

**Disclaimer**

Deze fiche is bedoeld voor ontwerpers, bestekschrijvers en andere leden van projectteams die dit bouw materiaal of -product willen hergebruiken. Ze maakt deel uit van een reeks fiches met als doel de momenteel beschikbare informatie samen te brengen om het hergebruik van bouwmaterialen en -producten te vergemakkelijken.

Deze fiche is opgesteld door Bellastock in het kader van het Interreg FCRBE-project - Facilitating the Circulation of Reclaimed Building Elements, gesteund door het volledige projectpartnerschap. Informatiebronnen zijn onder meer de ervaring van hergebruikhandelaars en de betrokken projectpartners, lessen uit voorbeeldprojecten, beschikbare technische documentatie, etc.

De reeks fiches is opgesteld tussen 2019 en 2021. Aangezien de hergebruiksector volop evolueert is het mogelijk dat sommige gegevens, vooral met betrekking tot prijzen en beschikbaarheid, mettertijd veranderen. Wanneer in de tekst wordt verwezen naar Europese normen is het aan het projectteam om, indien nodig, te verwijzen naar hun nationale implementaties en lokale bijzonderheden.

Het is belangrijk op te merken dat de hier gepresenteerde informatie niet exhaustief is of de deskundigheid van professionals beoogt te vervangen. Specifieke vragen zijn altijd projectgebonden en moeten als dusdanig worden behandeld.

De volledige verzameling fiches (inclusief de inleidende fiche) is vrij verkrijgbaar op verschillende referentiewebsites (o.a. opalis.eu, nweurope.eu/fcrbe, futureuse.co.uk).

Een niet-exhaustieve lijst van handelaars in gerecupereerde bouwmaterialen is beschikbaar op opalis.eu en salvoweb.com.

Interreg FCRBE-partnerschap: Bellastock (FR), Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf / WTCB (BE), Leefmilieu Brussel (BE), het Centre Scientifique et Technique du Bâtiment / CSTB (FR), Confederatie Bouw (BE), Rotor (BE), Salvo (UK) en University of Brighton (UK)

De informatie in dit document is niet noodzakelijkerwijs een weergave van het standpunt van alle partners van het FCRBE-project, noch van de financierende autoriteiten.

Tenzij uitdrukkelijk anders vermeld is de inhoud van deze fiches gecrediteerd onder het Creative Commons Attribution NonCommercial - Share Alike formaat (CCBY-NC-SA).



Tenzij uitdrukkelijk anders vermeld zijn de in dit document gebruikte afbeeldingen eigendom van © Bellastock. Voor alle andere afbeeldingen werd er systematisch om toestemming tot publicatie gevraagd aan hun auteurs of rechtmatige eigenaars. Wanneer dit verzoek niet werd beantwoord namen we aan dat er geen bezwaren waren tegen het voorgenomen gebruik van de afbeelding. Indien u van mening bent dat deze interpretatie onredelijk is, gelieve het ons dan te laten weten.

Figuren:

Figuur 1 tot figuur 8 zijn afkomstig uit: Guide méthodologique et technique pour le réemploi de béton en murs, Rédacteur Etienne Prat, CSTB. Dans *REPAR#2 Le réemploi passerelle entre architecture et industrie*, mars 2018, BENOIT J, SAUREL G, BILLET M, BOUGRAIN F, LAURENCEAU S, ADEME, BELLASTOCK, CSTB.



Beschrijving van het materiaal

Betonnen muren of wanden zijn massieve, verticale constructies van gewapend beton, geprefabriceerd of rechtstreeks ter plaatse gestort.

We onderscheiden twee types wanden:

→ *dragende wanden* (of zelfdragende wanden). Deze dragen bij aan de stabiliteit van het gebouw en dragen voornamelijk verticale lasten (vb. buitenwanden, kopse wanden, etc.).

→ *niet-dragende wanden*. Deze dragen geen andere lasten dan hun eigen gewicht (o.a. scheidingswanden in het interieur, etc.).

We spreken van een 'wand' als de lengte van het element minimaal gelijk is aan 4-maal zijn dikte. De dikte verschilt naargelang de last die moet worden gedragen, met een minimum van 15 cm voor wanden die zijn blootgesteld aan de weersomstandigheden. Over beperkte oppervlakken kan echter een dikte van 10 tot 15 cm worden toegestaan, zolang deze in overeenstemming blijft met de uitvoeringsbepalingen voor de wapening.

Binnenwanden zijn niet blootgesteld aan regen. Zij verschillen van de *buitenwanden*, die doorgaans waterdicht worden gemaakt met een waterdichte coating.

In het merendeel van de gevallen zullen de voor hergebruik gerecupereerde wanden de vorm hebben van rechthoekige panelen van maximaal 3 × 2m.

Betonwanden zijn zo goed als afwezig op de hergebruikmarkt. Maar op initiatief van de opdrachtgevers en/of ontwerpers is het met een aanpak op maat binnen een specifiek project zeker mogelijk om betonwanden te hergebruiken.

Er zijn verschillende bouwelementen die kunnen worden hergebruikt als betonwanden:

→ *ter plaatse gestorte dragende binnenwanden*. Dit zijn structurele muren die zich binnen in gebouwen bevinden, dikwijls loodrecht op de gevel. Dragende wanden werken onder drukspanning en zijn over het algemeen licht gewapend. De wapeningen bevinden zich ter hoogte van de openingen en aan de uiteinden van de muren. Het feit dat ze niet aan de weersomstandigheden blootgesteld zijn geweest, vergemakkelijkt hun hergebruik.

Deze muren variëren in dikte van 15 tot 20 cm en zijn meestal zo hoog als een verdieping, vb. ongeveer 250 cm in een woongebouw. De oppervlakte van de muren maakt het mogelijk elementen van verschillende afmetingen te produceren, afhankelijk van het ontwerp en de gebruiksklasse van hun nieuwe toepassing. Er moet rekening worden gehouden met de verhouding tussen dikte en oppervlakte.

→ *prefab betonplaten*. Het gebruik van betonnen prefabelementen ontstond na de Tweede Wereldoorlog, in de context van de grootschalige wederopbouw. Vanwege de zeer uiteenlopende prefabricageprocedures die werden toegepast, zien we een grote verscheidenheid aan elementen, zelfs binnen eenzelfde gebouw: verschillende formaten, dikte, samenstelling (dichtheid van de wapening, met of zonder buitenbekleding, meerlaags of niet, aanwezigheid van een isolerende laag in de wand, etc.).

Over het algemeen zorgt de aanwezigheid van meer wapening (vooral in platen van meer dan 10 cm dik) ervoor dat het zagen van prefabplaten moeilijker is. Indien mogelijk moet de voorkeur worden gegeven aan hergebruik van het gehele element. Dunnere elementen (bv. van binnenwanden) zijn over het algemeen minder gewapend en daardoor makkelijker te verzagen.

Wat de *afwerking* van betonelementen voor hergebruik betreft, moet er een onderscheid worden gemaakt tussen de staat van de oppervlakken na de recuperatie van de elementen, en de gewenste afwerking in functie van hun nieuwe toepassing.

De betonelementen worden meestal ingezameld na de ontmantelingsfase, d.w.z. het recupereren van de afwerkingsmaterialen. Dit om verschillende redenen:

Wanneer een betonnen structuur afgebroken wordt voor recyclage, wordt er eerst gestript om de niet-inerte materialen die de kwaliteit van het gerecycleerde granulaat kunnen verminderen, te verwijderen, met het oog op een optimale herwaardering. Deze fase van het bouwproces kan ook van invloed zijn op de staat van de betonoppervlakken die gerecupereerd zullen worden met het oog op hergebruik.

Daarnaast vereist de aanwezigheid van gevaarlijke stoffen (bv. asbest, lood) in de meeste gevallen ingrepen om deze stoffen te verwijderen. Afhankelijk van het type vervuiling bestaan deze werkzaamheden uit het verwijderen van de bekledingen of het afbijten van de oppervlakken. Ze hebben dus eveneens gevolgen voor de staat van het oppervlakte van de te recupereren elementen.

Afhankelijk van de aard van de originele bekledingen op de betonnen wanden, de sanerings- en afbraakmethodes, en de werforganisatie, kan de staat van het betonoppervlak van de gerecupereerde wanden dus verschillen. Hiermee dient rekening gehouden te worden om een correcte methode voor de behandeling van hun oppervlaktes op te stellen.

Wat de oppervlaktebewerking met het oog op hergebruik betreft, zijn de afwerkingsmogelijkheden dezelfde als voor nieuw beton: punthameren, polijsten, gritstralen, etc.



Geprefabriceerde binnenwanden, na verwijdering van muurbekleding en asbestwerkzaamheden, voor afbraak of ontmanteling van het gebouw.



Recuperatie van het materiaal

Voor de recuperatie van betonwanden zijn zware machines nodig, maar typisch zullen die sowieso aanwezig zijn op een afbraakwerf. Bij de recuperatie moet er met verschillende factoren rekening worden gehouden: eigenschappen van de bouwplaats en geldende veiligheidsvoorschriften, de exacte locatie van de elementen in het gebouw, het gewenste resultaat, etc. Daarom vereist een zorgvuldige ontmanteling een doorgedreven vooronderzoek, bovenop de typische voorbereiding voor afbraakwerken. Aangezien de elementen voor hergebruik intact uit het gebouw gerecupereerd moeten worden zullen er op bepaalde momenten extra voorzieningen moeten worden getroffen en acties ondernomen, bijvoorbeeld als er reeds wanden verzaagd moeten voor de start van de eigenlijke afbraak, als er ankerpunten moeten worden aangebracht om de in te zamelen elementen te kunnen ophijzen, of om de zogenaamde 'verbindingswapening' bloot te leggen om prefab-elementen van elkaar te scheiden en ze te kunnen ophijzen.

Sowieso moeten er in overleg met de veiligheidscoördinator de nodige voorzorgsmaatregelen worden getroffen.

→ **Demontagetests** (of deskundig advies). Deze laten toe de haalbaarheid en rentabiliteit van de demontage na te gaan. Gezien het experimentele karakter van deze methode, is het verstandig om het advies in te winnen van deskundigen en bedrijven die gespecialiseerd zijn in het slopen en verzagen van beton, en om zich te baseren op gelijkaardige voorbeeldprojecten.

→ **Diagnose**. De diagnose verloopt meestal in twee fasen:

1. Plaatsbezoeken, en onderzoek en analyse van bestaande documenten over het af te breken bouwwerk.
2. Uitvoering van kernboringen op de elementen. Het nodige aantal proeven moet bepaald worden in functie van de nieuwe toepassing van het beton.

Wanneer er sprake is van de recuperatie van prefabelementen is het aangeraden de originele uitvoeringsplannen van het gebouw in kwestie te raadplegen om de locatie van de oorspronkelijke verbindingen nauwkeurig te kunnen bepalen (opstortzones en andere).

Wanneer er sprake is van de recuperatie van gewapend beton, is het noodzakelijk de structuur en de staat van het beton nauwkeurig te onderzoeken, onder andere via de volgende stappen:

- Visuele controle van de dikte van de elementen;
- Visuele controle van de staat van de wapeningen en meting van de diameters van het wapeningsstaal;
- Meting van de carbonatiediepte (carbonatie is een chemische reactie die beton doet 'verouderen');
- Meting van de betondekking van de wapeningen en de tussenafstand (de betondekking is de dikte van het beton tussen de wapening en het wandoppervlak. Deze beschermt de wapening tegen corrosie);
- Druksterkteproef van het beton;
- Beproeving van de oppervlaktecohesie (de oppervlaktecohesie van beton is de kracht die ervoor zorgt dat de moleculen bij elkaar blijven, en is bepalend voor de hechting van reparatieproducten op het beton).

Er zijn verschillende criteria die het hergebruikpotentieel van een partij betonwanden bepalen:

- **Wapening**. De dichtheid en de verdeling van de wapening kunnen worden beoordeeld aan de hand van de bestaande documentatie, met detectie-instrumenten (zoals een ferroskan) en kernboringen. Elementen waarbij betonschilfers zijn afgesprongen door oxidatie van de wapening in het beton, moeten worden afgekeurd.
- **Dikte**. Het is wenselijk dat de dikte meer dan 16 cm bedraagt en dat het dikteverschil tussen de platen niet groter is dan 1 cm.
- **Haaksheid**. Bij rechthoekige prefabplaten bedraagt het verschil tussen evenwijdige randen idealiter maximaal 1 cm of 5 mm per meter afstand.
- **Afwezigheid van scheuren**. De elementen mogen geen doorgaande scheuren of scheuren breder dan 1 mm vertonen.
- **Staat**. Er moet worden nagegaan of er geen stukken zijn afgesprongen of -gebroken door een impact tegen het oppervlak of de rand van de elementen.
- **Toegankelijkheid van de elementen**. De exacte locatie van de te ontmantelen elementen in het gebouw moet in rekening worden gebracht.

→ **Demontage**. De precieze demontagemethode varieert naargelang de aard, de aantallen en de exacte locatie van de te recupereren elementen, maar ook naargelang hun nieuwe toepassing. In alle gevallen is het belangrijk de elementen niet te beschadigen en ervoor te zorgen dat ze correct gelabeld worden, om hun eigenschappen later te kunnen traceren. De demontage verschilt voor prefabplaten en ter plaatse gestorte muren. Voor de demontage dienen de volgende zaken nagegaan te worden:

- de verhouding tussen de extra inspanningen die moeten worden geleverd en het gewenste resultaat dient geoptimaliseerd te worden.
- de nodige maatregelen moeten worden getroffen om de evacuatie van de elementen uit het gebouw mogelijk te maken. Typisch bestaan deze uit het voorzien van dezelfde hijspunten als voor de plaatsing van prefabelementen (boren van gaten of aanbrengen van ringen).

Om een zorgvuldige ontmanteling van de wanden mogelijk te maken, bestaat de meest aangewezen methode erin het gebouw van de bovenste naar de onderste verdieping te ontmantelen. Voor hijswerk worden hefwerktuigen ingezet.

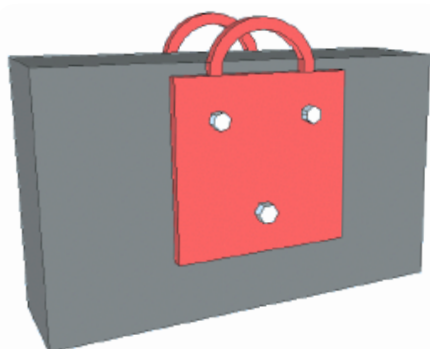


Voorbeeld van een gedemonteerde betonnen wand
© Alexis Leclercq



Zo kan de volgende methode worden overwogen:

1. Ontmanteling van het dak, op de bovenste muren, om zo plaats vrij te maken om deze te kunnen vastgrijpen.
2. Ontmanteling van het element door het element geleidelijk aan vrij te maken aan de voet van de muur of door de muur bovenaan los te trekken door hem te kantelen. Deze laatste methode mag echter niet worden gebruikt voor dragende wanden van gewapend beton. Op deze manier kan de elasticiteitsgrens van de verticale wapeningen aan de voet van de wand overschreden worden, waardoor de wand ongeschikt wordt voor een nieuwe structurele toepassing.
3. Zagen. Voorafgaand aan de ontmanteling kunnen de wanden worden losgezaagd, volgens een logica die in functie staat van het gewenste eindproduct en het transport. De tijd die nodig is voor het zagen moet in rekening worden gebracht in de afbraakplanning. Voor de ontmanteling van prefabwanden volstaat het soms de verbindingen bloot te leggen zonder dat er gezaagd hoeft te worden.
4. De wanden op de verdieping neerleggen met een minigraver.
5. Aanpassing van de elementen tot de gewenste uiteindelijke afmetingen (facultatief, dit kan ook later, in een atelier worden gedaan).
6. Definitieve inzameling in de sloopfase, door middel van een graafmachine die is uitgerust met een sorteergrijper (een sorteergrijper is een klem die bestaat uit twee metalen 'klauwen' waarvan het contactoppervlak een rechte lijn is, waardoor de druk die op het materiaal wordt uitgeoefend kan worden verdeeld en schokken kunnen worden beperkt).



Figuur 1. Voorbeeld van een hijsstelsel

7. Hijsen van de elementen met draagbanden voor een zorgvuldig transport (Figuur 1).

Het is van essentieel belang dat de elementen correct worden gelabeld. Elementen mogen niet worden gemengd als ze verschillende eigenschappen hebben wat betreft:

- het type wand (kops, gevel, of andere);
- de aard van de wapening (oa. staaldiameter);
- de betondekking (het gemakkelijkst te controleren langs de omtrek van de platen);
- de carbonatiediepte (let op, deze parameter kan verder veranderen tijdens de opslagperiode).

→ **Bewerkingen.** Na recuperatie kunnen de elementen bewerkt worden in functie van hun nieuwe beoogde gebruik. Via de uitgevoerde bewerkingen moet het met name mogelijk zijn om de sterkte en duurzaamheid van het element te garanderen.

- **Zagen.** Hiermee kan een rechthoekige wand worden verkregen uit een ruw en onregelmatig element. Ook de haaksheid van gerecupereerde platen kan worden gecorrigeerd of hersteld om de gewenste toelaatbare toleranties te bereiken.
- **Her-passiveren van het staal.** Passiveren is het passief maken van het wapeningsstaal door het aanbrengen van een beschermende deklaag of passieveerlaag. Deze laag beschermt het staal tegen corrosie. Ze wordt gevormd door de inwerking op het ijzeroxide van het kalk dat vrijkomt uit de calciumsilicaten. Indien nodig kan het staal lokaal worden geherpassiveerd. Hiervoor moet het aangrenzende beton worden verwijderd met een bikhamer, gevolgd door het passiveren van het staal en het herstellen van de betondeklaag. Indien een algemene her-passivering noodzakelijk zou zijn, wordt het element best afgekeurd.

- **Herstellingen.** Er kan reparatiemortel worden aangebracht om eventuele afgesprongen of -gebroken stukken tijdens de inzameling of het transport opnieuw op te vullen.
- **Bewerking van de randen** - voor muur die is uitgevoerd zoals een 'gemetselde muur' (zie verder). Indien de afschuifsterkte van het element afhankelijk is van de mortelaansluiting tussen de randen van de platen en de ondergrond, kan het nodig zijn de randen van de wand ruw te maken, om de hechting te verbeteren. Dit kan worden gedaan door ze af te bikken.
- **Behandeling van de porositeit.** Om te voorkomen dat het beton na verloop van tijd beschadigd raakt, met name als gevolg van vries-dooicycli, kan het nodig zijn een poriënvullend of mineraliserend product aan te brengen, dat het beton waterafstotend maakt. Deze behandeling kan worden uitgevoerd in de werkplaats of wanneer ze opnieuw geplaatst worden.
- **Vastgieten van de wapeningen** - voor een muur die is uitgevoerd zoals een muur van gewapend beton (zie verder). Voor hergebruik van een muur van gewapend beton kan het nodig zijn om de wapening rond de omtrek van de wand in vers beton te verankeren. Deze mogelijkheid moet samen met een specialist worden onderzocht op basis van verschillende parameters (dikte van de wanden, treksterkte van het beton, diameter van de wapeningen, etc.) De randen kunnen worden opgeruwd door ze rond de omtrek af te beitelen om de afschuifweerstand in het desbetreffende vlak te verbeteren.
- **Oppervlaktebehandeling.** Er bestaan tal van oppervlaktebehandelingen voor beton: punthameren, polijsten, gritstralen, etc. Deze bewerkingen kunnen worden uitgevoerd in de werkplaats of tijdens de plaatsing.



Verzagen van gerecupereerde betonwanden voor hergebruik © Alexis Leclercq



Verzagen van gerecupereerde betonwanden voor hergebruik © Alexis Leclercq



→ *Opslag*. Het beschermen van de elementen tegen weersinvloeden en een stockage zonder contact met de grond wordt aanbevolen. De elementen moeten worden beschermd zodat ze niet vroegtijdig verouderen.

Bij een horizontale opslag is het raadzaam afstandhouders tussen de elementen te plaatsen.

Bij een verticale opslag op de zijkant van de wanden dienen hulpmiddelen gebruikt te worden, zoals rekken om aan de bovengenoemde voorwaarden te voldoen.

→ *Transport en levering*. Tijdens het transport en de levering moeten de nodige voorzorgsmaatregelen genomen worden om te vermijden dat de elementen omvallen of elkaar beschadigen (vb. omsnoeren van de paletten met spanbanden, etc.). Tenzij aangepaste hulpmiddelen worden gebruikt, moeten de elementen plat, horizontaal worden vervoerd. Voor een transport op hun zijkant kunnen racks worden gebruikt.

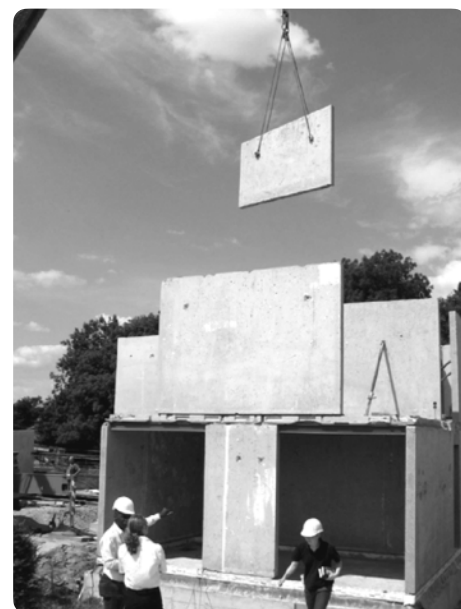
De hefwerktuigen moeten geschikt zijn voor de te hanteren elementen. Het hijsen kan gebeuren met machines zoals een kraan, een hydraulische graafmachine of een verreiker. Bij gebruik van machines die zich met de lading kunnen verplaatsen, moeten deze worden gekozen in functie van het gewicht en de vorm, het terrein en de hefhoogte.

Het transport kan gebeuren met behulp van kabels of riemen die bijvoorbeeld met chemische ankers of keilbouten aan het beton worden verbonden. De aard van de verankering moet aangepast zijn aan de dynamische lasten bij het transport.

Het is raadzaam om gespecialiseerde vakmensen in te schakelen en ervoor te zorgen dat deze handelingen correct worden uitgevoerd.



Transport van betonnen elementen



De 'plattenbau huizen'. Deze huizen, gebouwd in het begin van de jaren 2000 in Mehrow (Berlijn), werden opgetrokken uit geprefabriceerde betonplaten, afkomstig van de ontmanteling van appartementsgebouwen in Oost-Berlijn ('plattenbau'). De geprefabriceerde platen werden gerecupereerd en hergebruikt als vloerplaten en dragende muren. © Concluis—Office for Sustainable Architecture.



Toepassingen en plaatsing

Het is aangewezen om zich hierbij te baseren op de desbetreffende ontwerp-normen (o.a. EN 1992), op de productnormen (o.a. EN 14992+A1, EN 13369, etc.) en op de uitvoeringsnormen voor betonproducten.

Hergebruik van gerecupereerde beton-elementen kan geschikt zijn voor de volgende toepassingen:

A. Niet-dragende wanden

B. Dragende wanden.

B.1. Uitvoering zoals 'gewapend beton' (d.w.z. een doorlopende plaat van vloer tot plafond)

B.2. Uitvoering zoals een 'gemetselde muur' (d.w.z. dat de gerecupereerde plaat via extra opgestort beton verbonden wordt met vloer en plafond)

Vooraleer in te gaan op de specifieke kenmerken van elk soort toepassing, volgen hier enkele algemene principes:

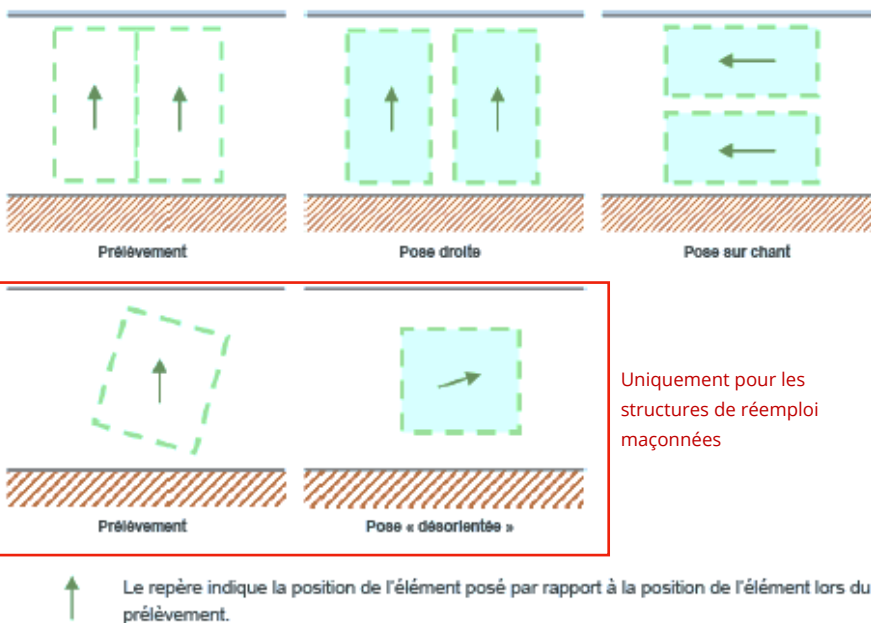
→ **Oorspronkelijke uitvoering.** De plaatsing van de gerecupereerde elementen kan verschillen naargelang het gaat om een oorspronkelijk ter plaatse gestorte of een prefabwand. Het gaat dan vooral over de eventuele aanwezigheid van wapeningsstaal, en van hijs- en verbindingpunten.

→ **Veiligheidsniveau.** In functie van de beoogde toepassing is het nodig met de nodige veiligheidsfactoren werken voor de berekening van constructie. Ook de bewerkingen aan de ontmantelde elementen moeten aangepast zijn aan hun staat, de omvang van de verrichte diagnose, de verkregen resultaten van de proeven en de homogeniteit ervan.

→ **Nieuwe toepassing.** In geval van verwarmde en bewoonde ruimtes moeten de water- en luchtdichtheid van de wand en zijn geluids-isolatie worden onderzocht.

→ **Oriëntatie.** Er zijn verschillende mogelijkheden, afhankelijk van de gekozen plaatsingstechniek (Figuur 2) :

- Plaatsing rechtop: het element wordt hergebruikt in eenzelfde opstelling dan oorspronkelijk.
- Plaatsing op de zijkant: het element wordt 90° gekanteld ten opzichte van zijn oorspronkelijke positie en neergezet op een gezaagde rand.



Figuur 2. Verschillende manieren om gerecupereerde betonnen elementen opnieuw in een wand te integreren. Onderaan: enkel voor een uitvoering zoals een 'gemetselde muur'.

- 'Willekeurige' plaatsing (alleen bij uitvoering zoals een 'gemetselde muur'): het element wordt in een willekeurige andere richting geplaatst dan oorspronkelijk.

Omwille van de stevigheid en duurzaamheid van het ontwerp, moet het projectteam erop toezien dat de gebruikte partijen een zekere mate van homogeniteit vertonen met betrekking tot de volgende kenmerken:

→ **Afmetingen.** De gerecupereerde elementen zijn rechthoekige platen met een oppervlakte tot maximaal 2 × 3 m. De dikte van elke plaat onderling moet uniform zijn, mag geen oneffenheden vertonen en moet minimaal 16 cm bedragen. In het geval van hergebruik mag het maximale verschil tussen twee evenwijdige randen van een plaat gelijk zijn aan 1 cm, of 0,5 cm per meter afstand. Ook het toegelaten dikteverschil tussen verschillende platen moet in acht worden genomen.

→ **Kleur.** Verschillen in kleur en uitzicht zijn mogelijk. Deze kunnen het gevolg zijn van de productiemethode, de oorspronkelijke blootstelling, eerdere behandelingen, etc.

→ **Hoeveelheid.** Het is aangewezen bij de levering een overschot aan materiaal te voorzien om het risico te beperken dat er een materiaaltekort ontstaat wanneer ter plaatse een aantal platen niet geschikt blijken te zijn.

A. Niet-dragende wanden

In dit geval moeten de gerecupereerde wanden alleen hun eigen gewicht kunnen dragen. Ze dienen om ruimtes te scheiden van elkaar maar dragen niet bij aan de algemene stabiliteit van het bouwwerk. De wanden zijn dus verbonden zijn met het hoofdskelet van het gebouw, zonder bij te dragen aan de stijfheid van de constructie.

Er bestaan verschillende methodes voor de bevestiging van de wanden onderling en aan het skelet van het gebouw.

- **Bevestiging van de platen aan elkaar (Figuur 3).** Onderaan kunnen de platen op een vlak, droog oppervlak worden geplaatst en met hoekijzers aan de vloer worden verankerd, of op een mortelbed met gecompenseerde krimp. De bevestiging van de platen onderling moet horizontale bewegingen voorkomen (verticale sleufgaten). Tussen de platen wordt een verticale voeg aangebracht en gevuld met krimprijke mortel. De dekking van de wapening moeten goed worden hersteld. Het is raadzaam de plaatsing te beperken tot maximaal 3 opeenvolgende platen, met een totale lengte van maximaal 5 m tussen elementen van het hoofdskelet.



• *Bevestiging met tussengeplaatste metalen profielen (Figuur 4).* Hier worden platen in verticale staalprofielen geschoven en vastgeschroefd, zoals bij een 'Berlijnse wand'. De aanbevelingen zijn dezelfde als hierboven, behalve dat:

- de voeg tussen de platen en de staalprofielen een droge voeg is;
- de niet-zichtbare rand vooraf werd bijgewerkt met mortel voor het herstel van de betondekking;
- er sleufgaten moeten worden voorzien om horizontale bewegingen mogelijk te maken;
- de plaatsing beperkt is tot maximaal 2 opeenvolgende platen.

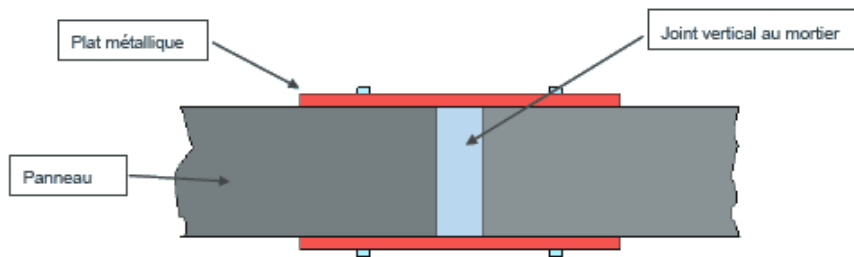
• *Uitvoering van de hoeken en kopse kanten van muren (Figuur 5).* Voor de hoekbeugels en hoekbevestigingen tussen de platen onderling zijn op de twee vlakken aan de binnkant sleufgaten voorzien. Het detail kan worden uitgevoerd met vierkante holle profielen waarop aan de buitenkant metalen platen worden gelast. Deze metalen platen worden met bouten vastgezet in de betonplaten en zijn voorzien van sleufgaten. De betondekking op de verticale randen van de platen wordt vooraf hersteld met mortel om de zichtbare wapeningen na het zagen te beschermen. De vierkante holle profielen hebben een breedte die gelijk is aan de dikte van de betonnen plaat.

Deze verbindingstechnieken zijn uitermate geschikt voor staalskeletbouw, maar de algemene principes kunnen ook worden toegepast bij dragende structuren uit hout en beton. Het komt er vooral op aan de hergebruikpanelen zodanig te verbinden dat ze niet bijdragen tot de verstijving van het gebouw.

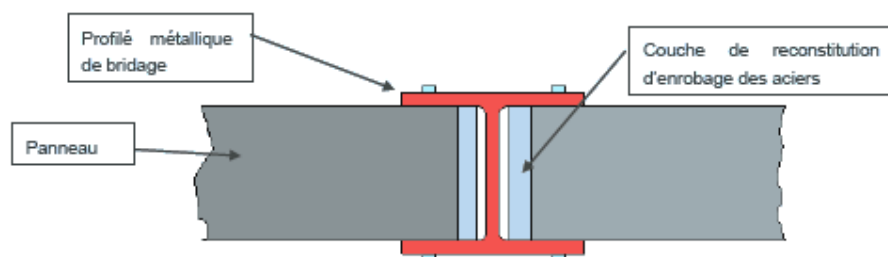
B.1. Dragende wanden van het type 'gewapend beton'

Bij deze methode moet het monolithische karakter van de wand worden verzekerd. Het gedrag van de nieuwe wand zal dan vergelijkbaar zijn met dat van een wand van bekistingbeton. Hiervoor is het noodzakelijk dat alle elementen reeds worden verbonden via hun wapening vóór het opstorten.

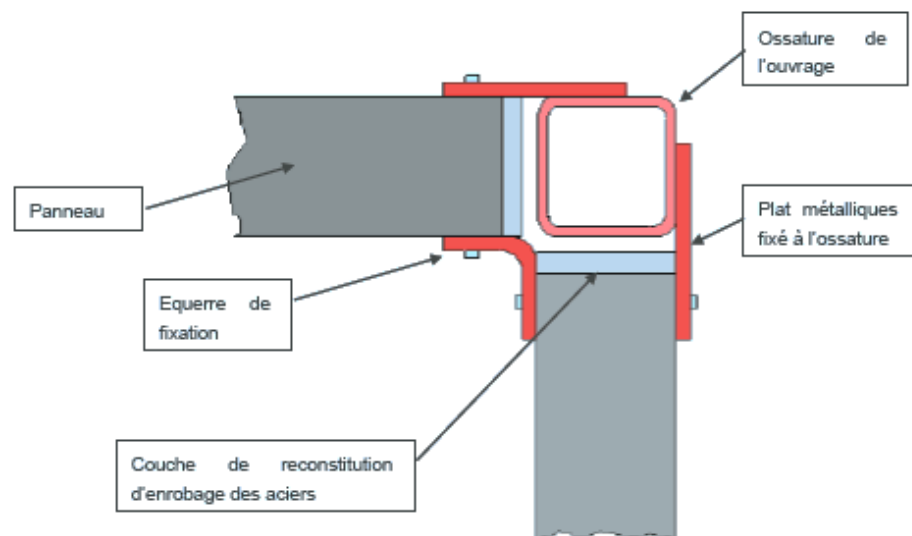
De dichtheid van de wapening in beide richtingen moet bekend zijn en in rekening worden gebracht bij de dimensionering van het bouwwerk. Overlappende wapeningen worden volledig rondom de platen vastgegoten om het monolithische karakter van de wand



Figuur 3. Bevestiging van de platen aan elkaar



Figuur 4. Bevestiging met tussengeplaatste metalen profielen



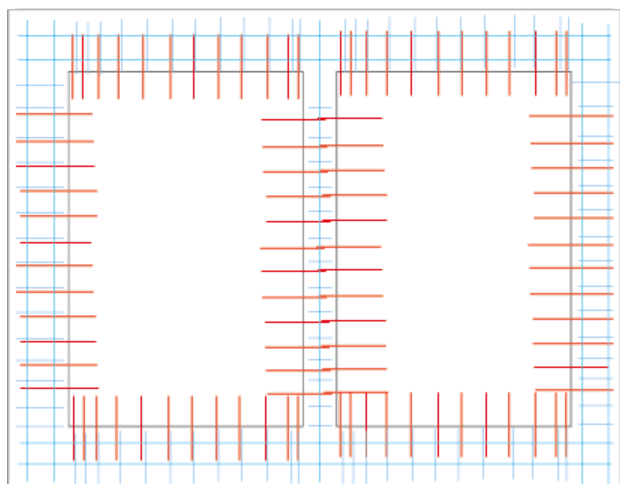
Figuur 5. Uitvoering van de hoeken

en de dekking van de wapeningen rond de omtrek te verzekeren. De berekeningen moeten beantwoorden aan de norm EN 1992 (Eurocode 2).

Indien de wand deel uitmaakt van de verstijving (windverband) van de constructie, moeten alle voegen tussen de platen worden gecontroleerd. Bij gebruik van onregelmatige platen kan dit erg lastig worden. *Figuur 6* toont een mogelijke bevestigingsmethode.

Er moet voor worden gezorgd dat de wapeningsdekking voldoende dik is, ook al draagt de wapening niet bij aan van de prestaties van de constructie.

Bij dit ontwerp worden de omtrekranden van de platen systematisch omsloten en komen ze rechtstreeks in contact met het opstortbeton voor de uitvoering van de natte knoop. De aansluiting van de betonnering met het gladde oppervlak van de platen blijft de makkelijkste weg voor waterinsijpeling, daarom is het noodzakelijk een afvoer te voorzien voor het overtollige water.



Legende :

(In het wit): gerecupereerde betonnen panelen.

(In het rood): rondom de panelen vastgegoten wapening om de continuïteit van de krachtoverbrenging tussen de wapening van de gerecupereerde panelen en de wapening van de nieuw gegoten omtrek te verzekeren.

(In het blauw): overlappende wapening, ter plaatse geplaatst, om het monolitische karakter van de wand te verzekeren.

Figuur 6. Voorbeeld van een uitvoering van een dragende wand van het type 'gewapend beton', aan de hand van gerecupereerde betonnen elementen

B.2. Dragende wanden van het type 'gemetselde muur'

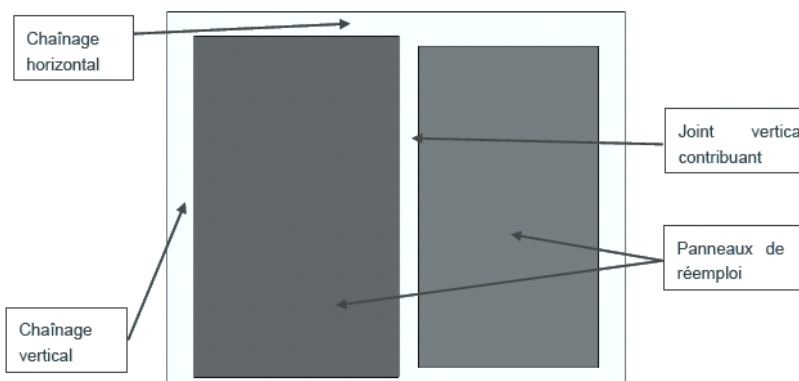
Bij deze methode bestaat de nieuwe constructiewand uit een horizontale en verticale aaneenschakeling van gerecupereerde platen en nieuw beton. De wand bestaat uit een of meer platen die zodanig worden geplaatst dat een drukschoor kan ontstaan die de weerstand van de wand tegen horizontale krachten garandeert (bij de modellering van het gedrag van gewapend beton is de drukschoor de zone waarin beton wordt samengeperst, meestal schuin ten opzichte van de hoofdrichtingen van het element).

Voor dit type uitvoering kunnen niet-gewapende elementen worden gebruikt.

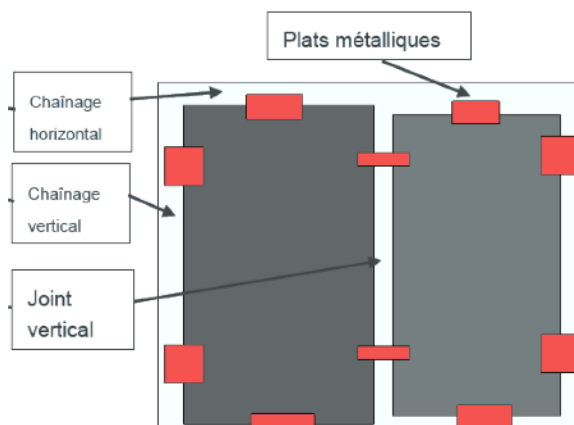
De platen worden op een mortelbed gezet en geschoord voorafgaand aan het opstorten van het nieuwe beton. De haaksheid van de platen moet worden gecontroleerd, zodat met een mortelbed van homogene dikte kan worden gewerkt.

Het is van cruciaal belang dat de platen goed aan het nieuwe beton hechten om een goede weerstand tegen afschuifspanningen te garanderen (die kan worden bepaald aan de hand van §6.2.5 van de norm EN 1992 - Eurocode 2). Wanneer de platen verzaagd zijn, hebben ze gladde randen die niet bevorderlijk zijn voor de hechting. In dat geval zijn er twee werkwijzen mogelijk:

- Betonnen wanden met ruwe randen, waarop bijkomend beton gestort wordt (Figuur 7). Na het zagen ondergaan de randen een specifieke bewerking om ze een zekere ruwheid te geven bv. afbikken (zie § 'Recuperatie van het materiaal'). In dit geval kan men ervan uitgaan dat de initiële afschuifsterkte, genoteerd als f_{vk0} en toegelicht in §3.6.2 van de norm EN 1996 - Eurocode 6.
- Betonnen wanden die aan het nieuw gestorte beton bevestigd worden via metalen platen (Figuur 8). Wanneer de hechting tussen de blokken niet aangetoond is of indien er geen voorafgaande beproeving is, dan kunnen verbindingen door middel van metalen platen worden overwogen. Deze methode is vooral interessant wanneer een hoge afschuifsterkte moet worden gegarandeerd (bv. als de wand bijdraagt aan de verstijving (windverband) of de weerstand tegen aardbevingsbelastingen).



Figuur 7. Betonnen wanden met ruwe randen, waarop bijkomend beton gestort wordt



Figuur 8. Betonnen wanden die aan het nieuw gestorte beton bevestigd worden via metalen platen



Eigenschappen en geschiktheid voor beoogd gebruik

De eisen met betrekking tot de fysische en mechanische eigenschappen houden rechtstreeks verband met de mechanische sterkte en duurzaamheid van de hergebruikte wanden in de tijd.

Eigenschappen	Dragend	Niet-dragend	Commentaar
Afmetingen (lengte, breedte), regelmatigheid van de vorm	x	x	Deze eigenschappen houden verband met het verzagen.
Geometrische eisen	x	x	<ul style="list-style-type: none"> • Lengte: $30\text{ cm} < L < 200\text{ cm}$ • Breedte: $30\text{ cm} < B < 50\text{ cm}$ • Dikte: $16 < D < 40\text{ cm}$ met max. 6 mm verschil tussen de elementen • Haaksheid • Evenwijdigheid van tegenover elkaar liggende randen
Mechanische eisen	x		$2400\text{ kg/m}^3 < \rho < 2500\text{ kg/m}^3$
Oppervlaktekwaliteit	x	x	Wanden met scheuren breder dan 1 mm, doorgaande scheuren of een netwerk van scheuren worden afgekeurd.
Ontwerp en sterkte	x	x	<p>De muur moet zijn eigen gewicht en de verticale lasten die erop terechtkomen kunnen dragen.</p> <p>-> <i>Dragende wanden:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • De afschuifsterkte f_{vk0} kan worden geschat aan de hand van tabel 3.4 van §3.6.2 in EN 1996 - Eurocode 6 • De lengte tussen twee steunpunten mag ten hoogste de helft bedragen van de onderste lengte van het wand • Zijkanten die door het zagen glad zijn geworden en waar wapeningen zichtbaar zijn, mogen zichtbaar zijn, op voorwaarde dat de zichtbare wapening wordt behandeld <p>-> <i>Niet-dragende wanden:</i> de niet-dragende wanden mogen niet in rekening worden gebracht bij het dimensioneren van de structuur. Tussen de wanden en de draagstructuur moet een speling worden gelaten om de plaat van het skelet te scheiden, zodat ze niet bijdraagt aan de stijfheid van het skelet. Bovendien moet bij de integratie in het gebouw de stabiliteit van het hergebruikte element kunnen worden aangetoond.</p>
Wapeningsdekking	x	x	<ul style="list-style-type: none"> • Als de carbonatiediepte groter is dan de waarde van de betondekking gedeeld door 2, dan is een reparatie met mortel vereist. • Indien er reeds corrosie zichtbaar is, dan moet het aangrenzende beton worden verwijderd, gevolgd door passivering van het staal en herstelling van de betondeklaag. Deze werkwijze is niet haalbaar op grote schaal. • Men dient zich ervan te vergewissen dat de wapeningsdekking voldoende dik is. • Overal waar de platen aansluiten moet er mortel voorzien worden om de wapening te dekken. De mortel moet geplaatst worden met een terugwijkende voeg.
Waterdichtheid	x	x	De waterdichtheidseisen zijn vergelijkbaar met die voor een volle betonnen muur. Bijzondere aandacht moet worden besteed aan het waterdicht maken van de aansluitingen.



Eigenschappen	Dragend	Niet-dragend	Commentaar
Brandgedrag	x	x	<ul style="list-style-type: none"> • Onbrandbaar • De criteria voor sterkte (R), waterdichtheid (E) en isolatie (I) zijn dezelfde als die voor een muur van gewapend beton. Deze controles vallen onder de norm EN 1992-1-2 - Eurocode 2. • De brandweerstand kan worden verhoogd door het aanbrengen van een afwerklaag van gipsplaten.
Geluidsdemping	x	x	<ul style="list-style-type: none"> • Vergelijkbaar met een doorlopende betonnen muur met volle voeg. • Zelfde gereglementeerde aanvraag en bewijs door akoestische beoordeling van het systeem.



Project Super Local. Binnen dit in 2017 in Nederland uitgevoerde experimentele project werd een procédé ontwikkeld om driedimensionale betonnen modules die uit een oud woongebouw werden gerecupereerd, te gebruiken voor de bouw van nieuwe woningen. De modules bestaan uit vloer- en plafondplaten en muren, die werden verzaagd alvorens met een kraan te worden opgehesen en per vrachtwagen naar de nabijgelegen werf te worden vervoerd. Opdrachtgever: HEEMWonen. Architect: SeC Architecten. Aannemer: Jongen Construction. Onderzoekseenheid: Zuyd University of Applied Sciences, Research group SURD.



Het paviljoen van de Fabrique du Clos in Stains. Bij de afbraak van een wooncomplex in Stains werd een deel van de betonnen elementen hergebruikt op het terrein. De losgemaakte betonnen muren werden ter plaatse verzaagd en hergebruikt als niet-dragende muren voor een fietsstalling (en de aanleg van de buitenruimte werd eveneens uitgevoerd met gerecupereerde betonplaten). Opdrachtgever: Seine-Saint-Denis Habitat. Ontwerp: Bellastock. Stains (France), 2017 © Alexis Leclercq



Beschikbaarheid

Betonwanden zijn zo goed als niet beschikbaar op de hergebruikmarkt. Het is echter mogelijk om in het kader van een bepaald project en op initiatief van de opdrachtgevers en ontwerpers, een specifieke aanpak voor hergebruik te volgen. De bevoorrading met betonwanden gebeurt rechtstreeks vanaf een afbraakwerf.

Richtprijzen op de hergebruikmarkt (exclusief BTW)

Door het ontbreken van een stabiel aanbod kunnen er geen nauwkeurige prijzen worden gegeven voor gerecupereerde betonwanden. Over het algemeen zal de prijs van een wand afhangen van factoren die te maken hebben met hun recuperatie (hoeveelheid, complexiteit van de ontmanteling, etc.) en hun nieuwe beoogde toepassing.

Gevaarlijke stoffen en voorzorgsmaatregelen

In het stadium van het archiefonderzoek kunnen bepaalde beperkingen worden opgelegd, met name wanneer er sprake is van vervuiling met gevaarlijke stoffen:

→ Beton dat chemische aantasting onderging door contact met de bodem en het natuurlijke grondwater (wat overeenstemt met de drie blootstellingsklassen XA1, XA2 en XA3 van de norm NF EN 206).

→ Mogelijke aanwezigheid van asbest op het oppervlak van betonnen elementen (brandwerende gevelisolatie, voeg, lijm van de binnenbekleding, etc.) Een voorafgaande asbestverwijdering uit het gebouw kan een oplossing zijn om de betonelementen van asbestresten te ontdoen. Een betonelement dat tijdens zijn vorige gebruik in aanraking is geweest met asbest, hoeft daarom niet automatisch te worden afgekeurd voor hergebruik.

Lees meer!

De REPAR#2-studie die in Frankrijk werd uitgevoerd en een case-study behandelt waarin een gerecupereerde betonwand hergebruikt wordt voor een klein paviljoen, kwam tot de volgende conclusie op budgettair vlak:

→ de kosten van de bouwkundige oplossing op basis van hergebruik zijn ongeveer 7% hoger dan bij een bouwkundige oplossing op basis van verwijdering van de oude materialen en gebruik van nieuwe volle bakstenen, en bijna tweemaal zo hoog als nieuwe volle betonblokken worden gebruikt.

Deze resultaten zijn hoofdzakelijk het gevolg van de talrijke bewerkingen van het hergebruikmateriaal in kwestie. De hoge kosten zijn een weerslag van het experimentele karakter van het project en zouden sterk kunnen dalen voor grootschaligere projecten. Ook zijn er verschillende punten vastgesteld waar het hergebruikproces nog kan worden verbeterd:

- Optimalisering van het proces om de materialen in te zamelen, om zo enerzijds de verliezen bij de ontmanteling van de elementen te beperken en anderzijds de kosten van het voorzagen te vermijden;
- Vermindering van de ontwerpkosten;
- Meer ervaring met de technische hulpmiddelen waarmee hier geëxperimenteerd werd (in dit geval een hydraulische kraan voor de installatie van de gerecupereerde wand);
- Vermindering van de vaste kosten in verband met de passivering van de blootgemaakte wapening, met behulp van een mortel indien het staal niet is gecarbonateerd.

Rekening houdend met deze elementen in een optimaal scenario, is een kostenvermindering met 30% mogelijk ten opzichte van dit voorbeeldproject.

Link (in het Frans) : <https://www.bellastock.com/projets/repair-2/>



Naargelang de bron voorkomt het hergebruik van 100 m² betonelementen voor een gebruik als wand de uitstoot van ~2030 tot ~3770 kg CO₂ eq., gerelateerd aan de productie van nieuwe elementen (enkel de productiefase). Naargelang de bron komt dit overeen met een traject van ~ 12 200 tot ~ 22 600 km in een kleine dieselauto.

Embodied carbon (cradle to gate - production A1-A3)

	kg CO ₂ eq./m ²	kg CO ₂ eq./kg
INIES databank (FR) - Collectieve Verklaring - SNBPE & Armatures - Beton (exclusief wapening) voor buitenkolom, C2530 XC4XF1 CEM IIA (v.1.1) *	20,3	0,06
INIES databank (FR) - Collectieve Verklaring - SNBPE - Buitenwand van beton, dikte 0,16 m, C25/30 XC4 / XF1 CEM II/A (v.1.5) **	32,4	0,08
INIES databank (FR) - Collectieve Verklaring - SNBPE - Binnenmuur van beton, dikte 0,20 m, C25/30 XC1 CEM II/A (v.1.7) **	37,7	0,08

* Indicatieve waarde voor een betonwand met een staaldichtheid van 18,5 kg/m³. Gemiddelde transportafstand van het materiaal: 18 km. Opm.: de productiestadia (A1-A3) van het staal werden toegevoegd wanneer deze niet waren meegerekend in de fiche.

** Indicatieve waarde voor een betonwand met een staaldichtheid van 50 kg/m³. Gemiddelde transportafstand van het materiaal: 18 km. Opm.: de productiestadia (A1-A3) van het staal werden toegevoegd wanneer deze niet waren meegerekend in de fiche.