

GUIDE MÉTHODOLOGIQUE

Réemploi d'éléments structurels en béton

Réalisé dans le cadre d'un travail de
fin d'études

TABLE DES MATIÈRES

01

AVANT DE COMMENCER

LE GUIDE EN PRATIQUE

TYPES D'ÉLÉMENTS STRUCTURELS
EN BÉTON

LA DOCUMENTATION EXISTANTE

02

AUDIT & INVENTAIRE

AUDIT DE LA STRUCTURE
«OBSOLÈTE»

ÉVALUATION DU POTENTIEL DE
RÉUTILISATION

03

COLLECTE & MANUTENTION

ETAPES EN AMONT DU SCIAGE

SCIAGE

TRANSPORT

04

ENTRETIEN & RÉPARATION

RÉPARATION DU BÉTON

PROTECTION DES ARMATURES

RÉUTILISATION DU BÉTON
INTÉRIEUR COMME ÉLÉMENT
EXTÉRIEUR

05

STOCKAGE

STOCKAGE

06

RÉUTILISATION

RÉUTILISATION

TYPES D'ASSEMBLAGE

EXEMPLES CONCRETS

AVANT DE COMMENCER

01

Ce chapitre présente les différents points à savoir avant de se lancer dans un projet de réemploi d'éléments en béton.

- Le champ d'application et l'objectif du guide
- Le public visé par le guide
- La manière d'utiliser le guide
- Les acteurs impliqués dans l'élaboration du guide
- Les types d'éléments structurels en béton existants
- La documentation existante sur le réemploi d'éléments en béton

LE GUIDE EN PRATIQUE

Dans quel cadre utilisé ce guide et pour qui ?

Le réemploi d'élément en béton étant une opération pionnière, on retrouve très peu de documentation sur le sujet. De plus, on constate que la documentation existante couvre surtout des petits éléments en béton non-structurels comme la réutilisation de dalle et de voiles en pavage et dallage. Seul, un guide méthodologique a été réalisé sur le réemploi de voiles en voiles porteurs.

L'objectif du guide est donc de compléter et de documenter les étapes du réemploi des autres éléments structurels en béton.

Le guide méthodologique est un outil qui permet de faciliter la mise en application du réemploi d'éléments structurels en

éléments structurels et de démontrer son potentiel aux acteurs de la construction.

Il s'adresse surtout aux architectes, il permet de les guider tout au long des étapes du processus du réemploi, allant de sa trouvaille à sa remise en œuvre.

Comment l'utiliser?

Le guide développe chaque étape du processus de réemploi de manière générale à tous les éléments structurels en béton. En effet, de nombreuses étapes sont similaires pour tous les éléments. Lorsque ce n'est pas le cas, des informations spécifiques sont ajoutées pour chaque élément.

Les acteurs du guide

Il a été développé en lien avec la conception d'un projet architectural dans le cadre d'un travail de fin d'étude en master. Etant donné le caractère fictif du projet, les étapes du réemploi n'ont pas réellement été réalisées.

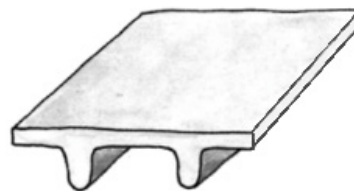
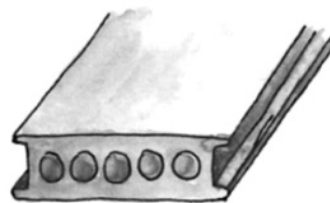
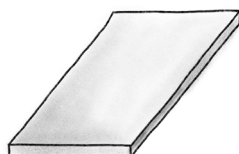
C'est pourquoi, le guide a été réalisé avec l'appui de la documentation existante sur le sujet, et de nombreux experts du domaine comme:

- Elodie Vautrin, coopératrice ingénieure civile et architecte dans la société coopérative 2401, à Lausanne: experte dans le réemploi d'élément en béton
- Yves Du Mortier, technico commercial chez Leviat Plakabéton: spécialiste en connexion du gros œuvre du bâtiment
- Corentin Fivet (via sa documentation), professeur associé au laboratoire d'exploration structurale (SXL) à l'EPFL

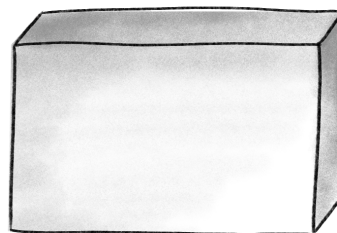
TYPE D'ÉLÉMENTS STRUCTURELS EN BÉTON

Les éléments surfaciques

- Les dalles: alvéolées, nervurées, prédalles - préfabriquées ou coulées sur place

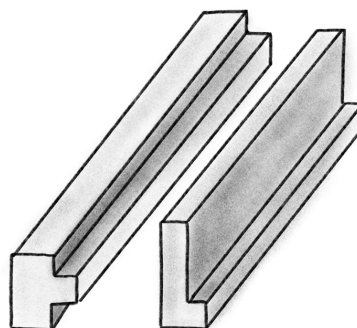


- Les murs: voiles - préfabriqués ou coulés sur place, prémurs



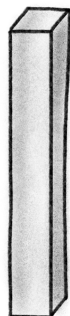
Les éléments linéaires

- Les poutres - préfabriquées ou coulées sur place



Les éléments ponctuels

- Les colonnes - préfabriquées ou coulées sur place



DOCUMENTATIONS EXISTANTES

Voici les différentes documentations existantes sur le réemploi d'éléments structurels en béton. Elles ont toutes été réalisées par Bellastock, les trois premières sont issues de REPAR2, le 2ème volet du programme «Recherche & Expertise sur le réemploi en construction en partenariat avec l'ADEME et le CSTB. Tandis que la troisième documentation a été réalisée dans le cadre du projet Interreg FCRBE - Facilitating the Circulation of Reclaimed Building Elements, soutenu par l'ensemble des partenaires du projet.

- La fiche 8: Gros œuvre - Mur voile béton: son origine peut être un voile béton intérieur ou extérieur armé.
- La fiche 9: Gros œuvre - Mur lamelles béton: son origine peut être un voile béton intérieur ou extérieur armé

Dans le rapport
02_03 - P240-245



- Guide méthodologique et technique pour le réemploi de béton en murs: Réutilisation de murs en murs porteurs avec un fonctionnement de type mur maçonné ou de type mur en béton armé - Réutilisation de lamelles horizontales en murs porteurs

Dans le rapport
02_03 - P257-309



- La fiche réemploi FCRBE: Réutilisation de voiles en béton porteurs - coulés sur place ou préfabriqués - en murs porteurs avec un fonctionnement de type mur maçonné ou de type mur en béton armé

C'est une synthèse du guide méthodologique et technique pour le réemploi de béton en murs.

Partie Eléments
en béton de
ciment
P298-308



Ce chapitre est issu directement du document de Corentin Fivet, Julie Devènes, Maléna Bastien-Masse: «Reusability assessment of reinforced concrete components prior to deconstruction from obsolete buildings».

<https://infoscience.epfl.ch/entities/publication/763e9a69-3946-4c5d-bd73-324d39951552>

Ce chapitre explique comment réaliser un inventaire complet d'une structure existante et de ses composants ainsi que l'évaluation du potentiel de réutilisation de chacun de ses éléments.

AUDIT DE LA STRUCTURE «OBSOLÈTE»

1. Inventaire des composants

L'inventaire des composants permet d'organiser les informations quantitatives et qualitatives de la structure existante (donneuse).

Collecte de données

La collecte de données sur le bâtiment donneur consiste à récolter des informations générales comme:

- L'emplacement du bâtiment
- L'année de construction
- L'utilisation
- Les dimensions
- Le système structurel
- Les propriétés des matériaux

Le tableau 1 ci-dessous présente les pistes possibles, mais non exhaustives, de collecte de ces données.

La documentation existante du bâtiment est la source d'information privilégiée, et son examen est la première étape de toute évaluation de la réutilisabilité. Il permet d'identifier les informations manquantes à collecter avec d'autres méthodes. En ce qui concerne les études de géométrie et de matériaux, le nombre d'études destructives est de préférence limité car elles sont coûteuses et réduisent le potentiel de réutilisation des composants. Des investigations non destructives sont effectuées pour compléter les données obtenues avec d'autres méthodes et techniques et vérifier la cohérence des propriétés structurelles et matérielles sur de plus grandes surfaces sans causer d'autres dommages aux composants.

POUR INFO

• **Les méthodes non-destructives (CND)**

Objectif

Évaluer les propriétés et caractéristiques du béton sans compromettre son intégrité: La résistance en compression - Corrosions des armatures - Défauts de fabrication - Étendue des fissures - Épaisseur d'une dalle - Localisations des armatures.

Outils nécessaires

- Essai au scléromètre pour connaître la position des armatures et la résistance mécanique du béton
- Essai aux ultrasons pour connaître l'état des armatures et la composition interne du béton
- Radiographie pour avoir des signes visuels de corrosion des armatures
- Essai au pachomètre ou ferroskan pour identifier l'épaisseur du béton, l'emplacement des armatures et les zones corrodées

• **Les méthodes destructives (CD)**

Objectif

Prélever des échantillons ou des spécimens de la structure pour soit l'analyser in-situ ou en laboratoire

Procédés

- Sondage par carottage
- Sondage au burineur

Les sondages permettent d'avoir des échantillons et de les soumettre à des épreuves physiques ou chimiques comme - le test de résistance à la compression - le test de résistance à la traction - Essai de résistance à la flexion

Mettre à nu les aciers pour vérifier leur état et leurs dimensions plus précisément sur le chantier

Classement des composants

Pour faciliter la remise en œuvre, il est intéressant de réaliser des «catalogues» de composant. Un premier classement des composants peut être fait par fonction structurelle:

- Façades
- Dalles
- Murs
- Poutres
- Colonnes
- Escaliers

Ensuite un second par type et sous-type en fonction des critères suivants:

- Type de matériau
- Méthodes de construction
- Assemblages

L'inventaire comprend des informations nécessaires comme les dimensions, la quantité et la résistance de la section transversale de l'élément et des informations facultatives comme le rapport proportionnel du volume structurel total et les impacts environnementaux intrinsèques.

PRÉCAUTION

Lorsque l'on n'a pas accès aux plans de ferrailage des éléments ou qu'ils n'existent pas (bâtiment trop ancien), des hypothèses doivent être faites grâce à la connaissance des normes et des méthodes de construction historiques, les résultats des enquêtes destructives et non-destructives et les résultats de l'analyse structurale de la structure existante. Voici plusieurs niveaux d'approximation pour estimer la capacité structurale de plus en plus précisément:

1. Utilisation des exigences minimales en matière de rapports d'armatures dès l'époque de la construction
2. En utilisant la demande de résistance calculée avec des exigences de charge à partir du moment de la construction
3. Utilisation des résultats de mesures destructives et non-destructives combinées

Tableau de synthèse des méthodes à suivre pour l'inventaire des composants

Méthode	Techniques Analyse et conservation des données à partir de:	Informations
Examen de la documentation existante	- Plans et dessins - Rapport de diagnostic polluant - Tout autre doc pertinent (rapports, études)	Dimensions, disposition des barres d'armatures, propriétés des matériaux, présence de substances toxiques, méthodes de construction, etc
Mesures de géométrie	- Mesures manuelles - Enquête destructive (forages et enlèvement de la couverture de béton) - Investigation non-destructive (Contrôle, balayage géoradar, 3D)	Dimensions, la disposition des barres d'armatures, les détails de connexion, etc
Enquêtes sur les matériaux	- Enquête destructive (essais mécaniques en labo) - Investigation non-destructive (marteau à rebond)	Caractéristiques mécaniques et de durabilité, etc
Visites sur place	Inspection visuelle	Dommages et évaluation qualitative (couleur et accessibilité)

2. Évaluation des dommages

Une inspection visuelle est effectuée avant la déconstruction pour identifier et classer les dommages selon leur ampleur, leur incidence et leur gravité.

Les dégradations dépendent du temps et sont en partie causées par l'exposition à des facteurs externes tels que les chlorures, l'eau ou l'humidité, l'oxygène ou des charges élevées. Pour stopper ou ralentir leur progression, il faut éliminer ses facteurs externes et mettre en œuvre des traitements appropriés pour les dommages. Mais dans le cadre de l'évaluation du potentiel de réutilisation d'un composant, on ne prend pas en compte le facteur temps lors de l'évaluation des dommages durant la déconstruction.

3. Rapport de synthèse

Un rapport de synthèse doit être fait pour permettre de concentrer toutes les informations recueillies de manière synthétique et claire pour les phases de conception suivantes.

La structuration peut être organisée de cette manière:

1. Introduction: informations de base sur le bâtiment (emplacement, année de construction, utilisation et système structurel)
2. Méthodologie d'enquête: processus d'évaluation utilisé
3. Résultats de l'enquête
4. Fiches informatives pour chaque type de composant, résumant toutes les informations collectées

Classification des dommages par inspection visuelle

Classes de dommage	Non	Petit/ Isolé	Grand/ Isolé	Petit/ Régulier	Généralisé	Réduction de la capacité	Conséquences
A Bon						-	-
B Acceptable						-	Durabilité
C Déviant						< 10 %	Capacité de service
D Mauvais						> 10 % < 40 %	Capacité de service et de sécurité
E Défaillance						> 40 %	Sécurité

Gravité: léger modéré intensif

Dimensions du composant

A SAVOIR

Voici un tableau reprenant les processus de dégradation courants du béton armé avec leur cause, les signes visuels et le traitement de routine.

Processus de dégradation	Cause	Repérage visuel	Traitement régulier des dommages
Corrosion due aux chlorures	Présence simultanée d'oxygène, d'humidité et de chlorures	Taches de corrosion localisées sur la surface du béton ; écaillage localisé de la couverture de béton ; corrosion localisée des barres d'armature	Couverture de béton suffisante (p. ex., couche de mortier supplémentaire) ; réalcalinisation du béton ; l'imperméabilisation (p. ex., Imprégnations hydrophobes, revêtement, membranes)
Corrosion due à la carbonatation	Présence simultanée d'oxygène, d'humidité et d'acier dépassivé due à la carbonatation	Écaillage du béton sur une grande surface ; Corrosion générale des barres d'armature	; Protection des barres d'armature en acier contre la corrosion (p. ex., inhibiteurs de corrosion, protection cathodique)
Craquage	Charges exceptionnelles, mauvais détails de construction, déformation limitée ou réaction alcali-silice	Grand nombre de fissures ou de grandes ouvertures de fissures, plus de 0,3 mm	Pont des fissures avec revêtement pour créer une protection imperméable ; injection de fissures avec de la résine ou du mortier pour éviter sa propagation.
Alcali-silice réaction	Présence simultanée d'agrégats réactifs, d'humidité et d'une concentration élevée d'alcalis	Maille de fissure à la surface du béton, fissures de couleur légèrement brune	Imperméabilisation (p. ex., imprégnations hydrophobes, revêtement, membranes).
Traînée humides	Circulation de l'eau à travers le béton	Traînée humides ; efflorescence ; Stalactites de calcaire	Imperméabilisation (p. ex., pontage de fissures, imprégnations hydrophobes, revêtement, membranes).
Écaillage	Impact externe ou gel, corrosion de l'acier	Écaillage ou écaillage de la couverture en béton sans corrosion des armatures en acier	Réparer l'écaillage ou l'écaillage par l'application d'un nouveau mortier

ÉVALUATION DU POTENTIEL DE RÉUTILISATION

L'objectif de cette évaluation est de pouvoir mieux adapter la conception dès les premiers stades du projet. Elle permet ainsi de limiter les frais supplémentaires et de mieux intégrer les composants dans la nouvelle structure.

Trois facteurs sont à prendre en compte:

1. Les dommages préexistants, décrits par une catégorie de dommages (cf. Évaluation des dommages) = état du composant
2. L'utilisation prévue dans la structure réceptrice, décrite par une classe d'utilisation
3. Les interventions prévues sur le composant avant la réutilisation, décrites par une catégorie d'intervention

Le premier facteur est établi lors de l'audit de la structure «obsolète» tandis que les deux autres dépendent du projet destinataire et servent de critères d'aide à la décision pour le choix d'une stratégie de réemploi réaliste. Il en résulte un degré de réutilisation qui exprime la proportionnalité de la réutilisation d'un composant structurel en béton armé et met en évidence les exigences en matière de surveillance et de contrôle requises pour la structure réceptrice.

Le degré de réutilisation évalue la durabilité à long terme des composants récupérés et indirectement sa capacité structurelle.

Classe d'utilisation

La durabilité et les exigences structurelles d'un composant en béton armé dépendent de sa fonction et de son exposition dans la structure réceptrice. La classe d'utilisation repose donc sur deux critères: la stabilité nécessaire dans la nouvelle structure et l'exposition à l'eau et aux agressions chimiques.

On retrouve 5 classes d'utilisation possibles, allant de I à V, des exigences minimales aux exigences structurelles et de durabilité élevées

Classe d'utilisation	Légèrement exposé	Modérément exposé	Très exposé
Pas de critères de STAB	I	II	III
Autostable	II	III	IV
Stables sous charges externes	III	IV	V

Le composant peut appartenir à n'importe quelle classe d'utilisation s'il peut assumer structurellement la fonction tout en soutenant l'exposition à l'eau prévue (ça va donc dépendre de la qualité du composant déterminée pendant la phase d'inventaire du composant).

Classe d'intervention

La classe d'intervention décrit le niveau des opérations possibles de modifications,

de réhabilitation ou de renforcement à effectuer sur le composant avant le remontage dans la structure réceptrice. Elle est définie lors de la phase de conception du projet récepteur.

Classe d'intervention	Mesures d'entretien	Modifs géométriques
a	aucune action	pas de coupe supplémentaire après extraction
b	maintenance préventive renforcement léger	coupe simple
c	maintenance curative, réhabilitation, renforcement moyen à important	découpe ou modif complexe

PRÉCAUTION

L'intervention doit rester proportionnée d'un point de vue économique et environnemental. Si elle est disproportionnée alors la réutilisation du composant doit être revue ou remise en question.

La proportionnalité économique compare le coût et le bénéfice que l'intervention génère. Et la proportionnalité environnementale compare l'impact environnemental entre le processus d'intervention et la production d'un composant similaire neuf.

Degré de réutilisation

Le degré de réutilisation croise trois critères — classe de dommage, classe d'utilisation et classe d'intervention — pour évaluer la réutilisabilité des composants en béton. Plus un composant est endommagé ou exposé à des usages contraignants, plus une intervention (maintenance, renforcement, transformation, réhabilitation) est nécessaire. Les composants en bon état (classe A) peuvent être réutilisés sans intervention, tandis que ceux en mauvais état (classe D ou E) nécessitent des transformations lourdes, voire sont non réutilisables.

- Niveau 1: réutilisable, le composant est comme neuf
- Niveau 2: réutilisable avec contrôle occasionnel, le composant a quelques dommages mineures
- Niveau 3: réutilisation discutable, des interventions sur les composants doivent être nécessaires pour sécuriser. Vérifier alors la proportionnalité économique et environnementale.
- Niveau 4: Réutilisation non-recommandée, le composant est trop endommagé structurellement, les contrôles ne suffisent plus à sécuriser
- Niveau 5: Non- réutilisable

COLLECTE ET MANUTENTION

03

Ce chapitre développe l'étape de la collecte et de manutention, c'est-à-dire la désolidarisation des éléments à la structure donatrice ainsi que le levage.

On retrouve

- Les étapes à effectuer en amont du sciage: l'organisation des découpes, la stabilisation et la sécurité de la structure démontée et l'intégration des systèmes de fixation dans les composants
- Les techniques et outils de levage
- Les techniques et outils de sciage

On retrouve aussi quelques astuces de transport pour agencer son chantier le plus efficacement possible et utiliser les machines à bon escient.

ETAPES EN AMONT DU SCIAGE

1. Organisation des découpes

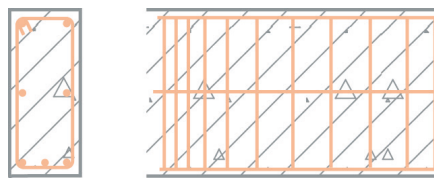
Grâce à l'inventaire des composants et la récolte des informations concernant le ferrailage des composants en béton armé, on peut plus facilement organiser les découpes.

L'analyse se fait avec un bureau d'études qui va pouvoir déterminer les armatures qui peuvent être découpés sans impacter la résistance du composant en béton armé. Si elle impacte sa résistance, alors ils devront déterminer la nouvelle capacité portante de l'élément pour une nouvelle structure.

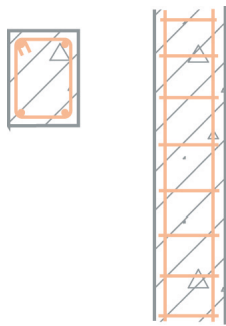
Découpes des nœuds constructifs

Même si, généralement les nœuds constructifs sont réalisés de la même façon, il faut quand même vérifier les liaisons au cas par cas pour être sûre de pas endommager les composants.

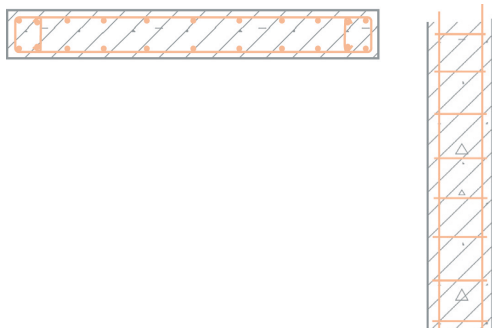
- Ferrailage standard d'une poutre



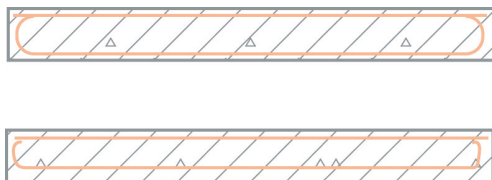
- Ferrailage standard d'une colonne



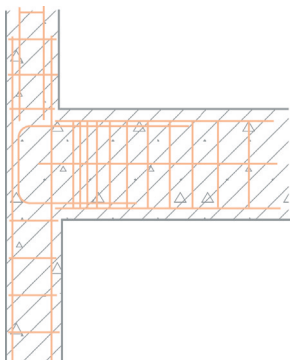
- Ferrailage standard d'un voile



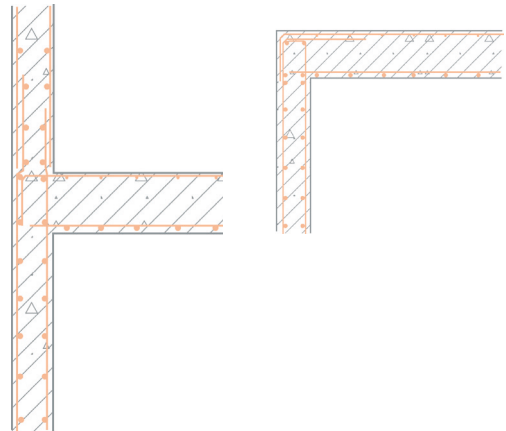
- Ferrailage standard d'une dalle



- Ferrailage nœud standard colonne/poutre

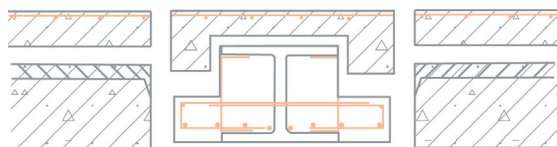
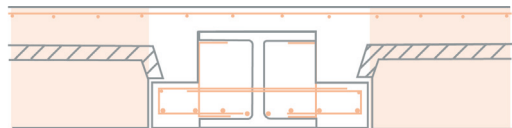


- Ferrailage nœud standard dalle/voile



Voici quelques exemples concrets issus du projet de l'hôpital Saint-Pierre à Ottignies :

- Zones de découpes entre colonne/poutre et poutre/dalle



Quadrillage des zones de découpes

Une organisation minutieuse de la découpe est à privilégier pour avoir une déconstruction efficace et rapide. Pour la découpe des éléments surfaciques comme les dalles et les voiles, le dessin d'un quadrillage permet de délimiter clairement les zones à découper.

PRÉCAUTION

Privilégier des largeurs maximales de 2,5m pour les dalles et voiles pour faciliter la manutention, le stockage et le transport. En effet, en Europe, les camions ont des largeurs de maximum 2,55m.

De plus, 2m50 pour la remise en œuvre, ce sont des dimensions standards pour avoir des hauteurs sous plafond confortables pour du logement, des bureaux, etc.

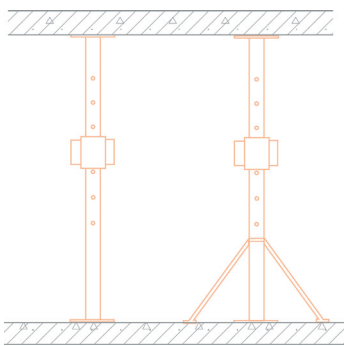
2. Stabilisation et sécurité du chantier de déconstruction

Lors de la déconstruction, les composants sont désolidarisés de la structure donatrice, qui est donc fragilisée. Des ingénieurs en stabilité vérifient donc le maintien et la sécurité de la structure tout au long de la déconstruction.

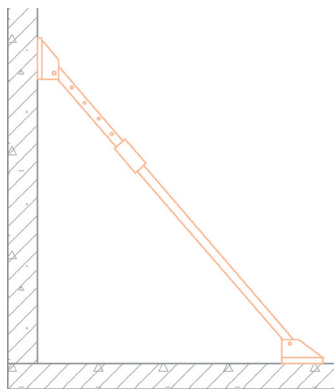
Ils détermineront le nombre d'étais à utiliser, leur emplacement ainsi que les éléments qui doivent être maintenus.

POUR INFO

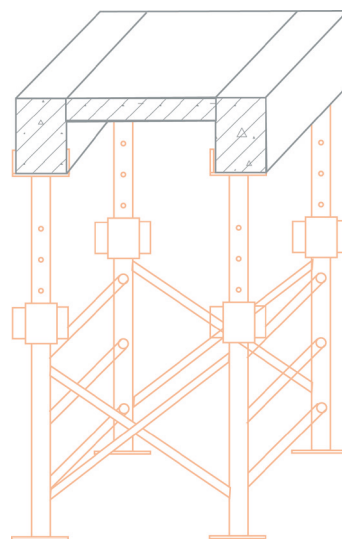
Il existe trois types d'étais :



1) Les étais standards en métal



2) Les étais tire- pouses



3) Tour d'étalement

PRÉCAUTION

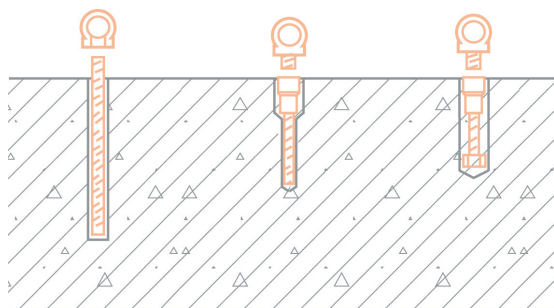
Attention que l'étalement assure la stabilité du bâtiment déconstruit mais il ne permet pas à maintenir les éléments quand ils sont complètement découpés.

Par exemple, une fois que deux , voir trois bords d'une dalle seront désolidarisés, c'est la grue qui va permettre de maintenir l'élément lors de sa dernière découpe.

3. Systèmes de levage

Trois types de fixations sont possibles pour permettre le levage des composants . Pour le dimensionnement, le type, le nombre et le positionnement de l'attache dans l'élément, il faut faire appel à un bureau d'études. Ils vont pouvoir déterminer ces critères en fonction du poids et de l'emplacement de l'élément.

Ancrage chimique



- Fabricant

En général, on ne soulève pas les éléments avec ce type d'attache, on les relève. Cependant , certains fabricants comme PFEIFER, ont fabriqué des douilles de levage qui garantissent un levage sécurisé.

Le scellement chimique peut être trouvé chez le fabricant Leviat Plaka ou PFEIFER avec des fiches techniques et des précautions précises à suivre pour optimiser l'ancrage.

- Mesures de précaution structurelle

Avec ce système, on doit transpercer une partie de l'élément, il faut donc s'assurer de ne pas percer des armatures assurant la résistance de l'élément.

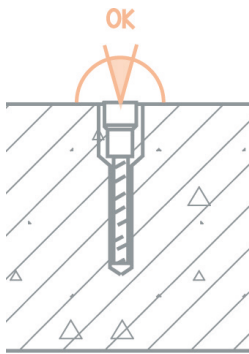
- Mesures de précaution technique

Pour optimiser le scellement chimique:

- Il faut privilégier le forage plutôt que le carottage (plus lisse) pour permettre au scellement de mieux adhérer au béton
- Il faut souffler avec une pompe de soufflage plutôt qu'un compresseur qui pourrait perdre de l'huile dans le forage et réduire l'adhérence au béton

- Mesures de précaution de levage

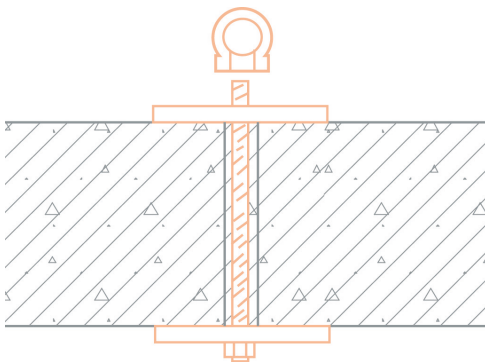
Avec ce système d'attache, il faut respecter un angle de levage de maximum 12,5%, ce qui signifie qu'il faudra employer des palonniers intermédiaires entre la grue et la fixation. Il existe des palonniers flexibles qui s'adaptent à n'importe quelles dimensions d'élément (ILSA)



- Mesures de précaution de levage

Avec ce système, mieux vaut éviter les angles avec les câbles de levage de la grue, cela pourrait endommager le béton. Il est recommandé d'utiliser un palonnier pour que la jonction entre l'anneau de levage et la chaîne de levage soit complètement à la verticale.

Ancrage mécanique traversant



- Avantages

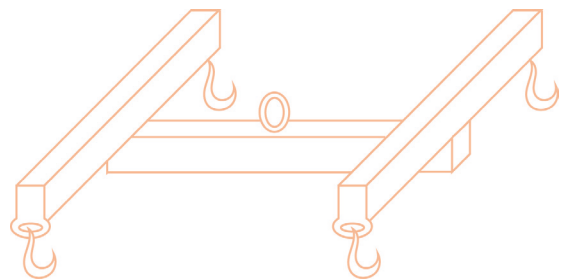
Réalisés à partir d'éléments en métal standardisés : écrou, plat métallique, tige filetée et anneau de levage.

- Mesures de précaution structurelle

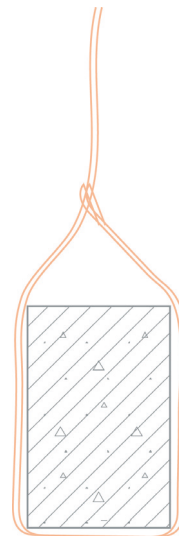
Comme ce système traverse tout l'élément, il faut être certain de pas endommager des armatures garantissant la résistance de l'élément.

- Mesure de précaution technique

Ajouter une couche d'élastomère entre le béton et le plat métallique pour limiter les dégradations du béton si la surface n'est pas uniforme.



Sangle



- Avantages

Vu que la sangle peut entourer l'élément, ça réduit le forage des armatures et réduit le temps de conception de l'étape

de levage. Elles sont bénéfiques pour les éléments comme les poutres.

- Inconvénients

Les sangles peuvent parfois s'utiliser qu'une seule fois et s'abîment très vite.

De plus, pour les grands éléments comme les dalles, colonnes ou voiles, il faut quand même forer pour les faire passer au travers de l'élément. Cette technique peut donc dégrader les bords du béton qui frottent sur la sangle et la sangle elle-même.

SCIAGE

Le sciage est réalisé par une entreprise spécialisée dans le domaine comme Diabéton ou Perce-béton. Cependant, les 4 types de machines de découpe sont décrites pour savoir quel type d'élément récupérer et comment. Même si le guide développe les étapes pour 4 éléments en béton, cette prise de connaissance permettra à l'architecte de savoir l'étendue des éléments qu'il pourrait récupérer avec ses outils.

Scie de sol

- Éléments découpés

Utilisée pour les routes et les dalles

- Profondeur de découpe

Si elle est électrique, on peut aller jusqu'à 24cm

Si elle est au diesel, on peut aller jusqu'à 62cm

Tronçonneuse thermique à disques diamantés

- Éléments découpés

Utilisée pour les dalles ou voiles

- Profondeur de découpe

Elle dépend de la taille du disque mais peut aller jusqu'à 15cm

Scie murale à disque diamanté

- Éléments découpés

Vu qu'elle est sur rails et qu'elle peut être fixée à l'horizontale comme à la verticale, elle est utilisée pour les poutres, colonnes, dalles et voiles

- Profondeur de découpe

En fonction des fabricants, elle peut aller jusqu'à 53cm chez Hilti et 101cm chez Adamas.

- Avantages
 - Elle est télécommandée à distance
 - Elle peut scier à ras
 - Elle est précise et rapide
 - Elle peut être raccordée à l'eau pour nettoyer en même temps

Scie à câble diamanté

- Éléments découpés

Grâce à ses nombreux accessoires comme les poulies et supports, la scie peut découper des éléments verticaux et horizontaux.

- Profondeur de découpe

Découpe à plus de 100cm de profondeur/épaisseur.

- Avantages
 - Moins de vibrations et de bruit
 - Découpe cylindrique
 - Peu de poussières et de débris
 - Moins d'atteinte musculaire et articulaire pour les ouvriers
- Points d'attention

Machine lourde donc il faut des engins pour le levage ou des espaces de circulation libre (elle est sur roues).

POUR INFO

Husqvarna fabrique toute une gamme de scie de sol. Tandis que Hilti fabrique toute une gamme de tronçonneuse électrique et thermique, de scie murale et à câble. Adamas fabrique aussi une autre gamme de scie murale.

Pour en savoir plus, toutes les fiches techniques des machines se trouvent sur leurs sites internet respectifs.

TRANSPORT

Une fois désolidarisés, les éléments sont manutentionnés grâce à des grues fixes ou mobiles et déposés sur la zone de stockage.

Une fois stockés sur le lieu défini, les éléments peuvent être rangés aux bons endroits à l'aide de plus petites machines comme des chariots élévateur ou télescopiques. Certains sont, en effet, très robustes et peuvent porter jusqu'à 8 tonnes. De plus pour les plus grands éléments comme les voiles ou les dalles, des rallonges de fourches peuvent venir allonger la prise des machines et permettre ainsi de soulever n'importe quel type d'élément. Attention de toujours respecter 1/3 de porte à faux, en avant, sur les fourches pour ne pas risquer un déséquilibre des éléments.

Une autre technique est de suspendre l'élément grâce aux ancrages de levage préalablement intégrés pour la manutention à la grue.

PRÉCAUTION

Pour limiter les déplacements intermédiaires entre le chantier de déconstruction et le lieu de stockage lorsqu'il est sur le même chantier, il faut vérifier les rayons de giration des grues et les placer à des endroits stratégiques pour qu'elles puissent déposer les éléments directement sur une zone transitoire de l'espace de stockage extérieur.

ENTRETIEN & RÉPARATION

04

Ce chapitre explique les différentes manières de réparer les éléments en béton récupérés.

Il présente aussi les techniques pour protéger les armatures qui ont été sciées qui seront soit temporairement au contact de l'extérieur pendant le stockage, soit définitivement, si ce sont des éléments en béton qui sont réutilisés dans la nouvelle structure comme béton apparent. Pour cette dernière réutilisation, on verra aussi dans quel cas un béton prévu pour être utilisé à l'intérieur peut être réutilisé à l'extérieur.

RÉPARATION DU BÉTON

Lorsqu'un élément en béton est récupéré, il peut parfois présenter des imperfections, il a été endommagé pendant la collecte ou la manutention (cf. 02. Audit et Inventaire: évaluation des dommages).

Plusieurs solutions permettent de réparer alors l'élément:

1) L'élément est fortement endommagé

Sa résistance est impactée, il faudra alors revoir le potentiel de sa réutilisation avec un bureau d'études.

2) L'élément est modérément endommagé

Les parties en béton écorchées peuvent alors être resciées ou réparées avec du mortier (Sika).

PRÉCAUTION

Si la partie écorchée a atteint l'armature et que celle-ci est visible, attention de bien la protéger avec une protection anti-corrosion (Sika) avant de reboucher le trou au mortier.

3) L'élément est faiblement endommagé

Si uniquement la surface du béton est abîmée, alors on polit juste la surface avec une surfaceuse à béton pour relisser.

PROTECTION DES ARMATURES TEMPORAIREMENT

Une fois les éléments sciés, certaines parties des armatures vont rester visibles et au contact des intempéries (gel, pluies).

Si les éléments sont utilisés à l'intérieur, alors il faudra les protéger des intempéries temporairement. En effet, les armatures seront soumises au contact de l'extérieur uniquement pendant la phase de stockage. On appliquera alors un produit anti-corrosion sur les armatures.

RÉUTILISATION DU BÉTON INTÉRIEUR COMME ÉLÉMENT EXTÉRIEUR

Comme vu précédemment, certains éléments intérieurs vont être récupérés pour être soit réutilisés à l'intérieur, soit à l'extérieur. Mais comment savoir si un élément en béton utilisé dans sa fonction d'origine peut être réutilisé comme élément extérieur ?

Les bétons ont différentes classes d'exposition selon leur résistance à leur environnement qui dépendent d'une part de leur composition mais également de l'épaisseur d'enrobage des armatures.

Les classes d'environnement du béton

Les bétons ont plusieurs propriétés spécifiques:

- Il doit être conforme aux normes NBN EN 206:2013 + A1: 2016 et NBN B 15-001:2018
- Une classe de résistance (A)
- Un domaine d'utilisation (B1)
- Un ou des classes d'environnement (B2)

- Une classe de consistance (C)
- Des dimensions maximales des granulats (D)
- Des données complémentaires (E)

En général, un béton initialement conçu pour un usage intérieur ne sera pas forcément adapté à un usage extérieur. Cela dépendra surtout de son exposition aux intempéries (pluies et sels de déverglaçage). Cependant, il est possible de limiter l'exposition à l'eau et aux sels ou d'appliquer des produits/ résines pour protéger l'élément.

C'est grâce à toutes ses propriétés (qu'on aura récolter pendant la phase d'audit et d'inventaire), que l'ingénieur pourra savoir si l'élément en béton est assez résistant et robuste pour être utilisé comme élément en contact avec les intempéries (gel, pluie, etc).

Si on manque de cette documentation, il est alors plus conservateur de considérer la classe selon l'environnement d'origine de l'élément et de conserver le même pour le réemploi.

PRÉCAUTION

Éviter les réparations et le traitement des éléments en béton sur le chantier de déconstruction. Privilégier une zone de réparation sur le lieu de stockage pour traiter les éléments indépendamment de la phase de collecte pour limiter la perte de temps sur le chantier de déconstruction et les surcoûts associés.

POUR INFO

Tableau des prescriptions générales pour la spécifications des bétons (CSTC, 2018).

Béton conforme aux normes NBN EN 206 et NBN B 15-001								
Données de base A: Choisir la classe de résistance C fck, cyl/fck, cube (1) (2)								
Classe	C8/10	C12/15	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50
	C45/55	C50/60	C55/67	C60/75	C70/85	C80/95	C90/105	C100/115
Données de base B1: Choisir le domaine d'utilisation								
BNA	Béton non armé (teneur en ions chlore rapportée à la masse de ciment ≤ 1,00 %)							
BA	Béton armé (teneur en ions chlore rapportée à la masse de ciment ≤ 0,40 %)							
BP	Béton précontraint (teneur en ions chlore rapportée à la masse de ciment ≤ 0,20 %)							
Données de base B2 : Choisir la classe d'environnement								
Classe	Description					BNA Classe de résistance min.	BA/ BP Classe de résistance min.	
	Environnement non agressif							
E0						C12/15	Pas d'application	
	Environnement intérieur sec							
E1						C12/15	C16/20	
	Environnement extérieur ou intérieur humide							
EE1	Pas de gel					C12/15	C20/25	
EE2	Gel mais pas de contact avec la pluie					C25/30	C25/30	
EE3	Gel et contact avec la pluie					C30/37 C20/25 (3)	C30/37 C25/30 (3)	
EE4	Gel et sels de déverglaçage					C35/45 C25/30 (3)	C35/45 C30/37 (3)	
	Environnement marin							
ES1	Contact avec air marin (jusqu'à 3km de la côte) ou eau saumâtre - sans gel					C20/25	C30/37	
ES2	Contact avec air marin (jusqu'à 3km de la côte) ou eau saumâtre - avec gel					C30/37 C20/25 (3)	C30/37 C25/30 (3)	
ES3	Contact avec eau de mer - éléments immergés					C25/30	C35/45	
ES4	Contact avec eau de mer - éléments exposés aux marées et éclaboussures					C35/45 C25/30 (3)	C35/45 C30/37 (3)	
	Environnement chimiquement agressif (toujours en combinaison avec une des classes d'environnement ci-dessus mentionnées)							
EA1	Faible agressivité chimique C25/30 C25/30					C25/30	C25/30	
EA2	Moyenne agressivité chimique C30/37 C30/37					C30/37	C30/37	
EA3	Forte agressivité chimique C35/45 C35/45					C35/45	C35/45	

Données de base C: Choisir la classe de consistance									
Classe					Affaiblissement (mm)				
S1					10 à 40				
S2					50 à 90				
S3					100 à 150				
S4					160 à 210				
S5					> 220				
Donnée de base D: Choisir la dimension maximale des granulats									
6	8	10	11	12	14	16	20	22	32
Données complémentaires E									
Mesures contre la réaction alcali-silice: Niveau de prévention (PREV)									
PREV 1		Éléments de construction pour lesquels les effets de la RAS sont très limités (béton non armé, bétons)							
PREV 2 (par défaut)		Éléments de construction pour lesquels les effets de la RAS sont peu acceptables (ex: béton de structure)							
PREV3		Éléments de construction pour lesquels les effets de la RAS ne sont pas acceptables (ex: travaux d'infrastructures)							
Béton pompé ou non									
Teneur en air sur béton frais de 3,0 % pour sols talochés ou polis									
Autres exemples: absorption d'eau par immersion WAI, type de ciment (par exemple, ciment à haute résistance aux sulfates suivant NBN B 12-108), teneur en ciment autre que celle prévue dans les classes d'environnement, béton avec air entraîné, classe de teneur en chlorures inférieure à celle d'application, ...									
(1) fck, cyl = résistance à la compression sur cylindre ([N/mm²], cylindre de 300 mm de hauteur et 150 mm de diamètre)									
fck, cub = résistance à la compression sur cube ([N/mm²], cube de 150 mm de côté)									
(2) Tenir compte de la classe d'environnement pour le choix de la classe de résistance									
(3) Béton avec air entraîné									



STOCKAGE

05

Ce chapitre aborde les points importants à prendre en compte pour le stockage des éléments en béton que ce soit à l'intérieur d'un bâtiment existant ou/ et à l'extérieur, tout en veillant à préserver la résistance et la sécurité des éléments stockés.

STOCKAGE

Le stockage d'éléments de réemploi peut se faire soit in-situ, donc sur le site de déconstruction même, ex-situ, sur un autre site ou chez des revendeurs. Cependant les revendeur d'éléments structuraux en béton n'existent pas encore en Belgique.

Le stockage peut se faire sur des espaces extérieurs comme des parkings ou des espaces déjà imperméabilisés.

PRÉCAUTION

Privilégier des espaces de stockage extérieur déjà imperméabilisés permet de réduire:

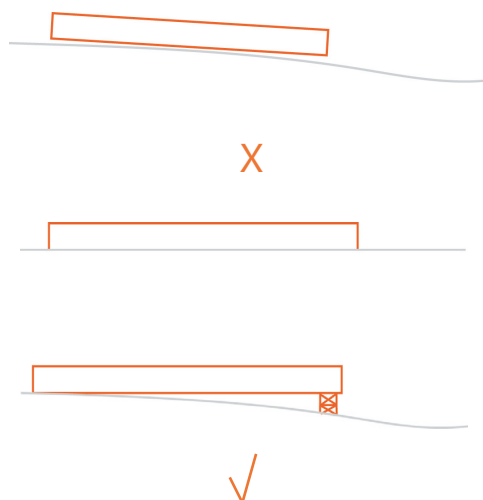
- L'impact environnemental
- Le temps du chantier
- Le coût
- L'imperméabilisation de zones perméables

Le stockage peut aussi se faire dans des espaces intérieurs temporairement non-occupés. Ces espaces peuvent être intéressants pour stocker des petits éléments en béton plus légers qui pourraient être plus facilement volés

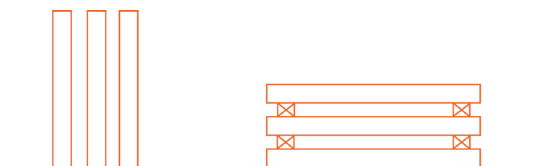
(Pavés et dallages, petites poutres, granulats, etc).

Pour ces deux types de stockage que ce soit intérieur ou extérieur, il y a plusieurs aspects à prendre en compte:

- Privilégier des zones plates ou si ce sont des pentes faible, mettre des cales en dessous du premier élément



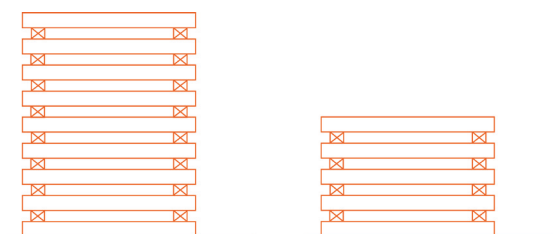
- Stocker les éléments à plat, horizontalement pour faciliter la manutention



X

✓

- Limiter l'empilement à 5/6 éléments pour garantir la stabilité et la sécurité de l'ensemble



X

✓

- Mettre des appuis en bois de 20 x 20 cm entre chaque élément: en fonction de la taille de l'élément, voir avec le bureau d'études, combien il faut en mettre. Pour une dalle de 2,50/ 3 m, on va en mettre 3, voir 4

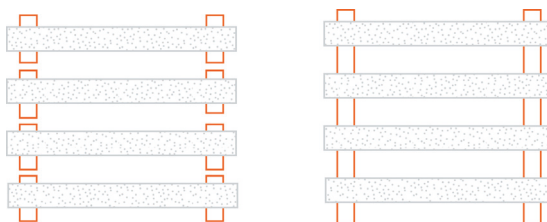


X



✓

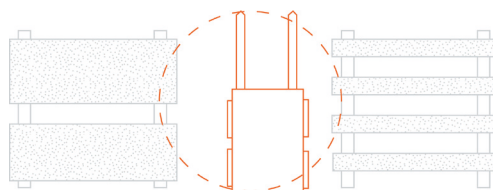
- Pour les éléments ponctuels et linéaires comme les poutres et les colonnes, mettre plusieurs éléments les uns derrière les autres et utiliser une seule cale pour stabiliser la pile



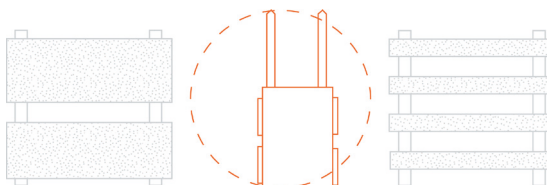
X

✓

- Attention à laisser des travées de circulation suffisamment large pour le passage des engins de manutention (chariots élévateurs). Ne pas hésiter à aller voir les fiches techniques des rayons de giration de ces machines pour dimensionner les allées tant intérieures qu'extérieures

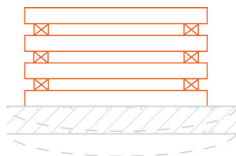


X

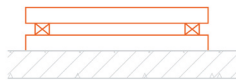


✓

- Pour le stockage intérieur uniquement:
avec le bureau d'étude, estimer la résistance des dalles existantes pour savoir quel poids maximum d'éléments en béton peuvent être stockés

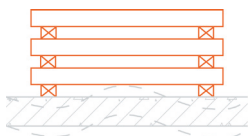


X



✓

- Pour le stockage intérieur uniquement:
Poser le premier élément en béton à plat pour mieux répartir les efforts sur la dalle existante et réduire les risques de poinçonnement du radier du sol. Les éléments en béton au sol seront alors manutentionnés grâce aux fixations préalablement mises pour le levage.



X



✓

REMISE EN OEUVRE

06

Ce chapitre présente les différentes solutions de remise en œuvre des éléments en béton récupérés. Comme la réutilisation et les assemblages sont propres à chaque élément et à chaque situation, l'étape de la remise en œuvre est difficile à généraliser. Cependant, on peut émettre plusieurs solutions pour les assemblages qui devront être étudiés au cas par cas, par un bureau d'études. Ces assemblages sont donc développés dans ce chapitre et sont directement mis en application dans des exemples concrets réalisés pour le projet architectural du travail de fin d'étude.

RÉUTILISATION

Une seule solution comme exemple

De nombreuses possibilités s'offrent à nous lorsqu'on veut réemployer un élément. Un voile en béton peut devenir voile, ou des morceaux de voiles peuvent devenir des blocs en béton empilables ou encore des lamelles de béton.

Le but du guide est de montrer une seule solution de réutilisation. Chaque élément, est réutilisé de manière équivalente, c'est-à-dire qu'il a la même fonction qu'il avait initialement.

Cependant, le guide montre toutes les étendues de solutions possibles pour remettre en œuvre différents éléments. Une fois, ses principes bien établis et compris, l'architecte est donc libre d'imaginer d'autres solutions de réutilisation des éléments que celles proposées ici.

Champ d'application

Les fondations sont exclues du champ d'application. Cet élément est très complexe à réemployer au vu de sa nature incertaine. En effet, l'élément se trouvant dans le sol, il n'est pas toujours mis en œuvre exactement comme les plans de construction l'indiquent.

Ce chapitre développe donc la réutilisation et la remise en œuvre d'une colonne en colonne, d'un voile en voile, d'une dalle (U, plate, hourdis) en dalle et d'une poutre en poutre.

LES TYPES D'ASSEMBLAGE

Il existe trois types d'assemblage différents.

La pose

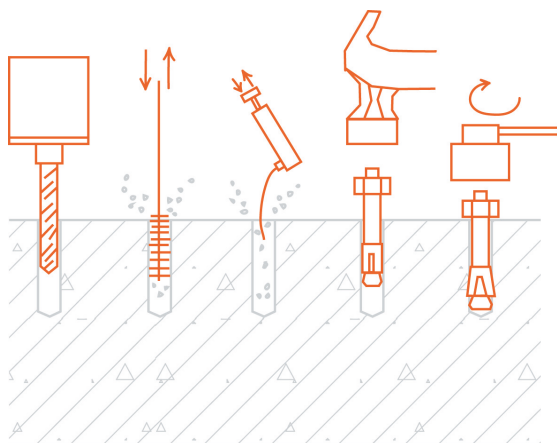
Pour certains éléments, quand ils sont uniquement soumis à de la compression, ils peuvent juste être posés sur le support. Cependant, cette technique est peu utilisée, elle est souvent combinée avec un autre type d'assemblage.

Les assemblages mécaniques

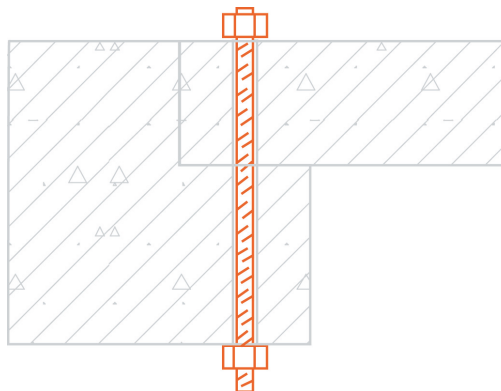
Les assemblages mécaniques ont l'avantage d'être complètement réversibles car ce sont des assemblages à sec.

Ce sont des assemblages réalisés grâce à des équerres ou des plats métalliques souvent faits sur mesure. Ils peuvent être ancrés à l'élément de différentes manières:

- Grâce à des boulons expansibles



- Grâce à des tiges filetées mais traversant complètement l'élément. Lorsqu'il y a beaucoup de sollicitations et d'efforts, on va opter pour un système traversant plus sûr et reprenant plus d'efforts.

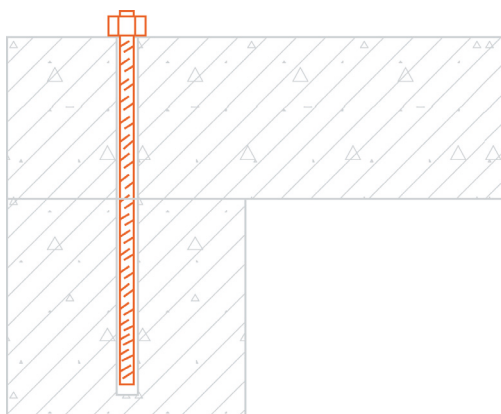


Les assemblages chimiques

Les assemblages chimiques ou assemblages dit humide permettent de sceller complètement les éléments entre eux.

- Grâce aux tiges filetées

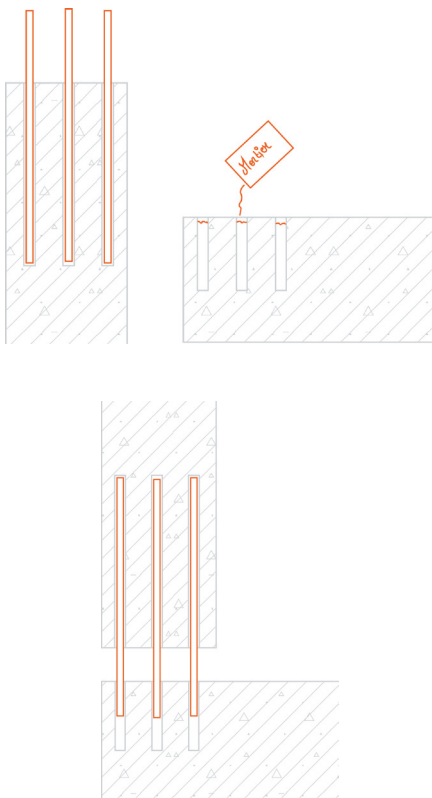
Les tiges sont ancrées chimiquement dans le premier élément et servent comme des armatures en attente. Le deuxième élément, préalablement foré, est enfilé sur la tige et fixé au premier élément avec des boulons.



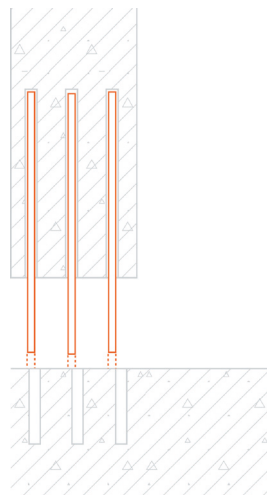
- Grâce à des goujons

Le goujon est ancré chimiquement dans un élément en béton. L'autre élément est troué par forage et du mortier de scellement est coulé.

Ou bien, dans le cas de jonction entre une dalle et une poutre, le goujon est ancré dans la poutre. Du mortier de scellement sans retrait ou du béton (si la place de la jonction le permet) est coulé dans le vide entre la poutre et la dalle (cf. Exemples concrets).



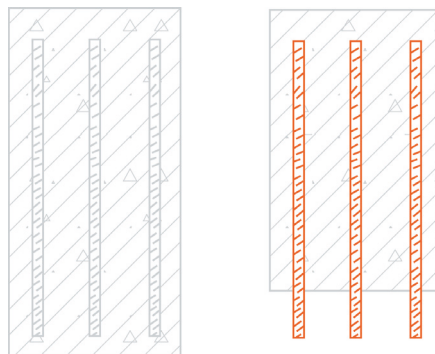
La difficulté avec cette technique, c'est que quand il y a plusieurs tiges en attente, il faut que les trous de forage du deuxième élément soient parfaitement alignés pour être enfilés.

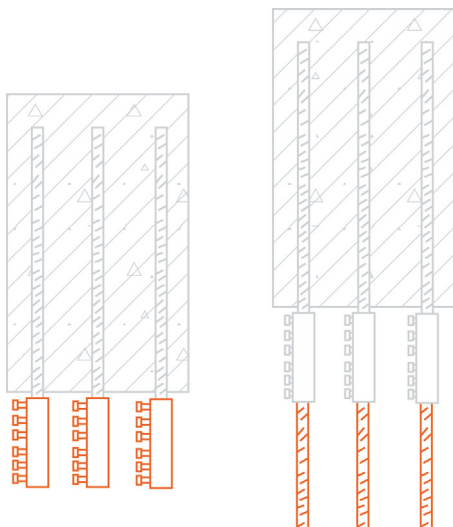


- Grâce au raboutage d'armatures

Le fabricant Levia Plaka fabrique des manchons spécifiques (MBT) qui permettent de rabouter des armatures. Le manchon fait entre 10 et peut aller jusqu'à 48,4 cm de long et peut accueillir entre 10 et 40mm de diamètre d'armatures.

En dégagant l'armature de l'élément en béton récupéré, sur quelque centimètre, le manchon peut être fixé à celle-ci. A l'autre bout, une nouvelle armature d'attente est rajoutée pour permettre de refaire des nœuds d'assemblage coulés sur place.





Quel assemblage utilisé?

Le type d'assemblage à utiliser dépend de plusieurs facteurs:

- L'emplacement des armatures des éléments en béton récupérés: si utilisation de plat ou équerre métallique traversant l'élément, attention à ne pas percer les armatures participant à la résistance de l'élément
- Les efforts à reprendre: cisaillement, traction, compression. Selon les types d'attaches, certaines reprendront le soulèvement, d'autres le basculement
- La visibilité de l'élément en béton: si il est non visible, alors les équerres et les plats métalliques peuvent être employés. Si il est visible, on évitera le plus possible ses solutions.

Le type d'assemblage, leurs emplacements dans l'élément, leurs dimensions, leurs quantités seront définis par un bureau d'études.

PRÉCAUTIONS

1) TOUJOURS utiliser des appuis élastomères entre deux éléments en béton car les faces peuvent avoir des imperfections et ne pas être complètement planes. L'appui permet alors de reprendre ses imperfections et d'uniformiser la répartition des contraintes. On limite ainsi les risques de fissurations ou de déséquilibre de l'élément.

2) Quand on utilise des assemblages mécaniques, le contreventement n'est pas repris. En effet, les équerres ou plats métalliques devront être surdimensionnés pour reprendre de tels efforts. C'est pour cette raison, qu'avec l'aide d'un bureau d'études, il faut intégrer des systèmes de contreventement dans la conception de la structure: Voile perpendiculaire ou des tirants par exemple.

3) Lorsque que l'on met des attaches dans le béton, il y a ce qu'on appelle des cônes de contrainte qui sollicitent une certaine surface du béton. Plus la base de l'attache est large, plus la partie du béton qui adhère à la limite de ce cône est grande. Quand on agrandit la base d'une attache, on augmente donc son adhérence au béton. Il faut donc faire attention lorsque des attaches sont trop proches l'une de l'autre que les cônes de contrainte ne se superposent pas sinon ils n'adhéreront pas au béton.

Partie en béton coulée sur place

Même si le réemploi d'élément en béton limite la fabrication de béton neuf, la remise en œuvre de ses éléments demandent parfois de couler du béton neuf:

- Pour les fondations
- Pour certains assemblages
- Pour les réparations de certains éléments
- Pour resolidariser des dalles ou hourdis ensemble
- Pour les chapes de pente
- etc

Il faut évidemment essayer de limiter au maximum le béton neuf mais parfois, pour des raisons structurelles, il n'y a pas d'autres solutions. Cependant cette quantité est tellement minime, qu'elle n'a pas trop d'impact environnemental.

De plus, une piste pourrait être explorée, lors de la déconstruction du chantier donneur, les éléments vont être récupérés un maximum dans leur entièreté. Cependant, au niveau des jonctions entre les éléments ou bien lorsqu'ils seront trop endommagés, le béton sera réduit en agrégats.

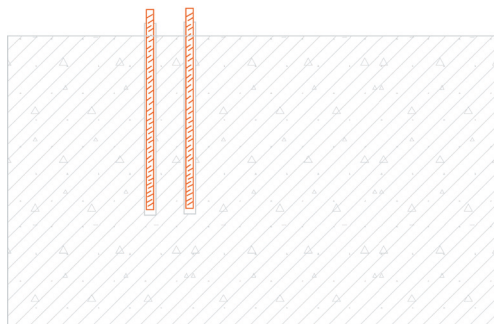
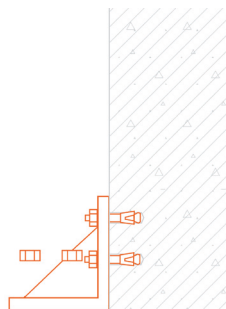
Actuellement, le béton recyclé à base d'agrégats est utilisé pour les remblais ou les routes, une solution serait d'envisager de les réutiliser pour couler les nœuds constructifs, les chapes de solidarisation ou bien encore les fondations ...

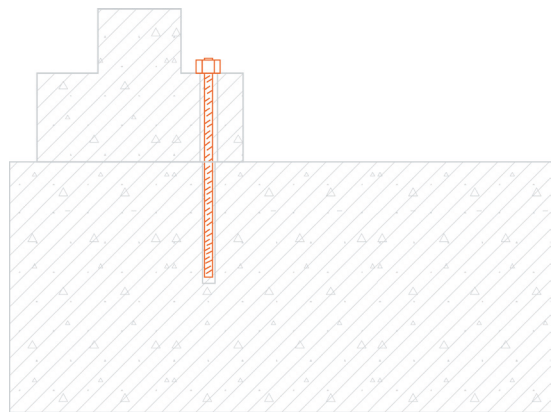
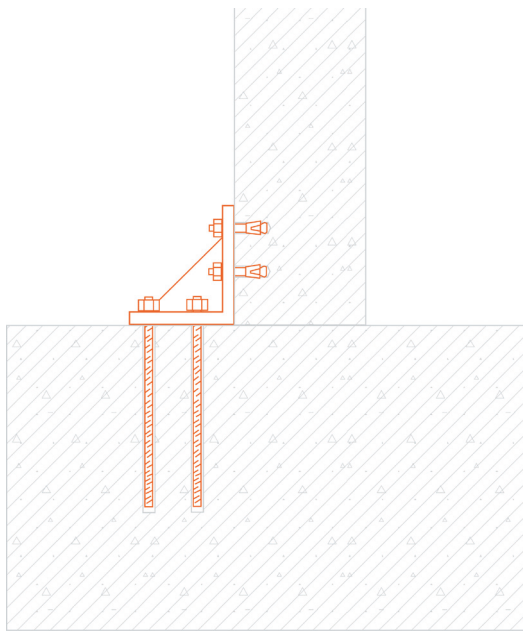
EXEMPLES CONCRETS

Comme dis précédemment, des exemples concrets d'assemblages d'éléments en béton ont été pensés et réfléchis avec Yves Du Mortier, spécialiste en connexion du gros œuvre du bâtiment. Ces exemples sont directement issus de la conception d'un bâtiment expérimental dans le cadre du projet architectural de mon travail de fin d'études.

Assemblage semelle- colonne

Équerres fixées dans la fondation par des tiges filetées ancrées chimiquement et fixées dans la colonne avec des boulons expansibles.



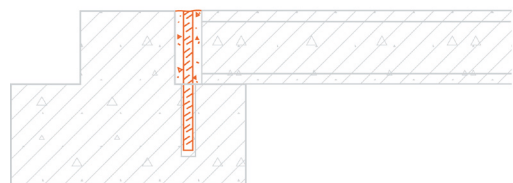
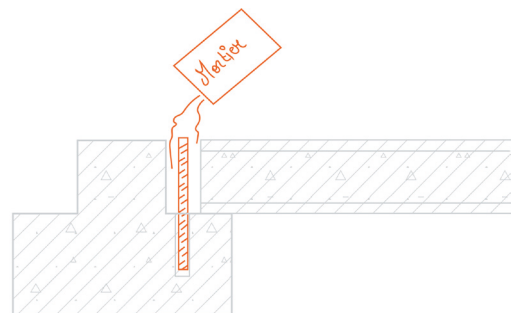
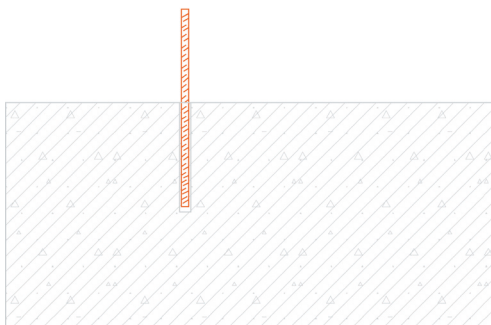


Assemblage poutre - hourdis

Le goujon est ancré chimiquement dans la poutre et un mortier de scellement sans retrait permet de le figer à la poutre et au hourdis.

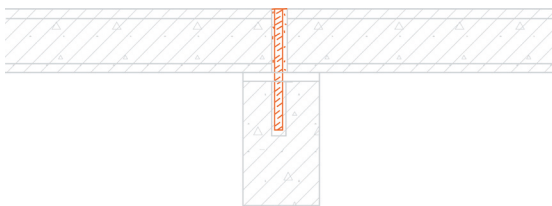
Assemblage semelle- poutre

La poutre est fixée dans la semelle avec des goujons ancrés chimiquement et bloqués par un boulon dans sa partie supérieure.

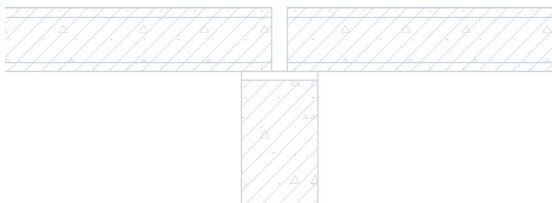


Assemblage poutre - hourdis - hourdis

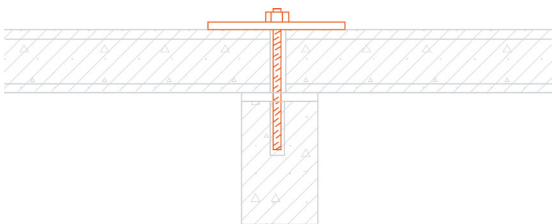
- Soit ils sont scellés avec des goujons et du mortier.



- Soit ils sont juste posés, si les efforts sont uniquement en compression. Il faudra alors peut-être couler une chape de solidarisation (voir avec Bureau d'études).



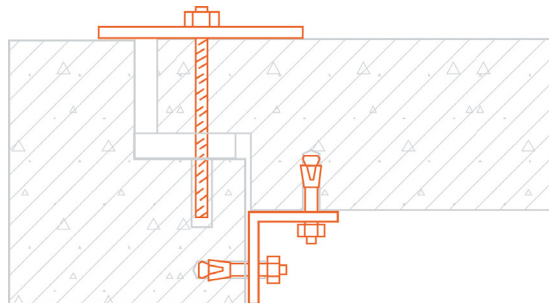
- Soit un goujon est ancré chimiquement dans la poutre et un plat métallique avec boulon mis par au-dessus permet de fixer les deux hourdis à la poutre.



Assemblage poutre d'about- hourdis

Des goujons sont ancrés chimiquement dans la poutre et le hourdis est enfilé par au-dessus. Des plats métalliques et des boulons permettent de fixer le hourdis à l'ancrage. Si les armatures de l'about du hourdis sont coupées, alors il faudra

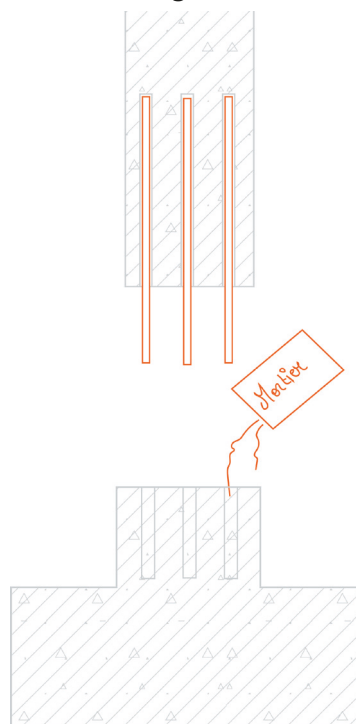
mettre des équerres de renfort ancrées, ponctuelles, en dessous du hourdis.

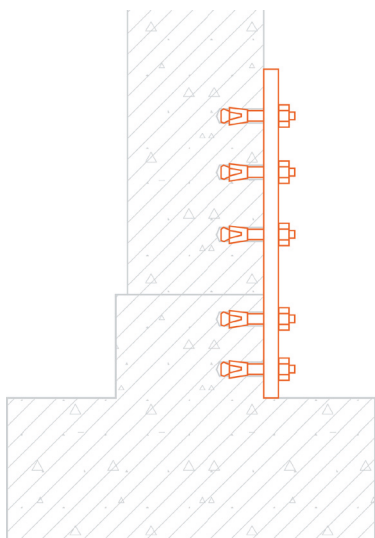


Assemblage poutre- voile

Des goujons sont ancrés chimiquement dans le voile. Des trous sont forés ponctuellement sur la semelle filante et sont ensuite remplis de mortier de scellement sans retrait.

Des plats métalliques sont boulonnés ponctuellement sur le côté du voile pour renforcer l'assemblage.



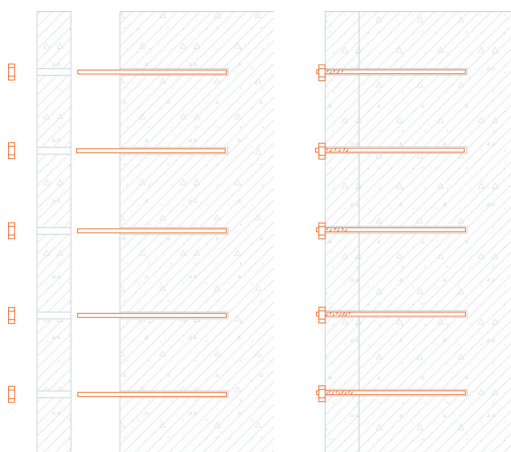


Cet assemblage, pour le voile, peut aussi être assuré par un plat métallique ancré avec des boulons expansibles. Pour l'assemblage d'éléments linéaires, les plats métalliques sont plus simples à mettre en œuvre que l'ancrage, qui doit absolument être aligné en face des trous de forage de l'autre élément.

La dalle est fixée à la poutre par une tige filetée traversant toute la dalle et boulonnée de part et d'autre.

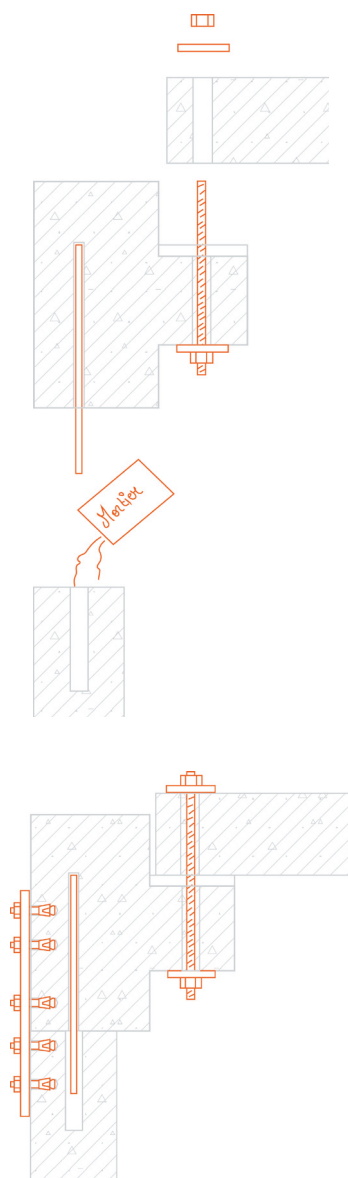
Assemblage voile- voile

Les voiles sont ancrés l'un à l'autre grâce à des tiges filetées ancrées chimiquement sur un voile. Et l'autre est troué par forage pour enfile le premier voile et le boulonner.



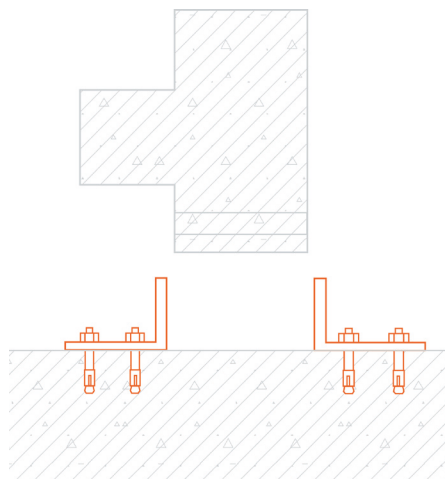
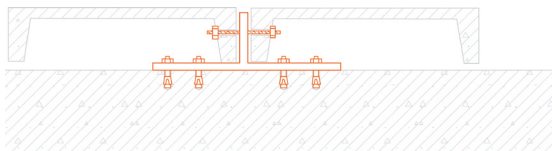
Assemblage colonne - poutre - dalle ou voile - poutre - dalle

La colonne/ voile est fixée par ancrage chimique. Le goujon est ancré chimiquement dans la poutre et par scellement dans la colonne.



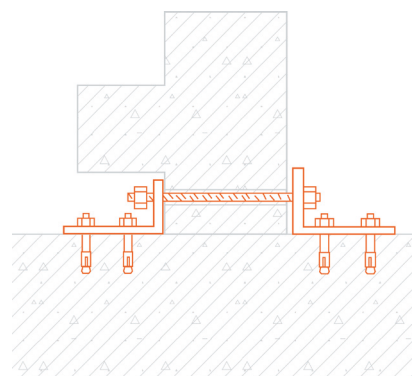
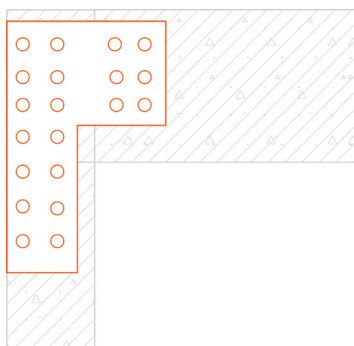
Assemblage poutre - dalle U - dalle U

Une équerre spécifique en T renversée permet de fixer les éléments entre eux. L'équerre est fixée à la poutre avec des boulons expansibles tandis que les deux U sont traversés par une tige et boulonnés de part et d'autre, par l'intérieur.



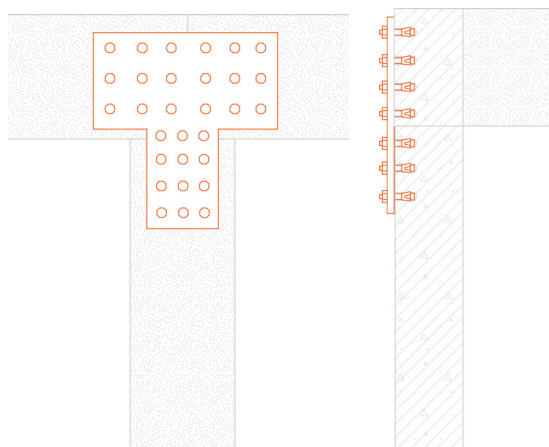
Assemblage poutre about - poutre

Les poutres sont maintenues entre elles grâce à des gros plats métalliques ancrés avec des boulons expansibles.



Assemblage colonne - poutre - poutre

Un gros plat métallique en T permet de fixer les 3 éléments ensemble.

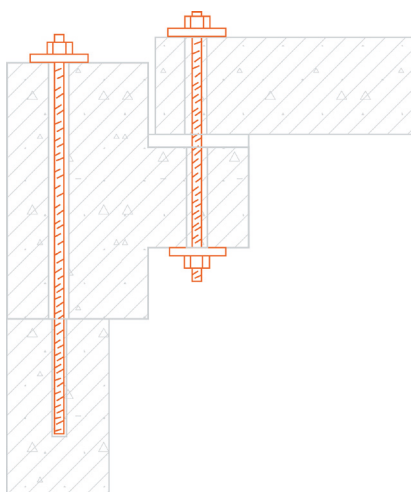


Assemblage voile - poutre perpendiculairement

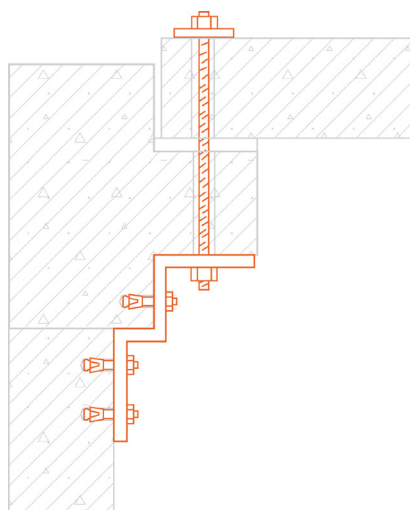
Les poutres sont fixées au voile perpendiculairement avec des équerres. Elles sont maintenues sur le voile par des boulons expansibles et la poutre est complètement traversée et maintenue à l'équerre par une tige boulonnée de part et d'autre.

Assemblage poutre - colonne

Cette technique est plus complexe à mettre en œuvre car il faut forer dans la colonne assez profond sans dévier vers l'extérieur. Ici, on vient donc percer la colonne sur quelques centimètres, on vient ancrer chimiquement des tiges filetées et on enfle ensuite la poutre par au- dessus en boulonnant le tout.



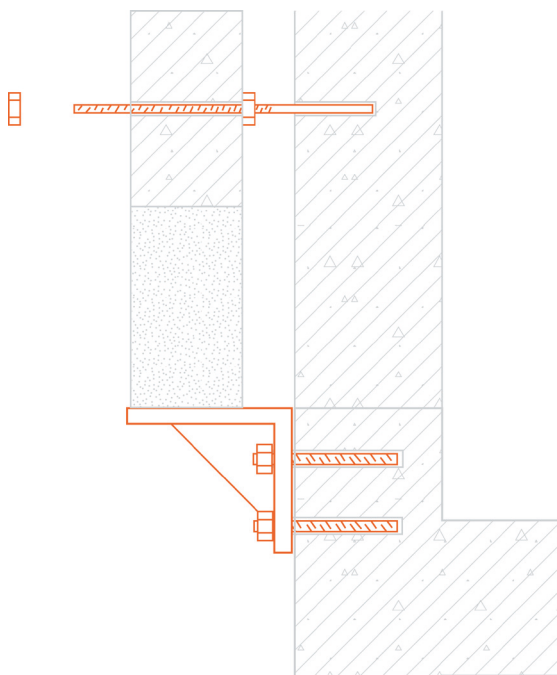
Si l'ancrage chimique est trop complexe, on peut alors mettre une équerre sous la poutre et l'ancrer dans les éléments avec des boulons expansibles.



Assemblage mur en bloc béton - colonne - poutre

Les blocs en béton étant assez volumineux, ils sont autoporteurs. Cependant, ils sont maintenus à la structure existante par des tiges filetées. Celles- ci sont ancrées chimiquement dans la colonne et dans la poutre supérieure de la structure. Les blocs sont enfilés et maintenus par des boulons, légèrement enfoncés dans le bloc, pour ne pas être trop visible de l'extérieur.

La première rangée de blocs du moucharabieh est maintenue par une cornière ancrée dans la poutre de fondation.



Les blocs sont maintenus entre eux avec des goujons scellés chimiquement.

