

ÉCONOMIE CIRCULAIRE
DES BÂTIMENTS

Guide d'aide à la conception pour la démontabilité



FONDATION
BÂTIMENT
ÉNERGIE

GUIDE D'AIDE À LA CONCEPTION
POUR LA DÉMONTABILITÉ



ÉCONOMIE CIRCULAIRE
DES BÂTIMENTS

Coordination de l'enjeu

Benjamin LACLAU / NOBATEK/INEF4

Contributeurs groupe recherche

Elodie MACÉ / Artelia

Ingrid BERTIN / Setec

Gérard SENIOR / AETIC ARCHITECTES

Stéphan HERBIN / MECD

Contributeurs groupe utilisateurs

Alto Ingénierie

Artelia

BNP Paribas Real Estate

Cerqual

Circolab

EPAMARNE

GECINA

IFPEB

Nantes Métropole Aménagement

ReaVie

Coordination générale de l'atelier sur l'Économie Circulaire

Sylvain LAURENCEAU / CSTB

Décembre 2020

Créée à l'initiative de l'Ademe et du CSTB, la Fondation Bâtiment Énergie est financée par les partenaires fondateurs suivants :





Cadre général	4		
1. Introduction	5	4. Conclusions	64
1.1 Conception pour la démontabilité, pourquoi ?	6	5. Références de projets avec conception démontable	67
1.1.1 Finalités et intérêts	6		
1.1.2 Pour quels bâtiments ?	7	6. Glossaire	70
1.2 Enjeux environnementaux	8	7. Bibliographie	75
1.2.1 Contexte de la démontabilité	8	8. Annexes	78
1.2.2 Hiérarchisation environnementale de la démontabilité	9	Annexe 1	
1.3 Réglementation, supports	11	Fiches de solutions techniques démontables	79
1.3.1 Contexte réglementaire	11	Annexe 2	
1.3.2 Documents supports	12	solutions Chapitre 3 commentées	79
1.4 Liens avec d'autres enjeux de l'AMI FBE ECB	13	Annexe 3	
1.5 Importance d'anticiper la déconstruction – Retour d'expérience	14	Références de chantiers exemplaires	79
2. Vers la conception démontable	16	Annexe 4	
2.1 Processus de conception	17	Grilles de suivi des principes de conception pour la démontabilité	80
2.2 Exemples de solutions communes et de solutions démontables associées	18		
3. Concepts et principes de conception pour la démontabilité	27		
3.1 Principes généraux	28		
3.2 Structures	35		
3.3 Enveloppe, façade	40		
3.4 Assemblages	42		
3.5 Aménagement intérieur - Cloisonnement	50		
3.6 Matériaux	53		
3.7 Équipements	55		
3.8 Documentation et repérage	58		
3.9 Organisation	60		

Cadre général

Le secteur du bâtiment est à la fois un important producteur de déchets, un important consommateur de ressources, un des secteurs les plus émetteurs de gaz à effet de serre, et un important pourvoyeur d'emplois. Dans ce contexte, un consensus se dégage autour du fait que l'économie circulaire s'imposera progressivement comme alternative durable au modèle économique linéaire dans ce secteur et qu'elle sera créatrice de valeur. Cependant, si le concept général est bien établi, de nombreuses zones d'ombres existent encore à ce jour sur son périmètre, sa déclinaison précise, les indicateurs associés, les moyens de la mettre en œuvre et de la déployer dans des modèles économiques performants.

La Fondation Bâtiment Energie (FBE), reconnue d'utilité publique en 2005, a été créée par quatre acteurs majeurs du secteur du bâtiment et de l'énergie, ArcelorMittal, EDF, GRDF et LafargeHolcim, avec le soutien financier des pouvoirs publics et le support technique de l'ADEME et du CSTB. Elle se mobilise en soutenant des travaux de recherche sur les enjeux environnementaux actuels pour le secteur du bâtiment.

C'est donc tout naturellement que la Fondation Bâtiment Energie a souhaité soutenir des travaux de recherche sur le développement de bases scientifiques à la caractérisation de l'économie circulaire dans le secteur du bâtiment. Ces travaux, coordonnés par le CSTB et menés sur une durée de deux ans -jusqu'en octobre 2020-, ont impliqué de manière transnationale 40 acteurs issus d'horizons très divers : acteurs du monde de la recherche et acteurs opérationnels, acteurs de l'offre et acteurs de la demande, acteurs publics et acteurs privés.

La méthodologie innovante déployée ici -déjà mise en place sur d'autres ateliers soutenus par la FBE- structure les travaux autour de l'articulation entre un « groupe recherche », qui a vocation à développer de nouvelles méthodes ou de nouveaux outils, et un « groupe utilisateurs », qui a vocation à apporter un retour de terrain sur l'applicabilité et l'opérationnalité des connaissances développées. Ce croisement des approches et des compétences est au cœur de la méthodologie que nous avons voulu déployer ici.

Les travaux de recherche sur l'économie circulaire ont porté sur cinq enjeux différents :

- L'évaluation des performances en vue d'un réemploi pour huit familles de produits, afin de proposer un cadre à la sécurisation de ces pratiques qui émergent à nouveau ;
- La caractérisation du contexte local et les méthodologies d'analyse de l'allongement du cycle de la matière, afin de valoriser la conservation de l'existant et d'activer les ressources humaines et matérielles des territoires ;
- La conception pour des bâtiments transformables et réversibles, afin de limiter les déconstructions futures ;
- La conception pour la démontabilité, afin de mieux valoriser les composants après leur future dépose ;
- La capitalisation de la donnée, et en particulier l'identification des données à conserver sur l'ensemble du premier cycle afin de favoriser un réemploi ou un recyclage ultérieur, ainsi que les modalités de conservation et de transfert de ces informations.



ÉCONOMIE CIRCULAIRE
DES BÂTIMENTS

1.

Introduction



1.1. Conception pour la démontabilité, pourquoi ?

1.1.1. FINALITÉS ET INTÉRÊTS

La conception pour la démontabilité est une **démarche technique et organisationnelle** proactive en matière environnementale et économique, considérant clairement le **cycle de vie** du bâtiment. Elle rend possible une **réduction significative de l'impact environnemental** du projet et la prévision d'économies financières en coût global (intégrant les phases postérieures à la construction : entretien/maintenance, réhabilitation, fin de vie).

La conception pour la démontabilité facilite le démontage et la récupération des éléments, des produits et des composants constituant le bâtiment. Du point de vue environnemental, elle permet :

- la **diminution des déchets** produits en phase d'exploitation du bâtiment en facilitant les tâches d'entretien/maintenance et en limitant le remplacement des éléments aux pièces concernées (sans avoir à démolir un ensemble de pièces adjacentes) ;
- la diminution des déchets lors des travaux de réhabilitation et en fin de vie en facilitant la séparation des produits. En parvenant en plus à conserver leur intégrité, les éléments/produits sont alors plus facilement réemployés, réutilisés ou recyclés. Notons que l'un des freins principaux actuels au développement du réemploi est la difficulté à déposer correctement les produits (temps homme, et conservation de l'intégrité), le bâtiment et ses composants n'ayant à l'époque pas été conçus pour être démontés ;
- la diminution des déchets lors de la construction. La démarche de conception pour la démontabilité est le plus souvent réalisée avec plus de concertation et de maîtrise. Les erreurs de concordance entre lots sont réduites, le recours aux filières sèches et à la préfabrication sont augmentés ;
- l'**allongement de la durée de vie** du bâtiment, et des composants. La conception démontable favorise premièrement un meilleur entretien et maintenance. Elle est ensuite une composante essentielle de la conception de bâtiments évolutifs et flexibles (conservation des bâtiments au lieu du recours à la démolition / reconstruction. Voir Guide AMI FBE Enjeu C sur la Conception évolutive). Elle facilite le réemploi des composants déposés ;
- la **diminution de la consommation de matières** pour la construction même du projet dans le cas de solutions simples et frugales (des systèmes démontables complexes pouvant amener à une consommation complémentaire de départ). Les concepts généraux liés à la démontabilité favorisent en effet généralement la frugalité, les finitions brutes ou au juste nécessaire, la préfabrication et sa rationalisation de l'usage des matériaux ;
- la diminution de la consommation de matières premières et des produits à l'échelle du secteur. La démontabilité favorise le réemploi et le recyclage. Les futurs bâtiments pourront bénéficier des éléments issus du réemploi et de matériaux recyclés ;

Du point de vue économique, elle permet :

- la **réduction des coûts d'entretien et de maintenance** en facilitant l'accès aux éléments, leur dépose et la conservation des éléments adjacents ;
- une optimisation du traitement des composants en fin de vie et une réduction significative des déchets non valorisables ;
- la **réduction des coûts généraux en allongeant la vie** du bâti et de ses éléments (sous réserve de produits de qualité, résistant aux opérations de montage/démontage) ;
- la **réduction des coûts de travaux de réhabilitation** en facilitant la dépose des éléments à changer ;
- la **réduction des coûts liés aux adaptations/évolutions** à apporter au bâtiment, en facilitant la dépose des éléments ;
- de rendre possible et rentable la dépose des éléments en vue de leur réemploi ou réutilisation,



- ayant pour effet d'éventuelles économies sur la **gestion évitée des déchets**, des gains éventuels sur la **revente des produits**, et la **génération de filières économiques locales** sur le réemploi ;
- **d'augmenter la valeur résiduelle** du bâtiment et de ses éléments ;

Notons que de nouveaux modèles économiques dans le secteur de la construction sont expérimentés, notamment au Pays-Bas, avec le « leasing » d'éléments mis en œuvre. La maîtrise d'ouvrage investissant moins au départ (essentiellement sur les travaux de mise en œuvre et contribution à la valeur de départ), puis louant les éléments (ex façades) et/ou en en laissant la propriété de ces éléments à l'entreprise de construction (et/ou fournisseurs). A titre d'exemple en France, une filiale du groupe BRIAND a mis au point et déployé une solution de parking démontable intitulée « Park'Up System ». Avec un modèle économique reposant sur le leasing également.

Les conséquences positives de ces modèles sont la réduction de l'investissement de départ (réduction sur les coûts d'achats des produits à mettre en œuvre), des éléments plus qualitatifs et mieux mis en œuvre, une plus grande possibilité d'adaptation et de changement des éléments (pour s'adapter aux nouvelles exigences par exemple), une réduction des impacts environnementaux du secteur avec le développement du réemploi et la diminution de la consommation des matières premières. La conception démontable est au cœur de ces nouveaux modèles économiques.

1.1.2. POUR QUELS BÂTIMENTS ?

Au regard de ses finalités environnementales et économiques, la conception pour **la démontabilité est potentiellement intéressante pour tous les types de bâtiments**.

Plusieurs facteurs entrent en jeu pour évaluer le niveau d'intérêt d'une telle conception :

- La localisation du bâtiment.
- Les cycles d'utilisation.
- La composition des bâtiments et leur réglementation.
- Les cycles de rentabilité économique et environnementale.
- Les enjeux nationaux en termes de volumes de bâtiments et de gisements de matières.
- La faisabilité technique pour les opérateurs.

Les **bâtiments tertiaires**, par leurs cycles de vie courts, leurs modèles économiques, l'ouverture à certains principes de conception peuvent avoir un intérêt particulier pour la démarche.

Les **bâtiments de type industriels** (industrie, logistique, stockage), généralement peu complexes, en filière sèche et/ou préfabriquée offrent eux le plus de simplicité technique à une démarche de conception pour la démontabilité. Ils ont régulièrement des besoins en modifications et extensions pour lesquels la démontabilité est une bonne réponse. Dans certains cas, il peut même être envisagé de déplacer tout ou partie d'un ouvrage construit.

Les **parkings** peuvent également être des bâtiments particulièrement intéressants pour une démarche en conception démontable. Leur construction et déconstruction suit en effet des cycles potentiellement plus rapides que d'autres types de bâtiment, avec l'étalement urbain, la nécessité de parking relais, les évolutions liées à la restriction des véhicules individuels.

Pour des raisons de cycles d'utilisation et de besoins en adaptabilité, les **bâtiments de types logements collectifs, centres commerciaux, bâtiments de santé** (modification des services) et **hôtels** (aménagement intérieur) portent également un intérêt pour la conception démontable.



ÉCONOMIE CIRCULAIRE
DES BÂTIMENTS

1.2. Enjeux environnementaux

1.2.1. CONTEXTE DE LA DÉMONTABILITÉ

Concevoir démontable, c'est in-fine réduire significativement les déchets produits, la consommation de ressources naturelles et les émissions de GES du bâtiment. Cet impact bénéfique direct est amené en favorisant l'adaptabilité des bâtiments et donc leur conservation (en toute ou partie), les tâches d'entretien maintenance sans déchets, l'allongement de la durée de vie des matériaux via leur réemploi, et enfin le recyclage des déchets (meilleure séparation des flux).

Construire démontable demande néanmoins un effort supplémentaire de conception (pouvant être dans certaines conditions être retrouvé en coûts économique et environnemental globaux), et la phase de déconstruction des dispositions particulières en comparaison avec une démolition classique. En rapport avec le réemploi et le recyclage, rappelons aussi que la tendance globale des chantiers est à la mise en place d'une dépose de plus en plus sélective (renforcé notamment par les dispositions prises par la loi AGEC¹ du 10.02.20 sur la transformation du diagnostic déchets vers un diagnostic ressources, et la REP BTP) et que le coût de traitement et de mise en décharge augmente. La tendance est donc de mieux trier pour mieux valoriser au meilleur prix. Elle s'accompagne d'une demande de main d'œuvre complémentaire qui peut permettre de créer des emplois locaux. Les filières de réemploi s'appuient notamment sur l'économie sociale et solidaire pour développer les services propres à la déconstruction et au reconditionnement puis à la revente de produits de construction de réemploi (via leurs plateformes).

Le schéma suivant explicite un ensemble de 6 actions en faveur de la prévention des déchets et de la consommation des ressources naturelles. Toutes peuvent être favorisées par le biais d'une conception pour la démontabilité.

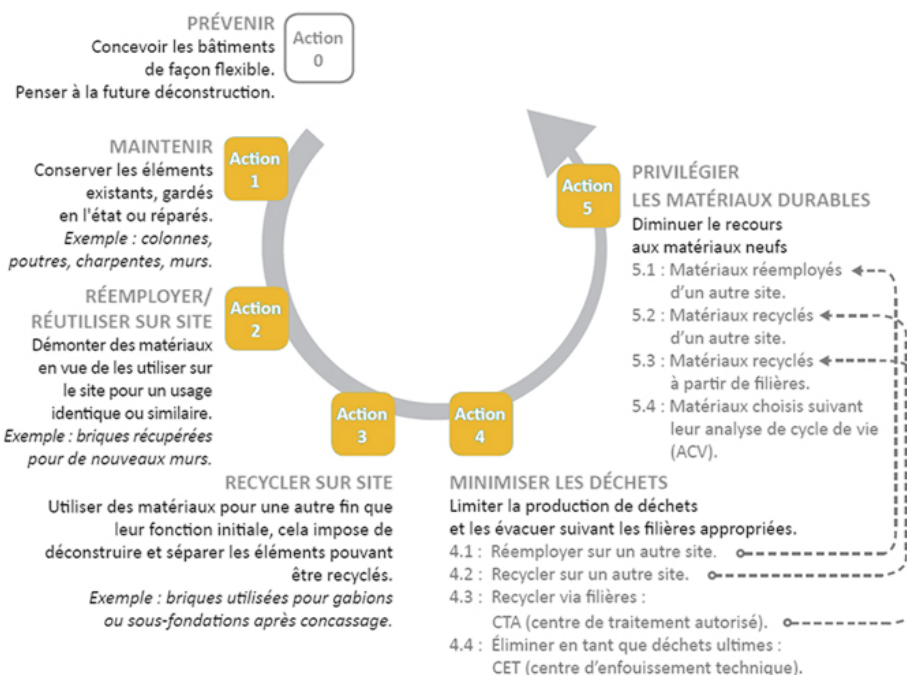


Figure 1 : Principe de la gestion des ressources de matières. Source : guide pratique, réemploi, réutilisation des matériaux de construction (cifful, 2013).

1 LOI n° 2020-105 du 10 février 2020 relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire.



ÉCONOMIE CIRCULAIRE
DES BÂTIMENTS

Cette autre illustration montre le cycle de vie général d'un bâtiment. Ce cycle peut être plus ou moins vertueux, circulaire, selon les efforts faits pour limiter les intrants (extraction) et les sortants (incinération, mise en décharge). Une conception démontable est un levier fort pour limiter ces externalités impactantes.

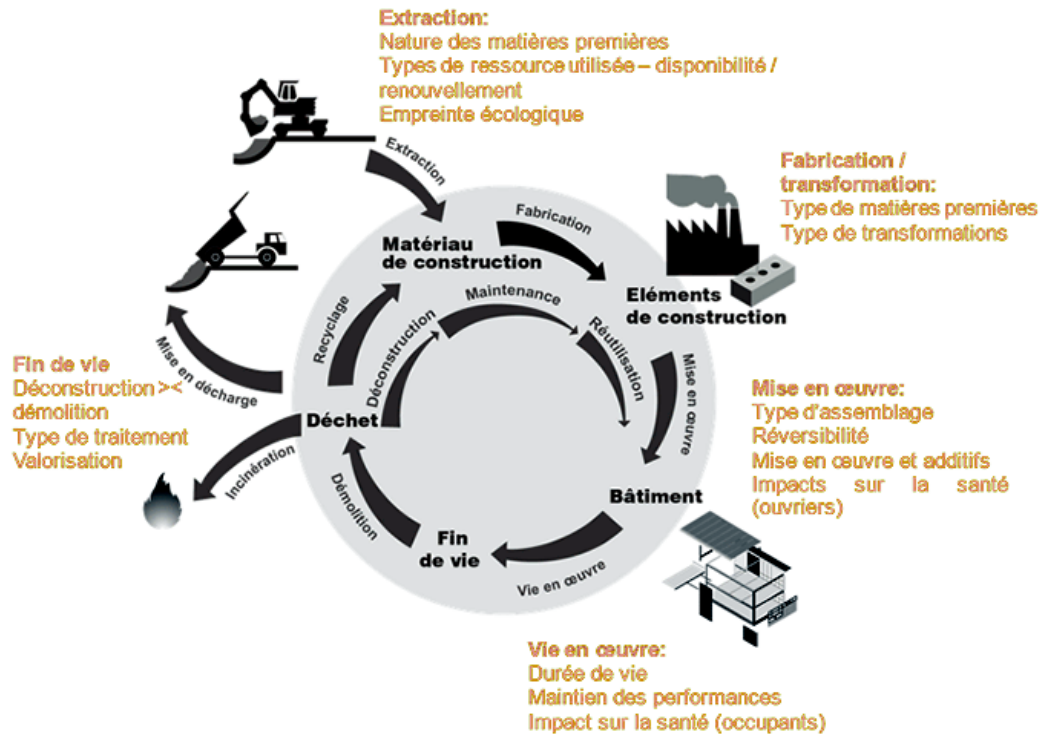


Figure 2: Cycle de vie d'un bâtiment. Source : Renovermonecole.be

1.2.2. HIÉRARCHISATION ENVIRONNEMENTALE DE LA DÉMONTABILITÉ

Prioriser les efforts à mettre en place pour mettre en œuvre la démontabilité peut s'avérer nécessaire. Cette priorisation peut être effectuée de différentes manières, et en se basant sur différents paramètres (économiques, environnementaux). Outre le calcul focalisé sur le potentiel de réduction des déchets (sur l'ensemble du cycle de vie du bâtiment), la priorisation peut être faite en s'appuyant sur des indicateurs environnementaux tels que ceux de l'ACV (Analyse de cycle de vie). Les choix pouvant être faits en analysant le rapport entre gains environnementaux potentiels et efforts de conception + process de mise en œuvre/ déconstruction. En effet si un élément de construction demande des efforts supplémentaires importants pour sa conception et/ou un process de mise en œuvre ou de déconstruction particulièrement lourd tout en générant un bénéfice environnemental (par rapport à une valorisation énergétique par exemple) faible alors l'opération peut ne pas être rentable économiquement ni environnementalement.

Pour aider à la décision, on peut établir cette analyse à partir de plusieurs critères :

- la durée de vie typique du produit et le nombre d'années restant avant la dépose ou la fin de vie
- l'indicateur d'impact « changement climatique » de l'ACV exprimé en kg eq CO2 qui permet d'estimer les conséquences des émissions de gaz à effet de serre (c'est le plus répandu des indicateurs de l'ACV)
- l'indicateur de consommation d'énergie primaire (qui permet une corrélation directe avec une répercussion économique), pour les matériaux on considérera notamment l'énergie grise
- l'existence ou la prévision d'une filière de valorisation pour le matériau visé
- les quantités de ressources disponibles par rapport à l'extraction annuelle
- la part de l'élément visé par rapport à la répartition des impacts par lots dans le bâtiment
- l'existence d'une alternative au matériau visé qui serait plus vertueuse à performances techniques équivalentes (veiller à maintenir l'unité fonctionnelle)



ÉCONOMIE CIRCULAIRE
DES BÂTIMENTS

Les données pour établir ces critères sont en train d'être constituées par l'ensemble de la chaîne d'acteurs. Il est donc recommandé de s'entourer de spécialistes pour étudier ces critères et notamment prodiguer les conseils avisés lorsque les données ne sont pas encore établies et qu'une analyse comparative chiffrée n'est pas possible. Il faut à la fois procéder à une évaluation des matériaux et des éléments eux-mêmes mais également à l'évaluation des impacts de process (construction/déconstruction) et des conséquences territoriales (la conception de bâtiments démontables contribue à l'émergence et la rentabilité de filières locales de réemploi et de recyclage). Quelques ordres de grandeur sont néanmoins disponibles dans les études passées. Ci-après on pourra ainsi se référer à la répartition par contributeurs dans le bâtiment pour l'indicateur « changement climatique » et « consommation d'énergie » ainsi qu'à la répartition de l'énergie grise dans un bâtiment entre les différents composants le constituant.

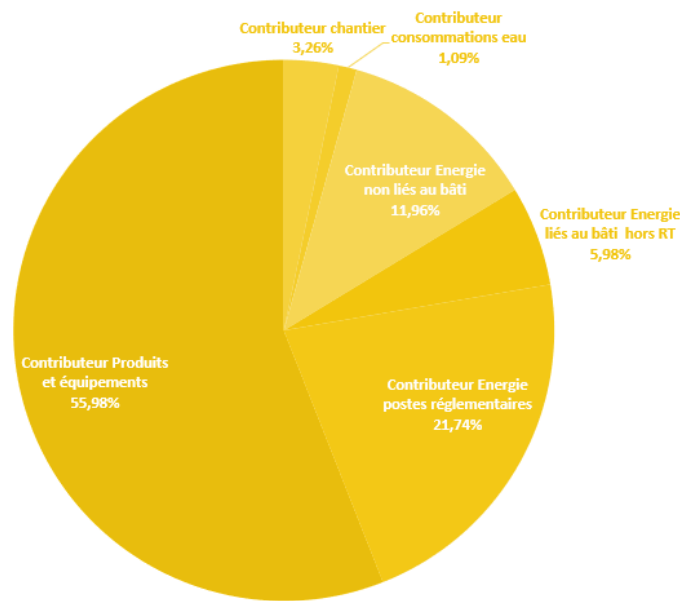


Figure 3 : HQE Performance - Résultats de l'analyse statistique, Indicateur : changement climatique [kg éq. CO2/m²SHON/an] (médianes - DVP = 50 ans) pour 115 bâtiments de différentes typologies (DGALN, DHUP, & HQE Performance, 2019)

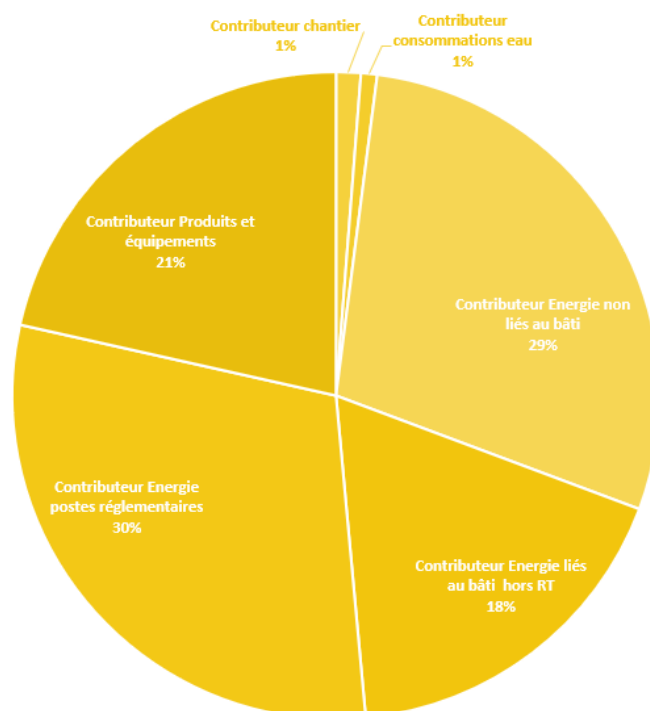


Figure 4 : HQE Performance - Résultats de l'analyse statistique, Indicateur : consommation d'énergie primaire totale [kWh/m²SHON/an] (médianes - DVP = 50 ans) pour 115 bâtiments de différentes typologies (DGALN, DHUP, & HQE Performance, 2019)



ÉCONOMIE CIRCULAIRE
DES BÂTIMENTS

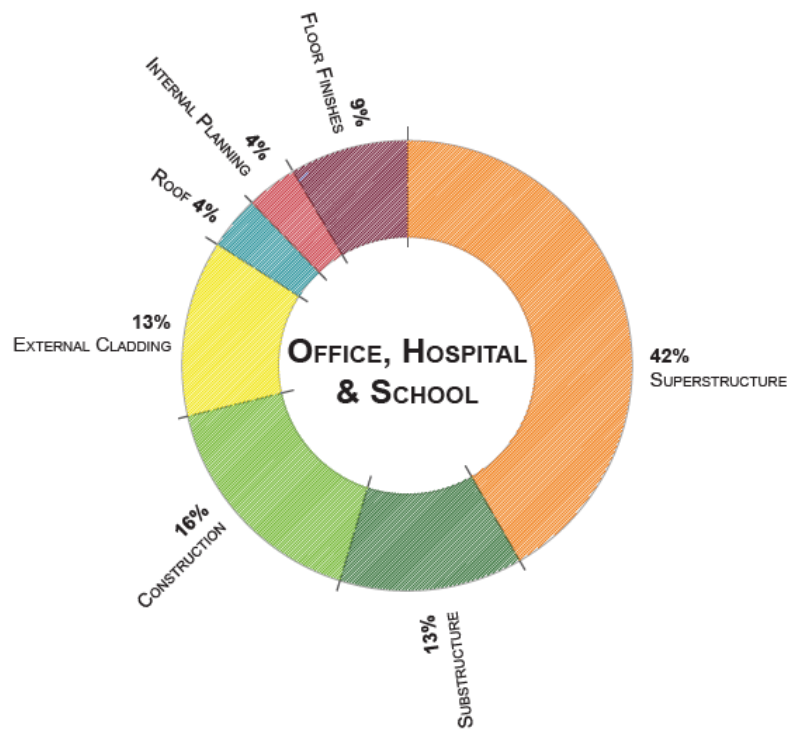


Figure 5 : Average breakdown in building elements of Embodied Energy (Qarout, 2017), (Kaethner & Burrige, 2012)

1.3. Réglementation, supports

1.3.1. CONTEXTE RÉGLEMENTAIRE

Un contexte réglementaire incitant à mieux construire

Le contexte réglementaire et normatif à venir pousse vers une maîtrise de l'impact environnemental des bâtiments. Le **label E+C-**, en cours d'expérimentation, intègre l'évaluation du niveau d'impact des bâtiments sur les émissions de Carbone et les déchets. Ce label préfigure de la future réglementation RE2020. Par ailleurs, la loi **ELAN²** prévoit que « Les performances énergétiques, environnementales et sanitaires des bâtiments et parties de bâtiments neufs s'inscrivent dans une exigence de lutte contre le changement climatique, de **sobriété de la consommation des ressources** et de préservation de la qualité de l'air intérieur. Elles répondent à des objectifs d'économies d'énergie, de limitation de l'empreinte carbone par le stockage du carbone de l'atmosphère durant la vie du bâtiment, de recours à des matériaux issus de ressources renouvelables, **d'incorporation de matériaux issus du recyclage**, de recours aux énergies renouvelables et d'amélioration de la qualité de l'air intérieur ». Cette loi pousse également pour la « facilitation de la transformation des bureaux vides en logements », flexibilité qui peut en grande partie être apportée par une conception démontable du bâti (éléments d'enveloppe), de l'aménagement intérieur et des réseaux.

Au regard des bénéfices environnementaux signalés au chapitre précédent, la conception démontable permet une réponse efficace aux enjeux environnementaux globaux et plus directement pour la maîtrise d'ouvrage à la réglementation environnementale du bâtiment en cours de mise en place.

Au-delà de la réglementation propre du bâtiment, le **contexte réglementaire européen et national** (ex loi no 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte, loi n° 2020-105 du 10 février 2020 relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire - AGEC), tend à durcir les mesures autour des activités polluantes et génératrices de déchets dont le BTP, et favoriser les



actions en éco-conception et préventive des déchets. Les coûts autour de la gestion des déchets seront petit à petit dissuasifs, incitant d'autant plus les maîtrises d'ouvrages à concevoir différemment pour réduire les coûts futurs inhérents à la gestion de la fin de vie de leurs bâtiments (ou le mettre en avant dans les opérations de revente).

Réglementation sur la conception démontable...

La démontabilité des bâtiments et de leurs composants n'est à ce jour ni réglementée ni obligatoire, c'est une démarche volontaire pouvant être motivée par le contexte réglementaire sur le bâtiment, l'environnement, les déchets et par des considérations économiques.

Notons la publication récente de la norme internationale NF ISO 20887- Juin 2020 « *Développement durable dans les bâtiments et ouvrages de génie civil – Conception pour la démontabilité et l'adaptabilité – Principes, exigences et recommandations* ».

La réglementation sur le bâtiment et les solutions innovantes...

La réglementation sur le bâtiment est principalement organisée autour du Code de la construction et de l'habitation, de normes produits, des Eurocodes et des DTU³ régissant la mise en œuvre en techniques courantes.

La conception démontable peut faire appel à des solutions dites courantes entrant parfaitement dans ce cadre réglementaire. Pour les solutions techniques nouvelles, non normalisées et sortant du domaine traditionnel, les fabricants ou acteurs du projet peuvent (sans obligation réglementaire) faire appel à des évaluations techniques telles que les *Enquêtes de techniques nouvelles* (ETN) délivrées par les bureaux de contrôles compétents, les *Appréciations techniques d'expérimentation* (ATEX) délivrées par le CSTB et les Avis Techniques (ATEC) délivré par la Commission Chargée de Formuler les Avis Techniques (CCFAT).

Notons également l'existence des *permis d'innover* (loi ELAN) et *permis d'expérimenter* (loi ESSOC⁴), permettant de déroger à certaines règles de la construction dans des conditions et zones géographiques spécifiques. Enfin, la loi ELAN aborde la réversibilité/transformation des bureaux en logements (art 8 à 10) avec l'apparition de la catégorie des immeubles de moyenne hauteur (IMH, 28 à 50 mètres) et l'harmonisation de la réglementation entre les bureaux et logements pour les ouvrages de cette hauteur.

1.3.2. DOCUMENTS SUPPORTS

La conception pour la démontabilité ou DfD (design for Disassembly or Deconstruction) a fait l'objet de nombreuses recherches principalement outre-Atlantique, au Royaume Uni et aux Pays-Bas. Il existe plusieurs guides (en anglais) dont les grands principes peuvent être considérés. Certains aspects plus précis et retours d'expériences ne sont en revanche pas applicables du fait du contexte spécifique de ces guides (notamment sur les matériaux et systèmes constructifs spécifiques, réglementations nationales). Exemples :

- Designing out waste: a design team guide for buildings [WRAP]⁵
- Design for Deconstruction Guide [SEDA]⁶
- Design for Disassembly in the Built Environment [US EPA]⁷
- TRANSFORMABLE BUILDING STRUCTURES Design for disassembly as a way to introduce sustainable engineering to building design & construction [Elma DURMISEVIC]⁸

En France, le site et le guide BAZED⁹, issus d'un projet coordonné par Nobatek/Inef4 et soutenu par l'ADEME, proposent les principaux concepts et principes d'une conception « zéro déchet », dont la conception démontable et la conception évolutive. Le site est en cours de mise à jour (2019-2020).

3 Documents techniques unifiés. Liste sur :

<https://www.ffbatiment.fr/federation-francaise-du-batiment/le-batiment-et-vous/travaux/les-nf-dtu.html>

4 <http://www.cohesion-territoires.gouv.fr/permis-d-experimenter-faciliter-la-realisation-des-projets-de-construction-et-favoriser-l-innovation>

5 <https://www.modular.org/marketing/documents/DesigningoutWaste.pdf>

6 <https://static1.squarespace.com/static/5978a800bf629a80c569eef0/t/5aa999f7652deaa430532afd/1530223259684/Design+%26+Detailing+for+Deconstruction.pdf>

7 <https://www.lifecyclebuilding.org/docs/DfDseattle.pdf>

8 <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A9d2406e5-0cce-4788-8ee0-c19cbf38ea9a>

9 <http://www.bazed.fr/>



ÉCONOMIE CIRCULAIRE
DES BÂTIMENTS

Au niveau européen, le groupe thématique TG3 "Sustainable use of natural resources" organisé par la Commission Européenne et son groupe de travail « Design for Deconstruction in building design » ont établi un guide public européen « *Circular Economy Principles for Designing Buildings* ». Ce guide est disponible gratuitement¹⁰ et propose un ensemble de principes généraux pour la conception démontable et évolutive.

1.4. Liens avec d'autres enjeux de l'AMI FBE ECB

La conception pour la démontabilité est un des piliers de la démarche de conception évolutive étudiée dans l'Enjeu C. Elle est également essentielle au réemploi des éléments en fin de vie du bâtiment, sujet traité dans l'Enjeu A.

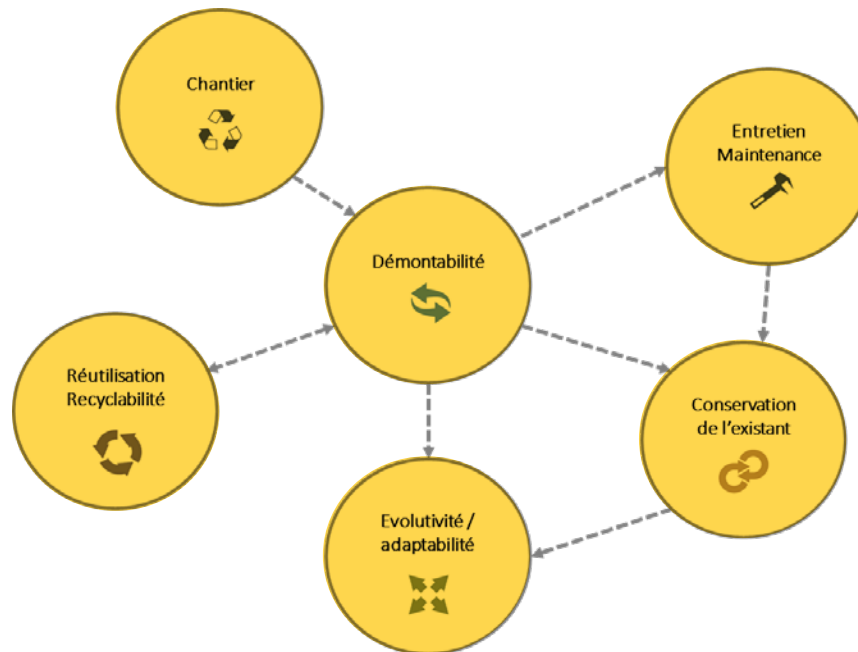


Figure 6 : La Démontabilité au centre de la conception zéro déchet

La conception démontable rend possible une réduction de l'impact environnemental du bâtiment sur l'ensemble de son cycle de vie. Cette réduction se fait surtout sur la capacité à rendre le bâtiment évolutif, à allonger la durée de vie du bâtiment et de ses éléments, à faciliter l'entretien/maintenance, à favoriser le réemploi et le recyclage en fin de vie. La considération des scénarios de fin de vie et du réemploi en analyse de cycle de vie (ACV) est étudiée dans l'Enjeu B.

Enfin, la conservation des données sur les produits et les étapes de démontage, étudiée dans l'Enjeu « Capitalisation de la donnée, est essentielle à la démarche de conception pour la démontabilité ».



1.5. Importance d'anticiper la déconstruction – Retour d'expérience

Nombreux sont les retours d'expériences autour de la déconstruction et du réemploi mettant en avant les difficultés techniques et économiques de dépose, et le faible taux d'éléments récupérables in-fine pour le réemploi ou du recyclage à valeur ajoutée. Les constats convergent vers l'importance de l'anticipation de la déconstruction lors de la conception du bâti et donc de la démontabilité.

Nous présentons ci-après un exemple d'opération et quelques-uns de ses éléments de retour d'expérience.

Opération 145 Courcelles

L'opération 145 Courcelles est une opération de curage / démolition / rénovation / surélévation d'environ 33 000 m², situé à Paris (17^{ème}). Le projet est engagé dans **une démarche environnementale très ambitieuse** : il prévoit la production locale d'énergies renouvelables ainsi que l'obtention de 5 labellisations (LEED Platinum, Biodiversity, Well, HQE Bâtiment Durable niveau Excellent ou Exceptionnel et WiredScore). Le Maître d'Ouvrage (GECINA) attache une importance particulière à la limitation de l'impact environnemental de la construction et s'est interrogé sur la **possibilité de réemployer des matériaux issus de l'existant** dans le futur projet ou sur d'autres projets. Le projet est accompagné par une AMO Réemploi (ARTELIA) et l'entreprise NEOM réalise les travaux de déconstruction.

Un diagnostic ressources a été réalisé en amont de la phase curage/désamiantage, afin d'identifier les gisements disponibles et les exutoires potentiels. Des clauses spécifiques à la dépose sélective des matériaux ont ainsi été intégrées au DCE Curage.

Le chantier a été l'occasion d'observer les **configurations courantes** rencontrées dans les bâtiments et d'identifier un certain nombre de leviers d'amélioration pour l'intégration de principes de démontabilité dans la conception des bâtiments.

Ce retour d'expérience terrain appuie un certain nombre de prescriptions de conception identifiées dans ce guide, et met en correspondance ces recommandations avec la réalité d'un chantier de déconstruction, à la fois sur la disposition générale du bâtiment et plus spécifiquement sur les produits mis en œuvre.

Retour d'expérience sur la conception architecturale : vers de immeubles conçus pour faciliter la logistique de dépose sélective.

Le projet 145 Courcelles se décompose en deux parties, l'une côté rue de Courcelles et une autre côté Pierre Demours. Cette deuxième partie, dotée d'un grand parking souterrain et de plusieurs monte-charges s'est révélée adaptée à la mise en œuvre de dépose sélective. La logistique de la dépose sélective et des collectes s'est trouvée facilitée par la disposition du bâtiment.

Pour la partie du bâtiment côté rue de Courcelles, sans monte-charge, la logistique de dépose et de réemploi a en revanche été beaucoup plus complexe à mettre en œuvre. Aussi, le transfert des divers éléments vers le rez-de-chaussée s'est trouvé complexifié, tout comme le stockage des éléments une fois ceux-ci descendus. En effet, aucun moyen de relier le rez-de-chaussée au parking souterrain n'était disponible. Pour permettre un stockage des éléments, il aurait fallu impérativement transférer les différents matériaux par la rue, impliquant à la fois une manutention supplémentaire et des problématiques de sécurité et de neutralisation de la voie publique lors du transfert. Certains éléments de grandes dimensions ont été particulièrement problématiques pour la configuration du bâtiment : les cloisons vitrées notamment ont dû être descendues par les escaliers, entraînant de nombreux risques et surcoûts. Il est probable qu'un certain nombre de matériaux aient été livrés par les façades. Ce cas particulier est une illustration de pratiques classiques dans lesquelles les scénarios de fin de vie ne sont pas réellement pris en compte dans la conception.



ÉCONOMIE CIRCULAIRE
DES BÂTIMENTS

Retour d'expérience sur les produits/matériaux : des matériaux robustes et bien posés pour faciliter la dépose sélective

<p>MOQUETTES</p>	<p>Les moquettes sont communément collées à la poisse. Lorsque le temps de pré-séchage de celle-ci est respecté, il est généralement possible de les décoller relativement facilement sans endommager les dalles et donc de les réemployer. Sur le 145 Courcelles, seul un quart de la moquette en place a pu être destinée au réemploi, le reste ayant été redirigé vers des filières de recyclage. Une pose 100% dans les règles de l'art, ou sous forme plombante (sans colle) aurait facilité la dépose et augmenté le taux de réemploi.</p>
<p>FAUX-PLAFONDS</p>	<p>Ceux-ci sont démontables, mais très fragiles, et des pertes importantes sont constatées pendant la dépose. D'autres pertes sont tout simplement dues aux emplacements des équipements techniques divers, implantés de manière destructive dans les dalles. D'autre part, l'aspect visuel des faux-plafonds s'altère régulièrement au fil du temps, et les gisements finalement déposés en bon état sont rarement homogènes. En vue d'une dépose et d'un réemploi futur des faux-plafonds, l'idéal serait donc la prescription d'éléments solides et pérennes, sur des produits/textures limitant le jaunissement, et une réflexion sur le calepinage pour limiter le perçage de dalles pour les luminaires ou la ventilation notamment.</p>
<p>CLOISONS VITRÉES</p>	<p>Sur le projet 145 Courcelles, plusieurs typologies de cloisons vitrées étaient présentes, en raison du grand nombre d'entreprises présentes dans le bâtiment initial. Ces éléments sont généralement démontables. Cependant, plusieurs techniques d'assemblage existent, et les difficultés rencontrées à la dépose peuvent varier. Lorsque les vitres ne peuvent rester solidaires du cadre au démontage, la manipulation des panneaux de verre est délicate : en effet, ceux-ci sont fragilisés par l'absence de cadre et les risques de casse sont nombreux. L'absence de prise aisée rend également compliquée le transport de ces éléments, tout comme leur conditionnement. Si malgré ces contraintes le choix du réemploi est retenu pour ce type de cloisons vitrées, les entreprises les posant dans un nouveau projet souhaitent en général assister à la dépose afin de comprendre le mécanisme pour une pose ultérieure. En vue de la dépose, du stockage et du réemploi, l'idéal aurait été de panneaux démontables et transportables d'un seul tenant.</p>
<p>MARBRE</p>	<p>La dépose du marbre au sol et du marbre mural avait été envisagée. Des modes de pose différents ont été mis en œuvre à l'origine pour chacun des emplacements. Le marbre au sol, collé, n'a pas permis la dépose soignée des dalles, celles-ci se désagrègent à la dépose. Pour les dalles murales, agrafées en revanche, la dépose soignée a pu être faite avec une perte limitée. Les dalles sont un peu endommagées sur les bords, mais une grande surface reste intacte, permettant non pas un réemploi en l'état mais une réutilisation avec changement d'usage. Le succès de la dépose du marbre réside à la fois dans le mode de pose et dans la qualité intrinsèque de celui-ci, qui permettra de préserver l'intégrité des dalles déposées.</p>
<p>PLANS DE TRAVAIL</p>	<p>La fragilité des plans de travail installés dans les sanitaires n'a pas permis la dépose soignée en vue de réemploi. Outre la question de l'assemblage, cet exemple a de nouveau mis en avant la nécessité de prévoir des matériaux robustes pour que ceux-ci puissent être démontés mais également pour pouvoir conserver toutes leurs qualités en vue d'un réemploi ultérieur.</p>
<p>MENUISERIES INTÉRIEURES</p>	<p>Les portes intérieures se défont très facilement et rapidement rendant l'opération peu coûteuse. En revanche, les bâtis associés sont pour la plupart fixés chimiquement dans les cloisons et il n'est pas possible de les déposer soigneusement. Dans les faits, les portes sans bâtis sont difficiles à réemployer pour un même usage et seul des détournements d'usage ont pu avoir lieu avec les portes sans bâti du 145 Courcelles.</p>

ALÉAS DIVERS À PRENDRE EN CONSIDÉRATION :

- **Maniabilité des éléments** identifiés comme favorables à la dépose propre : certains éléments peuvent être en effet démontables mais se révéler lourds, encombrants, trop dangereux à manipuler, et leur dépose sélective entraîne un surcoût que les bénéfices faits grâce à sa seconde vie ne sauront absorber.
- **Incertitude sur un certain nombre d'opérations de dépose**, notamment les revêtements en pierre ou tous les revêtements collés : pertes significatives de matière.
- **Utilisation impropre de certains éléments** limitant le potentiel de réemploi (exemple de boîtiers d'issues de secours fixés sur des accroches incompatibles et de fait forcés).
- **Dégradation d'un certain nombre de matériaux** en raison de la présence de mobilier et pertes de surface en raison de calepinages non optimisés.
- **Dimensions hétérogènes** : travail chronophage pour établir un inventaire précis lorsque les dimensions des éléments sont trop hétérogènes – difficultés rencontrées également pour trouver des repreneurs pour des composants aux dimensions inhabituelles.



ÉCONOMIE CIRCULAIRE
DES BÂTIMENTS

2.

Vers la conception démontable



2.1. Processus de conception

La conception pour la démontabilité est une démarche technique et organisationnelle proactive considérant le cycle de vie du bâtiment. La démontabilité n'étant pas une fin en soi, cette conception doit être décidée et orientée comme une réponse aux objectifs environnementaux, économiques du programme en incluant les usages. Dans ce cadre, elle dépendra également des buts visés tels que l'adaptabilité du bâtiment, la facilité des travaux d'entretien/maintenance, l'application de nouveaux business models (ex leasing de produits) et la considération de la valeur résiduelle du bâtiment et des éléments, la déconstruction en vue du réemploi et/ou du recyclage des matériaux.

Le chapitre 1.1 du guide rappelle brièvement les principales motivations économiques et environnementales à une conception pour la démontabilité.

La démarche doit également être considérée dans son contexte spécifique (type de bâtiment, pression foncière, existence de solutions techniques, modèle de propriété, etc.). L'intérêt des efforts de conception démontable pour tel ou tel lot peut en effet varier d'un cas à l'autre. Le chapitre 1.2 du guide exprime également la notion de priorisation environnementale. Evidemment, même si une démarche de conception démontable concernant l'entièreté du bâti est intéressante et représente le futur, elle est en pratique complexe et peu pertinente à ce jour. La démarche de conception démontable ciblera alors certains lots ou éléments du bâti (ex structure, façades, réseaux, cloisonnement intérieur, menuiseries, etc.).

Il est enfin important de rappeler que la démontabilité fait aussi bien appel à des solutions technologiques spécifiques que des solutions courantes intrinsèquement démontables et/ou à de la conception simple et de bon sens.

Questionnements lors du processus de conception....

Les objectifs recherchés sont rappelés dans l'introduction 1.1. Il faut avoir une approche globale dans laquelle plusieurs dimensions, critères, indicateurs convergent vers ces objectifs. Prenons l'exemple de l'acier dont l'empreinte carbone n'est pas bonne a priori. Mais cela permet, à résistance égale avec d'autres matériaux, d'avoir un poids de structure fortement allégé, et donc des fondations moins consommatrices de matière, et avec une conception adéquate en amont de réemployer les composants de la structure.

Cet exemple montre que l'approche doit se faire à l'échelle globale du bâtiment et non à celle de chaque composant, elle doit être multicritère. Le bâtiment n'est pas une addition de produits, le processus de conception est complexe dans le sens où il prend en compte de nombreux paramètres, contraintes, indicateurs. Cependant concevoir démontable dépend de la finalité visée.

Les questionnements liés à la démontabilité :

- pour le réemploi,
- pour le remplacement de composants interchangeables pendant la phase exploitation,
- pour le tri lors de la fin de vie du bâtiment,
- pour la restauration du site à l'état initial ou naturel,
- pour économiser les ressources,
- condition de la réversibilité, de l'adaptabilité,
- pour réintégrer dans le cycle de production,
- étudier les possibilités de recours à la location plutôt qu'à l'achat.

Le sujet dépasse le processus de conception, ce n'est pas un problème technique, car le modèle économique actuel est structurant sur cette question. Un industriel qui a des infrastructures lourdes qui produit chaque jour les produits que nous utilisons pour construire, doit révolutionner son modèle économique pour intégrer cette nouvelle approche.

Par exemple le secteur de la moquette pourrait mettre en place une démarche à plusieurs niveaux basée sur la démontabilité comme condition de l'économie circulaire :

1. Une éco-conception permettant la réutilisation et le recyclage (les dalles plombantes en est une illustration),



ÉCONOMIE CIRCULAIRE
DES BÂTIMENTS

2. Des dispositifs de tri, collecte et reprise permettant de récupérer un flux de moquettes usagées homogène et non pollué par d'autres déchets,
3. Les débouchés de réutilisation et des infrastructures de recyclage permettant de fabriquer de nouvelles moquettes (circuits fermés plutôt que *downcycling* en produits de moindre qualité).

Il y a un glissement vers la notion de services liés à l'usage, MICHELIN ne vend plus des pneus pour les autobus mais des Km parcourus, et fait en sorte de faire durer ses pneus, les entretenir, les réparer chez son client. Pour les composants du bâtiment cela peut être un avenir qui permettra d'assurer la durabilité, la démontabilité, le réemploi, il faut avoir une approche plus globale que seulement technique.

2.2. Exemples de solutions communes et de solutions démontables associées

STRUCTURES

→ Les solutions de structures en filière sèche (bois, métal) sont plus propices aux concepts de démontabilité que les solutions courantes de structures en blocs maçonnés et en voiles de béton coulé in-situ. Elles permettent en effet généralement la séparation des différents éléments de structure. Notons que dans tous les cas les modes d'assemblage doivent être prévus démontables (ex une structure soudée n'est plus directement démontable). Les solutions en structures métalliques (notamment pour les bâtiments de commerce/industrie) et en structure bois sont également des solutions courantes.





ÉCONOMIE CIRCULAIRE
DES BÂTIMENTS

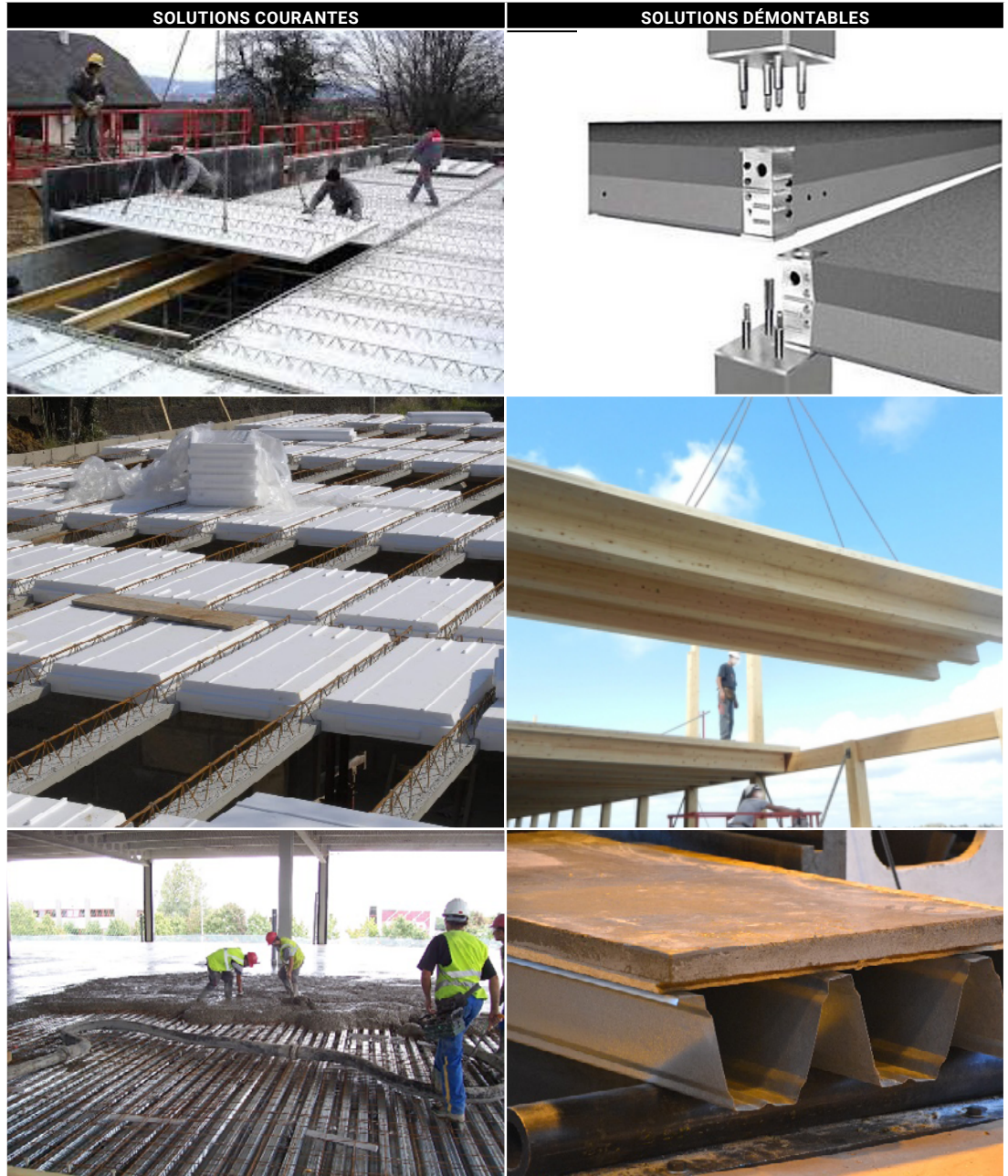
→ Les structures en voiles et en poteaux poutres sont toutes les deux courantes. Les structures poteaux-poutres ouvrent plus facilement la voie au respect de principes d'évolutivité du bâtiment et de démontabilité des autres éléments (façades, réseaux, distributions, etc.).





→ Les solutions courantes avec coulage de dalle de compression et chaînages ne sont pas démontables. Lorsque c'est possible, des solutions avec planchers préfabriqués en béton (+ assemblages mécaniques) ou bois permettent une meilleure démontabilité. Dans certains types d'utilisations, il est également possible de faire appel à des solutions hybrides et sèches qui facilitent la démontabilité.

ÉCONOMIE CIRCULAIRE
DES BÂTIMENTS



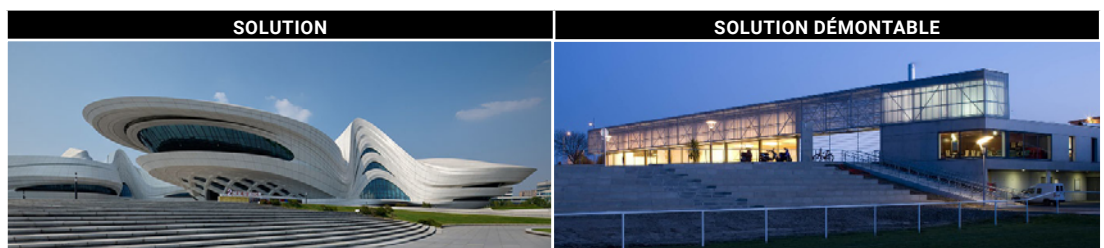


ÉCONOMIE CIRCULAIRE
DES BÂTIMENTS

→ Comparées aux ossatures bois ou métal poteaux-poutres mises en œuvre in-situ, les assemblages de panneaux préfabriqués à ossature bois ou métal facilitent le démontage sur site en vue d'une séparation plus fine en atelier ou poste dédié. D'usage encore peu courant, ces procédés permettent en plus de combiner les matériaux pour de meilleures performances globales. Il peut aussi être imaginé le réemploi d'éléments entiers de parois préfabriquées (ou la remise en état en usine).



→ Des architectures et structures complexes peuvent être parfaitement démontables si elles sont pensées pour l'être et respectent un certain nombre de principes de conception démontable. Notons cependant que les architectures plus simples, épurées et régulières seront généralement plus démontables (si elles aussi respectent les principes de conception démontable) et faciliteront le réemploi des éléments démontés.

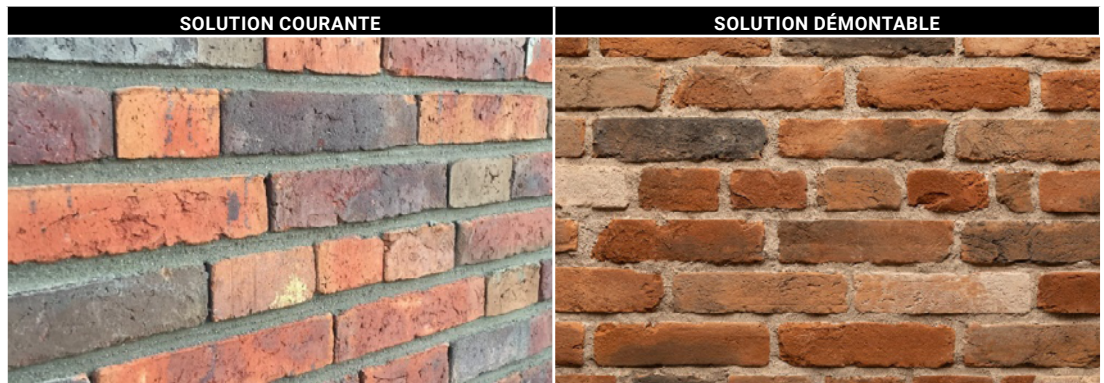




ÉCONOMIE CIRCULAIRE
DES BÂTIMENTS

ENVELOPPE, FAÇADE

→ Les briques étaient dans la construction traditionnelle usuellement jointoyées au mortier à la chaux hydraulique, permettant une séparabilité de celles-ci lors de la déconstruction du bâtiment ; ces pratiques ont évolué pendant la seconde moitié de XXe siècle, où l'industrie de la construction s'est tournée vers l'usage de mortier au ciment, compromettant ainsi les opérations de dépose sélective de briques.



→ Dans l'exemple ci-dessous, la solution « courante » de paroi composée de maçonnerie et d'ITE sous bardage est déjà en partie démontable. Elle est comparée à une solution (ici Façade F4 de St Gobain) globale plus démontable encore, sur structure ouverte, en filière sèche, avec des composants de structure secondaire démontables et réemployables.

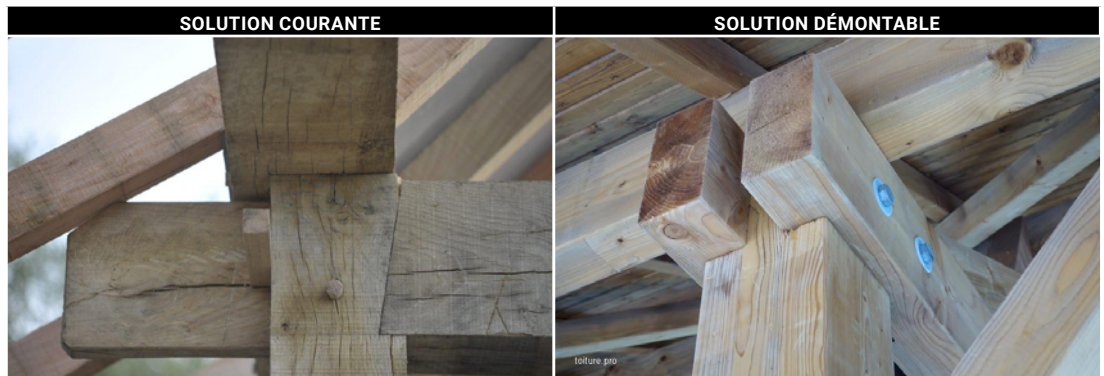




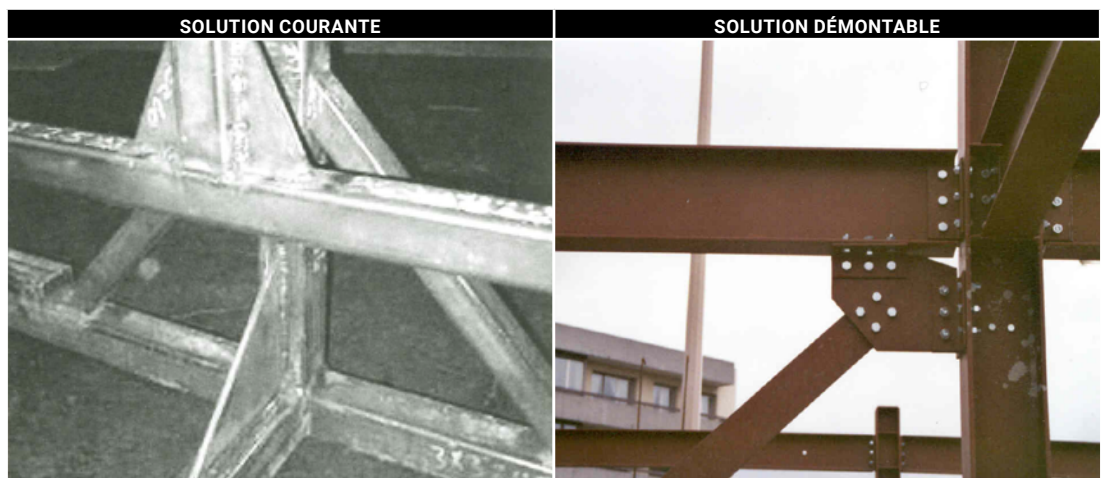
ÉCONOMIE CIRCULAIRE
DES BÂTIMENTS

ASSEMBLAGES

→ Les assemblages traditionnels ont de nombreux avantages (esthétique, conservation du savoir-faire, mono matériau). En revanche, avec les mouvements du bois dans le temps, les assemblages ont tendance à devenir indémontables. Il est alors préférable de choisir des assemblages boulonnés ou par sabots métalliques (plus stables et facilement démontables) si un objectif de démontabilité est visé. Cependant, il est important de rappeler que les solutions «démontables» s'apparentent à des liaisons articulées alors que les solutions courantes permettent aussi de créer des encastremements qui s'avèrent souvent indispensables pour la bonne tenue des structures (notamment en sismique).



→ Les structures ou charpentes métalliques peuvent proposer font couramment appel à des assemblages mécaniques, alternatives à la soudure, qui permettent un démontage aisé des composants.



→ Avec le béton, les liaisons se font généralement à l'aide de béton rapporté et coulé en place, au droit des armatures qui assurent également la transmission des efforts. Pour faciliter le démontage des composants, les solutions en béton préfabriqué utilisent de préférence des assemblages mécaniques.





ÉCONOMIE CIRCULAIRE
DES BÂTIMENTS

AMÉNAGEMENT INTÉRIEUR – CLOISONNEMENT

→ Ci-dessous deux exemples de solutions démontables pour le cloisonnement. La première est une solution développée dans le cadre du projet de recherche BAMB : les plaques de plâtre peuvent être clipsées : il n'y a pour le moment pas de solution pour obtenir un aspect parfaitement lisse, mais la solution est complètement démontable. La solution GyProc devrait sous peu être commercialisée. La deuxième est celle de FIBS Building Systems¹⁴. Elle utilise des panneaux OSB et ESB qui s'assemblent de façon ingénieuse en rainure languette. La solution permet de construire, déconstruire et reconstruire des cloisons à volonté. Elle est destinée à de l'aménagement de bureaux, halls industriels et commerciaux à la création de room in room. Pas d'ossature à installer, la construction est directement stable. La fixation se fait avec FIBS KeyTM sans vis, sans colle, ni mortier. Les câbles électriques, les fenêtres et les portes sont intégrés directement dans la structure FIBS.



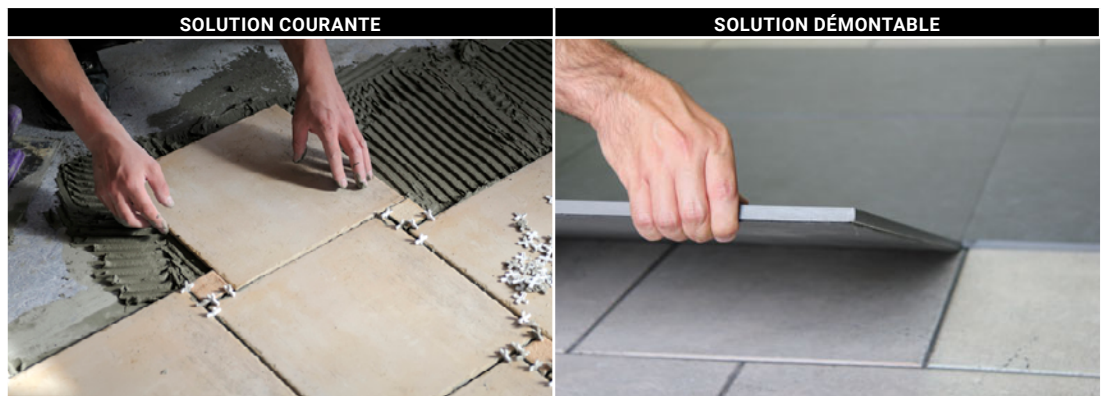


ÉCONOMIE CIRCULAIRE
DES BÂTIMENTS

→ La moquette est usuellement collée à la poisse. Cette technique, si elle est réalisée dans les règles de l'art, doit permettre de décoller les dalles ultérieurement relativement facilement. Ce n'est souvent pas le cas lorsque les temps de séchage ne sont pas respectés, et la poisse laisse la plupart du temps des résidus en sous-couche lorsque les dalles peuvent être décollées. La solution de fixation TacTiles®, développée par Interface consiste en l'apport d'éléments en PET sous la moquette permettant de relier les dalles entre elle en épousant la sous-couche, et ne nécessitant ainsi pas de colle, rendant les dalles très facilement séparables les unes des autres, sans résidu sur la moquette.



→ Carreaux de grès cérame munis d'un revêtement inférieur en liège qui assure à la fois un rôle anti-glissement et acoustique. Mise en œuvre aisée du produit (et coûts de pose diminués par rapport au carrelage classique). Complètement amovible et réutilisable. Cette solution est disponible pour toutes les collections de la marque Refin (ex ci-dessous SET-IN)





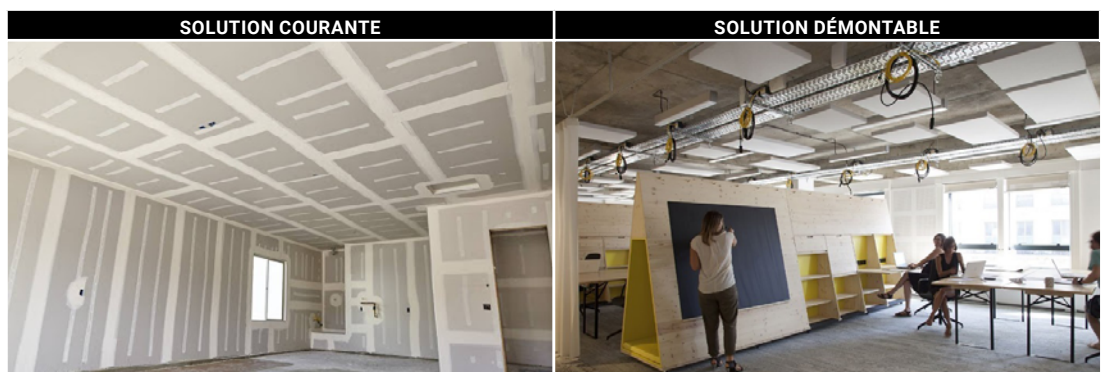
ÉCONOMIE CIRCULAIRE
DES BÂTIMENTS

ÉQUIPEMENTS

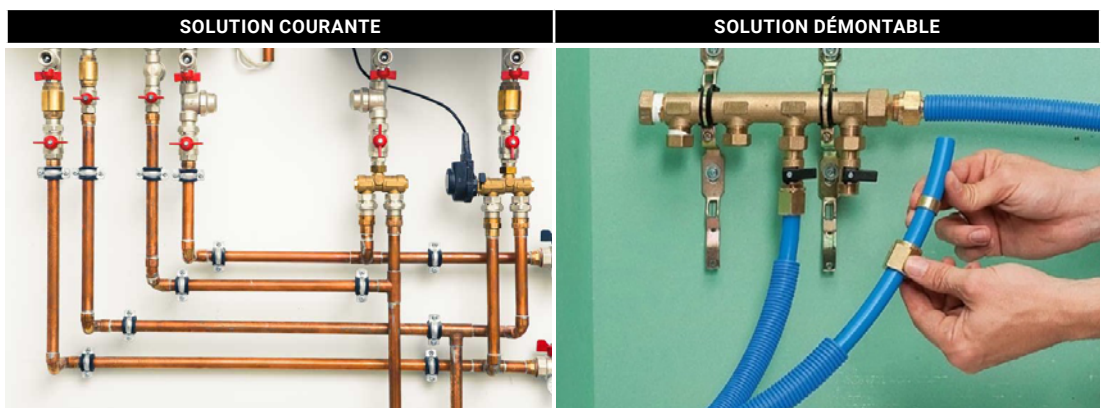
→ Le passage de réseaux noyés ou intégrés aux parois (en préfabrication, par saignées) ne permet pas la démontabilité des éléments de réseaux et complique le recyclage des parois. Pour plus de démontabilité, les réseaux peuvent être passés dans des doublages, goulottes (ou plinthes) dédiées ou même en apparent lorsque c'est possible.



→ Les distributions de réseaux apparents sous planchers sont maintenant bien acceptées dans plusieurs types de bâtiments (surtout tertiaires, industriels, restauration, logements modernes). Elles permettent de faciliter la maintenance, la démontabilité de tous les éléments, réduire la consommation de matières et les déchets. Dans le tertiaire, la solution courante est le passage des réseaux en faux plafond de plaques démontables suspendues. La solution courante la moins démontable est le faux plafond en plaques fixées sur rails et jointées.



→ Les solutions de plomberies portaient traditionnellement sur des tubes en cuivre à souder ou sertir. Les solutions en tuyaux PER à visser permettent une réversibilité intéressante des réseaux. Cela ne convient cependant pas pour tous les types de réseaux.





ÉCONOMIE CIRCULAIRE
DES BÂTIMENTS

3.

Concepts et principes de conception pour la démontabilité



ÉCONOMIE CIRCULAIRE
DES BÂTIMENTS

La conception pour la démontabilité est une **stratégie centrale dans la réduction de l'impact environnemental de son projet de bâtiment**, la réduction de ses déchets sur l'ensemble de son cycle de vie, pour favoriser ses capacités d'adaptations et le réemploi de ses éléments. Elle peut s'appliquer au bâtiment dans son ensemble, à un ou à plusieurs lots (ex : façade, cloisons, etc.), ou des éléments spécifiques.

La réussite de cette stratégie est intimement liée à la **traduction claire de ses finalités et objectifs techniques**, et à une **collaboration** forte de l'équipe de conception et des entreprises le plus en amont possible.

Les principes de conception pour la démontabilité se retrouvent à différents niveaux :

- conception technique du bâti, générale à détaillée :
- forme et volumes du bâtiment
 - systèmes
 - éléments
 - composants
 - matériaux
- processus organisationnels du projet.

3.1. Principes généraux

Il existe des principes généraux pour une conception démontable des bâtiments. Plus l'équipe du projet répondra à ces principes, plus la démarche sera une réussite. Ils doivent ensuite être traduits techniquement et de manière détaillée.

Principes transverses

DURABILITÉ	Choisir des éléments (systèmes, composants, produits, matériaux) durables et résistants permettant des opérations de montage / démontage sans dommages, la conservation de l'état convenable des éléments en vue d'un réemploi ou réutilisation.
ACCESSIBILITÉ	Prévoir un accès facile aux différents éléments et services pour qu'ils puissent être atteints et démontés sans perte de temps ni impact sur les éléments adjacents. La facilité d'accès doit être assurée d'autant plus pour les composants dont le cycle de vie est le plus court et les éléments nécessitant de l'entretien. La facilité d'accès est étroitement liée à l'indépendance et elle est souvent liée à la désolidarisation des « couches » d'un bâtiment ou des composants d'un ouvrage de construction qui ont des durées de vie très différentes. Le principe de « facilité d'accès » est détaillé dans la norme NF ISO 20887:2020 ¹²
SIMPLICITÉ	Favoriser la simplicité (des formes, éléments, assemblages) et minimiser la diversité de produits afin de faciliter les opérations de montage / démontage, et la capacité de réemploi des éléments. Le principe de « simplicité » est détaillé dans la norme NF ISO 20887:2020.
NORMALISATION	Utiliser des technologies et des méthodes de construction simples et compatibles avec les pratiques communes ou en voie de le devenir. Des technologies de construction très spécifiques avec une application très limitée ne seront pas intéressantes lorsque le bâtiment sera démonté. Le principe de « normalisation » est détaillé dans la norme NF ISO 20887:2020
INDÉPENDANCE*	Favoriser l'indépendance des ensembles/systèmes pour rendre possible la séparation des éléments lors du démontage, réduire l'impact ou les risques de dégradations sur les éléments adjacents. * Voir « Notions théoriques complémentaires pour la conception démontable » en page 10. Le principe de « d'indépendance » est détaillé dans la norme NF ISO 20887:2020
POLYVALENCE	Utiliser des dimensions standards pour les composants, ensembles et systèmes afin de faciliter les opérations de montage/démontage, augmenter l'intérêt du démontage en favorisant la capacité de réemploi des éléments.
TOLÉRANCES	Prévoir des tolérances spécifiques permettant les manœuvres pendant le démontage. Le processus du montage/démontage nécessite des tolérances supplémentaires et plus grandes que pour le processus de fabrication et les processus d'assemblage couramment appliquées.
MAÎTRISE DE LA LOGISTIQUE DE DÉPOSE	Concevoir en visant les étapes de démontage : privilégier des composants « à taille humaine » ou manipulables avec des équipements mobiles standards en considérant la charge de travail ; Prévoir la mise en place d'équipements motorisés nécessaires au démontage et à la manutention des éléments de grande taille.
SÉCURITÉ	Intégrer la sécurité des opérations de démontage lors de la conception du bâtiment et de ses éléments. La sécurité des personnes lors des travaux est un facteur prépondérant dans le choix et la possibilité de la déconstruction plutôt que la démolition. Le principe de « sécurité de démontage » est détaillé dans la norme NF ISO 20887:2020

Tableau 1 : Principes généraux transverses pour la conception démontable



ÉCONOMIE CIRCULAIRE
DES BÂTIMENTS

Formes et structures

Préférer les formes de **bâtiments simples et linéaires**. Elles offrent généralement plus de facilités au démontage. Le travail de l'architecte permet ensuite de limiter le risque éventuel d'uniformisation des bâtiments. Ce principe de simplicité et de linéarité est conseillé mais n'est pas une condition sine qua non. Des bâtiments aux formes complexes pouvant aussi être démontés si leur conception respecte un maximum d'autres principes essentiels. Le réemploi des éléments déposés risque cependant d'être plus compliqué, pour leur retrouver un deuxième usage (ou retrouver une nouvelle configuration identique à celle initiale).

Préférer les **structures simples, à travées ouvertes et régulières**.

Éviter les structures non réversibles de type maçonnerie de petits éléments liés ou de type coulé en place (sauf dispositifs spécifiques permettant le démontage des liaisons), et préférer les structures **préfabriquées** et/ou **en filières sèches avec assemblages mécaniques**.

Assemblages

Le travail sur les assemblages est central dans la conception pour la démontabilité. Il est nécessaire d'avoir une réflexion à plusieurs niveaux : dans chaque lot (ex : assemblages des éléments de structure entre eux), inter lots (ex : fixation des réseaux dans les parois, des finitions sur l'enveloppe, etc.) et pour chaque élément.

Prévoir des **assemblages mécaniques** et proscrire les assemblages chimiques (colles, liants hydrauliques). Privilégier ensuite les **assemblages simples** et favoriser leur **accessibilité**.

Matériaux

Un matériau doit pouvoir **conserver son intégrité au fil du temps** et pendant les opérations de démontage, ou rester incorporé/intégré dans un système, ou être ramené à son état initial. Il sera d'autant plus réutilisable ou recyclable.

Les exigences pour les matériaux en vue de la démontabilité des éléments varient selon les produits et les lots concernés.

De manière générale, choisir des matériaux :

- **Résistants**. Les caractéristiques prépondérantes dépendent des sollicitations sur le produit. Il peut alors s'agir de résistance mécanique, à l'eau, aux UV, aux attaques biologiques, etc. Dans tous les cas, faire le choix de matériaux apportant une résistance mécanique suffisante au moment des opérations de démontage.
- **Simple et recyclables**. Des matériaux communs et composés d'une seule matière seront plus facilement recyclables après dépose.
- **Entiers**. Éviter les matériaux en vrac. Même s'il est possible de procéder à de l'aspiration pour retirer le produit, cette technique rend la démontabilité plus difficile.
- **Bruts**. Les matériaux ayant une finition intrinsèque seront généralement plus facilement réemployés ou recyclés après dépose et permettent une diminution des consommations de ressources lors de la construction. Les assemblages et liaisons sont également plus visibles, le potentiel de démontabilité des produits est ainsi accru.
- **Réemployabilité**. Choisir des éléments et des matériaux dont on sait avoir un réel potentiel de réemployabilité et le justifier.



ÉCONOMIE CIRCULAIRE
DES BÂTIMENTS

Données

Les données (principes et détails de conception et caractéristiques des produits) ainsi que leur conservation sont essentielles à la démarche de conception démontable pour atteindre ses objectifs in-fine (facilité d'entretien, adaptabilité, valeur intrinsèque/résiduelle supérieure du bâtiment, réduction des déchets, réemploi).

Documenter au maximum chaque matériau et chaque composant d'un ensemble, ainsi que les points d'assemblages. Ces informations permettront d'identifier les matériaux réutilisables ou recyclables après démontage. Inclure également les **instructions de démontage** dans la documentation du projet. Les matériaux peuvent être tracés et comporter des marquages, QR Codes, puces RFID afin de mieux les identifier.

Idéalement faire usage d'une **maquette BIM** et prévoir un plan de **conservation des données** toute la vie du bâtiment (qui ? comment ?). L'enjeu « Capitalisation de la donnée » donne des éléments de précisions.

Organisation et communication

L'organisation de projet pour une conception démontable peut être globalement similaire à une organisation habituelle. Elle demande cependant certains efforts particuliers, une **approche collaborative** poussée le plus en amont possible et une forte affirmation des objectifs spécifiques.

Afficher clairement les finalités et objectifs de la démarche. Il est important de lui donner du sens. En faire un axe central et essentiel du projet sur lequel les équipes de conception et entreprises doivent se positionner.

Avoir une **approche en coût global**. Cette approche permet de justifier économiquement la démarche et les choix.

Valoriser l'expérience/expertise des acteurs dans la conception et la réalisation de bâtiments démontables.

Favoriser les outils numériques collaboratifs en phase conception, notamment le BIM.

Favoriser une **collaboration** de l'équipe de MOE et des entreprises le plus en amont possible dans les phases de conception.

Notions théoriques complémentaires pour la conception démontable

Les concepteurs doivent prendre en compte certaines notions théoriques pour assurer le caractère démontable d'un bâtiment, d'un ensemble d'éléments et des assemblages. Ces notions sont¹³:

1. La décomposition fonctionnelle
2. La systématisation et clustérisation
3. La relation hiérarchique entre les éléments
4. La spécification des éléments de base
5. Le séquençage des assemblages (Cf chapitre 3.4)
6. L'interface d'assemblage (Cf chapitre 3.4)
7. Le type de connexions (Cf chapitre 3.4)
8. La coordination du cycle de vie dans l'assemblage/désassemblage (Cf chapitre 3.4)



ÉCONOMIE CIRCULAIRE
DES BÂTIMENTS

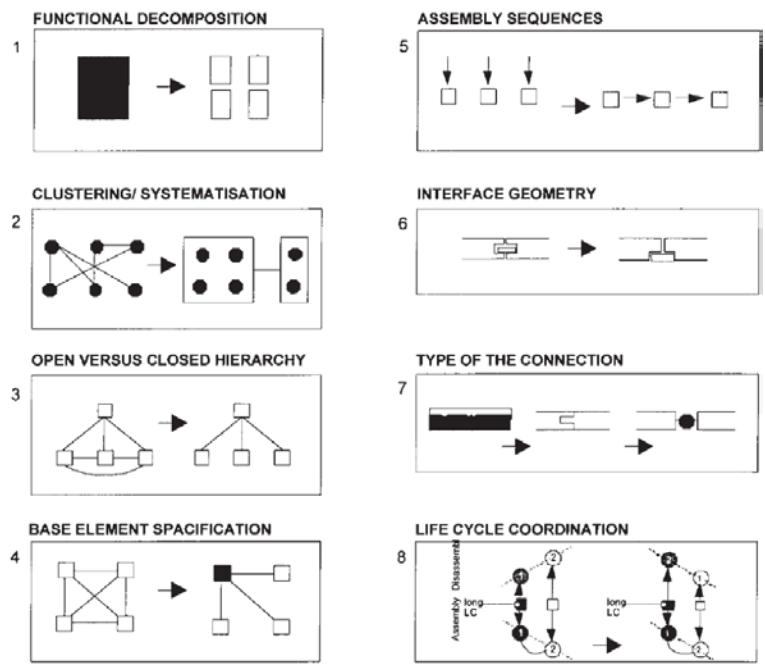
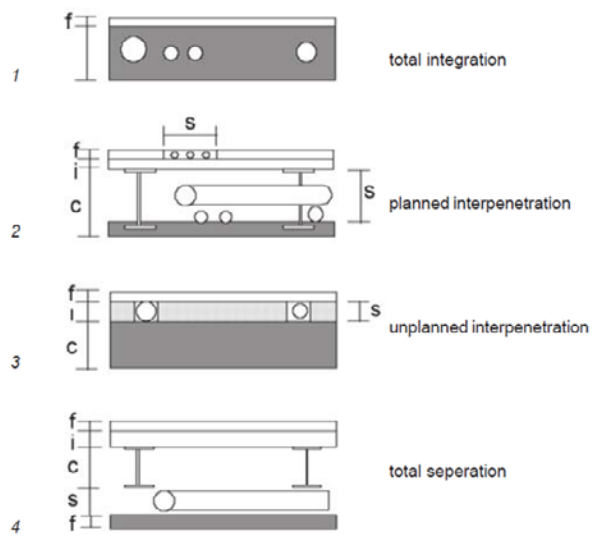


Figure 7: Notions pour la conception d'assemblages. Source : Elma Durmisevic 2006

Décomposition fonctionnelle

La décomposition fonctionnelle est le lien entre les différentes fonctions du bâti et les éléments. Elle est de 3 ordres : Intégration, incorporation et séparation.
Lorsque l'on conçoit en vue de la démontabilité, il faut se diriger vers la **séparation (ou indépendance)** des couples - Fonctions - et - éléments -.

Les schémas ci-dessous illustrent la séparation des fonctions :

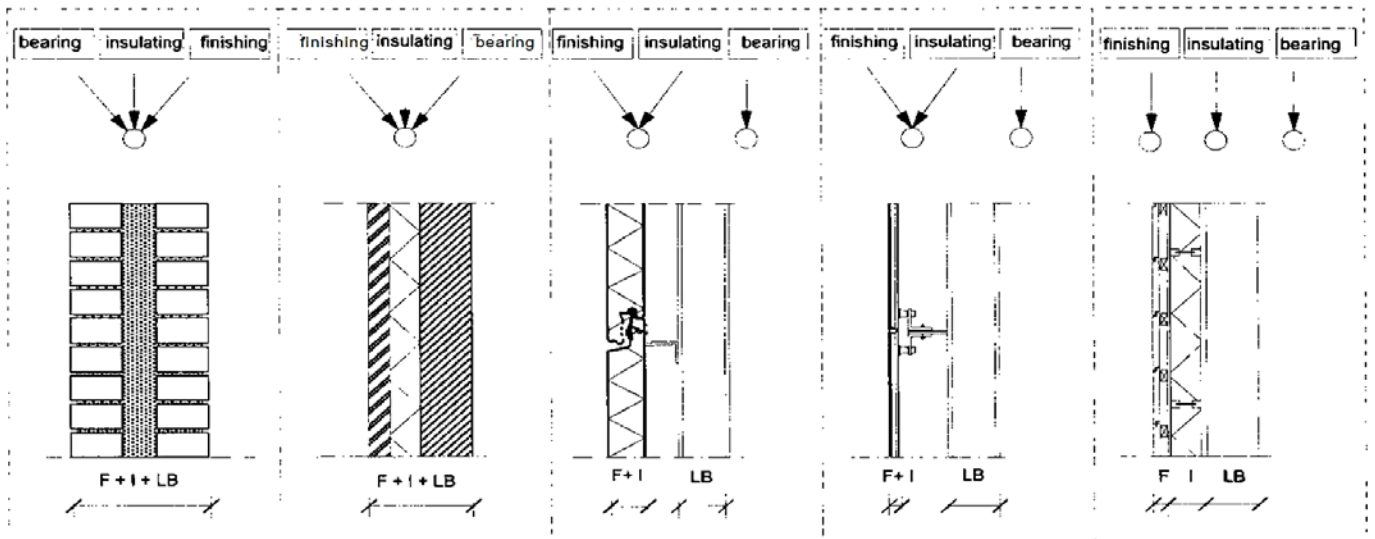


Traduction
 C = construction
 F = finition
 S = réseaux
 I = isolation
 Planned interpenetration = interpénétration planifiée
 Unplanned interpenetration = interpénétration non planifiée
 Total integration = intégration totale
 Total separation = séparation totale

Figure 8 : Illustrations Décomposition fonctionnelle. Source: Elma Durmisevic

Pour la plupart des composants des bâtiments, les fonctions principales sont : supporter, protéger (eau et air), distribuer (réseaux), partager (cloisonnement). On trouve au sein de ces fonctions les éléments suivants : fondations, structure, planchers, façades, murs intérieurs, ventilation, chauffage, réseau de plomberie, réseau électrique, etc.

Le schéma suivant illustre différents niveaux de décomposition fonctionnelle d'un mur de façade, du moins au plus démontable :



Traduction	F = Façade	Bearing = portance
	LB = Structure porteuse	Insulating = isolation
	I = Isolation	Finishing = finition

Figure 9 : Illustrations Décomposition fonctionnelle sur Paroi. Source: Elma Durmisevic

Systématisation

La systématisation introduit la notion d'ensembles et de sous-ensembles ou la création de clusters d'éléments en lien avec leur cycle de vie et niveaux d'intégration. Les clusters d'éléments permettent une meilleure démontabilité d'ensemble.

Les schémas ci-après illustrent la notion d'ensembles / sous-ensembles ou clusters (familles) d'éléments :

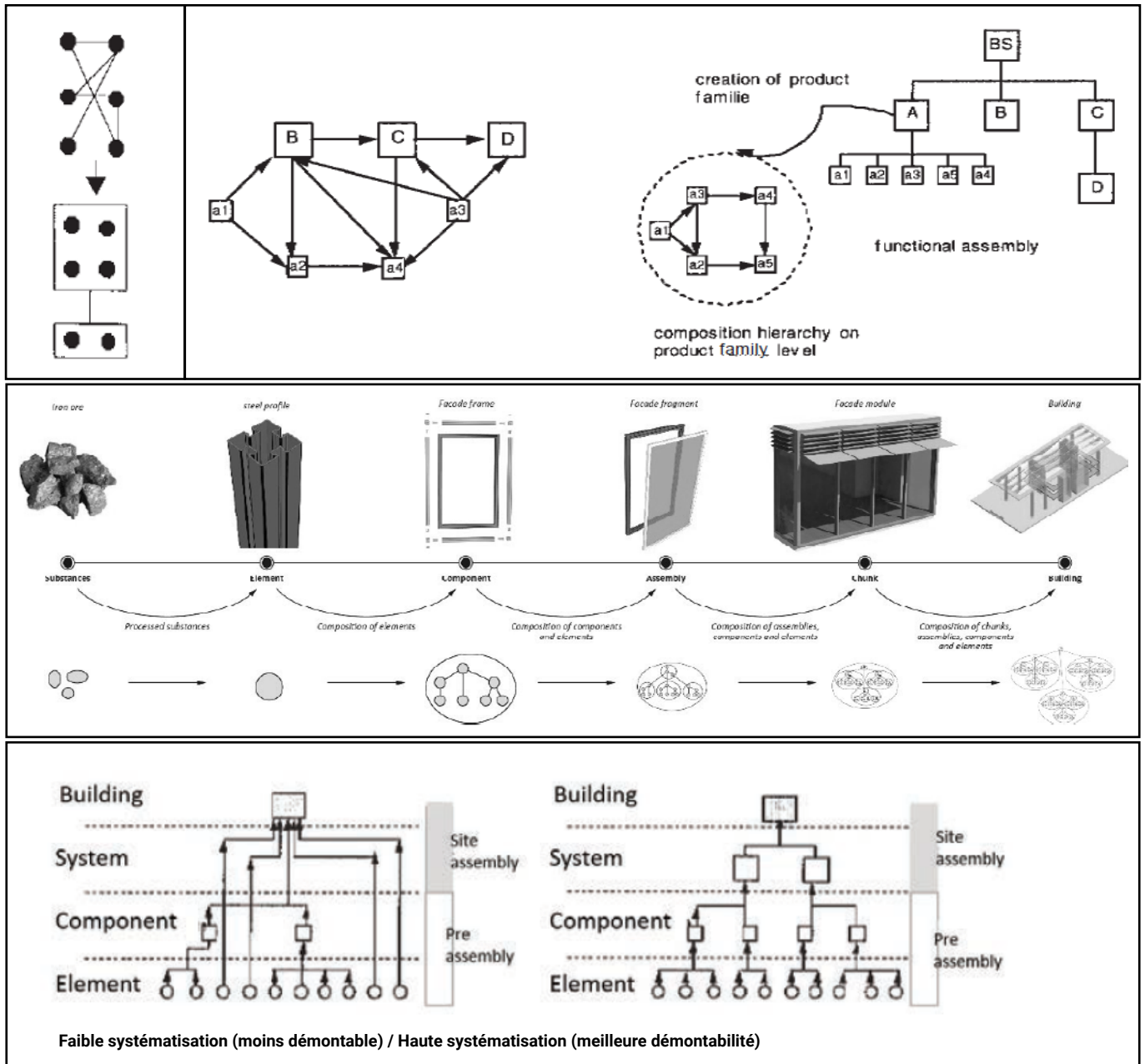


Figure 10 : Illustrations Systématisation. Source: Design strategies for reversible buildings. Elma Durmisevic

Les sous-ensembles ou clusters sont indépendants en production, exploitation et lors des assemblages / désassemblages.

Plusieurs niveaux de clusters peuvent être distingués :

- Clusters au niveau systèmes.
- Clusters au niveau des composants.
- Clusters au niveau système, composant, élément et matériau.
- Pas de cluster.



ÉCONOMIE CIRCULAIRE
DES BÂTIMENTS

Théorie des couches

La théorie des « couches » est un aspect primordial à prendre en compte dans la conception démontable. Elle se base sur le fait que les différentes « couches » du bâtiment n'ont pas la même durée de vie utile. Ces différentes « couches » doivent être le plus possible indépendantes les unes des autres. Séparer les composants à longue durée de vie des composants à courte durée de vie facilitera l'adaptation et réduira la complexité du démontage, en permettant la dépose des types spécifiques de matériaux un type à la fois, facilitant ainsi le processus de collecte pour le recyclage et la mise à niveau.

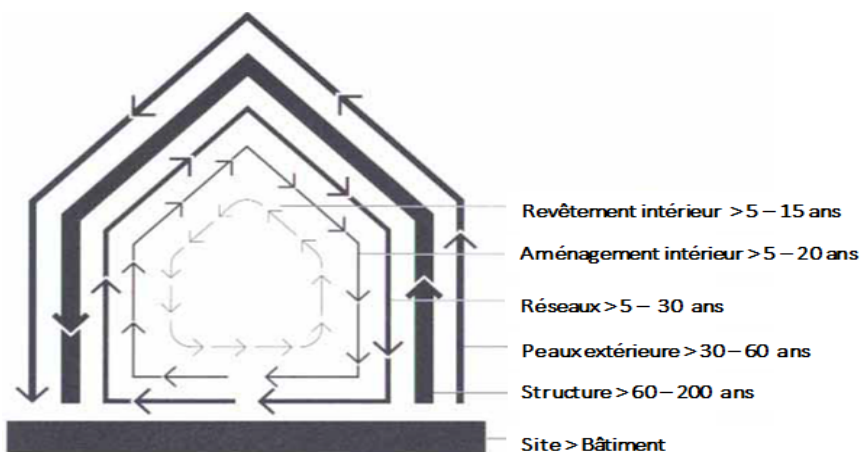


Figure 11 : Illustration théorie des couches. Source : Stewart Brand's Six S's diagram

Le schéma ci-après présente de manière imagée la relation entre les différentes couches, leurs cycles de vie utile et les niveaux de flexibilité à prévoir.

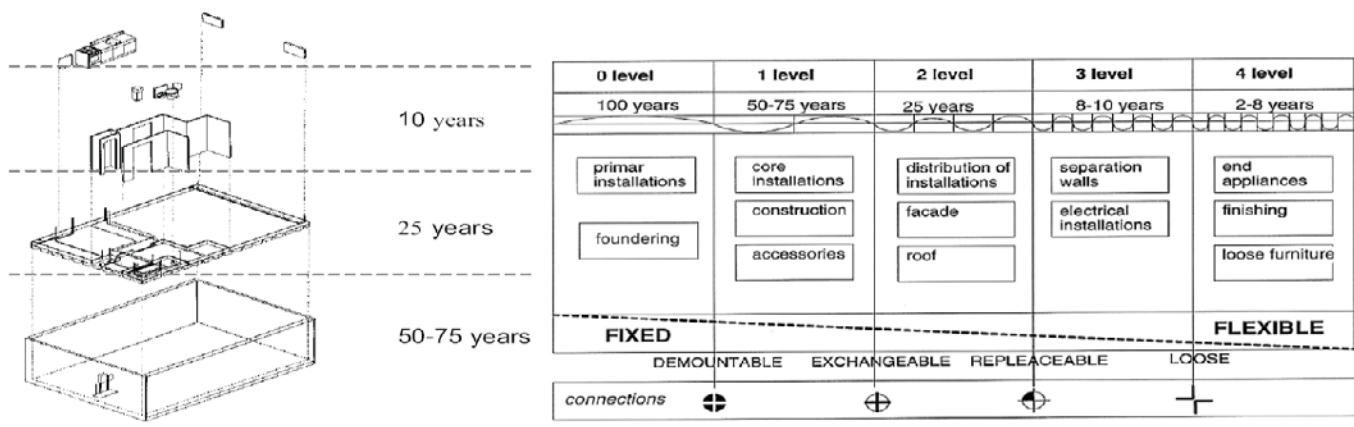


Figure 12 : Illustration théorie des couches. Source : Elma Durmisevic

La norme NF ISO 20887 Juin 2020 spécifie que pour les bâtiments, les trois principales « couches » relatives au bien immobilier construit peuvent être identifiées comme suit :

- enveloppe et gros œuvre – structure du bien immobilier construit, y compris les fondations, la superstructure et l'enveloppe ;
- systèmes mécaniques et électriques – canalisations, conduits, câbles, machines, ascenseurs, etc. ;
- aménagement – cloisons, plafond, revêtements de sol, appareillages et finitions.



3.2. Structures

Les éléments ci-après rappellent les principes de conception pour favoriser la démontabilité des structures sans imposer un matériau/type de structure. Les différents types de structures, mis à part la maçonnerie de petits éléments et les structures béton coulées en place, ont un potentiel de démontabilité propre, plus ou moins important selon l'application de certains principes. Les concepteurs sont donc libres de leurs choix selon le type de projet, ses objectifs, le tissu industriel local, etc.

Principes de conception démontables pour les structures

- Privilégier les formes de **structures simples et épurées**. Des structures denses, aux formes et éléments complexes, réduisent fortement le potentiel de démontabilité et de réemploi.
- Prévoir une structure à **assemblages mécaniques**. Les assemblages chimiques, collés ou coulés ne permettent généralement pas le démontage. On retrouve généralement les assemblages mécaniques sur les structures en filière sèche telle que les structures bois et métalliques, mais également sur les structures préfabriquées bois, métal ou béton (hors sismique, ayant recours au clavetage)
- Utiliser des **structures poteaux-poutres**, les **travées ouvertes** où la structure comprend un nombre plus limité de connexions et de plans. Associer à la structure poteaux-poutres des connecteurs visibles et accessibles afin qu'elle communique d'elle-même son potentiel de démontage. Les structures poteaux-poutres démontables sont généralement en bois ou métal. Pour certains bâtiments (ex industriels) et avec des techniques d'assemblage spécifiques, elles peuvent aussi être en éléments béton préfabriqués.
- Utiliser des **solutions préassemblées** 2D (panneaux) ou 3D (modules), idéalement de dimensions standards afin de pouvoir être (ré)utilisées dans plusieurs types de bâtiments. L'assemblage des éléments entre eux et sur les autres éléments du bâtiment doit se faire avec des connexions mécaniques démontables. Les solutions préassemblées permettent généralement de répondre aux théories des « couches », de « décomposition fonctionnelle » et surtout de « systémisation et clustérisation » présentées au chapitre 3.1.
- Favoriser **la standardisation** (réurrence de dimensions d'éléments sur le projet même et d'un projet à l'autre) permet d'obtenir plus d'éléments identiques qui permettront, en fin de vie, la mise en place d'échantillonnage si nécessaire pour un protocole de caractérisation des performances résiduelles
- Prévoir une **grille structurelle standard** (en hauteur d'étage par exemple) permettant l'utilisation de composants rattachés, eux-mêmes standards et réutilisables.
- **Maximiser les portées** structurelles (de manière adaptée au projet) afin de réduire le nombre d'éléments porteurs (et d'assemblages) à démonter.
- Appliquer autant que possible les théories indiquées au chapitre 3.1. Rendre les différentes **couches fonctionnelles de l'enveloppe indépendantes** et/ou les lier mécaniquement aux éléments de structure (les blocs avec isolation dans les alvéoles ou coffrages bétons préfabriqués avec isolation au son sein sont par exemple des mauvais exemples).
- Prévoir et documenter le **séquençage des opérations de déconstruction**.
- Concevoir en **intégrant la charge de travail et la sécurité des personnes** pour les étapes de séparation : en privilégiant des composants « à taille humaine » ou manipulables avec des équipements mobiles standards de travaux de déconstruction. Les éléments de structures doivent dans la mesure du possible disposer de dispositifs d'accroche permettant leur levage et mise en sécurité lors des opérations de démontage.
- Penser les espaces de manière à faciliter la logistique de déconstruction, faciliter le démontage, le stockage et l'évacuation des flux.



ÉCONOMIE CIRCULAIRE
DES BÂTIMENTS

Le principe de structure démontable induit une nature de liaison particulière entre les éléments porteurs. En effet ces éléments démontables seront considérés comme articulés et non encastres. L'encastrement le plus simple, correspond à la solution constructive la plus utilisée en France aujourd'hui : le béton coulé en place. Des assemblages mécaniques préfabriqués vont davantage correspondre à une liaison articulée (du fait des tolérances de montages, voire d'un certain jeu dans l'assemblage).

Les articulations vont avoir une influence sur la raideur globale de la structure, qu'il faudra bien anticiper par le bureau d'études structure. L'assemblage démontable devra être modélisé précisément afin de déterminer sa raideur. Ensuite le modèle de l'ensemble de la structure devra intégrer ces raideurs afin de contrôler le comportement global. Ce paramètre est d'autant plus important que le bâtiment est haut. Cette problématique concerne donc les bâtiments multi-étages. A partir d'un certain niveau (pour les IGH, Immeubles de Grande Hauteur, par exemple) il se peut que le caractère démontable soit incompatible avec le respect des critères dimensionnants comme le déplacement et l'accélération en tête. Ainsi une étude spécifique permettra de déterminer dans quelle mesure et pour quels éléments il sera possible de considérer un démontage en modélisant une articulation.

Les éléments porteurs centraux, comme le noyau, seront difficilement démontable de par leur rôle indispensable pour assurer le contreventement du bâtiment. La typologie choisie pour la structure influencera également le nombre d'éléments démontables. Une structure en diagrid ou en exosquelette avec un contreventement en croix permet d'assurer le contreventement tout en articulant le maximum d'éléments porteurs en façade, soulageant, en même temps, la part du noyau dans la stabilité générale.

Avantages et inconvénients de différents types de structures

Le tableau ci-dessous donne les principaux avantages et inconvénients des types de structures courants.

TYPÉ DE STRUCTURE	AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
STRUCTURE MAÇONNÉE	<ul style="list-style-type: none"> - Composants individuels décomposables et facilement réutilisables. - Masse solide recyclable si monolithique. - La réutilisation n'influence pas la conception. 	<ul style="list-style-type: none"> - Les blocs doivent utiliser du liant mou pour être réutilisés, ce qui réduit la solidité de la structure. - Peut inclure des renforcements ce qui rend plus difficile la déconstruction. - Requiert des engins lourds pour décomposer les structures. - Peut être composée de murs latéraux ce qui réduit la modularité.
STRUCTURE LÉGÈRE	<ul style="list-style-type: none"> - Efficace sur le plan structurel et modulable. - Facile à transformer en éléments recyclables si détaillé de manière appropriée (pas de béton in-situ). - Peut être posée séparément du bardage et de l'isolation. - Peut-être industrialisée (pas de béton in-situ). 	<ul style="list-style-type: none"> - Difficile à déconstruire à moins que le cadre utilise des joints appropriés. - Les encoches, les trous et les liaisons peuvent réduire les possibilités de réemploi. - La déconstruction est manuelle ou mécanique en fonction de la taille et du type de structure.
STRUCTURE DE TYPE « PANNEAUX »	<ul style="list-style-type: none"> - Efficace sur le plan structurel. - Production en usines – apport de précision. - Tous les composants peuvent être construits en minimisant les déchets. 	<ul style="list-style-type: none"> - Requiert une déconstruction mécanique. - Les matériaux sont liés et difficiles à séparer. - La présence de renforcement des murs réduit les options internes.
STRUCTURE DE TYPE « POTEAUX ET POUTRES »	<ul style="list-style-type: none"> - Structure séparée de l'enveloppe et des autres systèmes qui permet l'utilisation de dimensions standardisées et de matériaux homogènes. - Permet de réduire la masse de la structure à peu de composants linéaires. 	<ul style="list-style-type: none"> - Les éléments les plus imposants nécessitent une déconstruction mécanique. - Moins d'options de multi fonctionnalités sont envisageables.

Tableau 2: Avantages et inconvénients des types de structures courants.

Exemples de solutions techniques associées

L'annexe 2 vient compléter le tableau d'exemples de solutions techniques suivant en commentant les avantages et inconvénients des différentes solutions, ainsi que les aspects économiques et environnementaux.

LOTS CONCERNÉS	SOLUTIONS DE RÉFÉRENCE NON DÉMONTABLES	PRINCIPES	SOLUTIONS TECHNIQUES POSSIBLES
TERRASSEMENT-FONDACTIONS	Fondation béton Pieux foncés Radier	limiter l'empreinte sur le site de construction avec des fondations amovibles (peu compatible avec constructions lourdes)	Pilotis enfoncés dans le sol
			Éléments d'ancrages vissés, pieux vissés
			Technologie de fondation à faible impact
GROS ŒUVRE BÉTON – MAÇONNERIE	Éléments coulés en place Liaisons par chainages coulés Maçonnerie collée au mortier	Utiliser le moins possible la voie « humide » pour les éléments porteurs maçonnés	Éléments préfabriqués fixés mécaniquement (boulons, barrettes métalliques, tige filetée...)
	Distribution de murs porteurs et non porteurs en béton ou en maçonnerie		Privilégier le système poteaux poutres
	Maçonnerie collée au mortier	Privilégier les assemblages mécaniques aux liaisons chimiques pour les maçonneries de petits éléments et liaisons avec les planchers	Empilement des éléments à sec (emboitement)
			Utiliser la liaison par post-tension
			Solution de maçonnerie et de plancher démontables DEMODULOR
	Structure (extérieure + distribution intérieure) avec voiles béton ou maçonneries	Prévoir une structure béton démontable	Privilégier les structures béton poteaux poutres
	Éléments coulés in-situ		Privilégier les éléments préfabriqués
	Clavetage en béton coulé in situ		Utiliser des assemblages mécaniques entre éléments préfabriqués : platines métalliques boulonnées
	Joints à mortier, colle, mousses expansée		Utiliser des joints secs entre éléments adjacents
	Assemblages dissimulés derrière un doublage ou un isolant projeté	Rendre les assemblages visibles et accessibles	Ne pas dissimuler les assemblages. Soigner les assemblages pour les rendre esthétiquement acceptables > platines et boulons métalliques
Structures avec nombreux petits et différents éléments	Réduire le nombre d'assemblage	Privilégier des assemblages plus gros et moins nombreux que l'inverse (pertinent seulement dans certains cas, avec des assemblages courants)	
Têtes d'écrous ou de vis spécifiques à une marque donnée.	Choisir des assemblages démontables avec des outils courants	Privilégier les écrous ou vis à tête communs	

CONSTRUCTIONS BOIS OSSATURE - CHARPENTE	Architecture/structure complexe, avec parois en ossature bois ou panneaux bois pour les murs extérieurs et distribution intérieure	Simplifier la structure et la forme = Faciliter le démontage pour être économiquement rentable	Structure poteaux-poutres à trame répétitive
	Charpente de forme complexe		Réduction du nombre de montants dans le cas d'une ossature
	Fixation par collage Fixation par clouage	Utiliser des assemblages structurels réversibles et accessibles	Utilisation d'éléments répétitifs pour la charpente (dimension, espacement...)
			Fixation par emboitement/ Autres éléments en bois
			Éléments métalliques/ Platines/ Boulons/ sabots
			Fixation par électro-aimant réversible. Fixation par vis filetée et anneau métallique thermo-réactif
	Panneaux, produits non démontables avec isolation intégrée (panneaux bois+isolant, isolant dans alvéoles, panneaux à maille croisée avec isolant)	Raisonner par système de couches	Séparer les éléments et travailler sur des mono matériaux
			Préférer des isolants rigides ou semi-rigides
	Isolation projetée Isolation en vrac (ouate de cellulose, laines minérales, billes de PSE, etc.) Laines minérales		
	Ossatures bois réalisées in-situ	Utiliser des panneaux porteurs modulaires facilement démontables et réutilisables	Préfabrication de panneaux et assemblages sur chantier
Utilisation d'éléments répétitifs, de mêmes dimensions. Assemblages indirects des panneaux			
Panneaux sur lesquels l'isolation est collée, fixée mécaniquement et non démontable Panneaux SIP dont les couches sont non séparables.		Utilisation de panneaux structuraux isolés (SIP) si réutilisation envisagée et démontabilité des différentes couches du panneau simple.	
Structure complexe sans homogénéisation des éléments	Utiliser des modules 3D en bois empilables et déplaçables	Utilisation d'éléments répétitifs, de mêmes dimensions.	
		Fixations réversibles des différents modules entre eux.	
Fixation par collage Fixation par clouage			
Éléments assemblés par collage	Empiler les éléments en minimisant voire en supprimant les fixations	Rondins, Éléments de petites dimensions	

CONSTRUCTIONS MÉTALLIQUES OSSATURE - CHARPENTE	Structure simple type portique ou poteaux-poutres	Simplifier la structure et la forme permet de faciliter le démontage, en vue de réemploi	Optimisation de la trame pour la répétitivité
	Structure complexe avec assemblage de nombreux éléments primaires et secondaires	Prise en compte de l'accessibilité aux éléments et favoriser leur repérage, veiller aux types d'assemblages	Optimisation du nombre de montants répétitifs dans le cas d'une ossature (dimension, espacement...) et conservation dans le temps des infos
	Structure complexe sans homogénéisation des éléments et fréquences		
	Assemblage par soudure	Utiliser des assemblages structurels réversibles et accessibles	Boulons/Tiges filetées/Emboitement/autres éléments métalliques
			Fixation par électro-aimant réversible.
			Fixation par vis filetée et anneau métallique thermo-réactif
	Planchers collaborants	Raisonner par système de couches et développer des solutions sèches	Séparer les éléments constitutifs de l'ensemble du système de plancher et prévoir des liaisons mécaniques simples et accessibles
	Éléments structuraux intégrant des réseaux	Raisonnement par système de couches successives	Passer les réseaux dans les vides des plénums ou des poutres cellulaires
	Isolation projetée Isolation en vrac (ouate de cellulose, laines minérales, billes de PSE, etc.)		Préférer des isolants rigides ou semi-rigides
Éléments modulaires 2D	Utiliser des panneaux porteurs ou non, modulaires facilement démontables et réutilisables	Utilisation de panneau préfabriqué à structure métallique	
Éléments modulaires 3D	Utiliser des modules 3D en métal empilables et déplaçables	Utilisation d'éléments répétitifs, de même dimension	

Tableau 3 : Démontabilité – Structure. Exemples de solutions techniques associées



3.3. Enveloppe, façade

La démontabilité de l'enveloppe et notamment des façades verticales est particulièrement intéressante. Elle est en effet un paramètre essentiel de l'évolutivité des bâtiments (extensions, changements d'usages et permet de répondre efficacement aux besoins de réhabilitation (la façade étant un élément souvent central) pour des raisons performanciennes (thermiques, acoustiques, etc.) et esthétiques.

Les principes présentés ci-après sont à intégrer autant que possible en vue d'une conception démontable. Ils ne sont pas une obligation, qui conduirait à une éventuelle uniformisation des bâtiments. Le travail de l'architecte et de l'équipe de conception doit permettre de prendre en compte un certain nombre de ces principes tout en limitant l'effet d'uniformité.

Principes de conception démontables pour les façades :

- Privilégier une **architecture simple et linéaire**.
- Choisir des **dimensions standards et régulières**. Elles permettront de faciliter la logistique de dépose et d'améliorer le potentiel de réemploi des éléments.
- **Éviter de rendre la façade du bâtiment porteuse**. Un système de façade portant les planchers sera difficilement démontable (pour sa partie structurelle). Le système de façade peut être intégré entre planchers porteurs ou idéalement rapporté (devant la structure). Le système de façade peut être auto portant ou fixé mécaniquement aux nez de dalle.
- Préférer des **solutions préassemblées** de type panneau. Les travaux de démontage de la façade entière seront facilités. Permettre également la possibilité de démontage in-situ des composants indépendamment (ex : bardage, isolation, fenêtre etc.).
- Éviter les revêtements extérieurs de type enduit et préférer les **solutions de type bardage démontable** ou panneaux à finitions intrinsèques.
- Préférer les **isolants sous forme de panneaux ou laines** et éviter les isolant en vrac qui, même si des solutions d'aspiration existent, réduisent le potentiel de démontabilité.
- Utiliser des **assemblages démontables** pour les liaisons avec le reste de la structure, entre les panneaux (verticalement et horizontalement) et pour les composants des différentes couches des panneaux.
- Considérer autant que possible les **théories des « couches », de « décomposition fonctionnelle » et de « clustérisation »** détaillées au chapitre 3.1.
- Pour les **bardages extérieurs**, soit prévoir des éléments à taille humaine démontables manuellement depuis une nacelle ou un échafaudage, soit des éléments les plus grands possibles, à démonter avec levage par grue (prévoir organes de levage et mise en sécurité), réduisant ainsi le nombre d'opérations.
- Rendre les éléments de saillie des façades (balcons, coursives et escaliers extérieurs, etc.) structurellement indépendants de la façade.
- **Prévoir et documenter la logistique de dépose** des panneaux de façade et/ou des composants du système de façade.
- Prévoir les **dispositifs d'accroche et de levage** des éléments en vue de leur levage et de la mise en sécurité des personnes.
- **Considérer clairement la sécurité des intervenants et des environnants** pour les opérations de dépose.

Exemples de solutions techniques associées

L'annexe 2 vient compléter le tableau d'exemples de solutions techniques suivant en commentant les avantages et inconvénients des différentes solutions, ainsi que les aspects économiques et environnementaux.

LOTS CONCERNÉS	SOLUTIONS DE RÉFÉRENCE NON DÉMONTABLES	PRINCIPES	SOLUTIONS TECHNIQUES POSSIBLES
FAÇADES - BARDAGES- ISOLATION EXTÉRIEURE	Assemblages par soudure Assemblages cloués Assemblages collés	Utiliser des assemblages démontables pour pouvoir récupérer l'ensemble du bardage/parement	Boulon/ vis / Clips / Clou à deux têtes
			Fixation par électro-aimant réversible.
			Fixation par vis filetée et anneau métallique thermo-réactif
			Pièces métalliques entourant sur la face non visible les lames de bardages puis vissées à la structure.
			Pièce de polyéthylène de forme arrondie qui se glisse entre les fentes du bardage puis se fixe avec des vis à la structure.
			Utiliser des cales de fixations pour les lames.
Intégration des réseaux, de l'isolation au sein (même «couche») des éléments porteurs. Ex: panneaux béton coffrant avec âme isolante	Isolation projetée Isolation en vrac (ouate de cellulose, laines minérales, billes de PSE, etc.) Laines compressibles (minérales, végétales)	Raisonner par système de couches	Séparer les éléments et travailler sur des mono matériaux
			Préférer des isolants rigides ou semi-rigides
			Préfabrication de panneau et montage sur chantier
FAÇADES ou éléments de façades dont les composants sont assemblés en atelier et non démontables. Fixation non démontable des montants sur la structure principale (planchers, poteaux, poutres), puis fixation de l'ossature secondaire par clouage, vissage de petits éléments, puis fixation non démontable du bardage		Utiliser des panneaux (non porteurs) modulaires facilement démontables	Favoriser l'utilisation d'éléments répétitifs, de même dimension.
MENUISERIE EXTÉRIEURE - VITRERIE	Menuiseries (métal, bois) avec montants non séparables (facilement) du vitrage. Menuiseries avec montants soudés, montants à assemblages complexes, joints collés	Prévoir des vitrages démontables pour récupérer les éléments séparément	Positionner le vitrage entre deux montants séparables
			Pattes fixées chimiquement ou par liant à la structure.
			Vitrage entre montants non démontables
			Assemblage soudé, collé
		Récupérer la menuiserie dans sa globalité	Fixation par des pièces amovibles (ex : tasseaux) Module en verre connecté par des consoles en acier Assemblage autour d'une étoile à 4 côtés. Assemblage par chevauchement

COUVERTURES-TOIT – ZINGUERIE – ÉTANCHÉITÉ À L'EAU	Systèmes (panneaux ou assemblages sur site) multifonctionnels aux couches non séparables. Ex : panneaux sandwichs à couches non séparables, panneaux préfabriqués de toiture avec isolation collée	Utiliser des panneaux (porteurs ou non) modulaires facilement démontables et réutilisables	Favoriser l'utilisation d'éléments répétitifs
	Isolants en vrac Laines compressibles		Raisonnement par système de couche
	Panneaux SIP à couches non séparables. Assemblages de couches non démontables (collage, coulage, clouage, vis nombreuses)		Préférer des isolants rigides ou semi-rigides
	Etanchéité bitumineuse coulée en place Etanchéité collée	Utiliser des matériaux de couverture durable dans le temps et facilement remplaçable	Utilisation de panneaux structuraux isolés (SIP) à couches séparables
			Fixation mécanique réversible
Etanchéité bitumineuse coulée ou collée sur isolant thermique	Privilegier les toitures en pente	Utiliser des assemblages « slides en lock » (glisse et bloque)	
		Nervures des bacs aciers plus hautes = augmente la rigidité	
ETANCHÉITÉ À L'AIR – PARE VAPEUR	Membrane d'étanchéité collée	Mettre en œuvre une étanchéité à l'eau démontable	Utiliser des membranes EPDM / TPO/ PVC / PIB... fixées mécaniquement ou en indépendance
	Système constructif nécessitant avec membrane ou couche d'étanchéité à l'air (ex ossature bois, métal, maçonnerie) non séparable	Mettre en œuvre une étanchéité à l'air démontable ou facilement arrachable	Utiliser des panneaux rigides (ex tôle nervurées) ou éléments rigides (ex tuiles). Ne pas utiliser d'étanchéité coulée ou collée.
		Faire en sorte de se passer de membrane d'étanchéité à l'air	Utiliser des agrafes et rubans adhésifs pour fixer la membrane d'étanchéité à l'air
			Certains systèmes constructifs maçonnés ou béton permettent de s'affranchir de la membrane

Tableau 4 : Démontabilité – Façades. Exemples de solutions techniques associées

3.4. Assemblages

Les assemblages sont le cœur de la conception démontable. Un travail poussé doit être mené à ce propos afin que la démarche de conception pour la démontabilité soit un succès. Dans la très grande majorité des cas, les solutions techniques existent sur le marché. Les concepteurs et fabricants peuvent aussi être en mesure de proposer des solutions nouvelles spécifiques au contexte (idéalement en utilisant des composants standards). Le travail sur les assemblages concerne l'aspect réversible intrinsèque des assemblages, mais également leur accessibilité, leur facilité de compréhension et d'usage, leur systématisation (usage), leur normalisation, leur durabilité et enfin la disponibilité de l'information technique.

Principes de conception démontables pour les assemblages :

- **Prévoir des assemblages mécaniques** plutôt que chimiques ou noyés. Les solutions boulonnées, vissées ou emboîtées (rainures, languettes, etc.) sont intéressantes. Des solutions d'assemblages chimiques séparables existent mais sont plutôt rares et elles sont souvent insuffisamment adaptées à l'ensemble des exigences applicables aux assemblages des éléments de construction.
- Prévoir des **composants d'assemblages robustes**, gardant leur intégrité lors des opérations de démontage / remontage.
- Prévoir les **matériaux des composants d'assemblages en fonction des sollicitations** risquant leur dégradation ou leur transformation. Des assemblages en environnement salin devront par exemple résister à la corrosion, des assemblages bois seront moins adaptés à des environnements à variations d'humidité, etc. De manière générale, tendre vers des composants peu sensibles aux variations dimensionnelles.



ÉCONOMIE CIRCULAIRE
DES BÂTIMENTS

- Utiliser des éléments de connexion standards, pouvant être démontés avec les outils classiques de chantier. Proscrire les éléments d'assemblages devant être démontés avec des outils spécifiques.
- Rendre les **assemblages visibles et accessibles** autant que possible. Les éléments montrent ainsi directement leur potentiel de démontabilité, le process de démontage devient plus évident même sans informations techniques, le démontage est facilité. Éviter les finitions masquant les composants d'assemblages.
- Prévoir des **tolérances appropriées** pour un désassemblage non destructif. Considérer l'accès aux personnes, l'emprise nécessaire aux outils de démontage, l'espace nécessaire pour le mouvement de l'élément dans sa phase de dépose.
- **Réduire le nombre de connexions** afin d'accélérer le process de démontage. La clustérisation permet aussi de déposer des ensembles d'éléments rapidement puis de procéder à leur désassemblage au sol ou en atelier.
- Considérer les **notions théoriques de hiérarchisation, d'élément de base, de séquençage et d'interface des assemblages**. Celles-ci sont présentées ci-après dans le chapitre *Notions théoriques complémentaires pour la conception des assemblages*.
- Prendre en compte les normes nationales et les Eurocodes, notamment l'Eurocode 8 sur les sollicitations sismiques.
- Tendre vers l'**homogénéité des assemblages**. Plus les assemblages seront similaires et standards, plus les travaux de dépose seront rapides et rentables.
- Idéalement, faire **indiquer les outils pour le démontage directement sur les composants** des assemblages.
- Prévoir, sur les éléments, des composants facilitant la manutention (ex poignées, têtes de levage).
- **Documenter au maximum les assemblages** et faire en sorte que la Maîtrise d'ouvrage puisse conserver les données.

Notions théoriques complémentaires pour la conception des assemblages

Hiérarchies ouvertes et fermées

La notion de hiérarchisation fait appel aux liaisons entre éléments. Les bâtiments traditionnels ont un diagramme des relations entre éléments complexe, avec une forte interdépendance entre tous les éléments. Le potentiel de désassemblage va avec la réduction du nombre de relations entre éléments différents. Le schéma ci-après illustre cette notion en présentant plusieurs modes relationnels entre éléments :

Assemblage fermé	En plans	Assemblage bloqué	Assemblage table	Assemblage ouvert	Assemblage partagé
<p>■ - éléments matériels</p>			<p>○ - composants</p>		

Tableau 5 : illustration notion de hiérarchies ouvertes ou fermées. Source : Elma Durmisevic

Pour une construction démontable, il est préférable d'opter en priorité pour des assemblages d'éléments partagés, ouverts et d'éviter les assemblages fermés ou bloqués.

Élément de base

L'élément de base spécifie le mode de liaison entre deux clusters d'éléments. Comme l'illustre le schéma suivant, l'élément de base peut être totalement englobé dans les deux clusters à lier (Principe 1. A l'encontre de la démontabilité), la liaison entre les éléments sans élément de base mais le démontage génère une instabilité (Principe 2. Démontabilité possible mais dépendance fonctionnelle entre les deux clusters), la liaison de fait par un élément de base indépendant (Principe 3 et 4. Vers la démontabilité)

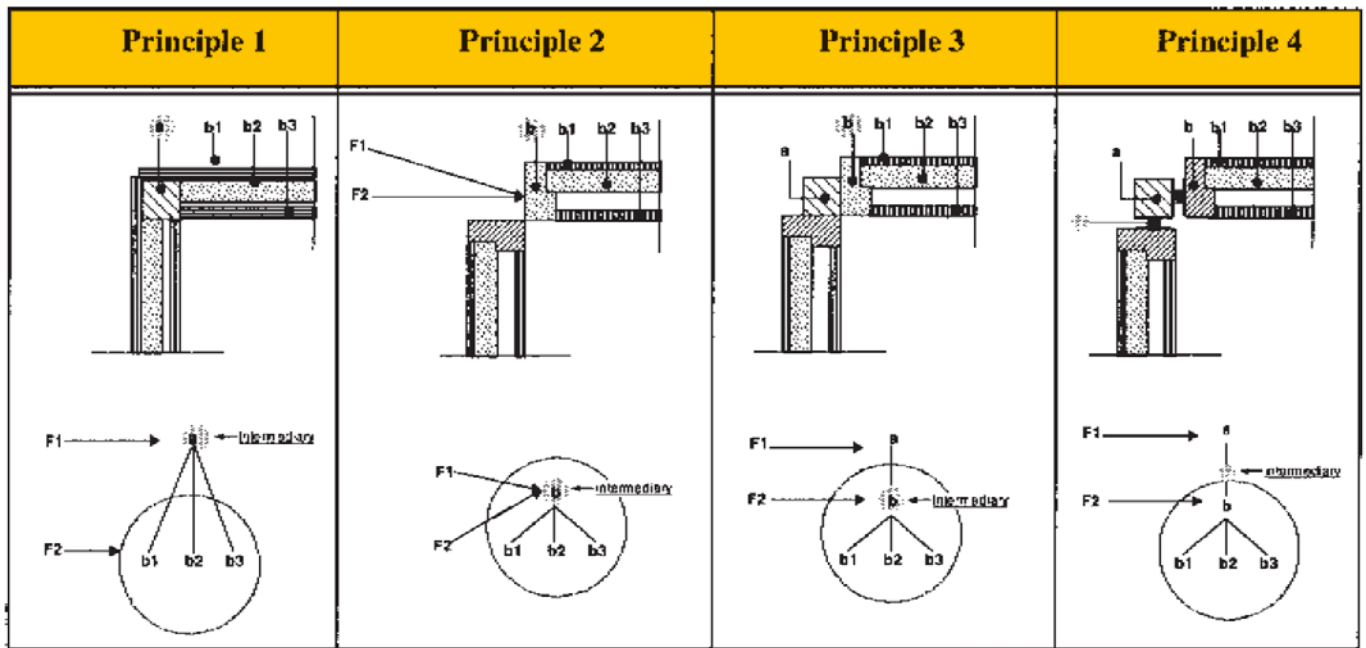


Tableau 6 : illustration Notion d'élément de base. Source : Elma Durmisevic

La figure suivante illustre le principe d'élément de base selon plusieurs niveaux de hiérarchie et d'échelles. La première image montre un ensemble d'éléments englobés de manière indissociables au sein de la structure. La seconde montre un élément (structure principale) servant de base commune à différents éléments (panneaux de façade). La troisième, à l'échelle d'un système, montre un élément pouvant servir d'intermédiaire entre les éléments. La quatrième, à l'échelle d'éléments, montre un accessoire servant d'assemblage central. Les images 2 à 4 indiquent des concepts démontables (au moins en partie).

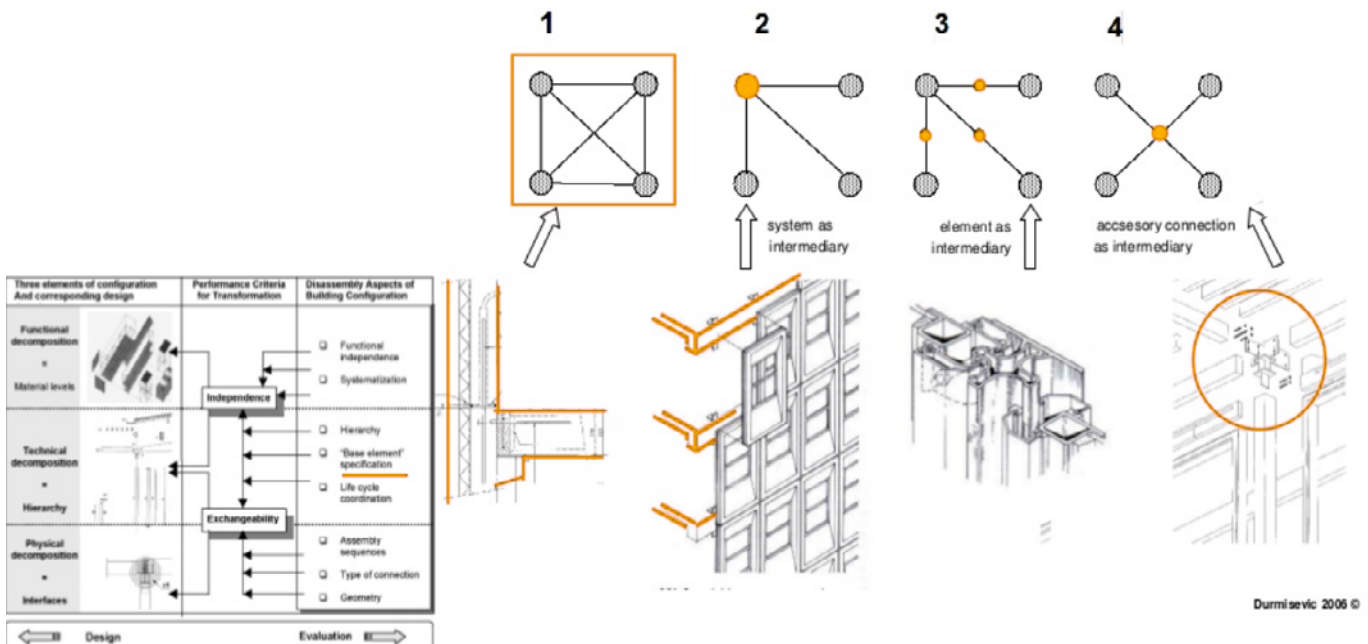


Figure 13 : Illustration Element de base et hiérarchies d'assemblage. Source : Design strategies for reversible buildings. Elma Durmisevic



ÉCONOMIE CIRCULAIRE
DES BÂTIMENTS

Séquence des assemblages

Le séquençage des assemblages est en lien avec l'ordre d'assemblage des éléments constituant le bâti. On distingue le séquençage d'assemblages parallèle, le séquentiel et différents mixes de deux.

	<p>Assemblage parallèle. Le démontage dépend des connexions entre les éléments</p>
	<p>Assemblage séquentiel. Chaque élément est lié au prochain élément. On établit une dépendance linéaire proportionnelle au nombre d'éléments.</p>
	<p>Chaque élément a la même dépendance que dans l'assemblage séquentiel.</p>
	<p>Combinaison de l'assemblage parallèle et séquentiel.</p>
	<p>Assemblage dans lequel un élément fonctionne comme base pour tous les autres. La clé pour la démontabilité dans ce cas se trouve dans le type de connexion entre les différents éléments.</p>

Tableau 7 : Illustration Séquençage des assemblages. Source : Elma Durmisevic

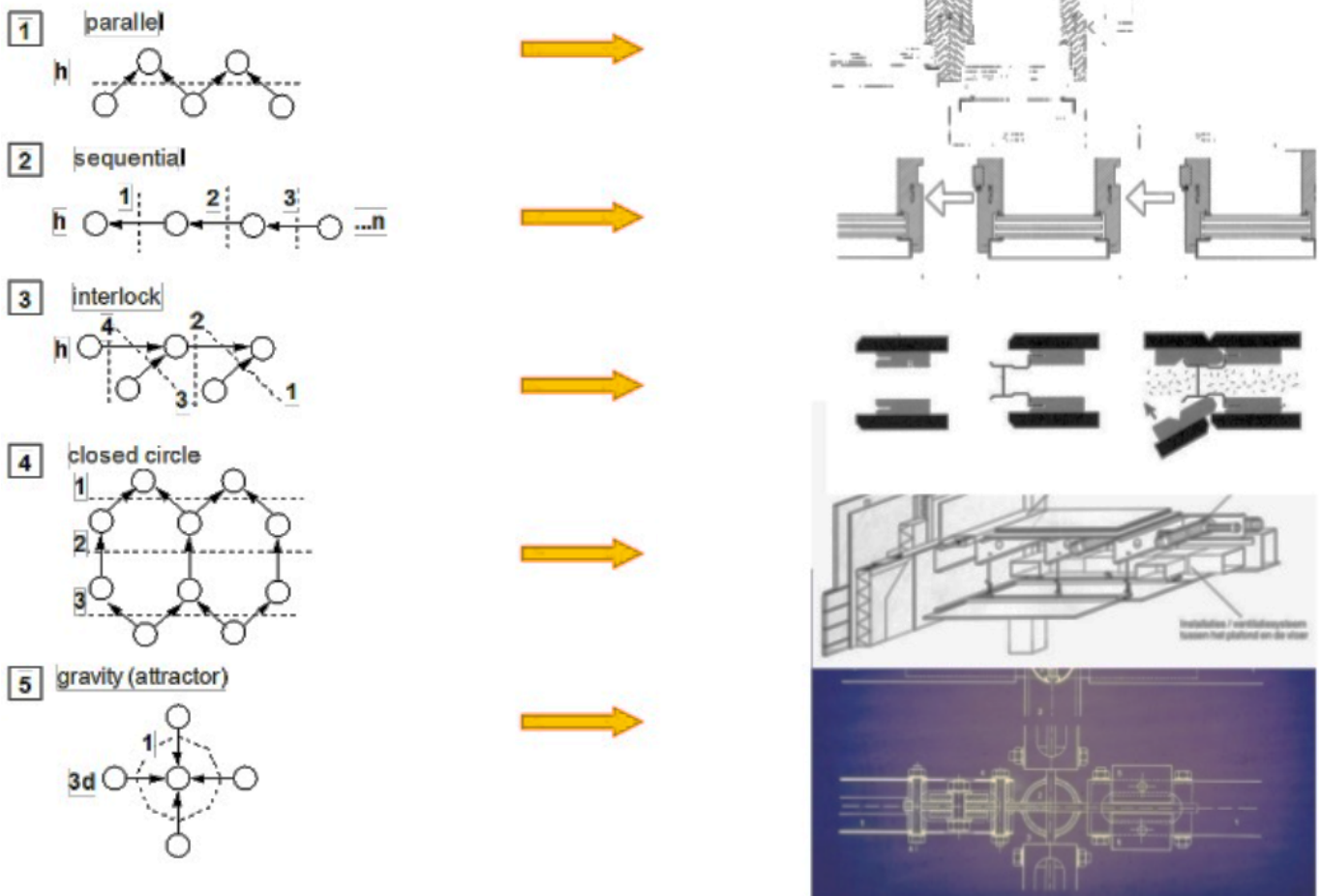


Figure 14 : Illustrations séquences d'assemblage. Source : Design strategies for reversible buildings. Elma Durmisevic



ÉCONOMIE CIRCULAIRE
DES BÂTIMENTS

Interface d'assemblage

La démontabilité est directement liée au mode d'assemblage entre éléments ou la géométrie d'assemblage. Le schéma ci-dessous présente plusieurs géométries de la plus démontable à la moins démontable.

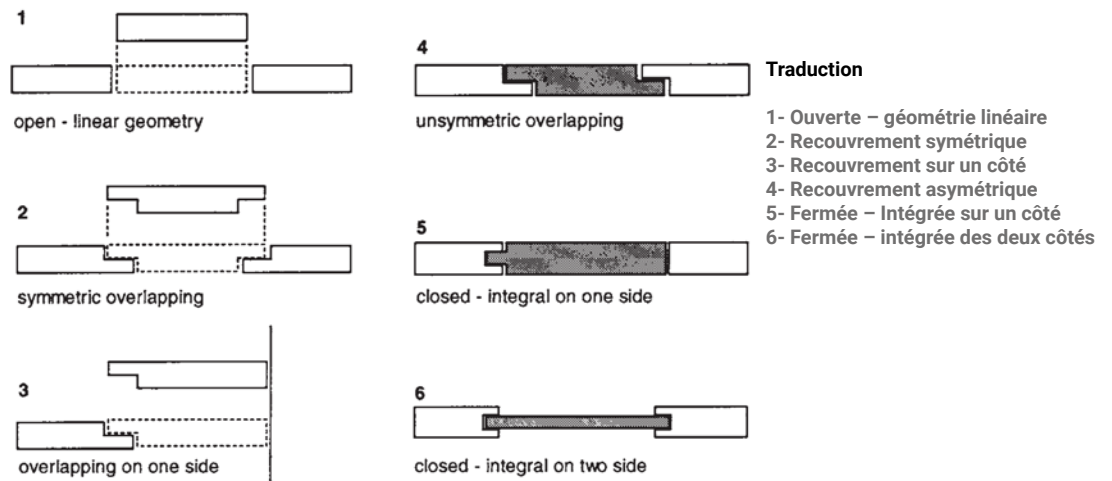


Figure 15 : Illustration Notion Interface d'assemblage. Source : Elma Durmisevic

Types de connexions

La conception des connexions est un aspect primordial pour la conception d'un bâtiment démontable. Les interfaces définissent le degré de liberté entre les composants. On peut distinguer 3 principaux types de connexions : directe (intégrale), indirecte (accessoire) et remplie.

Le schéma ci-après illustre les types de connexions du moins (fixe) au plus (flexible) démontable.

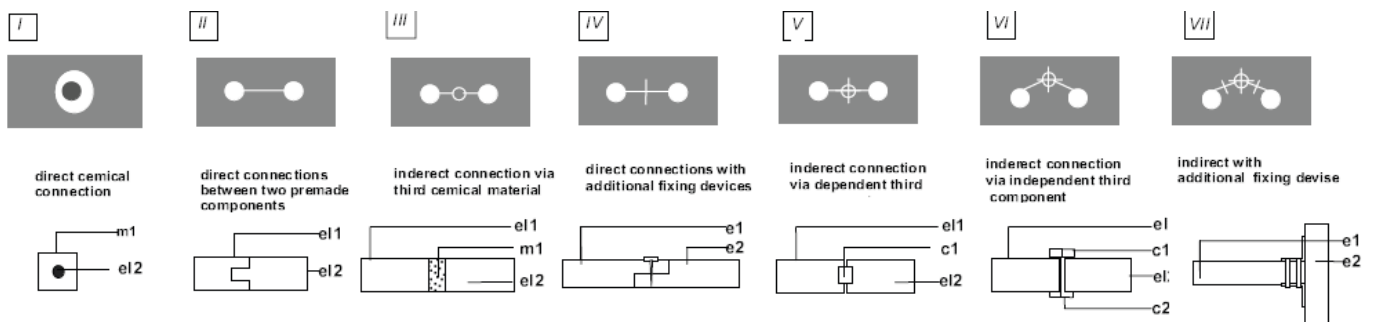


Figure 16 : illustration Types de connexions. Source : Elma Durmisevic

Exemples de solutions techniques associées

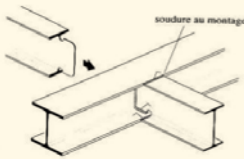
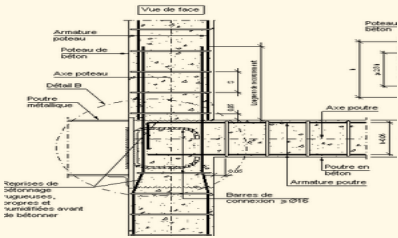
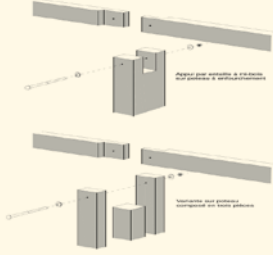
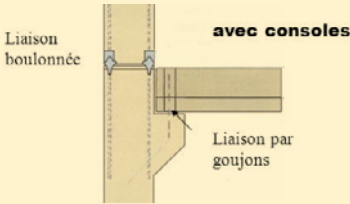
L'annexe 2 vient compléter le tableau d'exemples de solutions techniques suivant en commentant les avantages et inconvénients des différentes solutions, ainsi que les aspects économiques et environnementaux.

LOTS CONCERNÉS	SOLUTIONS DE RÉFÉRENCE NON DÉMONTABLES	PRINCIPES	SOLUTIONS TECHNIQUES POSSIBLES
TRANSVERSAL	Assemblages collés Assemblages cloués, splittés Assemblages coulés (clavetages béton) Assemblages soudés	Prévoir des assemblages mécaniques plutôt que chimiques ou noyés.	Solutions boulonnées, vissées ou emboîtées (rainures, languettes, etc.) Solutions d'assemblages chimiques séparables
	Éléments d'assemblage en plastique Assemblages collés ne permettant pas le décollage sans dégradation des éléments assemblés Plaques / sections fines	Prévoir des composants d'assemblages robustes, gardant leur intégrité lors des opérations de démontage / remontage.	Éléments boulonnés à section suffisante Platines métalliques Sections suffisantes (résistance mécanique) des éléments au niveau des assemblages
	Composants en métal (vis, platines, boulons/écrous) (Prudence pour assemblages soumis aux conditions extérieures, notamment environnement marin) Assemblages bois -bois (pour éléments soumis aux conditions extérieures, cycles d'humidité et de température) Assemblages collés soumis à des t° extrêmes	Prévoir les matériaux des composants d'assemblages en fonction des sollicitations risquant leur dégradation ou leur transformation.	Adapter les composants à leur environnement et leur compatibilité physico-chimique
	Ex Assemblage bois (jeune) métal dans zones à fort ensoleillement.	Tendre vers des composants peu sensibles aux variations dimensionnelles et/ou protéger les assemblages de t° extrêmes (surtout dans les zones à fortes variations de températures et d'ensoleillement) Eviter les assemblages de matériaux avec variations dimensionnelles trop éloignées	
	Assemblages dissimulés derrière un doublage ou un isolant projeté Assemblages rendus inaccessibles ou non visibles par coulage/application d'un matériau (béton, plâtre, tissu collé) au-dessus.	Rendre les assemblages visibles et accessibles autant que possible. Eviter les finitions masquant les composants d'assemblages	
	Assemblage de nombreux petits éléments (chacun fixé indépendamment). Ex bardage dont les montants et profils, petits sont fixés (cloués ou vissés) indépendamment	Réduire le nombre de connexions afin d'accélérer le process de démontage.	Nécessite de grands panneaux
	Assemblages prévus sans souci des besoins pour le démontage	Prévoir des tolérances appropriées pour un désassemblage non destructif. Considérer l'accès aux personnes, l'emprise nécessaire aux outils de démontage, l'espace nécessaire pour le mouvement de l'élément dans sa phase de dépose.	
	Éléments interconnectés sans considération des étapes de démontage, ni se sous-ensembles	Considérer les notions théoriques de hiérarchisation, d'élément de base, de séquençage et d'interface des assemblages.	
		Prendre en compte les normes nationales et les Eurocodes, notamment l'Eurocode 8 sur les sollicitations sismiques.	
	Sans démarche de réflexion sur l'homogénéisation des assemblages. Assemblages proposés pour chaque famille d'éléments indépendamment des autres éléments	Tendre vers l'homogénéité des assemblages	
		Faire indiquer les outils pour le démontage directement sur les composants des assemblages.	Indications gravées, imprimées sur les pièces en fabrication
		Prévoir, sur les éléments, des composants facilitant la manutention	Poignées (via évidement dans les pièces ou en saillie), Têtes de levage
Aucune information technique fournie et conservée concernant les produits et assemblages	Documenter au maximum les assemblages et faire en sorte que la Maîtrise d'ouvrage puisse conserver les données	Dossier de fiches techniques (Papier et digital). Maquette BIM + données techniques	

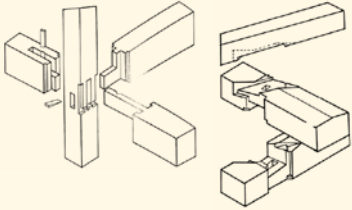
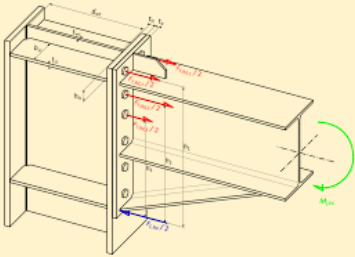
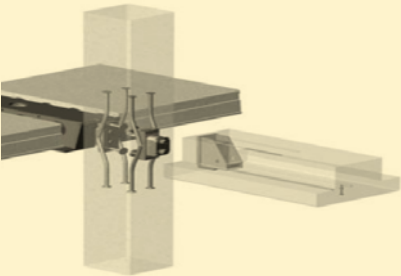
Tableau 8 : Assemblages. Exemples de solutions techniques associées

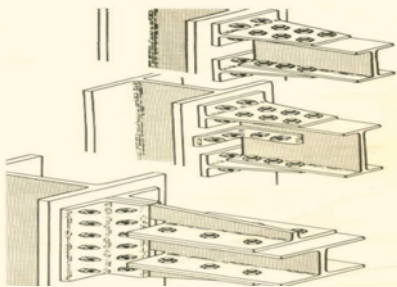
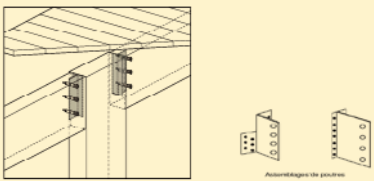
Évaluation d'exemples d'assemblages courants

Le tableau ci-après présente différents assemblages courants (non exhaustifs) classés selon leur « degré de démontage ». Ce tableau est directement inspiré des études réalisées par E.Durmisevic dans le cadre d'un mémoire de thèse sur la conception visant un futur démontage¹⁴ et dont le lien est disponible dans la bibliographie du guide.

CONNEXIONS	EXEMPLES	AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
CONNEXION INDIRECTE PAR L'APPORT D'UN ELEMENT PERMETTANT UN COLLAGE DEFINITIF	<p>ACIER : soudure directe</p> 		Démontage entièrement destructeur
	<p>BOIS : collage, résine</p>		Démontage entièrement destructeur
	<p>BETON : coulage de béton in situ</p> 		Démontage entièrement destructeur
CONNEXION DIRECTE AVEC ORGANES METALLIQUES	<p>ACIER : poutres superposées avec organe de fixation</p>	Démontage manuel simple sans ou avec outils	Résistance structurelle limitée
	<p>BOIS : assemblages par contact avec organes métalliques</p> 	Démontage non ou partiellement destructeur	Les organes métalliques doivent être démontables
	<p>BETON : Liaison par goujons</p> 	Indépendance entre les éléments assemblés (standardisation)*	Résistance mécanique limitée

14 Durmisevic, E. 2006. Transformable Building structures: Design for disassembly as a way to introduce sustainable engineering to a building design and construction. Dissertation. Delft: Universiteit Delft. P.183

<p>CONNEXION DIRECTE PAR CONTACT (SANS ORGANES MÉTALLIQUES)</p>	<p>ACIER : BOIS : Tenon et mortaise, embrèvement, appui sur lambourde, assemblages moisés....</p>  <p>BETON : -</p>	<p>Démontage manuel simple sans ou avec outils</p> <p>Démontage non destructeur</p>	<p>Utilisation structurelle limitée</p> <p>La séquence d'assemblage impacte le démontage</p> <p>Dépendance entre les éléments (systèmes « mâle-femelle »)*</p>
<p>CONNEXION INDIRECTE PAR 3E COMPOSANT DEPENDANT (RACCORDÉ À UN ÉLÉMENT)</p>	<p>ACIER : assemblages boulonnés et soudés</p> 	<p>Démontage manuel sans ou avec outils</p>	<p>Dépendance entre les éléments (standardisation difficile) *</p>
	<p>BOIS : assemblages métal soudé</p>		
	<p>BETON : assemblage par troisième composé coulé dans béton (Assemblages Peikko PC Corbel/Beam shoe)</p> 	<p>Démontage non ou partiellement destructeur</p>	<p>Dépendance entre les éléments (standardisation difficile) *</p> <p>Impact économique non négligeable</p>

<p>CONNEXION INDIRECTE PAR 3E COMPOSANT INDÉPENDANT (ACCESSOIRE DE FIXATION)</p>	<p>ACIER : assemblages boulonnés ou par axes</p> 	<p>Démontage manuel sans ou avec outils</p>	<p>Tolérances à maîtriser</p>
	<p>BOIS : assemblage avec tôles perforées et profilées assemblées par clouage (étrier, cornière)</p> <p>Assemblage poteau / poutre</p> 	<p>Démontage non ou partiellement destructeur</p> <p>Indépendance entre les éléments assemblés (standardisation)*</p>	<p>Impact économique non négligeable</p>
	<p>BETON : -</p>		

*Indépendance entre les éléments : les éléments de construction peuvent être issus de différents fabricants et être réassemblés par ce type de connexion

Tableau 9 : Evaluation d'exemples d'assemblages courants

3.5. Aménagement intérieur - Cloisonnement

La conception démontable est pertinente pour les éléments d'aménagement intérieur et de cloisonnement. Ils sont soumis à des cycles de vie bien inférieurs à ceux de la structure pour des besoins de remplacements liés aux dégradations d'usages, aux besoins de changements esthétiques ou fonctionnels.

Le **cloisonnement amovible et démontable** est devenu une pratique courante, normalisée, et bénéficiant d'un grand nombre de solutions techniques sur le marché. Ce type de cloisonnement est plus particulièrement destiné aux bâtiments tertiaires, d'enseignement, de la santé, industriels. Actuellement moins courant dans les bâtiments d'habitation, le cloisonnement amovible / démontable reste possible et peut répondre à des besoins identifiés d'évolution des usages (maintien à domicile, location, agrandissement de famille).

Le DTU 35.1 *Cloisons amovibles et démontables* définit les règles de mise en œuvre des cloisons démontables.



ÉCONOMIE CIRCULAIRE
DES BÂTIMENTS

Le cloisonnement peut aussi être démontable sans entrer dans la catégorie des cloisons amovibles au sens du DTU 35.1. Il sera alors plus adapté au bâtiment d'habitation et à l'hôtellerie. Pour ce faire, il est nécessaire de privilégier des :

- éléments de revêtement (et menuiseries éventuellement) démontables,
- joints secs, visibles,
- matériaux résistants,
- assemblages démontables avec des outils communs,
- panneaux manuyportables, résistants au démontage,
- panneaux de qualité, réutilisables et/ou recyclables,
- isolants en panneaux ou laines (proscrire le vrac),
- réseaux indépendants (passés en faux plafond, goulottes ou plinthes).

Concernant l'aménagement intérieur (hors cloisons amovibles), seront alors étudiés les menuiseries, les cloisons, le doublage et l'isolation, les revêtements de parois verticales et de sol et les plafonds. La démarche de conception pour la démontabilité doit prendre en compte ces éléments autant que possible. Les solutions pour leur démontabilité sont nombreuses. Les principes généraux et ceux présentés dans les chapitres « assemblages » et « Matériaux » doivent être considérés.

Exemples de solutions techniques associées

L'annexe 2 vient compléter le tableau d'exemples de solutions techniques suivant en commentant les avantages et inconvénients des différentes solutions, ainsi que les aspects économiques et environnementaux.

LOTS CONCERNÉS	SOLUTIONS DE RÉFÉRENCE NON DÉMONTABLES	PRINCIPES	SOLUTIONS TECHNIQUES POSSIBLES
MENUISERIES INTÉRIEURES - CLOISONS - PLINTHES	Cloisonnement dense	Limiter les cloisons	Favoriser les séparations par l'intermédiaire du mobilier ou des changements de matériaux
	Cloisons fixes en briques, montants bois ou métal + panneaux bois ou plaques de plâtre	Utiliser des cloisons flexibles et amovibles	Utilisation d'éléments modulaires, empilables et/ou mobiles
	Éléments PVC ou plastiques.		Positionner les cloisons sur des rails
	Pièces métalliques fixés mécaniquement.	Réaliser des ossatures de cloison démontables	Fixation de panneaux dans une pièce métallique rainurée
	Barrière acoustique en BA13+LM. Plénum faux plancher et plafonds suspendus.		Positionner les éléments de cloisons sur un velcro métallique
	Cloisons en briques (plâtre ou terre cuite) Cloisons à ossature avec éléments (montants et panneaux) non démontables, fixés par clouage, vis trop nombreuses, montants rivetés		Garder les hauteurs de cloisons entre le faux plafond et le plancher.
			Assemblages/fixations réversibles et accessibles des montants
			Assemblage autour d'une étoile à 4 côtés.
	Fixation par collage	Utiliser des plinthes amovibles pour faciliter le passage des réseaux	Fixation par clips ou vis
			Fixer sur un rail métallique
	Fixation par Velcro/ scratch		
Imposte collé, cloué	Utiliser des portes intérieures démontables avec des dimensions standards (facilite réemploi)	Imposte de porte démontable	
		Assemblage par chevauchement	

PLÂTRERIE - DOUBLAGE - ISOLATION INTÉRIEURE	Mise en œuvre de doublage	Limiter voire éviter l'utilisation de plaques de doublage	Favoriser les matériaux bruts et ITE
	Mise en œuvre classique type placo + enduit	Pouvoir récupérer la totalité des plaques de plâtres / de doublage	Ne pas recouvrir les vis de fixation des doublages (avec enduits / peintures) pour rendre démontable)
	Éléments de fixation recouverts lors des travaux d'enduits et peinture.		Prévoir des profilés pour cacher les éléments de fixation
	Plaques BA13 collées dans rail acier galva fixé mécaniquement à la dalle.		Loger des plaques entre deux profilés en U
			Fixation par électro-aimant réversible.
			Fixation des plaques sur des velcros métalliques
		Fixation des éléments par adhésifs	
		Prévoir des plaques clipsables.	
		Liaisons des panneaux réalisés par des vis auto-taraudeuses	
	BA13 collé à l'isolant.	Penser le système d'isolation indépendamment du parement et démontable facilement	Ne pas fixer chimiquement les plaques de doublage à l'isolation intérieure
	Isolation projetée, soufflée ou en vrac.		Préférer les isolants rigides ou semi rigides.
	Isolants collés (plaques rigides ou semi rigides en mousses polymères (PSE, PU, XPS...) ou fibres végétales		Ne pas coller les isolants au support. Maintenir les isolants par serrage entre les montants.
REVÊTEMENTS MURS	Doublage intérieur Collage d'un tissu tissé Collage de papiers peints Collage de carrelage	Limiter voire éviter les parements intérieurs	Favoriser les matériaux bruts
	Éléments collés, cloués Carrelage collé Tissu tissé collé Petits éléments, fixés de manière indépendante, en trop grand nombre pour entrevoir une dépose économique (ex profils bois fins)	Utiliser un revêtement constitué d'éléments manportables fixés mécaniquement.	Boulon/ Vis / Clou à deux têtes
			Fixation par emboitement
			Fixation par électro-aimant réversible.
			Insertion d'un clip en métal dans une rainure créée dans les lames de bois (ou un autre matériau) puis vissé à une structure secondaire.
		Éléments de revêtement récupérables	Insertion de panneaux dans des profilés métalliques
			Fixation des éléments par adhésifs
			Fixation par Velcro/ scratch
		Utiliser des matériaux ayant une finition intrinsèque	
REVÊTEMENTS SOLS	Linoléum ou moquette collés	Alternatives au sol souple collé	Fixation par Velcro/ scratch / adhésifs
	Sol multicouches collé		Sol simplement posé
		Mettre en œuvre un plancher démontable	Sol multicouche assemblé par clips
	Rouleaux de linoléum ou moquette collés	Utiliser des petits éléments non liés chimiquement	Système de clips/ rainures
		Éléments reliés par des joints secs	
		Fixation par électro-aimant réversible.	
		Fixation des éléments par un assemblage velcro métallique	
REVÊTEMENTS PLAFONDS	Faux plafond à grandes plaques jointées et non démontables. Plâtre traditionnel sous plancher Plaques de doublage ou de revêtement collé, fixé en sous face de plancher	Réaliser des faux plafonds facilement retirables pour accéder aux réseaux (sinon ne pas en mettre et laisser les réseaux apparents)	Système de suspentes
			Fixation sur profilés/structures métalliques
			Fixation par électro-aimant réversible.
		Utiliser un revêtement souple amovible	Plafonds bois à lattes démontables
			Toile Thermo fixée
		Toile clipsée dans les murs	

Tableau 10: Démontabilité – Éléments de second œuvre. Exemples de solutions techniques associées



3.6. Matériaux

Au-delà des matériaux constitutifs des assemblages, les matériaux des éléments liés influent sur la capacité de démontabilité des ensembles. Leur nature et leur état aura également un impact sur la possibilité ou l'intérêt du réemploi/recyclage des produits, et donc de leur démontage. Dans une démarche de conception pour la démontabilité, il est ainsi nécessaire de les considérer.

Ci-dessous les principes majeurs sur les matériaux pour faciliter une conception démontable :

- Privilégier les **matériaux nobles et de qualité**. Ils conserveront de la valeur et un intérêt plus important pour leur dépose.
- Privilégier les **matériaux robustes, résistants à leur environnement immédiat** (ex : environnement salin, UV, pluie, gel, etc.). Les matériaux ayant gardé leur intégrité gardent une valeur intrinsèque, sont plus facilement réutilisables et résistent mieux aux opérations de dépose.
- Privilégier les **matériaux recyclables**. Ils conserveront une valeur résiduelle et un intérêt plus important pour leur dépose et leur valorisation.
- **Limiter le nombre de matériaux différents**. La multiplication des matériaux rend plus difficile les opérations de tri et de recyclage des matériaux d'un projet de déconstruction. La maximisation d'un volume donné d'un matériau augmente l'intérêt pour son réemploi ou son recyclage, et donc la dépose des éléments.
- Privilégier des **matériaux et éléments qui ne se déformeront pas** pendant les phases de construction et vie de l'ouvrage, ou par les sollicitations extérieures (chaleur, humidité).
- **Proscrire les matériaux dangereux et/ou toxiques**.
- Privilégier les **matériaux aux finitions intrinsèques**. Les finitions brutes évitent la consommation de ressources lors de la fabrication et favorisent le recyclage en fin de vie.
- **Réduire autant que possible l'utilisation de matériaux liquides** (ex : étanchéité, revêtements) qui contaminent le support, limitent les possibilités de séparation et empêchent leur réutilisation. Réduire également l'utilisation des matériaux en vrac.
- Éviter les matériaux composites **complexes et les sous-ensembles inséparables** du même matériau. De cette façon, on évite de « contaminer » de grandes quantités d'un matériau par une petite quantité d'un matériau étranger qui ne peut pas être facilement séparé.
- Privilégier les **joints secs ou ajourés**. Ce type de joints facilite la dépose des éléments adjacents.
- **Documenter les produits installés** et faire en sorte de conserver les données par complémentarité à un dispositif de traçage ou de marquage (gravure, QR code, puces RFID, etc.) propre à l'élément

Exemples de solutions techniques associées

L'annexe 2 vient compléter le tableau d'exemples de solutions techniques suivant en commentant les avantages et inconvénients des différentes solutions, ainsi que les aspects économiques et environnementaux

LOTS CONCERNÉS	SOLUTIONS DE RÉFÉRENCE NON DÉMONTABLES	PRINCIPES	SOLUTIONS TECHNIQUES POSSIBLES
TRANSVERSAL	Matériaux les plus économiques, simplement prévus pour une pose et une durabilité minimale.	Privilégier les matériaux nobles et de qualité permettant une meilleure durabilité, résistance à la dépose et valeur résiduelle	Bois massif, contrecollé Béton Pierre / marbre Métal, acier inoxydable/autopatinable Céramique Briques pleines en terre cuite
	Matériaux les plus économiques, simplement prévus pour une pose et une durabilité minimale.	Privilégier les matériaux robustes, résistants à leur environnement immédiat (ex : environnement salin, UV, pluie, gel, etc.).	
	Composites non recyclables Mélanges de matériaux indissociables ou multicouches	Privilégier les matériaux recyclables.	Bois massif, OSB Béton Verre Métal (aluminium, fonte, acier inox, acier) Céramique Béton, verre cellulaires PVC Produits en terre cuite, terre crue
	Multiplécité de matériaux liés	Limiter le nombre de matériaux différents.	
		Privilégier des matériaux et éléments qui ne se déformeront pas pendant les phases de construction et vie de l'ouvrage, ou par les sollicitations extérieures (chaleur, humidité).	
	Matériaux avec part de toxicité mais acceptés car protégés (conception) et isolés des personnes.	Proscrire les matériaux dangereux et/ou toxiques.	
	ex Maçonnerie en blocs béton (parpaings) ou en briques alvéolées.	Privilégier les matériaux aux finitions intrinsèques. Les finitions brutes évitent la consommation de ressources lors de la fabrication et favorisent le recyclage en fin de vie.	Béton Métal Bois Verre Céramique Produits en terre cuite, terre crue
	Étanchéité bitumineuse coulée, collée Isolants en vrac ou projetés Béton coulé et chaîné sur site Mortiers ciment, chaux Colles et mastics fortement résistants Résines époxy	Réduire autant que possible l'utilisation de matériaux liquides (ex : étanchéité, revêtements) qui contaminent le support, limitent les possibilités de séparation et empêchent leur réutilisation. Réduire également l'utilisation des matériaux en vrac.	Structures en filières sèches, isolants en laines ou panneaux, joints secs, membranes d'étanchéité, éléments de toiture en pose sèche (tuiles, plaques).
	Matériaux composites (ex profilés, plaques en polymère fibré, tissu tissés collés) Isolants minces multicouches	Éviter les matériaux composites complexes et les sous-ensembles inséparables.	
	Joints au mortier ciment, au mastic	Privilégier les joints secs ou ajourés.	Sans joint (ajouré) Lames caoutchouc, plastique (recyclable)
Données techniques non fournies en format numérique, non conservées. Mise en œuvre de produits différents de ceux prévus	Documenter les produits installés et faire en sorte de conserver les données par complémentarité à un dispositif de traçage ou de marquage	Dossier complet de fiches techniques en format numérique. Gravure, QR code, puces RFID, etc. propre à l'élément	

Tableau 11 : Démontabilité - Matériaux - Exemples de solutions techniques associées



3.7. Équipements

Les équipements et réseaux de distribution représentent une partie importante dans un bâtiment. Ils sont particulièrement concernés par l'intérêt d'être démontables de par : leurs sollicitations et leur besoin en entretien, l'évolution des réglementations, les évolutions du bâtiment (rénovations, changements d'usages, extensions, etc.), leurs matériaux divers devant être séparés pour maximiser le recyclage des produits adjacents, la valeur intrinsèque de certains matériaux (ex cuivre).

Principes de conception démontable pour les équipements :

- **Séparer les systèmes** de ventilation, électriques et de plomberie afin de simplifier la séparation des composants lors des opérations de réparation, remplacement, réutilisation ou recyclage. Sans contradiction, des chemins de câbles et de gaines peuvent être mutualisés.
- **Désolidariser les systèmes des éléments qui les portent**, en ne les englobant pas mais en prévoyant par exemple des chemins de câbles, des goulottes, des caissons ou plinthes. Ce point est en lien avec notion de « décomposition fonctionnelle ».
- Hors chemins de câbles visibles, privilégier le passage de gaines électriques en faux plafond.
- Consolider les réseaux pour **réduire le nombre de connexions**.
- Accepter les réseaux apparents. Cela permet une localisation et un démontage beaucoup plus simples sans impacter les éléments environnants. Les réseaux apparents peuvent de plus avoir un aspect esthétique.
- Utiliser des **systèmes de raccordement « plug and play »**. Ces systèmes permettront des changements plus simples des éléments défectueux ou en fin de vie.
- Utiliser des **blocs d'équipements techniques préassemblés**, à la conception démontable optimisée.
- **Bien repérer les différentes gaines** électriques ou de ventilation, tuyaux de plomberie. Leur entretien et démontage seront facilités.
- Privilégier la **frugalité et le bioclimatisme**. Avec par exemple chauffage/refroidissement passif et ventilation naturelle.

Exemples de solutions techniques associées

L'annexe 2 vient compléter le tableau d'exemples de solutions techniques suivant en commentant les avantages et inconvénients des différentes solutions, ainsi que les aspects économiques et environnementaux

LOTS CONCERNÉS	SOLUTIONS DE RÉFÉRENCE NON DÉMONTABLES	PRINCIPES	SOLUTIONS TECHNIQUES POSSIBLES
ELECTRICITÉ	Passage des gaines dans les cloisons, dans les éléments structuraux, dans une chape	Privilégier l'utilisation de réseaux indépendants et facilement localisables (ne pas les couler dans le béton)	Utilisation de goulotte en plastique, ou métallique
			Faire passer les réseaux dans des plinthes amovibles
			Faire passer les réseaux dans des faux plafonds démontables
	Planchers non surélevés		Surélever les planchers avec des lambourdes ajourées pour le passage des réseaux
	Réseaux et raccords au sein du béton coulé (plancher, voiles), des éléments préfabriqués non démontables. Utilisation de réservations en morceaux de PSE		Utiliser des boîtes de réservation
	Passage des gaines dans les cloisons, dans les éléments structuraux. Réseaux dissimulés derrière le doublage, plafond ou sol (hors faux plancher technique)		Laisser les réseaux apparents
	Utiliser des prises démontables	Clips réversibles	
	Armoire électrique non démontable sur ses flancs. Corps de l'armoire derrière le doublage.	Positionner une armoire électrique amovible	Cadre amovible et des flancs démontables individuellement
CVC	Bâtiments basés sur le fonctionnement des systèmes de chauffage et de refroidissement, avec réseau dense de gaines de ventilation.	Limiter l'utilisation de systèmes de ventilation, rafraîchissement et chauffage	Concevoir des bâtiments bioclimatiques
		Privilégier l'utilisation de réseaux indépendants et facilement localisables (ne pas les couler dans le béton)	Surélever les planchers avec des fermes ajourées pour le passage des réseaux
	Gaines de ventilation derrière doublage ou plafond non démontable. Gaines intégrées aux voiles (béton, bois...) ou à une chape		Faire passer les réseaux dans des faux plafonds démontables
			Regrouper les réseaux dans un même cheminement
	Filtre collé	Élément de ventilation facilement démontable	Filtre à joint sec sans fixation
Grille de ventilation rivetée, fixée par tôle pliée	Grille de ventilation fixée par vis		

PLOMBERIE - SANITAIRE	Passage des tuyaux dans les cloisons, dans les éléments structuraux, dans une chape	Privilégier l'utilisation de réseaux indépendants de la structure et facilement localisables (ne pas les couler dans le béton)	Utilisation de coffrages
	Tuyaux très dispersés		Surélever les planchers avec des fermes ajourées pour le passage des réseaux
	Tuyaux derrière doublage ou plafond non démontable, intégrés aux voiles (béton, bois...) ou à une chape		Faire passer les réseaux dans des faux plafonds démontables
			Regrouper les réseaux dans un même cheminement
		Concevoir un système centralisé.	Laisser les réseaux apparents
	Vannes d'arrêt soudées, collées		Utilisation de nourrices qui permettent le regroupage en un point des alimentations en eau d'une zone
	Urinoirs classiques	Utiliser des équipements sanitaires le plus indépendants possibles.	Prévoir des vannes d'arrêt démontables
	Urinoirs avec fixations derrière un doublage		Opter pour des urinoirs sans eau. Élimine le besoin d'alimentation en eau
	Toilettes classiques		Utiliser des blocs WC entièrement démontables
	Coude puis évacuation via un tuyau en pente faible dans une chape, sous plancher		Toilettes sèches
	Raccords soudés, collés	Utiliser des connexions accessibles, simples, réversibles	Écoulement de douche vertical
	Utilisation de tuyaux métalliques ou multicouches		Utiliser des raccords types attache rapide, ou filetés ou avec joints d'étanchéité
	Recours systématique à des soudures		Utiliser des connexions auto-lubrifiées type Nylon ou Teflon
			Utiliser des tubes flexibles
		Minimiser les connexions chimiques	

Tableau 12 : Démontabilité – Équipements. Exemples de solutions techniques associées



3.8. Documentation et repérage

Les données et leur conservation sont essentielles à l'atteinte des objectifs de la démarche de conception pour la démontabilité. Elles concernent la conception, les matériaux et produits, les assemblages, les étapes de démontage et les outils nécessaires.

Principes liés à la documentation pour une conception démontable

- Idéalement, utiliser le **BIM** et des **outils numériques collaboratifs**.
- Récupérer et conserver les **informations techniques détaillées** sur les produits, matériaux, éléments. La notion de « passeport matériaux » commence à apparaître, notamment au travers du projet européen BAMB¹⁵.
- Procéder à une **identification permanente des produits**. Chaque série de produits peut être identifiée directement sur le produit. L'identification peut se faire grâce à des pictogrammes, QR codes, codes-barres, puces RFID, noms ou références (gravure, étiquette collée, incorporation de puces). Cette identification permet ensuite à tous les utilisateurs et intervenants, y compris diagnostiqueurs et démolisseurs d'avoir directement l'information sur les produits.
- **Étiqueter les connexions** et y préciser les outils de démontage.
- Identifier les **points clés de démontage**. Les assemblages seront repérés de manière permanente.
- Établir un **plan de déconstruction détaillé et un plan de recollement**. Le plan sera un guide pour les opérations de démontage. Il indiquera en détail les éléments présents, des schémas et coupes, le type et la localisation des assemblages, les outils nécessaires pour le démontage et la manutention des éléments, les méthodes de déconstruction. Ce plan, relativement facile à établir au moment de la construction, doit être inclus dans le cahier des charges du bâtiment. Il permettra une meilleure préparation du chantier de déconstruction et un gain de temps et de coûts importants.
- Idéalement, disposer de **manuels de démontage** pour tous les ensembles, produits, assemblages démontables.
- Disposer d'un **dossier numérique détaillé** sur le bâtiment et l'ensemble de ses éléments.
- **Conserver et mettre à jour la documentation (Dossier des ouvrages exécutés, Dossier d'exploitation maintenance numériques)** tout au long du cycle de vie du bâtiment.
- Désigner, chez la Maîtrise d'ouvrage, un **responsable de la conservation et de la mise à jour des données** (à faire éventuellement avec un prestataire extérieur, commissionnement de l'information).

Exemples de solutions techniques associées

L'annexe 2 vient compléter le tableau d'exemples de solutions techniques suivant en commentant les avantages et inconvénients des différentes solutions, ainsi que les aspects économiques et environnementaux

LOTS CONCERNÉS	SOLUTIONS DE RÉFÉRENCE NON DÉMONTABLES	PRINCIPES	SOLUTIONS TECHNIQUES POSSIBLES
TRANSVERSAL	Plans 2D classiques (coupes, détails, perspectives), version PDF/DwG, papier	Utiliser le BIM et des outils numériques collaboratifs.	Logiciels et plateformes BIM
	Dossiers techniques non fournis. Produits mis en œuvre différents de ceux prévus	Récupérer et conserver les informations techniques détaillées sur les produits, matériaux, éléments.	
		Procéder à une identification permanente des produits. Chaque série de produits peut être identifiée directement sur le produit.	L'identification peut se faire grâce à des pictogrammes, QR codes, codes-barres, puces RFID, noms ou références (gravure, étiquette collée, incorporation de puces). Cette identification permet ensuite à tous les utilisateurs et intervenants, y compris diagnostiqueurs et démolisseurs d'avoir directement l'information sur les produits.
	Sans indications	Etiqueter les connexions et y préciser les outils de démontage.	
	Sans indications	Identifier les points clés de démontage. Les assemblages seront repérés de manière permanente.	Marques visibles et explicites sur éléments
	Plan de déconstruction non réalisé/fourni	Etablir un plan de déconstruction détaillé et un plan de recollement.	Le plan sera un guide pour les opérations de démontage. Il indiquera en détail les éléments présents, des schémas et coupes, le type et la localisation des assemblages, les outils nécessaires pour le démontage et la manutention des éléments, les méthodes de déconstruction. Ce plan, relativement facile à établir au moment de la construction, doit être inclus dans le cahier des charges du bâtiment. Il permettra une meilleure préparation du chantier de déconstruction et un gain de temps et de coûts importants.
	Manuels non disponibles	Disposer de manuels de démontage pour tous les ensembles, produits, assemblages démontables.	
	Dossier papier. Dossier numérique «en vrac»	Disposer d'un dossier numérique détaillé sur le bâtiment et l'ensemble de ses éléments.	
	Sans outil ni procédure pour la bonne gestion de la documentation	Conserver et mettre à jour la documentation (Dossier des ouvrages exécutés, Dossier d'exploitation maintenance numériques) tout au long du cycle de vie du bâtiment.	
	Aucun responsable désigné. Aucune passation en cas de départ	Désigner, chez la Maîtrise d'ouvrage, un responsable de la conservation et de la mise à jour des données (à faire éventuellement avec un prestataire extérieur, commissionnement de l'information	

Tableau 13 : Démontabilité – Documentation et repérage. Exemples de solutions techniques associées



3.9. Organisation

La démarche de conception pour la démontabilité est liée à quelques points clés dans le processus organisationnel et de passation de marché :

- affirmation claire et forte de ses objectifs par la Maîtrise d'ouvrage,
- considération de l'approche dans les attributions de marchés, et expérience avérée des acteurs,
- approche collaborative le plus en amont possible,
- utilisation d'outils numériques collaboratifs et de conception (ex BIM),
- considération du cycle de vie du bâtiment par l'équipe projet,
- approche en coût global et ajustement des modèles économiques.

Les fournisseurs des produits et des systèmes ont également une influence directe sur les principes décrits dans le guide. En lien avec l'équipe projet (MOE, AMO), ceux-ci sont souvent en mesure d'apporter des solutions pertinentes aux besoins de conception pour la démontabilité. Leur consultation en amont s'avère souvent intéressante. Ils fourniront également les données nécessaires sur les matériaux et systèmes (caractéristiques, entretiens, modes d'assemblage et de démontage, etc.). Envisager l'accès à ces informations par l'intermédiaire d'une plateforme numérique, comme le BIM. A l'heure de la mise en œuvre, les décisions de conception auront déjà été prises. Veiller au transfert des connaissances entre les équipes de conception et de construction afin de conserver l'ensemble des dispositions prises en conception et éviter les difficultés pouvant apparaître pendant la phase de construction. Une planification plus détaillée et des achats atypiques peuvent se révéler nécessaires. Il convient alors de mettre en place une collaboration le plus tôt possible avec l'ensemble de la chaîne d'acteurs. Dans la mesure du possible, les constructeurs doivent travailler avec l'équipe de conception le plus en amont possible pour identifier les meilleures solutions aux principes de conception pour la démontabilité.

A la réception du bâtiment, s'assurer que toute la documentation attendue a été collectée, classée, est conforme à la réalité (recollement) et transmise aux propriétaires et exploitants du bien immobilier.

Organisation : actions par phases

Les données ci-après, extraites de BAZED, présentent selon les étapes PROGRAMMATION – CONCEPTION – RÉALISATION, les actions pouvant avoir un impact sur la conception pour la démontabilité.

PROGRAMMATION			
	Planification	Formalisation	Concours – Cas particulier
Maîtrise d'ouvrage	<p>Définir des objectifs de « Démontabilité » en prenant en compte l'ensemble du cycle de vie du bâtiment dans les étapes de conception : -> Afficher au plus tôt l'identité du projet</p> <p>Associer ou adjoindre des compétences en architecture durable, démontable, évolutive, ... -> S'entourer de professionnels compétents</p> <p>Élaborer une approche en coût global -> Prendre en compte les coûts du projet au-delà du simple investissement, en s'intéressant à son l'exploitation, à la maintenance, au remplacement des équipements ou des matériaux mais également à la déconstruction du bâtiment, à la valorisation en fin de vie et aux bénéfices environnementaux.</p>	<p>Formaliser et proposer une méthode de travail collaboratif : outils et temporalités -> Mettre en commun les données à travers une plateforme d'échange numérique -> Exiger le BIM sur les projets neufs, de grande envergure (obligation en marché public à partir de 2017)</p> <p>Définir des exigences claires dans les appels à candidature sur l'approche « Démontabilité » du projet et les compétences attendues en la matière -> Sélectionner des prestataires compétents</p>	<p>Rédiger l'appel à candidature en faisant apparaître clairement la spécificité «démontabilité» du concours</p> <p>Identifier des critères de sélection sur la «démontabilité» :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pluridisciplinarité ou adaptabilité aux méthodes de travail collaboratif - Compétences et références en «démontabilité» - Proposition incluant une prospective financière (investissement/ amortissement) - Acceptation de la charte et du tableau de suivi <p>-> Définir les compétences «démontabilité» comme essentielles dans la sélection des candidats</p>

Définir les objectifs, les besoins et le budget - Etablir le programme et définir les exigences techniques - Définir les compétences exigées et sélectionner le lauréat

Architecte - AMO - Programmiste - Economiste	<p>Identifier l'objectif «démontabilité» comme l'un des objectifs prioritaires du projet -> Prendre en compte au plus tôt dans les documents de synthèse et contractuels</p> <p>Réaliser un benchmark des projets exemplaires en termes de démontabilité -> Regarder ce qui existe déjà (Proof of concept)</p> <p>Considérer dans le budget :</p> <ul style="list-style-type: none"> - les incidences «démontabilité» - les surcoûts de départ/ économies à court et moyen terme : approche en coût global - les aides financières possibles 	<p>Réaliser une première maquette numérique même si à ce stade elle est assez peu détaillée</p> <p>Centrer la synthèse des études pré-opérationnelles sur la «démontabilité» -> Définir comme fil conducteur du projet</p> <p>Proposer et/ou réaliser des études complémentaires et se rapprocher si besoin des entreprises compétentes pour identifier le champ des possibles. -> Éclairages nécessaires à la rédaction du programme définitif</p> <p>-> Fixer un cadre technique de conception</p> <p>Rédiger un tableau de suivi des exigences «démontabilité» du projet -> Validation des étapes unes à unes</p>	
---	---	--	--

CONCEPTION					
	Diagnostic - esquisse	Avant-projet (APS -APD)	Projet (Pro)	DCE	Marché de travaux
Maîtrise d'ouvrage	<p>Valider une ou plusieurs options de la maîtrise d'œuvre en termes de coûts et d'architecture « démontable »</p> <p>Se former à visualiser une maquette BIM</p>	<p>Valider les choix de l'équipe de maîtrise d'œuvre en termes de choix structurels, techniques et financiers de l'approche « démontabilité »</p> <p>Faire participer le contrôleur technique le plus en amont possible</p>	<p>Vérifier le respect des exigences « démontabilité » dans le PRO avant validation.</p> <p>-> S'engager à ne plus apporter de modifications pouvant remettre en question l'approche « démontabilité »</p>	<p>A compléter par ex : Anticiper le choix des fournisseurs des entreprises en privilégiant des produits intégrant la démontabilité, comme critère de sélection ?</p>	<p>Classer les offres en fonction des critères préétablis en partenariat avec l'architecte répondant à une approche « démontabilité » et en prenant en compte l'amortissement dans le calcul du coût</p> <p>-> Respecter le tableau de suivi des exigences « démontabilité »</p>

Répondre aux besoins et aux objectifs - Préciser les choix structurels, techniques et financiers - Présenter le projet définitif

Maîtrise d'œuvre	<p>Exploiter un optimum d'informations mutualisées</p> <p>-> Créer un modèle 3D unique (BIM) à affiner tout au long du projet en collaboration avec les différents bureaux d'étude</p> <p>-> Mettre en place une plateforme d'échange numérique</p> <p>Réaliser une première estimation du coût du projet (coût global)</p> <p>-> Orienter les premiers choix de conception</p>	<p>Travailler avec des industriels, entreprises et bureaux d'étude afin d'intégrer les innovations et les possibles en matière d'architecture évolutive, démontable, reconvertible, responsable...</p> <p>Concevoir une architecture et des systèmes constructifs respectant les concepts et principes de la conception démontable</p> <p>Décrire et chiffrer précisément les options retenues</p>	<p>Fournir l'ensemble des documents graphiques et écrits en mettant en avant le respect de l'approche « démontabilité »</p> <p>-> Mettre en évidence cet objectif prioritaire dans tous les documents du projet</p> <p>-> Préciser les conditions de mise en œuvre des éléments (démontables, évolutifs...)</p> <p>Produire des documents numériques en favorisant l'utilisation d'outils de mutualisation.</p> <p>-> Poursuivre l'approche « démontabilité » à tous les stades de conception</p> <p>Affiner la collaboration et le partenariat avec les entreprises/ industriels</p> <p>-> Balayer les solutions techniques existantes, identifier les innovations éventuelles à générer, définir les matériaux adaptés au projet</p>	<p>Définir clairement l'approche « démontabilité » du projet dans le DCE en y incluant des descriptifs précis</p> <p>-> Être clair dans les compétences attendues évitant des propositions inadaptées</p> <p>-> Préciser les obligations des entreprises en matière d'obligations techniques applicables</p> <p>-> Inciter les entreprises à proposer des variantes pertinentes</p>	<p>Assister le maître d'ouvrage pour l'attribution du ou des marchés en prenant en compte le coût (approche en coût global) et les solutions techniques proposées visant la démontabilité</p>
-------------------------	--	--	--	--	---

Rappeler l'intérêt du travail partenarial au sein de la maîtrise d'œuvre et avec les entreprises - Stimuler les réflexions innovantes pour tendre vers la « démontabilité » - Anticiper les solutions de mise en œuvre - Contractualiser les marchés de travaux.

Intégrer les innovations et les possibles en matière d'architecture évolutive, démontable, reconvertible, responsable dès la conception - Faire preuve d'anticipation

Industriels - Entreprises				<p>S'imprégner des objectifs « démontabilité » pour établir sa proposition</p> <p>-> Mettre en avant les solutions techniques proposées et étayer son mémoire en conséquence en décrivant précisément le produit et le procédé de mise en œuvre</p>	
----------------------------------	--	--	--	--	--

	Plan d'exécution (EXE- VISA)	Chantier (DET-OPC)	Réception (AOR)	Suivi (DOE)
Maîtrise d'ouvrage	-> Avoir une seule base de données du projet avec une traçabilité des modifications			<p>Conserver les informations sur les matériaux, les maquettes BIM, les process de démontage des éléments.</p> <p>Désigner une personne responsable du carnet d'entretien du bâtiment et de la conservation des données.</p>
Anticiper la maintenance				
Maîtrise d'œuvre	<p>Vérifier la conformité des plans avec l'approche « démontabilité »</p> <p>Mettre à disposition des entreprises la plate-forme d'échange numérique et effectuer le recollement des plans d'exécution sur la maquette BIM (si elle existe)</p> <p>-> Faciliter l'accès aux données relatives au chantier</p> <p>-> Améliorer la coordination</p>	<p>Visas et contrôles de conformité des systèmes indiqués et de la bonne mise en œuvre de la démontabilité (si nécessaire tester, procéder à des montages à blanc lorsque c'est possible)</p>	<p>Établir les PV de réception sur la plate-forme d'échange numérique</p>	<p>Mettre à disposition du responsable gestionnaire un carnet d'entretien du bâtiment, une maquette BIM DEM (dossier d'exploitation maintenance)</p> <p>Fournir aux utilisateurs un carnet de vie pour expliquer le fonctionnement du bâtiment et ses équipements (recommandations et bonnes pratiques)</p>
Valider les solutions techniques et les matériaux - Assurer la synergie des corps d'états - Réaliser la réception du chantier				
Industriels - Entreprises	<p>Proposer des solutions constructives permettant la démontabilité des éléments</p> <p>Se sensibiliser et se former à la préparation de chantier avec les outils collaboratifs et numériques</p>			<p>Établir les DOE sur support numérique (conservation de la donnée)</p> <p>Ajouter aux DOE un calendrier préventif (garanties des matériaux, préconisations) et l'ensembles des informations sur les matériaux, assemblages, process de démontage, etc.</p>

Tableau 14 : Organisation - Actions par étapes



ÉCONOMIE CIRCULAIRE
DES BÂTIMENTS

4.

Conclusions



La conception pour la démontabilité a pour **finalité l'atteinte d'objectifs environnementaux, économiques et sociétaux d'un projet de construction considéré sur l'ensemble de son cycle de vie**¹⁶. Elle s'intègre pleinement dans une logique d'économie circulaire et peut être la pierre angulaire d'une démarche visant la sobriété déchets, à rendre un bâtiment facilement évolutif¹⁷ (changements d'usages, agrandissements ou redistributions, amélioration des performances, rénovations) et allonger sa durée de vie, à faciliter les travaux d'entretien/maintenance, et enfin à favoriser les démarches de réemploi lors des phases futures de rénovation et de déconstruction.

Tous les types de bâtiments ont un intérêt potentiel à la conception démontable. Cet intérêt devra être évalué dans chaque contexte au regard de plusieurs facteurs rappelés au chapitre 1.1.2, touchant notamment à la rentabilité économique et environnementale, au contexte réglementaire et technique. Notons néanmoins que certains types de constructions, de par leurs spécificités (notamment des cycles d'usages courts et/ou des architectures propices à cela), ont un intérêt particulier au démontable. Ce sont les **bâtiments de type tertiaire, industriel et certains parkings**. Les **logements collectifs, centres commerciaux, bâtiments de santé et hôtels** peuvent également être concernés.

Une conception de bâtiment totalement démontable est techniquement possible et intéressante mais peut en réalité être complexe et peu pertinente à ce jour. Le **choix des lots à privilégier dépendra donc des objectifs visés** pour le projet et des durées de vie effectives dans l'ouvrage considéré par rapport aux durées de vie pour lesquelles les éléments sont conçus. Une volonté de flexibilité intérieure amènera par exemple à la démontabilité de revêtements intérieurs, cloisonnements intérieurs et réseaux, tandis que des objectifs en termes de réduction des déchets conduiront à penser en priorité aux postes les plus représentatifs en termes de volume/poids de matière (ex structure) sans exclure d'autres postes si la démarche est poussée (notamment les façades, sur lesquelles des solutions démontables louées et non vendues sont en train de voir le jour en Europe).

Sur le **volet économique**, une démarche de conception démontable doit être analysée dans tous les cas d'un point de vue **coût global**, avec des notions de cycle(s) de vie du bâtiment. Il n'existe pas à ce jour de retours d'expériences suffisamment solides/représentatifs pour tirer des conclusions chiffrées générales. Nous pouvons cependant mettre en avant des tendances de manière qualitative. Si elle est poussée, en vue d'impacts positifs significatifs, la démarche exigera au départ des efforts de conception supplémentaires par rapport aux démarches courantes. Ces **coûts additionnels de conception** seront généralement minoritaires dans le coût général de l'opération et **retrouvés/bénéfiques dans une logique de coût global**. Notons également qu'une construction démontable (en tout ou partie) n'est pas forcément plus coûteuse. Elle peut en effet faire appel à des concepts/principes/solutions existants et utilisés à bon escient qui ne sont pas plus coûteux que les usuels. **A long terme, la conception démontable pourra permettre de réduire, selon les cas de figures, les coûts** d'entretien maintenance, de rénovation, d'adaptation, d'agrandissement et de fin de vie. Il est intéressant que les équipes projets évaluent ces bénéfices/économies potentiels afin de considérer la « survaleur » du bâtiment dans le cadre d'investissements de départ, d'évaluation d'actifs ou de projets de revente. Une prise en compte effective de cette moindre dépense future (au moment d'une rénovation, d'une déconstruction, etc.) dans l'évaluation financière d'un ouvrage sera un levier puissant pour renforcer la conception démontable alors que les bénéfices en termes de valorisation des produits/matériaux/déchets et en termes d'émission de gaz à effet de serre sont avérés.

Sur le **volet environnemental, concevoir démontable permet in-fine de réduire significativement les déchets produits par un bâtiment, sa consommation de ressources naturelles et ses émissions de GES**¹⁸. Ce bénéfice environnemental est amené en favorisant l'adaptabilité des bâtiments, leur conservation, les tâches d'entretien/maintenance, l'allongement de la durée de vie des matériaux via le réemploi et le recyclage des déchets.

Tout cela est à mettre en perspective avec un **contexte réglementaire propice aux efforts visant la réduction d'impacts environnementaux** des constructions. Citons ainsi notamment le label E+C- et la RE2020 introduisant des notions d'impact carbone, la loi ELAN prévoyant la sobriété en consommations de ressources et la facilitation de la transformation de bureaux vides en logements, la loi AGECE visant l'éco-conception et la prévention des déchets dont ceux du BTP¹⁹.

La réduction d'impact environnemental n'est pas intrinsèquement due la démontabilité mais plutôt à

16 Voir chapitres 1.1.1 Finalités et intérêts, 1.2 Enjeux environnementaux
17 Voir livrable enjeu C de l'AMI FBE Économie circulaire – Conception pour l'évolutivité des bâtiments
18 Voir chapitre 1.2 Enjeux environnementaux
19 Voir chapitre 1.3.1 Contexte réglementaire



ce qu'elle permet, entre autres l'adaptabilité des bâtiments et le réemploi des éléments. Ces deux sujets, tout comme l'ACV sur la fin de vie et la Capitalisation des données font également l'objet de guides issus du projet AMI FBE Économie Circulaire. La **conservation des données est un aspect essentiel d'une démarche de conception démontable**. Les performances finales en termes de réemploi, recyclage, adaptabilité, et économiques à long terme, seront impactées par la disponibilité/véracité des informations disponibles à chaque instant sur le bâtiment et ses éléments. Notons que l'usage du BIM et des passeports matériaux facilite cette conservation des données.

La conception pour la démontabilité fait partie d'une **démarche globale qui considère le cycle de vie du bâtiment, son contexte spécifique, et dont les ambitions/objectifs doivent être définis le plus en amont possible** (dès la phase de programmation) afin de cibler les axes de travaux de conception. C'est une démarche technique (conception, choix de solutions, etc.) mais aussi organisationnelle (collaborations avec la chaîne d'acteurs en phase de conception, usage du BIM, maîtrise des données). Elle repose sur un **travail transversal** prenant en compte le contexte, les différents lots et acteurs, plutôt qu'une simple accumulation de solutions techniques démontables par lots.

Après avoir défini les lignes directrices de la démarche, les concepteurs doivent tout d'abord travailler sur les concepts généraux liés aux formes et structure du bâtiment, aux cahiers des charges généraux pour les assemblages et matériaux²⁰. Ils devront également décider de l'organisation et des outils à utiliser dans le processus de conception. Vient ensuite une conception générale qui aborde **les grands principes de chaque lot²¹ et les liens entre eux** en considérant les notions détaillées au chapitre 3.1 (théorie des couches, décomposition fonctionnelle, interfaces d'assemblages, etc.) et le séquençage de montage/démontage. Dans la mesure du possible les acteurs du projet (bureaux d'études, bureau de contrôle, fournisseurs et industriels) sont intégrés aux réflexions dès cette phase. Les principes généraux sont ensuite **traduits en détails de conception et choix de solutions²²**. Certains principes/solutions s'avéreront être courants et de sens commun tandis que d'autres feront l'objet de conception nouvelle ou d'innovations.

Le présent guide a été élaboré comme un support pour les acteurs de projets désirant appréhender le sujet de la démontabilité et les concepteurs désirant concevoir démontable. Il rappelle les éléments de contexte environnant la démontabilité. Il expose ensuite les concepts généraux et transverses, détaille les principes de conception pour les principaux lots et fournit un ensemble de solutions techniques. Ce recueil de solutions commentées n'est cependant pas exhaustif et vise à être complété dans le temps. Le guide fournit également une liste de projets ayant fait l'objet d'une conception démontable et dont les acteurs peuvent s'inspirer en partie, une bibliographie de guides et documents sur le sujet permettant d'approfondir certaines notions, et enfin des exemples de tableaux simples de suivi des actions de conception démontable permettant de mettre en pratique cette démarche.



ÉCONOMIE CIRCULAIRE
DES BÂTIMENTS

5.

Références de projets avec conception démontable



ÉCONOMIE CIRCULAIRE
DES BÂTIMENTS

Les projets ayant déjà été conçus de manière tout ou partie démontable peuvent servir de références aux équipes de conception. Ci-après un référencement de projets exemplaires :

NOM DU PROJET	ANNÉE	SITUATION
FRANCE		
Pavillons Prouvé	1947	(France)
Maison Métal	2004	Parc de la Villette, 19e (75)
Bâtiment d'entretien Air France	2004	Aéroport de Roissy Charles-de- Gaulle (Val-d'Oise)
Tour de contrôle du Grand Prix de Monaco	2005	Monaco
Maison de l'environnement du parc écologique Izadia	2007	Anglet, France
Agora du Conseil de l'Europe	2008	Strasbourg (France)
Office de tourisme en bambou	2012	Gard (30)
BIL TA GARBI	2013	Bayonne (64)
ZAC Pressoir	2014	Le Havre (76)
Maison qui déménage	2015	Jouy-en-Josas (78)
Helios Demodolor	2015	Angers, France
Zac de la Cartoucherie	2015	France, Toulouse
Maison de la Lainière	2016	Roubaix - Wattrelos (59)
Promesse de l'aube	2016	Paris, 16ème, France
Préfabrique de l'innovation	2017	Villeurbanne (69)
Centre d'hébergement d'urgence Emmaus	2017	Ivry-Sur-Seine, France
Helicity	2018	Bruz, France
Le Bastion de Bercy	2018	Paris, France
Parking Silo	2019	Dijon, France
Ecole Sainte-Hélène	2020	Sainte-Hélène, France
ETRANGER		
Fun Palace	1964	-
Marie Short House	1975	Australie
Intelligent Workplace at Carnegie Mellon University	1997	Etats-Unis
XX office building	1999	Pays-Bas
Container City	2002	Royaume uni, Londres
Pavillon Skip	2005	Esch-sur-Alzette, Luxembourg
Tour Hypergreen	Proposé en 2005	
OPEN_1 House	2006	Etats-Unis, Greenfield
Chartwell School in Seaside	2006	Etats-Unis - Californie
Case Study Home	2006	Etats-Unis, Atlanta
Bureaux d'Alberto Mozo	2007	Chili
Portola Valley Town Center	2008	Etats-Unis, Porto la Valley
Start / Container Mall	2011	Christchurch (Nouvelle Zélande)
London 2012 Olympic Stadium	2011	Londres (Royaume-Uni)



ÉCONOMIE CIRCULAIRE
DES BÂTIMENTS

Théâtre Jean Claude Carrière	2013	France, Montpellier
Venlo City Hall	2016	Venlo, Pays-Bas
EHPAD	2016	Froyennes, Belgique
Dôme Le Globe de la Science et de l'Innovation du CERN	2016	Meyrin (Suisse)
Collège de Pontchâteau	2016	Pontchâteau, France
Circular Building	2016	Londres, Royaume-Uni
Leap Home (Frame par exemple)	2017	Lissone (Milan, Italie)
Park 20/20	2017	Hoofddorp, Amsterdam (Pays-Bas)
Cabanes démontables	2017	Maui, Hawaï
CLK	2017	Mertzig, Luxembourg
Building Reversible in Conception (BRIC)	2018	Uccle, Belgique
Nesto	2018	Wiltz, Luxembourg

Le détail des projets et des liens vers les sources d'informations sont fournis en Annexe 3.

Notons qu'il est possible de mettre en avant gratuitement sur le site BAZED son projet en conception zéro déchet, évolutive, démontable et de partager son retour d'expérience.

<http://www.bazed.fr/categorie/vos-projets>



ÉCONOMIE CIRCULAIRE
DES BÂTIMENTS

6.

Glossaire



ACCESSIBILITÉ

Aptitude à faciliter l'accès aux composants pour leur *démontage, réhabilitation, remplacement* ou mise à niveau (*source NF ISO 20887 Juin 2020*)

Note 1 : Dans le contexte du présent document, cette définition ne s'applique pas directement à l'accessibilité pour les personnes ayant des besoins supplémentaires particuliers.

ADAPTABILITÉ

Aptitude à être changé ou modifié pour s'adapter à une utilisation particulière.
(*source : source NF ISO 20887 Juin 2020*)

ANALYSE DU CYCLE DE VIE

des intrants, des extrants et des impacts environnementaux potentiels d'un système de produits au cours de son cycle de vie. (*source : ISO 14040:2006*)

ASSEMBLAGE

Ensemble de *composants* associés, fixés les uns aux autres. (*source : NF ISO 20887 Juin 2020*)

ASSEMBLAGES RÉVERSIBLES

Assemblages pouvant être défaits et/ou désassemblés pour faciliter les modifications et les ajouts aux structures. (*source : NF ISO 20887 Juin 2020*)

BÂTIMENT

Ouvrage de construction dont l'une des principales fonctions est d'abriter ses occupants ou son contenu, habituellement totalement ou partiellement clos et conçu pour demeurer en place de façon permanente. (*source : NF ISO 20887 Juin 2020*)

CAPACITÉ À ÊTRE RÉEMPLOYÉ

Aptitude d'un matériau, d'un produit, d'un *composant* ou d'un système 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 ou tout autre usage.
(*source : NF ISO 20887 Juin 2020*)

COMPOSANT

Produit fabriqué comme unité distincte pour remplir une ou plusieurs fonctions spécifiques.
EXEMPLE : Clous, ancrages de revêtement, barres d'armature et membranes (unités de base) ou dalles en béton armé, fenêtres et portes (unités complexes). (*source : NF ISO 20887 Juin 2020*)

CONCEPTION POUR LE DÉMONTAGE

Démarche de conception d'un produit ou d'un bien immobilier construit qui facilite le démontage à la fin de sa durée de vie utile, de telle façon que des composants et des pièces puissent être réutilisés, recyclés, récupérés en vue d'une valorisation énergétique ou, de manière générale, détournés du flux des déchets. (*source : NF ISO 20887 Juin 2020*)



ÉCONOMIE CIRCULAIRE
DES BÂTIMENTS

CONNECTIONS ACCESSIBLES

Raccordements laissés accessibles pour le démontage ou une modification.
(*source : NF ISO 20887 Juin 2020*)

CONVERTIBILITÉS

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

CYCLE DE VIE DU PRODUITS

Le cycle de vie d'un produit ou d'un bâtiment prend en compte toutes les activités qui entrent en jeu dans la fabrication, la mise en œuvre, l'utilisation, le transport et l'élimination de ce produit ou bâtiment. Le cycle de vie est généralement illustré comme une série d'étapes, depuis la production (extraction et récolte des matières premières) jusqu'à l'évacuation finale (élimination ou valorisation). En analyse du cycle de vie (ACV), typiquement, le cycle de vie d'un bâtiment peut être divisé en les phases suivantes:

- extraction des matières premières nécessaires;
- traitement et fabrication de matériaux de construction et de composants de construction;
- transport et installation de matériaux de construction et de composants;
- exploitation, entretien et réparation de bâtiments;
- élimination des matériaux à la fin du cycle de vie du bâtiment.

DÉMOLITIONS

Dépose par des méthodes destructives. (*source : NF ISO 20887 Juin 2020*)

DÉMONTAGES

Déconstruction non destructive d'un ouvrage de construction ou d'un bien immobilier construit en matériaux ou composants constitutifs. (*source : NF ISO 20887 Juin 2020*)

DÉMONTABILITÉS

La démontabilité en architecture concerne la capacité d'un bâtiment, d'un système constructif, d'un assemblage à être démontable, adapté à la déconstruction. Un bâtiment démontable dans l'idéal se caractérise par la possibilité d'être mis en pièces et réassembler ou réutiliser à l'infini.

DURABILITÉS

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.
(*source NF ISO 20887 Juin 2020*)

DURÉE DE VIES

Période débutant avec la mise en service, durant laquelle une installation ou ses différentes parties atteignent ou dépassent les exigences de performance. (*source : ISO 15686-1:2011*)



ÉCONOMIE CIRCULAIRE
DES BÂTIMENTS

ÉCONOMIE CIRCULAIRE

L'économie circulaire peut se définir comme un système économique d'échange et de production qui, à tous les stades du cycle de vie des produits (biens et services), vise à augmenter l'efficacité de l'utilisation des ressources et à diminuer l'impact sur l'environnement tout en développant le bien être des individus. (*source ADEME*)

ENTRETIENS

Mesures propres à conserver et à rétablir l'état exigé de l'ouvrage (ou de son état initial). En règle générale, il s'agit de mesures destinées à maintenir la valeur existante. L'entretien peut être planifié (préventif) ou correctif (dépannage et réparation).

INDÉPENDANCES

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

MAINTENANCES

Ensemble des mesures permettant de constater, d'apprécier et de conserver l'état d'un ouvrage. La maintenance comprend l'ensemble des actions de surveillance, d'entretien et de renouvellement survenant pendant la durée d'utilisation d'un bâtiment.

MODULAIRES

Composé de *modules* pour faciliter la construction ou l'aménagement et l'adaptation ou le démontage (*source NF ISO 20887 Juin 2020*)

MODULES

Ensemble de pièces normalisées ou d'unités indépendantes (*source NF ISO 20887 Juin 2020*)

OBSOLESCENCES

Perte de l'aptitude d'un élément à se comporter de façon satisfaisante suite à des changements d'exigences de performance. (*source : ISO 15686-1:2011*)

PRÉVENTIONS

« toutes mesures prises avant qu'une substance, une matière ou un produit ne devienne un déchet La notion de prévention est distincte de celle de « gestion des déchets », qui désigne l'ensemble des opérations et moyens mis en œuvre pour recycler, valoriser ou éliminer les déchets produits. (*source : article L.541-1-1 du Code de l'environnement*)

« ...l'ensemble des mesures et des actions amont (notamment au niveau de la conception, de la production, de la distribution et de la consommation d'un bien) visant à réduire l'ensemble des impacts sur l'environnement et à faciliter la gestion ultérieure des déchets (notamment par la réduction des quantités de déchets produits et/ou de leur toxicité, ou par l'amélioration du caractère valorisable) ». (*source : ADEME*)



RECYCLABILITÉS

Aptitude des composants, des matériaux ou des deux à être séparés et retraités à partir des produits et systèmes puis utilisés comme intrants de matières pour la même ou une autre utilisation ou fonction (source : NF ISO 20887 Juin 2020)

RECYCLABLES

Caractéristique d'un produit ou d'un *composant* associé qui peut être prélevé sur le flux des déchets par des processus et des programmes disponibles, et qui peut être collecté, traité et remis en usage sous la forme de matières premières ou de produits. (source : NF ISO 20887 Juin 2020)

RÉEMPLOIS

Utilisation de produits ou de *composants* plus d'une fois pour le même usage ou pour d'autres usages, sans retraitement (source NF ISO 20887 Juin 2020)

« 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 » (source : ordonnance n°2010-1579 relative aux déchets). Le réemploi peut être compris comme une nouvelle utilisation, sur le site même du chantier dont ils sont issus, de matériaux et produits n'ayant pas acquis le statut de déchet, puisque ne sortant pas du chantier. A noter que dans certains cas, un matériau peut être utilisé sur un même site mais détourné par rapport à son usage originel.

RÉHABILITATIONS

Modifications et améliorations apportées à un *bâtiment* ou un ouvrage de génie civil existant afin de le remettre dans un état convenable. (source : NF ISO 20887 Juin 2020)

REPLACEMENTS

Changement de pièces d'un élément existant afin qu'il retrouve sa fonctionnalité. (source : NF ISO 20887 Juin 2020)

RÉPARATIONS

Remise dans un état acceptable d'un produit, d'un *composant*, d'un *assemblage* ou d'un système par la rénovation ou le *remplacement* de pièces usées, endommagées ou détériorées. (source NF ISO 20887 Juin 2020)

RÉUTILISATIONS

La réutilisation se définit comme « toute opération par laquelle des substances, matières ou produits qui sont devenus des déchets sont utilisés de nouveau » (source : ordonnance n°2010-1579 relative aux déchets). A l'inverse du réemploi où les matériaux et produits sont utilisés sur le site même du chantier (conservation de l'existant), la réutilisation doit être comprise comme une nouvelle utilisation hors site, c'est-à-dire sur un chantier différent de celui dont ils sont issus, de matériaux et produits ayant acquis le statut de déchet puisqu'étant sortis du site du chantier.

POLYVALENCES

Capacité d'assurer différentes fonctions en apportant des modifications mineures. (source : NF ISO 20887 Juin 2020)



ÉCONOMIE CIRCULAIRE
DES BÂTIMENTS

7.

Bibliographie

Ci-dessous un ensemble de références de documents et de liens utiles à une démarche de conception pour la démontabilité.

- Site et guide BAZED : <http://www.bazed.fr/>
- Mémoire et guide Transformable building structures. Design for disassembly as a way to introduce sustainable engineering to building design & construction [Elma DURMISEVIC] <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A9d2406e5-0cce-4788-8ee0-c19cbf38ea9a>
- Guide Designing out waste: a design team guide for buildings [WRAP] <https://www.modular.org/marketing/documents/DesigningoutWaste.pdf>
- Projet Européen BAMB (Buildings As Material Banks) <https://www.bamb2020.eu/>
- Guide Design for Disassembly in the Built Environment [US EPA] <https://www.lifecyclebuilding.org/docs/DfDseattle.pdf>
- Norme canadienne Z782-F06 - lignes directrices pour la conception en vue du désassemblage et de l'adaptabilité dans les bâtiments [CSA] <https://www.orderline.com/z782-f06-lignes-directrices-pour-la-conception-en-vue-du-desassemblage-et-de-l-adaptabilite-dans-les-batiments>
- Norme internationale NF ISO 20887:2019 Développement durable dans les bâtiments et ouvrages de génie civil– Conception pour la démontabilité et l'adaptabilité– Principes, exigences et recommandations [AFNOR] <https://www.boutique.afnor.org/norme/pr-nf-iso-20887/developpement-durable-dans-les-batiments-et-ouvrages-de-genie-civil-conception-pour-la-demontabilite-et-l-adaptabilite-principes/article/926135/fa196359>
- Construire Réversible – Mars 2017- Patrick Rubin. <https://www.librairiedumoniteur.com/construire-reversible-rubin-patrick,fr,4,9782956031901.cfm>
- Norme anglaise BS 8887-2:2009 Design for manufacture, assembly, disassembly and end-of-life processing (MADE). Terms and definitions. British Standards Institution, 2009.
- Article scientifique Design of concrete buildings for disassembly: An explorative review [Wasim Salama] <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2212609016301741?token=C09C6D837E507D8E117C4328BBF2C681E7FBA8DBE6EF47DF1AF6451F-27F227A84702824FA5BAB38DB0B344400F944E16>
- Thèse A methodology for total life-cycle costing of buildings designed for disassembly [Khawaja, Nadir Ashraf (2005)] <https://spectrum.library.concordia.ca/9288/>
- Présentation « Systemic view on reuse potential of building elements, components and systems ». International HISER Conference on Advances in Recycling and Management of Construction and Demolition Waste, 21-23 June 2017, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands
- Guide « Design for Disassembly – Theme and Principles »: RAI/BDP Environment Design Guide, August 2005. <https://eprints.qut.edu.au/2888/1/Crowther-RAIA-2005.PDF>
- Article Recycled buildings : how to design for disassembly <https://archinect.com/features/article/150067785/recycled-buildings-how-to-design-for-disassembly>
- Thèse Design, dimensioning and evaluation of demountable building elements, [Vandenbroucke M], (2016), PhD thesis, VUBPress, Brussels, Belgium, 294p.
- Page Web : J'intègre les possibilités d'évolution du bâtiment dans la réflexion : notions de conception évolutive https://www.renovermonecole.be/fr/objectifs-environnement/limiter-impacts-lutilisation-materiaux-construction/jintegre-possibilites#element_01
- Extraits de mémoire de thèse [Mieke-Vandenbroucke] :
chapter 2 : chapter 2. Design for change https://www.vibe.be/wp-content/uploads/2017/02/Ontwerprichtlijnen_Demonteerbare_Gebouwelementen.pdf
chapter 3 design for change : from theory to practice https://www.vibe.be/wp-content/uploads/2018/02/PhD_Mieke-Vandenbroucke_Chapter3.pdf

- Article scientifique Using Network Analysis and BIM to Quantify the Impact of Design for Disassembly [François Denis, Camille Vandervaeren and Niels De Temmerman]
<https://pdfs.semanticscholar.org/a2e1/a6b298fc85960dbf7f90bd832aba62e709a2.pdf>
- Article scientifique Integrating Scenarios into Life Cycle Assessment: Understanding the Value and Financial Feasibility of a Demountable Building [Waldo Galle, Niels De Temmerman and Ronald De Meyer] <https://www.mdpi.com/2075-5309/7/3/64/htm>
- Adams, K. Outline methodology for design for deconstruction for residential buildings. Building Research Establishment, United Kingdom.
- Crowther, P. Investigating design for disassembly through creative practice. In Intersections International Symposium, 30 juin 2014, Santa Verdiana Church, Florence, Italie. (Non publié)
- Design for deconstruction. United States Environmental Protection Agency, 2007.
- Guy, B., et Ciarimboli, N. Design for Disassembly in the built environment: a guide to closed-loop design and building. Hamer Center for Community Design et Pennsylvania State University.
- Durmisevic, E., et Yeang, K. Design for Disassembly (DfD). *Archit Design*, 79: 134–137, 2009.
- Chini, A., et Shultmann, F. Design for Deconstruction and Materials Reuse. Proceedings of the CIB Task Group 39 – Deconstruction Meeting, CIB Report, Publication 272, Karlsruhe, Allemagne, 2002.
- Chini, A. Deconstruction and Materials Reuse. Proceedings of the CIB Task Group 39 – Deconstruction Meeting, CIB World Building Congress, CIB Report, Publication 287, Gainesville, Floride, 2003.
- Schmidt III, R., Austin, S.A., et Brown, D. Designing adaptable buildings. 11th International DSM Conference, Greenville, Caroline du Sud, 12-13 octobre 2013.
- Conejos, S., Langston, C., et Smith, J. AdaptSTAR model: A climate-friendly strategy to promote built environment sustainability. *Habitat International*, 37: 95-103, 2013.
- Langston, C. On archetypes and building adaptive reuse. Bond University, 2011.



ÉCONOMIE CIRCULAIRE
DES BÂTIMENTS

8.

Annexes

Annexe 1

Fiches de solutions techniques démontables

L'annexe 1 est proposée en parallèle sous format numérique PDF.

Annexe 2

Solutions Chapitre 3 commentées

L'annexe 2 vient compléter les tableaux de solutions techniques du chapitre 3 en commentant les avantages et inconvénients des différentes solutions, ainsi que les aspects économiques et environnementaux.

Annexe 3

Références de chantiers exemplaires

L'annexe 3 donne les détails d'un ensemble de chantiers exemplaires avec une démarche de conception pour la démontabilité.

L'annexe 3 est en format numérique PDF.

Annexe 4

Grilles de suivi des principes de conception pour la démontabilité

1. PRINCIPES GÉNÉRAUX

PRINCIPE	SYNTHÈSE DES CHOIX DE CONCEPTION, INFORMATIONS PERTINENTES
DURABILITÉ	
ACCESSIBILITÉ	
SIMPLICITÉ	
NORMALISATION	
INDÉPENDANCE	
POLYVALENCE	
TOLÉRANCES	
MAÎTRISE DE LA LOGISTIQUE DE DÉPOSE	
SÉCURITÉ	

Grilles de suivi des principes de conception pour la démontabilité

Un document de travail qui pourrait être mobilisé en support à la conception d'une opération est disponible en complément de ce document.

2. STRUCTURE

SUJET	SYNTHÈSE DES CHOIX DE CONCEPTION, INFORMATIONS PERTINENTES
SIMPLICITÉ ET LINÉARITÉ	
TRAVÉES OUVERTES ET RÉGULIÈRES	
GRILLE STRUCTURELLE STANDARD	
ÉLÉMENTS PRÉFABRIQUÉS ET/OU EN FILIÈRES SÈCHES	
ASSEMBLAGES MÉCANIQUES ET DÉMONTABLES	
SYSTÉMISATION ET CLUSTÉRISATION	
INDÉPENDANCE DES COUCHES ET DES FONCTIONNALITÉS	
SÉQUENÇAGE DES OPÉRATIONS DE DÉMONTAGE	
CHARGES DE TRAVAIL ET SÉCURITÉ DES PERSONNES	

Grilles de suivi des principes de conception pour la démontabilité

3. ENVELOPPE, FAÇADE

SUJET	SYNTHÈSE DES CHOIX DE CONCEPTION, INFORMATIONS PERTINENTES
ARCHITECTURE SIMPLE ET LINÉAIRE	
DIMENSIONS STANDARDS ET RÉGULIÈRES	
STRUCTURE GÉNÉRALE STRUCTURELLEMENT INDÉPENDANTE DES FAÇADES	
SOLUTIONS PRÉ ASSEMBLÉES	
SOLUTIONS DE REVÊTEMENT EXTÉRIEUR DÉMONTABLES	
ISOLATION DÉMONTABLE	
ASSEMBLAGES DÉMONTABLES (À LA STRUCTURE, ENTRE PANNEAUX, ENTRE LES COMPOSANTS)	
RESPECT DES THÉORIES DES « COUCHES », DE « DÉCOMPOSITION FONCTIONNELLE » ET DE « CLUSTÉRISATION »	
ÉLÉMENTS À TAILLE HUMAINE OU GRANDS PANNEAUX	
INDÉPENDANCE DES ÉLÉMENTS EN SAILLIE	
PRÉVOIR ET DOCUMENTER LA LOGISTIQUE DE DÉPOSE	
DISPOSITIFS D'ACCROCHE ET DE LEVAGE	
SÉCURITÉ DES PERSONNES	

Grilles de suivi des principes de conception pour la démontabilité

4. ASSEMBLAGES

SUJET	SYNTHÈSE DES CHOIX DE CONCEPTION, INFORMATIONS PERTINENTES
ASSEMBLAGES MÉCANIQUES	
COMPOSANTS D'ASSEMBLAGES ROBUSTES	
MATÉRIAUX DES COMPOSANTS D'ASSEMBLAGES SELON SOLlicitATIONS	
ÉLÉMENTS DE CONNEXION STANDARDS	
ASSEMBLAGES VISIBLES ET ACCESSIBLES	
TOLÉRANCES APPROPRIÉES	
RÉDUCTION DU NOMBRE DE CONNEXIONS	
NOTIONS THÉORIQUES DE HIÉRARCHISATION, D'ÉLÉMENT DE BASE, DE SÉQUENÇAGE ET D'INTERFACE DES ASSEMBLAGES	
HOMOGENÉITÉ DES ASSEMBLAGES	
INDICATION DES OUTILS DE DÉMONTAGE (DANS DOCUMENTATION ET SUR LES ASSEMBLAGES)	
ÉLÉMENTS FACILITANT LA MANUTENTION	
DOCUMENTATION SUR LES ASSEMBLAGES	

Grilles de suivi des principes de conception pour la démontabilité

5. MATÉRIAUX

SUJET	SYNTHÈSE DES CHOIX DE CONCEPTION, INFORMATIONS PERTINENTES
MATÉRIAUX NOBLES ET DE QUALITÉ	
MATÉRIAUX ROBUSTES, RÉSISTANTS À LEUR ENVIRONNEMENT IMMÉDIAT	
MATÉRIAUX RECYCLABLES	
LIMITER LE NOMBRE DE MATÉRIAUX DIFFÉRENTS	
MATÉRIAUX INDÉFORMABLES	
MATÉRIAUX AUX FINITIONS INTRINSÈQUES	
PAS DE MATÉRIAUX LIQUIDES, COULÉS, VRAC	
JOINTS SECS OU AJOURÉS	
DOCUMENTATION SUR LES PRODUITS INSTALLÉS	

6. ÉQUIPEMENTS

SUJET	SYNTHÈSE DES CHOIX DE CONCEPTION, INFORMATIONS PERTINENTES
FRUGALITÉ ET LE BIOCLIMATISME (RÉDUCTION DU BESOIN EN ÉQUIPEMENTS)	
SÉPARATION DES SYSTÈMES	
DÉSOLIDARISATION DES SYSTÈMES DES ÉLÉMENTS DE PAROIS	
RÉDUCTION DU NOMBRE DE CONNEXIONS	
RÉSEAUX APPARENTS	
SYSTÈMES DE RACCORDEMENT « PLUG AND PLAY ».	
IDENTIFICATION DES DIFFÉRENTES GAINES ET RÉSEAUX	
BLOCS D'ÉQUIPEMENTS TECHNIQUES PRÉASSEMBLÉS	

Grilles de suivi des principes de conception pour la démontabilité

7. DOCUMENTATION ET REPÉRAGE

SUJET	SYNTHÈSE DES CHOIX DE CONCEPTION, INFORMATIONS PERTINENTES
BIM ET DES OUTILS NUMÉRIQUES COLLABORATIFS	
DISPONIBILITÉ DES INFORMATIONS TECHNIQUES DÉTAILLÉES SUR LES PRODUITS, MATÉRIAUX, ÉLÉMENTS.	
IDENTIFICATION PERMANENTE DES PRODUITS	
ETIQUETAGE DES CONNEXIONS ET IDENTIFICATION DES POINTS CLÉS DE DÉMONTAGE	
PLAN DE RECOLLEMENT	
PLAN DE DÉCONSTRUCTION DÉTAILLÉ	
MANUELS DE DÉMONTAGE	
RESPONSABILITÉ DES DONNÉES (À LA MOA) ET RÈGLES DE MISES À JOUR	



FONDATION
BÂTIMENT
ÉNERGIE