

**Disclaimer**

La présente fiche s'adresse aux concepteurs, aux prescripteurs et aux équipes de projets de construction désireux de réemployer le matériau ou produit de construction concerné. Elle fait partie d'une collection de fiches visant à rassembler les informations disponibles à ce jour et susceptibles de faciliter le réemploi des matériaux et produits de construction.

Cette fiche a été réalisée par Rotor vzw/asbl dans le cadre du projet Interreg FCRBE - Facilitating the Circulation of Reclaimed Building Elements, soutenu par l'ensemble des partenaires du projet. Les sources d'information incluent l'expérience des fournisseurs professionnels de matériaux de réemploi et des partenaires du projet impliqués, les leçons tirées de projets exemplaires, la documentation technique disponible, etc.

Les fiches ont été réalisées entre 2019 et 2021. Le secteur du réemploi étant en pleine évolution, certaines informations, notamment celles concernant les prix et la disponibilité, sont susceptibles de varier au cours du temps.

Lorsque le texte fait référence à des normes européennes, il appartient aux auteurs de projet de se référer, le cas échéant, à leurs transpositions nationales ainsi qu'aux spécificités locales.

Il est important de noter que les informations présentées ici ne sont pas exhaustives et ne visent pas à remplacer l'expertise des professionnels. Les questions spécifiques sont toujours liées à un projet et doivent être traitées comme telles.

La collection complète des fiches (y compris la fiche d'introduction générale) est disponible gratuitement sur différents sites de référence (e.a. opalis.eu, nweurope.eu/fcrbe, futureuse.co.uk).

Un répertoire non exhaustif de fournisseurs de matériaux de construction de réemploi est disponible sur www.opalis.eu et www.salvoweb.com.

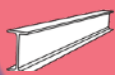
Partenariat Interreg FCRBE : Bellastock (FR), le Centre Scientifique et Technique de la Construction / CSTC (BE), Bruxelles Environnement (BE), le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment / CSTB (FR), la Confédération de la Construction (BE), Rotor (BE), Salvo (UK) et l'Université de Brighton (UK).

Les informations contenues dans ce document ne reflètent pas forcément la position de l'ensemble des partenaires du projet FCRBE ni celle des autorités de financement.

Sauf mention contraire explicite, le contenu de ces fiches est crédité au format Creative Commons Attribution - Non Commercial - Share Alike format (CCBY-NC-SA).



Sauf mention explicite, les images utilisées dans ce document appartiennent à © Rotor vzw/asbl ou © Opalis. Les autres images ont fait l'objet d'une demande systématique d'autorisation auprès de leurs auteurs ou ayants droit. Lorsque celle-ci est restée sans réponse, nous avons présumé que l'utilisation projetée de l'image ne posait pas d'objection. Si cette interprétation vous paraît abusive, merci de nous le signaler.



Description du matériau

Le Crystal Palace, une gigantesque serre de fer et de verre de 92.000 m² construite pour l'exposition universelle de Londres en 1841, est l'une des premières démonstrations des possibilités offertes par l'usage du fer pour la construction de bâtiments de grande taille. Incidemment, cet édifice est également un exemple marquant des possibilités de réemploi permises par ce mode de construction. Initialement implanté à Hyde Park, une clause contractuelle exigeait sa démolition une fois l'exposition terminée. L'opinion publique s'est toutefois mobilisée contre ce triste destin. Après de nombreuses propositions, c'est finalement un certain Francis Fuller qui a racheté le palais de cristal. Il l'a fait démonter soigneusement pour le remonter intégralement à Sydenham (où il est resté jusqu'à sa destruction par un incendie en 1936). L'usage de pièces résistantes, aux dimensions relativement modestes (les plus larges étaient des poutres en fonte évidées de 8 m de long et pesant moins d'une tonne) et la simplicité des assemblages ont été des facteurs clés pour la réussite d'une telle opération.

Bien que l'acier ait désormais remplacé la fonte, les mêmes principes de modularité, de maniabilité, de résistance et de réversibilité font des éléments structurels en acier de bons candidats au réemploi. La présente fiche porte plus spécifiquement sur le réemploi de poutrelles en acier, en tant qu'éléments indépendants, généralement utilisés dans la construction structurelle de bâtiments. Elle n'aborde donc pas directement le réemploi des éléments suivants :

- poutrelles en fonte, aluminium, acier inoxydable ou en autres alliages métalliques ;
- autres éléments de construction métalliques (i.e. tubes et profilés creux, tubes en acier soudé, cornières, poutrelles alvéolaires, palplanches, etc.) ;
- structures partielles ou complètes à base de poutrelles en acier encore assemblées ;
- éléments de fixations des poutrelles (plattines, rotules, etc.).

Néanmoins, les principes généraux décrits dans ce document sont susceptibles de guider le réemploi de certains de ces éléments.

De manière générale, les poutrelles en acier sont utilisées comme éléments simples de portage vertical (e.a. poteau) ou horizontal (e.a. poutres, linteaux, solives, etc.), ou comme éléments assemblés dans une structure métallique (e.a. ossature, charpente, etc.). Leur intégration dans une construction est généralement validée par un bureau d'étude en stabilité et, dans le cas des ossatures et charpentes, un constructeur spécialisé se charge de la préparation et de la livraison des éléments. Les poutrelles peuvent être distinguées selon plusieurs critères :

→ **Composition.** Aujourd'hui, les poutrelles sont généralement produites en acier de construction non allié, composé majoritairement de fer, dont la teneur en carbone est inférieure à 2 % et qui contient une teneur limitée en certains autres éléments (e.a. manganèse, phosphore, soufre, silicium, etc.). La composition de l'acier détermine en grande partie les propriétés physico-chimiques des poutrelles. A ce titre, il ne faut pas confondre les poutrelles en acier avec leurs homologues en fonte (anciennes et plus fragiles en raison d'une teneur en carbone plus élevée), en aluminium (plus léger, extrait de la bauxite, possédant des propriétés matérielles différentes), en acier inoxydable ou « inox » (qui constitue une autre famille d'acier caractérisée par une teneur élevée en chrome) ou encore en d'autres alliages métalliques.

→ **Mode de fabrication.** Les poutrelles en acier sont des produits finis (ou semi-finis si elles doivent encore être usinées) issus de l'industrie sidérurgique. Elles sont traditionnellement classées dans les produits longs et laminés à chaud.

→ **Âge des éléments.** L'utilisation de l'acier dans la construction s'est généralisée depuis la fin du 19^{ème} siècle. De manière générale, on considère que l'acier produit à partir de 1970 est conforme aux spécifications modernes des produits et aux méthodes de calcul basées sur le contrôle de l'Etat Limite Ultime (ELU) et l'Etat Limite de Service (ELS).

→ **Nuances et qualités d'acier** (steel grade). Un système de classification numérique du type d'acier composant les poutrelles permet de les différencier sur base de leurs caractéristiques mécaniques. De manière succincte, les aciers de construction sont désignés par :

- la lettre S (« structural »)
- la limite d'élasticité minimale en N/mm² (pour une épaisseur de 16 mm)
- un code se référant à leur « qualité » (selon la valeur spécifiée d'énergie de rupture en flexion par choc : JR, J0, J2, K2).

Les nuances d'acier utilisées dans la fabrication de poutrelles les plus courantes sont S235JR / S275JR / S355J2 (où S235JR signifie « acier de construction ayant une limite d'élasticité de 235 N/mm² et une énergie de rupture minimale garantie de 27 Joules à 20°C »). Il existe également des aciers à haute limite d'élasticité et des aciers à résistance améliorée aux conditions atmosphériques. Il existe des tables d'équivalence qui permettent de caractériser les aciers codifiés selon d'anciennes normes.

La documentation technique originale permet de connaître la nuance d'acier des poutrelles de réemploi. Si celle-ci n'est pas disponible, il est envisageable de demander une analyse physico-chimique par un laboratoire agréé.

→ **Formats et profils.** Les poutrelles en acier de construction existent sous de nombreuses formes et dimensions standardisées. Les modèles courants sont les profils IPN, IPE, HEA, HEB, HEM, UPE et UPN (où la première lettre fait référence à la forme de la section, cf. figures 1 à 3). Leurs dimensions sont standards et leurs masses et leurs propriétés respectives sont fixées dans la norme EN 10365. Les propriétés mécaniques diffèrent selon les profils.

Marquage CE

Le marquage CE est obligatoire pour les nouveaux aciers de construction depuis 2014 et est abordé dans la norme EN 1090-1. La norme EN 1090-2 stipule que les éléments non couverts par les normes mentionnées (comme l'acier de réemploi) peuvent être utilisés si leurs propriétés pertinentes sont spécifiées et indiquées. Dans le cas des poutrelles de réemploi, il est relativement simple de se référer aux spécifications des normes européennes pour les nouveaux produits afin de démontrer l'aptitude à l'emploi des éléments. Ce processus peut faire recours à une caractérisation visuelle de l'état des éléments, à des abaques reprenant la performances des éléments neufs homologues, à des tests de caractérisation en laboratoire et à une stratégie globale de sur-dimensionnement des structures.

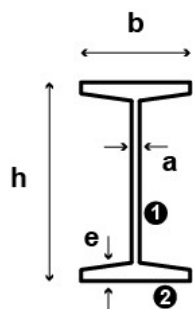
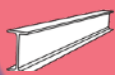


Figure 1. Profil IPN
(ailes inclinées à épaisseur variable)

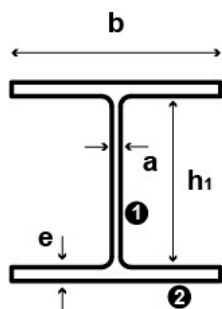


Figure 2. Profil HEA
(ailes parallèles)

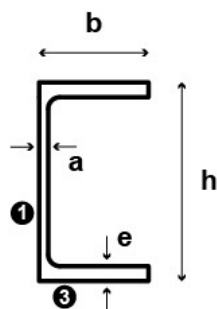


Figure 3. Profil UPE

Figures 1 à 3 : Profils courants de poutrelles en acier

1. « âme »
2. « semelles »
3. « ailes »

- a. Épaisseur de l'âme
b. Largeur de la semelle
e. Épaisseur de la semelle
h. Hauteur de l'âme (y compris semelles)
h1. Hauteur de l'âme (hors semelles)

→ **Finition de surface.** Selon les usages visés, les poutrelles peuvent avoir fait l'objet de différents traitements :

- **Non traitées :** reconnaissables à leur teinte sombre et à leurs écailles de laminage rouillées. Les poutrelles non traitées sont souvent utilisées pour des applications invisibles.
- **Revêtues d'un apprêt anticorrosion :** ces poutrelles se reconnaissent à leur surface brun rougeâtre et sont souvent installées en application intérieure non visible ou pourvues d'une couche de finition ultérieure (peinture).
- **Galvanisés à chaud :** revêtues de zinc et/ou d'alliages fer/zinc par immersion. L'alliage de surface crée ainsi une couche anticorrosion plus épaisse, avec une surface mate, adaptée à des applications extérieures plus exigeantes.
- **Métallisées :** ayant subi une projection thermique d'un métal ou d'un alliage (rare).
- **Revêtues d'une protection contre les incendies :** sous forme de peinture intumescentes, flocages, etc. (attention, certains flocages sont susceptibles de contenir de l'**amiante**, voir § « Substances dangereuses et précautions »).
- **Autres peintures organiques, poudrage, thermolaquage, etc.** Ces procédés assurent une protection plus légère et une coloration des éléments. Typique des applications intérieures visibles.

Selon le nouvel usage visé, il peut arriver que la finition d'origine doive être nettoyée par sablage, grenailage ou encore trempage chimique. Ces opérations sont soumises à des dispositions normatives spécifiques.

→ **Fixations.** Plusieurs méthodes de fixation se rencontrent :

- Mécaniques, par rivetage ou boulonnage, au moyen de pièces accessoires et d'éléments de jonction (goujons, boulons, rivets, platines, rotules...).
- Soudures.
- Scellements dans la maçonnerie.

Selon les moyens employés lors de la pose, il est fréquent de retrouver certains accessoires attachés, ainsi que des traces du mode de fixation antérieur (e.a. restes de mortiers, pièces soudées, renforts, éléments de jonction, etc.).



Poutrelles brutes, non traitées



Poutrelles IPE de réemploi, avec traitement de protection anticorrosion © Opalis (Omgekeerd Bouwen)



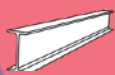
Poutrelles galvanisées © lecoindupro



Poutrelles recouverte d'un flocage



Poutrelles peintes



Récupération du matériau

Les poutrelles en acier récentes sont un produit standardisé. Moyennant une bonne coordination, leur démontage soigneux en vue du réemploi s'avère généralement aisé. Les poutrelles ainsi démon- tées se prêtent bien au réemploi sur site ou via des filières professionnelles de re- vendeurs de matériaux (qui peuvent éga- lement assurer la fourniture de poutrelles de réemploi).

Cette fiche traite du cas où les poutrelles sont démontées séparément et réassem- blées de manière indépendante, bien qu'il soit aussi possible de récupérer des struc- tures complètes ou des éléments de struc- tures complets (fermes, etc.).

→ **Examen préliminaire.** Il permet en pratique d'identifier et de répertorier les poutrelles réemployables et de s'assurer de la faisabilité et de la rentabilité d'une dépose en vue du réemploi. Dans le cas d'éléments isolés (e.a. linteaux), un « œil expert » est souvent en mesure d'estimer l'intérêt d'un lot sur base de photos ou par une visite sur place.

Lorsque l'objectif est de récupérer une struc- ture métallique complète ou partielle, il est préférable de procéder à un examen appro- fondi du lot et des éléments pris séparément (plan général et détaillé, relevés, etc.). Dans tous les cas, les points d'attention portent entre autres sur :

- l'état général des éléments/du lot : quanti- tés, dimensions des éléments, nature et état du revêtement de surface, présence/ absence de trous et renforts, dommages visibles, etc. ;
- le mode de pose (i.e. boulons, rivets, sou- dures, scellement), l'état des assemblages et la démontabilité des éléments ;
- l'intérêt commercial lié à la dépose soignée, selon le modèle et la quantité de poutrelles, et selon les dispositions logistiques, no- tamment en matière de délai, temps de travail, mise en place de mesures de sécuri- té, manutention, transport, etc.

→ **Recherche documentaire et vérification de la qualité de l'acier.** Avant de procéder à la dé- pose proprement dite, il peut s'avérer néces- saire de déterminer les caractéristiques gé- nérales du bâtiment et des poutrelles qui le constituent, afin de s'assurer de leur aptitude à être démontées et réemployées. Pour cela,

Restrictions

Différents documents de référence (cf. § « Références ») s'accordent sur le fait de **ne pas réemployer** des éléments répondant aux conditions suivantes :

- Les poutrelles ayant été soumises à des charges ponctuelles extrêmes, à des chocs importants ou à des incendies.
- Les poutrelles sujettes à la fatigue, c'est-à-dire une faiblesse acquise par un métal ayant subi des efforts excessifs qui modifient localement sa structure interne. Ce phénomène se manifeste par l'ap- parition de fissures (avant rupture). Il peut être provoqué par des cycles répétés de chocs ou de vibra- tions. Ces conditions d'usage sont assez rares dans le domaine du bâtiment mais on peut les retrou- ver, par exemple, dans des cages d'ascenseur, des ponts roulants, des ponts routiers, des rails de chemin de fer, etc.
- Les poutrelles provenant d'applications extrêmes (e.a. soumises à la radioactivité, etc.).
- Les poutrelles présentant une perte significative de leur section transversale due à la corrosion (l'un des documents fixe la limite à 5 % de l'épaisseur de l'élément). Ce cas de figure se rencontre principa- lement sur des poutrelles enterrées ou soumises à un taux d'humidité élevé.
- Des poutrelles présentant des signes visibles (ou suspectés) de déformation plastique.
- Des poutrelles dont la fabrication est antérieure à 1970 car leur composition ne correspond proba- blement pas aux normes de l'acier contemporain. Leur aptitude à l'emploi peut néanmoins être établie, sous réserve de procéder à une analyse et des essais spécifiques.

il s'agit d'identifier les conditions d'utilisation du matériau et de retrouver des informations dans les archives du bâtiment, auprès des architectes, ingénieurs et/ou entrepreneurs d'origine, ou dans d'autres sources locales. Ces informations peuvent avoir trait :

- **au bâtiment** : date de construction, plans, localisation géographique, type d'utilisation et sollicitations (e.a. conditions corrosives, bord de mer), sinistres éventuels (e.a. in- cendies, inondations, séismes, chocs), etc.
- **aux poutrelles** : fiche technique des élé- ments (e.a. type de profils, nuance et quali- té de l'acier, nature du revêtement), fonc- tion des éléments (e.a. poteau, poutre, linteau, etc.), sollicitations (e.a. intérieur/ extérieur, ambiance corrosive, nature des charges), réparations éventuelles, etc.

→ **Dépose.** Dans la mesure où il concerne la structure et peut impliquer du travail en hau- teur, le démontage soigneux des poutrelles en acier nécessite une bonne coordination visant à assurer la sécurité des travailleurs et à préserver l'intégrité des poutrelles.

Pour garantir la traçabilité des éléments, il est vivement recommandé de procéder à leur identification individuelle au moyen d'un marquage physique (de préférence sur l'âme, au moyen d'étiquettes ou de marqueurs ré- sistant à l'usure, à l'effacement et à la lu- mière).

Les éléments assemblés par boulonnage peuvent être démontés mécaniquement, ou par découpe au plus près des connexions afin de maximiser la longueur des éléments récupérés. Quelques points à noter :

- Les boulons ont la capacité de se déformer plastiquement sous la contrainte. Il convient d'observer de près ces déforma- tions en cours de démontage, pour limiter les risques de rupture et d'instabilité.
- Les soudures peuvent céder soudainement. Le retrait des jonctions avec des soudures critiques nécessite l'assistance constante d'un moyen de levage pour soulager la charge sur les jonctions.
- Les poutres ne doivent pas tomber sur le sol.

→ **Nettoyage et tri.** Sur site ou en atelier, les poutrelles récupérées sont généralement triées par qualité et nettoyées grossièrement. Elles sont débarrassées des résidus de mor- tier et les éléments accessoires pouvant gê- ner le transport et la manutention sont enle- vés totalement ou partiellement (renforts, éléments de jonctions, etc.). Les poutrelles présentant des déformations ou des traces suspectes sont éliminées des lots destinés au réemploi.



→ **Opérations.** Si certaines poutrelles peuvent être réemployées telles quelles après un nettoyage sommaire, d'autres peuvent nécessiter des opérations complémentaires telles que :

- **Coupage :** les poutrelles peuvent facilement être coupées à la longueur spécifiée. Les procédés utilisés (e.a. sciage, tronçonnage, découpe par jet d'eau, oxycoupage, etc.) doivent satisfaire aux exigences en matière de tolérances dimensionnelles, de dureté maximale et de régularité des chants.
- **Usinage :** les poutrelles peuvent être usinées en atelier pour correspondre aux besoins du futur projet (taraudage, soudage d'éléments complémentaires, cintrage, grugeage, perçage, etc.). Il n'est pas toujours nécessaire de retirer les anciens raccords soudés, les raidisseurs, les barres d'angle, etc. L'installation de nouveaux trous de boulons et autres trous est possible, à condition qu'ils soient installés à une distance suffisante (généralement 100 mm) des trous de boulons et autres trous existants. Toutes les opérations d'usinage doivent respecter les spécifications applicables aux poutrelles en acier neuves (e.a. EN 10034 pour les poutrelles en I et en H).

- **Finition :** la protection anticorrosion/incendie (éventuellement présente) risque d'avoir été endommagée au cours de la dépose. Dès lors, les performances du revêtement d'origine sont susceptibles d'être amoindries et de ne plus correspondre au niveau d'exigence requis pour le nouvel usage envisagé. Il convient de se référer aux normes en vigueur et de procéder à des tests complémentaires pour déterminer les performances du revêtement d'origine si nécessaire (voir § « Caractéristiques et aptitude à l'usage »).
 - Certains revêtements d'origine peuvent contenir des substances dangereuses (e.a. plomb, amiante, voir § « Substances dangereuses et précautions »).
 - Il est déconseillé de se fier aux revêtements de protection contre le feu d'origine car ils sont souvent sensibles à l'humidité et fortement liés à la forme, à l'emplacement et à l'application d'origine de l'élément avant son démontage.
 - Si l'application d'un nouveau revêtement de surface est envisagé, il est conseillé de déterminer la nature du revêtement d'origine, de procéder à son élimination de manière appropriée (e.a. sablage, grenailage, trempage chi-

mique) et de respecter les conditions de mise en œuvre et de préparation du nouveau revêtement (les spécifications normatives à respecter sont globalement les mêmes que pour des poutrelles en acier neuves).

- Des réparations ponctuelles de l'ancien revêtement peuvent s'avérer nécessaires en raison des dommages causés par la dépose et/ou par les opérations liées au réemploi de l'élément (e.a. sciage, soudure, etc.). Il convient de s'assurer de la compatibilité des produits de réparation.

Conseil : formation des lots !

Si des tests sont à prévoir pour caractériser la performance de l'acier ou des poutrelles, il est conseillé, lors de la dépose, de regrouper les éléments identiques en lots distincts.

Les critères de regroupement peuvent être le type de revêtement, le format et la dimension des éléments, ou leur application d'origine (intérieur/extérieur, ambiance corrosive, niveau de charge, etc.).

Cette méthodologie permet de faciliter l'échantillonnage ultérieur des lots ainsi que l'interprétation des résultats des essais.



Poutrelles récupérées avec des raccords soudés
© Gebruikte bouwmaterialen Weert



Dégradation du revêtement d'origine
© Gebruikte bouwmaterialen Weert



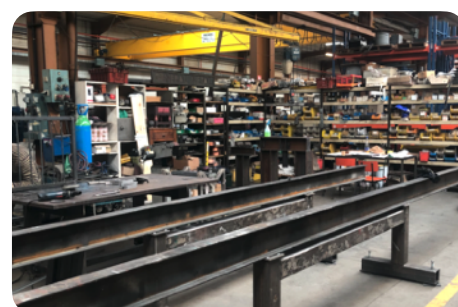
Coins déformés
© Gebruikte bouwmaterialen Weert



Installation pour le sciage de poutrelles
© Opalis (Wolter Bouwmaterialen)



Poutrelles sciées
© Opalis (Wolter Bouwmaterialen)



Réusinage des poutrelles
© Opalis (Général Métal Réédition)



Poutrelle en acier

→ **Manipulations et stockage.** En raison de leur poids important (la densité de l'acier est de 7850 kg/m³), les poutrelles sont généralement manipulées avec des engins de levage appropriés. Pour les longs éléments, il est conseillé d'utiliser plusieurs points de levage. Il est préférable de protéger correctement les points de levage, surtout si un maintien du revêtement est envisagé. Les éléments en acier peuvent être stockés à l'extérieur, sans protection contre l'humidité ou le gel. Cependant, il est conseillé :

- d'éviter de stocker les éléments directement sur le sol, afin de limiter la corrosion,
- d'éviter de créer des zones d'accumulation d'eau sur les poutrelles,
- de prévoir des points d'appui en nombre suffisant pour éviter les déformations,
- de stocker les éléments en lots distincts, correctement répertoriés (*voir encadré « Conseil : formation des lots ! »*).

→ **Transport et livraison.** Les précautions nécessaires doivent être prises lors du transport et de la livraison (fixation, matériel de chargement et de déchargement, etc.). En raison de la taille et du poids des éléments, le transport peut être assez coûteux. Par conséquent, de nombreux fournisseurs professionnels de poutrelles de réemploi préfèrent éviter les coûts de transport et de stockage en vendant les poutrelles directement depuis le chantier de démantèlement.



Stockage de poutrelles de réemploi en acier, avec revêtement de protection anticorrosion (en rouge) et sans revêtement (rouille et peinture blanche)
© [Gebruikte bouwmaterialen Weert](#)



Stockage des poutrelles par profils et formats.
© [Opalis \(Sarl Perrin\)](#)



Stockage des poutrelles récupérés par lots et sur des supports en bois © [Opalis \(Premys Ferrari\)](#)

Inspiration

Plusieurs projets inspirants démontrent que le réemploi de structures métalliques à l'échelle de bâtiments entiers est une pratique qui est non seulement possible mais aussi intéressante sur le plan environnemental et économique. Le succès de ces projets s'appuie en général sur une combinaison de facteurs tels que des collaborations avec des fournisseurs spécialisés, une mobilisation de bureaux d'étude à-mêmes d'analyser les propriétés des poutrelles et une approche innovante dans les méthodes de démonstration de l'aptitude à l'usage

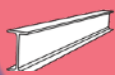
→ <https://projectsites.vtt.fi/sites/progress/cases.html>



Projet Bedzed (2002), Hackbridge (UK). Réemploi de 95 tonnes d'aciers. © [Bill Dunster Architects, ZedFactory](#)

https://library.uniteddiversity.coop/Ecological_Building/BedZED-Toolkit-Part-1.pdf





Applications et mise en œuvre

Les poutrelles en acier de réemploi se prêtent à une grande variété d'applications. Elles peuvent être réemployées à des fins structurelles et non structurelles, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur.

Les applications plus exigeantes peuvent nécessiter une détermination et/ou une vérification approfondie des propriétés du matériau (voir § « Caractéristiques et aptitude à l'usage »). Les poutrelles en acier de réemploi ne sont généralement pas adaptées aux applications extrêmes, où les performances techniques sont exploitées au maximum, et où la marge d'erreur est extrêmement réduite (e.a. les applications structurelles soumises à de fortes contraintes ou à la fatigue, les applications nécessitant une déformabilité importante, les applications sismiques, etc.).

Pour les applications structurelles, il est conseillé d'impliquer des ingénieurs en stabilité assez tôt dans le processus de conception pour, d'une part, déterminer les types de poutrelles appropriées sur la base de la conception préliminaire et, d'autre part, élaborer correctement la conception sur la base des profils disponibles, y compris les hypothèses conservatrices nécessaires pour le calcul de la structure, le sur-dimensionnement, etc.

L'assemblage des poutrelles en acier de réemploi se fait de la même manière que pour des poutrelles neuves. En cas de soudage, la valeur équivalente en carbone (CEV) des profilés doit être spécifiquement prise en compte. Cette valeur indique la soudabilité des poutrelles. Elle est notamment détermi-

née par la composition chimique de l'acier. Si nécessaire, l'équivalent carbone peut être déterminé au moyen d'essais destructifs et/ou non destructifs (voir § « Caractéristiques et aptitude à l'emploi »).

Selon l'application, il faut tenir compte des normes pertinentes, des règles de l'art et des normes d'exécution applicables (e.a. EN 1090-2 : « Exécution de structures en acier et de structures en aluminium - Partie 2 : Exigences techniques pour les structures en acier »).

Certains fournisseurs de matériaux de réemploi sont en mesure de fournir des informations sur l'origine des poutrelles, sur leurs dimensions et le type de profil, mais plus rarement sur leurs caractéristiques techniques. Le manque d'information ou de certification du matériau doit alors être compensé par des hypothèses conservatrices sur les caractéristiques techniques de l'acier (e.a. mesures de compensations, facteur de sécurité, sur-dimensionnement, etc.) et/ou par des tests supplémentaires.

En fonction de l'utilisation prévue, l'auteur de projet peut être amené à préciser ses attentes concernant les caractéristiques suivantes :

→ **Types et dimensions.** Afin d'augmenter les chances de trouver des éléments appropriés chez les fournisseurs professionnels, il est conseillé de spécifier une gamme aussi large que possible de types et profils de poutrelles pouvant être utilisés dans la conception. Souvent, il suffit de spécifier une longueur minimale plutôt qu'une longueur exacte, car les profilés peuvent facilement être coupés à la longueur souhaitée par la suite.

→ **État.** L'acier récupéré n'a souvent pas le même aspect que l'acier neuf. Il peut y avoir des trous de boulons ou d'autres trous dans les éléments, ainsi que des raccords soudés, des raidisseurs, des barres d'angle, etc. Ces traces ne sont généralement pas un problème en soi et peuvent être conservées telles quelles. Si nécessaire, une limite peut être imposée à la taille et/ou à l'emplacement des trous (de boulons) existants. Les poutrelles présentant des trous de boulons et d'autres trous, ou des traces de rouille superficielle, sont généralement adaptées au réemploi, mais peuvent avoir des limites en ce qui concerne l'ajout de nouveaux trous et leurs caractéristiques de section.

→ **Finition.** Comme indiqué dans la section « Récupération du matériau », il n'est pas conseillé de se fier aux revêtements d'origine et il est souvent préférable d'appliquer un nouveau revêtement, conformément aux exigences du nouvel usage.

→ **Quantité.** Pour augmenter la probabilité de rencontrer l'offre disponible sur le marché du réemploi, l'auteur de projet peut choisir de subdiviser le lot en lots plus petits, ou de désigner une entreprise tierce pour collecter les éléments. Il est conseillé de laisser la possibilité de compléter le lot de poutrelles de réemploi par des éléments neufs aux points clés de la construction et/ou pour compléter les quantités trouvées.

La plupart des matériaux de construction de réemploi sont vendus en l'état. Les conditions de ventes peuvent cependant contenir des garanties particulières propres au matériau (pour plus d'information, consulter la fiche introductive).

Inspiration



Bâtiment NTS (2017), Thirsk (UK). Réemploi de poutrelles en acier d'ossature © Cleveland Steel and Tubes (CST)

<https://www.steelconstruct.com/wp-content/uploads/CS01-NTS-building-Thirsk.pdf>



Caractéristiques et aptitudes à l'usage

L'acier est un matériau très durable avec une dégradation très limitée de ses caractéristiques techniques en phase d'usage et en conditions normales. Pour évaluer l'aptitude à l'usage des poutrelles en acier de réemploi, et selon le domaine d'application envisagé, il est souvent nécessaire de connaître certaines caractéristiques des éléments (voir tableau ci-dessous).

Selon les usages visés, l'équipe de projet - et notamment le bureau d'étude en stabilité - évalue si des essais sont nécessaires pour déterminer et vérifier les propriétés mécaniques et la composition chimique de l'acier des poutrelles en acier de réemploi. La caractérisation de certaines propriétés peut requérir des essais destructifs sur un échantillon ou à des tests non destructifs sur chaque élément séparé. L'extrapolation des résultats à l'ensemble du lot doit être validée par une méthode d'échantillonnage et une approche statistique appropriées.

La quantité d'échantillons nécessaires et la nature des tests à effectuer peuvent avoir une incidence sur l'économie du projet, qu'il convient donc d'anticiper. Quelques remarques à ce propos :

- La limite d'élasticité, la résistance maximale à la traction, la ténacité et la composition chimique sont normalisées pour les poutrelles en acier fabriquées après 1970. **Le fait de connaître précisément la nuance et la qualité d'acier des poutrelles à réemployer détermine dans une large mesure la quantité et la nature des tests qui seront nécessaires pour justifier leur aptitude à l'usage.** A ce titre, il est donc utile de consulter les fiches techniques et les documents d'exécution d'origine. La plupart du temps, si ces informations sont connues, un simple contrôle visuel des éléments peut suffire à déterminer leur aptitude au réemploi. Si ces informations ne sont pas disponibles, le recours à des tests de caractérisation doit être envisagé au regard des exigences de la nouvelle application.
- Les bâtiments structuraux sont classés en **trois classes de conséquences normatives** (abrégées CC, « classes de conséquences ») en fonction des conséquences de l'effondrement de la structure en ce qui concerne la perte de vies humaines. Celles-ci sont couplées à des **classes d'exécution** (EXC), qui réglementent le niveau d'exécution, l'assurance qualité et l'inspection et les essais (voir Eurocode EN 1090-2:2018). Les bâtiments des classes de performance supérieures ont plus d'exigences pour déterminer et/ou vérifier les caractéristiques techniques des éléments structurels.
- Les principes de sur-dimensionnement dans la **conception**, l'utilisation de facteurs de sécurité supplémentaires et/ou l'adoption de valeurs minimales pour certaines caractéristiques peuvent également réduire la nécessité de procéder à des essais approfondis. Parfois, cependant, il sera plus économique de démontrer certaines caractéristiques par des tests afin d'exploiter au mieux les performances des poutrelles.
- L'exécution des tests de caractérisation de l'acier et des poutrelles est confiée à des laboratoires agréés qui disposent de l'infrastructure appropriée et qui peuvent garantir l'échantillonnage correct des lots, l'analyse et l'interprétation des résultats obtenus.
- Plusieurs manuels pratiques proposent des procédures méthodologiques concrètes pour accompagner le réemploi de poutrelles en acier. Ces documents indiquent entre autres quels tests sont nécessaires pour quels types d'applications, sur combien d'échantillons doivent-ils être réalisés et s'ils doivent être effectués statistiquement ou non (voir § « Références »).

Caractéristiques	Commentaires
Caractéristiques dimensionnelles (longueur, largeur, épaisseur)	Ces caractéristiques sont étroitement liées au degré de tri des éléments récupérés. Un examen visuel et minutieux accompagné de mesures simples sont souvent suffisants pour les estimer. Les dimensions de la section transversale des poutrelles en acier sont généralement normalisées depuis les années 1970 (voir EN 10365 pour les sections U, I et H laminées à chaud).
Tolérances sur les dimensions et la géométrie	Les tolérances sur la section et la géométrie des poutrelles sont spécifiées dans diverses normes européennes (EN 10034 pour les profilés I et H). Un examen visuel minutieux du lot est souvent suffisant pour les estimer.
Ténacité / résistance aux chocs	<p>La ténacité (ou résilience) est la capacité de l'acier à absorber l'énergie et à se déformer plastiquement sous des chocs ou efforts brusques sans se briser ou se fissurer. Cette caractéristique dépend de la nuance d'acier et de la température ambiante. Elle est souvent spécifiée dans la documentation technique (par exemple par les initiales JR dans l'expression « S 275 JR ») pour les aciers fabriqués après 1970.</p> <p>Cette propriété est à prendre en compte pour des applications spécifiques et exigeantes, généralement dans un environnement extérieur et lorsque la température est très basse. Pour les aciers intérieurs qui ne sont pas soumis à la fatigue, une hypothèse conservatrice est souvent suffisante (i.e. la qualité JR, qualité la plus basse, telle que définie dans la norme EN 10025, peut être estimée sans essai). Dans certains cas, cependant, il est utile de prouver, au moyen d'essais destructifs (essai Charpy), que l'acier a une meilleure ténacité que cette valeur minimale.</p>



Caractéristiques	Commentaires
Résistance mécanique <ul style="list-style-type: none">• Limite d'élasticité• Résistance à la traction• Allongement à la rupture	<p>La limite d'élasticité désigne la charge maximale au-delà de laquelle le matériau se déforme de façon permanente (on dit alors qu'il rentre dans la zone « plastique »). La résistance à la traction désigne la charge maximale qu'un élément est capable de reprendre avant de faillir, puis de rompre.</p> <p>Ces caractéristiques dépendent de l'épaisseur nominale des éléments et sont indiquées par la nuance de l'acier. Ainsi, une poutrelle en acier (16 mm d'épaisseur) de type S275 indique que sa limite d'élasticité est de 275N/mm². Cette même indication permet d'établir que sa résistance maximale à la traction est de l'ordre de 370 - 530 N/mm².</p> <p>Lorsque cette information n'est pas disponible, il est possible de l'établir par des essais de caractérisation :</p> <ul style="list-style-type: none">• Essais de traction destructifs sur un échantillon représentatif (pour un lot de poutrelles de réemploi, le degré de fiabilité augmente avec le nombre d'échantillons, voir EN ISO 6892-1). Les essais de traction permettent également de déterminer l'allongement à la rupture, qui désigne la capacité du matériau à s'allonger avant de se rompre (lorsqu'il est soumis à une charge en traction) et qui est une propriété importante à connaître dans certaines applications spécifiques.• Essais de dureté non destructifs, au moyen d'un testeur de dureté portatif. Sous certaines conditions (protocole d'essai), la mesure de la dureté de l'acier permet d'estimer la limite d'élasticité ainsi que la résistance à la traction des éléments au moyen de valeurs tabulées (voir EN ISO 18265). <p>Ces caractéristiques interviennent également pour modéliser le comportement des poutrelles à des contraintes de flexion, de compression, de cisaillement, etc.</p>
Réaction au feu	<p>L'acier est considéré comme un matériau incombustible (Euroclasse A1), qui ne dégage ni chaleur ni fumée. Cependant, il perd rapidement sa résistance et sa rigidité face aux températures élevées atteintes lors d'un incendie. La chaleur ambiante peut déformer les éléments en acier et provoquer une instabilité de la structure.</p> <p>La classe A1 ne concerne que l'acier et n'est pas applicable aux revêtements des poutrelles. Il convient donc de connaître la réaction au feu des produits de finition mis en œuvre (e.a. peinture, etc.)</p>
Résistance au feu	<p>Les exigences spécifiques en matière d'incendie sont déterminées par les réglementations nationales. Ces exigences sont entre autres fonction de l'utilisation des locaux (par exemple : logement privé ou collectif, issues de secours, terrasses sur toitures plates, etc.), par la hauteur du bâtiment, mais aussi de la capacité des utilisateurs à évacuer les lieux en cas d'incendie (résidence de personnes âgées, hôpital, etc.).</p> <p>Au niveau européen, la classification de la résistance au feu des différents éléments de construction est décrite dans la norme EN 13501-2. Elle s'exprime par un laps de temps R_f (en minutes) pendant lequel un système constructif satisfait aux critères de stabilité (R), d'étanchéité aux flammes (E) et d'isolation thermique (I).</p> <p>A cet effet, les éléments ou systèmes constructifs sont généralement dimensionnés et conçus selon les normes Eurocodes pour satisfaire aux exigences nationales. Dans le cas des éléments structurels en acier, il s'agira surtout, selon l'application, de retarder la montée en température, afin de maintenir le plus longtemps possible la capacité portante de la structure :</p> <ul style="list-style-type: none">• soit en surdimensionnant les éléments (les éléments plus épais mettent plus de temps à chauffer) ;• soit en appliquant un revêtement ignifuge en surface de l'acier (e.a. plaques, peintures intumescentes, flocage de mortier, etc.)• soit en intégrant les éléments de structure en acier dans un complexe de béton.
Aptitude au soudage - « soudabilité »	<p>En absence d'informations précises, une analyse de la composition chimique de l'acier et un examen métallurgique peuvent s'avérer nécessaires pour déterminer la soudabilité de l'acier.</p> <p>La composition chimique peut être déterminée de manière non destructive par spectroscopie d'émission optique (appareillage mobile ou en laboratoire) ou de manière destructive en effectuant un prélèvement (découpe d'une extrémité ou extraction de copeaux par forage).</p> <p>L'examen métallurgique (microscopie) se fait par prélèvement et permet entre autres de caractériser la structure de l'acier, la grosseur de grain de l'acier et l'état inclusionnaire.</p>
Résistance à la corrosion	<p>Cette caractéristique concerne principalement l'état et la nature du revêtement de protection anticorrosion. En atmosphère extérieure, l'acier doit être correctement protégé conformément aux normes en vigueur. En atmosphère intérieure ou non-corrosive, aucune exigence particulière n'est requise.</p>



Dans certains cas particuliers, d'autres caractéristiques doivent être évaluées, par exemple :

- Exigences relatives à la striction pour certains types de connexions/assemblages
- Limites sur les discontinuités internes ou les fissures dans les zones à souder
- Comportement aux hautes températures (essai de fluage)
- Comportement à la fatigue (essais de torsion, de flexion rotative, de chocs répétés)
- Exigences dans le sens de l'épaisseur.



Testeur de dureté portable © PCE Instruments France

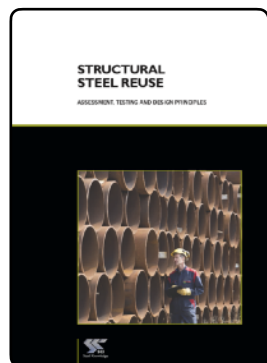
Références

RECOMMANDATIONS EUROPÉENNES POUR LA RÉUTILISATION DES PRODUITS EN ACIER DANS LES BÂTIMENTS DE PLAIN-PIED (ENG)

https://www.steelconstruct.com/wp-content/uploads/PROGRESS_Design_guide_final-version.pdf

Guide pour la réutilisation des éléments en acier dans les constructions de plain-pied. Le document décrit différents scénarios de réemploi et fournit des directives concrètes pour la conception et le calcul de structures basées sur des éléments en acier récupérés.

Rédigé par un panel d'acteurs dans le cadre du projet PROGRESS (PROvisions for GREater reuse of Steel Structures), financé par le RFCS (Research fund for coal and steel).



RÉUTILISATION DE L'ACIER DE CONSTRUCTION / ÉVALUATION, ESSAIS ET PRINCIPES DE CONCEPTION (ENG)

https://steel-sci.com/assets/downloads/steel-reuse-event-8th-october-2019/SCI_P427.pdf

Guide spécifique qui établit des lignes directrices pour l'évaluation de l'aptitude à l'emploi, les essais et le calcul des structures en acier de réemploi.

Produit par le Steel Construction Institute, Royaume-Uni, mais applicable aux pays ayant adopté la série de normes Eurocode.

ÉLÉMENTS DE STRUCTURES EN ACIER DESTINÉS À ÊTRE RÉEMPLOYÉS DANS DES APPLICATIONS STRUCTURALES (FR)

<https://www.bbsm.brussels/wp-content/uploads/2021/06/annexe-20-WP6-fiche-produit-application-elements-de-structures-acier-de-reemploi-application-structurale.pdf>

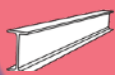
Guide établi dans le cadre du projet BBSM (le Bâti Bruxellois Source de nouveaux Matériaux) avec des lignes directrices sur la réutilisation des éléments en acier, où les lignes directrices telles que décrites dans 'STRUCTURAL STEEL REUSE / ASSESSMENT, TESTING AND DESIGN PRINCIPLES' sont vérifiées par rapport au contexte belge et bruxellois, et plus spécifiquement les protocoles généraux de réemploi tels qu'établis dans le même projet.



METHODOLOGIE DE DIAGNOSTIC ET D'EVALUATION DES PERFORMANCES POUR LE RÉEMPLOI DES ÉLÉMENTS D'OSSATURE EN ACIER (FR).

Fondation Bâtiment Énergie (FBE), 2020.

<http://www.batiment-energie.org/doc/70/FBE-ECB-enjeu-A-ossature-V9.pdf>



Disponibilité

Les poutrelles à profil HEA, HEB et IPE, et dans une moindre mesure IPN et HEM, se trouvent couramment en petites et moyennes quantités sur le marché du réemploi, principalement auprès d'entrepreneurs en démolition disposant également d'un stock de matériaux de réemploi. A titre indicatif, le tableau suivant donne une idée de la disponibilité des poutrelles en acier de réemploi (éléments de même type, de longueur variable, ~ 4 à 6 m) :

Frequent	1 - 5 éléments
Occasionel	5 - 20 éléments
Rare	20 - 100 éléments

Souvent, les quantités importantes de poutrelles de réemploi sont directement prélevées et vendues depuis les chantiers de déconstruction afin de limiter les coûts liés au transport et au stockage. Il est donc conseillé de prendre contact assez rapidement (en début de projet) avec des entreprises spécialisées afin de maximiser les chances de rencontrer l'offre disponible.

Trouver des prestataires spécialisés

salvoweb.com opalis.eu

Prix indicatifs (Hors Taxes)

Le prix des éléments en acier de réemploi peut fluctuer fortement en fonction de l'évolution du marché des matières premières (notamment de la demande en acier recyclé). Le tableau ci-dessous fournit une indication pour divers profils de poutrelles de réemploi (prix par mètre linéaire, prix observés en 2021).

Profils HEA :	HEA 100 : 18 €/ml HEA 200 : 40 €/ml HEA 300 : 75 €/ml
Profils HEB :	HEB 180 : 50 €/ml HEB 220 : 70 €/ml HEB 300 : 120 €/ml
Profils IPE :	IPE 120 : 10 €/ml IPE 240 : 26 €/ml IPE 360 : 50 €/ml

Substances dangereuses et précautions

	Un diagnostic <i>plomb</i> peut s'avérer nécessaire pour détecter la présence d'anciens revêtements anticorrosion au plomb (minium de plomb) sur les poutrelles en acier. Théoriquement, le minium de plomb a été interdit en Europe vers 1990. Le diagnostic peut s'effectuer soit grâce à un kit-test pour le plomb disponible dans le commerce, soit en envoyant un échantillon de la peinture en laboratoire, soit en faisant effectuer ce test par un professionnel. Si la présence de plomb est avérée, il est fortement suggéré de procéder à un décapage et/ou une remise en peinture via un opérateur spécialisé. Il est fortement déconseillé d'utiliser un décapeur thermique, une ponceuse ou du papier de verre pour enlever la peinture au plomb. Un décapage chimique sera privilégié, moyennant les dispositions sanitaires et environnementales adéquates.
	Les poutrelles en acier de réemploi peuvent avoir été recouvertes avec de l' <i>amiante</i> présente dans les anciens flocages de protection incendie. Il est donc conseillé de procéder à la dépose des poutrelles après les travaux de désamiantage, et dans tous les cas, de se renseigner sur le diagnostic amiante si disponible.

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

	kg CO ₂ eq./kg
Base de données INIES (FR) – donnée collective (CTICM) *	1,41
Base de données INIES (FR) – donnée générique **	4,76
Base de donnée IBU (DE) - donnée individuelle (EPD bauforumstahl e.V.) ***	1,74
Base de donnée ICE (UK) ****	1,55

* Valeur indicative pour 1 kg de poutrelle en acier ayant une fonction d'élément porteur (poteau, poutre, lisse, solive, etc.) ou d'élément de charpente (panne, élément constitutif d'une ferme métallique, etc.), en assurant les performances prescrites en phase de conception du projet, pour une durée de vie de référence de 100 ans, un module de Young (élasticité) égal à 210 GPa, et les nuances d'acier S235, S275, S355 et S460 (définies dans la norme EN 10025).

** Valeur indicative pour 1 kg d'élément porteur vertical en acier en tant qu'élément d'ossature pour une durée de vie de référence de 100 ans.

*** Valeur indicative pour 1 kg d'acier structurel (sections et plaques). Elle couvre les produits en acier des nuances S235 à S960 laminés en profilés de construction, barres marchandes et tôles fortes.

**** Valeur indicative pour 1 kg de profilé en acier laminé à chaud. Les profilés en acier comprennent les poutres en I, les poutres en H, les poutres à ailes larges et les palplanches.



La production de poutrelles en acier neuves entraîne un impact environnemental considérable, notamment lié à l'approvisionnement en matières premières issues de l'industrie minière et/ou du recyclage des métaux, ainsi qu'à l'énergie requise pour alimenter le processus sidérurgique. De ce point de vue, le réemploi constitue une stratégie particulièrement efficace pour prolonger la durée de vie d'un composant en acier. Selon les sources, réutiliser 1 tonne d'acier permet de prévenir la production de ~1410 à ~4760 kg de CO₂ eq. liés à la fabrication d'acier neuf (phase de production uniquement). Cela correspond aux émissions provoquées par une petite voiture à moteur diesel roulant pendant ~8 400 à ~28 600 km.



Inspiration

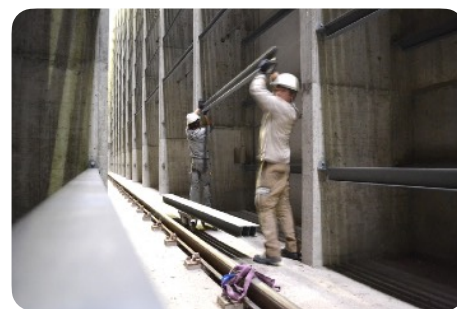
En 2021, le bureau d'architecture Bauburo In Situ a intégré des éléments de structure en acier dans un projet à Winterthur (Suisse). La majorité des poutrelles (60 tonnes) sont issues de la déconstruction d'une structure âgée de 15 ans et d'autres sites de déconstruction (10 tonnes). En l'absence d'informations précises sur la qualité de l'acier, le bureau et les ingénieurs ont supposé la qualité la plus basse, et ont utilisé des mesures de compensation pour la conception de la structure (e.a. doublement du nombre de poutres secondaires). Aucun test n'a été effectué et les réparations de surface ainsi que les traitements supplémentaires n'ont été appliqués que ponctuellement. La résistance au feu a été obtenue, lorsque cela était nécessaire, en coulant les poutres dans du béton. La conception du nouveau bâtiment a été très largement guidée par la disponibilité et les caractéristiques dimensionnelles des lots récupérés. Les modifications apportées aux poutrelles ont été aussi minimales que possible, la plupart des connexions ont été utilisées telles quelles. © Martin Zeller, Baubüro in situ ag (<https://www.insitu.ch/projekte/196-k-118>).



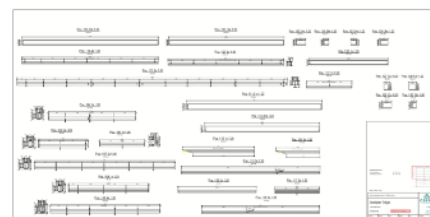
Récupération des poutrelles



Récupération des poutrelles



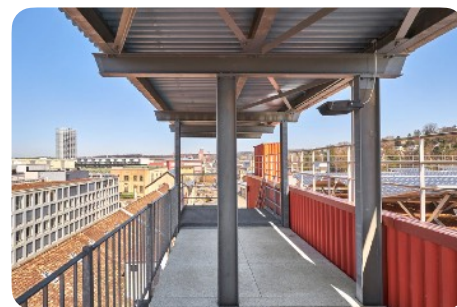
Récupération des poutrelles



Inventorisation des éléments



Remise en oeuvre des poutrelles



Remise en oeuvre des poutrelles



Remise en oeuvre des poutrelles