

ÉCONOMIE CIRCULAIRE  
DES BÂTIMENTS

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



GUIDE D'AIDE À LA CONCEPTION  
POUR DES BÂTIMENTS TRANSFORMABLES  
ET RÉVERSIBLES



ÉCONOMIE CIRCULAIRE  
DES BÂTIMENTS

**Coordination de l'enjeu**

**Sylviane NIBEL** / CSTB

**Gérard SENIOR** / AETIC ARCHITECTES

**Contributeurs groupe recherche**

**Benjamin LACLAU, Thomas GARNESSON** / Nobatek-INEF4

**Cécile GRANIER, Théo VAN DEN BULCK** / ARTELIA

**Florence BANNIER** / MECD

**Contributeurs groupe utilisateurs**

**Bruxelles Environnement**

**Certivea**

**Gecina**

**SNEF**

**Terrell**

**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

### 1. Introduction

- 1.1. Cadre de travail 6
- 1.2. Objectif du guide 6
- 1.3. Approche méthodologique retenue 6

### 2. Problématique

- 2.1. Pourquoi prévoir la possibilité de transformer les bâtiments au cours de leur cycle de vie ?  
Parce que c'est rentable ! 10
- 2.2 Le coût de la réversibilité 10
- 2.3. Différents types d'évolutivité ou de transformation 11
  - 3.6.1. Extension horizontale et verticale 11
  - 3.6.2. Changement d'usage 13
- 2.4. L'épidémie de COVID-19 et les conséquences sur l'immobilier de bureaux 13
- 2.5. Contexte des opérations, contexte local 14
- 2.6. Aspects abordés 15
- 2.7. Réflexion en phases faisabilité et programme 15

### 3. Principes et critères de transformabilité / réversibilité

- 3.1. Terminologie 17
- 3.2. Concepts, principes et critères issus de diverses sources 17
- 3.3. Liste des principes et critères retenus et leur définition 20
- 3.4. Liste des thématiques retenues 22

## 4. Recommandations pour la conception de nouveaux bâtiments

- 4.1. Conception générale et architecturale 24
  - Esquisse 24
  - Avant-Projet Sommaire 24
  - Avant-Projet Définitif 26
  - Projet de Conception Générale 27
- 4.2. Recommandations associées aux principaux systèmes constructifs et techniques 28
  - Structure 28
  - Façades 29
  - Toitures 30
  - Circulations 31
  - Cloisonnement 33
  - Équipements et réseaux 33
- 4.3. Réglementations 35
  - Sécurité incendie 35
  - Acoustique 36
  - PMR 39
  - Parasismique 39
- 4.4. Considérations économiques en lien avec la hauteur d'étage 40

## 5. Outil proposé : Matrice de synthèse reliée à des fiches techniques détaillées

- 5.1. Matrice de correspondance entre les principes et critères d'une part et les choix constructifs et techniques d'autre part 42
  - 3.9.1. Présentation 42
  - 3.9.2. Signification, interprétation 43
  - 3.9.3. Lien avec les fiches techniques détaillées 43
  - 3.9.4. Matrice (voir version complète dans fichier tableur séparé) 43
- 5.2. Fiches techniques (Voir le fichier tableur associé) 44

## 6. Conclusion et perspectives

## 7. Bibliographie

## 8. Annexe (Voir fichier tableur séparé)

23

41

46

49

56

# 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



ÉCONOMIE CIRCULAIRE  
DES BÂTIMENTS

## 1.1. Cadre de travail

Ce document se veut un guide à destination des maîtres d'ouvrage et des concepteurs, rédigé dans le cadre de l'enjeu C « Conception des bâtiments intégrant des principes de transformabilité et de réversibilité » du projet AMI Économie Circulaire de la Fondation Bâtiment Énergie, dont l'organisation a été confiée au CSTB. L'enjeu C est co-piloté par l'agence d'architecture AETIC ARCHITECTES et par le CSTB, et bénéficie des contributions de NOBATEK/INEF4, ARTELIA et MECD, en termes d'expertise et de R&D.

Un groupe « Utilisateurs » constitué de Bruxelles Environnement, GECINA, TERRELL, la SNEF, CERTIVEA, Lionel BOUSQUET BXL-MRS architecte, a aussi contribué à travers des échanges d'expériences de terrain. Le guide en version provisoire leur a été soumis pour analyse critique et utilisation sur leurs opérations pilotes. Leurs retours d'expérience ont permis une évolution des critères et recommandations du guide visant à une meilleure prise en compte des principes de transformabilité et/ou de réversibilité lors de la programmation et au cours de la phase de conception..

Les éléments présentés dans ce guide sont à utiliser en tout ou partie selon les spécificités et le contexte des opérations et selon le type de transformation envisagé.

## 1.2. Objectif du guide

L'objectif du présent guide est de développer une approche méthodologique qui soit une aide à l'intégration, en phases de programmation et de conception, des principes de transformabilité et/ou de réversibilité des bâtiments neufs et qui permette l'évaluation du potentiel d'adaptabilité et de transformabilité des bâtiments en phase de programmation et conception. Les usages que l'on a considérés sont principalement les logements et les bureaux, avec quelques mentions pouvant concerner les parkings et les commerces en pied d'immeuble.

## 1.3. Approche méthodologique retenue

L'étude de bâtiments existants récemment transformés, soit par extension soit par changement d'usage, nous a permis de tirer des enseignements pour la conception de bâtiments neufs.

Les cas de transformation de bureaux en logements et vice-versa, la conservation de la réversibilité dans le temps, la surélévation, l'extension d'emprise, la conversion de parcs de stationnement, ont été nos principaux axes de réflexion, en cherchant à les anticiper le plus en amont possible, sans remettre en cause l'équilibre du projet initial.

Un point d'attention important a été l'articulation avec les processus de programmation et les différentes étapes de conception, afin d'accompagner les maîtres d'ouvrage en termes d'objectifs à long terme et les concepteurs dans leurs décisions au fur et à mesure de l'élaboration du projet.

L'anticipation d'une transformation lourde, extension ou changement d'usage, suppose l'application d'un certain nombre de principes, critères, stratégies... entraînant des choix de parti architectural ou de solutions techniques laissant ouvert le « champ des possibles » que l'on s'est défini.



ÉCONOMIE CIRCULAIRE  
DES BÂTIMENTS

Et cela même si l'évolution à moyen et long terme des besoins fonctionnels, des modes de vie et de travailler, et de l'environnement socio-urbain sont difficilement prévisibles. Un cas particulier sont les installations des Jeux Olympiques de 2024, où les logements seront rapidement amenés à évoluer, en bureaux par exemple, dans un contexte urbain connu.

La littérature scientifique et technique nous fournit diverses approches et décline des principes de conception qui vont favoriser les transformations ultérieures, en évitant les choix bloquants, du concept général théorique jusqu'au détail technologique. De la notion de « Open Building » travaillée notamment par le W104 du CIB lancé en 1996, jusqu'à la notion récente de « Smart Building », en passant par le « Design for Adaptability » ou « DfA », la littérature est riche, notamment en Europe du Nord (NL, UK) et en Amérique du Nord. Des études, thèses, cadres d'évaluation, documents normatifs, ont été passés en revue et nous ont servi à cerner les principes, souvent théoriques, à décliner en critères plus opérationnels.

Des opérations réelles, issues de la transformation du stock existant ou des projets neufs conçus pour évoluer dans leur volumétrie ou leurs usages, nous ont aussi inspirés. Rassemblées à la fin du guide, des listes de références bibliographiques ont été fournies par les experts du groupe de travail, pouvant être utiles pour qui souhaiterait approfondir le sujet.

D'autre part il convient de définir les « objets » et « thématiques » sur lesquels il faut travailler pour faire les choix opportuns au bon moment. Constatons d'abord qu'un bâtiment n'est pas qu'un assemblage plus ou moins complexe de systèmes et de produits, assurant un certain nombre de fonctions, et que réfléchir sur les transformations possibles au cours de sa vie suppose de le replacer dans son « écosystème », qui est multidimensionnel (technique, social, environnemental, financier, juridique, etc.) et composé de 3 éléments incontournables qui interagissent entre eux : le site et l'environnement urbain, le bâtiment lui-même, et ses occupants. Un changement, prévisible ou non, de l'un des 3 éléments va impacter les autres. Selon le contexte socio-urbain et son évolution sur plusieurs décennies, une transformation donnée d'un bâtiment pourra être pertinente dans un cas et désastreuse ou sans issue dans un autre. Les sites urbains tendus sont plus propices aux transformations de bâtiments que les périphéries éloignées. Les approches purement techniques ne suffisent pas.

C'est pourquoi des études d'opportunité et de faisabilité sont nécessaires, appuyées sur un diagnostic suffisamment large, pas seulement technique. L'étude de bâtiments existants ayant tenté ou vécu une transformation sont riches d'enseignement. La planification urbaine est importante à prendre en compte si l'on veut avoir des chances de réussir.

Nos thématiques de travail se sont focalisées sur le parti architectural et sur les systèmes constructifs et techniques du bâtiment, confrontés aux principes et critères de transformabilité, aux contraintes diverses (notamment réglementaires) et aux usages.

Notre démarche d'aide à la conception repose sur l'étude du croisement entre les principes et critères de transformabilité d'une part, et les objets et thématiques propres au bâtiment d'autre part. Cela permet de faire ressortir des avantages qui vont faciliter la transformation, à faible coût et impactant peu l'environnement, mais aussi de mettre en lumière des difficultés et des contraintes, qui peuvent entraîner des choix bloquants si l'on n'y prend garde à temps.

Concrètement notre travail s'est traduit par des résultats à plusieurs niveaux :

- des recommandations pour aider les maîtres d'ouvrage à réfléchir à leurs objectifs de transformabilité ou réversibilité dès la phase de programmation
- des considérations économiques intégrant l'investissement initial et les coûts de transformation
- un ensemble de principes et de critères à appliquer lors de la conception d'un bâtiment afin d'anticiper et de faciliter ses transformations futures à moyen et long termes
- des recommandations destinées aux concepteurs et couvrant les étapes d'esquisse, d'avant-projet et de projet



ÉCONOMIE CIRCULAIRE  
DES BÂTIMENTS

- des orientations de conception déclinées selon 6 thématiques et 4 domaines réglementaires
- des fiches techniques détaillées analysant des solutions ou des systèmes au regard d'une batterie de principes et de critères de transformabilité et réversibilité utilisables en conception, organisés selon 3 types de transformation : extension verticale, extension horizontale et changement d'usage
- un outil a été élaboré sous la forme d'une matrice synthétisant les fiches techniques et fournissant une lecture transversale multicritère selon l'axe vertical et multi-solutions selon l'axe horizontal (voir fichier tableur séparé)

Sur ce dernier point, c'est donc au final une matrice d'aide à la décision qui va synthétiser l'ensemble, mettant en relief les contraintes et les avantages des solutions étudiées, assortis de recommandations afin de gérer au mieux les contraintes et tirer profit des avantages.

L'exercice ne peut pas être exhaustif, ce serait un travail infini, mais une fois la méthodologie en place et bien comprise, son application peut être étendue selon les 2 directions de la matrice, verticale (critères) et horizontale (thématiques), à l'image de l'extension des bâtiments que cette démarche cherche à promouvoir...

La transformabilité et la réversibilité ne sont pas une fin en soi, ce sont des moyens pour augmenter la durée de vie et optimiser le cycle de vie des bâtiments, dans un but de meilleure utilité économique et sociale, en fonction des besoins, dans un monde qui évolue de plus en plus vite, où les ressources sont limitées et les déchets surabondants, et où l'économie circulaire et le découplage entre activité économique et impact environnemental doivent progresser.





ÉCONOMIE CIRCULAIRE  
DES BÂTIMENTS

## 2.

# Problématique



## 2.1.

### Pourquoi prévoir la possibilité de transformer les bâtiments au cours de leur cycle de vie ?

### Parce que c'est rentable !

Le constat d'obsolescence d'un bâtiment, sans pouvoir remettre celui-ci sur le marché à un coût raisonnable, est une catastrophe financière pour un détenteur d'actifs. La recherche de critères d'adaptabilité et de transformabilité à appliquer en phase de conception, va permettre de limiter les risques d'obsolescence prématurée des bâtiments, en pérennisant leur attractivité. L'obsolescence se traduit également par des impacts environnementaux et sociaux plus importants. A une époque où les modes d'habiter et de travailler évoluent rapidement et s'interpénètrent, la qualité globale du cadre bâti, vue sur le long terme, dans une perspective de développement durable, passe nécessairement par l'adaptabilité et la transformabilité. Cela se traduit par des possibilités d'extension (verticale et/ou horizontale), l'utilisation multiple ou plus intense des surfaces construites, de façon à adapter le bâti et les équipements aux besoins qui évoluent, tout en optimisant les ressources matières et énergétiques, pour un coût global maîtrisé, ce qui est sans doute un équilibre délicat à trouver. <sup>1</sup>

Suivant le type de maîtrise d'ouvrage, les attentes seront très différentes entre **un promoteur** qui mettra en avant les qualités d'évolution du bien construit comme argument de vente, **un investisseur** dont les intérêts à long terme sont de prévenir l'obsolescence, **un propriétaire occupant** qui anticipe ses besoins futurs, **ou un bailleur** dont la satisfaction de ses locataires pérennise un taux d'occupation élevé.

Cependant, la réversibilité rentable sur le long terme, a un coût initial immédiat même faible et les économies profitent à l'acteur futur qui va la mettre en œuvre selon son besoin. Est-ce vendable, achetable dans le marché immobilier actuel ? En l'imposant par la réglementation, quel risque de désolvabilisation des acquéreurs, des investisseurs ?

## 2.2.

### Le coût de la réversibilité

Le surcoût initial de la réversibilité est évalué entre 0 et 200 €/m<sup>2</sup>. Les gains lors de la transformation sont eux évalués entre 1000 et 2000 €/m<sup>2</sup> pour les bureaux.

(Extraits du guide ARTELIA <sup>2</sup>)

Le coût d'une réhabilitation lourde avec changement d'usage est estimé entre 2000 et 3000 €/m<sup>2</sup> (ORIE).

Le coût d'une construction neuve de logements s'établit entre 1600 et 1800 €/m<sup>2</sup>.

La prise en compte dès la programmation ou la conception d'un changement d'usage peut se solder par un surcoût faible voire nul sur la construction initiale : entre 0 et 200 €/m<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Sources :  
[https://immobilier.lefigaro.fr/article/en-trois-ans-le-nombre-de-bureaux-vides-a-diminue-de-moitie-a-paris\\_15be395e-dd22-11e8-922b-33a252f100b3/](https://immobilier.lefigaro.fr/article/en-trois-ans-le-nombre-de-bureaux-vides-a-diminue-de-moitie-a-paris_15be395e-dd22-11e8-922b-33a252f100b3/)  
<https://www.lesechos.fr/industrie-services/immobilier-btp/immobilier-coup-daccellerateur-pour-la-transformation-de-bureaux-vacants-en-logements-1149250>  
<https://www.insee.fr/fr/statistiques/4263935>

<sup>2</sup> <https://www.arteliagroup.com/fr/communication/actualites/les-actualites-du-groupe/artelia-publie-son-guide-sur-la-reversibilite-fonctionnelle-des-batiments>



ÉCONOMIE CIRCULAIRE  
DES BÂTIMENTS

Dans le cas où il a été correctement anticipé à la conception :

- Un changement d'usage « bureaux vers logements » est estimé à 800 €/m<sup>2</sup> sans changement de façade et en passant d'une ventilation double-flux à une ventilation simple flux (ICADE, projet Black Swans)
- Un changement d'usage « logements vers bureaux » est estimé à 30% de l'investissement initial (projet BOKKEN, ARTELIA).

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%, alors la réversibilité est rentable sur le long terme. La réversibilité pourrait être un critère de réduction des impacts dans la RE2020 ou les PLU car elle est soutenable économiquement, et pourrait être qualifiée « d'intérêt public » au sens de la loi de 1977 sur l'architecture.

Création LOI 77-2 1977-01-03 JORF 4 JANVIER 1977 Rectificatif JORF 5 et 21 JANVIER 1977

#### Article 1

L'architecture est une expression de la culture

La création architecturale, la qualité des constructions, leur insertion harmonieuse dans le milieu environnant, le respect des paysages naturels ou urbains ainsi que du patrimoine sont d'intérêt public. Les autorités habilitées à délivrer le permis de construire ainsi que les autorisations de lotir s'assurent, au cours de l'instruction des demandes, du respect de cet intérêt.

## 2.3. Différents types d'évolutivité ou de transformation

### 2.3.1. EXTENSION HORIZONTALE ET VERTICALE

Pour adapter un bâtiment au cours de sa vie, il est possible de recourir à l'extension horizontale et/ou verticale (surélévation).

Face aux enjeux d'économie circulaire et à la rareté des ressources foncières, la **surélévation des bâtiments** apporte des réponses multiples. Elle répond d'abord aux préoccupations d'artificialisation des sols et de mobilité grâce à une meilleure optimisation des espaces et des flux. A l'échelle de la ville, la densification permet d'amortir les infrastructures de réseaux et de transport, de limiter l'étalement urbain et ses conséquences. Combinée à une démarche d'amélioration du bâti existant, la surélévation permet d'augmenter notablement la durée de vie des ouvrages. Elle est aussi porteuse de leviers économiques attractifs : création de surfaces supplémentaires, répartition plus diffuse de l'incidence foncière, solvabilité accrue des occupants grâce à une ventilation des charges plus favorable ; enfin, la valeur créée par la surélévation constitue un produit financier qui permet d'envisager plus aisément les travaux de rénovation énergétique de l'existant qui l'accueille.

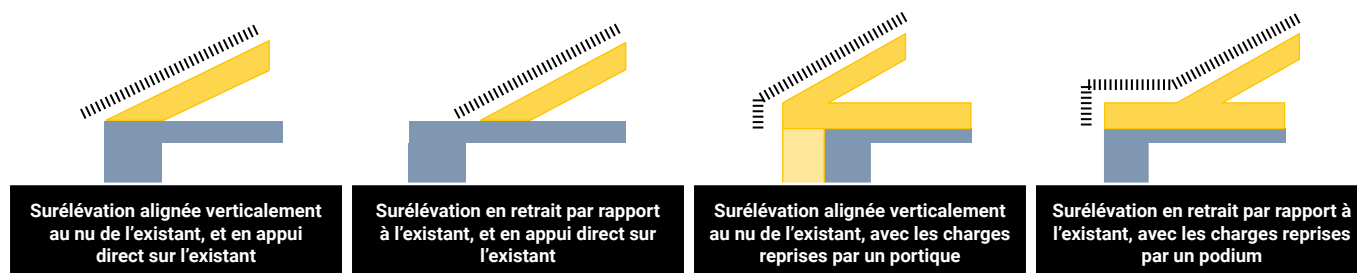
Les récentes évolutions de la politique de la ville comme par exemple le Plan quinquennal de rénovation énergétique mis en place en avril 2018, puis la loi ELAN du 23/11/2018, favorisent désormais cette démarche et permettent de lever les obstacles qui freinent encore parfois les projets.



ÉCONOMIE CIRCULAIRE  
DES BÂTIMENTS

A partir de l'étude d'opérations ayant fait l'objet d'une extension, des enseignements peuvent être tirés pour la conception de bâtiments neufs. A ce propos, on peut citer l'étude pour l'ADEME « Lign2Toit » qui fournit des outils pour évaluer le potentiel de surélévation de bâtiments existants<sup>3</sup>.

L'extension d'un bâtiment peut avoir recours à différents procédés, en fonction des contraintes urbanistiques, de la capacité du bâtiment existant à reprendre les charges ou de la prise en compte d'une éventuelle rénovation. Si le bâtiment n'est pas prévu pour reprendre les charges induites par la surélévation, le recours à une structure de type portique peut être envisagé.



Famille d'interface structurelle (extrait étude Lign2Toit)

L'**extension horizontale** va de l'épaississement de façade à la construction d'un bâtiment complémentaire qui peut être plus grand que celui d'origine. Dans ce cas, la structure autoportante est positionnée sur un terrain contigu qui peut être indépendant de l'existant ou raccordé aux circulations existantes, selon l'usage qui en est fait. Pour des ouvrages neufs, il faut anticiper la disponibilité de ce foncier, par exemple en définissant une réserve foncière sur la parcelle dans le prolongement d'une aile (comme pour l'Hôtel de Région Auvergne à Clermont-Ferrand, ou certains établissements scolaires en zone peu dense).

Au-delà de l'amélioration des performances énergétiques, un projet d'épaississement a plusieurs atouts. Cela permet de rajeunir et dynamiser les façades, et de créer de nouvelles pièces ou espaces de vie tels que des loggias. L'épaississement de façade a un impact plus important sur l'enveloppe et la structure de l'existant que l'annexion d'un nouveau bâtiment. En effet, même si elle peut être portée en pied, la nouvelle structure devra être connectée à l'existant pour être stabilisée et permettre la circulation avec les espaces créés. Cependant, il faudra tenir compte du fait que l'épaississement va réduire la pénétration de la lumière naturelle.



Augmentation de la surface des chambres du CROUS de Nancy grâce à des plugs en structure bois (Sylvia Griño - Agence Barthélémy Griño Architectes)



ÉCONOMIE CIRCULAIRE  
DES BÂTIMENTS

### 2.3.2. CHANGEMENT D'USAGE

La démolition d'un ouvrage de bâtiment devenu obsolète et inoccupé, et le besoin de nouvelles surfaces bâties font se rencontrer génération importante de déchets et consommation de nouvelles ressources matières. Tous les bâtiments vacants ne se prêtent pas à un changement d'usage, et un diagnostic approfondi est nécessaire. L'avantage est de pouvoir conserver au moins le gabarit et les droits à construire initiaux, ce qui peut être avantageux par rapport à une solution déconstruction - reconstruction.

Dans le cas de bâtiments neufs, la rentabilité du projet initial est recherchée et l'usage n°1 prime lors de la conception. Il convient alors de définir un ou deux autres usages probables ou plausibles au regard de l'évolution socio-urbaine du quartier ou du territoire que l'on peut anticiper ou supposer, et calquer ce 2<sup>ème</sup> cahier des charges sur le premier. On a en général besoin de connaître les nouveaux usages à assurer si l'on veut mener une anticipation qui fasse sens. On peut difficilement concevoir un bâtiment qui pourra muter vers n'importe quel type d'usage, cela conduirait à des dépenses excessives, une difficulté à anticiper plusieurs réglementations, des contraintes fortes, risquant d'aboutir à un jeu de « Lego » où tout est modifiable et reconfigurable, ou à une architecture banalisée et sans âme.

Les usages que l'on va considérer dans ce guide sont principalement les logements et les bureaux, avec quelques considérations qui peuvent concerner les parkings et les commerces en pied d'immeuble.

## 2.4. L'épidémie de COVID-19 et les conséquences sur l'immobilier de bureaux

Selon une enquête JLL conduite en avril 2020, 71% des entreprises interrogées souhaitent bâtir un nouvel équilibre entre travail sur site et télétravail tandis que les propriétaires sont 76% à anticiper une généralisation du télétravail des entreprises.

Les Français y croient eux aussi, puisqu'ils sont 43% à déjà s'imaginer habiter plus loin de leur lieu de travail en cas de développement du télétravail. Ils sont même majoritaires chez les 25-34 ans (51%) et plus encore chez les Franciliens (55%) à envisager cette évolution.

Déjà les grèves de décembre 2019 leur avaient permis de tester les nouveaux modes de travail, coworking en tête. D'après une étude Gartner citée dans Les Échos, la moitié des 300 directeurs financiers interrogés prévoit de laisser au moins 10 % de leurs salariés en télétravail après l'épidémie.

Une majorité du parc de bureaux francilien continuera à répondre aux besoins des « utilisateurs », mais, pour une autre partie, il sera nécessaire de repenser les espaces, changer les destinations, faire évoluer certaines réglementations, modifier les usages sur les clauses des baux, etc. Le concept de la réversibilité de l'immobilier ouvre de nouveaux horizons aux investisseurs que la crise sanitaire du COVID-19 a accéléré.

On peut prévoir que dès maintenant, dans les circulations verticales et horizontales les mesures potentielles de réduction des transmissions virales pourraient être des solutions de distanciation sociale tels que marqueurs de distance de sécurité dans les ascenseurs et les escaliers unidirectionnels pour la montée et la descente.

La ventilation est un paramètre qui mérite plus d'attention. Premièrement, il est nécessaire de repenser la situation des bâtiments fermés qui ne disposent pas d'options de ventilation flexibles. Une ventilation constante est importante pour garantir la circulation de l'air, réduire le temps de séjour du virus dans le bâtiment et également réduire la transmission, mais il est également important d'assurer



ÉCONOMIE CIRCULAIRE  
DES BÂTIMENTS

une bonne qualité de l'air intérieur. Dans les systèmes CVC, en revanche, certaines caractéristiques, telles que les cellules de convection et les unités de traitement d'air ou les filtres, devraient être reconsidérées en raison des risques de contamination croisée.

Peut-être que l'entrée des bâtiments devrait être repensée. Des entrées spacieuses et flexibles peuvent être adaptées en espaces pour laisser les vêtements et objets potentiellement contaminés de l'extérieur, et pourraient même être équipées de lavabos. C'est une solution durable qui peut essentiellement améliorer l'hygiène et la santé dans le bâtiment en empêchant l'entrée d'éventuels agents pathogènes.

La quarantaine décrétée par les gouvernements en raison de la pandémie de COVID-19 a montré à quel point il est important d'avoir accès à un espace extérieur pour obtenir de l'air et du soleil (vitamine D) en toute sécurité. Peut-être l'existence d'un espace extérieur (comme un balcon, une terrasse ou même un toit plat) accessible à tous les résidents peut être un critère pour les bâtiments futurs quelle que soit leur destination. Ces espaces pourraient ensuite être utilisés comme potager, avec des avantages économiques et de distraction pour les usagers. En plus d'offrir des bénéfices en termes de durabilité et de bien-être pour les occupants, les espaces extérieurs dans les nouveaux bâtiments pourraient être utilisés pour le sport et autres activités socialisantes. Dans certains cas, les balcons pourraient être fermés en loggia afin d'améliorer l'isolation thermique ; cependant, il est important de s'assurer qu'ils continueraient d'offrir des conditions de ventilation et d'accès à la lumière naturelle.

Cependant, plus de surfaces, plus d'équipements engendreront des consommations de foncier et de matières plus importantes encore à usage égal, et donc des impacts environnementaux plus importants. On sait que c'est en détruisant notre planète (pollution, déforestation, etc.) que nous créons et accélérons les risques d'apparitions de maladies, virus... Les arbitrages sont à réfléchir au cas par cas.

## 2.5.

### Contexte des opérations, contexte local

La pertinence économique de la réversibilité se trouve notamment dans les zones en tension des grandes villes françaises, en particulier certaines parties de l'Ile-de-France. Dans ces zones, la demande en logement est grande mais l'offre est rarement au rendez-vous car la construction de bâtiments de bureaux est plus "rentable". Généralement, on y retrouve des loyers au m<sup>2</sup> plus élevés et une stabilité accrue des locataires.

Le bureau est cependant surreprésenté et doit donc toujours répondre à des exigences élevées de la part des locataires pour rester loué. De fait, le principal risque est la vacance structurelle – des surfaces non occupées depuis 4 ans - estimées récemment à 932 000m<sup>2</sup> en Ile-de-France et 5 millions de m<sup>2</sup> en France (ORIE). Une zone à fort potentiel serait, par exemple, le croissant ouest de l'Ile-de-France représentant 35% des surfaces de bureaux vacantes en plus d'être situé en zone tendue concernant le logement.

Le deuxième marché identifié, et qui fait l'objet de réalisations impliquant des concepts de réversibilité concrétisées dès aujourd'hui, est situé dans les grandes villes de région, par exemple : Strasbourg avec Black Swans (ICADE) et Lyon avec Work#1 (Linkcity). En effet, dans ces villes les différences de loyers entre bureaux et logements peuvent être moins notables et surtout, la demande pour les bureaux est plus instable.

Une opportunité se positionne dans le cas des bâtiments de taille importante et mono-occupés. En effet, la réhabilitation vers un changement d'usage pourra alors se faire de manière globale sur le bâtiment. Les immeubles multi-locataires sont plus délicats à traiter, ou prennent plus de temps ; quant aux copropriétés de logements, à moins que ce ne soit une copropriété dégradée avec rachat par un acteur unique, elles ont peu de chances de se transformer de façon conséquente.



## 2.6. Aspects abordés

Les aspects qui vont être abordés dans ce guide sont principalement architecturaux, techniques, réglementaires, environnementaux, et dans une certaine mesure concernent la qualité d'usage et les coûts.

Ces aspects seront traduits à travers des critères d'analyse. Il s'agit de tirer des enseignements des contraintes et opportunités des expériences de transformation actuelles pour aider les concepteurs à anticiper les changements d'usage des bâtiments qu'ils construisent, pour le faire à coûts maîtrisés et supportables.

## 2.7. Réflexion en phases faisabilité et programme

A partir d'un pré-programme établi par le maître d'ouvrage, la mission de programmation consiste à mener, le cas échéant, des études complémentaires d'investigation et, pour l'essentiel, à confronter ce pré-programme avec les contraintes propres au site et à son environnement réglementaire, urbanistique, voisinage, proximité des services, etc...

Cela permet au maître d'ouvrage, grâce à ce travail de conception se traduisant par une analyse volumétrique et technique des potentialités, d'établir un programme fonctionnel d'utilisation dont la faisabilité notamment financière aura pu être vérifiée. Le maître d'ouvrage réajuste ainsi son pré-programme en liaison avec le maître d'œuvre. Il se peut que cette étude de faisabilité conclue à l'incompatibilité entre les objectifs du maître d'ouvrage en matière d'évolutivité verticale ou horizontale et les caractéristiques du terrain de la construction prévue.

### Analyse du fonctionnement urbanistique et de la perception architecturale

Cette analyse consiste à reconstituer l'histoire du site où la construction est projetée, à repérer des éléments architecturaux susceptibles de retenir l'attention, à cerner l'ensemble des règles et contraintes applicables à l'opération (règles d'urbanisme, servitudes, réglementation incendie, etc.), à analyser les avoisinants et l'impact du bâtiment sur son environnement et à prendre en compte les attentes des habitants et usagers.

Des scénarios d'utilisation sont établis, proposant des orientations répondant au pré-programme défini par le maître d'ouvrage, des principes de solutions et schémas fonctionnels et techniques. Ces scénarios sont présentés et discutés avec la maîtrise d'ouvrage. Ils peuvent conduire à des études complémentaires d'investigation.

Une estimation financière des travaux et une estimation sommaire de la mission de maîtrise d'œuvre ultérieure sont établies. Celles-ci permettent à la maîtrise d'ouvrage d'établir, sur la base du pré-programme, un programme et une enveloppe financière prévisionnelle du coût de l'opération. Conformément aux dispositions de l'article 2 de la loi MOP, ce programme et cette enveloppe se préciseront, voire évolueront pendant la phase d'élaboration des avant-projets (APS, APD).

Notons que cette notion globale du programme est déjà présente dans l'article 2 de la loi MOP : « Le maître de l'ouvrage définit dans le programme les objectifs de l'opération et les besoins qu'elle doit satisfaire ainsi que les contraintes et exigences de qualité sociale, urbanistique, architecturale, fonctionnelle, technique et économique, d'insertion dans le paysage et de protection de l'environnement, relatives à la réalisation et à l'utilisation de l'ouvrage ».

Le maître d'ouvrage doit formuler ses attentes quant à la capacité de l'ouvrage à pouvoir évoluer, être adapté, changer d'usage etc... et définir le niveau de "prédispositions" que la maîtrise d'œuvre devra intégrer dans le cadre d'un budget.



ÉCONOMIE CIRCULAIRE  
DES BÂTIMENTS

# 3.

## Principes et critères de transformabilité / réversibilité





## 3.1. Terminologie

### RÉVERSIBILITÉ

La réversibilité d'un bâtiment est une caractéristique intrinsèque d'un projet et peut être intégrée dès la programmation. C'est la possibilité donnée, quand elle est pertinente, à un bâtiment de pouvoir changer aisément d'usage 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. La réversibilité permet de changer de programme à court, moyen ou long terme. Ce changement de destination (bureaux, commerces, logements, etc.) à moindre coût est rendu possible par une conception visant à minimiser la complexité des modifications et des transformations nécessaires. Ces projets seront ainsi rendus possibles par l'atteinte d'un optimum entre les contraintes réglementaires et techniques des différents usages.

Qui dit réversibilité dit aussi implicitement conservation du potentiel de changement d'usage à l'issue du 1<sup>er</sup> changement, et ensuite du 2<sup>ème</sup>, etc. C'est un défi supplémentaire.

### DÉMONTABILITÉ

La problématique de l'adaptabilité et de la réversibilité des bâtiments est directement liée à celle de sa démontabilité et celle de ses composants. L'anticipation, en conception, du réemploi et du recyclage des divers composants est aussi une priorité afin d'anticiper la gestion de fin de vie des bâtiments et contribuer à l'économie circulaire.

Il est souvent difficile de séparer les composants sans les endommager en raison des techniques d'assemblage utilisées. Cette réflexion ne s'applique pas seulement à la fin de vie du bâtiment mais aux diverses interventions d'entretien et maintenance nécessaires au cours du cycle de vie d'un bâtiment. Il n'est pas rare que les liaisons entre certains éléments rendent nécessaire le remplacement de matériaux encore en bon état, parce qu'il est impossible d'intervenir sans les affecter. La déconstructibilité et séparabilité des éléments d'un bâtiment impacteront donc à la fois la fin de vie en tant que telle et le réemploi des matériaux dans d'autres bâtiments, mais permettra également de prolonger la durée de vie de composants qui auraient été remplacés lors d'interventions de maintenance au sein de constructions plus traditionnelles.

L'enjeu D de l'AMI Economie Circulaire de la Fondation Bâtiment Énergie a justement porté sur les critères de conception pour la démontabilité des bâtiments. Le guide issu des travaux de cet enjeu est également disponible. Il fournit les concepts et principes de conception favorables à la démontabilité, une liste de solutions démontables et des check-lists de suivi des actions de conception intégrant les principes proposés.

## 3.2. Concepts, principes et critères issus de diverses sources

La norme internationale ISO 20887 « Sustainability in buildings and civil engineering works – Design for disassembly and adaptability – Principles, requirements and guidance » a été publiée en janvier 2020. C'est une norme Canadienne qui l'a inspirée. Elle est en lien fort avec les enjeux C et D de l'atelier Economie Circulaire de la Fondation Bâtiment Énergie. L'AFNOR l'a reprise dans la collection française des normes avec l'intitulé « Développement durable dans les bâtiments et ouvrages de génie civil - Conception pour la démontabilité et l'adaptabilité - Principes, exigences et recommandations ».



ÉCONOMIE CIRCULAIRE  
DES BÂTIMENTS

Parmi les sources bibliographiques étudiées, elle présente l'avantage d'être synthétique et opérationnelle. D'ailleurs un certain nombre de listes de principes ou critères trouvées dans la littérature se recoupent.

Cette norme distingue les principes d'adaptabilité (très généraux et englobants) et ceux de démontabilité. Vu que la transformabilité suppose la démontabilité de bon nombre d'éléments (démontage et réassemblage), à l'exception des éléments structurels, les principes de démontabilité sont aussi à conserver dans notre approche. Le tableau ci-dessous présente ces principes illustrés par quelques exemples.

| CATÉGORIE                     | PRINCIPE<br>(issu de la norme<br>française NF ISO<br>20887:2020)                    | COMMENTAIRE                                                                            | EXEMPLES                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PRINCIPES<br>D'ADAPTABILITÉ   | Polyvalence                                                                         | De l'ordre de la flexibilité, pas directement traitée dans ce guide                    | 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                                    | Prévoir une hauteur suffisante à tous les étages de façon à pouvoir diversifier les usages<br>Capacité de la structure porteuse (y compris dalle de sol) à accommoder des changements de fonctions<br>Prévoir des dimensions de fenêtre suffisante pour permettre un accès de lumière naturelle suffisant lors des différentes occupations<br>Les parois de séparation et les équipements techniques peuvent être adaptées sans endommager la structure<br>Le positionnement des gaines techniques verticales et horizontales permet une adaptation de l'espace pour répondre à plusieurs fonctions<br>La structure porteuse et les équipements techniques ont la capacité de soutenir un changement de fonction |
|                               | Capacité d'extension                                                                | Extension horizontale ou verticale                                                     | Implanter le bâtiment sur la parcelle en prévoyant son extension latérale sans impacter l'activité.<br>Dimensionnement des fondations et de la structure en prévision d'une surélévation                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| PRINCIPES DE<br>DÉMONTABILITÉ | Normalisation                                                                       | Terme que l'on traduira plutôt par Standardisation. Pertinent pour la transformabilité | Limiter les types de fixations pour utiliser le moins d'outils différents<br>Uniformiser le type de sources lumineuses : ampoules, tubes fluos, rubans LED, etc.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|                               | Facilité d'accès aux composants et services                                         | Pertinent pour la transformabilité                                                     | Éviter les réseaux encastrés, notamment coulés dans les planchers<br>Prévoir des faux-plafonds ou faux-planchers démontables et un accès aisé aux gaines techniques                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|                               | Sécurité du démontage                                                               | idem                                                                                   | Prévoir les accès et la manutention des composants sans risques pour les ouvriers                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|                               | Simplicité                                                                          | idem                                                                                   | Facilité de compréhension des fixations et assemblages, clarté des modalités de démontage, savoir-faire courant<br>Nombre d'éléments et d'outils limités, rapidité du démontage                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|                               | Soutien des modèles économiques prenant en compte le réemploi (économie circulaire) | idem                                                                                   | Favoriser les assemblages qui n'altèrent pas les parties assemblées lors du démontage, afin de pouvoir les valoriser au mieux                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|                               | Indépendance / connexions réversibles                                               | idem                                                                                   | Pouvoir démonter et changer les éléments de second-œuvre sans impacter ou devoir modifier les éléments structurels<br>Prévoir des modes d'assemblage qui permettent le démontage et le remontage sans les endommager (par ex. tolérances dimensionnelles ou renforts)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|                               | Eviter les traitements et finitions inutiles                                        | Peu pertinent pour l'adaptabilité                                                      | 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



ÉCONOMIE CIRCULAIRE  
DES BÂTIMENTS

L'architecte **Patrick RUBIN**, de l'agence Canal Architecture, dans son guide « Construire réversible » publié en 2017<sup>4</sup>, propose un ensemble de 7 principes utilisables en conception pour faciliter la transformation ultérieure des bâtiments :

- |                                                 |                                                        |
|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| 1 Épaisseur du bâtiment : 13 mètres             | 5 Distribution des réseaux : sans reprise structurelle |
| 2 Hauteur d'étage : 2,70 mètres                 | 6 Enveloppe : moins de 30% des composants à modifier   |
| 3 Circulation : placettes et pontons extérieurs | 7 Doubles niveaux : RDC actif et toit habité           |
| 4 Procédé constructif : poteaux-dalles          |                                                        |

Les 7 principes de Patrick RUBIN pour construire réversible (source : Canal Architecture)

A notre sens, ces principes sont déjà pour la plupart des solutions relativement concrètes, s'apparentant davantage à des solutions génériques qu'à des principes généraux proprement dit. Dans notre approche méthodologique, on pourra retrouver certaines des solutions de Patrick RUBIN analysées, comme par exemple les circulations reportées à l'extérieur du bâtiment. La figure suivante fournit une illustration de la plupart de ces principes.

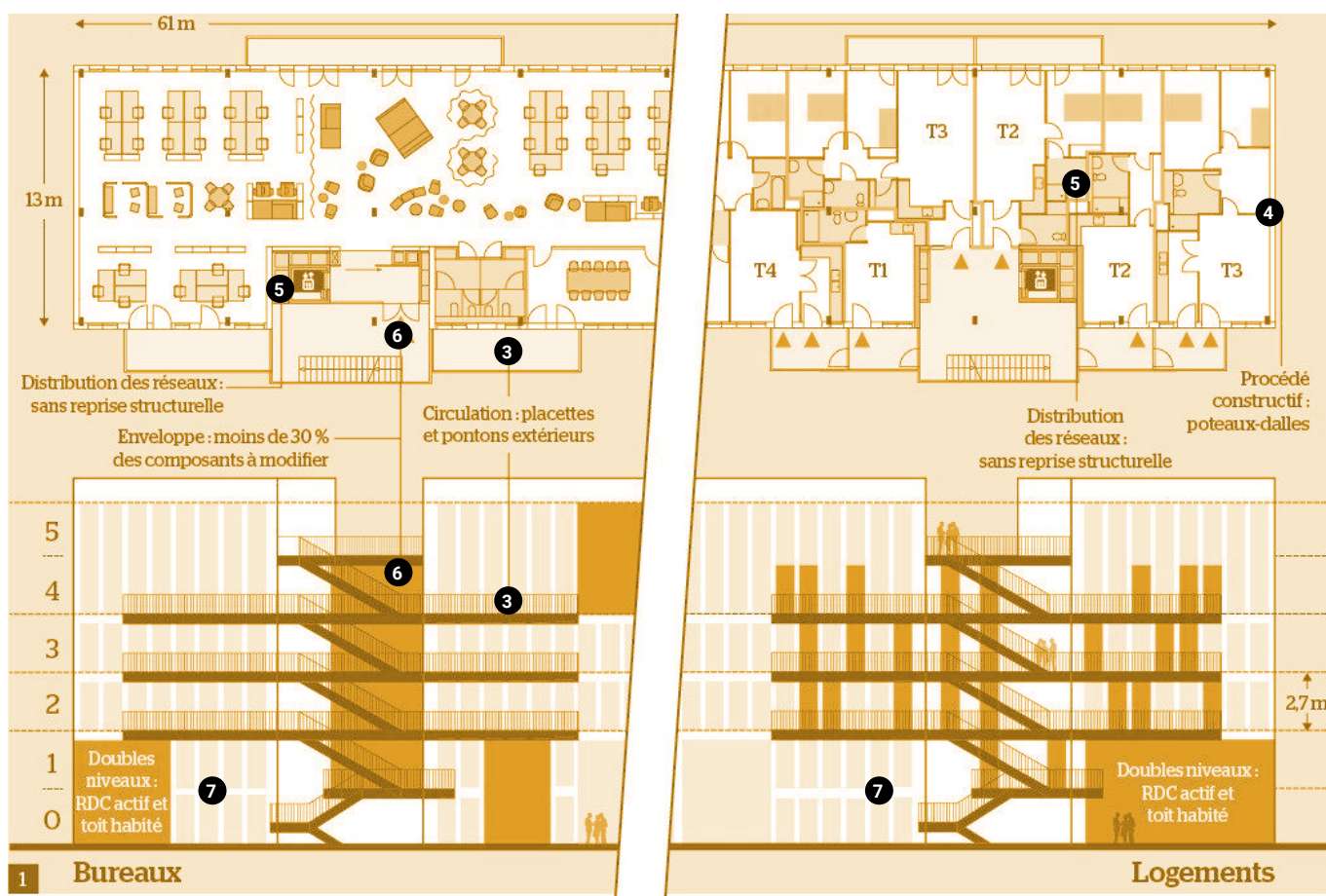


Illustration des principes énoncés par Patrick RUBIN, montrant la réversibilité entre bureaux et logements (source Canal Architecture)



ÉCONOMIE CIRCULAIRE  
DES BÂTIMENTS

### 3.3.

## Liste des principes et critères retenus et leur définition

Aux critères présentés dans le paragraphe précédent, nous avons ajouté des critères techniques d'ordre réglementaire, des critères fonctionnels et d'usage, des critères énergétiques et des critères de coûts.

Cela nous amène au tableau suivant, qui sera l'ADN de notre démarche, et dont les critères seront déclinés selon leur pertinence, en fonction des 3 types de transformation étudiés :

- Extension verticale
- Extension horizontale
- Changement d'usage

| PRINCIPE OU CRITÈRE                                                                           | DÉFINITION                                                                                                                                         | EXEMPLES                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Transcription / adaptation / concrétisation des principes de la norme ISO 20887 (2020)</b> |                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>PLAN LIBRE</b>                                                                             | Structure avec un minimum de points fixes afin de donner une plus grande liberté d'aménagement intérieur                                           | Poteaux-Poutres plutôt que des murs porteurs                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>RÉVERSIBILITÉ CONSERVÉE</b>                                                                | Réversibilité non limitée à un seul changement d'usage, possibilité de mener différentes opérations successives au cours de la vie de l'ouvrage    | Transformation de bureaux en logements puis en hôtel                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES «CAPABLES»</b>                                                  | Dispositions constructives capables d'être adaptées facilement lors d'une évolution ultérieure. On facilite les travaux ultérieurs sans les faire. | Accès à la structure en vue d'un renforcement structurel, réservations pour gaines ou trémies)                                                                                                                                                                                      |
| <b>CAPACITÉ STRUCTURELLE</b>                                                                  | Capacité structurelle supplémentaire pour l'extension verticale et le changement d'usage, y compris fondations                                     | Dimensionnement avec des charges d'exploitation supérieures                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>CONTINUITÉ STRUCTURELLE</b>                                                                | Continuité structurelle, y compris des fondations, en vue d'une extension                                                                          | Éléments en attente                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>STABILISATION DE LA STRUCTURE</b>                                                          | Voir si le système de stabilisation de la structure (contreventement par ex.) ne gêne pas la transformation                                        | Par ex les «croix de St-André» sont gênantes pour pratiquer une ouverture dans la paroi, les façades porteuses assurant le contreventement n'autorisent pas de larges ouvertures. Les exosquelettes permettent une écriture architecturale en assurant les fonctions structurelles. |
| <b>RÉVERSIBILITÉ DES REZ-DE-CHAUSSÉE</b>                                                      | Réversibilité d'espaces particuliers : rez-de-chaussée                                                                                             | Transformation de halls en commerces ou espaces partagés                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>RÉVERSIBILITÉ DES SOUS-SOLS ET PARKINGS</b>                                                | Réversibilité d'espaces particuliers : sous-sols, parkings                                                                                         | Transformation de parking ouverts en structure support de bâtiments                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>STANDARDISATION ET MODULARITÉ</b>                                                          | Recours à des éléments standardisés afin de limiter les références de produits et outillages                                                       | Trames répétitives, décomposition/ recombinaison à partir d'éléments unitaires                                                                                                                                                                                                      |
| <b>FACILITÉ D'ACCÈS</b>                                                                       | Facilité d'accès aux composants, assemblages, équipements, réseaux après la livraison... (dans le bâtiment et sur la parcelle)                     | Réservations                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>SIMPLICITÉ</b>                                                                             | Plus c'est simple, plus c'est facile, rapide, et moins coûteux                                                                                     | Assemblages démontables, matériaux bruts et plans                                                                                                                                                                                                                                   |



ÉCONOMIE CIRCULAIRE  
DES BÂTIMENTS

| PRINCIPE OU CRITÈRE                                                           | DÉFINITION                                                                                                                                                                                                                                                 | EXEMPLES                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| RÉEMPLOI                                                                      | Soutien à l'économie circulaire : Démontabilité des composants d'ouvrages, sans les altérer, pour faciliter le réemploi                                                                                                                                    | La pierre porteuse est facilement démontable avec son scellement, alors que le parpaing de ciment, une fois scellé, sera démolé et non réutilisable                                                                                                                                                                      |
| RECYCLAGE                                                                     | Soutien à l'économie circulaire : Séparabilité des matériaux pour faciliter le recyclage                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| INDÉPENDANCE DES 4 SYSTÈMES                                                   | Indépendance entre 4 systèmes : structure, enveloppe, équipements, aménagements intérieurs. Cf. théorie des couches de S. Brand <sup>6</sup> . Le fait d'agir sur une couche ne doit pas affecter les autres couches, en particulier celle qui la supporte | Structure porteuse autostable, isolation côté intérieur ou extérieur de la structure porteuse et non en son seing. L'isolation répartie reste une bonne solution.                                                                                                                                                        |
| ASSEMBLAGES RÉVERSIBLES                                                       | Assemblages et connexions réversibles, permettant démontages et remontages successifs.                                                                                                                                                                     | Assemblages boulonnés                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| COMPOSANTS INTERCHANGEABLES                                                   | Composants interchangeables si possible plusieurs fois                                                                                                                                                                                                     | Éléments de façade opaques remplaçables par des éléments vitrés<br>Développement d'un marché de « location » de façade. L'entreprise n'a plus vocation à fabriquer un produit mis en œuvre et vendu au MOA, mais loue le produit, et donc garde la responsabilité de son évolution dans le temps et de sa mise à niveau. |
| ÉVITER LES TRAITEMENTS ET FINITIONS INUTILES                                  | <u>Note</u> : Ce dernier principe de l'ISO 20887 «Éviter les traitements et finitions inutiles» est jugé peu pertinent pour l'adaptabilité, critère non retenu                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Critères précis à considérer, du point de vue réglementaire, de l'usage, etc. |                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| SÉCURITÉ INCENDIE                                                             | C'est un sujet essentiel et d'ordre réglementaire, et les exigences sont nombreuses et souvent contraignantes.                                                                                                                                             | Balcons filants pour C+D                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| ACOUSTIQUE                                                                    | C'est une contrainte importante lors du passage de l'usage bureaux à l'usage logement, beaucoup plus exigeant en terme de réglementation acoustique. Ce sujet impacte notamment la structure, l'enveloppe, les partitions.                                 | Anticipation des contraintes acoustiques dès le 1 <sup>er</sup> usage ou dispositions techniques permettant ultérieurement un renforcement aisé des performances acoustiques (façades, planchers)                                                                                                                        |
| CONFORT THERMIQUE ET VISUEL                                                   | Confort thermique d'été notamment. Lié à l'architecture, la modularité et la gestion des réseaux de chaud et froid. Accès à la lumière naturelle des locaux reconfigurés (éventuellement en lien avec le code du travail)                                  | Ouverture des fenêtres, protection solaire, ventilation, isolation, inertie.                                                                                                                                                                                                                                             |
| VENTILATION ET QAI                                                            | En lien avec les préoccupations sanitaires. Modularité des installations.                                                                                                                                                                                  | Cohérence entre trame de façade et bouches d'entrée et de sortie d'air                                                                                                                                                                                                                                                   |
| QUALITÉ D'USAGE, FONCTIONNALITÉ                                               | Qualité d'usage, fonctionnalité (y compris espaces extérieurs ou intermédiaires tels que terrasses accessibles, balcons ou loggias, espaces extérieurs couverts...) Peut inclure les gênes et nuisances lors des travaux de transformation                 | Quid des vis-à-vis lorsqu'on passe des bureaux à des logements ?<br>Brise-vues<br>Accessibilité aux PMR                                                                                                                                                                                                                  |
| ÉCONOMIE D'ESPACE                                                             | Économie d'espace (en hauteur d'étage, en surface utile, en emprise au sol sur la parcelle). La transformation se traduit souvent par une perte de surface, que certaines solutions ou systèmes peuvent contribuer à réduire                               | Poutres ajourées permettant le passage de fluides, poutres incluses dans l'épaisseur du plancher                                                                                                                                                                                                                         |

5 Dans son livre intitulé «How Buildings Learn: What happens after they're built », publié en 1994, l'Américain Stewart Brand écrit que les bâtiments peuvent être décomposés en six couches distinctes qui se renouvellent à des rythmes différents au fil du temps. Il distingue : le site où est implanté le bâtiment, la structure, l'enveloppe, les équipements, l'agencement intérieur, le mobilier.



ÉCONOMIE CIRCULAIRE  
DES BÂTIMENTS

| PRINCIPE OU CRITÈRE       | DÉFINITION                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | EXEMPLES                                                                                                                                               |
|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ÉVOLUTION ÉNERGÉTIQUE     | Changement des systèmes énergétiques, en tout ou partie, de la source énergétique aux éléments terminaux                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Changement de source d'énergie, énergies renouvelables et de récupération, rajout de climatisation, remplacement par des équipements plus performants. |
| Critères économiques      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                        |
| Δ COÛTS INITIAUX          | Coûts (delta sur coûts initiaux, delta surcoûts de transformation, selon que l'on a anticipé ou non la transformation en conception) ou éventuellement approche intégrant les coûts (coûts/avantages). Pour ces 2 items, approche qualitative suggérée : écart de coûts faible, moyen ou fort, en indiquant la nature des surcoûts). Des exemples précis peuvent être cités en complément. | Simplicité des formes<br>Standardisation des choix architecturaux et techniques                                                                        |
| Δ COÛTS DE TRANSFORMATION |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Réflexion sur les invariants du bâtiment<br>Conservation de la façade                                                                                  |

Liste finale des principes et critères retenus pour le présent guide

## 3.4.

### Liste des thématiques retenues

Les solutions architecturales et techniques étudiées ont été structurées en plusieurs familles ou thématiques :

- Conception générale et architecturale
- Structure
- Façades porteuses et non porteuses
- Toitures
- Circulations
- Cloisonnement
- Équipements et réseaux.

La conception générale et architecturale fait l'objet d'un premier ensemble de recommandations. Ensuite, pour chacune des 6 autres thématiques, des solutions ou systèmes ont été identifiés et une partie d'entre eux a été analysée selon les principes et critères présentés précédemment. Les solutions et systèmes sont génériques, sans référence à une solution d'un industriel en particulier. Des références d'opérations ou des produits spécifiques d'industriels peuvent néanmoins être signalés, à titre indicatif et illustratif. Les principales filières de matériaux sont représentées (béton, métaux, bois et biosourcés, matériaux naturels) ainsi que les divers procédés constructifs (voie sèche, voie humide, préfabrication).



ÉCONOMIE CIRCULAIRE  
DES BÂTIMENTS

# 4.

# Recommanda- tions pour la conception de nouveaux bâtiments





## 4.1. Conception générale et architecturale

**"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*

### ESQUISSE

Les études d'esquisse ont pour objet de :

- a) Proposer une ou plusieurs solutions d'ensemble, traduisant les éléments majeurs du programme, d'en présenter les dispositions générales techniques envisagées, d'en indiquer les délais de réalisation, et d'examiner leur compatibilité avec la partie de l'enveloppe financière prévisionnelle retenue par le maître de l'ouvrage et affectée aux travaux
- b) Vérifier la faisabilité de l'opération au regard des différentes contraintes du programme et du site, notamment :
  - Règles d'urbanisme pour implantation et composition des volumes selon réglementations locales et nationales
  - Règles de construction pour intégration des principales contraintes constructives (sécurité, sûreté, sismique, ...)

Les recommandations pour la phase esquisse sont les suivantes :

- Implantation et orientation dans le site : à partir des contraintes urbanistiques, on définit le volume capable, il faut prévoir une implantation qui permette l'extension horizontale en réservant une part du terrain et son accessibilité pour les travaux futurs sans impacter l'activité. Les repérages des masques, orientation des vents, ensoleillement, exposition aux bruits pourront permettre de choisir les réglementations les plus contraignantes suivant les usages projetés dans le programme.
- Composition volumétrique en masse : c'est à cette étape que se déterminent la profondeur qui autorisera le fonctionnement logement/bureaux, la création des terrasses, jardins suspendus, l'usage horizontal des fonctions, le noyau vertical de distribution des circulations et des fluides. Les différents usages doivent emprunter les mêmes halls, les mêmes ascenseurs, les mêmes points de sortie. Les flux sont structurants dans la composition du plan tant pour les escaliers que les ascenseurs pour respecter les normes du code du travail (points de sortie selon les effectifs et les étages). Ces éléments structurent le plan masse.

La hauteur des niveaux est un enjeu majeur, les PLU structurent le nombre de niveaux selon une norme de hauteur d'étage usuelle selon la destination de l'immeuble. Les standards actuels, fixent à 18 m l'épaisseur des bureaux regroupés autour d'une bande centrale et une hauteur sous plafond de 3,30 m, et à 15 m la largeur des immeubles de logements mono-orientés pour 2,50 m de hauteur. Il faudra introduire la notion de réversibilité pour permettre aux maîtres d'ouvrage de ne pas être pénalisés quant à la constructibilité de la parcelle.

Il faut harmoniser les trames, les hauteurs, poser la question des évacuations, des gaines. Le problème n'est pas technique mais plutôt économique.

En termes de dimensionnement, une hauteur standard de 2,70 m et une épaisseur du bâti de 12 à 14 m lui permet d'être ventilé et d'accéder à la lumière naturelle quelle que soit sa destination. Les fenêtres doivent pouvoir être ouvrantes.





## AVANT-PROJET SOMMAIRE

Les études d'avant-projets sont fondées sur la solution d'ensemble retenue et sur le programme précisé à l'issue des études d'esquisse approuvées par le maître de l'ouvrage.

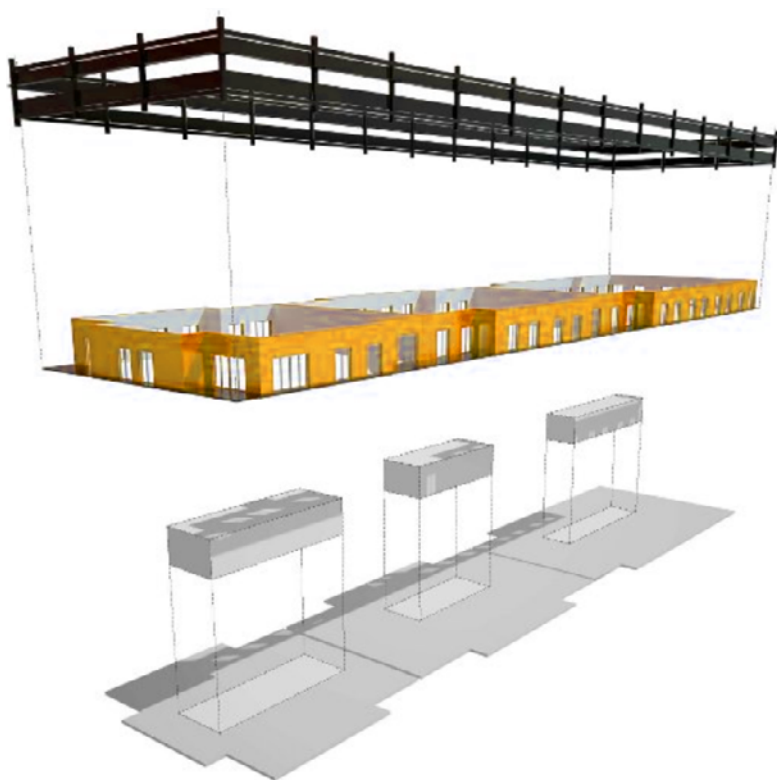
Les études d'avant-projet sommaire ont pour objet de :

- Préciser la composition générale en plan et en volume
- Vérifier la compatibilité de la solution retenue avec les contraintes du programme et du site ainsi qu'avec les différentes réglementations, notamment celles relatives à l'hygiène et à la sécurité.
  - La destination initiale des locaux est précisée à cette étape. Par exemple, la décision sur les RDC et les derniers niveaux se définit pour ouvrir les possibles évolutions : doubles hauteurs au rez-de-chaussée et au dernier étage permettant d'installer des lofts aussi bien que des commerces ou des espaces de coworking
- Contrôler les relations fonctionnelles des éléments du programme et leurs surfaces.
  - La mixité des usages que l'on trouve aujourd'hui dans beaucoup de programmes, mêlant tertiaire et logements, met en pratique dès la construction initiale la prise en compte des contraintes réglementaires les plus fortes : sécurité incendie, sismique, acoustique, sanitaire...
- Définir les concepts structurels : plancher-dalle, poteaux sans retombées de poutres, puis des cloisons mobiles ou mobilisables.
  - Les objets structuraux sont positionnés et incluent les informations techniques sommaires (forme et nature) associées
- Définir la géométrie des enveloppes, leur performance et leurs caractéristiques techniques générales.
  - Le parti architectural des façades et de la trame doit refléter la diversité des usages possibles et sortir de l'identité visuelle habituelle.
  - Les objets constituant les enveloppes sont positionnés, épaisseur des parois des enveloppes externes, localisation de leurs ouvertures et définition de leurs matériaux. La conception des façades doit permettre les interventions futures pour actualiser les performances, les renouveler, modifier l'aspect.

Un exemple de cette stratégie est le projet Black Swans de l'architecte Anne DEMIANS utilisant des modules de 6,66 m en trame porteuse, multiple de 0,74 m. Cette trame est compatible pour le bureau avec des modules de façade de 1,48 m. Pour le logement, les modules de 6,66 m permettent d'intégrer les normes PMR. Ainsi, 4 trames forment un bureau, 4 trames forment une chambre, 6 trames un séjour etc. La création de cette trame unique n'a pas posé de difficulté économique contrairement aux idées reçues. Dès lors que le projet a une taille conséquente, les économies d'échelle jouent.

©ARTELIA Guide réversibilité

- Intégrer les principes et informations techniques impactant les volumes intérieurs (locaux techniques, trémies, gaines verticales et horizontales, innervations principales).
  - Le positionnement des éléments intangibles est défini, en relation avec les choix de contreventement, de distribution verticale et horizontale des circulations, escaliers, ascenseurs, fluides.



## LES ÉLÉMENTS INTANGIBLES

Garde-corps et brise-soleils en métal perforé qui délimitent l'ensemble des coursives et loggias.

### Façade clos/couvert composée :

- d'une structure porteuse en béton
- d'une isolation par l'extérieur
- d'une vêtue métallique
- de menuiseries extérieures
- coursives et loggias

### Noyaux structurels et distributifs

Dalles en béton armé

Exemple d'éléments intangibles – Opération Black Swans (ICADE - Architectures Anne DEMIANS)

- Définir les parois intérieures  
→ Les objets constituant les parois intérieures sont positionnés par ensembles fonctionnels, épaisseur des parois des volumes internes et localisation des ouvertures, qui devront permettre le changement de destination sans impliquer de travaux lourds.
- Accessibilité aux personnes à mobilité réduite  
→ La réglementation ERP sera la référence.
  - Circulations intérieures : 1,40 m
  - Largeur minimale escaliers : 1,40 m
  - Largeur minimale entre mains courantes : 1,20 m
  - Hauteur des marches  $\leq 16$  cm
  - Giron des marches  $\geq 28$  cm
  - Palier de repos : 1,40 m X 1,20 m

## AVANT-PROJET DÉFINITIF

Les études d'avant-projet définitif, fondées sur l'avant-projet sommaire approuvé par le maître de l'ouvrage, ont pour objet de :

- Vérifier le respect des différentes réglementations, notamment celles relatives à l'hygiène et à la sécurité ;
- Déterminer les surfaces détaillées de tous les éléments du programme ;
- Arrêter en plans, coupes et façades, les dimensions de l'ouvrage, ainsi que son aspect ;
- Définir les principes constructifs, de fondation et de structure, ainsi que leur dimensionnement indicatif.



ÉCONOMIE CIRCULAIRE  
DES BÂTIMENTS

- Conférer la possibilité de surélévation impacte le dimensionnement des fondations, c'est à l'APD que cela se précise. Les fondations devront supporter la surcharge projetée possible.
- La descente de charge peut être prévue dès la construction initiale ou réserver la possibilité de placer des poteaux en façade qui seront alignés sur les fondations.
- Définir les matériaux
  - L'enjeu des matériaux d'enveloppe est de permettre une évolution dans le cycle de vie du bâtiment, la notion de façade "pelable" comme une peau d'oignon doit guider les choix de composition des façades. Canal Architecture propose dans ses 7 principes de réversibilité la recommandation suivante : en cas de mutation d'un immeuble, moins de 30% des composants devraient être modifiés sur l'enveloppe. Il s'agit principalement des modules d'accès aux façades, déposés puis remplacés. Dans le cadre d'une transformation bureaux vers habitations, grâce aux mesures conservatoires, les portes d'accès aux logements se substitueront aux modules de façades. Ces adaptations seront réalisées par des équipes d'intervention légère, plus proche du service après-vente (SAV) que d'entreprises de réhabilitation lourde.
- Justifier les solutions techniques retenues, notamment en ce qui concerne les installations techniques ;
- Permettre au maître de l'ouvrage d'arrêter définitivement le programme et certains choix d'équipements en fonction de l'estimation des coûts d'investissement, d'exploitation et de maintenance.
  - Les aspects économiques des dispositions prises en vue de la réversibilité s'arbitrent à cette étape.

Pour les ouvrages de construction neuve de logements, les études d'avant-projet sommaire et d'avant-projet définitif peuvent être exécutées en une seule phase d'étude.

## PROJET DE CONCEPTION GÉNÉRALE

Les études de projet, fondées sur le programme arrêté et les études d'avant-projets approuvées par le maître de l'ouvrage ainsi que sur les prescriptions de celui-ci, découlant du permis de construire et autres autorisations administratives, définissent la conception générale de l'ouvrage.

Les études de projet ont pour objet de :

- Préciser par des plans, coupes et élévations, les formes des différents éléments de la construction, la nature et les caractéristiques des matériaux et les conditions de leur mise en œuvre ;
- Déterminer l'implantation et l'encombrement de tous les éléments de structure et de tous les équipements techniques ;
- Préciser les tracés des alimentations et évacuations de tous les fluides et, en fonction du mode de dévolution des travaux, coordonner les informations et contraintes nécessaires à l'organisation spatiale des ouvrages ;
- Décrire les ouvrages et établir les plans de repérage nécessaires à la compréhension du projet ;
- Etablir un coût prévisionnel des travaux décomposés par corps d'état, sur la base d'un avant-métré ;
- Permettre au maître de l'ouvrage, au regard de cette évaluation, d'arrêter le coût prévisionnel de l'ouvrage et, par ailleurs, d'estimer les coûts de son exploitation ;
- Déterminer le délai global de réalisation de l'ouvrage.



ÉCONOMIE CIRCULAIRE  
DES BÂTIMENTS

En outre, lorsqu'après mise en concurrence, sur la base de l'avant-projet définitif, ou sur la base des études de projet, une variante minimale respectant les conditions stipulées dans le dossier de consultation, a été proposée par le ou les entrepreneurs et acceptée par le maître de l'ouvrage, les études de projet doivent être complétées pour :

- assurer la cohérence de toutes les dispositions avec les avant-projets ainsi qu'avec les dispositions découlant, le cas échéant, d'un permis de construire modifié ;
- établir la synthèse des plans et spécifications émanant d'une part de l'avant-projet définitif établi par le maître d'œuvre et d'autre part des propositions de l'entrepreneur.

C'est le moment du projet qui va définir les prestations selon les principes énoncés plus hauts, démontabilité, adaptabilité, réversibilité etc. Les choix de conception sont décrits dans le CCTP (Cahier des Clauses Techniques Particulières) en produits, ouvrages, performances. Avec les plans c'est la formalisation de la réponse au programme du maître d'ouvrage notamment quant aux exigences en matière de réversibilité.

## 4.2.

### Recommandations associées aux principaux systèmes constructifs et techniques

#### STRUCTURE

Le potentiel d'évolutivité du bâtiment est grandement influencé par les choix de structure qui sont faits au moment de la conception.

Si c'est l'extension verticale qui est visée, il faut surtout s'assurer que les charges supplémentaires pourront être reprises par la suite (soit par surdimensionnement de la structure du bâtiment, soit par la prévision de fondations complémentaires au nu du bâtiment et qui porteront la structure porteuse indépendante de l'extension verticale).

Pour une extension horizontale, il faut prévoir la possibilité de raccorder la nouvelle structure ainsi que le démontage des façades qui pourront disparaître complètement ou être transformées en cloisons intérieures. La position des éléments de contreventement est alors à prendre en compte. La géométrie des éléments doit également être prise en compte en limitant les décrochés qui sont autant de points singuliers à traiter par la suite.

Dans l'idéal, une opération de changement d'usage d'un bâtiment évolutif ne doit pas nécessiter d'intervention sur la structure qui aura été choisie pour laisser le volume capable le plus adapté. Une structure poteaux-poutres avec de grandes portées pourra aussi bien recevoir une organisation de type open-space que des logements individuels.

Dans tous les cas, de nouveaux réseaux pourront avoir à traverser les structures, que ce soit au niveau des planchers ou des plafonds. L'intégration des circulations dans un noyau central participant au contreventement est une façon de gérer les trois types de transformation. Il est également possible d'avoir recours à des composants de structure qui permettent de faciliter le passage des réseaux à l'instar des poutres métalliques dites "cellulaires" ou "alvéolaires". Des ouvertures sont prévues dans l'âme de la poutre pour intégrer l'ensemble des gaines dans la hauteur des poutrelles et ainsi limiter la hauteur du plénum. Elles permettent de franchir des portées de 20 m grâce à des solutions mixtes métal-béton.



ÉCONOMIE CIRCULAIRE  
DES BÂTIMENTS



Exemple: poutre Angelina d'Arcelor-Mittal <sup>6</sup>

La régularité de la trame de la structure du bâtiment est à prendre en compte pour optimiser la réalisation initiale, puis les évolutions, grâce à l'utilisation d'éléments préfabriqués standardisés.

## FAÇADES

Les solutions constructives et les choix de conception qui concernent les façades vont impacter l'évolutivité et la réversibilité du bâtiment. La reconfiguration du volume intérieur du bâtiment (cloisonnement) sera lui peu impacté par les choix de conception portant sur les façades mis à part la distribution des ouvertures. Ce sont surtout les possibilités d'extension (horizontales et verticales) et le changement d'usage du bâtiment (réversibilité) qui sont concernés.

Il faut dans un premier temps distinguer les façades porteuses de celles non porteuses. Dans le premier cas ce seront les façades qui vont descendre les charges jusqu'aux fondations du bâtiment et éventuellement participer au contreventement (voir paragraphe précédent). La possibilité d'ajouter une extension verticale va alors directement dépendre de la capacité de la façade à supporter les charges apportées. Un surdimensionnement des façades porteuses lors de la conception peut être envisagé. La dissociation des fonctions de structure et d'enveloppe (cas des façades non porteuses) offre généralement une plus grande liberté dans l'évolution du bâtiment ou son changement d'usage. La possibilité d'apporter des charges supplémentaires (extension verticale) va alors dépendre de la structure primaire indépendamment des façades. Pour la réalisation d'une extension horizontale les façades non porteuses pourront être largement ouvertes pour accéder à la nouvelle partie de l'ouvrage. Dans une façade porteuse, la possibilité de réaliser de nouvelles ouvertures sera limitée par la nécessité d'assurer la reprise des charges.

La conception d'éléments de façades démontables va simplifier les futures modifications de l'ouvrage. Certaines parties d'une façade non porteuse pourront ainsi être déposées de sorte à donner accès à une extension verticale. Elles pourront aussi être remplacées dans le cas d'un changement d'usage (par exemple, les façades fortement vitrées d'un bâtiment de bureaux ne correspondent pas aux attentes pour un bâtiment de logements). La simplicité de démontage est un élément essentiel. Il convient de rendre facilement accessible les connexions entre la façade et la structure du bâtiment et aussi d'en limiter le nombre. La démontabilité s'entend également au niveau des composants de la façade. Un revêtement extérieur démontable pourra ainsi être facilement déposé dans le cas où la façade se retrouverait à l'intérieur suite à la réalisation d'une extension horizontale. La démontabilité permet d'envisager plus facilement le réemploi et le recyclage des éléments déposés.

Concernant les ouvertures, des dispositions peuvent être prises lors de la conception de l'ouvrage pour faciliter les futurs changements d'usage et éviter le remplacement complet des façades. La transformation d'un bâtiment de logements en bureaux va généralement nécessiter des surfaces vitrées plus importantes. Les façades peuvent alors être conçues de sorte à disposer de remplissages amovibles. Par exemple, une façade de logement peut être conçue pour faciliter le remplacement d'une



ÉCONOMIE CIRCULAIRE  
DES BÂTIMENTS

allège de menuiserie par une surface vitrée. De la même façon, des linteaux peuvent être prévus dans un mur en béton avec un remplissage démontable pour faciliter la réalisation de l'ouverture nécessaire à l'accès à une extension horizontale. Cela peut aussi permettre le maintien de la réversibilité d'un ouvrage au cours des transformations.

Si le passage de réseaux est prévu en façade il est préférable de les rendre facilement accessibles. De la sorte, ils pourront être modifiés sans intervention lourde. Les réservations dans les parois destinées au passage des réseaux peuvent également bénéficier d'un surdimensionnement qui autorisera le passage de nouveaux réseaux (cas du changement d'usage ou bien de l'acheminement des réseaux vers une extension verticale).

Lors d'un changement d'usage ou plus généralement d'une modification de l'ouvrage il peut être nécessaire de rapporter de nouveaux éléments en façade du bâtiment (brise-soleil, balcons, escalier extérieur, ...). Ces éléments doivent être fixés à la structure du bâtiment. Qu'il s'agisse de façades porteuses ou non porteuses, des dispositifs d'accroche installés en attente faciliteront l'ajout de ces éléments. Notons que des extensions en façades (ex. balcons) peuvent être ajoutées via des structures (souvent métalliques, mais aussi modules 3D bois) structurellement indépendantes du bâtiment de départ, les fixations horizontales au bâtiment n'assurant pas de rôle de descente de charges.

La modification du bâtiment ou un changement d'usage peuvent éventuellement amener de nouvelles contraintes réglementaires (propagation du feu en façade, réaction au feu des matériaux, acoustique, thermique). Celles-ci peuvent être anticipées lors de la conception de l'ouvrage en retenant les exigences les plus contraignantes. A noter toutefois que les réglementations sont sujettes à évolutions et que ces anticipations peuvent impacter fortement le coût de l'ouvrage. Il sera parfois plus pertinent de simplifier les modifications futures que de les réaliser sans assurance qu'elles soient un jour nécessaires. (voir chapitre réglementation)

Enfin, des choix architecturaux comme des façades sans débord, des trames régulières, vont faciliter les éventuelles modifications futures de l'ouvrage.

## TOITURES

Le type et la composition de la toiture sont des facteurs importants pour contraindre ou favoriser la transformation du bâtiment. Le toit du bâtiment peut être de l'un des trois types suivants : combles perdus, combles aménagés ou toiture plate.

### *Adaptabilité des espaces intérieurs sans modification de la toiture*

Les solutions avec combles aménagés, présentent en général une grande aptitude à l'adaptation des espaces car les charpentes, par leur grande portée, libèrent la surface des points porteurs (poteaux ou refends) alors que la structure porteuse des toitures plates reproduit souvent celle des étages inférieurs, dimensionnée par la descente de charges. Dans le cas de combles perdus initialement, il est intéressant de retenir des fermettes industrielles déjà prévues pour être aménagées en l'état. Il y aura juste à mettre en place des entretoises afin de rigidifier l'ensemble, des entrails bas et d'y poser un plancher par-dessus.

### *Transformation par extension verticale*

Dans le cas de toiture plate, la surélévation peut sembler être « simplement » posée sur l'ouvrage. Malheureusement les toits plats sont le plus souvent le lieu où se concentrent les équipements techniques du bâtiment, l'opération n'est donc pas simple et impose en général la réalisation d'une nouvelle plateforme sur laquelle reposera la surélévation.

En présence de combles, il sera le plus souvent nécessaire de déposer la toiture existante avant les travaux de surélévation. Il y a lieu dans ce cas d'anticiper cette opération en privilégiant des solutions facilement démontables : charpentes industrialisées et couvertures en petits éléments (tuiles, ardoises). Il faut noter également que lors du démontage des systèmes d'étanchéité des toits plats, la valorisation des déchets est complexe compte tenu de la mise en œuvre des composants par adhésion à chaud, ou même à froid, à la différence des solutions de couvertures, fixées le plus souvent mécaniquement.



ÉCONOMIE CIRCULAIRE  
DES BÂTIMENTS

Dans le cas de combles, l'extension peut relever d'un changement de pente ou d'un rehaussement partiel des murs et de la toiture. Plusieurs moyens existent pour parvenir à satisfaire ces objectifs et il n'est pas obligatoire de surélever la toiture d'un étage complet. La hauteur à monter peut être de 1 m en bas de pente pour créer des espaces habitables.

### *Impacts des équipements sur la transformabilité*

Pour favoriser la transformabilité, la conception de la toiture devra optimiser l'implantation des sorties en toiture (cheminées et les systèmes de ventilation...) pour éviter de créer ainsi autant de points sensibles qu'il conviendra de traiter tout particulièrement dans un projet futur de transformation du bâtiment.

## CIRCULATIONS

La démarche architecturale consiste en la prise en compte harmonieuse de l'intégration de plusieurs notions et contraintes comme : épaisseur, hauteurs, ensoleillement, sécurité incendie, accessibilité, relation à l'environnement...

Afin de répondre aux exigences de la réglementation incendie, les circulations verticales seront fonction de la distance maximum entre la porte palière de chaque logement et l'accès à l'escalier le plus proche qui doit être égale à 10 m pour les logements de 3<sup>ème</sup> famille A.

Le respect des exigences sur l'accessibilité des personnes à mobilité réduite (PMR) sera également impactant et va concerner l'accès au bâtiment et l'accès aux espaces du bâtiment via les circulations horizontales, les escaliers et les ascenseurs. On retiendra les dispositions les plus contraignantes en fonction des différents usages envisagés.

L'intégration des circulations dans un noyau central participant au contreventement est une façon de gérer les trois types de transformation. Cependant, le positionnement en façade permet de dégager les plateaux de ces points durs qui pourraient constituer des obstacles à l'évolution future souhaitée. La combinatoire circulations verticales-horizontales placées à l'extérieur créent des ruptures dans la linéarité de la façade et des espaces riches en termes de potentialité d'usage : rencontre, jardins, prolongement espace privé-semi-public. Les circulations deviennent des espaces à part entière et non seulement des lieux de passage.

Il y a lieu de prévoir les dimensionnements les plus contraignants, ceux des ERP, pour avoir la plus grande flexibilité :

- Portes : 0,90 m si zone recevant moins de 100 personnes, sinon 1,80 m (à deux vantaux)
- Circulations intérieures : 1,40 m
- Largeur minimale escaliers : 1,40 m
- Largeur minimale entre mains courantes : 1,20 m
- Hauteur des marches  $\leq$  16 cm
- Giron des marches  $\geq$  28 cm
- Palier de repos : 1,40 m X 1,20 m

### *Contraintes de sécurité Incendie*

La conception des circulations est fortement influencée par les contraintes de sécurité incendie. Les réglementations incendie sont différentes d'une typologie de bâtiment à l'autre. Leur date d'entrée en vigueur et les enjeux qu'elles portent sont totalement indépendants. Si l'on se concentre sur un comparatif entre bureaux et logements, on peut se rendre compte de leur dissociation. Pour pouvoir anticiper les deux usages dans un seul bâti, il n'est pas possible de les ignorer. Il est d'ailleurs particulièrement important de considérer ces aspects réglementaires au plus tôt de la conception des circulations horizontales et verticales d'un bâtiment réversible.

Le fait d'évoquer tous les cas possibles rendrait l'exercice infini. Ce travail est à mener au cas par cas, en fonction du programme du maître d'ouvrage. Prenons l'exemple d'un immeuble réversible bureaux vers





ÉCONOMIE CIRCULAIRE  
DES BÂTIMENTS

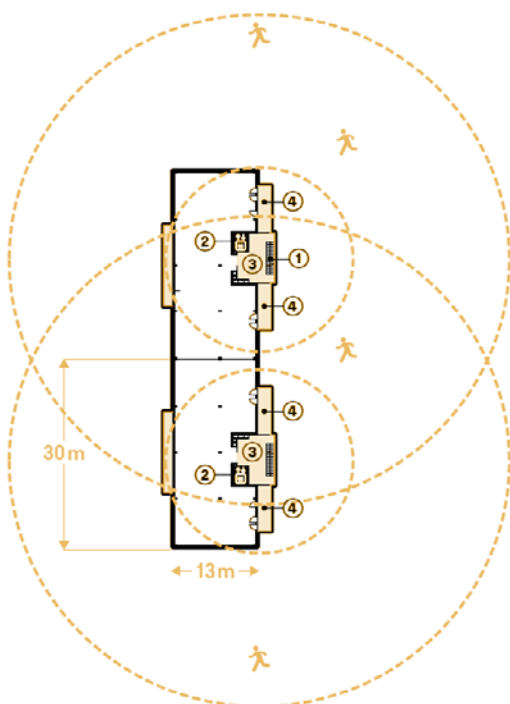
logements, et inversement, avec les caractéristiques suivantes :

- Le plancher bas du dernier niveau est situé à moins de 28 m
- Classé 3<sup>ème</sup> famille A selon la réglementation incendie des habitations
- Soumis à la réglementation ERP (établissement recevant du public)
- Effectif de 300 personnes (version bureaux)

Il convient de respecter l'ensemble des exigences réglementaires les plus contraignantes issus des deux réglementations auxquelles l'immeuble est alors soumis.

|                                            | ERP                                                                                                                   | Logement 3 <sup>ème</sup> famille A                                                                            |
|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>DISTANCE AUX ESCALIERS</b>              | Distance maximale à parcourir pour gagner un escalier inférieure à :<br>50m si plusieurs sorties<br>30m si une sortie | Distance maximum entre la porte palière de chaque logement et l'accès à l'escalier le plus proche égale à 10m. |
| <b>NOMBRE ET DIMENSIONS DES ESCALIERS</b>  | Effectif de 300 personnes : 2 escaliers de 2UP(1,40m)                                                                 | Pas d'obligation                                                                                               |
| <b>C+D</b>                                 | Oui : C+D = 1,00 à 1,30m selon la masse de combustible et usage SAUF si sprinklage OU SSI de niveau A                 | Oui : C+D = 0,60 à 1,10m selon la masse de combustible                                                         |
| <b>DÉSENFUMAGE CIRCULATIONS VERTICALES</b> | Oui                                                                                                                   | Non                                                                                                            |

*Conception des circulations d'un bâtiment réversible - Contraintes liées à la réglementation incendie.*



*Illustration issue de la publication "Construire réversible" de Canal Architecture*

## CLOISONNEMENT

Les cloisonnements n'entravent pas l'évolutivité d'un bâti lorsque leur nature est démontable et non porteuse (essentiellement la filière sèche). Les cloisonnements sont destinés à l'aménagement des espaces et à les séparer entre eux. L'objectif dans le cadre de la réversibilité est justement de maximiser les plans libres en limitant la quantité de porteurs verticaux. On peut donc par conséquent s'attendre sur un projet réversible à une présence forte de cloisonnement.





ÉCONOMIE CIRCULAIRE  
DES BÂTIMENTS

Ils impactent les projets de manière transverse et influent sur les réflexions à avoir dans le cadre de la réversibilité plus qu'ils ne vont les entraver ou les favoriser.

Ci-après une liste non exhaustive de réflexions à mener, en lien avec la conception générale de l'ouvrage et notamment la disposition des circulations :

- Anticipation des charges des cloisons de distribution et des cloisons séparatives entre logements pour le dimensionnement des planchers
- Cheminement des fluides à réfléchir à l'intérieur, ou sur les cloisons dans une logique de modularité et de démontabilité aisée
- Démontabilité aisée pour faciliter les changements d'usage.

Par exemple, l'anticipation de cloisonnement séparatifs de type SAD ou Siporex pour les logements permet d'assurer la démontabilité et d'éviter un surdimensionnement des structures par rapport aux charges permanentes et aux surcharges d'exploitation considérées pour les bureaux.

Une grande diversité de types de cloison existe. Le système revenant le plus souvent reste la cloison opaque standard constitué de rails métalliques, panneaux d'isolants divers, plaques de plâtres, vis, enduit et peinture. Ce même système : rails, isolant, plaque de remplissage existe avec différents matériaux. Le système est démontable jusqu'à la couche de revêtement et de jointage. Des traces de leur présence seront laissées par les fixations en pied, en tête et aux extrémités.

De nouvelles solutions sont à l'étude chez les industriels. Des prototypes ont d'ores et déjà pu être testés, permettant une pose de cloisons à parement plâtre sans joints. Deux solutions sont notamment proposées par la société Gyproc (Saint-Gobain) dans le cadre du projet de recherche européen BAMB (Building As Material Banks) : l'une utilisant des ossatures en bois et l'autre utilisant des ossatures métalliques.

## ÉQUIPEMENTS ET RÉSEAUX

Concernant les équipements et réseaux, la logique d'anticipation des futurs usages possibles du bâtiment et la simplicité sont à privilégier. L'objectif étant encore une fois de limiter le coût technique et économique d'un changement d'usage.

Quelques pistes de solutions pour faciliter l'évolutivité du bâtiment ont été présentées dans les paragraphes précédents sur les façades et les cloisonnements.

### *Réseaux d'eau*

Pour éviter d'avoir à changer les équipements du bâtiment concernant le branchement EF (eau froide), il conviendra d'estimer les besoins pour les futurs usages anticipés du bâtiment. Ceci nous donnera la dimension de l'arrivée d'eau et des éventuelles pompes à mettre en place afin d'assurer la pression voulue.

Les pièces humides ne pourront pas être utilisées à 100% d'un usage à l'autre. Il faut donc s'assurer de leur démontabilité. On se posera alors la question d'une production d'ECS locale au maximum, pour faciliter les ajustements de réseau et le réemploi d'équipement. Pour des bureaux, on peut également se demander si l'ECS est nécessaire dans les cellules sanitaires.

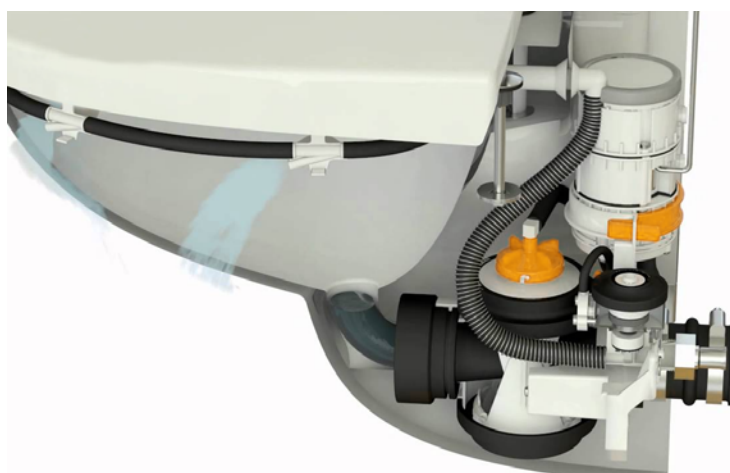
### *Évacuation Eaux usées / Eaux vannes*

De la même manière que pour l'alimentation en EF, les dimensionnements pour les évacuations des eaux usées et eaux vannes nécessitent l'anticipation des débits de sortie. Les chutes de ces réseaux passent verticalement dans des gaines techniques. Leur accessibilité doit être assurée aussi bien pour l'entretien, la maintenance que les changements d'usage futurs du bâtiment. Toutes ces chutes sont réunies en un collecteur d'évacuation unitaire EU/EV qui pourra être réutilisé d'un usage à l'autre si sa dimension est bien anticipée.



ÉCONOMIE CIRCULAIRE  
DES BÂTIMENTS

Pour les **évacuations des eaux usées**, la **solution sous vide** permet de s'affranchir des contraintes de positionnement guidées par le système gravitaire. Grâce à l'énergie du vide, le système d'évacuation, permet de transporter tous types d'eaux usées, y compris les eaux grasses à traiter. Le vide d'air est créé au sein du réseau de canalisations à l'aide de pompes. Le transport se fait au sein de tuyaux de diamètres inférieurs (DN 65 à 80) à ceux des systèmes d'évacuations gravitaires traditionnels (DN100) et ne nécessite pas de pente continue. Les effluents peuvent être évacués vers le haut, voire même contourner des obstacles, la flexibilité de routage des réseaux d'eaux usées est ainsi améliorée. En outre, ce système permet de s'affranchir de la présence de pompes de relevage immergées et de multiples stations enterrées. Le système consomme beaucoup moins d'eau.



*Système d'évacuation des eaux usées sous vide Evac<sup>2</sup>*

### ***Courant fort / Courant faible***

Concernant les réseaux CFO et CFA l'enjeu n'est pas tant sur les raccordements et les équipements amonts et avals que sur leur cheminement. En effet, la localisation des câbles est dictée par la volonté de respecter les normes, mais surtout, de les rendre au maximum invisibles pour des raisons esthétiques. L'évolutivité peut être envisagée via des installations modulables et accessibles. Eviter au maximum l'incorporation dans la structure, permettant une plus grande flexibilité des aménagements et du changement d'usage. La présence de faux plancher apparaît comme une bonne solution que ce soit en phase bureaux ou en phase logements. Cependant, ce mode constructif porte son lot de questionnement sur les hauteurs d'étage, l'acoustique et l'installation future de pièces humides. Faire évoluer l'esthétique des cheminements CFO/CFA, ou leur acceptation par les Maîtres d'Ouvrage, serait une autre piste pour favoriser une plus grande modularité et évolutivité des espaces.

### ***Ascenseurs***

L'usage variant, les fréquences d'utilisation et la simultanéité de la demande varient d'autant d'un type de bâtiment à l'autre. Il est évident que le nombre d'ascenseurs et leurs gaines doivent être anticipés pour le cas le plus défavorable prévu sur le bâtiment réversible. Dans le but d'apporter le minimum de modifications à la structure, les gaines doivent être correctement dimensionnées dès la conception, mais on peut également imaginer installer un ascenseur qui aura la possibilité d'assurer sa fonction pour tous les futurs usages du bâtiment grâce à une étude de trafic.



ÉCONOMIE CIRCULAIRE  
DES BÂTIMENTS

#### CVC

Un peu comme pour la production d'ECS, une ventilation locale en phase bureaux, par exemple par étage peut vraiment aller dans le sens de la réversibilité en limitant les besoins d'épaisseur en plénum, en cheminements et en locaux techniques. Dans le cas de ventilation double-flux centralisée, il conviendra plutôt de trouver des solutions techniques permettant d'optimiser les hauteurs d'étage. Par exemple : ne pas avoir de faux plafond et localiser l'extraction et le soufflage dans les circulations, permettant une hauteur sous plafond plus faible de manière localisée et prévoir des ventilo-convecteurs en allège.

Concernant les émetteurs de chaud et de froid, il faut s'orienter vers le plus facilement démontable et flexible. Nous imaginons la difficulté de redéfinir les zones et de moduler la puissance d'un plancher réversible incorporé dans une dalle en béton sans devoir intervenir lourdement.

## 4.3. Réglementations

### SÉCURITÉ INCENDIE

Les réglementations incendie sont très différentes entre bureaux et logements. Elles n'offrent pas de marge de manœuvre importante. Pour pouvoir concilier les deux typologies, c'est en premier lieu ces règles qui vont influencer le gabarit et l'implantation des noyaux du bâtiment.

#### ERP

Les textes applicables aux établissements recevant du public sont le règlement de sécurité contre l'incendie (arrêté du 25/06/1980 modifié) et les arrêtés concernant tous les types d'ERP. Ces types sont définis en fonction de l'article GN1 du règlement de sécurité incendie. Les catégories (capacité d'accueil) sont définies en fonction de l'article R 123-19 du Code de la Construction et de l'Habitation.

#### ERT

Dans le cas des établissements recevant des travailleurs s'applique le règlement de sécurité contre l'incendie (arrêté du 25/06/1980 modifié) et la définition selon l'article R. 4211-2 du code du travail.

#### Habitation

La sécurité incendie de cette typologie est définie et régie par L'article R. 111-1 du Code de la Construction et de l'Habitation, la circulaire du 13 décembre 1982, relative à la sécurité des personnes en cas de travaux de réhabilitation ou d'amélioration des bâtiments d'habitation existants, et également par l'arrêté interministériel du 31 janvier 1986 relatif à la protection contre l'incendie des bâtiments d'habitation, modifié par l'arrêté du 18 août 1986, et plus récemment par l'arrêté du 7 août 2019 (voir plus bas).

#### C+D

Concernant la distance C+D à respecter, le choix systématique de balcons filants permet de s'affranchir de la problématique. L'autre manière de s'affranchir du C+D est d'opter pour une allège pleine. De plus, cette dernière disposition permet d'avoir une signature moins typée bureaux sur les façades pour favoriser leur réemploi sur un changement d'usage futur.

(d'après le guide ARTELIA sur la réversibilité bureau-logement)



ÉCONOMIE CIRCULAIRE  
DES BÂTIMENTS

## Complément sur les apports de la loi ELAN

Une nouvelle catégorie d'immeuble a été créée par la loi ELAN du 23 novembre 2018 : les immeubles de moyenne hauteur ou IMH. L'objectif affiché est la simplification et l'harmonisation des réglementations, notamment en matière de sécurité incendie, afin de faciliter la transformation de bureaux en logements et la mixité d'usages. Les IMH regroupent les immeubles dont le plancher bas du dernier niveau est situé à une hauteur (au-dessus du niveau accessible par les engins des pompiers) ne dépassant pas 50 m. De façon simplifiée, il s'agit des bâtiments dont la hauteur se situe dans la tranche allant de 28 à 50 m.

La réglementation applicable aux travaux de rénovation de façade des bâtiments d'habitation de moyenne hauteur, lorsque sont mis en œuvre des matériaux susceptibles de concourir au risque incendie, est le décret n° 2019-461 du 16 mai 2019. Il s'applique pour les demandes de PC et déclarations préalables déposés à partir du 1er janvier 2020. Les modalités techniques sont précisées dans l'arrêté du 7 août 2019.

Suite à l'incendie de la tour Grenfell à Londres en juin 2017, il était également nécessaire de renforcer la sécurité incendie des immeubles d'habitation de la 4<sup>ème</sup> famille, devenus des IMH, concernant en particulier la propagation d'incendie par les façades, dont la réglementation était jugée trop permissive. Les exigences relatives aux différentes familles de bâtiments d'habitation ont été révisées dans un arrêté publié également le 7 août 2019.

## ACOUSTIQUE

En France, les bâtiments à usage d'habitation, les établissements d'enseignement, de santé et les hôtels sont soumis à des obligations de performance acoustique (voir tableaux ci-dessous). En revanche, sauf sous certaines conditions d'environnements spécifiques, les bâtiments de bureaux, de commerces, de pratique du sport, et d'industrie ne sont pas soumis à des exigences acoustiques réglementaires particulières (entre locaux ou vers l'extérieur). Les exigences sont proposées spécifiquement par la maîtrise d'ouvrage et/ou l'équipe de la maîtrise d'œuvre.

| TEXTES RÉGLEMENTAIRES    | OBJET                                                                                                              |
|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ARRÊTÉ DU 30/06/1999     | Caractéristiques acoustiques des bâtiments d'habitation et modalités d'application de la réglementation acoustique |
| ARRÊTÉS DU 25/04/2003    | Limitation du bruit dans les établissements d'enseignement, de santé et les hôtels                                 |
| CIRCULAIRE DU 25/04/2003 | Application de la réglementation acoustique des bâtiments autres que d'habitation                                  |

### *Textes réglementaires relatifs aux exigences acoustiques pour les bâtiments*

Les exigences acoustiques réglementaires portent sur :

- Les isolements acoustiques aux bruits aériens entre locaux à l'intérieur du bâtiment ;
- L'isolation vis-à-vis des bruits de chocs sur les planchers ;
- L'isolation des bâtiments vis-à-vis des bruits de l'espace extérieur ;
- La correction acoustique de certains locaux et aire d'absorption acoustique minimale à prévoir dans les circulations internes au bâtiment ;
- La limitation des bruits d'équipement du bâtiment, qu'il s'agisse d'équipements individuels ou collectifs, ou d'équipements à fonctionnement permanent ou intermittent.



ÉCONOMIE CIRCULAIRE  
DES BÂTIMENTS

Le tableau suivant présente les exigences acoustiques réglementaires pour les bâtiments d'habitation.

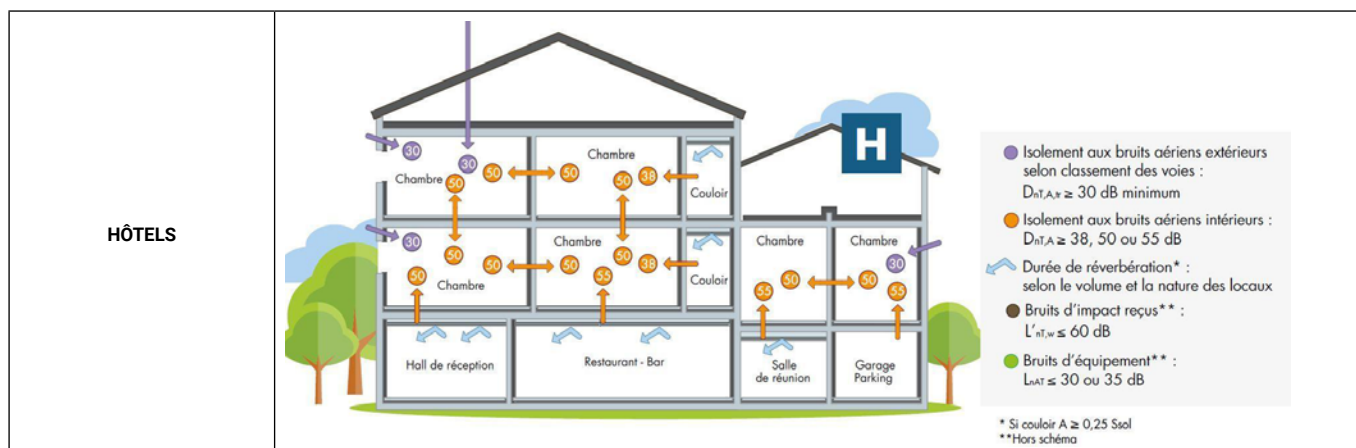
| TYPE DE BRUIT             | ÉMISSION                                                                                                 | RÉCEPTION                               | EXIGENCE                 |
|---------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------|
| BRUITS AÉRIENS INTÉRIEURS | Locaux d'un logement à l'exclusion des garages individuels et circulation commune intérieure au bâtiment | Chambre et séjour                       | $D_{nT,A} \geq 53$ dB    |
|                           |                                                                                                          | Cuisine et salle d'eau                  | $D_{nT,A} \geq 50$ dB    |
|                           | Garage individuel d'un logement ou garage collectif                                                      | Chambre et séjour                       | $D_{nT,A} \geq 55$ dB    |
|                           |                                                                                                          | Cuisine et salle d'eau                  | $D_{nT,A} \geq 52$ dB    |
|                           | Locaux d'activité, à l'exclusion des garages collectifs                                                  | Chambre et séjour                       | $D_{nT,A} \geq 58$ dB    |
|                           |                                                                                                          | Cuisine et salle d'eau                  | $D_{nT,A} \geq 55$ dB    |
| BRUITS DE CHOC            | Tous les locaux                                                                                          | Chambre, séjour, cuisine et salle d'eau | $L'_{nT,w} \leq 58$ dB   |
| ÉQUIPEMENT INDIVIDUEL     | Autre logement                                                                                           | Chambre et séjour                       | $L_{nAT} \leq 30$ dB (A) |
|                           |                                                                                                          | Cuisine et salle d'eau                  | $L_{nAT} \leq 35$ dB (A) |
|                           | Même logement                                                                                            | Chambre et séjour                       | $L_{nAT} \leq 35$ dB (A) |
|                           |                                                                                                          | Cuisine et salle d'eau                  | $L_{nAT} \leq 50$ dB (A) |
| ÉQUIPEMENT COLLECTIF      | Ventilation mécanique                                                                                    | Chambre et séjour                       | $L_{nAT} \leq 30$ dB (A) |
|                           |                                                                                                          | Cuisine et salle d'eau                  | $L_{nAT} \leq 35$ dB (A) |
|                           | Chaufferie, ascenseur,...                                                                                | Chambre et séjour                       | $L_{nAT} \leq 35$ dB (A) |
|                           |                                                                                                          | Cuisine et salle d'eau                  | $L_{nAT} \leq 50$ dB (A) |
| BRUITS AÉRIENS EXTÉRIEURS | Extérieur                                                                                                | Chambre, séjour et cuisine              | $D_{nT,A,tr} \geq 30$ dB |
| RÉVERBÉRATION             | Circulations communes intérieures                                                                        |                                         | $A \geq 1/4 S$ (1)       |

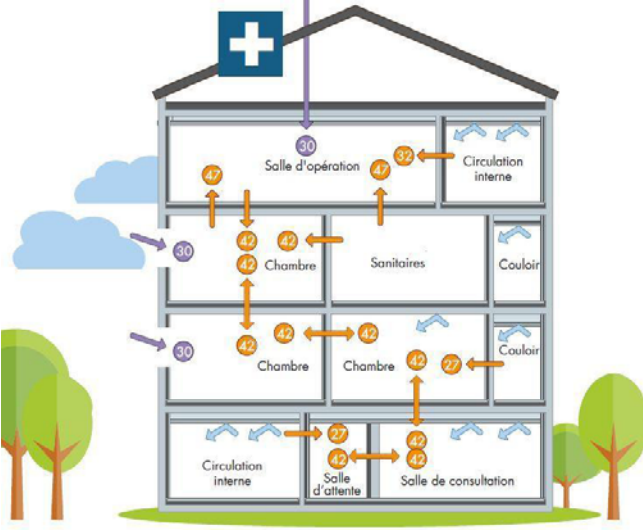
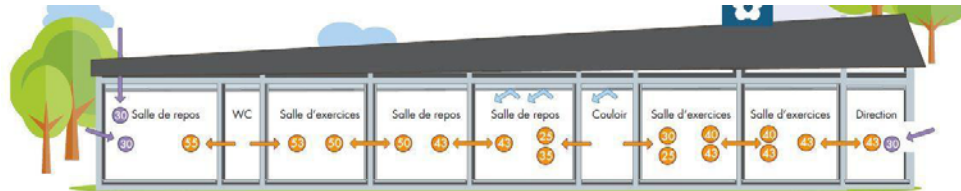
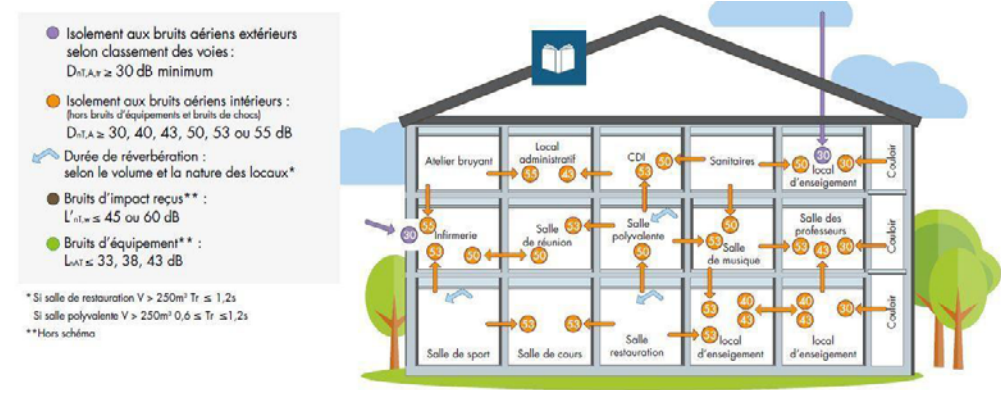
(1) : où A est l'aire d'absorption équivalente des revêtements absorbants disposés dans les circulations et S la surface au sol de ces circulations.

#### Exigences réglementaires acoustiques pour les bâtiments d'habitation

Pour les bâtiments d'habitation existants se trouvant en zone affectée par le bruit, le décret du 14 juin 2016 et l'arrêté du 13 avril 2017 rendent obligatoire le respect de performances acoustiques minimales à l'occasion de travaux importants de rénovation énergétique, de ravalement de façade, de réfection de toiture et de travaux d'aménagement de pièces ou de parties de bâtiment annexes en vue de les rendre habitables.

La figure suivante présente les niveaux réglementaires de performance acoustique pour d'autres types de bâtiments.



|                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>SANTÉ</b></p>    |  <ul style="list-style-type: none"> <li>● Isolement aux bruits aériens extérieurs selon classement des voies : <math>D_{nT,A,R} \geq 30</math> dB minimum</li> <li>● Isolement aux bruits aériens intérieurs : <math>D_{nT,A} \geq 27, 32, 42</math> ou 47 dB</li> <li>⚡ Durée de réverbération* : selon le volume et la nature des locaux</li> <li>● Bruits d'impact reçus** : <math>L'_{nT,w} \leq 60</math> dB</li> <li>● Bruits d'équipement** : <math>L_{wAT} \leq 30, 35</math> ou 40 dB</li> </ul> <p>* Si couloir <math>A \geq 0,33</math> Ssal<br/>Si salle de consultation <math>V \leq 250m^3</math> Tr <math>\leq 0,8s</math><br/>** Hors schéma</p>                                                                                                         |
| <p><b>SCOLAIRE</b></p> |  <ul style="list-style-type: none"> <li>● Isolement aux bruits aériens extérieurs selon classement des voies : <math>D_{nT,A,R} \geq 30</math> dB minimum</li> <li>● Isolement aux bruits aériens intérieurs : (hors bruits d'équipements et bruits de chocs) <math>D_{nT,A} \geq 25, 30, 35, 40, 43, 50, 53</math> ou 55 dB</li> <li>⚡ Durée de réverbération* : selon le volume et la nature des locaux</li> <li>● Bruits d'impact reçus** : <math>L'_{nT,w} \leq 55</math> ou 60 dB</li> <li>● Bruits d'équipement** : <math>L_{wAT} \leq 33, 38</math> ou 43 dB</li> </ul> <p>* Si couloir <math>A \geq 0,5</math> Ssal<br/>Si salle de repos <math>0,4 \leq Tr \leq 0,8s</math><br/>** Hors schéma</p>                                                              |
| <p><b>LYCÉE</b></p>    |  <ul style="list-style-type: none"> <li>● Isolement aux bruits aériens extérieurs selon classement des voies : <math>D_{nT,A,R} \geq 30</math> dB minimum</li> <li>● Isolement aux bruits aériens intérieurs : (hors bruits d'équipements et bruits de chocs) <math>D_{nT,A} \geq 30, 40, 43, 50, 53</math> ou 55 dB</li> <li>⚡ Durée de réverbération* : selon le volume et la nature des locaux*</li> <li>● Bruits d'impact reçus** : <math>L'_{nT,w} \leq 45</math> ou 60 dB</li> <li>● Bruits d'équipement** : <math>L_{wAT} \leq 33, 38, 43</math> dB</li> </ul> <p>* Si salle de restauration <math>V &gt; 250m^3</math> Tr <math>\leq 1,2s</math><br/>Si salle polyvalente <math>V &gt; 250m^3</math> <math>0,6 \leq Tr \leq 1,2s</math><br/>** Hors schéma</p> |

Exigences acoustiques réglementaires pour les bâtiments d'hôtels, de santé, et d'enseignement (scolaire et lycée) (source : [www.venathec.com](http://www.venathec.com))

En ce qui concerne l'évolutivité et la réversibilité, les contraintes acoustiques réglementaires vont être plus ou moins fortes en fonction du type de bâtiment et des opérations de transformation envisagées. Le tableau suivant présente pour les cas des bâtiments de bureaux et à usage d'habitation les principales contraintes en fonction des opérations envisagées.

| TYPE D'OPÉRATION                                       | CONTRAINTES ACOUSTIQUES RÉGLEMENTAIRES                                                                                                    |
|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Extension d'un bâtiment d'habitation                   | La nouvelle partie de l'ouvrage doit respecter les exigences acoustiques réglementaires pour les bâtiments d'habitation.                  |
| Extension d'un bâtiment de bureaux                     | Aucune contrainte acoustique réglementaire.                                                                                               |
| Transformation d'un bâtiment d'habitation en bureaux   | Aucune contrainte acoustique réglementaire.                                                                                               |
| Transformation d'un bâtiment de bureaux en habitations | En l'absence de texte précis, il est recommandé de se rapprocher autant que possible des valeurs réglementaires pour les logements neufs. |

Contraintes acoustiques réglementaires pour les opérations de modification et de changement d'usage de bâtiments d'habitation et de bureaux





Lors de la conception d'un bâtiment, des dispositions peuvent être prises pour faciliter les éventuels modifications et changements d'usage. De manière générale, en prévision d'extensions ou de divisions, les parois devront être conçues en considérant les exigences réglementaires des parois les plus exigeantes entre la paroi originale et la paroi après évolution. De même, en prévision de changement d'usage (donc connu), les parois devront respecter les exigences les plus élevées entre les deux types de bâtiments.

## PMR

Les exigences relatives aux Personnes à Mobilité Réduite concernent avant tout l'accessibilité des bâtiments aux personnes handicapées. Les normes d'accessibilité diffèrent que l'on soit dans le cas d'un ERP/code du travail, BHC (bâtiment d'habitation collectif) ou MI (maison individuelle). La logique et le sens commun guident ces réglementations et elles vont généralement dans le même sens. Dans le cas de la réversibilité, l'accessibilité concerne les éléments que l'on souhaite rendre immuables au cours de la vie du bâtiment. On retrouve alors dans ces éléments les circulations au sein des noyaux, les escaliers et principaux accès au bâtiment.

## PARASISMIQUE

Depuis le 1er mai 2011, un nouveau zonage sismique, définissant cinq zones de sismicité croissante de 1 à 5, est entré en vigueur. Aujourd'hui, c'est 60% du territoire qui est concerné par cette réglementation, ce qui peut avoir un impact notable sur des projets d'extension ou de changement d'usage. En effet, en fonction des créations et suppressions de surface de plancher, la réglementation peut s'appliquer à la totalité du bâtiment. Dans tous les cas, les travaux réalisés ne doivent pas aggraver la vulnérabilité au séisme des bâtiments existants. L'arrêté du 22 Octobre 2010, modifié par les arrêtés du 19 juillet 2011 et du 14 septembre 2014, précisent les conditions d'application des différents niveaux d'exigence<sup>8</sup>.

Les enseignements tirés des séismes destructeurs survenus dans le passé ont permis de constater qu'une construction, pour être réellement parasismique, doit réunir trois conditions :

- conception architecturale parasismique ;
- respect des règles parasismiques (celles-ci concernent des dispositions constructives et le dimensionnement) ;
- exécution de qualité

La conception architecturale joue un rôle au moins aussi important que l'application des règles parasismiques. Le comportement d'un ouvrage sous séisme est pratiquement déterminé en amont des règles, car c'est au moment de l'esquisse qu'on fixe la géométrie (donc la répartition des masses et des éléments rigides), ainsi que le type de structure et, par là, son mode de fonctionnement sous charges sismiques.

Par ailleurs, une conception des bâtiments rationnelle permet de maintenir le coût de leur protection sismique à un niveau relativement faible. La protection des ouvrages dont l'architecture n'est pas favorable à la résistance aux séismes fait s'envoler les coûts.

Le choix du parti architectural et du parti constructif, opéré par l'architecte, fige généralement le « fonctionnement » mécanique du bâtiment et détermine donc la nature des sollicitations des divers éléments structuraux, ainsi que son comportement sous séisme.

### *Forme des bâtiments*

Les options suivantes créent de bonnes conditions de résistance aux séismes :

- Symétrie selon deux axes en plan

Les plans symétriques selon deux axes (s'ils sont simples et compacts), présentent un bon comportement sous charges sismiques. Les déformations d'ensemble sont prédominantes et les mouvements différentiels limités.



ÉCONOMIE CIRCULAIRE  
DES BÂTIMENTS

Les plans carrés ou proches du carré conviennent très bien. Une construction idéale présenterait la même rigidité dans toutes les directions horizontales. Un bâtiment cylindrique possède cette propriété mais pour résister aux charges sismiques, sa structure doit constituer un système tridimensionnel efficace. Les murs courbes en maçonnerie ne conviennent pas car, sous charges horizontales, leur éclatement hors plan est à craindre.

- Isolation parasismique

L'isolation parasismique est une stratégie de protection sismique non traditionnelle. Elle consiste à interposer entre la superstructure et les fondations (ou un sous-sol) des appareils d'appui, appelés aussi isolateurs car ils isolent partiellement la construction des secousses du sol.

Les déplacements imposés à la construction par le séisme se localisent principalement au niveau des appuis conçus pour les supporter sans dommages. Les déformations de la superstructure sont ainsi minimisées, de même que les concentrations de contraintes. La réduction des charges sismiques au niveau des étages peut atteindre le facteur 5 ou plus.

En outre, la réponse (la réaction) de la construction est fonction des caractéristiques des appuis. On peut donc chercher à corriger la possibilité de torsion d'ensemble d'un bâtiment de forme complexe en faisant coïncider le centre de rigidité de l'ensemble des isolateurs avec le centre de gravité du bâtiment.

Ces quelques notions générales montrent l'importance de la "bonne" conception architecturale avant de se plonger dans des calculs complexes.

## 4.4.

### Considérations économiques en lien avec la hauteur d'étage

Un exemple de motivation économique pour construire réversible est la hauteur d'étage, c'est une dimension déterminante dans la destination finale du bâtiment puisque les standards en bureaux et en logements sont très éloignés. Pour construire réversible, on va donc tendre vers un compromis de hauteur d'étage la plus faible acceptable pour conserver une hauteur sous plafond de 2,70 m (sauf ponctuellement) et l'installation des équipements nécessaires à l'usage bureaux.

Il existe des intérêts économiques majeurs à sortir de la hauteur d'étage typique de 3,60 m :

- Pour un immeuble de bureaux avec une hauteur d'étage de 3,05 m, on gagne jusqu'à 15% sur le coût du lot façade qui représente sur ce type d'opération 20 à 25% du coût total des travaux ;
- Il est également à noter que l'on gagne 1 étage à partir du 6<sup>ème</sup> étage avec une hauteur d'étage de 3,05 m, et 1 étage à partir du 8<sup>ème</sup> étage avec une hauteur d'étage de 3,20 m au lieu des 3,60 m habituels ;
- Il est possible de créer des logements qualitatifs avec une hauteur sous plafond hors standard. Cela permet des choix d'aménagement et de modularité avec la possibilité d'installer des mezzanines et des éléments amovibles.

Les PLU doivent permettre la capacité de réversibilité des immeubles avec d'autres composants que les planchers béton ou mixtes béton-métal. Le sujet de la hauteur doit intégrer certes la hauteur sous plafond mais également la hauteur de plancher à plancher, car il y a des écarts importants d'épaisseur de complexe de plancher selon les choix constructifs retenus (27 cm en logement si BA + chape, entre 40 et 45 cm pour un plancher bois CLT). Pour autant, on démonte plus facilement du CLT que du béton.





## 5.

**Outil proposé :  
Matrice de  
synthèse reliée  
à des fiches  
techniques  
détaillées**



ÉCONOMIE CIRCULAIRE  
DES BÂTIMENTS

Un outil a été élaboré sous forme de tableur incluant une matrice reliée à un ensemble de fiches techniques, fournissant une lecture transversale multicritère dans un sens et multi-thématique dans l'autre sens (voir figure suivante).

## 5.1. Matrice de correspondance entre les principes et critères d'une part et les choix constructifs et techniques d'autre part

### PRESENTATION

La matrice croise les principes et critères définis au chapitre 3 avec les principales solutions portant sur les objets et thématiques, et permet à chaque croisement d'étudier les avantages et inconvénients de la solution au regard du critère, se traduisant par plusieurs types d'informations : explications, recommandations, points de vigilance, illustration éventuelle, impact sur les coûts, étape de conception où il convient de se préoccuper de cette question. Ces informations se trouvent dans des fiches techniques détaillées dont seulement la synthèse, via un code couleur, est retranscrite dans les colonnes de la matrice.

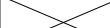
Dans le sens de la hauteur, celle-ci se divise en 3 parties afin de traiter les 3 types de transformation étudiés (extension verticale, extension horizontale et changement d'usage). Les principes et critères diffèrent légèrement selon ces 3 types.

| Matrice articulant principes/critères de conception et systèmes constructifs |                                       | Conception générale | (titre) solution 1 | (titre) solution 2, etc. | Structures | système constructif 1 | système constructif 2, etc. | Façades | système 1 | système 2, etc. | Circulations | solution 1 | solution 2, etc. | Partitions | solution 1 | solution 2, etc. | Equipements et réseaux | système 1 | système 2, etc. |
|------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------|--------------------|--------------------------|------------|-----------------------|-----------------------------|---------|-----------|-----------------|--------------|------------|------------------|------------|------------|------------------|------------------------|-----------|-----------------|
| Extension Verticale                                                          | Extension Verticale                   |                     |                    |                          |            |                       |                             |         |           |                 |              |            |                  |            |            |                  |                        |           |                 |
|                                                                              | Capacité/Solidité structurelle        |                     |                    |                          |            |                       |                             |         |           |                 |              |            |                  |            |            |                  |                        |           |                 |
|                                                                              | Dispositions constructives "capables" |                     |                    |                          |            |                       |                             |         |           |                 |              |            |                  |            |            |                  |                        |           |                 |
|                                                                              | Standardisation et modularité         |                     |                    |                          |            |                       |                             |         |           |                 |              |            |                  |            |            |                  |                        |           |                 |
|                                                                              | Simplicité                            |                     |                    |                          |            |                       |                             |         |           |                 |              |            |                  |            |            |                  |                        |           |                 |
|                                                                              | Facilité d'accès                      |                     |                    |                          |            |                       |                             |         |           |                 |              |            |                  |            |            |                  |                        |           |                 |
|                                                                              | Indépendance des 4 systèmes           |                     |                    |                          |            |                       |                             |         |           |                 |              |            |                  |            |            |                  |                        |           |                 |
|                                                                              | Assemblages réversibles               |                     |                    |                          |            |                       |                             |         |           |                 |              |            |                  |            |            |                  |                        |           |                 |
|                                                                              | Composants interchangeables           |                     |                    |                          |            |                       |                             |         |           |                 |              |            |                  |            |            |                  |                        |           |                 |
|                                                                              | Sécurité incendie                     |                     |                    |                          |            |                       |                             |         |           |                 |              |            |                  |            |            |                  |                        |           |                 |
|                                                                              | Acoustique                            |                     |                    |                          |            |                       |                             |         |           |                 |              |            |                  |            |            |                  |                        |           |                 |
|                                                                              | Confort thermique et visuel           |                     |                    |                          |            |                       |                             |         |           |                 |              |            |                  |            |            |                  |                        |           |                 |
|                                                                              | Ventilation et QAI                    |                     |                    |                          |            |                       |                             |         |           |                 |              |            |                  |            |            |                  |                        |           |                 |
|                                                                              | Evolution thermique/énergétique       |                     |                    |                          |            |                       |                             |         |           |                 |              |            |                  |            |            |                  |                        |           |                 |
|                                                                              | Qualité d'usage, fonctionnalité       |                     |                    |                          |            |                       |                             |         |           |                 |              |            |                  |            |            |                  |                        |           |                 |
|                                                                              | Réemploi                              |                     |                    |                          |            |                       |                             |         |           |                 |              |            |                  |            |            |                  |                        |           |                 |
|                                                                              | Recyclage                             |                     |                    |                          |            |                       |                             |         |           |                 |              |            |                  |            |            |                  |                        |           |                 |
|                                                                              | Δ coûts initiaux                      |                     |                    |                          |            |                       |                             |         |           |                 |              |            |                  |            |            |                  |                        |           |                 |
|                                                                              | Δ coûts de transformation             |                     |                    |                          |            |                       |                             |         |           |                 |              |            |                  |            |            |                  |                        |           |                 |

Extrait de la matrice pour l'extension verticale (surélévation)



Un code couleur synthétise l'analyse ligne par ligne (critère par critère) de chaque solution ou système, issu du travail fait sur la fiche technique détaillée.

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                                           |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                   | Solution favorable au regard du principe de cette ligne, transformation facile sans précaution particulière                                                                                               |
|                                                                                   | Il existe des points de vigilance pour bien anticiper la transformation ultérieure. La transformation est possible sous réserve de respecter certaines conditions ou recommandations                      |
|                                                                                   | La solution pose problème par rapport au principe ou critère de cette ligne, elle ne répond pas de façon satisfaisante au critère, ou elle risque d'entraîner des coûts élevés lors d'une transformation. |
|  | Case «sans objet», critère non pertinent pour l'analyse de la solution                                                                                                                                    |

**Code couleur utilisé dans la matrice et les fiches techniques**

L'aspect visuel du code couleur permet de comparer diverses solutions appartenant à la même famille, des façades par exemple, et d'identifier rapidement où sont les points forts (en vert) et les points faibles (en jaune et rouge). Le concepteur peut ensuite explorer les fiches détaillées qui l'intéressent.

Dans l'élaboration du guide, la fiche technique a été rédigée en premier lieu. Elle contient une colonne réservée au code couleur. Cette colonne est ensuite reportée dans la matrice pour exprimer de façon visuelle la synthèse de la fiche.

Le concepteur fera sans doute la démarche inverse : pour un type de transformation donné, il s'intéressera par exemple aux systèmes structurels, et au vu des cases de couleur, il ira approfondir sa réflexion en consultant les fiches détaillées.

La matrice complète est consultable dans le fichier tableur livré avec ce rapport.

Ci-dessous est présentée, à titre d'illustration, une vue de la matrice pour 9 systèmes de **façades**.

[illegible]

## 5.2. Fiches techniques

(Voir le fichier tableur associé)

| STRUCTURES            |                                                                     |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------|
| 1                     | Poteaux-poutres bois                                                |
| 2                     | Poteaux-dalles béton                                                |
| 3                     | Plancher béton sur bac collaborant                                  |
| 4                     | Poteaux-poutres métal                                               |
| FAÇADES PORTEUSES     |                                                                     |
| 1                     | Filière bois : Façade porteuse ossature bois                        |
| 2                     | Filière bois : Façade porteuse lourde (CLT)                         |
| 3                     | Filière béton : Façade porteuse lourde coulée en place              |
| 4                     | Filière béton : Façade porteuse lourde panneaux préfabriqués        |
| 5                     | Filière métal : Façade porteuse ossature métallique                 |
| FAÇADES NON PORTEUSES |                                                                     |
| 1                     | Filière bois : Façade non porteuse ossature bois                    |
| 2                     | Filière béton : Façade non porteuse panneaux préfabriqués rapportés |
| 3                     | Filière métal : Façade non porteuse ossature métallique             |
| 4                     | Façade non porteuse de type mur rideau                              |
| CLOISONNEMENT         |                                                                     |
| 1                     | Cloison montage par voie humide                                     |
| 2                     | Cloison montage par voie sèche                                      |



ÉCONOMIE CIRCULAIRE  
DES BÂTIMENTS

Les 4 fiches sur les structures ont été rédigées par MECD, les 9 fiches sur les façades par NOBATEK/ INEF4 et les 2 fiches sur le cloisonnement par ARTELIA. Leur contenu détaillé est fourni dans le fichier tableur associé à ce rapport.

D'autres fiches pourraient s'y rajouter. Par exemple, une solution innovante ou un dispositif spécifique à une opération pourraient être documentés de la même façon.

A titre d'illustration, la figure suivante montre un exemple de fiche technique.

| Poteau-poutre en profils laminés à chaud |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                    |                 |                                                                             |                               |
|------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| Famille de solutions                     | Structures                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                    |                 |                                                                             |                               |
| Présentation                             | Squelette de poteaux et poutres qui reprennent les charges et d'éléments de contreventement pour garantir la stabilité de l'ensemble. Les profils à chaud constituent ainsi la structure horizontale et verticale ainsi que la charpente de toit. Ils doivent être complétés par des systèmes de plancher (sur bac collaborant, avec solivage...) et d'enveloppe (façade métallique ou ossature bois, mur-rideau,...). |                                                                                                                                                                                                                                                                    |                 |                                                                             |                               |
| Rédacteur(s) de la fiche                 | Nom(s)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | MECD                                                                                                                                                                                                                                                               | Date et version | 30/07/2020                                                                  | V3                            |
| Principes / critères de transformabilité | Pour case abrégée matrice                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Explications / Recommandations                                                                                                                                                                                                                                     | Illustrations   | Commentaire sur les coûts                                                   | Phase de conception concernée |
| Extension Verticale                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                    |                 |                                                                             |                               |
| Capacité/Solidité structurelle           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Plusieurs solutions sont envisageables :<br>- Surdimensionnement initial des poteaux pour prendre en compte la charge complémentaire.<br>- Préparation pour l'ajout de renforts ponctuels                                                                          |                 | Surcoût lié au poids de métal et au renforcement des fondations             | APD                           |
| Dispositions constructives "capables"    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | La démontabilité de la façade permettra d'intégrer dans son épaisseur initiale de nouveaux poteaux ou éléments de renforts :<br>- Préviend les problèmes d'emprise sur l'espace public ou les propriétés voisines.<br>- On garde les mêmes portées que l'existant. |                 | Surcoût lié aux contraintes sur la façade et au renforcement des fondations | APD                           |
| Standardisation et modularité            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Utilisation du même genre de profils et de principe de structure                                                                                                                                                                                                   |                 |                                                                             |                               |
| Simplicité                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Les éléments métalliques manutentionnables ne nécessitent pas de moyen de levage important.                                                                                                                                                                        |                 |                                                                             |                               |
| Facilité d'accès                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Réservations pour poteaux accessibles depuis la façade (moyennant le démontage de la "peau" extérieure)                                                                                                                                                            |                 |                                                                             |                               |
| Indépendance des 4 systèmes              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | La structure poteau-poutre est autostable. Les différents systèmes sont donc indépendants les uns des autres                                                                                                                                                       |                 |                                                                             |                               |
| Assemblages réversibles                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Par assemblages mécaniques démontables et non soudage                                                                                                                                                                                                              |                 |                                                                             | PRO/DCE                       |
| Composants interchangeables              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Définir plusieurs sections à utiliser sur l'ensemble du bâtiment permettra de faciliter les évolutions futures.                                                                                                                                                    |                 |                                                                             |                               |
| Sécurité incendie                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Tenue au feu selon la catégorie de bâtiment (selon destination et hauteur), Des moyens de protection complémentaires peuvent être ajoutés par la suite pour adapter la structure lors de l'extension.                                                              |                 |                                                                             | APD                           |
| Acoustique                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                    |                 |                                                                             |                               |
| Confort thermique et visuel              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                    |                 |                                                                             |                               |

Code couleur pour le remplissage de la colonne D



Exemple de fiche technique parmi les structures (vue partielle)

Afin que la méthodologie présentée puisse être personnalisée par les concepteurs au niveau de chaque projet, une matrice et une fiche technique vierges sont fournies. Les concepteurs peuvent ainsi documenter et analyser objectivement les solutions envisagées dans leur projet au regard des critères de transformabilité. Cette formulation constitue à la fois un outil d'accompagnement de la phase de conception, que l'on peut affiner en phase de réalisation, et un support de dialogue entre les acteurs, afin de faire des choix éclairés et capitaliser les informations.



## 6.

# Conclusion et perspectives



« Pour ce qui est de l'avenir, il ne s'agit pas de le prévoir, mais de le rendre possible »

*Antoine de Saint Exupéry, Citadelle, 1948*

### Une méthodologie multicritère pour les concepteurs dans un contexte réglementaire qui doit évoluer

La méthodologie pour mieux programmer et concevoir des bâtiments transformables et réversibles a été présentée et des fiches techniques détaillées ont été proposées afin d'analyser des solutions ou systèmes au regard des principes et des critères de transformabilité. Cette analyse a été synthétisée par une matrice utilisant un code couleur facilitant la lecture transversale.

La matrice constitue un outil précieux pour les concepteurs, pour aborder des sujets nouveaux tels que l'adaptabilité, la polyvalence, la convertibilité, la réversibilité, le changement d'usage, la démontabilité, le réemploi, le recyclage, l'évolution énergétique, l'indépendance des systèmes, et ainsi pouvoir évaluer les solutions constructives qui peuvent contribuer à répondre à ces principes. Cela suppose une volonté du maître d'ouvrage qu'il traduit en des objectifs dans son programme. La limite de l'exercice est que, selon les configurations, les bénéficiaires de cette approche seront, dans le cours du cycle de vie du bâtiment, des acteurs qui ne sont pas ceux qui auront initié la démarche. Aussi, il faudra pour la favoriser, introduire dans les PLU des bonifications basées sur le critère d'évolutivité-réversibilité qui, au-delà du cycle de vie étudié du bâtiment, permettra une économie de matière, de carbone et d'énergie, renforçant ainsi les objectifs de la RE2020.

Les règlements d'urbanisme constituent un fort obstacle vis-à-vis de la réversibilité des bâtiments car d'une part ils contraignent le changement d'usage et d'autre part ils rendent difficile la conception hybride.

Certaines règles d'urbanisme contraignent ou compromettent la rentabilité économique d'une conversion d'usage :

- la demande de changement d'affectation (usage) est complexe et incertaine,
- l'obligation de places de parking pour la création de surface de logement,
- le quota de logements sociaux (loi SRU : obligation de prévoir entre 20 et 25% de logements sociaux) compromet la viabilité économique.

Un permis à double état tel que celui qui est expérimenté pour les JO 2024 pourrait s'avérer être une solution à pérenniser dans les villes en crise de logement... La garantie de pouvoir changer d'usage sans contrainte pourrait convaincre les opérateurs de franchir le pas.

Dans le cadre de l'économie circulaire, l'hybridation des espaces et des usages, permettant plusieurs usages, ouvre un champ de réflexion sur la mutualisation des espaces, une toiture végétalisée devient un lieu de production d'agriculture urbaine, le restaurant d'entreprise peut s'ouvrir sur le quartier durant les week-ends, etc. Cette ouverture à l'hybridation des usages complète la dimension environnementale par les aspects économiques et sociaux.

### Des critères aux indicateurs

Dans ce guide, des **critères** de transformabilité et de réversibilité des bâtiments ont pu être identifiés et définis, ensuite utilisés concrètement dans le déroulé opérationnel d'un projet de bâtiment, d'abord pour aider à définir les objectifs de programmation, ensuite dans l'étude de solutions constructives et de systèmes techniques tout au long de la phase de conception.

Définir des **indicateurs** d'évaluation de ces aspects, pouvant aboutir à la cotation du potentiel de transformabilité ou réversibilité d'un bâtiment, est une autre tâche à venir, qui doit être réfléchie à la lumière du questionnaire suivant :

- Quels seraient les types d'indicateurs pertinents ?
- Comment les indicateurs pourraient-ils se combiner pour aboutir à un potentiel de transformabilité ?





ÉCONOMIE CIRCULAIRE  
DES BÂTIMENTS

- A quels types d'acteurs cette cotation pourrait être utile ? (l'aménageur, l'investisseur... jusqu'aux occupants)
- Une telle cotation sous forme d'une note globale ne serait-elle pas réductrice ? Un profil avec des notes intermédiaires serait-il plus pertinent ?
- Les certificateurs et chercheurs ne seront-ils pas tentés de développer un système d'indicateurs autour de ces sujets pour compléter leurs certifications ou créer un label ?
- Comment faire en sorte que le résultat de l'évaluation soit suffisamment informatif pour guider les décideurs ?

### Passer de la propriété à l'usage



A l'instar de l'industrie de l'automobile qui parle de Mobilité, l'industrie du Bâtiment doit apporter des services autour des Espaces, pluriels, évolutifs, multi usages.

L'économie de la fonctionnalité pourrait être développée au service des usages, accompagnant le besoin de performances meilleures, de fonctionnalités nouvelles et aussi d'usages diversifiés.

### Élargir l'approche à l'échelle urbaine

Au-delà de l'échelle des bâtiments, la question de la transformabilité et de la réversibilité mériterait d'être traitée à l'échelle urbaine, a minima à l'échelle d'un projet d'aménagement. En effet, l'organisation et la fonction des espaces extérieurs, les solutions de mobilité et les infrastructures associées, l'irrigation par les réseaux, la prise en compte des usages des bâtiments, et des modes de vie en ville, que ce soit à des horizons de court, moyen ou long terme, devraient être réfléchies dans une approche globale et coordonnée, afin que les évolutions et changements d'usages se fassent de façon cohérente et harmonieuse. Ce guide sur la conception des bâtiments transformables et réversibles n'est qu'une pierre apportée à cet édifice.

**A présent, c'est aux utilisateurs potentiels de ce guide de le faire vivre et de l'enrichir, et ainsi d'en faire un outil de dialogue entre acteurs, d'amélioration de leurs pratiques et de capitalisation de leurs expériences.**





ÉCONOMIE CIRCULAIRE  
DES BÂTIMENTS

# 7.

# Bibliographie

Les membres du groupe de travail ont soumis des références bibliographiques diverses en rapport avec le sujet.

## Thèses, mémoires, rapports

- DUNY-DAVID Quentin « La réversibilité en architecture : une solution pour anticiper la pérennité du bâti », Mémoire, *ENSA Bretagne*, 2018.  
[Accès au document](#)
- GUYADER Pierre-Emmanuel, « Pour une architecture réversible : la flexibilité au service de la mutation », Mémoire, *ENSA Bretagne*, 2018.  
[Accès au document](#)
- BERTIN Ingrid, « Construire, déconstruire, anticiper le réemploi des matériaux : une possible réversibilité des bâtiments », thèse en préparation depuis le 2 Octobre 2017, *Université Paris Est*.  
[Accès au document](#)
- HUDRY Antoine, « La réversibilité des usages d'un bâtiment », Mémoire de Master II Droit Immobilier, *Université Paris I Panthéon-Sorbonne*, Septembre 2017.  
[Accès au document](#)
- MARMONIER Juliette, « Modularité, Mutabilité, Flexibilité, une approche prospective du logement », Mémoire de master en architecture, *ENSA Lyon*, Septembre 2016.  
[Accès au document](#)
- DURAND Anne, « De la mutabilité urbaine : une démarche ouverte pour fabriquer les villes », thèse de doctorat en Aménagement de l'espace, Urbanisme, *Université Paris Est*, 4 Décembre 2015.
- FRANCESCHI Marine, « Préfabrication, développement durable et réversibilité : le recours à la préfabrication permet-il de concevoir une architecture durable et réversible ? », Mémoire de Master II, *Ecole d'architecture de la ville & des territoires à Marne-la-Vallée*, 2015.  
[Accès au document](#)
- SURAT Alec, « Small, solutions de réversibilité pour une ville en mutation », Mémoire de Master, *Ecole d'architecture de la ville & des territoires à Marne-la-Vallée*, 2015.  
[Accès au document](#)
- PERRIN Mathieu, « Les devenir des immeubles de bureaux vacants en Ile-De-France : Etude de l'opportunité d'une réhabilitation en logements », Mémoire de Master, *CNAM*. 9 juillet 2013  
[Accès au document](#)
- ELEB Monique, SIMON Pierre, « Entre confort, désir et normes : le logement contemporain (1995 – 2010) », rapport de recherche, Août 2012.  
[Accès au document](#)
- CORNEN Bruno, « Vers une architecture réversible, bureaux – logements », Mémoire de recherche, *Fondation de la Société de la Tour Eiffel*, 2019, 214 p.  
[Accès au document](#)
- BRONES Emma R., « Pour une architecture mutable - La capacité de mutation comme moteur d'évolution du processus de développement d'un projet architectural », mémoire de Master 2, *ENSA Paris Val-de-Seine*, 2015, 142 p.  
[Accès au document](#)

## Ouvrages

- RICS - Royal Institution of Chartered Surveyors, « Innovations et nouvelles stratégies immobilières », *Pc Eds*, Juillet 2018.
- RUBIN Patrick, « Construire réversible », *Canal Architecture*, Avril 2017.  
[Accès au document](#)
- RUBIN Patrick " Transformation des situations construites " Canal Architecture, Juin 2020  
[Accès au document](#)
- SCHERRER Franck et VANIER Martin (sous la Dir. de), « Villes, territoires, réversibilités : colloque de Cerisy, [4-10 septembre 2010] », *Hermann*, 2013.
- ARTELIA, Guide sur la réversibilité fonctionnelle des bâtiments, Mars 2020  
[Accès à la demande d'envoi](#)
- HORIZON 2020 BAMB : Buildings as Material Banks: Integrating Materials Passports with Reversible Building Design to Optimise Circular Industrial Value Chains  
[Accès aux documents](#)

## Projets de R&D

- Projet Européen BAMB (Buildings As Material Banks)  
<https://www.bamb2020.eu/>
- Site et guide BAZED  
<http://www.bazed.fr/>
- Projet Lign2toit (surélévation) ADEME  
[Accès au document](#)
- OVAM design for change  
<https://www.ovam.be/sites/default/files/atoms/files/TWOL-Design-for-change.pdf>

## Articles de presse

- 1er prix international de la transformation de bureaux en logements  
[Chroniques d'architecture. 11 Décembre 2018](#)
- La France, encore en retard sur la polyvalence des immeubles  
[Le Moniteur. 10 Décembre 2018](#)
- Bureaux, logements ou les deux ?  
[Les Echos, Catherine Sabbah. 5 Décembre 2018](#)
- Cycle de vie. Le bâtiment devient montable, démontable, recyclable  
[Hors-série Le Moniteur. Annuel Immobilier 2019. 29 Novembre 2018](#)
- L'initiative Hamosphère, facilitateur de réversibilité  
[Opérations Immobilières. 29 Novembre 2018](#)
- Obsolescence et réversibilité : temps court contre temps long ?  
[Opérations Immobilières. 29 Novembre 2018](#)
- La réversibilité des immeubles, enjeux pour la qualité de l'air intérieur  
[Opérations Immobilières. 29 Novembre 2018](#)

- À quand le droit de l'urbanisme au service d'un immobilier réversible et durable ?  
[Opérations Immobilières. 29 Novembre 2018](#)
- Un immeuble bioclimatique marseillais récompensé  
[Batijournal. 29 Novembre 2018](#)
- La réversibilité du bâtiment, remède à la déconstruction ?  
[Batiactu. 14 Novembre 2018](#)
- Archikubik réalise un parking-silo transformable à Montpellier  
[AMC Le Moniteur Architecture, Frédéric Mialet. 17 Octobre 2018](#)
- Le Bâtiment Place : usine Blan-Lafont devenue plateau de recherches  
[Chroniques d'architectures. 9 Octobre 2018](#)
- À Lyon Confluence, Linkcity va construire un bâtiment réversible  
[Construction Cayola. 13 Septembre 2018](#)
- Linkcity innove avec un bâtiment réversible à la Confluence  
[Lyon Affiches, Séverine Renard. 10 Septembre 2018](#)
- Comment l'immobilier peut-il entrer dans la boucle de l'économie circulaire ?  
[Batiactu, Grégoire Noble. 4 Septembre 2018](#)
- L'architecture réversible ne serait-elle qu'une solution d'appoint ?  
Wellstone. 3 Août 2018
- Quand transformer les bureaux vides en logements vire au véritable casse-tête  
[Challenges, Eric Treguier. 16 Juillet 2018](#)
- L'ORIE dévoile ses préconisations pour accélérer la reconversion d'actifs en vacance structurelle  
[Business Immo. 11 Juillet 2018](#)
- La reconversion de bureaux vacants en logements est-elle pertinente ?  
[Batiactu, Grégoire Noble. 6 Juillet 2018](#)
- Une bourse de recherche sur la mutabilité et la réversibilité des bâtiments  
[Ordre des architectes. 12 Juin 2018](#)
- A Paris, un village olympique irréversible ?  
[Chroniques d'architecture, Christophe Leray. 5 Juin 2018](#)
- La métamorphose durable : place à l'architecture réversible et au bâtiment démontable  
[Autodesk, Angus W. Stocking. LS. 20 Mars 2018](#)
- Dossier réversibilité - Des immeubles génétiquement modifiables  
[Le Moniteur des travaux publics et du bâtiment, Milena Chessa, n°5966, p. 44-47. 9 Mars 2018](#)
- Loi Elan : les députés facilitent la transformation de bureaux en logements de retour  
[Batirama. 16 mai 2018](#)
- Quels sont les enjeux des nouveaux quartiers ?  
[Batiactu, Grégoire Noble. 20 Mars 2018](#)
- L'immobilier tertiaire face au défi du changement climatique  
[Maddyness, Sophie Rosso. 3 Janvier 2018](#)
- Utilisez ces 10 critères pour savoir si vos bureaux sont agiles : en France, moins de 5% le sont  
[Bureau Veritas Le Mag, Éric Siesse. Décembre 2017](#)

- Réversibilité dans la carte du génome urbain  
[Chroniques d'architecture, François Scali. 5 Décembre 2017](#)
- Réversibilité des immeubles : à la recherche d'une «mobilité immobilière»  
[Batiactu, Florent Lacas. 12 Décembre 2017](#)
- Bâtiments réversibles. Mutabilité, adaptabilité, évolutivité, vers une architecture réversible ? (Dossier)  
[AMC - Moniteur Architecture, n°262. Septembre 2017](#)
- « La réversibilité, une réponse simple aux évolutions rapides de la société », Interview de Patrick Rubin  
[Immoweb, n° 1067, pp. 2-5. 28 Juillet 2017](#)
- Densification des zones urbaines : objectif réversibilité  
[Construction 21, Philippe Dumont. 27 Juillet 2017](#)
- Les JO sont-ils faits pour durer ?  
[Demain la Ville. 10 Juillet 2017](#)
- « Qu'attendons-nous pour construire des bâtiments réversibles ? »  
[Ecologik, Patrick Rubin. 30 Mai 2017](#)
- Le parc olympique de Londres : un modèle de réversibilité ?  
[Demain la ville. 29 Mai 2017](#)
- Construire réversible, réponse à l'absurdité immobilière ?  
[Chroniques d'architecture, Léa Muller. 9 Mai 2017](#)
- De la pérennité des bâtiments, une structure d'esprit  
[Chroniques d'architecture, Christophe Leray. 25 avril 2017](#)
- Visite virtuelle : l'exposition Réver(cités) comme si vous y étiez !  
[Demain la Ville. 16 Février 2017](#)
- Qu'est-ce qu'un immeuble réversible ?  
[Abcourtage, Mr Marsollier. 2 février 2017](#)
- Réversibilité, mutabilité et résilience en région nantaise  
[Demain la ville. 22 Mai 2017](#)
- De nouveaux immeubles façon Rubik's cube  
[HubSmart City. 16 Décembre 2016](#)
- La notion de réversibilité en urbanisme  
[Agence d'urbanisme de Caen Normandie Métropole, Patrick Duny, Collection Qu'en savons-nous ? n° 88. Décembre 2016](#)
- Immeubles réversibles : il faudra du temps pour passer de la théorie à la pratique  
[Les Echos, Marie Bidault. 30 Novembre 2016](#)
- La transformation et la réversibilité au secours de la valorisation des actifs  
[Business Immo. 29 Novembre 2016](#)
- Faire évoluer le bâtiment en fonction des usages  
[Demain la Ville. 26 Novembre 2016](#)
- Anticiper la transformation de bureaux en logements : l'exemple de Strasbourg  
[Demain la Ville. 14 Novembre 2016](#)
- La fin de l'immeuble de bureaux ? - Immobilier de bureaux : comment continuer à construire ?  
[D'Architectures. 22 Septembre 2016](#)

- Bureaux vides, logements manquants ? Vers des bâtiments tous usages  
[Libération, Sibylle Vincendon. 16 Juin 2016](#)
- La réversibilité des bureaux, une utopie ?  
[Webbim, Elisabeth Lelogeais. 9 Juin 2016](#)
- Anne Démians : « L'opération Black Swans, nouvelle approche de la réversibilité d'une construction »  
[Demain la Ville. 25 Mai 2016](#)
- Réversibilité : de la théorie à la pratique  
[Chroniques d'architectures, Christophe Leray. 3 Mai 2016](#)
- Trois black Swans, un projet innovant qui prend date  
[Chroniques d'architecture, Anne Demians. 21 Avril 2016](#)
- Réversibilité, Dialogue avec Hervé Manet (Directeur Pôle Promotion Icade)  
[Site Internet Architectures Anne Démians. 20 avril 2015](#)
- La réversibilité des immeubles : définition et enjeux – Les 6 propositions de l'ORIE  
[Nexity Conseil et Transactions. Mars 2016](#)
- Les bonnes pratiques en matière de réversibilité des immeubles tertiaires  
[Le Moniteur, Barbara Kiraly. 16 Mars 2016](#)
- Construire réversible, une tendance qui s'affirme  
[Batiactu, C.L. 2 Décembre 2015](#)
- La difficile reconversion du tertiaire en résidentiel  
[Opérations Immobilières. 6 Octobre 2015](#)
- Le premier bâtiment biosourcé, démontable et réversible à souhait  
[Le Moniteur, Timothée L'Angevin. 2 Février 2015](#)
- Aurélie Delage. La gare au revers des villes : des territoires en situation de réversibilité limitée ? Scherrer F., Vanier M. (dir.), Villes, Territoires, Réversibilités, Éditions Hermann, Paris, pp. 111-121, 2013, 9782705687472.  
[Accès au document](#)

## Actes de colloques, séminaires

- « Un projet d'aménagement coopératif et réversible à Montrevault sur. Cas pratique / Retour sur expérience », *Journée d'étude et d'échanges « Paysage, Territoires, Transitions » sur le thème de l'urbanisme réversible*, Juin 2018.  
[Accès au document](#)
- « Demain l'habitat ? Quelles mutabilité, réversibilité, adaptabilité des territoires et des logements ? - Actes des VIe Rencontres Demain l'habitat : mutabilité, réversibilité, adaptabilité, *Forum des politiques de l'habitat privé 2018*, 21 Mars 2018.  
[Accès au document](#)
- DELEUZE L., « La réversibilité « héritage » et la réversibilité « de conception » », *Séminaire Bâtiment Durable Economie circulaire et réversibilité des bâtiments, Bruxelles environnement*, 9 juin 2017.  
[Accès au document](#)
- BÖHLKE Anders, « La nécessité de la réversibilité dans la construction », *Séminaire Bâtiment Durable Economie circulaire et réversibilité des bâtiments, Bruxelles environnement*, 9 juin 2017.  
[Accès au document](#)

- ELEB, Monique. L'habitat : flexible, adaptable, réversible ? En: Frank SCHERRER; Martin VANIER, *Villes, territoires, réversibilités (Actes du Colloque de Cerisy, 20-26 Septembre 2010)*, Hermann, pp. 79-93, 2013.

[Accès au document](#)

- Rob Geraedts, « FLEX 4.0, a practical instrument to assess the adaptive capacity of buildings », *SBE16 Tallinn and Helsinki Conference; Build Green and Renovate Deep*, 5-7 October 2016, Tallinn and Helsinki, 12p

[Accès au document](#)

## Dossiers et communiqués de presse, brochures

- ORIE (Observatoire régional de l'immobilier d'entreprise en Ile-de-France), « Comment accélérer la reconversion d'actifs immobiliers en situation de vacance structurelle ? », Communiqué de presse, *ORIE*, Juillet 2018.

- WOODEUM, « Woodeum et BNP Paribas Real Estate dévoilent l'arboretum de Nanterre – La Défense », Communiqué de presse, WOODEUM, 4 Mai 2017.

[Accès au document](#)

- ORIE, « Un immeuble : plusieurs usages. Quand la réversibilité ouvre le champ des possibles », communiqué de presse, *ORIE*, 30e Colloque anniversaire. 16 février 2016

- Réver(cités) Villes recyclables & résilientes - Édition 2015-2016, *Observatoire de la ville - Fondation d'Entreprise Bouygues Immobilier*, 2017.

[Accès au document](#)

- « Icade construit 30.000 m<sup>2</sup> à Strasbourg - pose de la première pierre de l'opération Black Swans », Communiqué de presse, Icade, 26 Octobre 2015.

[Accès au document](#)

- EPADESA, « Favoriser la « transformation bureaux/logements », La Défense Sein Arche – Stratégie 2025 », *EPADESA*, pp. 95-96, 2015.

[Accès au document](#)

- Offre Switch Home - Transformer l'usage d'un bâtiment en résidence de services ou programme de logements, Plaquette, *Bouygues Bâtiments*. Site consulté le 12 Décembre 2018.

[Accès au document](#)

- Construire réversible avec Conjugio, la solution pour construire un bâtiment de bureau réversible en logement de Vinci Construction, *Vinci Construction*. Site consulté le 12 Décembre 2018.

[Accès au document](#)

## Réglementation

- Demande de changement d'usage d'un logement, comment ça marche?  
Site de la [Marie de Paris](#). Consulté le 12 Décembre 2018

- « Le guide de la classification des bâtiments selon la réglementation incendie ».  
Site [Actu Archi](#). Consulté le 29 Novembre 2018.

- Loi Elan : que seront les nouveaux Immeubles de moyenne hauteur (IMH) ?  
[Batiactu, Florent Lacas. 9 Mai 2018](#)

- Deux arrêtés font évoluer les règles de protection contre l'incendie,  
[Le Moniteur, le 12/08/2019](#)



ÉCONOMIE CIRCULAIRE  
DES BÂTIMENTS

## 8.

# Annexe

**Fiches techniques détaillées**

**Matrice de synthèse des fiches techniques**

**Fiche et matrice vierges**

(voir fichier tableur séparé)





FONDATION  
BÂTIMENT  
ÉNERGIE