

## Projet d'impulsion inPACT Rapport d'étude

### Béton préfabriqué – opportunités d'intégration du réemploi



Image : Lionel Rinquet

**Institut :** inPACT  
**Projet :** PRELCO  
**Date :** Décembre 2024  
**Auteurs :** L. Rinquet, D. Clément, B. Seraphin

1.	Introduction.....	2
2.	Objectifs du projet d'impulsion.....	3
3.	Les retours d'expériences .....	4
3.1.	Réemploi vertical de béton armé .....	4
3.2.	Réemploi horizontal de béton armé .....	6
3.3.	Synthèse .....	9
4.	Perspectives .....	12
5.	Suite du projet d'impulsion .....	14
5.1.	Plancher sur portique.....	15
5.2.	Plancher en hourdi.....	16
5.3.	Eléments sandwich.....	17
6.	Conclusion.....	18

## 1. Introduction

Le groupe de recherche du LECEA (laboratoire environnement climat énergie architecture) travaille actuellement sur deux recherches concernant le réemploi dans la construction en suisse romande :

-REMCO financée par la HES SO, en collaboration avec l'HEIG VD, SOREVA et MATERIUM. Analyse des opérations de réemploi dans la construction en Suisse romande en vue de la création d'un guide des bonnes pratiques.

-MATLOOP financée par l'OFEN et en collaboration avec l'HEIG VD, les SIG, MATERIUM et la FTI. Suivi de projets traitant du réemploi dans la construction sur le canton de Genève en vue de produire une boîte à outil d'aide à la décision à destination des maîtres d'ouvrages et mandataires et recommandations pour l'établissement de filière logistique favorisant le réemploi.

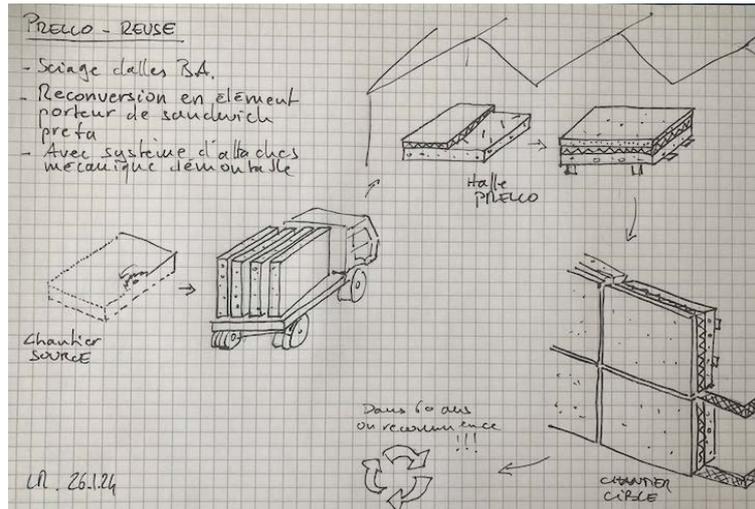
Ces recherches nous ont permis d'établir un bon spectre de la pratique actuelle du réemploi en Suisse romande. Il en ressort la nécessité de réaliser des documentations, des outils de conception et des techniques adaptées à la mise en œuvre des éléments réemployés qui se fait aujourd'hui de manière empirique et qui ont besoin de méthode pour réaliser un saut d'échelle.

Pour obtenir un impact significatif sur la dépense carbone il faut développer les filières de réemploi des matériaux structurels qui représentent le plus gros volume de déchets et d'énergie grise dans les démolitions. La Suisse affiche aujourd'hui la consommation de béton la plus élevée d'Europe avec 1.4m<sup>3</sup> par personne et par an, soit le double de la moyenne mondiale. Le réemploi d'élément de béton structurel devrait donc permettre de réduire les volumes de mise en décharge et les émissions de CO<sub>2</sub> en valorisant le carbone et l'énergie grise déjà embarqués dans les éléments réemployables.

## 2. Objectifs du projet d'impulsion

L'entreprise de béton préfabriqué PRELCO à Satigny a initialement été contactée par l'équipe de projet dans l'optique de discuter du potentiel de deux concepts liés au réemploi de béton armé :

- Facilitation du réemploi futur d'éléments préfabriqués aujourd'hui par la mise en œuvre de techniques et de protocoles de désassemblage simples et efficaces.
- Réemploi d'éléments de béton armé sciés issus de déconstruction comme murs porteurs dans la production d'éléments sandwich préfabriqués de façade



Croquis du principe imaginé pour le réemploi de béton dans des éléments sandwich

Une première discussion avec l'entreprise a permis d'écartier la première idée. Selon PRELCO, bien que non dénuée d'intérêt, la question du démontage dans plusieurs dizaines d'années d'un élément neuf posé aujourd'hui n'est pas encore à l'ordre du jour dans la construction de bâtiments. Le marché n'est pas prêt à absorber le surcoût que cela représente, qui ne serait amorti que dans une soixantaine d'année.

La seconde idée a été considérée comme méritant d'être creusée, ce qui fait l'objet du projet d'impulsion inPACT (avalisé le 15 avril 2024) sous la forme d'une étude sur la faisabilité technique d'une réutilisation des dalles de béton armé sciées sur les chantiers de déconstruction en tant que composant porteur pour la fabrication d'éléments sandwich préfabriqués (composés d'un mur porteur en béton armé, d'un isolant et d'un parement en béton). Cette étude devait permettre de préciser les axes de recherches à développer en priorité pour arriver à une méthodologie et un produit conforme aux règles de l'art et au cadre normatif. Par exemple : démarche pour caractériser les éléments sciés, questions géométriques et dimensionnelles, aptitude au service en cas de requalification d'éléments horizontaux en porteurs verticaux, résistance structurelle dans une requalification en élément sandwich avec parement extérieur, techniques de fixations y.c. réversibilité, etc.

En juin 2024, PRELCO a indiqué vouloir se concentrer en priorité sur le réemploi de dalles de béton armé pour construire des structures horizontales posées sur des portiques préfabriqués plutôt que sur le réemploi prévu à la base, dans des éléments sandwich.

L'équipe de projet a proposé de réaliser une étude objective et la plus complète possible des avantages et inconvénients des solutions de réemploi verticale et horizontale, permettant d'orienter la suite du projet sur une base objective, en s'appuyant notamment sur les retours d'expérience des projets récents en Suisse Romande.

### 3. Les retours d'expériences

Nous avons rencontré, dans notre analyse du milieu du réemploi suisse romand, différents acteurs spécialisés et différentes réalisations et des mises en œuvre du béton.

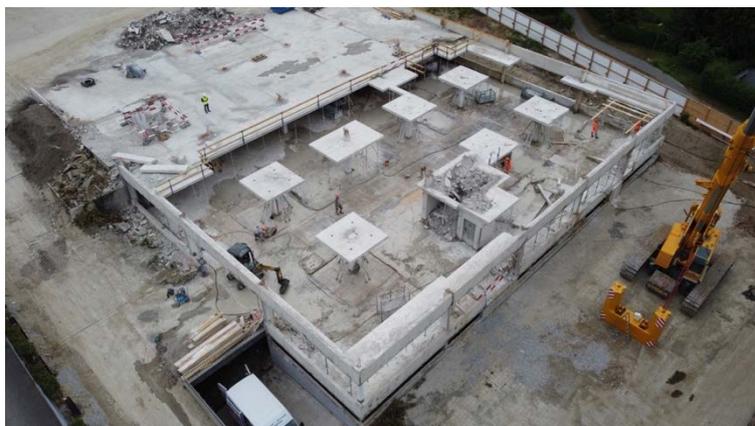
#### 3.1. Réemploi vertical de béton armé

La première pratique rencontrée est celle du Centre d'apprentissage de la FVE à Echallens (Dettling Péléraud architectes), qui est-elle liée à la préfabrication. Il s'agit d'une simple dépose et repose d'éléments préfabriqués non structurels glissés dans des poteaux porteurs en H. L'opération a pu être standardisée, et le projet bénéficiait d'un grand espace de stockage sur place.



Centre de formation FVE, Echallens, image FVE <https://fve.ch/le-choix-du-reemploi>

Les expériences suivantes (en cours de réalisation ou à venir) sont issues de la déconstruction d'un bâtiment industriel à Renens, où avec le concours de la coopérative 2401, le béton scié a été réemployé sur plusieurs projets pilotes.



Déconstruction du bâtiment industriel à Renens. Image Luca Varini

Le projet RebuILT, mené par des étudiants de l'EPFL, soutenus par le SXL consiste à réemployer six éléments de béton armé comprenant des piliers porteurs et des sections de dalles ont été sciés sur le bâtiment source à Renens et réutilisés comme éléments structurels dans la construction d'un pavillon provisoire expérimental de construction

bas carbone sur le site de l'école du Pontet à Ecublens. Les parties horizontales ne sont pas liées et les dalles supérieures, non accessibles, supportent une charpente en bois. On a donc considéré cet exemple au rayon du réemploi vertical.



Structure du pavillon RebuILT. Image : <https://www.physalide.ch/projets/rebuilt>

Le projet de boulodrome de Renens (non réalisé pour l'heure) consiste à utiliser les dalles sciées sur le bâtiment industriel de Renens pour former la structure verticale du clubhouse.

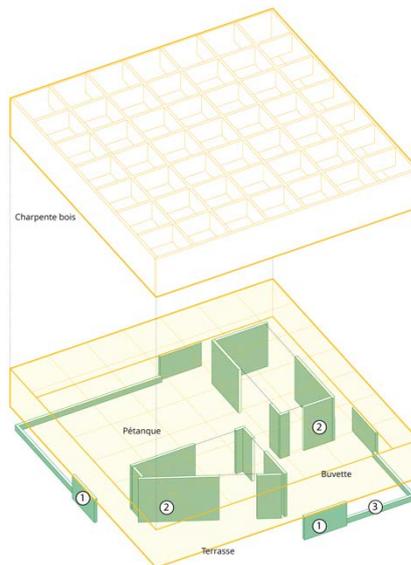
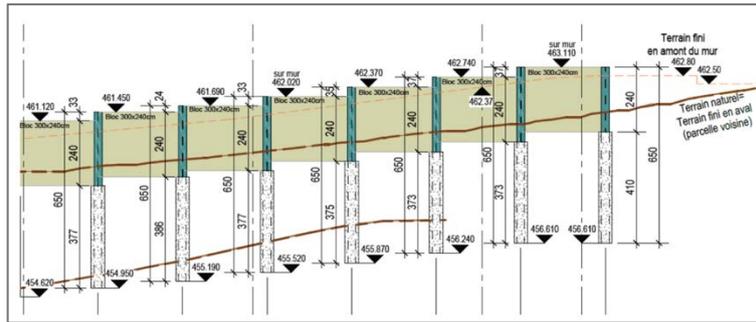


Image : coopérative 2401 (<https://2401.ch/reemploi-structurel-du-beton-la-deconstruction-dun-chantier-pilote-donne-naissance-a-quatre-projets/>)

Le projet MixCity (non réalisé pour l'heure), toujours issu du sciage du bâtiment de Renens vise à réemployer directement sur le même site les dalles sciées pour les intégrer dans une paroi berlinoise. Les éléments en béton armé réemployés sont insérés verticalement dans des piliers métalliques fichés dans le sol afin de créer le mur de séparation avec la parcelle voisine.



Paroi berlinoise MixCity, Image coopérative 2401 <https://2401.ch/reemploi-structurel-du-beton-la-deconstruction-dun-chantier-pilote-donne-naissance-a-quatre-projets/>

La dernière pratique recensée est celle du projet de recherche Upcycling concrete rubble du SXL visant à réemployer des blocs de béton sous la forme de blocs maçonnés. Ce projet académique n'a pas d'application pratique à notre connaissance à ce jour.



Image : <https://www.epfl.ch/labs/sxl/research/digital-upcycling/>

### 3.2. Réemploi horizontal de béton armé

La pratique, la plus répandue, est celle de l'emploi de dalle de béton sciées comme aménagement extérieur, composant de fait un dallage d'assemblage de bloc sur lit de pesettes, comportant différentes solutions de jointoyage. Les exemples rencontrés sont ceux de la pointe nord du PAV (Vimade architectes paysagistes), du Jardin botanique alpin, du stade de Arbères (FAZ architectes), de la villa Vaudagne à Meyrin (BCR architectes), et du square des Minoteries (apaar architectes). Dans ce cas de figure, le béton, converti en dallage, perd tout rôle structurel, ce qui amène à une sous-utilisation de ses capacité (downcycling).



Dallage de réemploi, stade des Arbères, Meyrin image : FAZ architecte

La deuxième pratique relevée est une expérience menée par le SXL de l'EPFL (prof. Corentin Fivet) sur la création d'une passerelle en béton scié assemblés par des câbles de précontraintes. Expérience qui a donné lieu à d'autres recherches de la part de la société coopérative 2401 pour créer une dalle précontrainte basée sur le même concept, qui pour l'heure reste une recherche théorique qui n'a pas encore été mise en œuvre. Ces expériences, où le rôle structurel du béton armé est maintenu, se limitent pour l'heure à des projets de recherche et à des prototypes.



Passerelle SXL, Image : EPFL

Pour compléter l'information, le SXL de l'EPFL a mené à terme un projet de recherche qui a permis de conclure que toute dalle de béton armé de 18cm d'épaisseur et plus, construite en Suisse après 1956, présente un taux d'armature suffisant pour être réemployée structurellement une fois sciée dans un format maximum de 4m par 4m<sup>1</sup>.

A notre connaissance cette recherche n'a pour l'heure pas débouché sur une application pratiques autre que le prototype développé par le SXL.

A notre connaissance aucun projet de réemploi de béton scié avec fonction structurelle horizontale allant au-delà de l'expérimentation n'a été mis en œuvre en Suisse à ce jour.

A cela on peut encore ajouter les réflexions des projets en cours tels que l'extension de l'école de Meyrin, ou le bureau ATBA a fait le choix de sourcer des poteaux et des sommiers sur un des chantier de déconstruction, dont il avait la charge( rue de Lyon 106, Genève) pour les intégrer à son projet de Meyrin. Le stockage s'effectue aujourd'hui sur un terrain mis à disposition par la commune de Meyrin, en attendant la phase d'exécution.

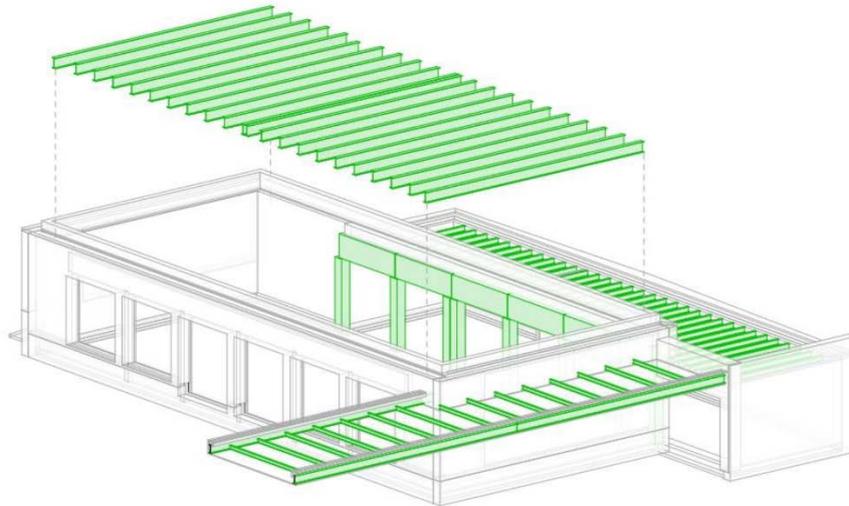


Image ATBA

Un projet expérimental en cours est mené par la coopérative d'ingénieurs et d'architectes 2401, Itten et Brechbühl architectes, les entreprises VSL Suisse et Marti Construction, avec le soutien de l'Etat de Vaud (programme Viva Vaud), pour la réalisation d'une dalle minérale précontrainte composée de blocs de béton sciés, d'une portée de 7m. réduisant l'empreinte carbone d'environ 70%. Cette dalle possède également l'avantage d'éliminer les questions de fluage, retrait, et fissuration d'une dalle coulée. Un prototype est en voie d'être réalisé.

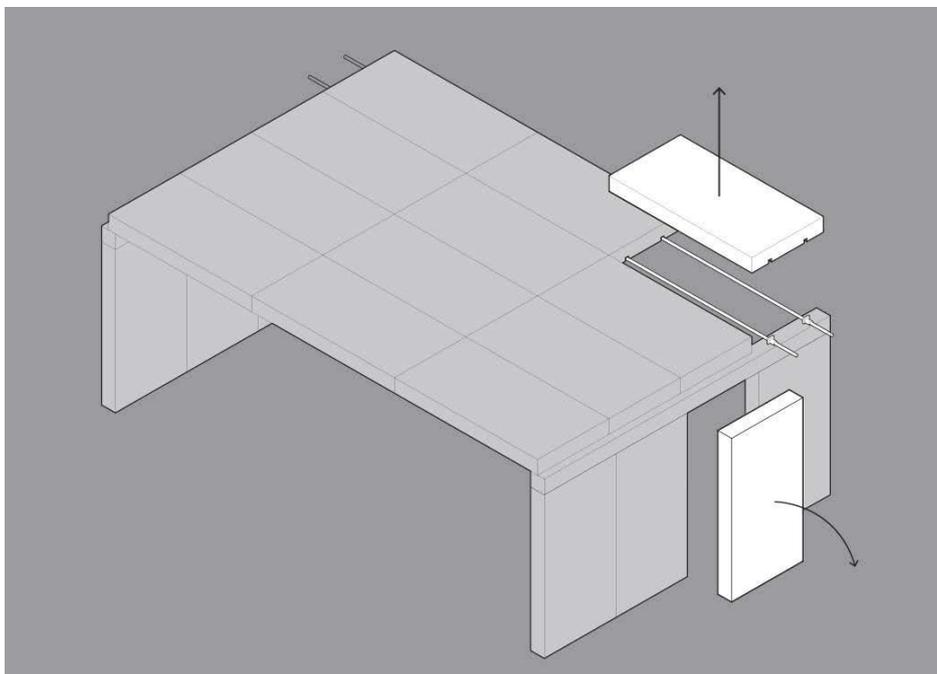


Image : coopérative 2401

### 3.3. Synthèse

Ces retours d'expérience démontrent que le réemploi de béton armé scié est pratiqué sur des chantiers « traditionnels » sans que la composante structurelle des éléments sciés ne soit exploitée (par exemple sous forme de dallage extérieur ou en remplissage de murs) mais que le réemploi avec maintien des fonctions structurelles se borne actuellement à des projets expérimentaux et de recherche.

Ces expériences ont par ailleurs mis en évidence plusieurs difficultés :

Downcycling : hors projets expérimentaux l'élément de béton armé perd presque toujours sa fonction structurelle. Cette sous-utilisation des capacités de l'élément provient de la volonté de ne pas prendre de risque superflu dans le cadre de projets « traditionnels ». Le réemploi avec downcycling vaut mieux que pas de réemploi du tout, mais il ne pousse pas le concept jusqu'au bout de sa logique.

Les sondages : Chaque bâtiment à déconstruire doit faire l'objet d'une campagne de tests (sondages) , afin de déterminer les épaisseurs, les dimensionnements et la densité des fer d'armature, les composition des dalles ou des murs, etc. Ces sondages sont chronophages et impliquent des coûts additionnels.



Images : coopérative 2401

Logistique. La mise en œuvre sous flux tendu de réemploi ex-situ a dans chaque cas de figure impliqué des difficultés au niveau de la coordination de pré-exécution (recherche de matière) et du planning des travaux qui auraient vraisemblablement été évitées dans le cadre de solutions « à neuf ». La seule opération répertoriée ayant réalisé du stockage intermédiaires (École de Meyrin, projet en cours) a pu l'être grâce à la mise à disposition par le M.O. du chantier cible d'un terrain pour le stockage, permettant de circonscrire les couts de location de l'espace. Les coûts de manutention, la disponibilité des espaces de stockage intermédiaires, etc. expliquent sans doute que le stockage intermédiaire est très peu pratiqué. Finalement, les limitations liées au transport, posent aussi des contraintes quant aux dimensions des éléments, ce qui limite les possibilités de réemploi, à moins que le projet cible n'ait été spécifiquement conçu en fonction de ces contraintes.

Non-homogénéité. Dans le cas de béton en provenance de différentes sources, le manque d'homogénéité de la matière (principalement les différences d'épaisseur) a nécessité beaucoup de temps de réglage (dans le cas de pose sous forme de dallage, en aménagement extérieur). Des solutions ont été apportées au fur et à mesure des expériences, sur deux points en particulier : la définition de modules préétablis en amont de la découpe, et une provenance aussi homogène que possible (c'est le cas à la Maison Vaudagne à Meyrin, ou sur le projet ReBuilt à Ecublens). A cela s'ajoute l'irrégularité des tranches issues de coupes exécutées avec des scies routières, impliquant parfois des reprises pour pouvoir joindre des blocs entre eux.

Coût. Le coût du sciage, pratique peu efficiente en l'état, très chronophage, et mobilisant de la main d'œuvre et nécessitant en général un étayage reste élevé par rapport à une démolition par croquage avec recyclage sous forme d'agrégats. Seule une standardisation des pratiques pourra régler ce point et donner une chance au réemploi à échelle « industrielle ».



Image : Coopérative 2401

Nettoyage : les cas d'Ecublens (ReBuilt) ou de Meyrin (Ecole de Meyrin) démontrent la nécessité de dégrapper les chapes avec des fraiseuses routières avant réemploi. On peut noter également l'impossibilité d'utiliser les dalles de toiture sur lesquelles sont collé des lés bitumineux contenant des polluants (HAP) qui ne peuvent être nettoyés sans des efforts disproportionnés.



Image : Coopérative 2401

Ces expériences ont également permis de faire émerger un certain nombre d'avantages :

CO<sub>2</sub>. Tous les bilans carbone qui ont été calculés sur ces projets démontrent une réduction très importante de l'impact environnemental du réemploi (de l'ordre de 80%). L'impact évité est double : celui de l'extraction des matières premières, et celui de la production du ciment et des fers d'armature, qui sont des processus très intensifs en CO<sub>2</sub>. Le béton recyclé, souvent cité en exemple par la filière du béton consiste à recycler le béton concassé sous forme d'agréats, mais n'exonère pas de l'utilisation du ciment, qui représente plus de 70% des émissions de CO<sub>2</sub> sur un m<sup>3</sup> de béton coulé (source : G. Habert et al, Environmental impacts and decarbonization strategies in the cement and concrete industries, 2020).

Déformations. Les éléments sciés ayant déjà subi le fluage, ils sont moins sujets à déformation que les bétons coulés « à neuf ». Ils ne subissent pas non plus de retrait ou de fissuration.

Rapidité. La construction en réemploi s'apparentant à une construction préfabriquée à sec, le temps de montage est réduit par rapport à un béton coulé sur place l'apport d'eau est nul, réduisant les risques liés à la présence d'eau.

Le but poursuivi par tous les projets est le même : établir un procédé de réemploi suffisamment intéressant écologiquement et économiquement pour se substituer au béton neuf et aller vers plus de durabilité dans la construction. Pour cela il faut répondre à un certain nombre d'enjeux :

Diversité des gisements et natures des bétons :

- Logements : bétons recouverts de peinture, de crépis... gisement stable et peu exploité car faisant peu l'objet de démolitions
- Industriels : béton plus brut, gisement plus abondant car amené à évoluer
- Routiers : sous face inégale car coulé sur la terre
- Mixité du gisement

Distance de sourcing :

- Echelle cantonale
- Echelle nationale
- Retour à vide ou plein des camions
- Transfrontalier

Gestion du flux et stockage :

- Flux tendu
- Stockage in situ
- Stockage ex situ
- Stockage intermédiaire

Dimensions et poids des modules :

- Étayage
- Mode de levage
- Impact sur la logistique (transport, stockage, manutention)

Épaisseur :

- Minimum pour un parement
- Minimum structurel selon l'usage
- Béton coulé sur place fluage, flèche, différence d'épaisseur de 0.5 cm
- Quels réglages ?
- Quelles finitions ?

Normes :

- Tests à effectuer
- Structure
- Acoustique
- Feu
- Transfrontalier normes

Problème de géométrie :

- Tolérances de coupe

Cout :

- Comparaison au neuf
- Coût évité de mise en décharge

Impact écologique (émission GES):

- Démontage
- Transport
- Mise en œuvre
- Prolongation de la durée de vie
- Carbone biogène
- Comparaison au neuf

Vieillessement :

- Corrosion des armatures
- Carbonatation
- Chlorures

Agression du béton

- - Gel (avec ou sans sels de déverglaçage)
- - Agressivité chimique de l'environnement

Méthodologie :

- Soumission / appel d'offre
- Mise en œuvre
- Sciage
- Grutage
- Stockage
- Assemblages
- Modes de liaison
- Précontrainte

## 4. Perspectives

En tout état de cause, les expériences recensées ci-dessus ne permettent pas de mettre en évidence une claire tendance vers un usage préférentiel sous forme horizontale ou verticale. Il est cependant possible de faire quelques hypothèses.

Le réemploi vertical présente l'avantage de faire travailler le béton principalement à la compression, ce qui lui est plus « naturel » et implique à priori moins de prise de risque donc moins de nécessité de contrôles.

Cependant, unanimement, les praticiens du réemploi perçoivent la diminution de l'usage du béton sous sa forme actuelle à long terme, pour le concentrer là où il fait sens, c'est-à-dire là où il remplit une fonction structurelle et où le CO2 embarqué est utilisé à bon escient. Hormis pour l'entretien et la rénovation du parc existant construit en préfabriqué, l'utilisation du béton non porteur semble vouée à grandement se réduire laissant place à des remplissages d'origines diverses, intercalés entre des systèmes porteurs ponctuels.

On peut expliquer cette vision par différents phénomènes :

- La réduction des stocks de matière première adaptée, ou sa difficulté d'extraction, nécessaire à sa réalisation tel que le sable.
- Le coût de l'énergie grise liée la création du ciment.
- Les indicateurs écologiques qui se renforcent par l'usage de bilan carbone.
- Les freins à l'utilisation d'agrégats issus du recyclage
- La mise en place de pratique de réemploi à plus grande échelle

L'usage du béton se restreindra aux fondations et à la réalisation d'ouvrage enterrés et (également appelé à être réduits en raison de leur impact environnemental) et de de systèmes poteaux-dalles. L'intensité matière du béton armé est dans ce cadre beaucoup plus importante dans la composante horizontale que verticale, un système

porteur ponctuel vertical étant plus concevable qu'un plancher dont toute la surface doit être à même de reprendre des charges. Concentrer le réemploi sur les dalles, là où les caractéristiques du béton sont exploitées au meilleur escient semble cohérent.

La mise en œuvre de cette stratégie implique de résoudre la problématique de la trame. En effet, en raison des contraintes liées au transport et à la manutention, les éléments de béton sciés sous forme de dalle pleine sont limités dans leur dimensions. Des largeurs supérieures à 2.5m nécessiteraient des transports spéciaux (largeur max. d'un camion normal selon OCR = 2,55m) et partant un surcoût et une complexité organisationnelle qui « tueraient » le réemploi dans l'œuf. Transporter les dalles verticalement, sur la tranche, n'est pas non plus raisonnablement envisageable en raison de leur poids et des problèmes de manutentions qui en résulteraient et serait de toute façon limité à environ 3m de haut sur un camion standard.

Il en résulte que le réemploi se limiterait à des dalles de maximum 2,5m de largeur, ce qui ne correspond pas à une trame porteuse standard d'un immeuble que ce soit de logement ou commercial.

Plusieurs options sont envisageables pour résoudre cette question :

1. Lier structurellement des dalles entre elles pour franchir des portées supérieures à 2.5m
2. Travailler avec des structures en portique ou poteaux-poutres neufs tous les 2.5m sur lesquels reposent les dalles de réemploi, avec un système d'ancrages.
3. Cantonner les éléments de réemploi sciés à un rôle d'hourdi (ce qui nous ramène à une forme de downcycling) reposant sur un système primaire filaire.

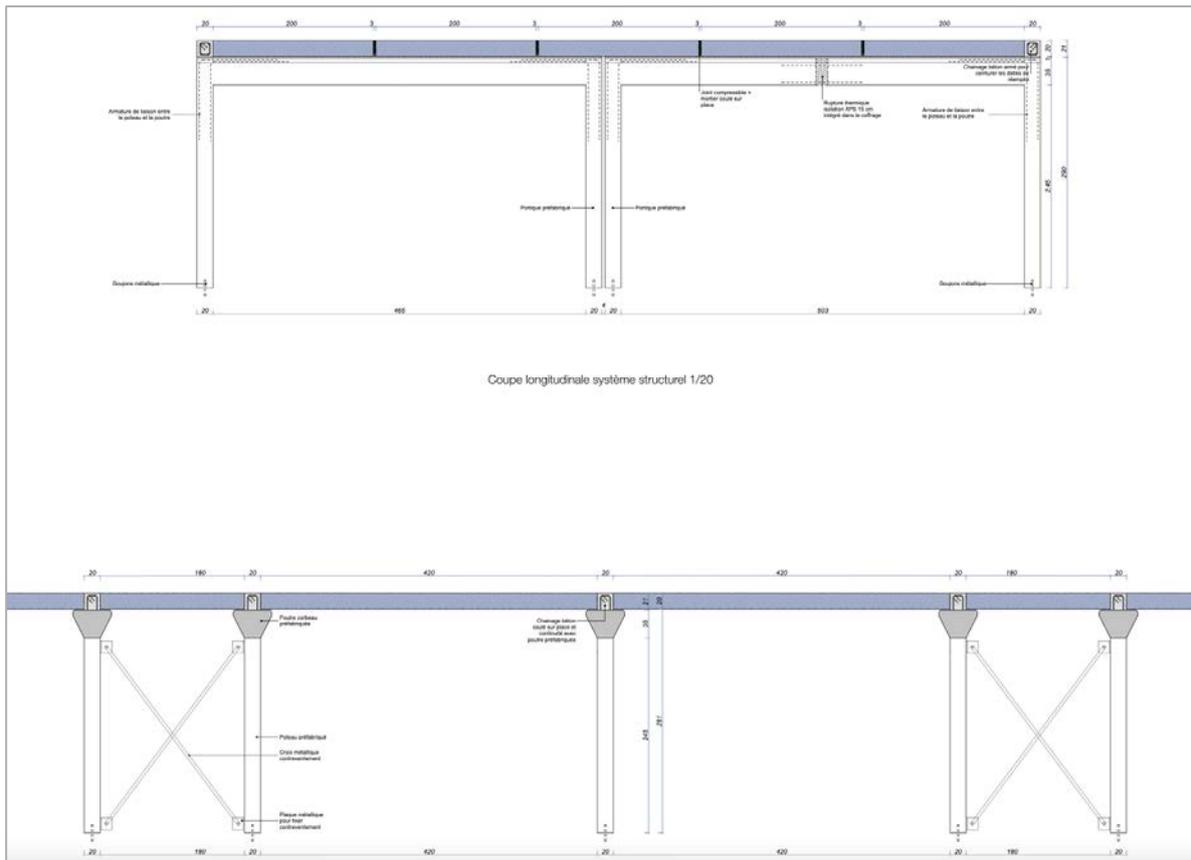
Les deux premières solutions requièrent la résolution des ancrages des éléments réemployés soit entre eux et/ou au raccord avec la structure porteuse primaire et quelle que soit la solution, la fermeture des joints entre éléments de réemploi se poserait pour des questions d'isolation acoustique et de protection incendie.

1

La première solution est actuellement étudiée par la coopérative 2401 avec des partenaires industriels dans le cadre du projet soutenu par Viva Vaud (voir ci-dessus). Le concept consiste à sourcer des modules de 1,25 m x 1,25m, limitant les contraintes de transport et de grutage, de les assembler sur le chantier cible ou en atelier en dalles de 2,5 m x 2,5 m composées de quatre modules. La continuité structurelle entre modules est assurée par des tirants en acier les reliant les modules en précontrainte. Le système permettrait d'aller au-delà du module de 2,5 m x 2,5 m pour atteindre des portées de 7 m pour une épaisseur standard de 26 cm. Il convient cependant de préciser que pour répondre aux normes et pour assurer un effet de disque nécessaire au contreventement, le système prévoit un sur-béton coulé sur place de 7cm d'épais.

2

La deuxième solution est issue du travail de master d'un étudiant du Joint Master of Architecture à la HEIA FR (Maxen Lançon, 2024) qui préconise la pose de dalles de béton sciées sur des portiques de béton neufs. Ce faisant le système constructif est plus économe en CO2, et en quantité de matière



Portiques neufs et dalles de réemploi. Image : Maxen Lançon

Cette solution présente l'avantage d'utiliser les dalles de béton sciées sans précontrainte (contrairement au projet de la coopérative 2401), et de limiter l'usage surfacique du béton à l'horizontale tout en minimisant son emploi comme porteur vertical (les remplissages entre éléments porteurs verticaux pouvant être assurés par des matériaux moins gourmands en CO<sub>2</sub> : terre crue, bois, etc.).

3

Hormis le downcycling produit par le découpage des éléments béton, un des enjeux de la production de hourdis issus de déconstruction tient sur la qualité et le coût du sciage. On en connaît aujourd'hui les limites : le temps, la main d'œuvre, un équipement peu adapté, trop peu nombreux, une irrégularité des tranches, un surcoût lié à l'étaillage et la perte des fonds de coffrage sciés en même temps que le béton. La mise en œuvre de blocs de béton scié comme hourdis doit également composer avec de potentielles différences d'épaisseur des éléments et avec un sur-béton à fins de contreventement (NB : ce sur-béton pourrait le cas échéant servir à compenser les différences d'épaisseur).

## 5. Suite du projet d'impulsion

A ce stade se pose la question de la piste à privilégier pour une éventuelle suite du projet d'impulsion.

- Dalle précontrainte
- Plancher en dalle de réemploi sur portique B.A.
- Plancher en hourdi de réemploi sur poutrelles porteuses voir à partir de quelle prix de sciage ça deviendrait rentable malgré l'intensité main d'œuvre
- Élément de façade sandwich avec porteur intérieur en béton scié de réemploi – isolation et parement neufs (idée de base du projet)

La dalle précontrainte étant déjà étudiée par un autre groupe de recherche (coopérative 2401), il serait vain de tenter de poursuivre dans cette voie. Les autres solutions présentent chacune des avantages et inconvénients tant sur le plan technique qu'économique pour l'entreprise Prelco. Ces avantages et inconvénients sont détaillés ci-dessous.

## 5.1. Plancher sur portique

Analyse SWOT	
S – Strengths / Forces	W – Weaknesses / Faiblesses
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Réemploi des dalles sciées avec limitation du downgrading (utilisation de la capacité portante en surface horizontale)</li> <li>• Technique de clavage standard</li> <li>• Possibilité de moduler la largeur des dalles</li> <li>• Possibilité de créer des espaces à grande portée (au-delà de la trame de portance de la dalle) par l'utilisation de la capacité porteuse des portiques</li> <li>• Dimensionnement des portiques sans difficulté pour un ingénieur civil</li> <li>• Remplissage non porteur vertical entre les portiques (diminution de l'impact carbone)</li> <li>• Sciage limité (éléments de relativement grande dimensions)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Réduction potentielle du vide d'étage libre (hauteur de la dalle + hauteur du portique, selon détail)</li> <li>• Nécessité d'un sur-béton pour assurer l'isolation phonique, pour reprendre les différences d'épaisseur des dalles sciées et pour que le plancher puisse servir à la stabilisation (effet diaphragme)</li> <li>• Nécessité de tester chaque élément scié pour fournir une garantie (à vérifier)</li> <li>• Moyens lourds requis pour la logistique (manutention, transport)</li> <li>• Stockage nécessitant des surfaces importantes si chantiers source et cible non-simultanés</li> <li>• Doublage ou lissage du plafond à prévoir</li> </ul>
O – Opportunités / Opportunités	T – Threats / Menaces
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fabrication des portiques par Prelco qui possède le know how pour préfabriquer les portiques porteurs</li> <li>• Mise sur pied d'un débouché industrialisé pour les dalles sciées avec maintien de leur capacités porteuses</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peu d'innovation, risque de concurrence accru</li> <li>• Insuffisance du gisement</li> </ul>

Le système de plancher en dalles sciées de réemploi sur portique ne nécessite pas (ou peu) d'innovations techniques. Il conviendrait d'étudier une gamme de portiques standards permettant de passer les portées et de reprendre les cas de charge les plus fréquents. Les questions d'attaches, de liaison et de démontabilité restent à étudier.

Il peut être mis en œuvre relativement simplement, moyennant sourcing de la matière de réemploi et espace de stockage suffisant si le but est de déphaser les chantier sources et cibles. La question de la garantie reste à explorer : est-il nécessaire de tester les éléments sciés ou est-ce qu'en deçà d'une certaine portée les dalles peuvent être réemployées sans test (comme l'affirme le SXL).

La question du coût par rapport à une variante de dalle à neuf coulée sur place est à étudier.

## 5.2. Plancher en hourdi

Analyse SWOT	
S – Strengths / Forces	W – Weaknesses / Faiblesses
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Réemploi des dalles sciées avec limitation du downgrading (utilisation de la capacité portante en surface horizontale)</li> <li>• Technique de pose standard</li> <li>• Grande modularité = diversification des gisements</li> <li>• Adaptabilité et possibilité de créer des espaces à grande portée par l'utilisation de la capacité porteuse des poutrelles</li> <li>• Manutention sans engin</li> <li>• Stockage simple</li> <li>• Tests inutiles sur les éléments réemployés</li> <li>• Impact carbone inférieur aux systèmes existants (à vérifier)</li> <li>• Isolation acoustique plus performante que pour des hourdis légers</li> <li>• Facilité de démontage (en l'absence de sur-béton)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Réduction potentielle du vide d'étage libre (hauteur de la dalle + hauteur du portique, selon détail)</li> <li>• Nécessité d'un sur-béton pour assurer l'isolation phonique, pour reprendre les différences d'épaisseur des dalles sciées et pour que le plancher puisse servir à la stabilisation (effet diaphragme)</li> <li>• Rapport défavorable entre mètres linéaires de sciage relativement au m<sup>2</sup> de plancher produit</li> <li>• Intensité main d'œuvre pour la pose</li> <li>• Doublage ou lissage du plafond à prévoir</li> <li>• Poids supérieur aux solutions existantes sur le marché (se tourne en avantage au niveau acoustique...) impliquant une manutention plus compliquée et un dimensionnement des poutrelles plus important.</li> </ul>
O – Opportunités / Opportunités	T – Threats / Menaces
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Possibilité de standardiser les poutrelles en fonction de portées type</li> <li>• Fabrication des poutrelles par Prelco</li> <li>• Mise sur pied d'un débouché industrialisé pour les dalles sciées avec maintien de leur capacités porteuses</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peu d'innovation, concurrence des systèmes existants</li> </ul>

Le système du plancher à hourdis (entrevous) sur poutrelles préfabriquées en béton armé est un système éprouvé et ancien. Il existe actuellement de nombreux fournisseurs de systèmes à hourdis (en brique de terre cuite, en polystyrène, en bois moulé, et même en terre crue compressée (<https://www.terrabloch.ch/implementation-2>)). La seule nouveauté dans le système serait d'offrir un débouché au béton scié, en maintenant ses fonctions structurelles, et en limitant les réticences en termes de garanties et de statique dans le réemploi de béton armé.

Le coût du sciage rend cette solution difficile à rentabiliser, le métrage de sciage par m<sup>2</sup> de plancher produit étant élevé. Pour que cette solution ait une chance de survie, il conviendrait d'étudier avant tout l'optimisation du sciage en phase de démolition ou en atelier lors d'une étape intermédiaire. La précision de coupe est également un enjeu, afin d'arriver à assurer l'étanchéité entre hourdis.

### 5.3. Eléments sandwich

Analyse SWOT	
S – Strengths / Forces	W – Weaknesses / Faiblesses
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Réduction des émissions CO2 sur la couche du sandwich la plus intense en carbone</li> <li>• Reprise des différences d'épaisseur par un doublage intérieur relativement simple</li> <li>• Réemploi des dalles sciées avec limitation du downgrading (utilisation de la capacité portante en surface horizontale)</li> <li>• Technique de pose standard (idem sandwich « à neuf »)</li> <li>• Possibilité de travailler avec des attaches mécaniques pour la liaison aux dalles et entre éléments sandwich = absence de clavage structurel = démontabilité accrue</li> <li>• Le béton travaillant principalement à la compression, tester chaque élément scié pour fournir une garantie n'est pas forcément nécessaire (à vérifier)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sciage sur mesure en fonction du chantier cible (flux tendu inévitable = complexification du processus et dépendance entre chantiers sources et cibles)</li> <li>• Nécessite le développement d'un système de connecteurs ad hoc entre béton réemployé et parement et pour la liaison avec les dalles du bâtiment</li> <li>• Inversion du processus de fabrication des sandwichs (actuellement le parement est coulé en premier)</li> <li>• L'utilisation pour des éléments sandwichs comprenant une ouverture (fenêtre) requiert du sciage supplémentaire</li> <li>• Moyens lourds requis pour la logistique (manutention, transport)</li> <li>• Nécessité d'un doublage de finition intérieur (perte de m2 de surface utile)</li> </ul>
O – Opportunités / Opportunités	T – Threats / Menaces
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Demande encore soutenue pour des sandwichs préfa à Genève</li> <li>• Réduction de l'impact carbone d'un type d'élément phare de la gamme de Prelco</li> <li>• Mise sur pied d'un débouché industrialisé pour les dalles/murs sciés avec maintien (partiel) de leurs capacités structurelles</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disparition graduelle des façades à parement de béton (impact CO2 élevé)</li> <li>• Complexité à résoudre les détails de connexion</li> <li>• Insuffisance du gisement</li> </ul>

Les éléments sandwich préfabriqués à parement en béton sont actuellement un produit phare dans la gamme de produit de Prelco (et la demande devrait se maintenir encore quelques années), mais ils présentent un bilan carbon perfectible. Substituer des éléments de réemploi aux murs B.A. porteurs à haute intensité carbone permettrait de proposer une alternative plus durable qu'actuellement, pour le même rendu final.

La complexité des détails de connexion (entre béton porteur et parement notamment) ne doit pas être négligée si cette variante est étudiée plus en détail.

## 6. Conclusion

Le projet d'impulsion a permis de dresser un état des lieux sur les pratiques de réemploi actuelle du béton armé en Suisse Romande et sur les recherches en cours.

Il a démontré que des opportunités existent pour une entreprise comme Prelco pour lancer des produits en lien avec le réemploi ou pour améliorer l'impact environnemental du produit phare de sa gamme (éléments sandwich de façade). A ce stade il est difficile d'identifier une solution qui présenterait un caractère d'évidence parmi les trois qui sont évoquées.

Cependant, dans les trois cas de figure envisagés, Prelco ne maîtrise pas l'ensemble de la chaîne de valeurs, la déconstruction et le sciage n'étant pas actuellement offerts par l'entreprise. Le surcoût financier du réemploi nécessitant une optimisation de cette chaîne de valeurs, il semble qu'un rapprochement avec une entreprise de déconstruction serait bienvenu pour estimer la faisabilité économique de ces solutions.

Au niveau technique, les solutions de plancher (sur portique ou de hourdis) semblent présenter à priori plus de simplicité. Elles sont par conséquent aussi plus ouverte à la concurrence car nécessitant un savoir-faire moins développé.

Dans tous les cas de figure (dalles précontrainte, portiques, hourdis), le réemploi de béton armé s'apparente au final à la mise en œuvre de composants préfabriqués (puisque arrivant sous la forme de produit fini ou semi-fini sur le chantier) et pour que cette pratique ait une chance, cela demande un investissement en matériel, pour gagner en efficacité et en précision sur la découpe. Une piste serait de la capacité des scies de carrières. Une optimisation des techniques de sciage avec en cascade une réduction de son coût est la clé pour permettre l'émergence d'une filière rentable et à l'échelon industriel. Un sciage de bonne qualité est aussi la clé pour limiter les difficultés d'assemblage et réduire les coûts du remontage.



Images : Dlabéton

Travailler par assemblage d'éléments relève du travail de maçonnerie traditionnelle et ne nécessiterait pas de grand changement par rapport aux techniques déjà maîtrisées par les entreprises de maçonnerie aujourd'hui. En bref, gagner en capacité de sciage et en précision pour favoriser la mise en œuvre sous forme de stéréotomie permettrait de lancer le réemploi du béton dans sa composante structurelle horizontale et de bénéficier de la réduction des émissions de GES qu'il induit. Enfin pour limiter les surcoûts de démolition liés à l'étayage, il conviendrait de focaliser sur la coupe de murs plutôt que des dalles (pour autant qu'ils soient à même de répondre aux sollicitations horizontales pour lesquelles ils n'ont pas été prévus à la base).

Finalement une analyse plus fine des conditions locales de mise en œuvre du réemploi de béton à Genève mériterait d'être menée.

Les difficultés à trouver de la place en décharge pour les déchets de chantier dans la région genevoise et l'augmentation des frais de mise en décharge qui en résulte pourraient être un moteur au réemploi au niveau de

l'offre, tout comme la prochaine entrée en vigueur de la réglementation sur la construction bas carbone (LCI 117-118) qui pourrait constituer un levier au niveau de la demande.

Une première évaluation en lien avec les gisements de béton démontre qu'ils sont relativement peu nombreux à Genève. La majorité du parc est composé de bâtiments de logements qui sont plus facilement transformés que démolis. Preuve en est le taux moyen de démolition du logement collectif à Genève sur les 10 dernières années de 0.13% (source : OCSTAT). Ce taux est tributaire de la fiabilité des statistiques et ne porte que sur les dix dernières années. Une simple règle de trois démontre qu'un taux de démolition de 1.3 pour mille impliquerait une durée de vie moyenne des immeubles de 770 ans, ce qui ne reflète aucunement la réalité. C'est bien plus le résultat du boum de constructions depuis les années 1950 et le taux va fatalement grimper quand les immeubles de la génération des 30 glorieuses arriveront à un stade d'obsolescence plus avancé. Il est cependant impossible de situer cette échéance dans le temps avec certitude.

Autre considération : aujourd'hui, l'assainissement thermique des bâtiments ne passe pas par la déconstruction de ces derniers. On se dirige vers une politique conservation du patrimoine bâti, en particulier dans le logement, sujet à une crise de l'offre quasiment perpétuelle à Genève.

La déconstruction dans le canton présente sans doute plus de potentiel au niveau des bâtiments artisanaux et industriels voués à la démolition dans le cadre de la densification de la ville et du déplacement de ces activités en périphérie des centre-ville, l'image du PAV, qui devrait, selon les dires de la fondation PAV se muer en véritable carrière urbaine ces prochaines décennies.

Outre la rareté des gisements et les réticences à utiliser les éléments de béton sciés dans leur composante structurelle, le taux de récupérabilité du béton lors de déconstruction reste limité. Selon la coopérative 2401, en charge du projet ReBuilt de Renens, sur cette opération, concernant pourtant un bâtiment industriel s'y prêtant bien, n'a permis d'extraire que 20% de béton apte au réemploi.

Malgré tout, il semble évident que même si le gisement est limité, il convient de l'exploiter, et que les premières entreprises qui se lanceront dans ce segment bénéficieront d'un avantage concurrentiel évident lorsque la pratique sur sol genevois se développera. Cela restera peut-être un marché de niche, mais un marché quand même, qui au surplus attire l'intérêt et la sympathie du public, ce que ne devraient pas négliger les entreprises actives dans la production de béton, matériaux qui ne bénéficie pas (à tort ou à raison) actuellement d'une côte de popularité très élevée.