pratiques courantes.

Tandis que les filières d'approvisionnement des chantiers en matériaux et produits neufs existent et sont rôdées depuis des décennies, la filière d'écoulement des produits de récupération l'est beaucoup moins. Bien que les filières de recyclage et d'élimination soient disponibles, le marché des matériaux de réemploi est émergent et donc les voies ne sont pas encore tracées. S'y ajoute le fait que le nombre de repreneurs pour ce type de matériaux est actuellement encore limité. Il incombe souvent à l'entreprise qui déconstruit de chercher les meilleures voies de reprise pour les éléments de récupération dans le but de se conformer

au cahier des charges. Les entreprises de construction, voire de déconstruction, ne sont souvent pas équipées, ni ne disposent des qualifications nécessaires pour commercialiser des matériaux ou éléments constructifs.

Au Luxembourg, il manque des intermédiaires, sous forme d'opérateurs spécialisés, capables de reprendre les matériaux pour les revendre. Récemment, des plateformes digitales permettant d'annoncer la disponibilité de matériaux commencent à voir le jour. Néanmoins, le propriétaire, ou l'entreprise reprenant le matériel qu'elle déconstruit, reste responsable de conclure les contrats de vente avec les potentiels intéressés.

Actuellement, en Europe du Nord-Ouest, uniquement 1% des matériaux de construction sont des matériaux de réemploi, même si techniquement beaucoup plus de matériaux pourraient être récupérés et réutilisés⁴. Leur mise en œuvre semble encore causer des problèmes, et de nombreux maîtres d'ouvrage hésitent à faire confiance à des matériaux de réemploi.



Il est impératif que les matériaux de réemploi deviennent concurrentiels avec les nouveaux matériaux. Le prix, tout en restant un critère important, n'est généralement pas décisif, comme il est similaire dans les deux cas. Par contre, le manque de standardisation, de descriptifs spécifiques et de garanties, fait que le matériel de première main est souvent préféré. Le secteur de la construction est complexe et largement régulé, et il est souvent difficile pour les acteurs de démontrer que le matériel de réemploi possède les caractéristiques nécessaires et équivalentes aux certificats demandés.

Il est indispensable de produire des fiches techniques et des instructions de mise en œuvre détaillées pour les futurs matériaux de construction de seconde main. Leur qualité et leur rigueur doivent permettre à l'acheteur de motiver sa décision d'achat en toute connaissance de cause et, par la suite, de les employer dans de bonnes conditions, notamment vis-à-vis des obligations légales en termes de contrôle technique et d'assurance.

REUSE
TOOLKIT

Carreau en terre cuite non émaillé

Description du matériau

Les carreaux en terre cuite non émaillés sont obtenus par cuisson d'argiles (ou glaises) et de sables préalablement mélangés et dégaîrés ; façonnés par étirage (carreaux étirés), moulés ou préformés ; séchés et finalement cuits à une température de 900 à 1050°C pendant 12 à 48h. Il s'agit d'un matériau céramique de fabrication artisanale ou industrielle dont les propriétés dépendent essentiellement de la composition du mélange, de la température de cuisson et de la technique déployée pour la fabrication.

Les carreaux en terre cuite non émaillés se caractérisent par une résistance élevée, une résistance à l'usure et au ponçage, ainsi que par une bonne

résistance thermique (résistance et conductivité à la chaleur), même pour les sols chauffants.

À l'état brut, les carreaux en terre cuite de réemploi les plus courants sont généralement poreux, ce qui se traduit par une absorption d'eau importante, une faible résistance au gel, une grande sensibilité aux tâches et de faibles performances mécaniques pour les modèles gravés formés et peu épais. Ils sont généralement réservés à un usage intérieur et nécessitent la plupart du temps une finition de protection et un entretien régulier. Un usage en extérieur est possible dans certains cas.

Néanmoins, la modernisation des techniques de production a permis l'émergence de carreaux en terre cuite à usage extérieur

offrant une résistance suffisante au gel. Les carreaux sont cependant peu présents sur le marché du réemploi.

Les carreaux visés dans cette fiche sont non émaillés, gravés et sont à distinguer des stalles (dimension et épaisseur plus importantes) et des pavés en terre cuite (format parallélogramme) qui peuvent également être utilisés en application extérieure.

Abondamment produits en Europe, et particulièrement dans le sud, depuis le 19^{ème} siècle, ils se retrouvent de façon subtile sur le marché du réemploi. On retrouve fréquemment certains modèles sous l'appellation « tonnetet » ou « terracotta ». Il ne faut pas les confondre avec leurs homologues en grès dit à la en grès cotta.









La Commission européenne prévoit de faciliter la commercialisation des produits réutilisés en établissant un cadre flexible pour la déclaration des performances de ces produits en fonction de leur utilisation future, par le biais du règlement sur les produits de construction (RPC)⁶. Le but est de fournir suffisamment d'informations pour faciliter la réutilisation des produits, sans pour autant surcharger les entreprises qui mettent en œuvre ces pratiques.

Afin d'être vraiment durables, les marchés des matériaux de réemploi doivent rester locaux ou régionaux. C'est uniquement avec ce prérequis que la déconstruction et son pendant, le réemploi dans la construction, peuvent bénéficier à l'économie locale et permettre une plus grande indépendance des fluctuations sur les marchés mondiaux de ressources premières et de matériaux de construction.

1. *Définition de la déconstruction dans Matériaux de construction : le réemploi, mode d'emploi !* par Elisabeth Gelot et Morgan Moinet paru dans Complément Technique N° 71 de Novembre / Décembre 2019.

2. *Feuille de Route Construction Bas Carbone – Luxembourg présentée conjointement le 14/06/2023 par le ministère de l'Energie et de l'Aménagement du territoire et le ministère de l'Environnement, du Climat et du Développement durable.*

3. *Directive 2008/98/CE et sa Directive modificative (UE) 2018/851.*

4. *Projet Interreg Nord-West Europe FCRBE.*

5. https://opalis.eu/sites/default/files/2022-01/4.31_fr_-_correau_en_terre_cuite_non_emaille_v01_0_0.pdf

6. *Transition pathway for construction, Union européenne 2023.*

Quel est le rôle de l'Etat en tant que maître d'ouvrage et spécifiquement dans un projet d'économie circulaire ?

En tant que plus grand maître d'ouvrage public du pays, l'État et notamment l'Administration des bâtiments publics, dispose d'une position particulière afin d'influencer les évolutions du marché de la construction en général mais également des moyens nécessaires afin de promouvoir des concepts innovateurs.

Dans le domaine spécifique de l'économie circulaire, elle peut privilégier l'achat de produits qui sont efficaces en termes de ressources, recyclables et fabriqués à partir de matériaux recyclés ou renouvelables. Cette démarche permet de contribuer à la création d'une demande de marché croissante pour les produits circulaires d'une part, tout en encourageant les entreprises à adopter des procédés et pratiques circulaires d'autre part.

Dans le cadre de leurs projets de construction, les pouvoirs publics peuvent faciliter la coopération et la coordination entre les différents acteurs impliqués dans des projets d'économie circulaire. Il s'agit plus particulièrement de réunir les entreprises, les centres de recherches et la maîtrise d'œuvre dans un esprit de partage de compétences, de bonnes pratiques et de ressources.

Globalement, l'État joue un rôle déterminant dans la création d'un environnement propice à la transition vers une économie circulaire. Son implication active en tant que promoteur de projets publics favorise la mise en œuvre des principes de l'économie circulaire, encourage l'innovation et soutient la croissance d'une économie durable et résiliente.

**Administration des bâtiments publics,
Thierry Hirtz,
architecte, chef de division
de la gestion du patrimoine**

Interview

Comment l'image et le rôle de la maîtrise d'œuvre ont-ils évolué au cours des dernières années ?

On constate une prise de conscience croissante des concepteurs pour l'importance d'une approche durable dans la planification afin de faire face aux problèmes environnementaux. On attend de la maîtrise d'œuvre que les objectifs définis par le maître d'ouvrage, en particulier les principes d'une construction durable, soient intégrés dans leurs projets en tenant compte de facteurs tels que l'efficacité énergétique, l'utilisation de matériaux renouvelables, la prévention des déchets et l'impact global des bâtiments sur l'environnement.

En vue de pouvoir répondre aux exigences croissantes et aux défis complexes des projets, une planification intégrée des différentes disciplines s'avère indispensable. Ainsi, le domaine de l'architecture et de l'ingénierie s'est emparé des progrès technologiques et a modifié sa méthodologie de travail. Le Building Information Modeling (BIM) permet de réaliser des modélisations numériques de bâtiments tout en créant des bases de données structurées. De plus, il permet l'optimisation du processus de gestion de projet en misant sur le travail d'équipe collaboratif et interdisciplinaire des acteurs impliqués et le partage de leurs données respectives.

L'intégration de la technologie, des aspects de durabilité et des approches collaboratives façonnera l'avenir de la construction. Les concepteurs joueront un rôle indispensable dans la création d'un environnement bâti durable, résistant et inclusif, répondant aux besoins et aux défis évolutifs de la société.

Un exemple de déconstruction

LA DÉCONSTRUCTION DE L'ANNEXE DU CHÂTEAU

1950
Acquisition du château par la ville d'Esch-sur-Alzette

1958
Fondation de l'association "Les amis du Kannerschlaas" ("Die Freunde des Kinderschlaas")

1959
Décision de la ville d'Esch-sur-Alzette, de construire un bâtiment annexe avec un logement pour les jeunes de 16 à 21 ans et l'appartement de service du directeur de l'orphelinat

1964
Construction de l'annexe



POURQUOI LE CHANTIER DURE-T-IL SI LONGTEMPS ?

Il est vrai qu'une démolition respectueuse des matériaux de l'annexe prend plus de temps qu'une démolition rapide avec une boule de démolition. **Lors de la déconstruction, plusieurs étapes successives sont réalisées** afin de récupérer autant de matériaux que possible et d'améliorer le réemploi et le recyclage.

En plus, la **planification** d'une déconstruction prend plus de temps, car il faut dresser un inventaire des matériaux et planifier les différentes étapes plus en détail. Les panneaux suivants expliquent plus en détail comment se déroule une déconstruction et les différences avec une démolition classique.

Pour ce projet, l'ensemble de la déconstruction devait être achevée à l'été 2020.

L'annexe du château de Sanem a vécu. Elle a été construite au début des années 60 dans le style de l'époque par l'architecte de la ville d'Esch-sur-Alzette, ancienne propriétaire du château. Le "Kannerschlaas", comme on appelle l'orphelinat situé dans le château de Sanem, était devenu trop petit et "l'annexe" permettait de constituer un quatrième groupe de résidences. En même temps, elle était suffisamment de place pour que le directeur puisse vivre sur place.

Au début des années 1980, l'État luxembourgeois a repris le château et, avec lui, le bâtiment annexe. L'orphelinat a été progressivement reformé et finalement déconstruit. Après le départ définitif des enfants, le bâtiment annexe a accueilli des demandeurs d'asile de 1998 à 2017.

L'intention de rétablir l'orientation originale du château par rapport au parc conduit à déconstruire le bâtiment après presque 60 ans d'exploitation. **A sa place, émergera un espace ouvert** et le chemin sera restauré dans sa forme originale.

Dans la chronologie, vous pouvez voir l'évolution de l'histoire du bâtiment ainsi que des données importantes sur le développement de l'économie circulaire.

www.kannerschlaas.lu/fondation/4.html

L'annexe du Château de Sanem

L'annexe du Château de Sanem avait été construite au début des années 60 dans le style de l'époque par l'architecte de la ville d'Esch-sur-Alzette, ancienne propriétaire du château. Au début des années 1980, l'État luxembourgeois a repris le château et son annexe.

L'intention de rétablir l'orientation originale du château par rapport au parc a conduit à déconstruire le bâtiment en 2019, après presque 60 ans d'exploitation.

Le projet visait à déconstruire le bâtiment avec soin et en ménageant les ressources, de manière à pouvoir recycler la plus grande quantité possible de matériaux. Avant la déconstruction, les différents types de matériaux du bâtiment ont été répertoriés, puis collectés séparément lors des opérations de démantèlement. La déconstruction sélective du bâtiment a permis un recyclage de qualité grâce à la séparation fine des matériaux.

Vu la situation exposée du chantier, l'Administration des bâtiments publics a profité de la clôture de chantier pour faire découvrir la thématique de l'économie circulaire et expliquer le déroulement d'un chantier de déconstruction aux visiteurs du parc public.

Comment la thématique de la déconstruction et du réemploi a-t-elle évolué depuis 2019 ?

Ce que nous constatons comme évolution depuis 2019, c'est qu'à présent tout le monde connaît le terme de déconstruction et en comprend le sens : travailler en séparant au mieux les différents éléments pour pouvoir optimiser le recyclage. Cette approche était déjà bien installée dans les habitudes des entreprises, puisque c'est pour elles la solution de limiter au maximum la quantité de déchets mélangés qui doit être mise en décharge à un prix élevé.

Les maîtres d'œuvre qui doivent préparer et gérer les projets de déconstruction l'ont aussi bien intégré : la qualité des inventaires préalables à la déconstruction s'est améliorée. Avoir un inventaire détaillé et exhaustif, c'est l'outil qui permet aux entreprises de remettre des offres concurrentielles, et c'est aussi le meilleur moyen de limiter les mauvaises surprises lors des travaux.

En revanche, le réemploi reste une notion plus qu'il ne devient une réalité. Bien que souhaitée par le législateur, cette démarche reste volontaire. Certains acteurs du secteur veulent se lancer, mais d'autres sont sceptiques. C'est là qu'il y a encore beaucoup à faire...

**Schroeder & Associés,
Service Ouvrages d'art,
Guillaume Dubois,
chef d'unité Travaux spéciaux**

L'Administration des bâtiments publics est le maître d'ouvrage du projet.



Quelles sont les principales nouveautés sur chantier depuis que vous avez supervisé la déconstruction de l'annexe du château de Sanem ?

Pour la partie que je connais bien, les études, on voit de nombreux outils se développer pour permettre de réaliser les inventaires le plus rapidement possible. Ce sont les outils digitaux qui semblent ouvrir le plus d'opportunités, et en particulier les outils de scan qui permettent d'avoir rapidement une image du bâtiment à déconstruire. Ça remplace les plans que l'on n'a généralement pas lorsqu'il s'agit de bâtiments qui ont 50 ou 60 ans. Il existe une grande panoplie de scanners (portables, sur chariot...) avec différents niveaux de détails et de précision. C'est en plein développement avec de nombreux projets de recherche dans les pays limitrophes ainsi qu'avec la participation de bureaux luxembourgeois sur ces projets. Les premières applications concrètes sont en train de se mettre en place et le développement va se poursuivre.

Du côté des entreprises, on constate qu'elles développent leurs réseaux de contacts de repreneurs potentiels. C'est ce qui leur permet de limiter ce qui est à mettre en recyclage ou en décharge, et ce sont ainsi des dépenses qui sont évitées. Pour les entreprises, la prochaine étape est probablement de mettre à disposition des équipes sur chantier, les outils digitaux qui permettront de gérer plus rapidement les flux de matériaux. En effet, disposer et pouvoir alimenter en temps réel une base de données des éléments potentiellement réemployables sur un projet de déconstruction, leur permettra de contacter les repreneurs potentiels et de se mettre d'accord sur une reprise des éléments sans pénaliser le déroulement du chantier.

Campus adapté

aux besoins

Un campus moderne qui rend son passé visible

Depuis la construction des différents bâtiments du lycée, les exigences ont évolué. Cela concerne aussi bien les règles à respecter que les besoins fonctionnels d'un lycée moderne.

Face à la demande de création d'une nouvelle bibliothèque de la part du Lycée Michel Lucius – International School, l'Administration des bâtiments publics a décidé de rénover l'aile 6000 et les espaces extérieurs et de reconstruire l'aile 3000.

Le long des ailes 4000 et 1000/2000, une nouvelle voie d'accès pour les pompiers est créée vers l'ancien bâtiment du séminaire. La façade de l'aile 4000 est dégagée des arbres. Cela permettra aux pompiers d'y accéder à l'échelle.

Des rampes adaptées aux personnes à mobilité réduite permettent d'accéder à la cour, à la terrasse et aux deux niveaux de l'aile 6000. Le nouveau dénivelé de la cour permet l'accès de plain-pied à la bibliothèque. L'adaptation des différents niveaux de la cour a été complexe, étant donné la différence de presque deux niveaux pleins entre l'aile 1000/2000 et la nouvelle bibliothèque.

Les exigences en matière de sécurité générale et de protection contre les incendies sont satisfaites dans la mesure du possible. Dans les deux ailes, les installations techniques seront mises à jour.

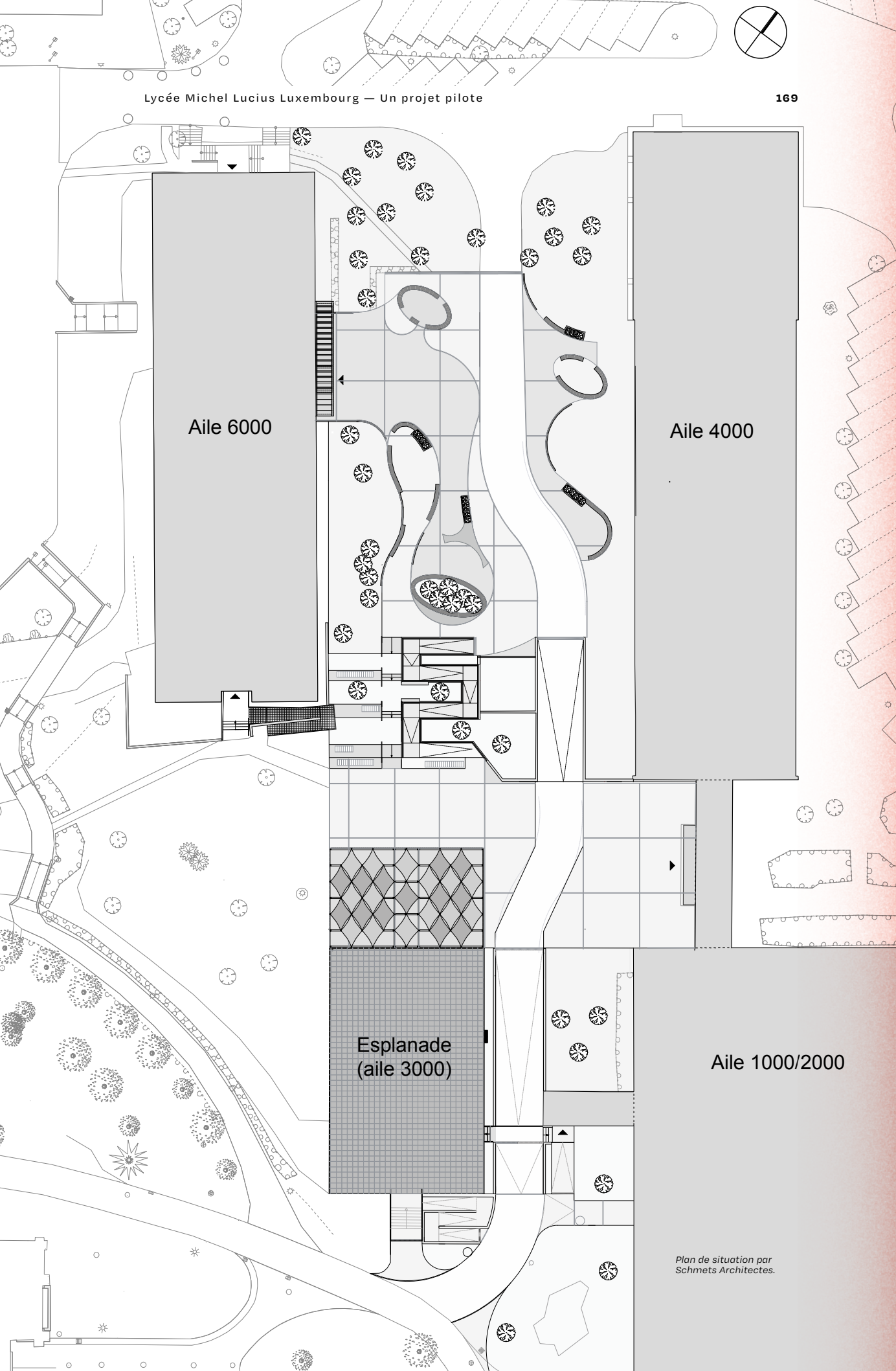
En 2020, les élèves passent de plus en plus de temps dans leur lycée et le besoin d'activités extrascolaires s'est renforcé. Le premier étage de l'aile 6000 abrite de nouveaux locaux qui répondent à ces besoins : le centre de rencontre pour les jeunes, le makerspace et le repair shop. La nouvelle bibliothèque, avec ses espaces généreux, sert de lieu de rencontre, d'oasis de repos et de lieu d'apprentissage.

En ce qui concerne les aménagements extérieurs, il convient de mentionner l'extension de 80 m² du jardin de l'école et l'introduction de verdure sous forme d'îlots verts aux formes organiques dans la cour centrale. La nouvelle pergola offre de l'ombre grâce aux voiles d'ombrage aux couleurs rouges-orangées et jaunes. La nouvelle terrasse - esplanade sur le toit de l'aile 3000 offre un autre genre d'espace. Elle est plus fermée et offre une vue plongeante sur le reste de la cour centrale. L'espace qui servait de parking avant les travaux est désormais un lieu de détente verdoyant et agréable.

Le réaménagement des ailes 6000 et 3000 et de leurs environs crée des espaces libres pour le développement futur de l'école.







Aile 6000

Aile 4000

Esplanade
(aile 3000)

Aile 1000/2000

Plan de situation par
Schmets Architectes.







Le programme de construction

Aile 6000

Bibliothèque au rez-de-chaussée

- Salle de lecture de 666,5 m², dont les zones ordinateurs, média, gradins et un espace détente
- Salle d'étude de 40 m² et 60 m²
- Préparation de 60 m²
- Archives de 60 m²
- Salle serveur de 20 m²

Jugendtreff et Creative hub au premier étage

- Jugendtreff, trois salles de 60 m²
- Jugendtreff, bureau orientation de 60 m²
- Kitchenette et espace repas pour élèves de 60 m²
- Makerspace de 60 m²
- Salle projet de 60 m²
- Production digitale de 60 m²
- Espaces de stockage de 59 m² et 59,5 m²

Ancienne aile 3000

- Atelier pour service technique de 103 m²
- Bureau service technique de 16 m²
- Surfaces techniques de 46,5 m²
- Stockage total de 112 m²
- Raccords vers l'aile 1000

Passerelle aile 1000

- Surface de 27,5 m² à disposition du lycée
- Sortie vers la terrasse et la cour centrale

Alentours

- Terrasse de 464 m²
- Pergola de 187 m²
- Emplacements couverts pour 68 vélos
- Cour centrale avec aménagements et bancs
- Jardin de l'école

Chiffres clés

Aile 6000

Surface nette

1 850 m²

Surface brute

2 100 m²

Volume brut

7 300 m³

Coût du projet

3 350 000 € TTC

Début des planifications

2019

Durée du chantier

10 mois

Mise en service

Mars 2021

Éléments gardés

Enveloppe extérieure, portes, second œuvre et parachèvement pour les parties non transformées, radiateurs

Matériaux réemployés

Plaques de faux plafond suspendu, luminaires, mobilier de la bibliothèque et scolaire, bois pour la construction de l'estrade, acier pour la construction de l'auvent, béton recyclé pour les adaptations de l'aménagement extérieur

Aile 3000

Volume brut déconstruit

8 810 m³

Volume brut gardé

1 885 m³

Surface extérieure

41,5 ares

Coût du projet

3 150 000 € TTC
dont assainissement 710 000 €
dont déconstruction 680 000 €
dont aménagement extérieur 960 000 €

Début des planifications

2018

Durée du chantier

27 mois

Mise en service

Fin 2021

Matériaux réemployés

Tôles métalliques, pavés, briques concassées, bois de palette, éléments en béton préfabriqué

Matériaux récupérés

Structure métallique, béton à agrégats recyclés, plaques de façades, tôles, asphalte, faux plafond, luminaires, tableau électrique, équipements sanitaires, meubles et divers objets meublants



Intervenants

Porteur de projet, conception et exécution

Maître d'ouvrage

Administration des bâtiments publics

Directeur

Jean Leyder (jusqu'en 2021), Luc Dhamen

Chef de projet, architecte

Sophie Maurer

Ingénieurs-techniciens

André Monien, Sergio Martins

Responsable du service jardinage

Christian Stoos

Édition brochure

Sophie Maurer, Isabelle Becker

Programme de construction

Lycée Michel Lucius - International School

Directrice

Pascale Petry

Directeur adjoint

Robert Goedert

Conception

Thématiques liées à la législation des déchets

Administration de l'environnement

Thématiques liées à la législation des marchés publics

Ministère de la Mobilité et des Travaux publics

Suivi du projet pilote

Ministère de l'Environnement, du Climat et du Développement durable

Conseil juridique

Arendt et Medernach SA

Conseil en climatisation, énergie et technologie

EBP Schweiz

Conseil concernant le centre de tri

Superdreckskscht

Conception et exécution

Architecte

Schmets Architectes SARL

Ingénieur en génie civil et aménagements extérieurs

Daedalus Engineering SARL

Ingénieur projet de la déconstruction

Daedalus Engineering SARL

Ingénieur conseil assainissement

ENECO Ingénieurs-conseils SA

Ingénieur en génie technique

BLS Energieplan SARL

Coordinateur de sécurité et santé, phases projet et chantier

SéQ Quality Safety Management SARL

Responsable du suivi de l'inventaire et de la traçabilité des matériaux

Luxembourg Institute of Science and Technology

Bureau de contrôle

Luxcontrol ASBL

Organisme agréé

Luxcontrol ASBL

Organisme agréé assainissement

Secolux ASBL

Courtier d'assurance

COO AlliA Insurance Brokers

Assistance technique

Beissel & Ruppert Engineering and Consulting SARL

Autorisations données par

Corps grand-ducal d'incendie et de secours, Inspection du Travail et des Mines, Ministère de l'Environnement, du Climat et du Développement durable, Service national de la sécurité dans la fonction publique, Ville de Luxembourg

Exécution

Conseil pour béton à agrégats recyclés

Laboratoire de l'Administration des ponts et chaussées

Assurance

Baloise assurance

Corps de métiers

Travaux de déconstruction et d'aménagements extérieurs

Entrapaulus construction SA

Travaux de gros œuvre

Entreprise Poeckes SARL

Travaux de ferrailage (béton aux agrégats recyclés)

Trolux GmbH

Travaux de bétonnage (béton aux agrégats recyclés)

BHG Bauunternehmen GmbH
Trolux GmbH, Béton's Concept SARL

Travaux de désamiantage

SAT Lux SARL, UTG – Umweltschutz Technik Graf GmbH

Travaux de démontage

Polygone SARL

Travaux de charpente métallique

CM-Attert SARL

Travaux de charpente métallique (Pergola)

Kerger Constructions SA

Travaux de charpente en bois

Prefalux SA, Efco-Forodia Exploitation SARL

Travaux de toiture

Jacobs & Sohn GmbH

Travaux d'étanchéité

Alliance des Artisans

Travaux de menuiserie métallique

Mebolux SARL

Travaux de menuiserie extérieure

Fenster Eck SARL, Mebolux SARL

Travaux de stores extérieurs volets

Technique Voile

Travaux d'installation électrique

Électricité Watry SARL

Travaux d'installation de chauffage

Leonard sœurs SARL

Travaux de plâtrerie

Apleona R&M Ausbau Luxembourg SARL

Travaux de serrurerie et ferronnerie

MSN Maintenance Soudure Nucléaire SARL

Travaux de sols souples

Revesol SARL

Travaux de menuiserie intérieure en bois

TX-Objekt SARL

Travaux de menuiserie en bois

Benu Village Esch ASBL

Travaux de peinture

Peinture Feltus Dave SARL

Travaux de nettoyage

Nettoservice SA

Travaux d'échafaudage

Rende Grüstbau SARL, Alliance échafaudages SARL

Travaux de signalisation

Sign Consulting SARL

Fourniture du béton aux agrégats recyclés

Bétons Feidt SA

Marché à zéro euro, reprise d'objets meublants de l'aile 3000

Benu Village Esch ASBL, Centre d'Initiative et de Gestion Local (CIGL) d'Esch-sur-Alzette ASBL, Centre d'Initiative et de Gestion Local (CIGL) de Differdange ASBL

2018



2022



Impressum

Éditeur

© Administration des bâtiments publics

Auteurs

Sophie Maurer
Isabelle Becker p. 6-19
Carole Schmit p. 28-29
Benu p. 67-68
Katy Fox p. 125-127

Interviews

Georges Blasen
Arno Boesen
Bruno Domange
Guillaume Dubois
Eric Eben
Robert Goedert
Helmut Gröber
Thierry Hirtz
Georges Kieffer
Martin Meier
André Monien
Yannick Pau
Claude Pauly
Marc Prommenschenkel
Gaëlle Schmets
Paul Schosseler
Louis Wagner

Réalisation graphique

COMED

Photographies

Toutes les prises de vue ont été réalisées par LEVYGRAPHIE sauf indication contraire :
A - Administration des bâtiments publics
D - Daedalus Engineering
E - Entrapaulus
K - Kerger
M - MSN Maintenance Soudure Nucléaire
T - Technique voile

Eric Chenal p. 28
Université de Luxembourg p. 29
BENU p. 67-68
Peace Advocate Photography p. 125-126

Liens internet

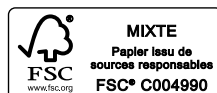
Les sites Internet référencés ont été consultés pour la dernière fois le 25 août 2023.

Impression

REKA
1100 exemplaires

Luxembourg 2023

La couverture de la présente publication s'inscrit dans la démarche de l'économie circulaire. Elle est réutilisée et réimprimée. Elle figurait comme couverture pour le manuel de textes et de lecture scolaire ; Fil d'Ariane 1, Parcours de textes, éditions didier, guy binsfeld et Ministère de l'Education nationale, de l'Enfance et de la Jeunesse, adapté en 2016 pour le programme de français pour le Grand-Duché de Luxembourg.



MIXTE
Papier issu de
sources responsables
FSC® C004990



Économie circulaire dans la construction

Lycée Michel Lucius
Luxembourg
Un projet pilote



LE GOUVERNEMENT
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG
Ministère de la Mobilité
et des Travaux publics
Administration des bâtiments publics

