

Recommandations pour le développement du réemploi de

BÉTON ARMÉ

Lot 2 Structure horizontale et verticale

Institut : inPACT
Projet : MATLOOP
Date : Décembre 2025
Auteurs : Lionel RINQUET, professeur HES associé
Benôit SERAPHIN, collaborateur scientifique HES
Almir DELFIEU, assistant HES

Table des matières

Résumé.....	3
Summary.....	3
Lexique	4
Enjeux	5
Filière	6
Analyses préalables.....	11
Déconstruction	16
Manutention et transport.....	19
Stockage.....	20
Reconditionnement.....	21
Remise en œuvre	22
Garanties	23
Bibliographie	24
Normes utiles	24

Résumé

Le béton armé représente de loin le matériau le plus employé dans la construction en Suisse. Les impacts environnementaux pour sa production sont très élevés et il est présent dans quasiment tous les bâtiments, représentant de facto un gisement gigantesque pour le réemploi.

Le réemploi de béton armé est attesté dans certains cas en Suisse, c'est, hors certains projets de recherche, toujours avec une sous-utilisation des capacités structurelles embarquées du matériau. Cette situation est due au niveau de risque élevé perçu par les concepteurs et les maîtres d'ouvrage et à l'absence d'acteurs expérimentés en nombre suffisant et de filières organisées pour la récupération et la distribution de béton armé.

La prise en compte des spécificités du réemploi pour des composants structurels doit être effective dès les phases préliminaires de l'avant-projet. En dehors de certains cas spécifiques, il apparaît illusoire de pouvoir coordonner des chantiers de démolition sur des chantiers sources avec les études sur les chantiers cibles qui sont exécutées bien souvent des années avant l'exécution.

Il ressort que le modèle d'affaire le plus apte à répondre au besoin du marché est la mise sur pied de filières de réemploi ex-situ, externes et déphasées, basées sur une standardisation des modules de béton armé proposés, offrant aux concepteurs une base de travail stable pour planifier le réemploi, aux déconstructeurs une garantie de débouché et aux intermédiaires une rotation de stock permettant d'atteindre le seuil de rentabilité.

Ces recommandations développent également les différentes étapes du processus de projet avec les modes d'analyses et tests à effectuer, la déconstruction, la manutention/transport, le stockage, le reconditionnement et la remise en œuvre.

Summary

Reinforced concrete is by far the most widely used material in construction in Switzerland. Its production has a very high environmental impact, and it is present in almost all buildings, representing a huge source of material for reuse.

The reuse of reinforced concrete has been documented in certain cases in Switzerland, but apart from some research projects, the structural capacity of the material is still underutilized. This situation is due to the high level of risk perceived by designers and project owners and the lack of sufficient numbers of experienced operators and organized channels for the recovery and distribution of reinforced concrete.

The specific characteristics of reuse for structural components must be taken into account from the preliminary stages of the preliminary design. Apart from certain specific cases, it seems unrealistic to be able to coordinate demolition work on source sites with studies on target sites, which are often carried out years before execution.

It appears that the business model best suited to meeting market needs is the establishment of ex-situ reuse external and phased channels, based on standardization of the reinforced concrete modules offered, providing designers with a stable working basis for planning reuse, deconstructors with a guaranteed outlet, and intermediaries with stock rotation enabling them to reach the break-even point.

These recommendations also outline the various stages of the project process, including the types of analysis and testing to be carried out, dismantling, handling/transport, storage, reconditioning, and reinstallation.

Lexique

Chantier cible : Chantier où sont remis en œuvre les matériaux de réemploi issus d'une déconstruction.

Chantier source : Chantier d'où proviennent les matériaux réemployés.

Downgrading : Anglicisme qui traduit une sous-utilisation, c'est-à-dire une perte de propriétés entre l'usage initial d'un matériau et son usage présent ou futur. Dans le cas du béton armé, dès que des armatures sont sciées, il y a une sous-utilisation des éléments découpés.

Recyclage : Valorisation de matériaux de construction issus de chantiers de déconstruction ou d'excavation avec transformation lourde de la matière, ramenée à l'état de matière première ou recomposée avec d'autres matières premières pour en faire un nouveau matériau.

Réemploi : Valorisation de matériaux de construction issus de chantiers de déconstruction ou d'excavation avec maintien de la fonction d'origine, sans ou avec peu de transformation.

Réemploi Déphasé : Réemploi avec stockage de la matière pour un certain temps

Réemploi Ex-situ : Réemploi d'éléments en provenance d'un chantier source autre que le chantier cible, avec transfert de la matière d'un site à un autre.

Réemploi Externe : Réemploi d'éléments avec transfert de propriété et de risque entre la source et la cible.

Réemploi Interne : Réemploi d'éléments sans transfert de propriété ni de risque.

Réemploi In-Situ : Réemploi d'éléments sur un chantier à la fois chantier source et chantier cible, sans transfert de la matière d'un site à un autre.

Réemploi simultané : Réemploi sans latence ni stockage intermédiaire entre les chantiers source et cible avec stockage intermédiaire en dehors du chantier

Réutilisation : Valorisation de matériaux de construction issus de chantiers de déconstruction ou d'excavation avec détournement de la fonction d'origine, sans transformation, ou avec un niveau de transformation faible à modéré.

Sourcing : Anglicisme qui désigne ici le travail d'inventaire, de traçabilité et de suivi de matériaux de réemploi en vue d'approvisionner un ou des chantiers cibles.

Enjeux

Le béton armé représente près de la moitié des matériaux utilisés dans la construction en Suisse, soit un peu moins de 40 millions de tonnes par an¹, soit environ 1.7m³ par habitant par an. Il génère d'importantes émissions de Gaz à Effet de Serre (GES), principalement en lien avec la décarbonatation du calcaire et la chaleur nécessaire lors de la fabrication du ciment. Produire puis éliminer 1m³ de béton armé génère environ 230 kg CO₂-eq de GES², avec une augmentation de 20% à 40% en incluant les aciers d'armature.

Le recyclage de béton armé par concassage pour produire des granulats réintégrés dans du béton armé neuf, est plus vertueux que la mise en décharge qui tend à ne plus être une option. Les granulats recyclés se substituent en partie aux granulats naturels, évitant ainsi leur extraction. Cependant, le béton armé composé de granulats recyclés ne permet pas de se passer du ciment et des armatures qui représentent plus grosses sources d'émission de GES liées à la mise en œuvre du béton armé.

Préserver ou adapter les structures existantes, réduire la consommation de béton armé dans les construction neuves par un usage adapté et efficace de ce matériau, et, lorsque la déconstruction s'impose, favoriser le sciage et le réemploi des structures en béton armé en évitant le *downgrading* (sous-utilisation) sont autant d'impératifs dans la perspective d'une diminution des impacts environnementaux de l'industrie de la construction. Les présentes recommandations sont basées sur divers cas d'études qui constituent un état de l'art non exhaustif des pratiques de réemploi de béton armé et sur les nombreux entretiens menés avec des spécialistes dans le cadre des projets de recherche REMCO et Mat-loop. Ils sont en partie détaillés dans les fiches « Études de cas » du projet REMCO³.

En outre, ces recommandations ont pour but de contribuer à :

1. Mettre sur pied une filière pour la récupération et la distribution d'éléments de béton armé de réemploi
2. Orienter les acteurs du réemploi (maîtres d'ouvrages, concepteurs, entreprises) au fil des différentes étapes du réemploi du béton armé, en particulier de la chaîne logistique.

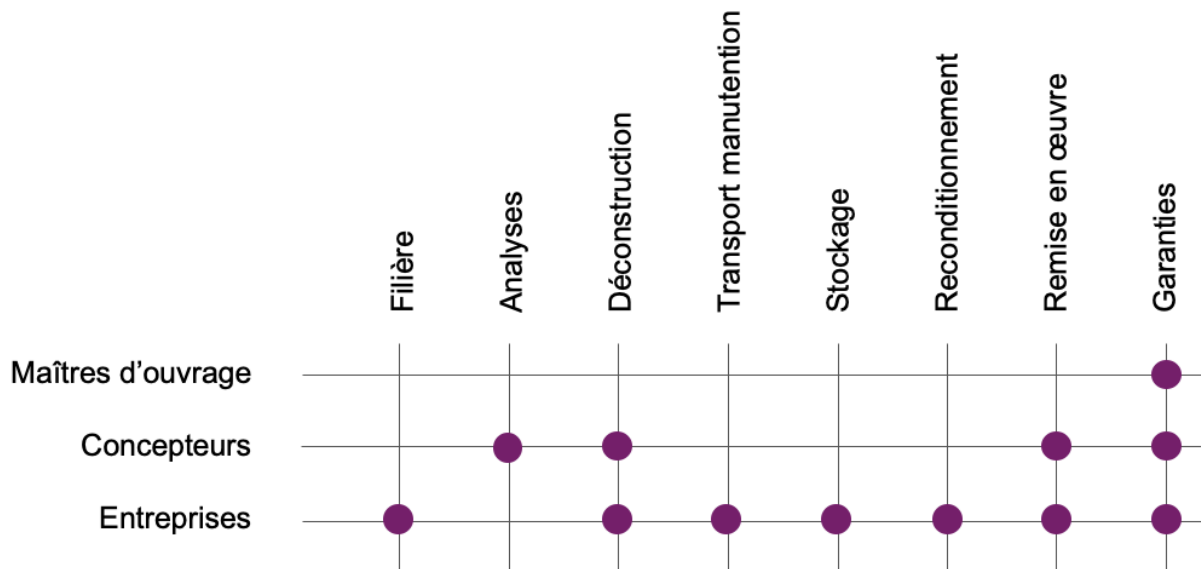


Fig.1 : Chapitres traités par les recommandations et public ciblées

¹ *The Influence of Consumer Behavior on Climate Change : The Case of Switzerland*, Empa, Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology, Technology and Society Laboratory, Cecilia Matasci, Marcel Gauch, Heinz Böni and Patrick Wäger, éd. Sustainability, MDPI (2021)

² Données KBOB : Oekobilanzdaten_ Baubereich_Donne_ecobilans_construction_2009-1-2022_v7.0

³ <https://www.hesge.ch/hepia/recherche-developpement/projets-recherche/remco>

Un guide technique sur le réemploi de béton armé à destination des ingénieurs civils est publié par le collectif 2401 en collaboration avec les Services Industriels de Genève (SIG). Les présentes recommandations permettent quant à elles une vulgarisation de ce sujet, à destination des entreprises mais aussi à des concepteurs et à des maîtres de l'ouvrage, et s'attachent prioritairement aux questions logistiques.

Filière

Le réemploi de béton armé structurel fait l'objet de projets de recherche, notamment par le Structural Exploration Lab (SXL) de l'EPFL, mais dans la pratique est quasiment inexistant. Il est évident que le réemploi de composants structurels et conçus sur mesure pose des défis plus complexes et un niveau de risque plus important que celui des éléments de second œuvre standardisés qui a déjà cours depuis quelques années déjà (appareils sanitaires par exemple). L'omniprésence du béton dans nos constructions en font cependant un candidat majeur au réemploi.

La mise sur pied d'une filière structurée pour la récupération et la distribution d'éléments de béton armé permettrait de donner des réponses à cette complexité et à ces problématiques de risque et de démocratiser la pratique du réemploi de ce matériau. Ce saut d'échelle que représenterait l'existence d'une filière organisée impliquera une industrialisation du processus, une standardisation de l'offre permettant de bénéficier d'effets de série, et l'apparition d'acteurs dédiés maîtrisant la chaîne de valeur de ce modèle d'affaire.

La combinaison des différents types de réemploi implique six modèles qui présentent chacun des caractéristiques différentes :

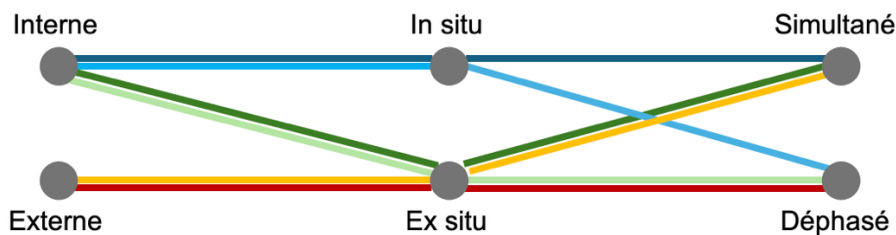


Fig.2 : Types de réemploi envisageables

De ce fait, il ne peut exister un modèle d'affaire unique pour la mise sur pied d'une filière de réemploi pour le béton structurel. Le réemploi qu'il soit interne ou externe peut s'envisager de façon simultanée (sans stockage intermédiaire) ou déphasées (avec un stock intermédiaire).

Le réemploi interne (simultané ou déphasé) implique la mise sur pied d'une organisation propre au maître de l'ouvrage, à priori destinée à ses seuls besoins. On ne peut dès lors pas parler à proprement parler de filière de récupération et de distribution.

Le réemploi externe simultanée en flux tendu (sans stockage intermédiaire) requiert quant à lui un très haut degré de coordination entre les plannings des chantiers source et cible. Ce niveau de coordination est extrêmement difficile à atteindre compte tenu des impondérables propres aux activités de construction, comme l'ont démontré les cas d'étude recensés (voir ci-après). Cette variante n'est donc pas propice à la standardisation et à l'industrialisation recherchées et ne fait pas l'objet des présentes recommandations.

Il apparaît dès lors que le type de réemploi le plus apte à répondre aux objectifs énoncés est celui du réemploi externe, ex-situ (par nature) et déphasé, en rouge dans le schéma ci-dessus, impliquant la mise à disposition de modules standardisés avec stockage intermédiaire.

Cet type de filière peut être maîtrisée par un acteur unique sur l'entier du processus ou intégrer plusieurs intermédiaires peuvent se succéder, de l'entreprise de déconstruction à celle qui remet en œuvre, en passant par celle qui stocke et reconditionne la matière. Dans le premier cas la matière reste sous la responsabilité d'une seule

entité, ce qui simplifie le processus mais requiert de multiples compétences concentrées sur le même acteur et risque de limiter la diffusion de la pratique.

Dans le second cas, la matière doit être réceptionnée à chaque transfert de risque, c'est-à-dire lorsque la matière change de main : à la sortie du chantier et à la sortie du stock intermédiaire. Un cahier des charges sur les pièces à fournir ou récupérer (*sourcing*) doit être établi et les risques sur un décalage de fourniture ou de reprise des pièces doivent être discutés. Les limites de prestations doivent être également être clarifiées en identifiant clairement qui prend en charge les opérations suivantes (organisation et paiement) :

- Sciage, levage, chargement, protections
- Transport du point A au point B et déchargement
- Stockage éventuel (et location du stock)
- Adaptation éventuelle des pièces
- Repose, rhabillage des pièces

La plupart du temps, le béton armé est un matériau coulé sur place. Il s'agit donc, en cas de réemploi, de passer d'un élément sur mesure, à un élément aux dimensions finies, transportable et réemployable sous la forme d'un module sur le chantier cible.

Si les acteurs sont identifiés assez tôt, une convention entre les MO des projets source et cibles et les ingénieurs civils source et cible permet de prendre en compte la gestion de la matière et la responsabilité entre cédant et repreneur. Il est possible pour cela de se baser sur les documents juridiques rédigés par Zirkular, Baubüro in situ et la ZHAW. Il s'agit de la fiche F05 Accord de transfert⁴.

Cette situation est idéale car elle permet de minimiser le risque que faute de débouché la matière ne soit jamais réemployée, générant des coûts liés au stockage et à l'élimination de la matière. Les opportunités de réemploi et les repreneurs sont identifiés en amont de la déconstruction, la découpe et/ou le principe de remise en œuvre peuvent le cas échéant être adaptés aux besoins et les besoins en stockage intermédiaire peuvent être anticipés.

Dans les faits, cette pratique se heurte aux temporalités des projets de construction. Les études en lien avec les projets cibles sont effectuées bien souvent plusieurs années avant l'exécution, ce qui impliquerait de cordonner des chantiers potentiellement distants de plusieurs années ce qui est peu réaliste en raison du nombre d'inconnues et/ou de stocker la matière déconstruite sur de très longues périodes mettant en crise la rentabilité du réemploi.

La massification du réemploi passe donc par une connexion indirecte de l'offre et de la demande, avec la mise sur pied d'une filière proposant des modules standardisés, aux dimensions prédéfinies, disponibles en tout temps, ce qui permet :

- Du côté de la demande, d'offrir aux concepteurs une base de travail stable pour planifier le réemploi déphasé, avec l'assurance de disposer de la matière prévue lorsque le temps du chantier sera venu, sans forcément devoir identifier un gisement spécifique au stade des études d'avant-projet et de projet
- Du côté de l'offre, de s'assurer de l'existence d'un débouché permettant une rotation des stocks rapide et garantissant la viabilité économique du modèle et rationaliser les opérations de sciage par la standardisation des modules.

La conservation des structures existantes est une des voies qui s'ouvre pour minimiser l'impact environnemental de la construction. On peut donc s'attendre à ce que le taux de démolition régresse en Suisse. Il n'en demeure pas moins que le gisement de béton armé y est très conséquent, le béton armé caractérisant la grande majorité des constructions sur notre territoire depuis environ 75 ans.

Ce sont les dalles de plancher qui constituent le gisement le plus conséquent tant quantitativement que qualitativement, de par leur homogénéité, leur qualités structurelles et leurs dimensions. L'observation de la

⁴ F05 Accord de transfert, ANGST Marc, OEFNER Andreas, OTT Cynthia, STREIFF Olivier, ZOLLER-ECKENSTEIN Annette, trad. ACKERMANN Sarah, Zirkular GmbH / baubüro in situ et la Haute école spécialisée de Zurich ZHAW (2024)

pratique montre en outre une offre croissante, illustrée par les chantiers de découpe à grande échelle des dalles du parking de Lysbüchel à Bâle (2024) et du parking de la gare CFF de Lausanne (2026).



Fig. 1 : Parking Lysbüchel, en cours de déconstruction, Bâle (à droite) © Malena Bastien Masse et parking CFF de la gare de Lausanne, voué à la démolition, Lausanne (à gauche) © www.cff.ch

Parmi les différents composants en béton armé, les dalles semblent donc représenter la meilleure opportunité d'exploitation du gisement, permettant un réemploi sous forme de modules pour construire de nouveaux planchers et ainsi bénéficier des capacités structurelles embarquée du matériau.

L'analyse économique démontre que le coût du sciage (calculé au mètre linéaire) est déterminant pour la rentabilité du réemploi et que le stockage d'éléments en multiples dimensions ne fait pas de sens. Il en découle qu'une filière de réemploi devra se concentrer sur des modules de grandes dimensions et standardisés.

Les dimensions de tels modules sont tributaires du transport des éléments sur des plateaux de camions standards et dictées par les capacités structurelles usuelles. Les études menées par le SXL de l'EPFL⁵ ont démontré que les dalles de béton armé coulées en Suisse à partir des années 1960 disposent en général de la résistance voulue pour franchir des portées de 3m à 4m pour un cas de charge standard, applicable par exemple au logement (200kg/m²), sans qu'un renforcement n'ait à être envisagé.

Le module idéal pour le réemploi de dalles se situerait donc dans des dimensions de 2.0 à 4.0m par 2.5m (dimension dictée par la largeur d'un pont de camion), posés sur des porteurs verticaux linéaires ou sur des systèmes de portiques. La cote de 2,5m imposée par la logistique correspondant à une hauteur d'étage, il est également possible d'envisager un réemploi sous forme de mur voile, moyennant vérification structurelle.

⁵ C.Küpfer, N. Bertola, C. Fivet, Reuse of cut concrete slabs in new buildings for circular ultra-low-carbon floor designs, EPFL, 2024 - <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965262401014X>

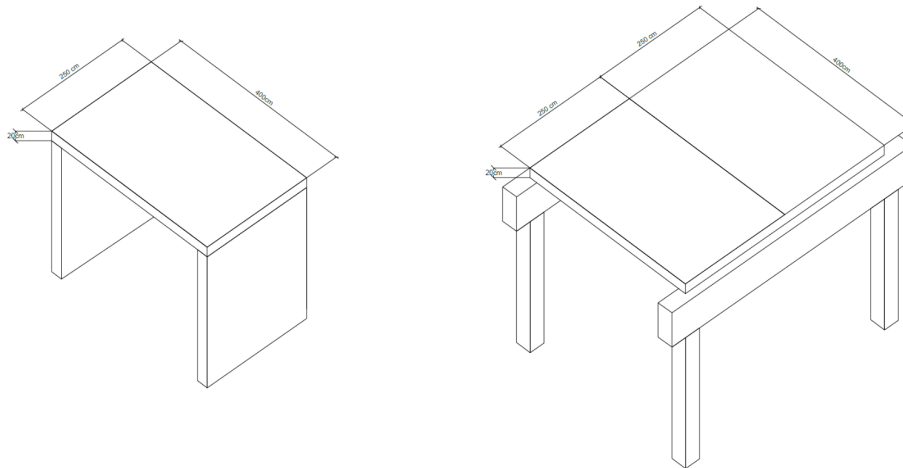


Fig. 4 Croquis des solutions de réemploi sous forme de dalles de plancher

Tout en gardant une largeur de 2.5m, induite par le transport (se référer à la partie « Manutention »), il est possible de définir plus précisément les portées « maximales issue de la vérification de la flexion à mi-travée » en s'appuyant sur les travaux de Julien PATHE, du collectif 2401. Le postulat de départ est le suivant, en s'intéressant à :

- Un béton équivalent à un C25/30, un enrobage de 3 cm et une surcharge de 200 kg/m²
- Deux nuances d'acier où $f_{sd} = 300 \text{ N/mm}^2$ (ancien acier, valeur conservatrice) ou $f_{sd} = 435 \text{ N/mm}^2$ (acier utilisé aujourd'hui)

Il est alors possible de déterminer une portée admissible selon une charge utile en kg/m² choisit si :

- Le diamètre et l'espacement des armatures sont connus
- L'épaisseur de la dalle est connue.

Il est important de rappeler que « le concepteur doit vérifier, tous les états limites de services (ELS) et ultimes (ELU) déterminant pour l'élément issus de murs et réemployé en tant que dalle » et calculer la longueur d'appui nécessaire.

		Acier $f_{sd} = 435 \text{ [N/mm}^2]$													
		Portée maximale [m]													
Diamètre [mm]	Espacement [cm]	8				10				12					
		30	50	20	50	20	50	30	50	20	50	20	50		
Charge utile [kg/m ²]		200	500	200	500	200	500	200	500	200	500	200	500		
Epaisseur [cm]	16	2.59	2.19	3.16	2.66	3.63	3.06	3.22	2.72	3.92	3.31	4.55	3.79	5.33	4.49
	18	2.70	2.30	3.30	2.81	3.80	3.23	3.37	2.86	4.1	3.49	4.71	4.00	5.59	4.75
	20	2.80	2.40	3.42	2.93	3.94	3.37	3.49	2.99	4.25	3.65	4.89	4.19	5.81	4.98
	25	3.00	2.61	3.66	3.19	4.22	3.67	3.74	3.25	4.56	3.97	5.24	4.56	6.24	5.44

Acier $f_{sd} = 300$ [N/mm ²]		Portée maximale [m]													
Diamètre [mm]		8						10						12	
Espacement [cm]		30		20		15		30		20		15		15	
Charge utile [kg/m ²]		200	500	200	500	200	500	200	500	200	500	200	500	200	500
Epaisseur [cm]	16	2.16	1.82	2.63	2.22	3.03	2.56	2.69	2.27	3.28	2.76	3.77	3.18	4.48	3.78
	18	2.25	1.91	2.75	2.34	3.17	2.69	2.81	2.39	3.42	2.91	3.94	3.35	4.49	3.99
	20	2.33	2.00	2.85	2.44	3.28	2.81	2.91	2.49	3.55	3.04	4.08	3.50	4.87	4.17
	25	2.49	2.17	3.05	2.65	3.51	3.06	3.11	2.71	3.80	3.31	4.37	3.81	5.22	4.55

Figure 5 : Construction d'une dalle en béton de réemploi (eCCC-BAT C04) © Julien PATHE

Les dimensions des modules standardisés nécessaires à la mise sur pied d'une filière efficace sont ainsi grossièrement définies. La définition précise des modules à proposer dans le cadre d'une filière déphasée pourra se baser sur les informations ci-dessus.

Analyses préalables

Évaluation du potentiel

La procédure pour évaluer le potentiel de réemploi d'une structure en béton a déjà été décrite dans la littérature⁶.

Pour rappel, tel que décrit par Devènes et al. (2024), évaluer le potentiel d'un bâtiment source consiste dans un premier temps à documenter l'ensemble du gisement par un inventaire et un diagnostic préliminaire. Cet inventaire doit permettre de qualifier et quantifier le gisement. Il convient de se poser plusieurs questions afin d'obtenir des informations générales sur le bâtiment source :

- Où ? Localisation du bâtiment, ce que cela implique en termes d'accessibilité etc.
- Qui ? Recherche de sources. Qui a conçu le bâtiment à son origine ? Les archives de l'architectes ou des ingénieurs sont-elles disponibles ?
- Quand ? Datation du bâtiment et des éléments de construction en s'appuyant sur des archives.
- Quoi ? Relevés des éléments non structurels et structurels : parois porteuses, piliers, dalles de plancher ou de toiture, états de surface, géométrie particulière (si la pente est visible à l'œil nu), etc.

Il s'agit ensuite de définir par une série d'analyses plus détaillées quelles parties sont susceptibles d'être déconstruites en vue d'un réemploi et avec quelles destinations (maintien de la fonction d'origine, sous-utilisation) et quelles parties ne le sont pas et serviront de gisement pour la production de granulats destinés à la fabrication de béton armé composé de granulats recyclés.

Si la destination des éléments est connue à ce stade, il est possible de calibrer les analyses en fonction de la future remise en œuvre, des exigences structurelles et géométriques qui y sont liées et des quantités requises. En effet, il est courant de d'abord réaliser une petite série d'essais, qui seront définis par la suite, pour limiter les coûts pour la personne souhaitant écouler la matière. Une fois les projets receveurs identifiés, des essais complémentaires peuvent être planifiées afin de valider les données et de préciser la destination des éléments sur le projet cible.

Si la destination est inconnue ou partiellement inconnue, il s'agira de qualifier les plus précisément possible les caractéristiques essentielles du matériau et de rechercher un effet de série en termes de dimensions lors de la déconstruction, afin de pouvoir proposer des éléments sous format standardisé facilitant leur usage futur et leur manutention, transport et stockage (voir chapitre Filière).

Diagnostic des polluants

Le FCRBE donnent les informations suivantes sur l'importance du curage : « Concernant la finition des éléments en béton issus du réemploi, il faut distinguer l'état des surfaces après la collecte des éléments et les finitions souhaitées lors de la phase de préparation des matériaux en vue de leur réemploi. Les éléments en béton sont généralement collectés après la phase de curage, c'est-à-dire après la dépose des matériaux de second œuvre. Pour simplifier [...], le curage a notamment comme objectif, de retirer tous les matériaux non inertes qui pourraient dégrader la qualité du béton en vue d'une valorisation optimale. Cette étape du chantier peut donc avoir un impact sur l'état des surfaces fini du béton »⁷.

D'autres tests sont nécessaires pour déceler la présence éventuelle de polluants, selon l'époque de construction et les résultats des tests visuels. Il peut s'agir :

⁶ J. Devènes, M. Bastien-Masse, C. Fivet, Reusability assessment of reinforced concrete components prior to deconstruction from obsolete buildings, EPFL, 2024 - <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.108584>

⁷ Gros-œuvre et enveloppe, Voile en béton, REUSE TOOLKIT, Interreg FCRBE, Bellastock (2021)
Recommandations pour le développement du réemploi du béton armé

- De polluants liés à l'utilisation des locaux et matériaux. La pollution dépend alors de l'historique du bâtiment (par ex. hydrocarbures dans les ateliers/garages, métaux lourds dans l'industrie/artisanat, etc.). Une analyse de la surface (env. 1 cm de profondeur) en contact avec les futurs usagers est pertinente. Comme pour les filières de traitement des déchets, des valeurs limites doivent être fixées par l'OFEV et l'OFSP en vue du réemploi de ces éléments.
- Pour les bâtiments construits avant 1990, des matériaux contenant de l'amiante (flocages, amiante projetée, peintures, crépis, colles/enduits et étanchéités bitumineuses, colles de carrelage, etc.) peuvent être présents. La présence d'amiante implique un assainissement avant tout travaux.
- Pour tous matériaux bitumineux (étanchéité, colles/enduit, etc), la teneur en hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), et en particulier le benzo(a)pyrène, doit être testée. Une teneur accrue en HAP (> 1'000 ppm) est un frein au réemploi – un assainissement est à prévoir.
- De 1955 à 1975, des polychlorobiphényles (PCB) étaient utilisés dans les masses d'étanchéité (par ex. joints de dilatation, joints d'éléments préfabriqués, joints de menuiserie). Entre 1975 et 1990, ces substances ont été remplacées par des paraffines chlorées (PC). Ces substances peuvent en outre migrer dans le béton. Un assainissement est à prévoir lorsque la teneur en PCB dans le matériau (joints et/ou béton) dépasse les 50 ppm.
- En cas de présence de peinture, la présence de plomb ou d'antimoine (utilisation de blanc d'antimoine), doit être mesurée.
- Les polystyrènes produits avant 2016 contiennent du hexabromocyclododécane (HBCD) impliquant, dans certains cantons, des précautions lors de leur retrait. Il est rare cependant qu'ils ne puissent être séparés facilement des éléments en béton.

NB : les diagnostics et les traitements liés aux polluants doivent également être exécutés en cas de démolition. Ils ne représentent donc à priori pas un surcoût lié au réemploi.

Les investigations relatives à la présence de polluants du bâti doivent être réalisées par un expert inscrit sur la liste du Fach. Selon art. 16 OLEd et art. 3 OTConst, une investigation complète du bâtiment est en tous les cas obligatoire avant tout travaux. Il est judicieux de mentionner l'intention de réemploi, le niveau d'investigation et d'analyse pouvant varier selon les filières de traitement ou de réemploi envisagée. Concernant les polluants liés à l'utilisation, il est pertinent de se référer à l'annexe a4 de l'aide à l'exécution de l'OLEd Module Déchets de Chantier⁸. Comme précédemment mentionné, l'historique d'utilisation du bâtiment est alors décisif pour décider des paramètres à analyser (métaux, hydrocarbures aliphatiques, etc).

⁸ <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/dechets/droit/dechets-aides-execution.html>

Analyse visuelle

Cette analyse a pour objectif de vérifier l'état de l'élément et la présence de potentiels défauts ainsi que leur étendue. Ce chapitre s'appuie très largement sur les travaux de Devènes et al. cités plus haut, dont sont issus les tableaux et citations suivants.

Processus de dégradation	Cause	Signes visuels	Traitement des dommages de routine
Corrosion due aux chlorures	Présence simultanée d'oxygène, d'humidité et de chlorures	Taches de corrosion localisées sur la surface du béton; écaillage localisé du couvercle en béton; corrosion localisée des barres d'armature	Couverture en béton suffisante (p. ex. couche de mortier supplémentaire); réalcalisation du béton; étanchéité (p. ex. imprégnations hydrophobes, revêtement, membranes); protection des barres d'armature en acier contre la corrosion (p. ex., inhibiteurs de corrosion, protection cathodique)
Corrosion due à la carbonatation	Présence simultanée d'oxygène, d'humidité et d'acier dépassivé en raison de la carbonatation	Éclaboussures en béton sur une grande surface; corrosion générale des barres d'armature	
Craquant	Charges exceptionnelles, mauvais détails constructifs, déformations limitées ou réaction alcalino-silica	Grand nombre de fissures ou de grandes ouvertures de fissures, plus de 0,3 mm	Pontage de fissure avec revêtement pour créer une protection imperméable; injection de fissure avec de la résine ou du mortier pour empêcher sa propagation.
Réaction alcalino-silica	Présence simultanée d'agrégats réactifs, d'humidité et de concentration alcaline élevée	Maille de fissure à la surface du béton, fissures de couleur légèrement brune	Imperméabilisation (p. ex. imprégnations hydrophobes, revêtement, membranes).
Stries mouillées	Circulation de l'eau à travers le béton	Stries humides; efflorescence; stalactites calcaires	Imperméabilisation (p. ex. pontage de fissures, imprégnations hydrophobes, revêtement, membranes).
Éclaboussure	Impact externe ou gel, corrosion de l'acier	Écrouillement ou écaillage du couvercle en béton sans corrosion des renforts en acier	Réparer l'écaillage ou l'écaillage en appliquant un nouveau mortier

Fig. 6 : Processus de dégradation courants RC avec leur cause, les signes visuels et le traitement de routine © DEVENES Julie, BASTIEN MASSE Maléna, FIVET Corentin

Les classes de dommages du béton armé peuvent être estimées en s'appuyant sur des informations de trois types : « la taille – c'est-à-dire petite ou grande –, l'incidence – c'est-à-dire isolée, fréquente ou généralisée – et la gravité – c'est-à-dire légère, modérée ou lourde ». Voici un tableau qui illustre cette méthode d'analyse :

Damage class	Size / Incidence					Capacity reduction	Consequences
	None	Small / Isolated	Large / Isolated	Small / Frequent	Generalized		
A good						-	-
B acceptable						-	Durability
C deviant						< 10%	Serviceability
D bad						> 10 % < 40%	Serviceability and security
E failure						> 40%	Security

Severity ○ Light ● Moderate ● Heavy

Fig.7 : Classification des dommages par inspection visuelle. Les rectangles gris symbolisent les dimensions du composant © DEVENES Julie, BASTIEN MASSE Maléna, FIVET Corentin

Concrètement : « Les composants classés dans la classe A présentent des conditions presque impeccables, tandis que ceux de la classe B présentent des défauts qui ont un impact sur leur durabilité à long terme. Cependant, dans les deux classes, la facilité d'entretien ou la résistance des composants reste inchangée. Les composants de la classe C ont des dommages modérés ou légers, mais la diminution de la résistance est inférieure à 10% de leur pleine capacité. Sur ce seuil de 10 %, les composants ont des dommages lourds ou prolongés et tombent dans la classe D. Leur résistance structurelle devrait cependant rester d'au moins 40% de leur pleine capacité. Dans le cas contraire, les composants appartiennent à la classe E, ce qui indique que la sécurité structurelle est inadéquate et pourrait ne pas être couverte par les facteurs de sécurité partielle ».

Il est important de notifier que dans le cas d'éléments collés, par la suite, un nettoyage propre peut être compliqué et coûteux, ce qui rend le réemploi plus difficile. Il est donc recommandé d'évaluer dès la phase d'analyse visuelle le degré de difficulté du nettoyage.

Classes d'exposition

La détermination de la classe d'exposition permet de qualifier la classe de résistance du béton armé aux agressions du milieu. Cette dernière est définie par la norme SIA 262 comme étant la : « Catégorie affectée aux éléments de construction décrivant les actions dues à l'environnement et les risques qui en résultent sur le plan de la durabilité».⁹

Le béton armé est un matériau qui est fortement impacté par l'environnement auquel il est exposé. En effet, la présence d'eau et l'utilisation de sel de déverglaçage peuvent altérer le matériau et donc impacter ses propriétés.

⁹ Norme SIA 262 Construction en béton (2013)

Parmi les dégradations possibles, il y a la fissuration du béton armé, la corrosion des armatures lorsque les aciers sont en contact avec l'eau et avec l'air. S'il y a corrosion, alors il y a éclatement du béton.

Un béton armé dit "jeune", c'est-à-dire n'ayant pas atteint la totalité de sa durée de vie pourrait être utilisé dans des conditions similaires ou dans un environnement moins sévère que celui dans lequel il se trouve au moment de son démontage. En effet, un béton armé en extérieur aura des exigences de durabilité plus importantes que celles d'un béton armé en intérieur avec de plus faibles exigences.

Ainsi, après le prélèvement de carottes et des tests à la compression, il est possible de catégoriser un béton selon sa classe d'exposition et d'éviter un mésusage lors du réemploi futur. Le tableau NA.5 Classes de résistance à la compression, d'exposition et de carbonatation selon la norme SIA 262 ou la SN-EN206-NA (2021) qui associe chaque classe d'exposition à un environnement qui est explicité et donne des exemples concrets.

D'une manière plus générale, voici une liste des possibilités de réemploi selon l'usage du béton armé, du plus favorable au plus défavorable :

- Intérieur vers intérieur : aisé
- Extérieur vers extérieur : plutôt aisé (certifier qu'il n'y a pas de risques d'exposition à venir)
- Extérieur vers intérieur ou intérieur vers extérieur : peu aisé et déconseillé (changements d'exposition)

Les éléments béton armés présents dans un parking constituent un cas particulier et ne sont pas considérés comme intérieur (présence de sel de déglacage, d'hydrocarbures etc).

Tests et essais

En cas de transfert de propriété de la matière, il convient de réaliser une série de tests pour déterminer les caractéristiques physiques et mécaniques du béton armé. Les éléments de béton armé déclarés aptes au réemploi lors des analyses préalables et découpés aux dimensions voulues, doivent être caractérisés individuellement avant évacuation du chantier source et transfert du risque (et le cas échéant de propriété) à l'entité en charge du stockage et de la distribution. Ces caractéristiques essentielles comprennent à minima pour chaque élément :

1. La géométrie avec les dimensions (le sens de portée Cx/Cy à noter pour des dalles et mesurer l'épaisseur) et tolérances dimensionnelles.
2. La classe d'exposition (mesure de la carbonatation à l'aide d'un marqueur pH).
3. La qualité du béton armé dont résistance mécanique déterminée par des tests au scléromètre (complété ultérieurement par des tests de compression plus précis si besoin).

Sans transfert de propriété de la matière, il est possible de caractériser la résistance mécanique permet de définir l'usage de réemploi le plus approprié pour l'élément. On se réfère notamment aux normes SN-EN 13791 Évaluation de la résistance à la compression sur site des structures et des éléments préfabriqués en béton armé et SIA 269/2 Maintenance des structure porteuses pour mener les tests à bien.

Des carottages permettront de vérifier l'épaisseur du revêtement et des dalles, la densité du béton, la profondeur de carbonatation, etc.

Des sondages dans le béton d'enrobage serviront à connaître l'épaisseur de l'enrobage et de vérifier localement la disposition des armatures. L'épaisseur de l'enrobage joue notamment un rôle sur la résistance au feu des éléments. La vérification du type et de la disposition des armatures et/ou les détails de connexion doivent aussi être effectuées par des sondages dans le béton, par tests aux ultrasons ou par géo-radar.

L'évolution des normes peut impliquer que des éléments parfaitement aux normes lors de leur première mise en service ne le soient plus en vertu de nouvelles prescriptions plus strictes.

Des relevés à l'aide d'un théodolite ou numérisation 3D à l'aide d'un scanner LiDAR ou de la photogrammétrie permettront de vérifier les déformations du béton armé (flèches, etc.) et des prélèvements et essais à la traction, de connaître la limite élastique et l'allongement des aciers.

Déconstruction

La formulation d'un contrat de déconstruction soignée peut s'appuyer sur la fiche F06 Clauses contractuelles de démontage mise à disposition par Zirkular et la ZHAW¹⁰. Il est important de procéder à une réception avant la découpe en documentant les états de surface des faces et sous-faces de dalle. D'une manière générale, les étapes de déconstruction à respecter sont les suivantes :

- Mise en sécurité du site par les entreprises (dispositifs anti-chute, etc) suivant un protocole détaillé
- Dépollution du bâtiment
- Retrait des couches de revêtement non structurel (il est parfois possible de conserver la chape)
- Étayage pendant la déconstruction pour assurer la stabilité de la construction
- Traçage et sciage des éléments destinés au réemploi
- Démolition du solde de la structure enveloppe après l'extraction des éléments de réemploi
- Analyse visuelle de chaque élément utile pour repérer la présence d'incorporés, en particulier dans les dalles, des défauts liés au sciage ou des armatures coupantes, etc. L'inspection visuelle des éléments peut aussi permettre de vérifier la disposition des barres d'armatures, l'épaisseur de l'enrobage et de confronter ces informations à celles obtenues lors de la phase analyse.

En phase de planification, il convient de choisir des méthodes de sciage appropriées, d'établir un plan de découpe en fonction de la structure et de son comportement lors de la déconstruction, en tenant compte de la modularité recherchée et définir les méthodes de levage et des points d'ancrage. Privilégier des formes simples permet de limiter les coûts et la durée du chantier. La mise en sécurité la plus "lourde" concerne les dalles. Il faut les étayer pour qu'elles tiennent après le sciage et mettre des protections anti-chute autour du futur trou.

Pour une dépose soignée, la méthode d'écrêtage, qui consiste à déconstruire le bâtiment depuis les niveaux hauts vers les niveaux bas, est la plus propice. Elle permet la mise en place d'engins et de personnes dans le bâtiment pour préparer l'accès aux éléments à collecter. Des engins de levage complémentaires interviennent pour le levage depuis le sol au droit de l'édifice.

Les tolérances dimensionnelles du sciage doivent également être prises en compte lors de la planification de la déconstruction et de la reconstruction. L'utilisation d'un rail de guidage pour la scie permet de réduire les déviations mais cela augmente le coût de l'opération. Le tableau extrait de la SIA 414/2 : Tolérances dimensionnelles dans le bâtiment (2016) donne des indications sur les écarts limites tolérés.

¹⁰ F06 Clauses contractuelles de démontage ANGST Marc, OEFNER Andreas, OTT Cynthia, STREIFF Olivier, ZOLLER-ECKENSTEIN Annette, trad. ACKERMANN Sarah, Zirkular GmbH / baubüro in situ et la Haute école spécialisée de Zurich ZHAW (2024)

Colonne	1	Écart						
		2	3	4	5	6	7	8
Ligne	Objets	Écartes limites en mm pour des cotes nominales en m						
		≤ 0,4	> 0,4 ≤ 1,0	> 1,0 ≤ 2,0	> 2,0 ≤ 4,0	> 4,0 ≤ 10,0	> 10,0 ≤ 20,0	> 20,0
1	Dimensions en plan, par ex. longueurs, largeurs, entraxes, maille de trames	± 10	± 10	± 10	± 12	± 16	± 20	± 30
2	Dimensions en élévation, par ex. hauteurs d'étages, hauteurs de paliers, distances entre surfaces d'appui et consoles	± 10	± 10	± 12	± 14	± 20	± 30	± 40
3	Espaces libres en plan, par ex. distances entre piliers, pilastres, etc.	± 12	± 14	± 16	± 18	± 25	± 30	± 40
4	Espaces libres en élévation, par ex. sous des dalles ou des sommiers ²⁾	± 10	± 10	± 16	± 18	± 25	± 30	– ¹⁾
5	Ouvertures, par ex. pour fenêtres, portes, éléments encastrés	± 8	± 8	± 10	± 12	± 12	– ¹⁾	– ¹⁾
6	Ouvertures, par ex. pour fenêtres, portes, éléments encastrés, avec embrasures finies	± 5	± 5	± 6	± 8	± 10	– ¹⁾	– ¹⁾

¹⁾ Les écarts limites doivent être convenus.

²⁾ Les déformations dues au temps, aux charges, à la température et à l'humidité ne sont pas prises en compte.

Les exigences du tableau 1 doivent être respectées pour toutes les cotes nominales.

Fig. 8 : Tableau des écarts limites admissibles dans le gros œuvre (distance à mesurer et données), SIA 414/2

Si le projet cible n'est pas connu, le tracé de découpe, notamment pour faire des éléments de dalles doit être pensé en amont afin d'être le plus efficace possible selon les standards de la Figure 5 : Construction d'une dalle en béton de réemploi (eCCC-BAT C04) © Julien PATHE. L'extraction d'éléments de béton armé est une opération relativement complexe. Dans tous les cas, les dimensions des éléments sont limitées par les accès au lieu, les moyens de levage et le transport.

L'évacuation de pièces allant de quelques centaines de kilos à 2-3 tonnes ne nécessite pas des moyens de levage trop importants. Selon les moyens de levage à disposition, on peut imaginer des pièces plus lourdes (jusqu'à une douzaine de tonnes en cas de présence d'une grue fixe ou mobile).



Figure 9 : Photo de la découpe de la dalle à la scie routière, projet Rebuilt © KÜPFER Célia_EPFL-Baumettes



Figure 2 : Photo de la découpe d'un poteau à la scie, projet Rebuilt © KÜPFER Célia_EPFL-Baumettes

Le tableau ci-dessous donne quelques indications en lien avec la déconstruction de béton armé structural sur certains projets étudiés dans le cadre des recherches REMCO et Mat-loop.

	Dalles (Projet A)	Murs porteurs (Projet B)	Poutres/Sommiers (Projet C)	Poteaux (Projet C)
Module	Min : 4 x 50 x 50 cm Max : 23 x 480 x 500 cm	25 x 248.5 x 310 cm	25 x 75 x 320 cm	35 x 35 x 250 cm
Poids	Variable Min : 0.08T/pce Max : 13.80T/pce	4'815 kg	1'500 kg - -	765 kg - -
Temps de dépose /U Étayage Sciage	Non communiqué	Non communiqué	1-2 jours pour la livraison et la mise en place des éléments Le sciage se fait sur une journée pour quelques pièces. (2-4 personnes)	1-2 jours pour la livraison et la mise en place des éléments Le sciage se fait sur une journée pour quelques pièces. (2-4 personnes)
Sécurité et exécution	Étalement de la dalle Découpe à la scie diamant Pose de coins en bois pour maintenir l'intégrité de la structure	Tracer les éléments de murs Pose des étais pour empêcher le basculement des murs Découpe à la scie diamant avec rail de guidage Si la scie à diamant ne fonctionne pas, utiliser une scie à câble diamanté	Étalement de la poutre de murs Découpe à la scie diamant Sciage à un distance d du poteau Attention, armatures en positions hautes au niveau des appuis	Étalement sur 2 faces perpendiculaires Découpe à la scie diamant en pieds et en tête de poteau
Attention, la découpe au niveau des assemblages peut générer une perte de capacité de charges sauf pour un élément isostatique.				

Fig. 31 : Tableau de synthèse regroupant les informations propres à chaque cas d'étude

Une réception ayant été faite avant la déconstruction, il convient d'en réaliser une après la déconstruction afin de vérifier que la pièce n'a pas subi de dommage (fissure, éclatement du béton d'enrobage, déformation ou autre) et ainsi valider l'intégrité de la pièce.

Les éléments peuvent être marqués à la bombe de peinture pour les différencier selon leurs spécificités sinon, leurs caractéristiques peuvent être inscrites et référencées selon une nomenclature spécifique comme celle définie dans le guide pratique des SIG¹¹ liés à une base de données ou par un passeport matériaux¹² physiquement attaché à l'élément, par exemple sous forme de code barre ou QR code.

A titre informatif, la vérification de 255 éléments de dalles, représentant 2055m² de dalles sciées du chantier de déconstruction (Projet A, 2024-25) a mobilisé une personne pendant 8 heures. Le but de cette analyse visuelle de repérer la présence d'incorporés, des défauts liés au sciage ou des armatures coupantes, etc. Un taux de perte entre la matière inventoriée et celle issue de la déconstruction est inévitable. Pour le projet A, ces pertes s'élèvent à environ 5% de la matière inventoriée.

¹¹ Coopérative 2401, SIG, Guide sur le réemploi de béton armé, 2025

¹² J. Devènes, M. Bastien-Masse, C. Fivet, *Factsheet template for Reinforced Concrete Components, Obsolete Structure Audit*, EPFL, 2023

Manutention et transport

Les dimensions potentiellement importantes et le poids en général élevé des éléments en béton armé nécessitent une infrastructure lourde pour leur manutention et leur transport. Selon le poids maximal des éléments déconstruits, l'utilisation d'une grue pour le chargement sur le moyen de transport peut être préférable à celle d'un camion grue. Lorsque les éléments ont une largeur de maximum 2.50m un transport sur un pont de camion standard est possible. Au-delà, l'usage d'un convoi exceptionnel est requis. Les dimensions et le poids des éléments sciés doivent être compatibles avec les modes de transport.

	Dalles (Projet A)	Murs porteurs (Projet B)	Poutres/Sommiers (Projet C)	Poteaux (Projet C)
Ressources	2 grutiers, 2 aides grutier 2 chauffeurs de camion	2 personnes + grutier	1 ouvrier + 1 chauffeur / grutier	1 ouvrier + 1 chauffeur / grutier
Transport	Chargement : 20 T/camion (hors poids camion) 4-5 pc/trajet	Pas de transport	Camion-grue avec plateau de transport à l'arrière pc/trajet	Camion-grue avec plateau de transport à l'arrière pc/trajet
Manutention	1 grue à chaque poste (lieu source et lieu cible) : 2 camions 2 grues	Non communiqué	Levage à la grue. Les pièces ont été la plupart du temps levées avec des douilles de levages fixées dans les éléments en béton : cela garanti un levage et une manutention en sécurité.	Levage à la grue. Les pièces ont été la plupart du temps levées avec des douilles de levages fixées dans les éléments en béton : cela garanti un levage et une manutention en sécurité.
Exécution	Usage de cales en bois entre les éléments			
Nettoyage	Pas de nettoyage spécifique			

Figure 42 : Tableau de synthèse regroupant les informations propres à chaque cas d'étude

Une mauvaise manutention des éléments lors du chargement, transport, déchargement etc. peut endommager l'élément et potentiellement menacer son intégrité structurelle. Les points de levage installés lors de la déconstruction doivent rester en place jusqu'à la phase de repose. Pour une dalle, utiliser au moins 4 points de levage, 1 à chaque angle de la dalle. Les dalles doivent être transportées à l'horizontal. Les dalles sont espacées avec des carrelats de la hauteur des points de levage et doivent être attachées.

A titre informatif, 3 jours ont été nécessaires pour déplacer sur 1km les 255 éléments, représentant 2055m² de dalles sciées du projet A.



Fig. 13 : Photo du levage d'un élément de dalle, projet Rebuilt © Rebuilt_DSC



Fig. 5 : Photo du levage d'un sommier, projet C © Commune de Meyrin, ATBA, Atelier d'Ici, ZS, Sotrag SA, Construction Perret SA, Labotech



Fig. 6 : Photo du levage d'un poteau, projet C © Commune de Meyrin, ATBA, Atelier d'Ici, ZS, Sotrag, Construction Perret, Labotech

Stockage

Les préconisations à respecter pour le stockage des éléments de béton armé sont les suivantes :

- Réception de la matière par l'entreprise de pose si celle-ci est connue sinon réception par le MO ou par l'entreprise intermédiaire avec établissement d'un procès-verbal,
- Si le stockage doit être fait sur de la terre végétale, il est recommandé d'enlever les horizons A et B, de dérouler un géotextile de mettre une couche de grave variable selon le poids des éléments. Si les dalles doivent être stocké sur du bitume, la charge causée par le stockage des dalles générer des déformations du sol. Dans ce cas, et pour répartir les charges, il est possible d'envisager que la dalle en contact avec le bitume serve de dalle de répartition (cela pourrait l'abîmer et la rendre inutilisable pour la suite).
- Sécuriser la zone de stockage
- Les éléments précédemment utilisés en position verticale, tels que les murs ou les éléments de façade, peuvent être stockés horizontalement à condition qu'ils soient suffisamment armés pour éviter toute fissuration sous l'effet du poids propre lors de la manutention ou du stockage en soi. Les éléments horizontaux comme les dalles doivent être stockés horizontalement.
- Les éléments doivent être séparés par des carrelets en bois et peuvent être empilés les uns sur les autres (les points de levage doivent rester accessibles)
- La hauteur de stockage des éléments peut être variable, selon les capacités de levage du site.

- Le stockage intérieur est préférable, surtout pour une longue durée ; le stockage extérieur est lui possible mais pour une courte durée et en évitant les dispositifs de protection plastiques afin d'éviter l'accumulation de l'humidité qui remonte depuis le sol.
- Éventuellement, pour des raisons esthétiques, il est possible de poser d'utiliser une peinture anti-corrosion pour couvrir les fers.
- Les informations propres à chaque élément doivent être physiquement accessibles en tout temps pour pouvoir identifier la matière avec un lexique précis.
- Dans le cas où l'ordre de pose du chantier cible est connu, veiller à stocker les éléments selon les priorités de livraison pour éviter toute manutention inutile.



Fig. 16 : Photo du stockage des éléments de dalle, projet Rebuilt © Julien Pathé_2401-Mur de soutènement Renens

En raison du poids et des dimensions importants des éléments de béton armé, il convient de limiter au maximum les mouvements inutiles durant la période de stockage pour limiter les frais et les risque de dommages. Il est dès lors important de disposer d'un espace de stockage sur le long terme si cela est nécessaire. Afin d'éviter les déplacements intermédiaires, il convient d'organiser le stock pour avoir accès facilité à la matière et pouvoir enlever en tout temps les éléments à livrer pour tendre vers une rotation rapide du stock.

Un stock extérieur serait suffisant pour des durées courtes. Pour de longues durées de stockage (à éviter pour des questions de rotation économique du stock), un stockage à couvert est recommandé. La manutention sur la zone de stockage peut se faire à l'aide d'un palan, pont roulant, grue de chantier ou élévateur à fourche, en fonction du poids et de la géométrie des éléments entreposés.

Reconditionnement

Le béton armé ne nécessite que peu ou pas de reconditionnement. Un nettoyage au jet d'eau, après curage des matériaux non désirés est en général suffisant.

S'il s'avère insuffisant un nettoyage par sablage est envisageable en dernier recours. Ce procédé est lourd mais peut être utilisé pour des raisons esthétiques si le MO le souhaite. Il s'agit cependant de créer une chaîne de décapage/nettoyage qui augmenterait le coût du produit fini.

Dans la mesure du possible, il est recommandé de respecter les standards définis dans le chapitre "Déconstruction" afin d'éviter par la suite des découps supplémentaires. Dans certains cas particuliers, il peut être demandé à l'entreprise effectuant le stockage de procéder à des ajustements des modules en fonction du chantier cibles. Cela ne doit cependant pas être la norme.

Il est important pour les dalles et les murs de déterminer les surfaces invisibles et visibles. Dans le premier cas, il n'y a pas de prescription particulière mais dans la seconde, le béton peut être poli, lasuré ou vernis selon le rendu souhaité sur le chantier cible. Les extrémités des fers d'armatures sectionnés lors de la découpe peuvent être couvertes pour éviter la corrosion.

Au même titre que l'entrée en stock, la sortie de stock doit s'accompagner d'une réception de la matière par l'acquéreur, au moment du transfert du risque.

Remise en œuvre

Le contrat d'entreprise concernant la remise en œuvre peut s'appuyer sur la fiche F07 Clauses contractuelles de montage éditée par Zirkular et la ZHAW¹³.

Il est essentiel que la remise en œuvre soit exécutée dans le strict respect des spécifications prévues par l'ingénieur civil et dans les limites de l'aptitude au service et de la résistance des éléments définis lors des tests (3 tests de base et tests complémentaires) et diagnostics. En l'absence ou insuffisance de caractérisation des éléments lors de leur démontage il est impératif de le faire avant la remise en œuvre.

Dans la mesure du possible les éléments de réemploi devront être remis en œuvre en utilisant pleinement leurs capacités structurelles embarquées pour optimiser les gains environnementaux liés au réemploi. Pour faciliter la remise en œuvre, il est recommandé de ne pas chercher la reconnexion aux armatures.

Les éléments et supports doivent être réceptionnés lors de la phase de repose. Le tableau ci-dessous donne les conditions générales de repose pour quatre cas d'études.

	Dalles (Projet A)	Murs porteurs (Projet B)	Poutres/Sommiers (Projet C)	Poteaux (Projet C)
Conditions de repose	<p>Concept des éléments utilisés en extérieur (de bas en haut) :</p> <ul style="list-style-type: none"> -Couche de min 30 cm de gravier drainant non gélif sur le sol naturel, -Couche de 5 à 10 cm de gravier fin non compacté -Dalle de réemploi de 17 à 19 cm Surface de béton sablée ou grenillée -Mortier de ragréage classe R4 min 3 mm entre les éléments de dalle -Surface de protection + ajout de sable de quartz pour la rugosité 	<p>Pose en paroi berlinoise :</p> <p>Pose entre deux HEA 300 ou deux rails CFF soudés</p> <p>Maximiser la largeur d'appui de chaque côté des voiles afin de faire travailler les armatures</p> <p>Finition en ciment pour protéger les armatures en tête de la paroi + revêtement métallique</p>	<p>Etayage</p> <p>Platine et goudjons pour fixer 2 sommiers entre eux</p> <p>Les douilles de levage doivent être rhabillées. Les finitions dépendent du choix architectural.</p>	<p>Étalement sur 2 faces perpendiculaires</p> <p>Déterminer la zone d'ancrage en pieds de poteau si fondations requises</p> <p>Plaque métallique et goudjons en tête de poteau</p>

Fig.17 : Tableau de synthèse regroupant les informations propres à chaque cas d'étude

Il est fortement recommandé de prévoir un surplus de matière dans l'approvisionnement du chantier cible, au cas où certains modules seraient inutilisables au moment de la mise en œuvre (dégâts lors du transport ou du stockage, problème de tolérance dimensionnelle, etc.).

¹³ Clauses contractuelles de montage ANGST Marc, OEFNER Andreas, OTT Cynthia, STREIFF Olivier, ZOLLER-ECKENSTEIN Annette, trad. ACKERMANN Sarah, Zirkular GmbH / baubüro in situ et la Haute école spécialisée de Zurich ZHAW (2024)

Garanties

Dans le marché actuel, en l'absence de filière organisée et de système standardisé et labellisé de réemploi aucune garantie sur la matière n'est en général accordée par le propriétaire, les mandataires ou l'entreprise de déconstruction du chantier source pour le matériel proposé à l'issue du chantier de déconstruction. La responsabilité de la bonne utilisation du béton armé de réemploi est en principe du ressort de l'ingénieur civil en charge du chantier cible, couvert par son assurance de responsabilité civile.

L'art. 371 CO spécifie cependant que tout matériel installé sur une construction est garanti par défaut pour une durée de 5 ans. L'entreprise qui remet en œuvre les composants de réemploi doit donc veiller à obtenir de son « fournisseur » une garantie équivalente.

Si cette dernière ne peut lui être fournie, la loi ne permettant pas d'exclure la garantie en totalité (même d'entente entre les parties), il est indispensable de spécifier très clairement les limitations de garanties sur la matière fournie dans le contrat d'entreprise signé entre le maître de l'ouvrage du chantier cible et l'entrepreneur. En l'absence d'une telle clause, la fourniture et la pose seront considérées comme garanties par l'entrepreneur pour une période de 5 ans.

Remerciements

Nos remerciements vont à l'ensemble des chefs d'entreprises, directeurs d'agences, ingénieurs civils, juristes, maîtres d'ouvrages, pour leurs partages d'expérience, relectures, conseils et plus, qui ont contribué à nos recherches et à la rédaction de ces recommandations.

Un grand merci plus particulier à Malena Batién Masse, ingénieure civile, responsable de la filière génie civil d'HEPIA à Genève, à Julien Pathé, ingénieur civil, fondateur de la coopérative 2401 à Lausanne (VD) et Michel Porcelli, ingénieur civil, fondateur du bureau d'étude MPO ingénieurs Sàrl à La Sarraz (VD).

Bibliographie

- « Évaluation de la réutilisabilité des composants en béton armé avant la déconstruction à partir de bâtiments obsolètes », DEVENES Julie, BASTIEN MASSE Maléna, FIVET Corentin, éd. Journal of Building Engineering (2024)
- F05 Accord de transfert, ANGST Marc, OEFNER Andreas, OTT Cynthia, STREIFF Olivier, ZOLLER-ECKENSTEIN Annette, trad. ACKERMANN Sarah, Zirkular GmbH / baubüro in situ et la Haute école spécialisée de Zurich ZHAW (2024)
- F06 Clauses contractuelles de démontage ANGST Marc, OEFNER Andreas, OTT Cynthia, STREIFF Olivier, ZOLLER-ECKENSTEIN Annette, trad. ACKERMANN Sarah, Zirkular GmbH / baubüro in situ et la Haute école spécialisée de Zurich ZHAW (2024)
- F07 Clauses contractuelles de montage ANGST Marc, OEFNER Andreas, OTT Cynthia, STREIFF Olivier, ZOLLER-ECKENSTEIN Annette, trad. ACKERMANN Sarah, Zirkular GmbH / baubüro in situ et la Haute école spécialisée de Zurich ZHAW (2024).
- *Factsheet template for Reinforced Concrete Components, Obsolete Structure Audit*, DEVENES Julie, BASTIEN MASSE Maléna, FIVET Corentin, SXL-EPFL (2023)
- *The Influence of Consumer Behavior on Climate Change : The Case of Switzerland*, Empa, Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology, Technology and Society Laboratory, Cecilia Matasci, Marcel Gauch, Heinz Böni and Patrick Wäger, éd. Sustainability, MDPI (2021)
- Diagnostic des polluants et informations concernant l'élimination des déchets de chantier, HILTBRUNNER David, BURGI Daniel, éd. OFEV (2020)
- Diagnostic des polluants et concept d'élimination. Partie du module « Déchets de chantier ». Aide à l'exécution OLED, Annexe 4, éd. OFEV (2020)
- Oekobilanzdaten_ Baubereich_Donne_ecobilans_construction_2009-1-2022_v7.0

Normes utiles

- Norme SIA 430 Limitation des déchets de chantiers (2023)
- CEN/TS 17440 Évaluation et rénovation des structures existantes (2020)
- SIA 414/2 : Tolérances dimensionnelles dans le bâtiment (2016)
- Norme SIA 262 Construction en béton (2013)
- Norme SIA 269/2 Maintenance des structures porteuses – Structures en béton (2011)
- SN EN 206 : 2013 + A2 béton – Spécification, performances, production et conformités - Annexe nationale ND à
- SN EN 206 : 2013 + A2 2021(2025)
- SN EN 13791 Evaluation de la résistance à la compression sur site des structures et des éléments préfabriqués en béton (2019)
- SN EN 1504-10 Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton - Définitions, exigences, maîtrise de la qualité et évaluation de la conformité - Partie 10 : Application sur site des produits et systèmes et contrôle de la qualité des travaux (2017)
- NEN 2767-1 + C1 Mesure de l'état de l'environnement bâti – Partie 1 : Méthodologie (2019)
- CAN 241 F Constructions en béton coulé en places (2024)
- NF EN 12390 : Essais pour béton durci (2021)
- NF EN 13791 : Évaluation de la résistance à la compression sur site (2021)
- NF EN 12350 : Essais pour béton frais (2019)