



FONDATION
BÂTIMENT
ÉNERGIE

Atelier

Économie Circulaire dans le Bâtiment

ÉCONOMIE CIRCULAIRE
DES BÂTIMENTS

Capitalisation de la donnée

ÉCONOMIE CIRCULAIRE
DES BÂTIMENTS

Guide d'aide à la conception pour des bâtiments transformables et réversibles

ÉCONOMIE CIRCULAIRE
DES BÂTIMENTS

Guide d'aide à la conception pour la démontabilité

ÉCONOMIE CIRCULAIRE
DES BÂTIMENTS

Contexte local Allongement du cycle de la matière

ÉCONOMIE CIRCULAIRE
DES BÂTIMENTS

Évaluation des performances en vue d'un réemploi

www.batiment-energie.org

Synthèse des recherches

Fondation créée à l'initiative de l'ADEME et du CSTB.

Soutenue par :



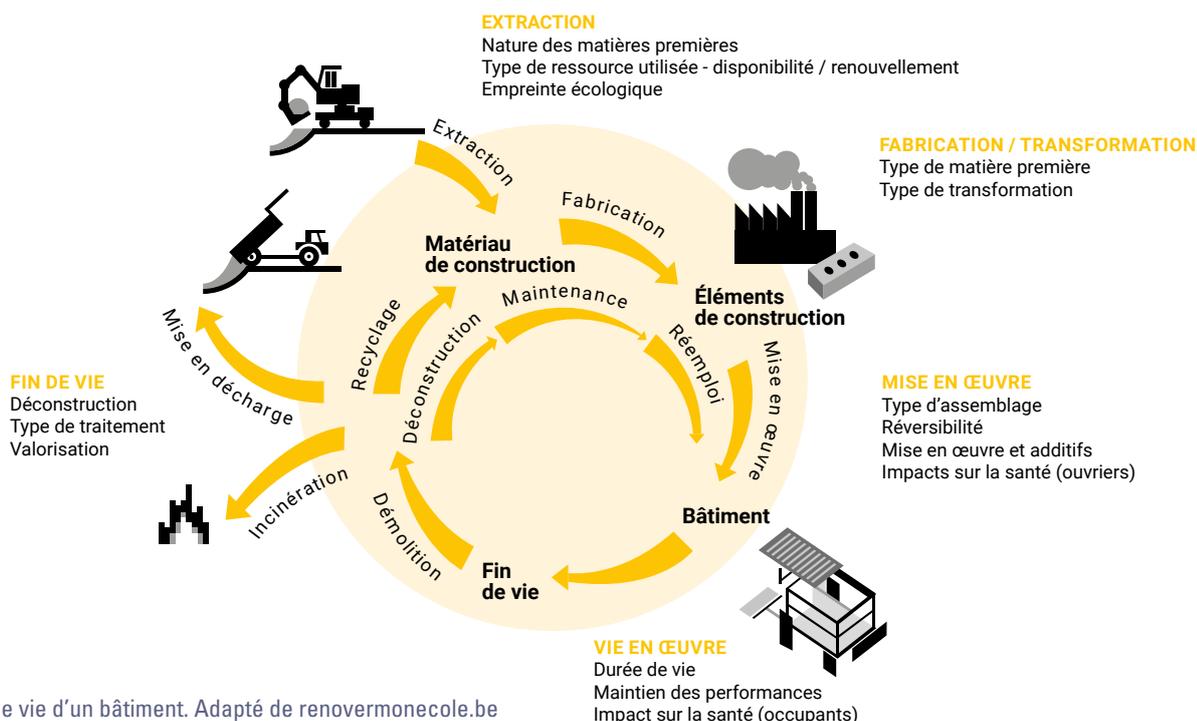
Contexte de la recherche

La Fondation Bâtiment-Énergie a soutenu 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 articule un « groupe recherche », qui a vocation à développer de nouvelles méthodes ou de nouveaux outils, à un « groupe utilisateurs », qui a vocation à apporter un retour de terrain sur l'applicabilité et l'opérationnalité des connaissances développées.

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.



Cycle de vie d'un bâtiment. Adapté de renovermonecole.be

Coordination générale de l'atelier CSTB

Participants du groupe « **Recherche** » de l'enjeu sur le réemploi

| | | | | | | | |
|----------------|-------------|--------------|-----------------|----------------|--------------------|-----------------------|---------------------|
| AETIC | BRGM | CTICM | CYCLE UP | FCBA | IFPEB | NOBATEK INEF 4 | QUALICONSULT |
| ARTELIA | CSTB | CTMNC | CYCLANN | FEDEREC | CARNOT MECD | SETEC | |

Participants du groupe « **Utilisateurs** » de l'enjeu sur le réemploi

| | | | |
|--------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------|
| Alliance HQE-GBC | Cerqual | EPA Marne | Sinteo |
| Alto Ingénierie | Certivea | Gecina | SNEF |
| AQC | Circolab | Grenoble Alpes Métropole | St Gobain |
| Artelia | CSTB | IFPEB | Terrell |
| Bellastock | Cycle Up | Nantes Métropole Aménagement | UFME |
| BNP Paribas Real Estate | Doyère Démolition | Raedificare | VLA Architecture |
| BRE | Eiffage | ReaVie | |
| Bruxelles Environnement | Est Ensemble | Rotor | |

Edito

Un nouvelle ère pour le bâtiment

Le secteur du bâtiment est à la fois un très gros producteur de déchets – environ 46 millions de tonnes, soit 50% de plus que l'ensemble des déchets ménagers, un gros consommateur de ressources, un large contributeur aux émissions de gaz à effets de serre -environ un quart des émissions nationales-, et un important pourvoyeur d'emplois. L'économie circulaire s'impose comme une évidence pour résorber cette crise. L'augmentation des prix actuelle et les difficultés d'approvisionnements en matières premières renforcent l'urgence de cette transformation. De nombreuses expérimentations et opérations pionnières ont démontré la pertinence de cette perspective.

Pour changer d'échelle, les recherches menées par la Fondation Énergie Bâtiment ont porté sur cinq leviers critiques du déploiement de l'économie circulaire :

[Enjeu A] Le développement des pratiques de réemploi permet, de toute évidence, de diminuer les extractions de ressources, de limiter la production de déchets et de réduire les émissions de gaz à effet de serre associées aux activités du bâtiment, tout en contribuant à la création d'emploi. Quelles méthodologies permettent de fiabiliser les performances et de maximiser le potentiel de réemploi des matériaux ? À quel moment faut-il intervenir ? Comment proposer des méthodes génériques pour sortir de l'analyse chantier par chantier ?

[Enjeu B] L'approvisionnement en ressources locales et la réduction des distances parcourues par les matériaux peut contribuer à améliorer les performances environnementales de la construction et à activer les ressources du territoire. Comment identifier les ressources présentes sur mon territoire ? Comment les mobiliser ? Comment déployer des solutions adaptées à chaque type de matériau ?

L'allongement de la durée de vie de la matière est un levier de réduction d'émissions et un levier de conservation des ressources. La recherche a porté sur les méthodes de calcul qui permettent d'apprécier au mieux les impacts environnementaux associés à l'allongement de la durée de vie, à l'échelle ouvrage par la rénovation, à l'échelle produit par le réemploi. Comment alors tenir compte des impacts résiduels du cycle précédent ou de la fin de vie des produits déposés ? Quelle durée pour le prochain cycle ?

[Enjeu C] Agir sur la réversibilité et la transformation d'usage des bâtiments permet d'éviter des flux considérables de matières. Changer la destination d'un bâtiment, c'est éviter à la fois la destruction du bâtiment dont l'usage n'est plus souhaité, mais aussi éviter la consommation de matières nécessaires à la construction du bâtiment dont l'usage est désiré. En pratique, il ne s'agit pas seulement de pouvoir démonter tout ou partie d'un bâtiment, mais de prévoir plusieurs scénarios d'usage sur un même bâtiment, anticipant l'application de différentes normes de circulation, de sécurité ou d'accès à la lumière. Comment caractériser les potentiels de réversibilité ? Comment les intégrer aux différentes étapes de conception ?

[Enjeu D] La conception pour la démontabilité s'applique à tout type de bâtiment, et fait partie d'une démarche globale, dont les ambitions et 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). Quels concepts adopter ? Comment l'intégrer aux différentes étapes du projet ? Quels exemples ?

[Enjeu E] La recherche sur la capitalisation de la donnée montre l'ampleur du défi que représente cette « architecture de l'information ». En économie circulaire, un matériau est destiné à avoir plusieurs vies, à être employé dans plusieurs bâtiments, sous diverses formes, pour des usages multiples, puis à être recyclé. Chaque changement de phase de la vie du matériau est conditionné par les informations qui seront disponibles, qualifiant ses dimensions, sa nature, sa résistance, ses propriétés mécaniques etc. Ces informations peuvent être perdues, ce qui est quasi systématique dans le cas des matériaux qui constituent les bâtiments les plus anciens. Quelles données sont nécessaires pour optimiser la valorisation à la fin du premier cycle ? Comment les conserver, les reconstituer et les transmettre ?

Enjeu A

Évaluation des performances en vue d'un réemploi



Évaluer la performance du réemploi, un impératif pour passer de la haute couture au prêt à porter

Le réemploi des matériaux sort de la phase expérimentale. Pour un déploiement à grande échelle, il est indispensable de maîtriser précisément les leviers qui rendent le réemploi performant et d'harmoniser les pratiques d'évaluation pour sortir de l'approche chantier par chantier. Le réemploi ne s'improvise pas, et suppose de prendre des mesures adaptées tout au long du processus, depuis l'analyse et la description du gisement de matériaux à réemployer à sa remise en œuvre, en passant par l'identification et la justification des performances attendues pour les usages futurs.

Comment décomposer les phases de ce processus ? Quels sont les facteurs de performance, à quel stade ? Comment structurer et justifier la mesure de la performance ? Quels modes de preuve sont acceptables pour les divers registres de performance ?

Enjeux

La performance du réemploi doit être évaluée et structurée pour répondre à des enjeux **juridiques, d'organisation de la filière et des responsabilités de chaque acteur, de modèles économiques. Les attentes sont donc fortes et le potentiel du réemploi dépend largement de la robustesse des méthodologies** d'évaluation de la performance.

La caractérisation des performances des produits issus du réemploi et de l'assurabilité des pratiques s'avère complexe du fait de la grande diversité des produits, matériaux et équipements et des performances à considérer ainsi que des conditions de vieillissement propres à chaque situation. De fait, il convient d'avancer par étape en se concentrant progressivement sur des familles de produits spécifiques.

Cependant, cet effort méthodologique demande de trouver un juste équilibre entre l'encadrement du risque et la rentabilité économique. L'encadrement du risque pourrait nécessiter de nombreux essais, sur de larges échantillons, donc rendre le réemploi plus coûteux ou retarder les conditions de son application.

Cette recherche permet de dégager des bonnes pratiques à partir de huit familles de produits. Les huit guides qui en résultent visent à s'extraire de l'analyse chantier par chantier et proposent une méthodologie partagée permettant de définir un mode opératoire précis de caractérisation des performances en vue d'un réemploi.

- identification des performances à justifier pour les emplois futurs ;
- hiérarchisation de ces performances en fonction de leur importance (réglementaire, sécurité des personnes, ...);
- proposition de modes de preuve permettant de justifier de ces performances

Les modes de preuve sont un point central de la démarche, qui a un impact sur les modèles économiques. Trois modes de preuve sont envisagés :

- documents historiques disponibles,
- possibilité de vérification in situ,
- échantillonnages et essais

L'objectif final est double : d'une part que ces guides soient les plus cohérents possibles avec les pratiques des acteurs déjà en place ; d'autre part, que des évolutions de ces guides puissent ensuite être reconnues par l'ensemble de la profession pour intégrer, à terme, les techniques courantes au sens de l'assurabilité.

Encadré méthodologique

Plusieurs étapes permettent de maximiser le potentiel de réemploi :

- Établissement d'une fiche réemploi lors du diagnostic réemploi (cf modèle proposé en Annexe F) ;
- Mise en perspective des informations en fonction des performances requises pour les différents domaines d'emploi (tableau 3 de l'Annexe D des différents livrables) ;
- Identification des domaines de réemploi directement possibles ou des performances complémentaires à justifier pour les autres domaines d'emploi ;
- Pour les domaines d'emploi nécessitant une justification de performances complémentaires, proposition de modes de preuve en se basant sur le tableau 2 du paragraphe 3 des livrables.

Au stade du diagnostic et après la dépose, **plus la quantité d'informations spécifiques à la phase de réemploi sera étendue, plus le champ possible de cas de réemploi sera large**. De même, plus l'identification des futurs domaines de réemploi sera anticipée, plus la collecte d'information pourra être ciblée, ce qui facilitera la justification des performances.

On bascule alors d'un focus « produit » à un focus « usage futur ». Ce sont les caractéristiques des usages futurs qui commandent de fournir telle ou telle catégorie d'informations : données réglementaires, données afférentes à la sécurité des personnes, aptitude à l'emploi et autres performances complémentaires. Les informations afférentes aux différents scénarios de réemploi ne sont alors collectées que pour les catégories de réemploi qui auront été jugées pertinentes.

In fine, les acteurs pourront décider de l'intérêt ou non d'aller vers une dépose sélective et un réemploi, en fonction :

- de la taille du gisement, de la valeur des produits réemployables ;
- de l'élargissement des domaines d'emploi permis pour chaque justification de performance complémentaire ;
- des coûts associés aux modes de preuve (ou de tout autre paramètre comme par exemple les externalités environnementales ou l'existence d'un débouché identifié).

Perspectives et applications de la recherche

Les guides développés ici constituent une première étape pour chacune des huit familles de produits ciblées, un premier pas vers une harmonisation des pratiques de réemploi dans l'objectif d'accompagner leur développement. Ils auront besoin d'être précisés ou ajustés en fonction des retours d'expérience et des modèles économiques, notamment sur les modes de preuve ou les règles d'échantillonnage.

Ces guides ont vocation à servir de source d'inspiration pour la structuration des filières de requalification et de reconditionnement.

En premier lieu, ils s'adressent aux filières concernées par le réemploi des huit familles de produits visées ici : elles pourront se les approprier et poursuivre la voie vers la reconnaissance en techniques courantes.

Les autres filières pourront également s'en inspirer pour soutenir le développement de nouveaux guides, afin d'élargir progressivement le champ des possibles et le périmètre des composants d'ouvrage disposants de guides reconnus.

Cette méthodologie peut ainsi servir de base pour répartir les rôles et les responsabilités des différents acteurs (qui pourront varier d'un cas de figure à un autre : chantier à chantier, transit par un tiers-lieu de reconditionnement, AMO réemploi, ...).

Le monde de la recherche et de l'évaluation technique pourra également s'en inspirer pour questionner les modes de preuves, qui reposent actuellement en grande partie sur la réalisation d'essais de caractérisation. Une amélioration des connaissances sur le vieillissement ou un développement des moyens de contrôles portatifs pourraient à terme limiter le coût de caractérisation des performances et favoriser les modèles économiques.

Enfin, ces guides pourront nourrir le développement de la capitalisation des informations, en identifiant les données importantes à conserver pour justifier d'un réemploi futur. En ce sens, ils pourront aider à structurer de nouvelles bases de données sur la traçabilité des produits et servir de source d'inspiration pour les fabricants soucieux de développer leurs pratiques d'écoconception.

Enjeu B

Caractérisation du contexte local et les méthodologies d'analyse de l'allongement du cycle de la matière



Mieux vaut être proche et durer longtemps...

Ces notions semblent établies et faire consensus, mais il est nécessaire de clarifier les concepts. Que veut dire contexte local lorsque les matières ont des zones d'approvisionnement très diverses ? Quelles sont les méthodologies mises en œuvre pour intégrer la gestion des ressources ? Quelles conséquences sur le phasage de l'opération, sachant que cette problématique doit être anticipée au plus tôt ? Sur quelles méthodologies se baser pour évaluer une opération de construction ou d'aménagement ? À quelle échelle peut-on réaliser l'étude ?

Allonger la durée de vie de la matière pose d'abord une question d'échelle : allonger la durée de vie des produits (réemploi) ou de l'ouvrage (rénovation) ? Comment tenir compte de l'existant ? Comment tenir compte des produits déposés en rénovation ? Comment aborder le cycle futur et sa durée de vie ?

Enjeu de la circulation de la matière

Le gisement des ressources se situe à la fois en amont de la chaîne de circulation des matières de la construction - extraction de ressources naturelles, production de matériaux- et en aval -utilisation, gestion de déchets, dont une partie pourra être extraite sous forme de ressources secondaires. Chaque étape de circulation des matières est une source d'impacts environnementaux et il faut ici éviter de « déshabiller Paul pour habiller Jacques » en réduisant l'impact sur une variable (la consommation d'énergie induite par le transport) tout en augmentant l'impact sur une autre (l'artificialisation d'un sol ou la biodiversité par exemple).

En particulier, la valorisation de ressources secondaires peut perdre son intérêt si l'usage final est trop éloigné. Les enjeux sont non seulement techniques ou organisationnels, mais aussi spatiaux, socio-économiques, réglementaires et assurantiels. L'exemple des ardoises montre que la distance parcourue est en partie due à la fragmentation du nombre de chantiers, qui ne parviennent pas à agréger un signal de marché suffisant pour ré-ouvrir les carrières françaises. Tout ceci pose une question de partage de l'information et de méthodes collaboratives / de coopération, réunissant les acteurs du secteur.

Les principales questions à traiter sont : quelles sont les filières locales, quels sont les flux des matériaux de construction et des déchets du BTP dans le territoire, comment les identifier et les mobiliser, et quelle est l'origine des matériaux consommés et leur poids dans l'opération finale ?

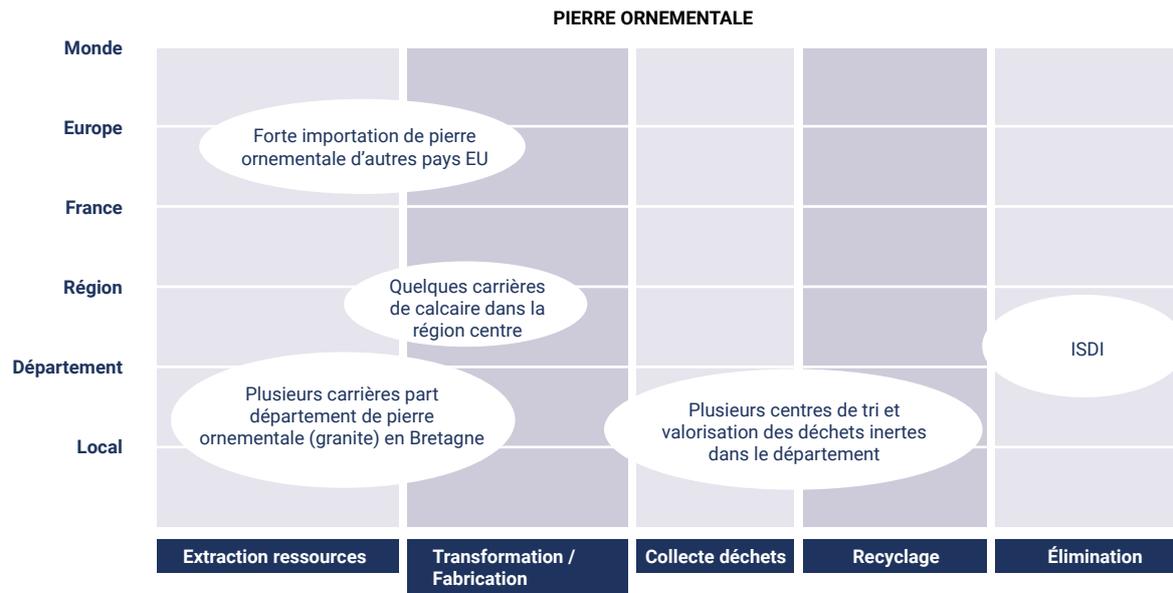
Enjeu de la durée de vie de la matière

À l'échelle du composant d'ouvrage (réemploi) ou d'un ouvrage (rénovation), la prise en compte des impacts associés aux éléments conservés soulève de nombreuses questions. Si un composant d'ouvrage peut encore servir, il faut alors évaluer sa durée de seconde vie, qui peut être différente de la durée de vie de référence. Mais comment qualifier la durée de vie résiduelle ? S'agit-il d'une durée de vie qualifiée ex-ante, sur la base de calculs de résistance de matériaux, d'une durée conventionnelle, ou d'une durée empirique, fondée sur le nombre de cycles de réemploi, en intégrant les éventuels déclassements d'usage ?

Par ailleurs, au-delà du calcul des impacts des éléments conservés, comment prendre en compte les impacts des éléments déposés ? Faut-il considérer une fin de vie conventionnelle, ou préciser finement leur devenir ? Également, et c'est un des points principaux, comment tenir compte de la première durée de vie ? Faut-il ne pas en tenir compte ? Faut-il intégrer une notion d'amortissement, qui défavoriserait les déposes trop rapides en leur attribuant une partie des impacts du produit initial ? Et dans ce cas, sur quels éléments factuels s'appuyer pour analyser le « reste-à-vivre » perdu des éléments déposés ?

Encadré méthodologique

Contexte local : le contexte local s'analyse différemment, de la planification, à la programmation, la conception, au suivi du chantier. L'impact varie grandement en fonction de la nature des matériaux (souvent déterminée par la répartition spatiale des sites de production, plus que par la répartition des gisements eux-mêmes). Le livrable s'est notamment attaché à caractériser la notion de local en fonction des différentes filières, et à proposer des éléments de méthode et d'indicateurs en fonction de l'état d'avancement du projet.



Exemple de la caractérisation de la notion de local pour une filière (ici pierre ornementale).

Allongement de la durée de vie : les principales questions méthodologiques identifiées sont : le scénario de fin de vie à considérer, la prise en compte ou non de l'amortissement, le niveau de simplicité de la méthode. Pour y apporter un éclairage structuré, la recherche a porté sur la comparaison de trois méthodes à l'échelle ouvrage et de quatre méthodes à l'échelle du composant d'ouvrage. Ces méthodes ont été testées sur quatre projets (deux à l'échelle de l'ouvrage, deux à l'échelle du composant d'ouvrage).

| | | | | |
|------------------------------|---|---|--|---|
| Différents éléments : |  |  |  |  |
| | Ce qu'on conserve à t=0 | Ce qu'on démolit à t=0 | Ce qu'on ajoute à t=0 + renouvellement | Ce qu'on démolit en Fin De Vie de la partie conservée à t=0 |
| Méthodes : | | | | |
| A | 0 (réemploi) | 0 si amorti ou réemployé | <i>Idem neufs</i> | 0 |
| B | 0 (si amorti) | 0 si amorti ou réemployé | <i>Idem neufs</i> | 0 si amorti |
| C | Vie en œuvre restante | FDV déchets | <i>Idem neufs</i> | FDV déchets |

Jeu d'hypothèses retenues pour les trois scénarios d'évaluation d'impact des Produits de Construction et Équipements en rénovation

Perspectives et applications de la recherche

Plusieurs leviers pour agir sur la réduction des distances parcourues par les matériaux :

- L'étude de la disponibilité des ressources et des capacités de production, différenciée tout au long des étapes de la chaîne de valeur, mériterait d'être généralisée.
- Agir en amont (dès la planification de l'extraction et de la gestion des ressources primaires et secondaires, à l'échelle régionale) permet de dégager une marge de manœuvre supplémentaire en matière de stratégies de valorisation de la matière et de réduction des impacts.
- Les collectivités jouent un rôle direct via l'articulation de leur planification urbaine avec la planification des stocks et flux de matières (cf Vienne, Autriche), mais aussi via leur gestion des infrastructures (de production, de tri, de valorisation), sur lesquelles elles peuvent mobiliser des investissements et du foncier. L'amélioration de la planification des ressources et l'analyse d'impacts sur les besoins de développement des filières est un levier important pour renforcer l'optimisation de la gestion de la matière ;

La qualité et les modalités d'échange d'informations à l'échelle territoriale sont des axes majeurs d'innovation et d'investissement, pour l'ensemble des acteurs de la filière. Il ne s'agit pas d'un enjeu relevant d'un seul acteur, mais d'une problématique partagée, qui dépasse de loin le cadre du BIM (et fait écho à la recherche E).

Plusieurs indicateurs de progrès sont possibles :

- Plusieurs indicateurs de performance d'usage des matériaux permettent de mesurer diverses phases du cycle de la matière : la « ressource primaire évitée », le ratio entre production de déchets et consommation de matériaux, la part de la consommation de matériaux couverte par des matériaux secondaires, voire la caractérisation des flux évités ou la part de l'espace bâti conservée, ...
- L'indicateur de l'intensité de transport permettra de prendre en compte le contexte local. Le développement de Fiches de Déclaration Environnementales et Sanitaires (FDES) adaptées au contexte local peut également être une voie pour mieux tenir compte des caractéristiques spécifiques des territoires.

Les différentes méthodes détaillées dans cette recherche doivent être sélectionnées en fonction de leur pertinence, au vu des attentes spécifiques des études qui seront menées : s'agit-il de comparer deux scénarios de rénovation ? de gérer un parc immobilier par une approche environnementale (qui nécessite donc une prise en compte de l'amortissement), ou d'évaluer l'impact environnemental d'une solution de manière la plus précise possible, ou d'assurer l'impact environnemental d'une opération dans le temps...

Enfin, les approches méthodologiques analysées ici sont un pas de plus en direction du développement de méthodes reconnues et partagées sur la prise en compte des impacts environnementaux du réemploi et de la rénovation :

- **Adapter les méthodes pour permettre de réaliser simplement une étude de comptabilité des flux et stocks de matière est un besoin important.**
- **La planification locale ou territoriale, en amont pourra se révéler être le levier à impact maximal.**

Ce chantier méthodologique souligne à quel point nous manquons encore de données de référence et d'informations fiables sur les durées de vie réelles dans le bâtiment, et à quel point l'enjeu de la capitalisation de la donnée est capital (cf enjeu E).

Enjeu C

Conception pour des bâtiments transformables et réversibles



Transformable et réversible pour anticiper des incertitudes et des évolutions de plus en plus rapides

Changer la destination d'un immeuble de bureau en habitation, et vice versa, c'est monnaie courante à Paris, dans l'Haussmannien. Quelle est la marche à suivre dans le neuf ? À quel moment la future réversibilité d'usage se joue-t-elle ? Quels paramètres prendre en compte ? Quelles sont les options de transformation ? Quelles sont les solutions ? En outre, comment réconcilier le bénéfice de la réversibilité (qui revient au futur vendeur) et son coût (qui incombe au promoteur, au constructeur ou à l'aménageur) ? L'étude s'est focalisée sur trois cas : surélévation, extension d'emprise, conversion (entre bureaux et logements, et dans une moindre mesure stationnements et commerces en pied d'immeuble).

Enjeux

"La répétition c'est le crime, la diversité entraîne la créativité, la répétition l'anesthésie"

"L'avenir est impossible à prévoir : faisons du parfaitement transformable techniquement et socialement"

Lucien KROLL architecte

Ici, la recherche porte plus spécifiquement sur la réversibilité, en gardant à l'esprit **qu'un bâtiment ne se réduit pas à un assemblage plus ou moins complexe de systèmes** ou de produits. En effet, passer d'une occupation de bureaux à une occupation de logements ou vice versa, c'est changer de registre de référentiels constructifs et des besoins, donc changer les ouvertures, les circulations, le renouvellement de l'air... Pour les parties non conservées, la démontabilité simplifie, par nature, une meilleure valorisation de la matière (cf. Enjeu D).

Les principales familles de transformation sont l'**extension horizontale et verticale** (qui permettent d'optimiser l'usage du foncier), et le **changement d'usage** (qui s'annonce massive pour les bureaux, à l'aune de l'évolution brutale des façons de travailler imposée par la COVID-19). Les **chantiers de changement d'usage ne sont pas universellement pertinents** : la surélévation est d'autant plus pertinente financièrement que le bâtiment est dans une zone « tendue » (IDF et grandes villes françaises). Le contexte local conduit même à devoir prendre en compte l'analyse du fonctionnement urbanistique et de la perception architecturale, via une reconstitution de l'histoire du site.

C'est au final une matrice d'aide à la décision qui va synthétiser l'ensemble de ces variables et qui pourra répondre aux objectifs d'un promoteur (les qualités d'évolution du bien sont un argument de vente) aussi bien qu'à ceux d'un investisseur (qui se prémunira du risque d'obsolescence), d'un propriétaire occupant (qui anticipe ses besoins futurs) ou d'un bailleur (dont la satisfaction des locataires pérennise un bon taux d'occupation).

La recherche recommande en outre des solutions architecturales et techniques, dès la phase de conception.

- **Au stade de l'esquisse**, une hauteur standard de 2,70m et une épaisseur de bâti de 12 à 14m permettent au bâtiment d'être ventilé et d'accéder à la lumière naturelle quelle que soit sa destination.
- **L'avant-projet sommaire** privilégiera des concepts structurels de type plancher-dalle, poteaux aléatoires sans retombées de poutres, cloisons mobiles ou démontables, des géométries d'enveloppes qui anticipent des interventions futures pour actualiser leurs performances, des objets constituant les parois intérieures positionnées en suivant la réglementation ERP.
- **L'avant-projet définitif** assurera les conditions de faisabilité des différentes familles de transformation, lors des dimensionnements de structures ou de fondations, mais aussi des choix de matériaux pour les enveloppes, de manière à minimiser la part de matière qui devra être modifiée en cas de changement d'usage. C'est surtout l'étape des arbitrages entre coûts d'investissements, d'exploitation et de maintenance d'une part et coûts de réversibilité d'autre part.
- **Enfin, c'est lors du projet de conception générale** que se définissent les prestations conformes aux principes précédents, via la rédaction des Cahiers des Clauses Techniques et Particulières (CCTP).

Encadré méthodologique

- **Structure** : l'objectif est d'éviter d'intervenir sur la structure, ce qui suppose d'anticiper les reports de charge en cas de surélévation, ou de pouvoir escamoter des façades en cas d'extension horizontale. La structure poteaux-poutres avec de grandes surfaces portées est versatile, tandis que la concentration des circulations dans un noyau central participant au contreventement répond à tout cas de figure.
- **Façades** : l'objectif est de faciliter le démontage, intégral si elles ne sont pas porteuses, partiel si elles le sont, de manière à minimiser la quantité de matière mobilisée lors du changement d'usage. Les évolutions en termes de réseaux, d'éléments supplémentaires de type ombrières doivent non seulement être prévues sur le plan des accroches mais aussi anticiper les incidences réglementaires (incendie...)
- **Circulations** : au-delà de l'option du noyau central en contreventement, les circulations extérieures offrent l'avantage de la flexibilité d'usage et deviennent des espaces à part entière, à forte valeur architecturale.
- **Cloisonnement** : l'objectif est de faciliter le démontage, jusqu'aux jointures, reports de charge ou aux cheminements des fluides.
- **Équipements et réseaux** : si le maître mot est l'anticipation, des solutions techniques comme l'évacuation des eaux usées sous vide permettent de s'affranchir des contraintes de positionnement guidées par le système gravitaire. Les choix concernant les courants forts / faibles sont autant liés à des facteurs d'esthétique que de hauteur de niveaux (dans le cas de faux-planchers). Les ascenseurs doivent être dimensionnés pour le cas le plus défavorable prévu sur le bâtiment réversible. Pour la CVC (Chauffage, Ventilation, Climatisation), une option locale simplifie la réversibilité, tandis qu'une option centralisée imposera des choix en matière de faux plafond et de hauteur d'étages.
- **Réglementations** : pour la sécurité incendie, l'objectif est de pouvoir respecter deux normes, pour les bureaux et pour les logements, qui coexistent sans être réconciliables. La prise en compte des deux options doit intervenir le plus tôt possible dans le processus de conception, en encadrant le champ des possibles par des choix de programmation. Par ailleurs, la marge de manœuvre est réduite et une adhérence stricte aux protocoles ERP, ERT, Habitation doit être suivie, avec un avantage donné aux balcons filants pour le volet C+D. Pour le volet acoustique, les contraintes réglementaires vont être plus ou moins fortes en fonction du type de bâtiment et des opérations de transformation envisagées, les usages d'habitation étant les plus contraints. Le volet PMR ne fait pas l'objet de mutations profondes d'un usage à l'autre. Sur le plan parasismique, la conception architecturale joue un rôle aussi important que l'application des règles parasismiques. La symétrie selon deux axes en plan ou l'isolation parasismique sont deux facteurs de résistance aux séismes.
- **Considérations économiques** : un compromis de hauteur d'étage la plus faible acceptable doit permettre de conserver une hauteur sous plafond de 2,70m ; l'anticipation de la réversibilité permet de limiter les surcoûts de rénovation et changement d'usage (800€/m² ou 30% de l'investissement initial pour deux opérations considérées). Les rares retours d'expérience tendent à indiquer que, sur une durée de vie de 50 ans, qui est celle prise en compte dans la future RE2020, si la probabilité de changement d'usage est supérieure à 5 à 10% (cas fréquent en milieu urbain dense), alors la réversibilité est rentable sur le long terme. Reste ensuite à répartir les surcoûts initiaux et les gains futurs entre les différents propriétaires le long du cycle de vie.

Perspectives d'application de la recherche

L'étude montre qu'il est aujourd'hui pertinent de penser la **mutation de la filière du bâtiment vers une filière de services autour des espaces, pluriels, évolutifs, multi-usages, dans une économie calculée en coût global**.

A cette aune, un projet immobilier pourra alors s'évaluer en fonction de son potentiel de transformabilité, ce qui invite à s'interroger sur les indicateurs, l'écosystème de la notation, l'incertitude de pouvoir réduire l'ensemble des variables à une simple note de cotation, et amène à prolonger la réflexion avec les certificateurs et l'ensemble des acteurs du secteur. **Dans un nombre croissant de cas, la transformabilité est amenée à devenir un prérequis, voire une exigence**. La matrice d'aide à la décision constitue une première base vers une objectivation du potentiel de réversibilité.

La **bibliographie** fournie en annexe est précieuse, elle livre quantité de références d'opérations réversibles, en France comme à l'étranger. Le lecteur est invité à l'explorer !

| CATÉGORIE | PRINCIPE (issu de la norme française NF ISO 20887:2020) | COMMENTAIRE | EXEMPLES |
|----------------------------|---|--|--|
| PRINCIPES D'ADAPTABILITÉ | Polyvalence | De l'ordre de la flexibilité, pas directement traitée dans ce guide | <ul style="list-style-type: none"> • Pour un bâtiment industriel, prévoir la même hauteur pour le process et le stockage permet de prévoir le changement de disposition des postes process et de stockage voire la transformation en plateforme logistique |
| | Convertibilité | Équivalent à transformation avec changement d'usage | <ul style="list-style-type: none"> • Prévoir une hauteur suffisante à tous les étages de façon à pouvoir diversifier les usages. • Capacité de la structure porteuse (y compris dalle de sol) à accommoder des changements de fonctions. • Prévoir des dimensions de fenêtre suffisantes pour permettre un accès de lumière naturelle suffisant lors des différentes occupations. • Les parois de séparation et les équipements techniques peuvent être adaptés sans endommager la structure. • Le positionnement des gaines techniques verticales et horizontales permet une adaptation de l'espace pour répondre à plusieurs fonctions. • La structure porteuse et les équipements techniques ont la capacité de soutenir un changement de fonction. |
| | Capacité d'extension | Extension horizontale ou verticale | <ul style="list-style-type: none"> • Implanter le bâtiment sur la parcelle en prévoyant son extension latérale sans impacter l'activité. • Dimensionnement des fondations et de la structure en prévision d'une surélévation |
| PRINCIPES DE DÉMONTABILITÉ | Normalisation | Terme que l'on traduira plutôt par Standardisation. Pertinent pour la transformabilité | <ul style="list-style-type: none"> • Limiter les types de fixations pour utiliser le moins d'outils différents • Uniformiser le type de sources lumineuses : ampoules, tubes fluos, rubans LED, etc. |
| | Facilité d'accès aux composants et services | Pertinent pour la transformabilité | <ul style="list-style-type: none"> • Éviter les réseaux encastrés, notamment coulés dans les planchers • Prévoir des faux-plafonds ou faux-planchers démontables et un accès aisé aux gaines techniques |
| | Sécurité du démontage | idem | <ul style="list-style-type: none"> • Prévoir les accès et la manutention des composants sans risques pour les ouvriers |
| | Simplicité | idem | <ul style="list-style-type: none"> • Facilité de compréhension des fixations et assemblages, clarté des modalités de démontage, savoir-faire courant • Nombre d'éléments et d'outils limités, rapidité du démontage |
| | Soutien des modèles économiques prenant en compte le réemploi (économie circulaire) | idem | <ul style="list-style-type: none"> • Favoriser les assemblages qui n'altèrent pas les parties assemblées lors du démontage, afin de pouvoir les valoriser au mieux |
| | Indépendance / connexions réversibles | idem | <ul style="list-style-type: none"> • Pouvoir démonter et changer les éléments de second-œuvre sans impacter ou devoir modifier les éléments structurels • Prévoir des modes d'assemblage qui permettent le démontage et le remontage sans les endommager (par ex. tolérances dimensionnelles ou renforts) |
| | Éviter les traitements et finitions inutiles | Peu pertinent pour l'adaptabilité | <ul style="list-style-type: none"> • Ils ou elles peuvent compliquer les travaux de transformation et limiter le recyclage des matériaux |

Principes d'adaptabilité et de démontabilité issus de la norme NF ISO 20887:2020 et illustration par des exemples

Enjeu D

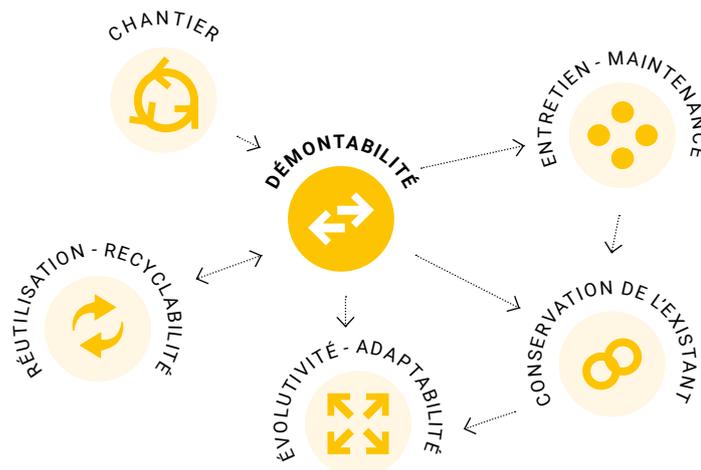
Conception pour la démontabilité



Pas de quoi se laisser démonter ? Au contraire !

La démontabilité peut être la pierre angulaire d'une démarche visant la sobriété déchets : elle optimise la phase chantier, elle rend un bâtiment plus facilement évolutif (changements d'usages par la démontabilité du second œuvre notamment) et allonge par conséquent sa durée de vie, facilite les travaux d'entretien/maintenance, et enfin favorise les démarches de réemploi et de recyclage lors des phases futures de rénovation et de déconstruction.

Quelle est l'étendue des bénéfices de la démontabilité ? À quel stade du projet faut-il intervenir pour garantir la démontabilité du bâtiment ? Quels principes adopter dans le choix des matériaux et des systèmes constructifs ?



La Démontabilité au centre de la conception zéro déchet

Enjeux

Principaux avantages de la démontabilité

- **meilleure valorisation des déchets, produits et matériaux générés par un bâtiment** (loi AGEC), **de la consommation de ressources naturelles** (loi ELAN) **et des émissions de GES** (label E+C- et la RE2020).
- **réduction des coûts d'entretien et de maintenance** en facilitant l'accès aux éléments, leur dépose et la conservation des éléments adjacents ;
- optimisation du traitement des composants en fin de vie et une **réduction significative des déchets non valorisables** ;
- **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) ;
- **réduction des coûts de travaux de réhabilitation** en facilitant la dépose des éléments à changer ;
- **réduction des coûts liés aux adaptations/évolutions** à apporter au bâtiment, en facilitant la dépose des éléments ;
- faisabilité et rentabilité de 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 ;
- **augmentation de la valeur résiduelle** du bâtiment et de ses éléments ;

Tous les types de bâtiments ont un intérêt potentiel à la conception démontable, à commencer par les bâtiments à cycles d'usages courts ou ayant des architectures propices à la démontabilité, **comme les bâtiments de type tertiaire locatif, industriel et certains parkings. Les logements collectifs, centres commerciaux, bâtiments de santé et hôtels** peuvent également être concernés. La massification des principes de démontabilité à l'échelle de ces bâtiments est une priorité, en vue d'une extension progressive à d'autres cas de figure plus complexes.

La réduction d'impact environnemental n'est pas intrinsèquement due la démontabilité mais plutôt à ce qu'elle permet, entre autres l'adaptabilité des bâtiments (enjeu C) et le réemploi des éléments (enjeu A). La **conservation des données** (enjeu E) et la disponibilité/véracité des informations disponibles à chaque instant sur le bâtiment et ses éléments **impactent** les performances finales en termes de réemploi, recyclage, adaptabilité, et économiques à long terme. Notons que l'usage du BIM et des passeports matériaux facilitera cette conservation des données.

Encadré méthodologique

Le processus de conception définit d'abord les **lignes directrices de la démarche**, puis les **concepts généraux** liés aux formes et structures du bâtiment, puis **les cahiers des charges généraux pour les assemblages et matériaux** et enfin l'organisation et des outils à utiliser dans le processus de conception.

Viennent ensuite **les grands principes de chaque lot et les liens entre eux** (théorie des couches, décomposition fonctionnelle, interfaces d'assemblages, etc.) et le séquençage de montage/démontage. 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 solutions**. Certains principes/solutions s'avéreront être courants et de sens commun tandis que d'autres feront l'objet de conception nouvelle ou d'innovations.

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.

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.

Principes à appliquer dans la mise en œuvre de la recherche

| | |
|--|---|
| DURABILITÉ | Choisir des éléments (systèmes, composants, produits, matériaux) simples, durables, résistants, recyclables, entiers, bruts et ré-employables, permettant la conservation de l'état convenable des éléments en vue d'un réemploi ou réutilisation. |
| ACCESSIBILITÉ | Prévoir un accès aux différents éléments et services pour qu'ils puissent être démontés sans perte de temps ni impact sur les éléments adjacents (s'applique en priorité aux composants au cycle de vie le plus court ou nécessitant de l'entretien). La facilité d'accès est liée à la désolidarisation des « couches » d'un bâtiment ou des composants d'un ouvrage de construction, dont les durées de vie sont très différentes. |
| SIMPLICITÉ | Favoriser la simplicité (des formes, éléments, assemblages) et minimiser la diversité de produits pour faciliter les opérations de montage / démontage, et le réemploi. |
| NORMALISATION | Utiliser des technologies et des méthodes de construction simples et compatibles avec les pratiques communes. Des technologies de construction très spécifiques avec une application très limitée ne seront pas intéressantes lorsque le bâtiment sera démonté. |
| INDÉPENDANCE | Favoriser l'indépendance des ensembles/systèmes pour mieux les séparer lors du démontage, réduire l'impact ou les risques de dégradations sur les éléments adjacents. Prévoir des assemblages mécaniques et proscrire les assemblages chimiques |
| POLYVALENCE | Utiliser des dimensions standards pour faciliter les opérations de montage/démontage, augmenter l'intérêt du démontage en favorisant la capacité de réemploi des éléments. |
| TOLÉRANCES | Prévoir des tolérances en vue de manœuvres pendant le démontage, au-delà de celles prévues pour le processus de fabrication et les processus d'assemblage. |
| MAÎTRISE DE LA LOGISTIQUE DE DÉPOSE | Privilégier des composants manipulables avec des équipements mobiles standards, et prévoir l'usage d'équipements motorisés pour les éléments de grande taille. Documenter au maximum chaque matériau et chaque composant d'un ensemble, ainsi que les points d'assemblage et les instructions de démontage |
| SÉCURITÉ | Intégrer la sécurité des opérations de démontage dès la conception (facteur critique, conditionnant la possibilité de la déconstruction plutôt que la démolition). |

Enjeu E

Capitalisation de la donnée

→ Faire circuler la matière ? Vos papiers s'il vous plaît !

L'économie circulaire des bâtiments peut se lire comme une question de transmission et de valorisation du patrimoine bâti. Ces deux notions s'appliquent également au patrimoine informationnel : la nature et la qualité des données disponibles conditionnent les différents scénarios de valorisation de la matière (ainsi que leur valeur marchande et leur assurabilité). L'information a existé et a été perdue. La reconstituer aujourd'hui coûte cher, ce qui est un gâchis qui peut nuire aux modèles économiques des filières émergentes.

Comment caractériser les données qui ont une pertinence pour mieux valoriser en fin de premier cycle ? Comment faire mieux, en tirant parti des nouveaux moyens de capitalisation des connaissances à notre disposition ? Comment gérer les inévitables pertes de données, et comment s'organiser pour reconstituer les données manquantes ?

Enjeux

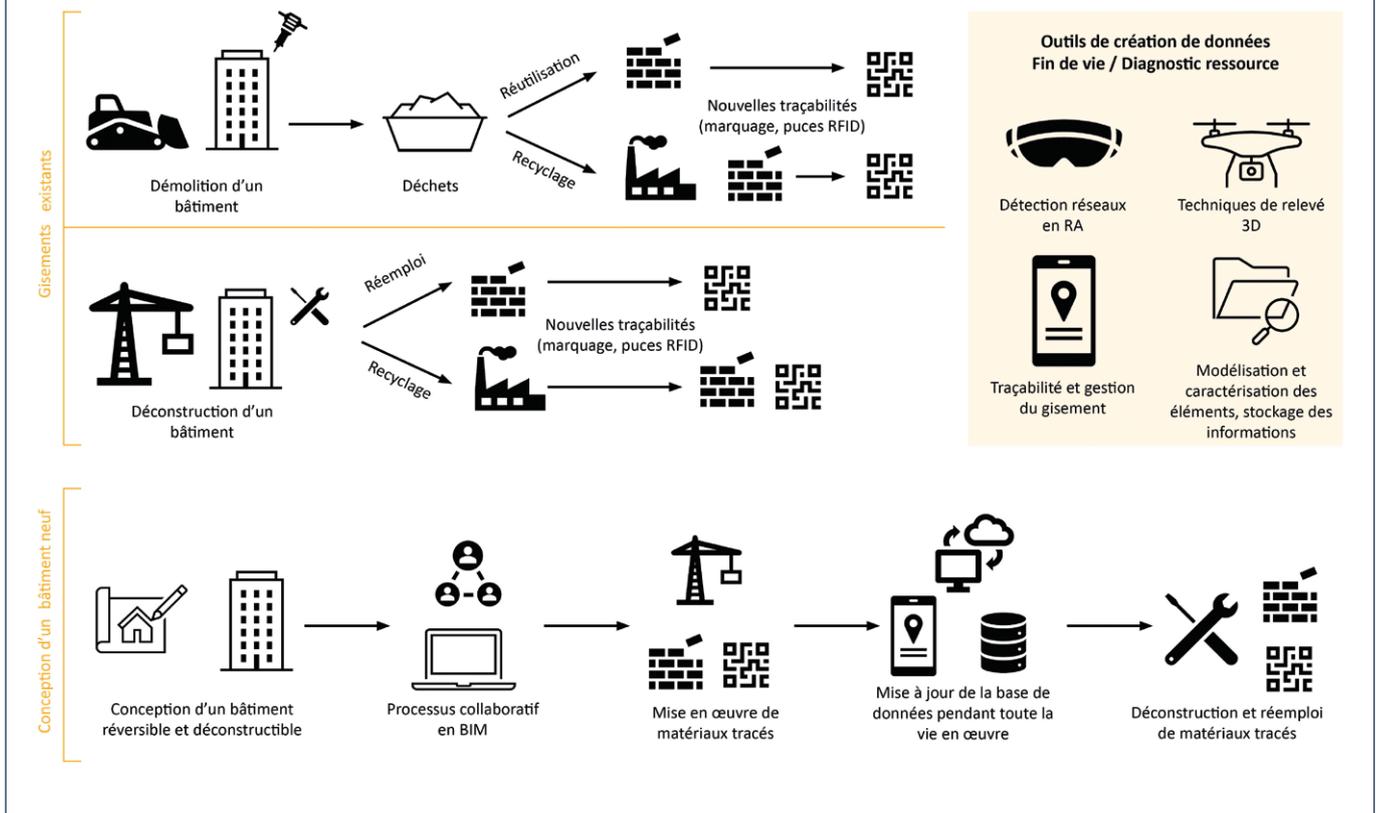
Il est indispensable de penser la traçabilité à très long terme, dans toutes ses dimensions :

- **La nature des données disponibles** : plus le bâtiment est ancien, moins les données disponibles sont précises et exploitables. Pourtant, l'identification de la nature des matériaux et produits et de leurs propriétés est un préalable indispensable à leur réemploi ou à leur valorisation. Un premier enjeu consiste à collecter les données et à structurer le processus de documentation et d'acquisition de données. Ce processus varie suivant les contextes : chantier de construction, de rénovation, de transformation d'usage, de démontage, de réemploi. Chaque phase de vie du bâtiment requiert des données de nature plus ou moins exhaustive, ce qui amène à définir des protocoles de collecte numérique, de documentation in-situ ou de recherches d'archives.
- **Le format des données** : il apparaît évident de privilégier une transmission numérique des données, notamment dans un contexte BIM. Cependant, la perspective de la conservation long terme des données interroge sur la viabilité des supports informatiques sur un temps long (100 ans ou plus), ce qui impose finalement de s'appuyer également sur d'autres formats (affichage déporté par étiquette, support papier -en précisant le lieu de stockage de l'information-, ...).
- **Les modalités d'association de la donnée aux matériaux et produits** : ici, l'enjeu consiste à « enrichir » les matériaux et produits d'une couche informationnelle, qui vise à faciliter la prise de pendant la durée de vie. L'identification par gravure, étiquette ou QR code, voire par étiquette RFID présentent toutes des avantages, limites et inconvénients. Par exemple, une étiquette permettant d'identifier une poutrelle sera perdue si elle se décolle ou si elle est recouverte de peinture ; elle a cependant l'avantage de rester lisible par l'homme, là où un QR code pourra pointer vers une URL obsolète et ne plus rien signifier. Un des leviers pratiques consiste à faire un relevé topographique des composantes du bâtiment, et à référencer la nature des composantes dans le plan. Cette approche présente cependant les mêmes limites que celles rencontrées par les échanges de données entre logiciels BIM, qui ne partagent pas systématiquement les mêmes classes de données ou les mêmes niveaux de détail sur les composants.
- **La quantité des données disponibles** : la quantité de données sont immédiatement disponibles au moment des commandes / livraisons (le fournisseur dispose des données les plus complètes sur son produit en stock ; l'acheteur spécifie les données les plus précises permettant de qualifier la demande), et, plus largement dans le contexte du chantier, où elles se fragmentent cependant entre corps de métiers, qui n'échangent pas tous sur les mêmes plateformes techniques. Ces données se complètent par des données d'usage et de maintenance, mais la conservation de « l'apex de données » ne semble pas réaliste sur le temps long.

Encadré méthodologique

« Souvent donnée varie » : un premier niveau d'hétérogénéité, propre à la nature même de la donnée. La granularité (niveau de détail de la donnée), le format, la quantité des données varient d'une situation à l'autre au cours de la durée de vie du bâtiment. Nous devons accepter qu'il s'agit d'un processus « en accordéon » : nous pourrions disposer d'un « pic de données » (granularité, format, quantité sont à leur optimum) à un moment. Mais nous devons anticiper des phases de pertes de données et donc de reconstitution de nouveaux jeux de données.

En outre, l'usage de la donnée introduit un deuxième niveau d'hétérogénéité. L'enjeu de la donnée dans le contexte de l'Économie circulaire des Bâtiments s'apparente à un problème de « *neige eskimo et de sable saharien* ». Si un niveau de données de granularité fine s'impose pour tel acteur (par ex. un opérateur de réemploi de parquets), il suffit d'un niveau bien plus générique pour un autre acteur (par ex. un électricien intervenant sur le même bâtiment que l'opérateur de réemploi de parquets). De même, l'usage de la donnée pour certification réglementaire impose un niveau de fiabilité de la donnée qui n'est pas requis pour un simple diagnostic ou lors d'une transaction immobilière.



Principes à appliquer dans la mise en œuvre de la recherche

Les éléments constitutifs d'un bâtiment doivent pouvoir être transmis à un concepteur d'un second cycle, différent du concepteur initial.

Une traçabilité infaillible doit être mise en place, en accord avec les garanties et les responsabilités prises par les différents acteurs de la chaîne. Il faut systématiser la numérisation sécurisée du DOE, contrôler sa production et la nature de l'information transmise et pouvoir le consulter au moment de la fin de vie du bâtiment avant déconstruction.

Deux stratégies peuvent être menées en parallèle pour maximiser la conservation des données :

- un archivage sécurisé à long terme chez le MOA à qui le bâtiment a été livré ;
- une transmission sécurisée du DOE à l'exploitant ou aux exploitants successifs avec mise à jour des transformations du bâtiment pendant sa vie.

L'accès aux données retraçant la composition d'un bâtiment et sa vie en œuvre permet de gagner en efficacité sur les diagnostics ressources et sur la fiabilisation du domaine d'emploi initial.

Les données à capitaliser sont a minima :

- les plans à jour ;
- le DOE ;
- les carnets d'entretiens ;
- les rapports périodiques de contrôles ;
- afin d'optimiser le futur réemploi ou recyclage, capitalisation des caractéristiques techniques, de la composition chimique (en particulier sur la présence de substances à risque), de la notice de démontabilité, ...

Doubler la sauvegarde numérique par une sauvegarde papier sécurisée est nécessaire. Ainsi, la présence sur site (dans le bâtiment même) des archives sécurise leur conservation, en évitant les déménagements lors de transfert de propriété et l'éparpillement de la donnée. **Le marquage physique des matériaux est un gain de temps pour identifier les produits et garantir la fiabilisation de leur identification. Les données liées à leur identification** peuvent alors être retrouvées facilement à la source ou par analogie. La difficulté de tenir à jour les données pour l'utilisateur est indéniable, pourtant il peut être plus chronophage de chercher les modifications réalisées non tenues à jour que de réaliser un travail de relevé.

Conclusion

L'économie circulaire dans le bâtiment représente une transformation en profondeur du secteur

L'économie circulaire dans le bâtiment ne se limite pas aux flux de matière mais s'étend à l'échelle des bâtiments : concevoir un bâtiment réversible ou adaptable, c'est limiter (voire éviter) un double flux de matériaux, ceux qui n'auront pas été démolis et ne seront pas devenus des déchets d'une part, ceux qui n'auront pas été extraits d'autre part.

C'est donc une analyse multiscalaire qui doit être menée, des plus petits composants aux systèmes intégrés, jusqu'au bâtiment, voire au lot. La performance du réemploi se mesure ainsi autant du point de vue du matériau dont on considère le potentiel d'emploi futur, que du point de vue du bâtiment, dont on analyse le gisement en fonction des différents contextes d'usage, d'une pièce à l'autre, d'un étage à l'autre.

De même, la démontabilité d'un élément dépend des choix de conception et des agencements établis à l'échelle du bâtiment, tandis que les choix structurels sur le bâtiment lui conféreront un caractère réversible ou adaptable, ouvrant alors un débouché potentiel à des matériaux issus du réemploi.

Toutes les phases de la vie d'un bâtiment sont concernées par cette mutation, en amont comme en aval de l'acte de la dépose ou de la déconstruction. Les recherches font apparaître l'importance d'une planification et d'une gestion systémique, qui anticipe les contraintes (et opportunités) sur l'ensemble du cycle de vie. Anticipation est le maître mot.

Des choix simples, dès la phase de programmation ou d'esquisse auront un impact considérable sur la durée d'emploi des matériaux, leur nature, leur origine, leur potentiel de réemploi ou de recyclage, mais aussi sur l'évolutivité et l'adaptabilité du bâtiment. Des phases critiques nécessitent une attention particulière, notamment lors du « passage de témoin » : une fin d'occupation, un changement d'usage, un transfert de propriété ou de mode de gestion du bien, la bascule du statut de matériau au statut de déchet... Cette criticité doit être anticipée, reconnue, préparée.

Toutes les professions de la filière sont concernées, depuis les géomètres jusqu'aux assureurs, en passant par les architectes, maîtres d'ouvrages, élus, ou industriels. Cette diversité de métiers souligne la nécessité d'adapter les formations en amont, pour cultiver une culture du travail d'équipe, et une capacité d'analyse systémique, anticipant les interactions entre les différents enjeux.

En outre, l'organisation des projets de construction ou de rénovation doit évoluer, notamment dans son ancrage territorial : en plus de la coordination des corps de métiers classiquement mobilisés dans la production du bâtiment, l'économie circulaire suppose une gestion territoriale des ressources, y compris en prenant en considération d'autres projets : c'est là que se joue la disponibilité d'un gisement, d'une installation de traitement, là que se joue la mutualisation entre les opérations ou là que se crée une opportunité de réemploi, devenue rentable parce que proche.

Les savoir-faire, les compétences doivent aussi être révisés, que ce soit dans les techniques d'assemblage et de montage, qui déterminent la démontabilité d'un bâtiment ou de ses composantes, ou bien dans la capacité à identifier les emplois futurs les plus pertinents pour les différentes composantes d'un bâtiment. Les fonctions de logistique, mais aussi de diagnosticiens, mesureurs, géomètres, de bureaux d'études techniques sont amenées à évoluer en profondeur. La fonction même de démolisseur est amenée à évoluer, ne serait-ce que sémantiquement, vers déconstructeur ou démonteur, pour souligner la priorité donnée à la séparation des flux et à la maximisation du potentiel de réemploi ou de recyclage des matériaux prélevés. Les techniques de démontage doivent ainsi s'adapter aux usages futurs plutôt qu'à la seule situation du chantier.

L'architecture des données évolue, elle doit notamment assurer une interopérabilité et une compatibilité des données afférentes aux matériaux intégrés dans un assemblage démontable. Elle doit assurer une continuité historique sur le temps long, et suppose du coup de disposer de moyens pour récupérer ou rétablir des jeux de données qui pourraient disparaître au cours de la vie du bâtiment, ou qui pourraient ne jamais avoir existé, dans le cas des bâtiments les plus anciens. L'économie circulaire promet de « ne pas gâcher », ce principe s'applique notamment à l'information, qui doit être considérée comme une partie essentielle du patrimoine construit, tant elle conditionne la nature et la valeur des emplois futurs d'un bâtiment ou de ses composantes.

La réglementation, les modèles économiques sont les écueils classiques qui peuvent encore trop souvent être opposés aux projets d'économie circulaire. Le calcul de rentabilité se complexifie en effet, quand l'investissement en surqualité en amont ne produit de la valeur qu'en phase de démontage ou d'adaptation du bâtiment, de nombreuses années plus tard. La valeur résiduelle des matériaux pose en outre des questions méthodologiques fines, d'évaluation de cette valeur comme l'indicateur de la performance de rénovation, qui doivent éviter d'encourager des interventions trop rapprochées dans le temps. Un matériau ou un bâtiment doivent pouvoir, quant à eux, être assurés, ce qui suppose d'en estimer les propriétés et performances. L'adaptation, voire la réversibilité d'un bâtiment conduit aussi à anticiper dès la conception les contraintes induites par les normes incendie, PMR ou d'accès à la lumière, qui varient en fonction des usages.

Enfin, c'est aussi une question d'aménagement du territoire. Le succès de l'économie circulaire dans le bâtiment dépend non seulement de la mobilisation de la profession et du secteur économique, mais aussi de décisions publiques, notamment d'aménagement. La gestion du foncier, y compris pour stocker des matériaux entre deux phases d'emploi, tout comme la densité et la proximité d'infrastructures dédiées vont déterminer le potentiel de déploiement de l'économie circulaire.

Après la recherche le développement

Les recherches menées à l'initiative de la Fondation Bâtiment-Énergie sont concluantes et apportent des résultats opérationnels, applicables dès aujourd'hui, qui invitent à poursuivre et amplifier l'effort entrepris.

C'est en effet à condition de la réussite de l'ensemble de ces chantiers de transformation que le plein potentiel de l'économie circulaire pourra être réalisé dans le bâtiment. C'est en retour à la condition de la réalisation du plein potentiel de l'économie circulaire dans le bâtiment que les performances environnementales attendues pourront être atteintes.

Vu l'extrême urgence climatique, vu la raréfaction des ressources, vu la fragilisation critique des écosystèmes dans lesquels les matériaux vierges sont prélevés, la réussite de ces chantiers apparaît d'autant plus critique et indispensable.

Les recherches menées par la Fondation Bâtiment-Énergie dessinent de nombreuses pistes concrètes, dégagent des méthodologies robustes et qualifient de nombreuses applications. Il est ici urgent de mobiliser les moyens pour en généraliser la diffusion au plus vite. La diffusion de ce guide et des conclusions des recherches nous semble devoir toucher l'ensemble des branches de la profession, constructeurs et spécialistes matériaux, mais aussi promoteurs, aménageurs et donneurs d'ordres publics.

Ces recherches montrent aussi de nombreuses zones grises, nécessitant d'importants efforts pour préciser les mesures, qualifier les variantes méthodologiques, affiner les études à l'échelle territoriale, articulant les contraintes des bâtiments à celles des infrastructures territoriales. Il est là impératif de mobiliser de nouvelles ressources, en toute priorité, pour répondre aux questions soulevées par ces recherches.

La Fondation Bâtiment-Énergie remercie l'ensemble des partenaires de cette recherche pour leur engagement pionnier, leur créativité et leur rigueur scientifique, qui rendent ces résultats d'autant plus utiles et prometteurs.

Glossaire

Adaptabilité

Aptitude à être changé ou modifié pour s'adapter à une utilisation particulière. (source : ISO/DIS 20887:2019).

Convertibilité

Capacité d'adaptation à des changements substantiels des besoins des utilisateurs par la réalisation de modifications. (source : ISO/DIS 20887:2019).

Démolition

Dépose par des méthodes destructives. (source : ISO/DIS 20887:2019).

Démontabilité

Capacité d'un bâtiment, d'un système constructif, d'un assemblage à être démontable, adapté à la déconstruction non destructive (processus pouvant, dans l'idéal être répété à l'infini).

Déclassement

Aptitude à un nouvel emploi pour un usage moindre à celui pour lequel ils avaient été conçus, donc selon des performances plus ou moins diminuées.

Domaine d'emploi (pour les besoins de ce document)

Ensemble des informations relatives à l'emploi d'un produit/procédé/équipement comprenant notamment : la localisation géographique de l'ouvrage, la typologie du bâtiment, la description des ouvrages ou parties d'ouvrage réalisés avec le produit/procédé/équipement dans lequel le produit est utilisé, la configuration d'emploi.

Durabilité

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 ISO/DIS 20887:2019).

Économie circulaire

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).

FDES

Fiche de Déclaration Environnementale et Sanitaire.

Maquette numérique

L'expression Maquette numérique est entrée dans le langage courant pour désigner le Building Information Model. Il s'agit d'une représentation numérique tridimensionnelle des caractéristiques fonctionnelles et/ou physiques de l'ouvrage. Elle décrit l'ouvrage pendant tout ou partie de son cycle de vie : programmation, conception, réalisation, réception, livraison, exploitation, maintenance, rénovation, déconstruction.

Prévention

Mesures prises avant qu'une substance, une matière ou un produit ne devienne un déchet (y compris par l'intermédiaire du réemploi ou de la prolongation de la durée d'usage). (Art. L541-1-1).

Recyclage

Déchets (y compris les déchets organiques) retraités en substances, matières ou produits aux fins de leur fonction initiale ou à d'autres fins (ce qui exclut la valorisation énergétique des déchets, la conversion des déchets en combustible et les opérations de remblaiement, Art. L541-1-1).

Réemploi

Substances, matières ou produits qui ne sont pas des déchets, utilisés de nouveau pour un usage identique à celui pour lequel ils avaient été conçus. (Art. L541-1-1).

Réhabilitation

Modifications et améliorations apportées à un bâtiment ou un ouvrage de génie civil existant afin de le remettre dans un état convenable (source : ISO/DIS 20887:2019).

Réversibilité

Caractéristique intrinsèque d'un bâtiment de pouvoir changer aisément de fonction par l'anticipation lors de la conception. La logique de cette conception implique que toutes les contraintes et réglementations inhérentes aux différentes typologies envisagées soient prises en compte.

Usage

Fonction du produit/procédé/équipement dans le bâtiment.



FONDATION
BÂTIMENT
ÉNERGIE

Atelier

Économie Circulaire dans le Bâtiment

Élaboration de critères
et indicateurs pour
le développement de
bases scientifiques à
la caractérisation de
l'économie circulaire dans
le secteur du bâtiment

La Fondation Bâtiment-Énergie (FBE), reconnue d'utilité publique en 2005, a été créée par 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.

