

GUIDE D'ÉCO-CONCEPTION POUR FAVORISER LE RÉEMPLOI FUTUR



Rédigé par Lucie BERTHET
Publié en mars 2021

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION

3

Les objectifs d'une construction favorisant le réemploi futur de ses composants.

LES BONNES PRATIQUES DE L'ÉCO-CONCEPTION

12

Principes fondamentaux à appliquer pour une éco-conception qui favorise le réemploi des composants du bâtiment.

SOLUTIONS PARTICULIÈRES

35

Propositions de solutions à appliquer par types d'éléments, exemples de mises en œuvre.

BIBLIOGRAPHIE

49

Recueil de documents pour aller plus loin sur les principes de base et liens vers les solutions exemplaires.

INTRODUCTION

CONSTRUIRE RÉEMPLOYABLE

DÉFINITIONS

MATÉRIAU

Dans le contexte de ce guide, le terme «matériau» pourra désigner tous les éléments et composants du bâtiment. Soit, un produit fabriqué comme unité distincte pour remplir une ou plusieurs fonctions spécifiques. (ISO 20887:2020)

DÉCHET

Toute substance ou tout objet, ou plus généralement tout bien meuble, dont le détenteur se défait ou dont il a l'intention ou l'obligation de se défaire. (article L541-1-1 du Code de l'environnement)

RÉEMPLOI

Toute opération par laquelle des substances, matières ou produits qui ne sont pas des déchets sont utilisés de nouveau pour un usage identique à celui pour lequel ils avaient été conçus. (article L541-1-1 du Code de l'environnement)

Dans ce guide, le terme réemploi sera élargi pour prendre en compte les opérations de réutilisation.

RÉUTILISATION

Toute opération par laquelle des substances, matières ou produits qui sont devenus des déchets sont utilisés de nouveau. (article L541-1-1 du Code de l'environnement)

RECYCLAGE

Toute opération de valorisation par laquelle les déchets sont retraités en substances, matières ou produits aux fins de leur fonction initiale ou à d'autres fins. (article L541-1-1 du Code de l'environnement)

VALEUR D'USAGE

Qualité d'un matériau à répondre aux besoins qui lui sont attribués. La valeur d'usage d'un matériau est conservée et allongée dans le cas du réemploi. Pour une opération de réutilisation, une nouvelle valeur d'usage lui est attribuée.

RÉEMPLOYABILITÉ (capacité à être réemployé)

Aptitude d'un matériau à être utilisé dans sa forme d'origine plus d'une fois et en conservant sa valeur et ses qualités fonctionnelles pendant sa valorisation pour permettre une nouvelle application pour le même usage. (ISO 20887:2020)

DEMONTABILITÉ

Aptitude d'un matériau à être démonté tout en conservant son intégrité physique ou son état de fonctionnement.

DURABLE

Aptitude d'un bien immobilier construit ou de l'un de ses composants à assurer ses fonctions requises dans son environnement propre sur une période fixée, sans maintenance ni réparation imprévues. (ISO 20887:2020)

De nature à durer longtemps. (Le Robert)

ACCESSIBILITÉ

Aptitude à faciliter l'accès aux composants pour leur démontage, réhabilitation, remplacement ou mise à niveau. (ISO 20887:2020)

INDÉPENDANCE

Qualité permettant de retirer ou de mettre à niveau les pièces, composants, modules et systèmes sans nuire aux performances des systèmes raccordés ou adjacents. (ISO 20887:2020)

RÉVERSIBILITÉ (Assemblage)

Aptitude d'un assemblage à être désassemblé et réassemblé.

RÉVERSIBILITÉ (Bâtiment)

Aptitude d'un bâtiment à passer sans grands impacts d'un usage à un autre.

ADAPTABILITÉ (Bâtiment)

Aptitude d'un bâtiment à être changé ou modifié pour s'adapter à une utilisation particulière. (ISO 20887:2020)

MODULARITÉ (Bâtiment)

Bâtiment flexible, souple, qui peut être modifié pour répondre aux besoins.

MODULE (Matériau)

Ensemble de pièces normalisées ou d'unités indépendantes. (ISO 20887:2020)

Ici, on considérera le module comme un ensemble de matériaux préfabriqués en un composant de bâtiment pour l'assemblage sur site.

CONSTRUCTION MODULAIRE

Méthode de construction impliquant l'assemblage de modules 3D préfabriqués et pré-équipés.

BIM (Building Information Modeling)

Méthode de travail basée sur la collaboration autour d'une maquette numérique. Dans un processus BIM, chaque acteur de la construction crée, renseigne et utilise cette maquette, pour en tirer les informations dont il a besoin pour son métier. En retour, il alimente la maquette de nouvelles informations pour aboutir finalement à un ensemble d'objets virtuels, représentatifs de la construction, renseignés de leurs caractéristiques géométriques et de leurs propriétés de comportement. (Fondation Bâtiment Énergie)

LA PRATIQUE DU RÉEMPLOI

Les matériaux de réemploi peuvent être issus de chantiers de déconstruction ou de rénovation, de surplus de commandes sur des projets de constructions ou bien de fins de stocks des fabricants. Ces deux derniers gisements proposent donc des matériaux neufs qui se mettent aisément en œuvre, mais sont moins fréquents.

Le réemploi des matériaux issus d'une déconstruction se base d'abord sur un **diagnostic ressources**, qui permet d'inventorier et caractériser les composants réemployables du bâtiment.

Les matériaux sont ensuite **déposés sélectivement**. Cela signifie qu'ils sont soigneusement démontés afin de conserver leur intégrité physique et leur état de fonctionnement, puis triés et conditionnés pour être stockés et/ou transportés sur un nouveau projet.

Sur un projet, plusieurs approches du réemploi sont possibles :

LE RÉEMPLOI IN SITU

Incorporation sur le projet des matériaux issus de la déconstruction du site.

LE RÉEMPLOI EX-SITU

Ventes ou dons des matériaux pour être remis en œuvre dans un autre projet.

L'APPROVISIONNEMENT EXTÉRIEUR

Intégration de matériaux de réemploi issus de gisements externes au projet.

Afin d'être remis en œuvre, certains matériaux doivent faire l'objet d'essais afin de vérifier que leurs performances sont conformes à celles attendues d'un matériau neuf pour le domaine d'emploi visé. En parallèle, les matériaux sont remis en état, transformés, préparés pour être prêts à être remis en œuvre.

Aujourd'hui, la pratique du réemploi se développe et la plupart des matériaux peuvent être réemployés. Le réemploi des revêtements et menuiseries intérieures, des équipements sanitaires, équipements techniques (chauffage, ventilation, électrique) sont courants. De même, les filières de réemploi de bois et structures métalliques se développent. Les éléments difficilement réemployables aujourd'hui sont ceux nécessitant de conserver des performances particulières complexes à justifier sans leurs fiches techniques initiales, comme les menuiseries extérieures ou revêtements de toiture à cause de leurs caractéristiques d'étanchéité.

**AVEC UNE BONNE CONCEPTION,
TOUS LES MATÉRIAUX PEUVENT SE RÉEMPLOYER.**

LES FREINS

Une liste non exhaustive des principaux freins du réemploi aujourd'hui a été réalisée à partir d'entretiens avec des acteurs de la pratique.

INFORMATIONS SUR LES GISEMENTS



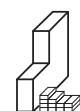
- Peu de connaissances des gisements disponibles (chantiers de déconstruction à venir, surplus de commandes...)
- Peu de diagnostics ressources réalisés par rapport au nombre de chantiers de déconstruction
 - > La nouvelle loi Anti-Gaspillage et Économie Circulaire entraîne l'obligation de réaliser un diagnostic Produits Matériaux Déchets à partir du 1^{er} janvier 2022
- Peu de filières intermédiaires pour le stockage et le reconditionnement

INVENTAIRE & CARACTÉRISATION DES GISEMENTS



- Seuls les matériaux visibles peuvent être diagnostiqués
- Les matériaux de mauvaise qualité ou en mauvais état ne peuvent être réemployés sans une remise en état
- Perte des informations (caractéristiques techniques, physiques, chimiques...) entre la mise en œuvre et la dépose

DÉPOSE SÉLECTIVE



- Les matériaux ne sont pas accessibles pour la dépose
- Mises en œuvre de matériaux non démontables
- Dépose sélective et conditionnement complexes et longs
- Stockage impossible sur le site
 - > Le développement de plateformes de réemploi physiques permet de répondre aux problématiques de stockage des matériaux

CONCEPTION INTÉGRANT DES MATÉRIAUX DE RÉEMPLOI



- Réemploi intégré trop tard dans le processus de conception
- Pas de visibilité sur les ressources disponibles à long et moyen terme
- Aprioris esthétiques sur les matériaux de réemploi

FOURNITURE ET REMISE EN ŒUVRE



- Informations techniques non disponibles pour l'acquéreur
- Gisements non homogènes et en petites quantités
- Offre et demande ne correspondent pas toujours
 - > Des plateformes numériques mettent en avant des gisements de matériaux disponibles (Cycle Up) ou des besoins spécifiques (Plateforme Looping)
- Difficultés assurantielles et juridiques

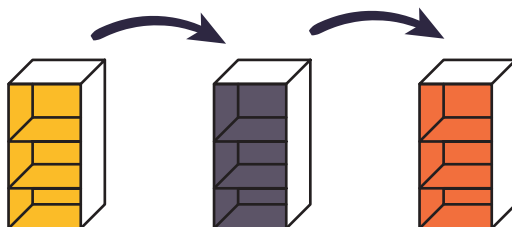
OBJECTIFS

La mission de Cycle Up est d'accompagner les projets sans se substituer aux rôles et acteurs usuels du projet et de la construction, et d'y injecter la juste ambition et les savoir-faire propres à l'économie circulaire et plus particulièrement au réemploi. C'est ce travail collaboratif avec les maîtrises d'ouvrages, les architectes et les bureaux d'études techniques, mais aussi les entreprises, qui permet d'aboutir à la mise en place d'une démarche d'économie circulaire, autant au niveau de la déconstruction (réalisation de diagnostics ressources, définition de méthodologie de dépose sélective...) que de la construction (mise en œuvre de matériaux de réemploi, fourniture...)

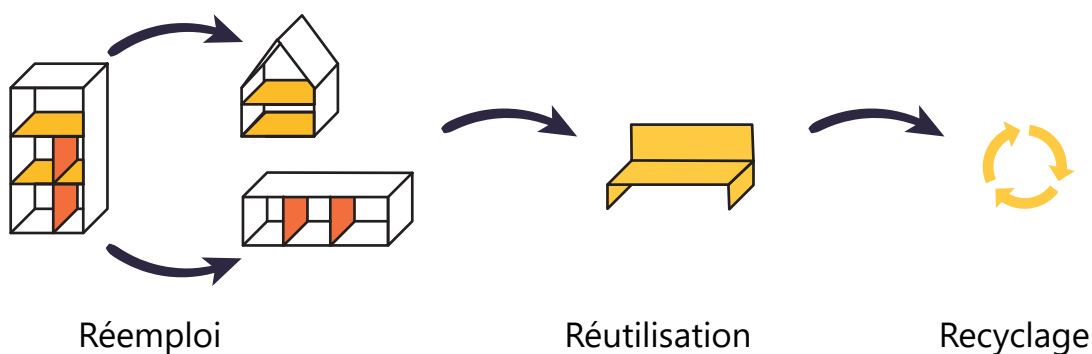
Notre objectif est de massifier la pratique du réemploi et d'anticiper les évolutions de la démarche, et notamment de chercher des solutions aux freins du réemploi.

C'est pourquoi nous cherchons à promouvoir une construction de bâtiments circulaires qui permet :

- D'augmenter la durée de vie des bâtiments afin de limiter les opérations de déconstruction.



- D'augmenter la durée de vie des matériaux de construction afin de permettre leur **réemploi** ou leur valorisation.



Hiérarchie à mettre en place

La construction d'un bâtiment dont les composants seront réemployables repose impérativement sur une **conception circulaire** de celui-ci.

Une telle conception implique les cinq principes suivants :

CONCEVOIR

À L'ÉCHELLE DE LA MATIÈRE (p14)

À L'ÉCHELLE DU MATÉRIAU (p18)

À L'ÉCHELLE DE L' ASSEMBLAGE

(p20)

À L'ÉCHELLE DU BÂTIMENT (p24)

À L'ÉCHELLE DU BIM (p28)

Dans la littérature, on retrouve cette conception sous le nom DFD (Design For Deconstruction) ou conception pour la démontabilité.

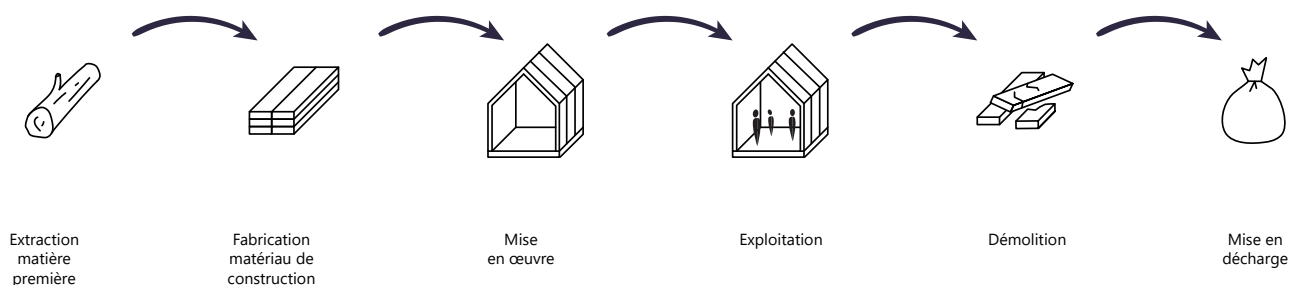
La démontabilité des bâtiments et des matériaux est un point important, mais n'est pas le seul critère qui entre en jeu. C'est pourquoi dans ce guide nous utiliserons le terme de conception pour favoriser le réemploi futur.

INFORMATION IMPORTANTE

Ces principes peuvent s'appliquer à l'échelle du bâtiment ou des matériaux le composant.

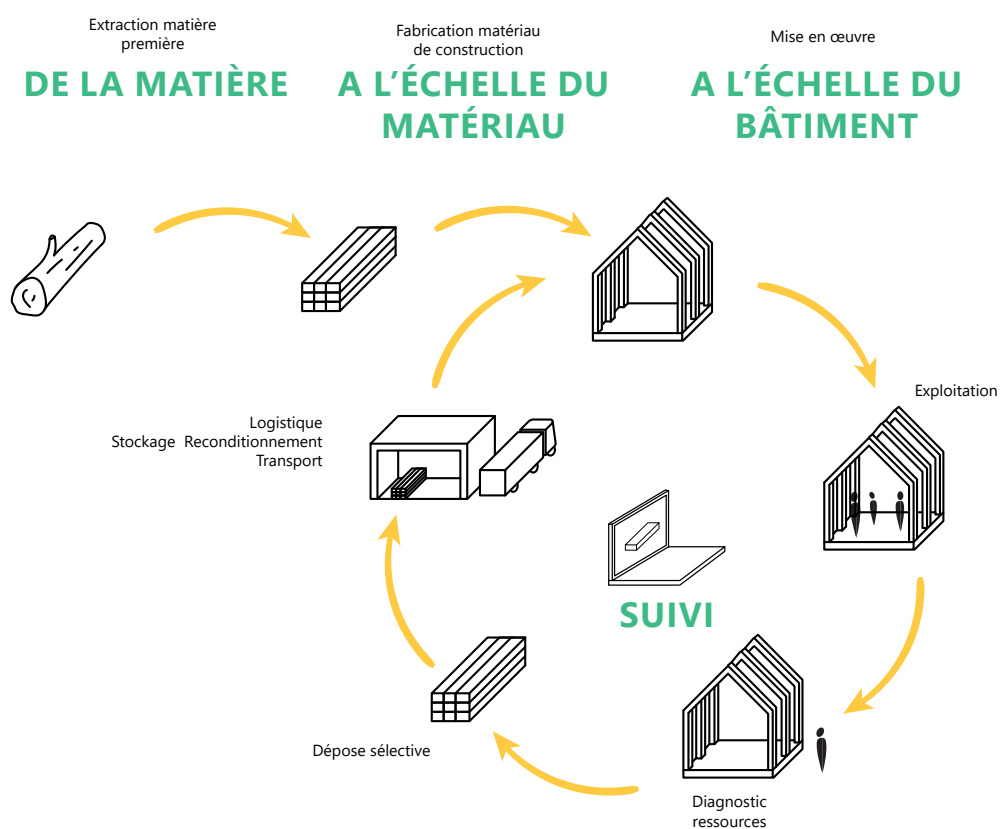
Ce guide de conception s'intéressera essentiellement à l'échelle des matériaux, néanmoins, il évoquera brièvement des principes appliqués à l'échelle du bâtiment pour permettre la compréhension de certaines notions.

MODÈLE DE L'ÉCONOMIE LINÉAIRE



MODÈLE DE L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE

Et construction pour favoriser le réemploi



LE CYCLE DE VIE DU BÂTIMENT ET SES ACTEURS DANS UNE DÉMARCHE DE RÉEMPLOI

Le processus de réemploi doit être intégré à toutes les étapes de la vie d'un bâtiment et doit inclure tous ses acteurs afin de faciliter et massifier la pratique dans le futur.

1/ PROGRAMMATION MOA

- Définir des objectifs de démontabilité et de réemployabilité
- Réaliser des documents de consultation pour la maîtrise d'œuvre prenant en compte le réemploi futur des matériaux
- Demander la réalisation d'une maquette BIM et rédiger la charte BIM avec des recommandations pour le suivi des informations de réemploi ou initier toute autre démarche de capitalisation de la donnée
- S'entourer d'une AMO réemploi ou d'une MOE sachante
- Définir une stratégie d'exploitation du site intégrant le réemploi (MOA ou exploitant)
- Anticiper le modèle économique (prise en compte des vies futures du bâtiment et de ses composants)

5/ DÉCONSTRUCTION MOA

- Demander la réalisation d'un diagnostic ressources
- Assurer la transmission des documents de conception à l'ensemble des acteurs du projet (et notamment le cureur)
- Mettre à disposition les matériaux réemployables pour du réemploi in ou ex-situ

ENTREPRISES

- Analyser les plans de démontage ou tout autres document de conception avant les travaux de curage
- Se former à la dépose sélective et au conditionnement des matériaux de réemploi

2/ CONCEPTION MOE

- Concevoir aujourd'hui avec des éléments qui pourront être réemployés demain
- Concevoir à partir d'un gisement de matériaux de réemploi
- Intégrer les bonnes pratiques de conception en vu de promouvoir le réemploi futur des composants du bâtiment

3/ CONSTRUCTION FABRICANTS

- Concevoir des composants réemployables (matériaux durables et pérennes, dimensions standards et compatibles, composants séparables, assemblages réversibles...)
- Fournir des éléments BIM contenant les fiches techniques des matériaux

ENTREPRISES

- Mettre en œuvre des matériaux réemployables dans le futur
- Respecter les assemblages préconisés ou proposer des méthodes d'assemblages réversibles plus cohérentes
- Développer des méthodes d'assemblages réversibles

4/ EXPLOITATION MOA OU EXPLOITANT

- Transmettre les documents de conception aux différents propriétaires
- Encadrer ou interdire les modifications réalisables par des locataires
- Renseigner dans les différents documents de conceptions les changements apportés aux bâtiments
- Assurer la maintenance et l'entretien des matériaux



MOA : Maitrise d'ouvrage
MOE : Maitrise d'œuvre
AMO : Assistant à la maitrise d'ouvrage

LES BONNES PRATIQUES DE L'ÉCO-CONCEPTION

Ce guide est dédié aux **concepteurs** du bâtiment pour leur donner les principes et les bases pour entamer leur processus de conception. Il s'adresse aussi aux **prescripteurs** afin de les orienter dans la définition de leurs attentes pour la construction de bâtiments circulaires.

La conception pour favoriser le réemploi s'adapte à tout type de projet, du bâtiment neuf à la reconversion. Néanmoins, il est important de définir les objectifs d'adaptabilité, de pérennité et démontabilité d'un bâtiment en fonction du type de projet (structure temporaire, bâtiment évolutif à court terme, bâtiment à usage pérenne...) et de l'envergure de structure visée (les structures mettant en œuvre des assemblages démontables ne sont pas forcément adéquates pour des charges très importantes...).

Peu importe le type de projet, une attention particulière portée à la vie et surtout la fin de vie du bâtiment peut permettre de faciliter le processus de réemploi dans le futur, et ainsi réduire le gaspillage de matériaux de construction.

Pour cela, il suffit de modifier sa façon de concevoir :

- Ne pas définir le bâtiment comme un élément statique
- Prendre en compte la totalité du cycle de vie du bâtiment dès les premières esquisses
- Considérer que les composants du bâtiment ont une durée de vie potentiellement plus longue que celui-ci
- Considérer les déchets de démolition comme une erreur de conception

INFORMATION IMPORTANTE

La nouvelle réglementation de la RE2020 demande un calcul d'Analyse de Cycle de Vie (ACV), et introduit de plus une ACV dynamique (pondération de l'impact des différentes étapes du cycle de vie d'un matériau en fonction de l'année réelle des émissions de GES).

La conception pour le réemploi impacte de manière positive un tel calcul en permettant de prendre en compte la possibilité future de réemploi, réutilisation et recyclage des matériaux.

ÉCO-CONCEPTION ET MATIÈRE

OU COMMENT CONCEVOIR DURABLEMENT EN VUE DU RÉEMPLOI ?

POURQUOI PENSER LA DURABILITÉ DE LA MATIÈRE DÈS SA CONCEPTION ?

Lors de sa vie, un matériau est sujet à de nombreuses sollicitations, ce qui entraîne sa dégradation au cours du temps, et la perte progressive de sa valeur d'usage.

Ces dégradations peuvent être de plusieurs ordres :

- Des défauts esthétiques mineurs qui peuvent être effacés par des opérations de remise en état basiques (nettoyage, ponçage, peinture...)
- Des défauts esthétiques plus importants qui demandent des opérations de remise en œuvre lourde et donc moins rentable
- Et finalement des dégradations qui impactent l'intégrité physique du matériau et qui empêchent son réemploi

Ces dégradations peuvent avoir lieu lors de leur mise en œuvre, par l'action de leur environnement durant la phase d'exploitation d'un bâtiment ou bien durant les phases de dépose et logistique.

Penser éco-conception dans un projet c'est mettre en œuvre des matériaux qualitatifs et durables, qui auront un réel potentiel de réemploi dans le futur.

LES LIMITES

Lors de l'éco-conception, il est aussi important de dimensionner et calculer les éléments en prenant en compte leurs potentielles nouvelles vies, et donc toutes les opérations de démontages et logistiques auxquelles ils seront confrontés. La pérennité d'un matériau dépend aussi de son entretien, il est important de garantir l'accès à tous les matériaux et de définir un protocole de maintenance soignée.

DANS LE FUTUR

L'éco-conception avec des matériaux prévus pour un réemploi futur facilitera les questions de justification des performances et les démarches assurantielles associées. Des marquages « conçus pour le réemploi » pourront voir le jour !

COMMENT S'Y PRENDRE DANS UNE DÉMARCHE D'ÉCO-CONCEPTION ?

Le choix des matériaux mis en œuvre dans un projet se fait selon différents critères, et varie selon le type de projet. Il est toutefois recommandé de mettre en œuvre des matériaux bruts et simples pour faciliter les opérations de réemploi, de réutilisation et ne pas mettre en péril les opérations de recyclage.

La durabilité d'un matériau pour assurer son réemploi futur sera définie selon les critères suivants :

ROBUSTESSE ET PÉRENNITÉ

Le matériau est capable de résister à son environnement durant sa mise en œuvre et son exploitation, et garde son intégrité physique durant des phases de démontage, transport et stockage.

Tous les matériaux peuvent être sujet à la casse durant les opérations de manutention, notamment pour cause de chute, la fragilité en cas d'erreur humaine ou matérielle n'est pas prise en compte.

VALEUR ESTHÉTIQUE

Le matériau conserve sa valeur esthétique dans le temps, il ne se décolore pas ou n'est pas rapidement sujet aux rayures... Ou bien il gagne une plus-value esthétique dans le temps (patine...).

IMPACT SANITAIRE

La composition du matériau est connue, et n'utilise aucun produit toxique qui pourrait altérer les matières dans le temps ou se dégager dans l'atmosphère et avoir un impact sur la santé des usagers.

CONSERVATION DES PERFORMANCES

Le matériau conserve ses performances (technique, acoustique, thermique, étanchéité...) au cours du temps.

FILIÈRE DE RÉEMPLOI EXISTANTE

Des exutoires solides existent aujourd'hui pour les matériaux ou ont vocation à se développer dans les années à venir.

IMPACT ENVIRONNEMENTAL

Les phases de fabrication et d'utilisation du matériau doivent être peu émettrices en carbone. Cela afin de limiter son impact initial, qui sera dévalué dans les prochaines vies du matériau.

ÉVALUATION DES CRITÈRES DE DURABILITÉ DES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION COURANTS

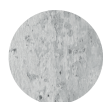
Une liste non exhaustive des matériaux de construction courants est proposée ainsi qu'une évaluation des critères de durabilité.

++
+
-
 Très bon Bon Moins bon

RÉEMPLOI / REUTILISATION / RECYCLAGE

	BOIS (ossature, parement, parquet...)	Robustesse : ++ Esthétique : + Sanitaire : +/- /!\ traitement	Performance : ++ Réemploi : ++ Impact carbone : ++
	MÉTAL (ossature, parement, radiateur...)	Robustesse : ++ Esthétique : ++ Sanitaire : ++	Performance : ++ Réemploi : ++ Impact carbone : -
	TERRE CUITE (brique, tuile...)	Robustesse : + Esthétique : ++ Sanitaire : ++	Performance : +/- /!\ étanchéité Réemploi : ++ Impact carbone : -
	PIERRE (blocs de construction, pavé, parements...)	Robustesse : ++ Esthétique : ++ Sanitaire : ++	Performance : ++ Réemploi : ++ Impact carbone : +
	TEXTILES (moquette, tissu...)	Robustesse : + Esthétique : + Sanitaire : +	Performance : + Réemploi : ++ Impact carbone : +/-
	CÉRAMIQUE (équipement sanitaire, carrelage...)	Robustesse : ++ Esthétique : ++ Sanitaire : ++	Performance : ++ Réemploi : +/- /!\ dépose Impact carbone : -
	VERRE (Fenêtre, cloison vitrée...) (en bas)	Robustesse : ++ Esthétique : ++ Sanitaire : +/- /!\ traitement	Performance : + Réemploi : + Impact carbone : -

REUTILISATION / RECYCLAGE



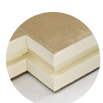
BÉTON (Structure, parpaing, pavé...)

Robustesse : +	initiale
Esthétique : ++	Réemploi : +
Sanitaire : +	Impact carbone : -
Performance : +/-	/!\ qualité



ISOLANTS BIOSOURCÉS (Laines végétales, paille...)

Robustesse : -	Performance : +/-
Esthétique : /	Réemploi : +
Sanitaire : ++	Impact carbone : ++



ISOLANTS (Polystyrène, laine de verre...)

Robustesse : -	Performance : -
Esthétique : /	Réemploi : +
Sanitaire : -	Impact carbone : -

RECYCLAGE



TERRE CRUE (Pisé...)

Robustesse : -	Performance : -
Esthétique : +	Réemploi : -
Sanitaire : ++	Impact carbone : ++



PLÂTRE (Cloison, finition...)

Robustesse : -	Performance : +
Esthétique : +	Réemploi : -
Sanitaire : +	Impact carbone : -



PVC & PLASTIQUES (Équipement, huisserie, revêtement...)

Robustesse : -	Performance : +
Esthétique : -	Réemploi : -
Sanitaire : -	Impact carbone : -

ATTENTION

Cette évaluation est donnée à titre indicatif, les caractéristiques et le choix d'un matériau dépendent de son dimensionnement, de sa mise en œuvre, de son environnement et bien d'autres facteurs.

Les matériaux sont classés selon leur capacité à être réemployés, réutilisés ou recyclés. Cette classification a été faite au vu des tendances de réemploi actuel, d'autres solutions de réemploi peuvent néanmoins exister pour ces matières et ne doivent pas être oubliées.

ÉCO-CONCEPTION ET MATÉRIAU

OU COMMENT CONCEVOIR DURABLEMENT EN VUE DU RÉEMPLOI ?

POURQUOI PENSER LA DURABILITÉ DU MATÉRIAU DÈS SA CONCEPTION ?

Une des difficultés à laquelle se confronte le réemploi, et notamment la fourniture en matériaux de réemploi, est la quantité d'un même matériau disponible.

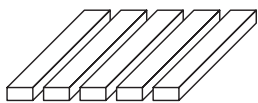
Même s'il est parfois possible de fournir plusieurs gisements différents sur un même projet, ceux-ci peuvent demander un travail supplémentaire d'adaptation (dimensions différentes par exemple).

COMMENT S'Y PRENDRE DANS UNE DÉMARCHÉ D'ÉCO-CONCEPTION ?

En concevant chaque élément et composant du projet, il faut avoir en tête quatre principes :

STANDARDISATION

Il est recommandé de limiter le nombre de références différentes pour un même type de matériau au sein d'un projet, afin de proposer dans le futur des gisements homogènes et conséquents. Il est de plus préférable de travailler avec des éléments aux dimensions standards, ce qui facilite la recherche de repreneurs dans le futur, car plus facilement compatibles avec des éléments venant d'autres gisements, et demandant moins de travail d'adaptation si intégrés dans une conception déjà avancée.



De plus, comme c'est le cas dans la construction métallique, la standardisation des éléments peut pallier un certain manque d'informations (caractéristiques connues selon la dimension de l'élément).

DANS LE FUTUR

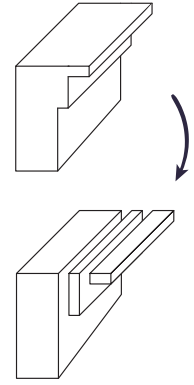
On pourra imaginer une standardisation à plus grande échelle, qui pourra permettre la gestion et l'anticipation des gisements au sein d'une même maîtrise d'ouvrage par exemple.

SYSTEMISATION

Les architectures complexes peuvent entraîner des éléments aux géométries particulières qui ne peuvent être réemployées que dans des configurations similaires. Il est préférable d'utiliser au maximum des éléments aux géométries simples, qui permettent une pluralité d'assemblages différents.

C'est pourquoi il est recommandé de travailler avec des systèmes d'éléments qui peuvent être décomposables en éléments simples.

De plus, travailler avec des systèmes préassemblés permet d'accélérer grandement les phases de dépose sélective en permettant une partie du démontage au sol, dans de meilleures conditions de sécurité.



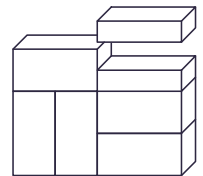
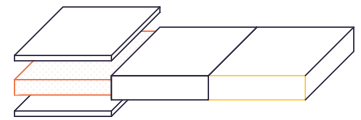
PRÉFABRICATION

La préfabrication est un procédé très utile dans la conception pour favoriser le réemploi.

Il est notamment possible de réaliser des modules préfabriqués (contenant ossature, isolant, finitions...) autoportants et emboîtables qui permettent de simplifier les opérations de construction et déconstruction.

Les éléments préfabriqués peuvent être de plusieurs échelles, du module manuable au module de la dimension d'un espace complet.

Néanmoins, pour tout type d'éléments préfabriqués, il est important de pouvoir redémonter les modules en usine pour le recyclage de ses composants si celui-ci ne trouve pas de seconde vie en son état.



DIMENSIONNEMENT COMPATIBLE

Si l'on travaille avec des éléments préfabriqués sur-mesure, il est important de réfléchir aux dimensions de ces éléments pour permettre une multitude d'organisations différentes, comme c'est le cas pour la brique.

LES LIMITES

Concevoir avec des éléments standardisés ou déjà existants peut diminuer les libertés de conceptions, mais il permet l'apparition d'un nouveau défi architectural : composer une nouvelle architecture à partir de matériaux prédéfinis.

ÉCO-CONCEPTION ET ASSEMBLAGE

OU COMMENT CONCEVOIR DURABLEMENT EN VUE DU RÉEMPLOI ?

POURQUOI PENSER LA DURABILITÉ DE L'ASSEMBLAGE DÈS SA CONCEPTION ?

Le processus de réemploi repose sur la dépose sélective des matériaux.

Aujourd'hui, beaucoup de matériaux ne sont pas déposables, car ils ont été collés, encastrés dans le béton, ou bien leur assemblage n'est ni visible ni accessible.

Dans d'autres cas, les matériaux sont abîmés lors de la dépose, ou bien l'opération est trop longue et trop coûteuse par rapport à une démolition classique.

De manière générale, leur mise en œuvre initiale, et notamment les assemblages utilisés, ne permettent pas une dépose soignée pour un réemploi futur.

Construire démontable implique tous les choix de conception qui impacteront les travaux de changement de destination, les opérations de maintenance et de remplacement des éléments, la fin de vie du bâtiment et les opérations de déconstruction qui en découlent.

Lors de la conception, il est donc primordial de penser les opérations de curages, de maintenances et de remplacement afin de les simplifier et rentabiliser une dépose sélective au profit d'une démolition classique.

COMMENT S'Y PRENDRE DANS UNE DÉMARCHE D'ÉCO-CONCEPTION ?

Pour favoriser le réemploi des éléments futur, il est important de concevoir un bâtiment démontable qui augmentera le nombre d'éléments déposables et réduira les risques de nuire à l'intégrité du matériau lors de sa dépose.

La démontabilité d'un bâtiment repose sur trois grands principes : la réalisation d'un plan de déconstruction, la conception des éléments et la conception des assemblages.

PLAN DE DÉMONTAGE

Premièrement, il est important d'anticiper la fin de vie du bâtiment en réalisant un plan de déconstruction du bâtiment au même titre qu'un plan de construction.

Celui-ci doit être implémenté d'un inventaire de tous les matériaux et assemblages du projet (types et quantités) et leur localisation. Pour chacun, il devra indiquer la méthode de dépose, les outils nécessaires pour le démontage et la manipulation des éléments, et tout autre document (schéma, plan, coupe...) qui permettront la compréhension et l'anticipation du curage par l'entreprise de déconstruction.

CONCEPTION DES ÉLÉMENTS

Tous les éléments doivent être dimensionnés en anticipant le fait qu'ils vont devoir être manipulés durant les phases de chantiers. Il est donc important de faire attention à la géométrie et au poids de chaque élément indépendant.

Pour ce faire, deux possibilités se présentent :

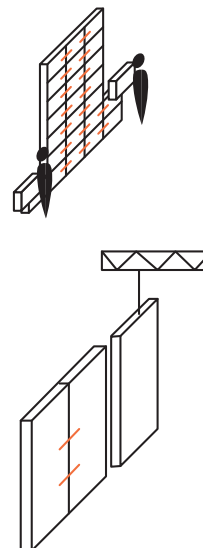
- Des éléments à dimension humaine, qui ne nécessitent pas d'outil de levage. Des éléments manportables facilitent grandement les opérations de dépose. Dans le cas d'un grand nombre d'éléments, il est important de pouvoir assurer un démontage en simultané des éléments

(particulièrement intéressant pour les revêtements et cloisonnements intérieurs)

- Des éléments de grandes dimensions, nécessitant des outils de levages standards. Ceux-ci permettent de réduire le nombre de connexions, et donc réduire le temps de montage et démontage.

Des éléments de grandes dimensions peuvent de plus être recoupés pour être mis en œuvre sur un nouveau projet

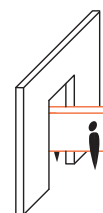
(particulièrement intéressant pour les éléments de structure et d'enveloppe extérieure)



Il est aussi important de vérifier lors d'un curage partiel par exemple, que les éléments auront un accès facilité au monte-charge et pourront être évacués du bâtiment sans encombre.

Cela signifie :

- Dimensionner des éléments qui passent par les ouvertures, couloirs, etc..
- Dimensionner des accès qui permettent le passage des éléments mis en œuvre



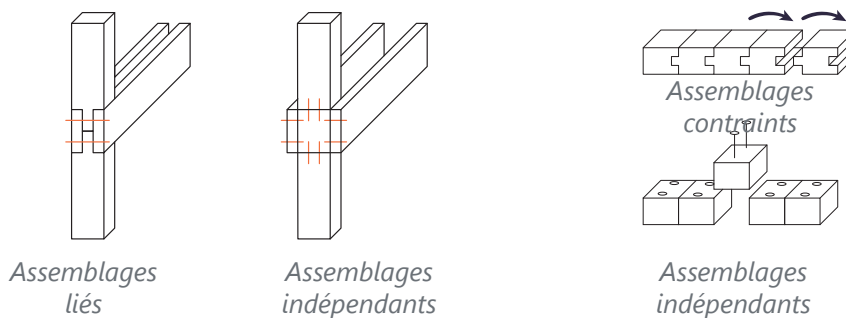
Finalement, pour une conception démontable, il peut être intéressant d'ajouter aux composants du bâtiment tout élément qui peut faciliter les opérations de dépose : poignée, encoche pour le manportage, accroche pour engin de levage...

CONCEPTION DES ASSEMBLAGES

La démontabilité d'un élément dépend principalement de son assemblage avec les autres matériaux du projet.

La conception des assemblages doit répondre à plusieurs critères :

- **Réversibilité** : Les assemblages choisis doivent au minima pouvoir permettre de déposer l'élément sans entraîner la destruction du matériau. Un assemblage entièrement réversible permet de démonter et remonter les éléments autant de fois que nécessaire.
- **Accessibilité** : Pour faciliter la dépose, les assemblages doivent être visibles, non recouverts par des finitions fixes et accessibles pour les manœuvres de démontage (suffisamment d'espace pour permettre le passage des outils).
Il est aussi recommandé de travailler avec des assemblages indépendants, qui ne sont pas liés à plusieurs connexions ou bien contraints par un autre assemblage. Il peut être intéressant dans certains cas de figure d'ajouter un élément intermédiaire qui fait la liaison entre deux ou plusieurs composants.



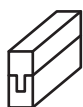
- **Simplicité** : Il est recommandé d'utiliser des assemblages courants, qui demandent l'utilisation d'outils standards. Il est aussi préférable de réduire le nombre d'assemblages différents et donc d'outils pour défaire tous les assemblages d'un bâtiment afin d'accélérer les opérations de dépose.
Dans le cas d'assemblages spécifiques non courants, il est nécessaire de renseigner le procédé de démontage dans les documents de conception, voir directement sur l'assemblage si cela est possible.

LES LIMITES

Le choix d'un assemblage se fait par rapport au type de structure, aux charges qui s'y appliquent et à l'environnement extérieur. Selon les cas, un assemblage entièrement réversible n'est pas forcément possible.

LES ASSEMBLAGES

À PRÉFÉRER



EMBOITEMENT

Assemblage réversible
N'impacte pas la durabilité de l'élément
Contraint les possibilités d'assemblages futurs



MAGNÉTIQUE

Assemblage réversible
N'impacte pas la durabilité de l'élément
Élément de liaison réemployable



BOULON

Assemblage réversible
N'impacte pas la durabilité de l'élément
Élément de liaison réemployable



VIS

Assemblage démontable
Altère l'élément
Élément de liaison réemployable



CLOU / AGRAFE

Assemblage démontable
Altère l'élément
Élément de liaison non réemployable

À ÉVITER



HUMIDE (CIMENT ET COLLES)

Assemblage non réversible (usage de mortier à la chaux possible)
Altère l'élément
Élément de liaison non réemployable



SOUDURE

Assemblage non réversible
Déconstruction destructive
Élément de liaison non réemployable



ENCASTREMENT COULÉ EN PLACE

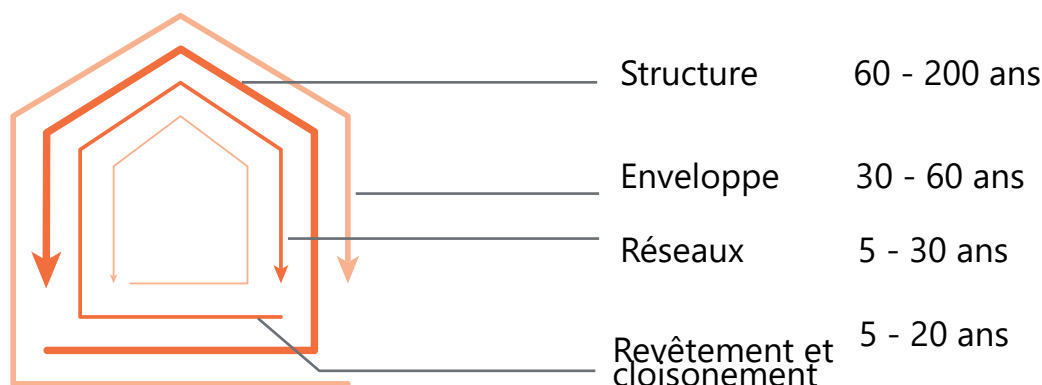
Assemblage non réversible
Déconstruction destructive

ÉCO-CONCEPTION ET BÂTIMENT

OU COMMENT CONCEVOIR DURABLEMENT EN VUE DU RÉEMPLOI ?

POURQUOI PENSER LA DURABILITÉ DU BÂTIMENT DÈS SA CONCEPTION ?

Un bâtiment se compose de différentes couches, dont le renouvellement se fait à des temporalités différentes.



*Renouvellement des couches de bâtiment d'après la théorie des couches de S.BRAND
Les durées représentent le temps moyen de remplacement des différentes couches, la durée de vie totale du matériau peut être plus longue*

Alors que la durée de vie possible de la structure d'un bâtiment est très élevée, il semble aberrant de démolir un bâtiment simplement, car d'autres couches sont obsolètes. C'est une considération qui est déjà bien ancrée dans les mœurs de l'immobilier, avec la multiplication des projets de reconversion et rénovation. Néanmoins, la reconversion ou la rénovation d'un édifice existant demande le plus souvent des moyens humains et économiques importants.

La première action pour concevoir un bâtiment circulaire est donc d'anticiper ses vies futures ainsi que celles de tous ses composants en lui permettant de s'adapter à différents scénarios d'occupation.

Finalement, une conception de bâtiments adaptables, qui anticipe les futurs changements, permet d'augmenter la durée de vie du bâtiment en facilitant les opérations d'entretien, de remplacement des éléments obsolètes et de changement de destination.

LES LIMITES

Une conception de bâtiments adaptables et démontables peut demander une surconsommation de matière à l'origine, ou une construction moins économique. Néanmoins, ce surplus sera amorti dans le temps et sera un réel gain économique et temporel lors d'une opération de transformation.

COMMENT S'Y PRENDRE DANS UNE DÉMARCHE D'ÉCO-CONCEPTION ?

L'adaptabilité d'un bâtiment repose sur trois principes fondamentaux :

POLYVALENCE

Capacité d'assurer différentes fonctions en apportant des modifications mineures aux systèmes. (ISO 20887:2020)

CONVERTIBILITÉ

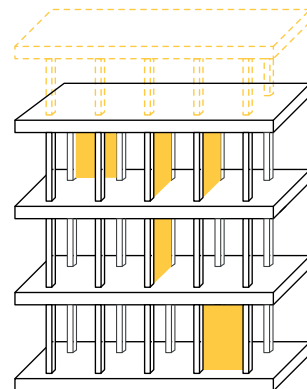
Capacité d'adaptation à des changements substantiels des besoins des utilisateurs par la réalisation de modifications. (ISO 20887:2020)

CAPACITÉ D'EXTENSION

Capacité d'un système dont la conception ou la caractéristique lui permet de s'adapter à des changements substantiels, favorisant ou facilitant l'ajout de nouveaux espaces, de nouvelles fonctions, de nouveaux moyens et de nouvelles capacités. (ISO 20887:2020)

Ces principes se traduisent par les recommandations générales suivantes :

- Prévoir des hauteurs sous plancher suffisantes pour recevoir des installations de faux plancher et faux plafond
- Préférer des dalles planes (sans différence de niveaux, ou bien démontables)
- Implanter la structure suivant une trame régulière
- Surdimensionner les éléments afin d'anticiper les surélévations, ajouts ou modifications d'équipement
- Proposer des cloisonnements composables et recomposables
- Travailler avec les normes incendie / acoustique / accessibilité / parasismique les plus contraignantes



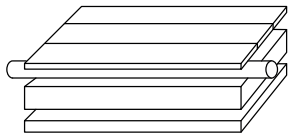
Exemples :

- [Office Switch Home](#) par Bouygues Construction
- [Conjugo](#) par Vinci Construction France, avec Canal Architecture et Génie des Lieux
- [IDI](#) (immeuble à destination indéterminée) par Icade Promotion et l'architecte Anne Demians

SÉPARATION DES COUCHES

La séparation des couches d'un bâtiment est un principe fondamental de l'éco-conception de bâtiments adaptables, mais aussi de la conception pour permettre le réemploi des composants du bâtiment.

À l'échelle des éléments, il faut donc :



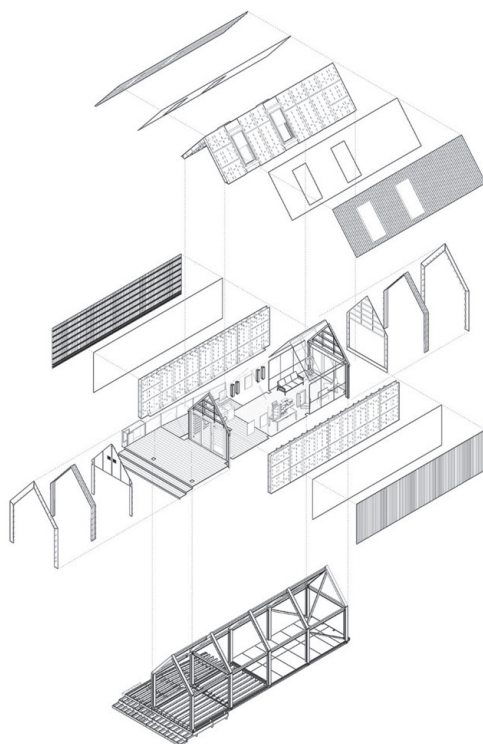
- Rendre chaque élément indépendant et accessible. Cela signifie que chaque composant est directement modifiable, retirable ou remplaçable sans impacter la cohésion du bâtiment et des matériaux qui l'entourent
- Éviter les éléments (notamment les réseaux) qui traversent d'autres composants de gros ou second œuvre pour réduire le nombre de réservations dans ceux-ci, afin d'augmenter les chances de leur trouver une nouvelle vie
- Prendre en compte le temps de renouvellement des différentes couches pour le degré de démontabilité des éléments (travailler avec des finitions qui se déposent rapidement et sans demander beaucoup de mise en œuvre...)

DANS LE FUTUR

L'accessibilité et la visibilité des éléments permettront aussi de simplifier la mission de diagnostic ressources, et augmenter le nombre de matériaux diagnostiqués et réemployés au sein d'un bâtiment !

EXEMPLE

Circular Building - Arup - Londres - 2016



Crédit : Arup associates

ÉCO-CONCEPTION ET BIM

OU COMMENT CONCEVOIR DURABLEMENT EN VUE DU RÉEMPLOI ?

POURQUOI PENSER BIM DÈS SA CONCEPTION ?

Aujourd'hui le diagnostic ressources se fait par un audit visuel du bâtiment. Les quantitatifs réalisés peuvent différer avec la réalité (éléments cachés, non accessibles) et les documents techniques de conception et fabrication sont le plus souvent introuvables.

Il est donc très difficile de caractériser entièrement un gisement par un simple coup d'œil.

Le manque d'informations sur les matériaux est un des freins les plus importants pour la fourniture en matériaux de réemploi. Certains éléments demandent une justification de performances qui nécessite alors la réalisation d'essais en laboratoire. De même, l'absence d'information sur le type d'assemblage des éléments entraîne le besoin de tests de dépose.

Les connaissances de certaines informations permettraient donc de simplifier de nombreuses étapes du processus de réemploi. Si la connaissance des performances initiales d'un composant ne permet pas de justifier de ses performances actuelles, elles permettent tout de même de grandement simplifier les démarches de requalification et à minima de permettre une présélection des gisements lors de la conception.

De plus, mettre en place une conception qui facilite le réemploi ne peut fonctionner que si tous les acteurs de la vie du bâtiment sont introduits et associés au processus. D'où l'importance de bien renseigner toutes les informations nécessaires à la dépose et au réemploi futur sur les bons supports, et assurer leur transmission.

Il est donc nécessaire de permettre la transmission des informations et leur mise à jour lors des différentes phases de vie du bâtiment.

COMMENT S'Y PRENDRE DANS UNE DÉMARCHE D'ÉCO-CONCEPTION ?

L'idée serait de créer une base de données de matériaux de construction réemployables contenant des fiches matériaux des bâtiments existants, d'abord à l'échelle d'un projet, puis à l'échelle du parc immobilier d'un MOA, et peut être dans le futur à une échelle plus globale.

Ces fiches matériaux doivent contenir toutes les informations du composant pour permettre son réemploi. L'accessibilité à celles-ci pourrait se faire numériquement depuis la maquette BIM ou bien physiquement directement depuis le matériau.

INFORMATIONS NÉCESSAIRES

POUR CHAQUE ÉLÉMENT :

PHASE CONCEPTION :

- Identification standard de l'élément (type)
- Composition de l'élément (matière/propriétés chimiques...)
- Mention future (réemployable/réutilisable/recyclable/non valorisable)
- Dimensions et poids
- Propriétés physiques (classe de résistance/charge maximale, performances initiales...)
- Plans, notes de calculs
- Type d'assemblages, préconisations de dépose et conditionnement

PHASE DE FABRICATION / MISE EN ŒUVRE :

- Identification unique de l'élément (numéro de suivi...)
- Date de mise en œuvre
- Documents techniques fabricant (fiche technique du matériau)
- Coordonnées du fabricant

PHASE D'EXPLOITATION :

- Suivi des différents projets sur lequel est passé le matériau
- Procès-verbaux, essais réalisés au cours de sa vie
- Opérations de maintenance et réparation
- Condition d'usage, événement subit tout au long de sa durée de vie (incendie/traitement/séisme/infiltration d'eau/surcharge...)

POUR LE BÂTIMENT :

Afin de permettre le réemploi des éléments, faciliter leur récupération et leur remise en œuvre, il est aussi important de capitaliser un certain nombre d'informations sur le bâtiment en lui-même.

- Date de construction
- Géolocalisation (pour partage local des éléments)
- Si conçu pour le réemploi futur de ces éléments
- Documentation et repérage de composants / assemblages
- Intégrer au cours du temps les transformations apportées au bâti et les sinistres d'usage.

INFORMATION IMPORTANTE

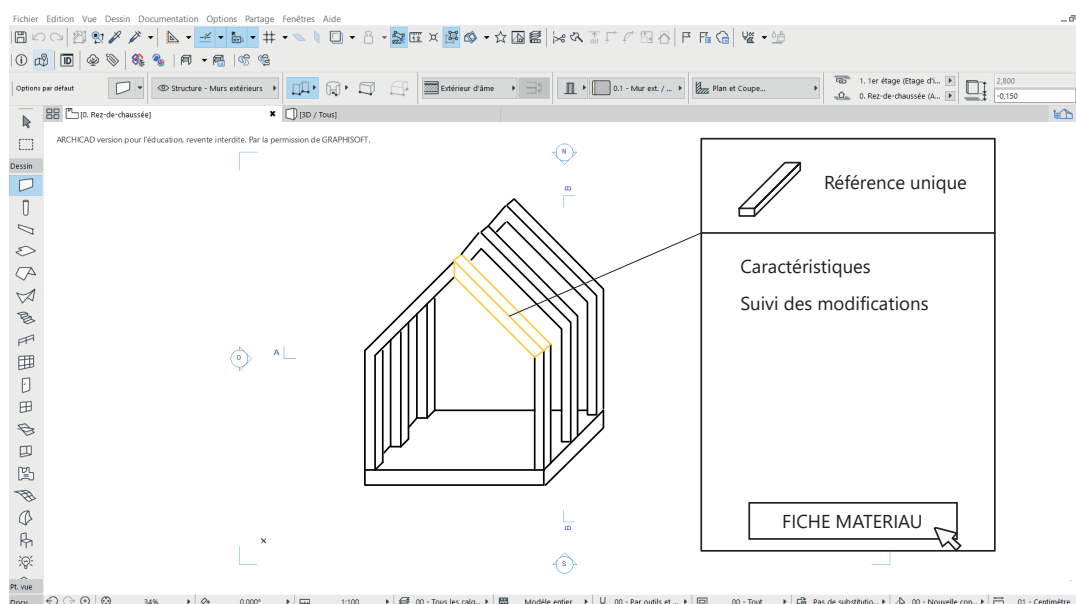
Dans le cas de matériaux de réemploi, il est important de conserver toutes les données récupérées lors du processus de réemploi, au même titre que les informations d'un produit neuf.

SUIVI NUMÉRIQUE

Aujourd'hui, le moyen le plus aisé de rendre accessibles les informations sur le produit est de les stocker sur une plateforme numérique. Le numérique facilite la conservation et la transmission par rapport aux versions papier.

La maquette BIM d'un projet possède un fort potentiel pour les problématiques de gestion de données. En effet, le BIM permet d'attacher une infinité d'informations à un objet, la collaboration des différents acteurs et le transfert des objets.

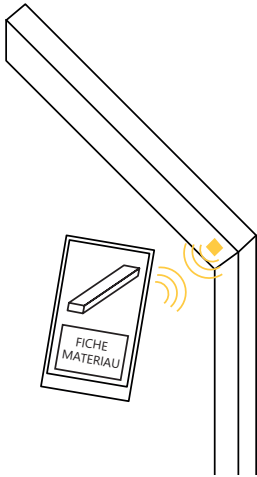
Il est donc possible pour chaque objet du projet d'y attacher directement les informations nécessaires, ou bien un lien vers la fiche produit du matériau. La maquette BIM est aussi le lieu pour renseigner les informations propres au bâtiment.



SUIVI PHYSIQUE

Il est important de mettre en place un système sur les éléments permettant de faire le lien physique avec les informations stockées si la maquette BIM n'est plus accessible.

Plusieurs types d'éléments de suivi sont possibles :



- **Code barres ou QR code :**
Sous la forme d'étiquette collée ou de gravure, il permet par balayage avec un téléphone ou autre appareil numérique de renvoyer vers l'élément dans sa base de données numérique
- **Numéro de suivi :**
Nécessaire de connaître le fabricant ou la base de données ou chercher le numéro de suivi
- **Puce RFID :**
Renvoie à l'élément dans sa base numérique. Le gros avantage de la puce RFID est qu'elle peut contenir une certaine quantité d'informations qui seront conservées même si la base de données numérique disparaît
EXEMPLE : [elements-reuse](#)

Le choix du type de marquage est à adapter en fonction du type d'élément, en effet, il semble compliqué de mettre en place une puce sur chaque dalle de moquette d'un projet alors qu'aujourd'hui la présence de la référence et du fabricant au dos de la dalle suffit pour permettre son réemploi.

Néanmoins, des systèmes de puces scanables sur chaque composant peuvent grandement aider la mission de diagnostic ressources pour permettre un quantitatif plus précis et une caractérisation des éléments visibles et non visibles aisée.

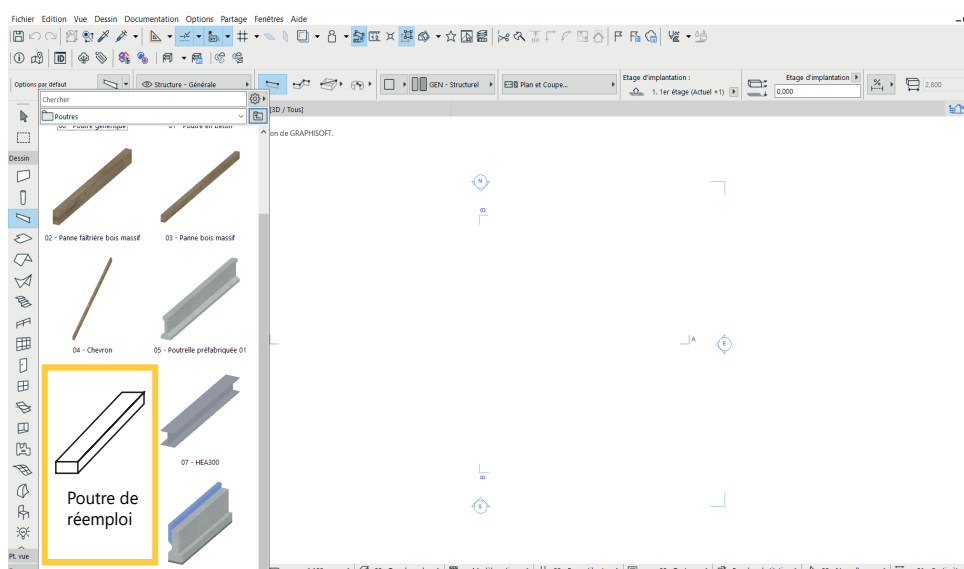
LE BIM

OUVERTURE SUR LE BIM

Avec le développement d'objets BIM conçus pour le réemploi, ceux-ci pourront «voyager» entre les maquettes BIM en transportant les informations qu'ils contiennent avec eux.

En fin de vie du bâtiment et après le diagnostic ressources, les composants du bâtiment pourront être «mis à disposition» de nouveaux projets.

Ces éléments de réemploi pourront par exemple être directement disponibles dans les catalogues d'objets BIM pour la création de nouveaux projets..



LES LIMITES

Aujourd'hui, même s'il en a le potentiel, le BIM n'est pas utilisé dans l'optique d'un transfert de données.

La multitude de logiciels utilisés par les différents acteurs et les conversions en fichiers partageables peut entraîner une perte de données. De la même façon les usages aujourd'hui sont de limiter les fichiers lourds. Un stockage de données important, dont l'assurance de leur utilité n'est pas encore définie, directement sur la maquette BIM semble donc compliqué à mettre en place.

De plus l'outil BIM même s'il en donne les moyens ne garantit pas la transmission des éléments par ses usagers.

Finalement pour assurer un développement du BIM dans le futur un gros travail de normalisation des formats et des dénominations est à faire.

CONCEVOIR RÉEMPLOYABLE

SOLUTIONS LES FREINS

Si le réemploi futur est intégré dès la conception d'un bâtiment, les principaux freins qui entravent sa mise en place trouvent une solution.

LOCALISATION DES GISEMENTS

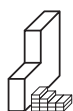


- Peu de connaissances des gisements disponibles (chantiers de déconstruction à venir, surplus de commandes...)
 - > Mise à disposition facilitée des éléments réemployables grâce au BIM et connaissance à l'avance des gisements disponibles dans un bâtiment.
- Peu de diagnostics ressources réalisés par rapport au nombre de chantiers de déconstruction
 - > La nouvelle loi Anti-Gaspillage et Économie Circulaire entraîne l'obligation de réaliser un diagnostic Produit Matériaux Déchets à partir du 1^{er} janvier 2022
- Peu de filières intermédiaires pour le stockage et le reconditionnement
 - > Création de filières de réemploi pour tout type d'élément quand le nombre d'éléments déposés augmentera

INVENTAIRE & CARACTÉRISATION DES GISEMENTS



- Seuls les matériaux visibles peuvent être diagnostiqués
 - > Accessibilité des matériaux et mise à disposition des documents de conception permettra de diagnostiquer tous les éléments d'un bâtiment.
- Les matériaux de mauvaise qualité ou en mauvais état ne peuvent être réemployés sans une remise en état poussée
 - > Mise en œuvre de matériaux durables qui composeront les gisements de demain
- Peu d'informations techniques disponibles sur les matériaux
 - > Mise à disposition des informations et fiches techniques des matériaux grâce aux éléments de suivi



DÉPOSE SÉLECTIVE

- Les matériaux ne sont pas accessibles pour la dépose
Mises en œuvre de matériaux non démontables
Dépose sélective et conditionnement complexe et long
 - > Conception démontable qui facilite les opérations de dépose sélective
- Stockage impossible sur le site
 - > Le développement de plateformes de réemploi physique permet de répondre aux problématiques de stockage des matériaux



CONCEPTION AVEC MATÉRIAUX DE RÉEMPLOI

- Réemploi intégré trop tard dans le processus de conception
 - > Intégration des démarches de réemploi dès les premières esquisses
- Pas de vue sur les ressources disponibles à long et moyen terme
 - > Gestion des gisements à venir et vision à long terme grâce aux maquettes BIM
- Aprioris esthétiques sur les matériaux de réemploi
 - > Gisements de matériaux durables, conservant leur valeur esthétique. De plus les matériaux seront connus à l'avance



FOURNITURE ET REMISE EN ŒUVRE

- Informations techniques non disponibles pour l'acquéreur
 - > Mise à disposition des informations et fiches techniques des matériaux grâce aux éléments de suivi
- Gisements non homogènes et en petites quantités
 - > Concevoir avec des éléments normalisés sur un projet permettra d'obtenir des gisements futurs homogènes, conséquents et compatibles
- Offre et demande ne correspondent pas
 - > Des plateformes numériques mettent en avant des gisements de matériaux disponibles (Cycle Up) ou des besoins spécifiques (Plateforme Looping)
- Difficultés assurantielles et juridiques
 - > Démarches assurantielles simplifiées par des gisements de matériaux conçus pour le réemploi

SOLUTIONS PARTICULIÈRES

Les pages suivantes présentent, pour chaque type de composants, des solutions particulières. Celles-ci font office d'exemples et ne sont pas exhaustives. Il appartient aux concepteurs du bâtiment de développer leurs propres solutions afin de promouvoir une architecture démontable et réemployable.

Il est bien sûr possible (et conseillé) de réaliser une architecture demandant le moins de matériaux possible, utilisant des matériaux biosourcés, ne nécessitant pas de finitions ou bioclimatiques, mais ce n'est pas l'objet de ce guide.

L'ensemble de ces recommandations ont été réalisées à l'aide d'une recherche de références, et notamment grâce aux recommandations du site BAZED et du guide enjeu D de la FBE (voir bibliographie).

COMMENT CONCEVOIR LA STRUCTURE DANS UNE DÉMARCHE FUTURE DE RÉEMPLOI ?

Les éléments de structures dépendent du type de bâtiment et des contraintes structurelles, une mise en œuvre entièrement réemployable n'est pas toujours possible.

FONDATION

✓ Préférer des fondations qui ont peu d'impact sur leur environnement.

- Mettre en place des fondations réemployables (**pieux métalliques vissés, pilotis...**)

✗ Éviter les fondations coulées en place qui ont un fort impact sur leur environnement (radiers, longrines...).



*Longrine en poutrelles métalliques surélevées du sol posées sur des pieux vissés
(Maison de la Lainière, Carlos Arroyo, Lille)*

STRUCTURE PORTEUSE

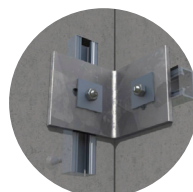
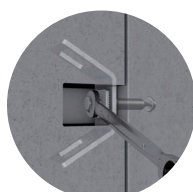
✓ Préférer les systèmes **poteaux / poutres** plus facilement démontables et adaptables.

- Emboitables (**structure bois**)
- Boulonnés (**structure bois / structure métallique**)
- Utiliser des connecteurs métalliques (**structure bois / structure métallique / structure béton préfabriqué**)

✗ Éviter les structures qui impliquent des encastrement (coulées en place, soudées...).



Connecteur métallique pour construction bois



Liaisons pour éléments béton préfabriqués (HALFEN)

- ✓ Utiliser des **structures en panneaux** préfabriqués, mettant en oeuvre des assemblages réversibles.



*Mur porteur préfabriqué en bois
(Maison de la Lainière, Carlos
Arroyo, Lille)*

- ✗ **Éviter les panneaux préfabriqués qui doivent être clavetés sur site (béton coulé en place).**

- ✓ Les **structures maçonnées** sont possibles, mais demandent un effort de déconstruction plus important.

- Attention au liant utilisé (la force du liant doit être inférieure à la force de cohésion du matériau, par exemple les **liants à la chaux**. Attention, la structure est donc moins résistante qu'une structure cimentée)
- Mise en oeuvre avec assemblage sec



*Appareillage de briques
précontraintes, pose sèche et
réversible (DEMODULOR)*

- ✗ **Éviter les liants à base de ciment qui entraînent la destruction des maçonneries lors du démontage.**

PLANCHERS

- ✓ Utiliser des dalles préfabriquées.



*Systèmes de planchers mixtes
(DEMODULOR)*



Plancher en bois CLT

- ✗ **Éviter les planchers coulés en place.**

LA CONSTRUCTION MODULAIRE

La construction modulaire est un système de construction reposant sur l'assemblage de modules préfabriqués et pré-équipés en usine.

Contrairement aux modules de façades ou de plancher évoqués plus tôt, ceux-ci sont de la dimension d'un espace complet.

Il existe plusieurs types de constructions modulaires :

- Pièces modulaires **ajoutées à une construction traditionnelle** (module de salle bain, module d'extension...)
- **Modules autoportants** qui peuvent être utilisés seuls pour des bâtiments événementiels par exemple, ou empilés pour créer des structures plus importantes
- **Modules connectés** par une structure externe (noyau central, ossature poteau poutre...)

La construction modulaire possède un fort potentiel pour la conception adaptable et favorise ainsi le réemploi. En effet, les modules peuvent être récupérés et réemployés dans un nouveau projet.

Pour cela il est important d'accorder une attention particulière à l'assemblage intermodules ou module / structure porteuse pour que celui-ci soit réversible.

De plus, il est important de concevoir des modules redécomposables en usine pour permettre le réemploi des éléments indépendants si le module n'est pas réemployé en tant que tel.

Les modules peuvent être en ossature bois, métallique ou en béton. Il existe aussi des solutions de réemploi de container maritime en modules préfabriqués.



Tour composée de modules élaborés à partir de containers métalliques superposés.

([Tour pour Freitag lab AG](#), Zurich)



Tour composée de modules préfabriqués en acier connectés à un noyau central en béton. La tour a été conçue pour le démontage et le remplacement des modules.

([Nakagin Tower](#), K. Kurokawa, Tokyo)

COMMENT CONCEVOIR L'ENVELOPPE DANS UNE DÉMARCHE FUTURE DE RÉEMPLOI ?

Les éléments d'enveloppe n'interagissent pas avec la structure du bâtiment, leur mise en œuvre pour permettre le réemploi est donc toujours possible.

ISOLATION

- ✓ Préférer les isolants en panneaux pour faciliter le démontage.
 - ✓ Utiliser des isolants durables et pérennes (**laines végétales...**).
 - ✓ Utiliser des caissons ou modules préfabriqués isolés.
 - Il est important d'assurer l'accessibilité de l'isolant pour permettre son remplacement.
- ✗ **Éviter les isolants en vrac qui sont plus difficiles à récupérer (sauf si intégré à un caisson à un démontable).**



Caisson de remplissage préfabriqué, isolation en paille et revêtement en polycarbonate
(Pré-fabrique de l'innovation, Z-Architecture, Villeurbanne)

ÉTANCHÉITÉ

- ✓ Aujourd'hui, l'étanchéité n'est pas réemployable, il est donc recommandé de mettre en œuvre une étanchéité qui puisse être facilement retirée.
 - Utiliser des membranes d'étanchéité fixées par **adhésif** ou **agrafes**.
- ✗ **Éviter les étanchéités coulées ou collées.**

REVÊTEMENT

- ✓ Utiliser des matériaux qui ne perdent pas leur qualité esthétique dans un environnement extérieur, ou bien les protéger des intempéries (débord de toitures...).
- ✓ Utiliser des revêtements dont la mise en œuvre peut être démontable.
 - Bardages emboitables
 - Fixations sur rail
 - Fixations clipsables
 - Revêtement vissé sur montants

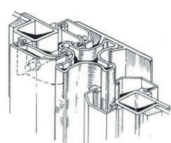
✗ ***Éviter les finitions en enduits ou crépis.***

MENUISERIE

- ✓ Préférer les menuiseries en bois ou aluminium qui conservent un intérêt pour le réemploi ou la réutilisation.
 - Utiliser des menuiseries qui sont facilement démontables (châssis / cadre / vitrage) pour faciliter la réutilisation et le recyclage
- ✓ Mettre en œuvre les menuiseries de sorte à pouvoir facilement retirer l'entièreté de la menuiserie.
 - Fixer la menuiserie sur un élément indépendant de la structure

✗ ***Éviter les menuiseries en PVC.***

✗ ***Ne pas encastrer les menuiseries à la structure.***



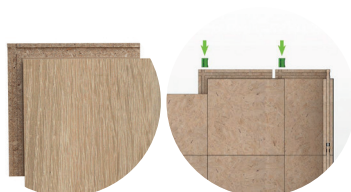
*Élément de fixation par système de rail indépendant
(Elma Durmesevic)*

COMMENT CONCEVOIR L'AMÉNAGEMENT INTÉRIEUR DANS UNE DÉMARCHE FUTURE DE RÉEMPLOI ?

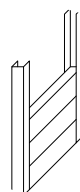
L'aménagement intérieur peut être modifié lors de travaux de reconversion ou rénovation, il est indépendant de la structure et il est donc très important de le penser réversible.

CLOISONNEMENT

- ✓ Favoriser des cloisonnements démontables
 - Système de cloisons amovibles (préférer des systèmes unitaires avec des panneaux et ossatures indépendants)
 - Système de cloisons montables et démontables comme un jeu de construction
 - Cloisons fixées par rails visibles



Système de construction de cloisons (FIBS)



Système de cloisonnement sur rail

- ✓ Mettre en œuvre des cloisons en plâtre avec fixations accessibles.
 - Ne pas couvrir d'enduit les vis et les jonctions.

✗ **Éviter les cloisons en plâtre enduites.**

ESCALIER

- ✓ Mettre en œuvre des escaliers facilement démontables.
 - Escalier indépendant modulaire boulonné ou vissé à la structure.
 - Escalier avec marches indépendantes et démontables.

✗ **Éviter les escaliers en béton coulé en place.**

PORTES INTÉRIEURES

- ✓ Mettre en œuvre des portes et cadres facilement et entièrement démontables.
 - Fixer sur un élément indépendant
 - ✓ Préférer les paumelles plus facilement dégondables aux charnières.
 - ✓ Utiliser des cadres de portes rigides qui peuvent être conservés d'un seul tenant une fois démontés.
- ✗ ***Ne pas encastrer les cadres de portes dans les cloisons.***
 - ✗ ***Éviter les cadres de portes non rigides qui pourraient se casser lors du transport une fois déposés.***

COMMENT CONCEVOIR LES RÉSEAUX DANS UNE DÉMARCHE FUTURE DE RÉEMPLOI ?

Les réseaux, les équipements techniques et sanitaires sont des éléments qui peuvent devenir obsolètes, il est donc important de pouvoir permettre le remplacement ou la maintenance. Si les équipements sont encore en état de fonctionnement et aux normes ils possèdent un fort potentiel de réemploi.

ÉQUIPEMENTS

- ✓ Mettre en œuvre des équipements facilement démontables (boulonnés, vissés...).
 - ✓ Privilégier des équipements indépendants, qui peuvent fonctionner seuls.
 - ✓ Permettre la déconnexion facile des équipements des réseaux (raccordement proche de l'équipement...).
 - ✓ Préférer des équipements en céramique, métal, verre...
- ✗ *Éviter de mettre en œuvre des équipements interdépendants.*
 - ✗ *Éviter les équipements en plastiques et PVC qui ont moins de valeur pour le réemploi.*

RÉSEAUX

- ✓ Regrouper les différents réseaux pour diminuer le nombre de passages de réseaux différents.
- ✓ Identifier et dissocier les différents types de réseaux pour faciliter les opérations de maintenance.
 - Utiliser des marquages par couleur, étiquettes...
- ✓ Rendre les réseaux indépendants des éléments de gros et second œuvre et permettre leur accès.
 - Utiliser des systèmes de faux plancher, faux plafonds ou plinthes démontables.
 - Mettre en place des réseaux visibles.



*Réseaux visibles
(Crèche modulaire itinérante, Tardio et Djuric, Paris)*

✗ **Éviter les réseaux coulés dans la structure.**

- ✓ Utiliser des réseaux où les jonctions sont démontables et remontables.



Réseau de plomberie en PER

✗ **Éviter les types de réseaux où les jonctions sont soudées.**

- ✓ Apporter une attention particulière aux passages des réseaux pour limiter le nombre de réservations dans les éléments de gros et second œuvre.
- ✓ Surdimensionner les gaines techniques pour permettre le passage de nouveaux réseaux.

COMMENT CONCEVOIR LES REVÊTEMENTS INTÉRIEURS DANS UNE DÉMARCHE FUTURE DE RÉEMPLOI ?

Les finitions et revêtements permettent l'appropriation d'un lieu par ses propriétaires et locataires. Avec l'évolution d'un bâtiment dans le temps ils sont donc voués à être souvent remplacés et déposés. Une mise en œuvre pour simplifier la dépose et favoriser le réemploi de ces éléments est donc particulièrement judicieuse.

REVÊTEMENT DE PLAFOND ET MUR

- ✓ Utiliser des systèmes de faux plafonds suspendus.
 - ✓ Utiliser des revêtements facilement déposables (clipsés, vissés, sur rail...)
 - ✓ Ne pas couvrir des assemblages avec des finitions fixes et non déposables.
- ✗ ***Éviter les finitions collées, enduites...***

REVÊTEMENT DE SOL

✓ Utiliser des systèmes de faux planchers pour ne pas fixer directement un revêtement sur la dalle.

- Faux plancher sur rails
- Planchers surélevés sur rail ou lambourdes

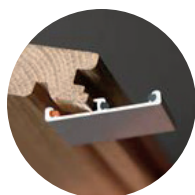
✗ **Éviter les chapes en béton et les sols coulés en place.**

✓ Préférer des moquettes en dalles de dimensions standard, plus facilement réemployable avec une mise en œuvre démontable.

- Dalles plombantes
- Systèmes adhésifs ou scratch

✗ **Éviter l'usage de la poisse, qui peut être démontable si bien appliquée, mais laisse des résidus.**

✓ Mettre en place des parquets flottants, clipsés.

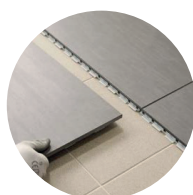


Pose de parquets massifs flottants (EASYKLIP)

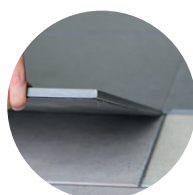
✗ **Éviter les parquets cloués ou collés.**

✓ Mettre en œuvre des carrelages facilement déposables.

- Pose sans joint
- Il est possible de démonter un carrelage posé avec des joints de ciment, mais il est nécessaire de mettre en œuvre un carrelage à forte valeur ajoutée pour rentabiliser les opérations de dépose.



Pose de carreaux clipsables



Carreaux simplement posés, sans joints avec une sous couche en liège (SET-IN, REFIN)

BIBLIOGRAPHIE

RECOMMANDATIONS GÉNÉRALES

GUIDES DE LA FONDATION BÂTIMENT ÉNERGIE :

- Nibel, Sylviane, et Gérard Senior. « **ENJEU C : Guide d'aide à la conception pour des bâtiments transformables et réversibles.** » FBE, 2020.
- Laclau, Benjamin. « **ENJEU D : Guide d'aide à la conception pour la démontabilité.** » FBE, 2020.
- Bertin, Ingrid. « **ENJEU E : Capitalisation de la donnée.** » FBE, 2020.

Accessibles depuis : <http://www.batiment-energie.org/index.php?p=70>

AUTRES DOCUMENTS, THÈSES, ARTICLES

- NF ISO 20:887 «**Développement durable dans les bâtiments et ouvrages de génie civil - Conception pour la démontabilité et l'adaptabilité - Principes, exigences et recommandations** », 2020.
- Durmisevic Elma. « **Transformable Building Structures. Design for Dissassembly as a Way to Introduce Sustainable Engineering to Building Design & Construction.** », 2006.
- Kanters, Jouri. « **Design for Deconstruction in the Design Process: State of the Art** ». Buildings 8, no 11, 2018.
- The American Institute of Architects. «**Buildings that last design for adaptability deconstruction, and reuse**».
- Vandenbroucke, Mieke. « **Design for Change** », 2017.
Accessible depuis : <https://www.vibe.be/gebouwen/dossier-veranderingsgericht-bouwen/>

SITES INTERNET

- BAZED. <https://www.bazed.fr/les-solutions-techniques>

EXEMPLES PROPOSES

PROJETS EXEMPLAIRES

- Architectures Anne Démians. « L'immeuble à destination indéterminée, une idée à répliquer ». <https://www.annedemians.com/parution/limmeuble-a-destination-indeterminee-idee-a-repliquer/>
- ArchDaily. « AD Classics: Nakagin Capsule Tower / Kisho Kurokawa ». <https://www.archdaily.com/110745/ad-classics-nakagin-capsule-tower-kisho-kurokawa>
- BAZED. « Maison du projet de la Lainière (C2C) ». <https://www.bazed.fr/vos-projets/laniere>
- « Dans les jardins du Luxembourg, une crèche démontable en bois - Séquences Bois ». <https://www.sequencesbois.fr/dans-les-jardins-du-luxembourg-une-creche-demontable-en-bois-a397.html>
- « Des bureaux à configuration variable | Bouygues Bâtiment Ile-de-France, groupe Bouygues Construction ». <https://www.bouygues-batiment-ile-de-france.com/des-bureaux-configuration-variable>
- « Freitag Tower | zuerich.com ». <https://www.zuerich.com/fr/visite/attractions-touristiques/freitag-tower>
- « The Circular Building - Arup ». <https://www.arup.com/perspectives/the-circular-building>
- VINCI Construction France. « Conjugio ». <https://www.vinci-construction.fr/nos-expertises/nos-offres-et-solutions/conjugio>
- Z Architecture. « Pré-fabrique de l'innovation du Campus Lyon - La Doua - Villeurbanne (69) ». <https://www.z-architecture.fr/projets/pre-fabrique-de-linnovation-du-campus-lyon-la-doua-villeurbanne-69/>

SOLUTIONS EXISTANTES

- « AW_Construction_Elements_Prefabrique_CHF.pdf ». https://downloads.halfen.com/catalogues/ch/media/catalogues/generaldocuments/AW_Construction_Elements_Prefabrique_CHF.pdf
- « Cloison de séparation - Construction modulaire bois - Construction bois ». <https://www.fibseurope.com/fr/>
- « DEMODULOR | MECD ». <https://mecd.fr/demodolor/>
- « Home - Elements reuse ». <https://elements-reuse.com/>
- « Parquet Flottant EASIKLIP | Facile et Rapide à poser, sans clous, ni colle ! ». <https://www.easiklip.fr/parquet-flottant-easiklip/>
- « SET-IN: Système auto-posant à sec d'intérieur ». <https://www.refin-gres-cerame.com/le-gres-cerame-porcelaine/systeme-auto-posant/>