



# Les bâtiments de demain

## Quels enjeux de santé et de sécurité au travail ?



# Les bâtiments de demain

## Quels enjeux de santé et de sécurité au travail ?

Document INRS élaboré par un groupe de travail  
coordonné par M. Malenfer.

# Sommaire



Introduction	4
<b>1. Méthodologie</b>	<b>5</b>
<b>2. Les scénarios</b>	<b>6</b>
Scénario 1 : Difficile de tout faire	6
Scénario 2 : Les compagnons du durable	7
Scénario 3 : Industrialisation et économie circulaire	8
Scénario 4 : Le bâtiment plateformisé	9
<b>3. Les enjeux de santé et de sécurité au travail dans les transformations structurelles de la filière construction</b>	<b>11</b>
3.1 La numérisation	11
3.2 La transition environnementale	17
3.3 L'industrialisation de la filière	24
<b>4. Des risques toujours présents</b>	<b>32</b>
4.1 Les incertitudes autour de la prévention des TMS dans les nouveaux modes de construction et de rénovation	32
4.2 Viser une meilleure prise en compte de la prévention des chutes	33
4.3 Le risque chimique à travers l'utilisation des nouveaux matériaux et des plus anciens	34
4.4 L'émergence des risques psychosociaux dans des métiers jusqu'ici relativement préservés	36
<b>5. Focus sur des enjeux transverses</b>	<b>39</b>
5.1 La question de la coordination entre les acteurs de la filière	39
5.2 La prise en compte des interventions ultérieures	43
5.3 La réaffectation de bâtiments à de nouveaux usages professionnels	45
<b>Conclusion</b>	<b>47</b>
<b>Annexe méthodologique</b>	<b>48</b>
1. Variables-clés, résumés et hypothèses	48
2. Tableau morphologique de construction des scénarios	55

# Introduction

Le Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB) et l'Agence de la transition écologique (Ademe) ont lancé en 2019 une démarche de prospective visant à aider les acteurs de la filière du bâtiment à anticiper les mutations à venir afin de mieux s'y préparer. Cette démarche baptisée « Imaginons ensemble les bâtiments de demain » a mobilisé un groupe de travail de 17 personnes durant deux années. Celui-ci a permis de mettre à disposition des acteurs de cette filière, début 2021, une « boîte à outils de prospective » rassemblant notamment une série de 22 fiches. Celles-ci portent sur des variables traitant des principaux moteurs de changement à l'œuvre et formulent des hypothèses contrastées d'évolution de chacun d'entre eux, ainsi que quatre scénarios permettant de se projeter à l'horizon 2050<sup>(1)</sup>.

Sollicitée par les animateurs de la démarche, la mission Veille et prospective de l'INRS a participé à ce comité de prospective dans le but d'approfondir spécifiquement les enjeux de santé et de sécurité au travail. Pour ce faire, un groupe *ad hoc* d'experts des conditions de travail dans le BTP et des questions de conception des lieux de travail, issus d'organismes de prévention, de milieux académiques et de grandes entreprises du secteur<sup>(2)</sup> a été constitué. Ce groupe a travaillé tout au long de l'année 2021 et a été accompagné par une consultante du cabinet de prospective Futuribles. Il a bénéficié des contenus produits par le premier comité de prospective et a pu en faire une exploitation ciblée pour produire des scénarios spécifiques et en tirer les enjeux de santé et de sécurité au travail qui sont présentés dans ce document.

1. Toutes les informations sur cette démarche ainsi que l'ensemble des éléments produits dans ce cadre sont disponibles sur : <https://www.batimentdemain.fr/>

2. Ont participé à ce groupe de travail : Jacques Balzer (Carsat Alsace-Moselle), Marc Bury (Carsat Nord-Est), Alain Delage (VINCI), Jérémy Hauw (Bouygues Construction), Véronique Lamblin (Futuribles), Dominique Naert (École des Ponts ParisTech), Philippe Robart (OPPBTP), Jean-Christophe Visier (CSTB et Ademe), ainsi que Mathilde Silvan, Michel Héry et Marc Malenfer (INRS).

# 1. Méthodologie

Comme cela a été évoqué en introduction, cet exercice s'est appuyé sur une méthodologie originale par rapport aux précédentes démarches de prospective conduites par l'INRS. En général, les exercices démarrent par une phase importante de définition et d'instruction d'une série de variables jugées déterminantes pour les évolutions à venir du domaine étudié. Cette matière permet ensuite de construire des scénarios puis d'en déduire les enjeux plus spécifiques en matière de prévention des risques professionnels. Dans le cas présent, le groupe *ad hoc* a bénéficié de l'important corpus d'informations fourni en amont par le groupe de travail piloté par le CSTB et l'Ademe pour sélectionner et documenter 22 variables et formuler, pour chacune d'elles, des hypothèses contrastées d'évolution. Cependant, parmi les thématiques sélectionnées par le groupe de travail initial, certaines ont une influence faible voire négligeable sur les questions de santé et de sécurité au travail. Le groupe a donc sélectionné sept variables qui lui semblaient être les plus susceptibles d'avoir des impacts sur les conditions de travail. C'est sur cette base qu'il a ensuite travaillé pour construire ses propres scénarios à partir desquels il a ensuite fait émerger une série d'enjeux en matière de prévention des risques professionnels.

Les sept variables retenues par le groupe sont :

- l'occupation des bâtiments non résidentiels ;
- la politique technique ;
- la gestion de l'obsolescence ;
- la qualité d'usage ;
- l'organisation de la filière ;
- les matériaux et équipements ;
- la main-d'œuvre.

Pour chacune de ces variables, une série de trois à quatre hypothèses d'évolution a été formulée. Des associations logiques entre ces hypothèses ont permis de formuler quatre scénarios d'évolution de la filière construction pour les années à venir. Les résumés des sept variables retenues et des hypothèses associées à chacune ainsi que le tableau de construction des scénarios présentés dans ce document sont disponibles en annexe page 48.

## 2. Les scénarios

Sur la base des combinaisons d'hypothèses présentées dans le tableau page 55, le groupe de travail a construit quatre scénarios d'évolution de la construction dans les prochaines années. L'objectif de ces scénarios est de donner à voir une diversité de futurs possibles indépendamment de leur désirabilité. Ils constituent des outils utiles pour faciliter la réflexion sur les enjeux de santé et de sécurité au travail. Ces quatre scénarios sont :

- difficile de tout faire ;
- les compagnons du durable ;
- industrialisation et économie circulaire ;
- le bâtiment plateformisé.

### Scénario 1 : Difficile de tout faire

Dans ce scénario, les acteurs du bâtiment et de l'immobilier ne réussissent pas à passer d'une stratégie d'offre à une stratégie de réponse à la demande. L'immobilier reste peu flexible et peine à s'adapter à la diversité des demandes qui lui sont adressées. La qualité des bâtiments est conditionnée par l'offre, qui est standardisée pour réduire les coûts. La maîtrise d'ouvrage est contrainte par des enjeux de court terme : respect de la réglementation, contrôle des coûts, durée des chantiers, etc., qui rendent difficile la réponse aux attentes d'utilisateurs finaux de plus en plus exigeants.

La construction neuve ralentit dans un marché qui stagne et la rénovation ne décolle pas, faute de volontarisme politique. L'intégration de nouvelles exigences dans le parc de bâtiments se fait lentement. La lenteur de la rénovation conduit à l'obsolescence d'une partie de ce parc.

Faute de coordination et de leadership, la filière ne résout pas ses problèmes de productivité. Ses nombreux acteurs se battent entre eux pour obtenir la plus grosse part de la plus-value sans qu'il en résulte de progrès dans la qualité et la valeur ajoutée globale. Les appels d'offres sont conçus dans une optique de mise en concurrence de tous les acteurs : grands et petits, locaux et nationaux (voire européens) afin de tirer les prix vers le bas.

Les nouveaux outils tels que le *Building Information Modeling* (BIM)<sup>(3)</sup> sont l'objet de compétitions entre acteurs et n'atteignent pas leur objectif affiché de progrès dans la coordination : on assiste à l'émergence de différentes solutions informatiques, pas toujours compatibles entre elles. Pour relancer l'activité, les majors poussent à la technicisation des procédés constructifs (elles y voient aussi une solution face au manque de main-d'œuvre) alors que les pouvoirs publics incitent à la frugalité (abaissement de la TVA sur les matériaux locaux et biosourcés, éventuellement issus du recyclage) pour réduire les émissions de CO<sub>2</sub> du secteur. Certains coordinateurs tirent leur épingle du jeu en réalisant de gros chantiers innovants pour de grandes entreprises ou des donneurs d'ordre publics, mais ces chantiers restent très minoritaires.

3. Pour modélisation des données du bâtiment.

Les difficultés de recrutement s'accroissent dans le secteur. Les entreprises ne trouvent pas de travailleurs disposant des qualifications recherchées pour faire face à leurs nouveaux enjeux. La crise de la main-d'œuvre dans le bâtiment rend difficile le recours aux services d'un professionnel du bâtiment, notamment pour les particuliers. Nombre de ménages choisissent d'aménager leur logement eux-mêmes : c'est l'essor du *do it yourself*.

Dans un contexte de crise économique et de forte concurrence, les entreprises du secteur recourent à des solutions de repli qui accentuent encore les problèmes : délocalisation industrielle, « plateformes »<sup>(4)</sup> de l'artisanat, développement du travail détaché, du travail illégal, etc. Des marchés de niche échappent cependant à cette spirale.

Dans ce contexte, la rénovation porte davantage sur l'aménagement intérieur que sur le gros œuvre et les marchés du bricolage et des équipements sont en croissance. Des start-up se développent pour accompagner les particuliers sur ce créneau de « l'ambiance ».

Les relations entre propriétaires-bailleurs et locataires, ou entre propriétaires au sein des copropriétés, se tendent en raison des initiatives isolées des habitants, du manque de coordination des rénovations (en ce qui concerne les toits, les terrasses, la protection contre la chaleur, les économies d'énergie, etc.) et du manque d'encadrement des choix architecturaux.

Dans ce scénario :

- le BIM n'atteint pas ses objectifs d'une meilleure coordination des acteurs ;
- les conditions d'emploi et de travail sont très différentes entre quelques grandes entreprises qui réussissent à se préserver des marges sur des gros projets et disposent des moyens permettant d'organiser une prévention des risques professionnels cohérente, et beaucoup de petites entreprises qui subissent la situation et tentent de faire preuve d'opportunisme dans un contexte très concurrentiel.

## Scénario 2 : Les compagnons du durable

À la suite de la crise du Covid-19 des années 2020-2022 et dans un contexte de transition écologique, le bâtiment prend une place centrale dans la société. Le grand sursaut en matière de rénovation énergétique du bâti constitue le déclencheur de ce scénario.

La sensibilité environnementale et le sentiment qu'une part importante de la reconstruction écologique se joue dans la rénovation des bâtiments attirent les vocations. Le secteur apparaît comme une filière d'avenir pour des acteurs des secteurs en crise qui doivent se reconvertir. Il propose en effet une palette de métiers, certes exigeants, mais concrets, plutôt bien payés et répartis sur l'ensemble du territoire.

La prise de conscience de la nécessité de rénover en masse de très nombreux bâtiments crée un appel d'air. Les entreprises qui se développent sont celles qui adoptent des politiques porteuses de sens (entreprises à mission). Sensibilisées aux enjeux du développement durable, elles initient une vague de recherche et de développement sans précédent pour trouver des matériaux et des méthodes constructives durables qui privilégient le réemploi, le recyclage et le biosourcé. Du côté de la maîtrise d'ouvrage, on assiste à une réelle montée en compétences permettant une meilleure prise en compte des enjeux de long terme dans la conception des projets.

4. Le terme « plateformes » désigne ici le recours à des plateformes numériques d'intermédiation, phénomène souvent désigné par le terme « ubérisation ».

Les maîtres d'ouvrage occasionnels bénéficient d'un accompagnement de qualité proposé notamment par les réseaux consulaires (chambres de commerce et d'industrie, chambres d'agriculture, etc.).

La filière se réorganise via une meilleure coordination de corps de métiers de plus en plus spécialisés au service d'offres globales. Des acteurs coordinateurs émergent parmi les acteurs traditionnels, ils s'appuient sur l'écosystème en place et sur sa diversité mais incitent à être qualitativement plus efficaces pour être choisis et mis en relation avec les clients. Il peut s'agir, par exemple, de coopératives d'artisans associant différents corps de métiers et permettant de répondre à des appels d'offres importants. Des dispositifs permettent de favoriser les petites structures de proximité et d'écarter les acteurs peu sérieux (notamment dans les appels d'offres des collectivités locales). Cela conduit les grandes entreprises du secteur à entretenir des réseaux de petits sous-traitants locaux dans une logique de proximité territoriale.

À l'écoute des clients, la filière est capable de proposer des rénovations personnalisées et du neuf très performant qui s'adaptent à la très grande variété des demandes. C'est ainsi que se développent des offres associant confort, qualité de vie (notamment pour les personnes vieillissantes), performances environnementales, etc. Le volontarisme politique permet le développement d'offres de financement pour ces programmes de rénovation ambitieux mais coûteux.

Dans ce scénario :

- les systèmes d'information sont ouverts et permettent une réelle coordination des acteurs sans pour autant être dans le pilotage prescriptif de leur activité ;
- les petites entreprises du secteur ont leur mot à dire sur l'organisation des chantiers ;
- la coordination des acteurs est un enjeu important.

### **Scénario 3 : Industrialisation et économie circulaire**

L'usage des bâtiments évolue fortement sous les effets conjugués de la crise sanitaire, de l'avènement du télétravail, de l'augmentation du temps passé chez soi, du changement climatique, etc. L'obsolescence des bâtiments existants s'accélère, nombre de bâtiments ne sont plus adaptés à l'époque.

Les futurs occupants sont partie prenante dans les projets de constructions neuves et de grosses rénovations. La flexibilité du bâti et des espaces devient le maître-mot de l'immobilier neuf.

L'industrialisation se développe, en particulier dans le marché du neuf. La production de composants préfabriqués complexes et la construction hors-site se développent. Le bâtiment est conçu avec le client à partir de ces modules. Le chantier devient un lieu d'assemblage de produits industriels. Une part importante de la valeur ajoutée est transférée du chantier vers l'usine. Cette industrialisation permet de réduire les temps de construction et les aléas sur le chantier via une logistique précise gérée avec des outils numériques.

La compétitivité du neuf en termes de qualité, de prix, de délais et de performances environnementales le rend plus attractif que la rénovation. Une part croissante des bâtiments obsolètes devient vacante (plutôt dans les zones détendues<sup>(5)</sup>), est démolie (plutôt dans les zones

5. Une zone détendue est un territoire où l'offre de logements permet de faire face à la demande par opposition aux zones tendues où il y a pénurie de logements sur le marché.

tendues) ou est utilisée par ceux qui cherchent des locaux à bas coût. La part de marché du neuf croît, on est en plein esprit haussmannien.

Mais les matières premières pour la construction s'épuisent (sable, galets, etc.). Le réemploi des matériaux de construction s'impose (y compris réglementairement). On recourt le plus possible à l'économie circulaire, les matériaux composites recyclables se développent. Les débuts ont été difficiles lorsqu'il a fallu recycler les pavillons de banlieue que l'on a détruits pour reconstruire mais les techniques sont progressivement mises au point. Désormais, chaque produit est prévu pour être démonté et recyclé. La conception des bâtiments neufs est comparable à celle adoptée pour les photocopieuses : une grande partie de composants issus du recyclage ou du réemploi et une couche fonctionnelle très technique et évolutive. La qualité d'usage des bâtiments est gérée en changeant des composants du bâtiment en fonction des innovations et de l'évolution des besoins.

Dans ce contexte, la maîtrise d'ouvrage des bâtiments non résidentiels adopte deux types de postures. Certains choisissent l'achat sur catalogue sur la base de critères fonctionnels basiques et de prix (c'est notamment le cas de nombreuses PME) alors que d'autres investissent en compétences et élèvent leur niveau d'exigence pour atteindre des performances élevées en matière d'efficacité et d'économie circulaire (grandes entreprises et collectivités).

Le boom de la reconstruction attire la main-d'œuvre. Celle-ci se retrouve clivée entre les tâches de déconstruction, dangereuses et peu valorisées, et la reconstruction, de plus en plus technique, mêlant des emplois très qualifiés dans la conception et des emplois d'assemblage en usines et sur les chantiers, et conduisant à une polarisation du marché du travail de ce secteur.

Dans ce scénario :

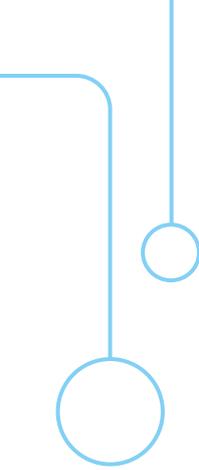
- les industriels captent une part importante de la valeur ajoutée et imposent leurs produits ;
- les petites entreprises sont souvent réduites à des fonctions de déconstruction ou d'assemblage et peu impliquées dans la conception ;
- un marché de la déconstruction et du réemploi émerge et le recyclage s'industrialise.

## Scénario 4 : Le bâtiment platformisé

Profitant de la faible capacité des acteurs de la construction et de la rénovation à s'adapter aux besoins très évolutifs des utilisateurs, de nouveaux acteurs des services immobiliers émergent, d'abord sur des marchés de niche, puis dans tout le parc de bâtiments.

Ces acteurs des services immobiliers sont avant tout des entreprises du numérique, expertes en marketing digital, qui deviennent les interlocutrices principales des occupants, et leur garantissent le confort et l'adaptation à leurs besoins. Dotées de fortes capacités d'investissement, elles organisent la filière du bâtiment dans une approche orientée vers la satisfaction du client et prennent sous leur contrôle les entreprises qui réalisent les travaux de construction, de rénovation et d'agencement. Leur modèle économique est plus fondé sur la location ou l'abonnement à des services que sur la vente de biens, que ce soit pour des particuliers ou des professionnels.

Elles font appel à des acteurs traditionnels qui livrent le clos et le couvert standardisé en neuf ou en rénovation selon des cahiers des charges définis par des designers sur des critères essentiellement commerciaux. La valeur ajoutée sur ces lots baisse et l'intermédiation se fait principalement par des plateformes numériques qui mettent les artisans en



concurrence permanente. Parallèlement, elles investissent dans des solutions innovantes permettant de répondre aux attentes des clients : matériaux autonettoyants (intégrant des nanomatériaux), autoréparants (béton à bactéries), etc.

Elles font également appel à de petites entreprises très créatives qui proposent des services « meubles et équipements », « ambiances » et « usages », et qui savent modifier totalement les perceptions sensorielles d'un même espace. Elles proposent des adaptations clé en main aux occupants pour mieux répondre à leur besoin : agrandissement, rénovation, déménagement, etc.

L'enjeu de la satisfaction du client conduit à des services de plus en plus personnalisés, et les équipements se font de plus en plus techniques, la domotique se développe. Cela contribue à une polarisation du marché du travail, entre ceux qui conçoivent et pilotent (souvent à distance) et les exécutants qui interviennent sur les chantiers et dont l'activité est fortement prescrite via des outils numériques. Ces travailleurs peuvent venir de loin, comme les matériaux qu'ils installent dans un contexte de mondialisation des chaînes de valeur de la construction.

Dans ce scénario :

- de nouveaux acteurs du numérique « disruptent<sup>(6)</sup> » le secteur en captant la clientèle ;
- les acteurs historiques tentent de survivre en les imitant ;
- les petites entreprises et les indépendants subissent leur loi et voient leur métier s'appauvrir dans tous les sens du terme.

---

## 3. Les enjeux de santé et de sécurité au travail dans les transformations structurelles de la filière construction

Les scénarios présentés au chapitre 2 ainsi que le travail réalisé en amont dans le cadre de l'exercice « Imaginons ensemble les bâtiments de demain » ont permis de mettre en évidence des moteurs de transformation du secteur de la construction qui seront déterminants dans les années à venir. Ils se répartissent en trois domaines : la numérisation, la transition environnementale et l'industrialisation.

En fonction des scénarios, les influences respectives de ces différents facteurs seront plus ou moins fortes et pourront prendre des formes différentes mais, dans tous les cas, ces facteurs s'imposeront comme les moteurs déterminants des mutations de la filière dans les prochaines années et auront chacun des implications en matière de santé et de sécurité au travail.

Pour chacun de ces trois domaines, nous avons retenu deux mutations induites en raison de leurs conséquences possibles sur les conditions de travail.

### 3.1 La numérisation

La filière de la construction est également concernée par l'essor du recours aux technologies de l'information et de la communication (TIC) qui touche l'ensemble des secteurs économiques. Cette numérisation du secteur est très transversale et se traduit notamment par des innovations susceptibles de transformer sensiblement l'organisation du travail des acteurs de la construction et de la rénovation.

Le groupe a retenu deux innovations qui permettent d'illustrer leurs implications sur les conditions de travail. Il s'agit, d'une part, de s'interroger sur les effets possibles du déploiement du BIM et, d'autre part, sur ceux de la plateformes d'un certain nombre d'activités, notamment dans le second œuvre.

#### 3.1.1 Le BIM, un nouvel outil au service de la prévention ?

La maquette numérique du bâtiment permet à toutes les parties prenantes d'un projet de partager les informations de la conception à la construction puis à l'entretien. Elle peut aider, sans être suffisante, à la coordination des acteurs. Ceci étant, la disponibilité des informations partagées entre toutes les parties prenantes est un levier important pour renforcer les actions de prévention et donc la sécurité des chantiers. De très nombreux outils existent tant pour concevoir un jumeau numérique du bâtiment que pour partager l'avancement des travaux en cours de construction.

Le BIM, comme la prévention, repose sur des principes, comme la globalité, l'interdisciplinarité et la participation de tous. C'est pourquoi il offre de nouvelles perspectives pour la prévention des risques professionnels aussi bien dans des chantiers neufs qu'en rénovation, mais également dans des opérations de déconstruction et de réemploi, ainsi que dans des réalisations hors-site.

## • Qu'attendre du BIM en termes de prévention ?

De nombreuses utilisations peuvent être faites de la maquette numérique au bénéfice de la prévention. On peut citer ici quelques usages :

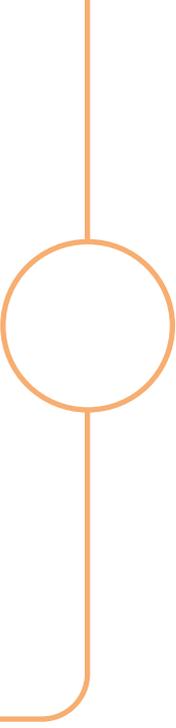
- pendant la préparation de chantier, la visualisation en 3D, avec les dimensions réelles, de l'ensemble des difficultés de mise en œuvre et des risques susceptibles d'advenir pendant la réalisation. Le modèle BIM permet de réaliser le chantier virtuellement avec une prévention intégrée en amont du chantier ;
- la possibilité de modéliser, de manière séquentielle, les plans d'installation de chantier (PIC), parfois de manière dynamique (PICD), et la gestion des flux, ce qui permet d'anticiper au mieux les risques de collisions sur le chantier ;
- plus particulièrement, l'utilisation des fonctions de détection de collisions sont au service de prises de décision pour réduire les risques. Par exemple, ces fonctions permettent de vérifier si l'ensemble des réservations ont bien été prévues et de limiter le nombre de travaux de carottage et de sciage réalisés après coup. Ceci a un impact direct sur la prévention, en limitant les travaux pénibles et l'exposition aux poussières des salariés et des personnes travaillant à proximité ;
- la combinaison de la définition des volumes d'intervention et des fonctionnalités de détection de clash. Ceci permet de vérifier, de la conception à la réception, que les volumes d'interventions ultérieures sur ouvrages seront réservés à cet usage. De ce fait, on peut vérifier que les conditions d'accès aux zones de maintenance seront assurées sur l'ensemble de la durée du chantier, et que les personnes qui y interviendront plus tard pourront le faire dans les meilleures conditions posturales possible.

Le BIM, associé aux logiciels de scan 3D, est également performant pour la préparation des chantiers de rénovation. La modélisation des ouvrages existants peut aller jusqu'à une rétro-conception. Dans le cas où une rétroconception<sup>(7)</sup> de l'ouvrage est réalisée, des informations relatives à l'amiante ou d'autres composés peuvent être intégrées dans la maquette. Lors de la préparation d'une intervention, une requête peut être faite sur la maquette BIM pour déterminer la présence de ces produits et adapter le mode opératoire en conséquence.



Écran 3D et tactile permettant de visualiser les volumes du bâtiment de Radio France.

7. Il s'agit de reconstituer une maquette numérique d'un bâtiment existant.



Des maquettes de bâtiments à déconstruire sont parfois réalisées, même si cela peut paraître contre-intuitif. Lors de chantiers de déconstruction-réemploi, l'utilisation du BIM est un vecteur d'amélioration des conditions de travail des salariés. En effet, la modélisation de l'ouvrage à déconstruire oblige à se demander, pour chaque élément modélisé, quelle est la nature du matériau et à enrichir la maquette des diagnostics associés. Cette utilisation du BIM réduit la part d'aléas sur les chantiers et, par conséquent, le risque d'exposition des salariés à des matériaux dangereux comme l'amiante. De plus, en utilisant les fonctionnalités du BIM, il est possible de vérifier, à chaque phase de la déconstruction, la stabilité structurelle de l'ouvrage, étape par étape. Ceci a un impact direct sur le risque d'effondrement d'ouvrages et sur la sécurité des travailleurs.

Le BIM est associé à certaines tendances constructives comme le hors-site. En effet, la construction hors-site nécessite une plus grande préparation car les reprises de l'ouvrage in situ sont plus complexes. Le BIM est un outil offrant de nouvelles possibilités pour appréhender certaines situations, par exemple en intégrant les données liées à l'environnement du chantier (classement des voies, présence de réseaux concessionnaires aériens ou enterrés, électricité, gaz, télécoms, etc.) et agir ainsi sur l'analyse des risques. Les chantiers intégrant des constructions hors-site donnent une place plus importante au levage. Là encore, le BIM, par l'intégration d'équipements de travail comme des grues à tour, des grues mobiles ou des chariots télescopiques, offre de nouvelles perspectives pour réaliser les examens d'adéquation des engins de levage, et agir ainsi sur le risque de renversement d'engins.

#### • Le BIM et ses limites

Comme n'importe quel outil, le BIM comporte des limites, les siennes étant étroitement liées à la numérisation de notre société. La première est liée à l'illectronisme ou illettrisme numérique. Une étude de l'Insee, réalisée auprès des ménages sur les technologies de l'information et de la communication (TIC ménages) et publiée en octobre 2019, montre que 15 % des personnes de 15 ans et plus n'ont pas utilisé internet durant l'année. Cette étude indique que l'illectronisme, concerne 17 % de la population<sup>(8)</sup>.

La numérisation et la centralisation des informations sur des plateformes peuvent aussi avoir comme conséquences :

- de gêner, voire d'empêcher l'accès aux informations. En effet, l'accès à ces informations hébergées dans le cloud nécessite un minimum de maîtrise des outils numériques, des points d'accès (ordinateur, tablette, etc.), des droits d'accès et un réseau. Toutes ces conditions peuvent constituer des freins sur le chantier. Une interruption d'accès peut avoir des conséquences négatives sur le déroulement du chantier et sur la sécurité des travailleurs ;
- de modifier les automatismes de lecture des plans, bien que les salariés du BTP soient généralement habitués à visualiser en 3D ;
- de générer des conflits intergénérationnels ou entre ceux qui maîtrisent ces outils et les autres.

Une autre limite est liée à la maîtrise du processus BIM. La maquette numérique et les usages qui peuvent en découler dépendent de la qualité des informations qui y sont renseignées, ainsi que de la maîtrise des outils liés à son métier :

- le renseignement de la maquette doit être réalisé suivant des séquences définies pour que chacun puisse s'appuyer sur les données des autres pour réaliser sa part d'ouvrage. Les consultations, tout comme le renseignement, ne peuvent être réalisés que par des personnes formées aux logiciels BIM ;

8. <https://www.insee.fr/fr/statistiques/4241397>

- la maquette doit être actualisée, en particulier lors de découvertes réalisées après curage, ou bien lorsque des variantes sont décidées en cours de chantier. Cette maquette doit être un reflet de la réalité du chantier, en particulier lorsque les données sont utilisées dans le cadre de la prévention.

Enfin, le risque cyber constitue également une limite. Chaque année, des cyberattaques sont menées contre des entreprises et des éditeurs de logiciels, qui les privent d'accès aux données contenues sur leurs serveurs. Un scénario de cyberattaque contre les plateformes d'hébergement, rendant les maquettes et des données de santé et de sécurité inaccessibles, est envisageable.

Par ailleurs, il est probable que le travail sur le BIM mobilise fortement les acteurs à l'avenir, en particulier pour qu'ils se forment. S'il ne fait aucun doute que le numérique est porteur de progrès, il pourrait toutefois devenir un objet autonome avec un risque de déconnexion du réel, l'investissement dans le bâtiment numérique devenant un objectif en soi, captant des capacités qui ne seront plus disponibles pour autre chose. Les quantités de données collectées peuvent, par exemple, être liées à des usages rêvés ou superflus plus qu'à des usages réels. Un phénomène de ce type a pu être observé dans les démarches qualité qui sont parfois devenues un outil contribuant à éloigner le travail « de papier » du travail réel, le métier disparaissant derrière la procédure.

## INNOVATIONS

- **Concernant le partage de la maquette numérique** : la plateforme Lightyx transforme les plans en outils de terrain interactifs afin de s'assurer que les ouvriers de la construction sont capables de mettre en œuvre correctement les plans 2D et 3D, tandis que les responsables sont en mesure de surveiller le processus ; Wizzcad propose des solutions mobiles pour le suivi opérationnel des chantiers : numérisation des processus opérationnels, gestion documentaire et application des processus qualité-sécurité-environnement (QSE).
- **Concernant la construction d'une maquette numérique dans le cadre d'une rénovation** : les outils de scan 3D tels que ceux développés par exemple par My Digital Buildings capturent les données spatiales des bâtiments et permettent ainsi de créer un jumeau numérique. Deux outils sont particulièrement intéressants car ils ne nécessitent qu'un smartphone : Magicplan, une solution permettant de scanner un espace rapidement avec un smartphone, de créer un plan d'intérieur et d'estimer les coûts associés aux travaux de rénovation, et Vvoo qui permet de scanner un objet (tout équipement) pour le reproduire en 3D.
- **Concernant la prise en compte du bien-être des occupants dès la conception** : Realiz3D est une solution de conception de maquettes numériques 3D en temps réel qui affirme prendre en compte le bien-être des utilisateurs dès la phase de conception numérique.

### 3.1.2 La plateformes

Dans le second œuvre du BTP, la mise en relation entre clients et entreprises se fait traditionnellement en direct ou par le biais du maître d'œuvre (architecte, etc.) s'il y en a un. En son absence, c'est le relationnel (bouche-à-oreille) qui prévaut ou le recours aux annuaires en ligne (pages jaunes), ce qui rend l'appariement entre les besoins du particulier et les compétences du professionnel parfois complexe. Le secteur voit donc logiquement apparaître depuis quelques

années des plateformes de mise en relation entre particuliers et professionnels ou « bricoleurs du dimanche » pour effectuer des travaux au domicile de particuliers. Dans une étude datée de 2017, la Fédération française du bâtiment (FFB) a recensé plus de 150 plateformes dans le secteur. Celles-ci proposent le plus souvent des services qui vont au-delà de leur rôle de simple intermédiaire. Ainsi, certaines d'entre elles offrent une garantie en cas de dommages ou de malfaçons en partenariat avec des sociétés d'assurance. Elles peuvent également être adossées ou partenaires d'enseignes de bricolage ou de la distribution, d'industriels du bâtiment et de compagnies d'assurances.

### • Évolutions qui pourraient favoriser cette plateformes

On observe ces dernières années de nombreuses évolutions de différentes natures qui pourront favoriser l'essor de ce type d'acteurs.

#### Évolutions réglementaires

Le contexte économique et réglementaire favorable à l'auto-entrepreneuriat fait perdre au travail non déclaré son attractivité, ce qui réoriente une part de l'activité vers les entreprises et les artisans.

#### Évolutions sociales

Le développement d'Internet favorise le recours au e-commerce et modifie les habitudes du consommateur qui veut pouvoir, dans tous les domaines et donc aussi pour ses travaux de second œuvre, prospecter simplement, depuis chez lui, à toute heure et bénéficier sans attendre des prestations correspondantes. Ce phénomène s'est accéléré durant la crise du Covid-19.

Par ailleurs, pour le client, le recours à un prestataire du second œuvre du bâtiment est moins fréquent que le recours à un commerçant de proximité, et pour des dépenses souvent plus élevées. Aussi s'accorde-t-il moins le droit à l'erreur et devient-il de plus en plus prudent et exigeant. Le turn-over des artisans et l'anonymat des grandes villes ne favorisent plus le bouche-à-oreille qui a été longtemps le principal moyen de trouver un prestataire de qualité. Dans ce contexte, la médiation entre particuliers et artisans professionnels offerte par les plateformes rassure le client, notamment via les avis laissés par les précédents clients à la suite de leurs chantiers.

Enfin, le client apprécie d'avoir accès simplement à des services associés aux travaux (assurance, maintenance, etc.) qu'un artisan seul, dans son organisation traditionnelle, ne peut pas toujours lui proposer.

#### Évolutions technologiques

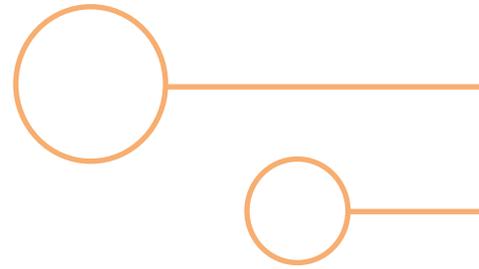
Les progrès des applications web rendent de plus en plus convivial l'e-commerce, qui se développe fortement.

Grâce au traitement des données des clients et des professionnels, les plateformes améliorent le rapprochement entre l'offre et la demande et réduisent les délais d'attente.

#### Évolutions organisationnelles

Face à l'évolution du comportement des clients, les artisans ont de plus en plus besoin d'être accompagnés. Pour mieux les attirer et les fidéliser, les plateformes peuvent leur offrir de plus en plus de services (prise en charge des démarches commerciales et de tâches administratives, etc.) leur permettant de se consacrer à leur cœur de métier.

Les grands acteurs du BTP sont sensibles au modèle flexible de plateforme qui répond aux attentes des clients particuliers. En rachetant des plateformes ou en nouant des partenariats avec celles-ci, ces grands acteurs étendent leurs activités en proposant une offre de service complète, qui leur permet de contrôler le secteur et de fidéliser leur clientèle.



### • Conséquences en termes de conditions de travail

Dans l'évolution organisationnelle de ce secteur, certains éléments peuvent apporter des améliorations en termes de conditions de travail.

L'intermédiation de la plateforme peut permettre de réguler le marché en évitant les prestations *low cost* qui favorisent les accidents du travail.

Pour attirer et fidéliser les artisans, les plateformes peuvent investir dans la prévention des risques. Grâce à leur capacité de traitement des données, elles peuvent conseiller les artisans, les guider dans leurs interventions et anticiper les risques dans chacun des chantiers. En fédérant de nombreux professionnels, elles peuvent leur faire bénéficier d'un accès plus facile à des équipements de sécurité, soit en les mutualisant (par exemple, des échafaudages sécurisés), soit en négociant des prix auprès de fournisseurs (par exemple, pour les EPI). La santé et la sécurité au travail deviennent alors un argument marketing des plateformes, vis-à-vis des clients et des professionnels. Les conditions de travail se trouvent améliorées par rapport à un marché auparavant composé essentiellement de très petites entreprises, qui n'avaient ni les moyens ni le temps d'investir dans le champ de la prévention. Les plateformes peuvent relayer des messages de prévention vers les artisans. Le professionnel, déchargé par les plateformes des tâches administratives et commerciales, peut consacrer plus de temps à son geste professionnel et à l'amélioration de ses conditions de travail.

Certains éléments peuvent au contraire contribuer à dégrader les conditions de travail.

La dépendance de l'artisan vis-à-vis de la plateforme réduit sa marge de manœuvre dans l'organisation de son travail, sans que la plateforme endosse pour autant la responsabilité d'employeur en matière de prévention. Le passage obligatoire par une plateforme peut accroître l'isolement de l'artisan, qui n'a plus de contact avec ses fournisseurs et dont l'interaction avec ses clients est réduite au minimum. Une prescription algorithmique du travail le prive également de la possibilité de discuter de l'organisation de son travail pour pouvoir l'adapter à ses contraintes, les échanges avec la plateforme étant limités par les interfaces numériques et parfois traités par un chatbot.

La situation de dépendance économique de l'artisan vis-à-vis de la plateforme l'expose à des décisions unilatérales de celle-ci : modification des règles tarifaires, déréférencement à la suite de « mauvaises notes » de la part de clients, etc.

La mise à distance du terrain (projet, puis chantier) peut également conduire à recourir à des non-professionnels (ou professionnels occasionnels) dont on ne connaît pas les réelles compétences, notamment en matière de préservation de la santé au travail, pour eux et pour les autres intervenants (lors de co-activités et en l'absence de coordination (SPS) formalisée ou organisée).

De même, le travail à distance sur le site du (futur) chantier peut conduire à des erreurs d'appréciation, par manque d'informations prises suffisamment largement. Par exemple, un environnement de chantier trop exigu peut empêcher la mise en place de la grue adaptée au levage envisagé (voir l'exemple de Clever Lift dans l'encadré page suivante).

## INNOVATIONS DANS LA PLATEFORMISATION B TO B DU SECTEUR

• **Plateforme d'achat de matériaux et de matériels, notamment pour les PME sans service d'achats structuré.** Ces plateformes proposent deux outils : des places de marché qui mettent à disposition tous les produits des fournisseurs d'un chantier et des outils de pilotage des facturations et des dépenses. En termes de santé et de sécurité, ces plateformes pourraient proposer une meilleure documentation et des méthodes d'utilisation des produits ou des matériels.

Exemples : la plateforme Ibat simplifie les dépenses sur les chantiers dans trois domaines (les achats, la sous-traitance et la main-d'œuvre) ; la plateforme Beton direct est une plateforme nationale de centrales à béton. Concernant le matériel, Traktor.fr permet de louer des machines de chantier en ligne en consultant les parcs de plusieurs loueurs simultanément ; Clever Lift a développé une application qui permet de trouver la grue adaptée en fonction de mesures effectuées sur le chantier ; et l'application Sharemat développe deux plateformes : Sharemat Fleet pour numériser et optimiser la gestion de son parc de matériels et Sharemat Community pour en partager son utilisation.

• **Plateformes de mise en relation avec la sous-traitance** qui permettent aux entreprises de trouver plus facilement des sous-traitants et d'accéder à des informations sur eux. Elles permettent aux PME et aux artisans d'avoir une plus grande visibilité pour accéder à des projets, voire réduisent les charges administratives pour ces petits acteurs. Sans que ce soit déjà le cas, il serait utile que ces plateformes se saisissent de la prévention des risques et des règles de sécurité, les critères de prévention pourraient par exemple être intégrés aux critères d'évaluation des sous-traitants.

Exemples : Subclic, une plateforme collaborative de pilotage de l'intégralité des dossiers de sous-traitance ; Mylkee, une plateforme d'achat et d'analyse de données qui optimise la consultation des sous-traitants et l'estimation des chantiers ; Batiref, une plateforme collaborative d'évaluation des professionnels du bâtiment à partir des retours des clients et d'un système d'évaluation des fournisseurs.

## 3.2 La transition environnementale

Le secteur du bâtiment est particulièrement concerné par les évolutions qu'implique la transition environnementale. Les objectifs qui lui sont (et qui lui seront) assignés sont multiples : réduire les émissions de CO<sub>2</sub> des processus de construction, abaisser la consommation d'énergie de bâtiments existants et futurs, limiter l'artificialisation des sols, adapter le bâti aux aléas climatiques dont la fréquence augmente, trouver des solutions face aux menaces de pénuries d'approvisionnement en certains matériaux, réduire le volume de déchets ultimes générés, etc.

Parmi tous ces défis, deux sont développés ici pour mettre en évidence les implications importantes des mutations à venir sur l'organisation de la filière et sur les conditions de travail. Il s'agit des politiques de rénovation énergétique des bâtiments et du développement d'une économie circulaire dans la filière.

### 3.2.1 Les enjeux des politiques de rénovation énergétique

Plusieurs politiques visent à rénover le parc de bâtiments (il est essentiellement question ici de rénovation de logements) :

- la rénovation à visée énergétique, dont l'objectif est de baisser la consommation d'énergie et/ou les émissions de carbone ;
- la rénovation à visée sociale, dont l'objectif est de lutter contre la précarité énergétique (programme « Habiter mieux » de l'Agence nationale de l'habitat, Anah), d'adapter le

- logement aux habitants (programmes de la Caisse nationale d'assurance vieillesse (CNAV) pour l'adaptation au vieillissement, etc.) ;
- la rénovation à visée urbanistique, dont l'objectif est de contribuer, par la qualité du bâti, à la qualité de vie des quartiers (programmes de l'Agence nationale pour la rénovation urbaine (ANRU), Cœur de ville, etc.) ;
  - sans doute, à venir, la rénovation à visée d'adaptation au changement climatique (pose de climatiseur, consolidation de structures pour cause de retrait-gonflement des sols argileux).

Les artisans et les entreprises interviennent sur l'ensemble de ces politiques, qui sont pilotées en silo, et leur intégration est un enjeu clé, car elles ont toutes un même objet physique (le bâti) mais pas forcément les mêmes modes d'intervention.

Les défis liés à ces politiques sont de trois ordres :

- augmenter le nombre de rénovations ;
- augmenter la qualité de chaque rénovation, c'est le cas par exemple pour l'énergie avec la volonté d'augmenter le nombre de rénovations performantes ;
- articuler ces différentes politiques.

Celles-ci peuvent avoir des impacts significatifs sur les conditions de sécurité sur les chantiers.

Dans la plupart des cas, les conséquences sur les conditions de travail peuvent être aussi bien positives que négatives. De quelle manière les politiques de rénovation peuvent-elles avoir un impact sur les conditions de travail ? Plusieurs hypothèses peuvent être formulées.

Concernant la rénovation des logements sociaux, l'incertitude majeure est celle du volume de financement : les bailleurs sociaux sont dans une dynamique positive par rapport à la rénovation, ils ont les compétences de gestion de projet en interne. Seul le mode de financement du logement social, et son incidence sur leur capacité à financer des travaux, peut casser la dynamique. Peu d'incidence, donc, sur les conditions de travail. Par conséquent, l'attention doit être focalisée sur les logements privés.

Concernant la rénovation des logements privés :

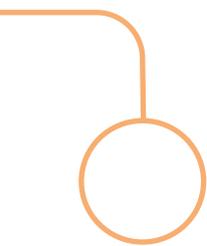
• selon le type de rénovation réalisé (i. e. quelle capacité de la politique de rénovation à développer de façon massive un marché de la rénovation globale/intégrée ?) :

- **soit une intervention geste par geste** : une année on change la chaudière, une autre année on isole une partie du logement, une autre année on change la baignoire en douche pour adapter le logement au vieillissement des occupants, etc. C'est l'évolution tendancielle. Elle change peu les modes de travail puisque chaque corps de métier intervient de façon indépendante, en lien direct avec le maître d'ouvrage (ménage propriétaire occupant ou bailleur). Ce type d'intervention permet de se caler sur le rythme des ménages, mais pas d'arriver aux objectifs (l'intervention geste par geste, même sur l'ensemble des lots de travaux, ne permettra de faire



© Gaël Kerbaol - INRS (2016)

*Un chantier d'isolation extérieure d'une tour d'habitation.*



baisser suffisamment la consommation d'énergie pour atteindre les objectifs climatiques de la France que si l'effort de décarbonation de l'énergie est massif) ;

- **soit une rénovation plus globale** : il s'agit d'une rénovation énergétique lourde permettant d'atteindre une basse consommation en une fois ou par étapes, rénovation englobant les aspects énergétiques et d'autres dimensions (adaptation au vieillissement, adaptation au changement climatique, acoustique, etc.). Ce serait une évolution forte par rapport à la tendance historique, mais dont on voit quelques signaux faibles à l'heure actuelle (la rénovation globale commence à être mise en avant dans MaPrimeRenov<sup>(9)</sup>, par exemple). Elle changerait fortement les modes de travail, puisqu'elle demanderait une coordination entre corps de métiers. Dans ce cas, la question devient : qui serait chargé de la coordination des travaux, i. e. de l'assistance à maîtrise d'ouvrage (AMO) : un groupement d'artisans (modèle Dorémi<sup>(10)</sup>) ? Une entreprise générale du bâtiment ? Des intermédiaires de type opérateurs CEE (certificat d'économie d'énergie) ? Des plateformes de types Izi by EDF, La Maison Saint-Gobain, etc. ? Des acteurs de la construction neuve (CMIstes<sup>(11)</sup>) en reconversion ? À l'heure actuelle, le développement d'un « accompagnateur rénov' » est en discussion. En fonction du pilote, les conditions de travail des artisans peuvent être très différentes, à la fois dans leur lien avec le client final, dans leur lien de subordination à d'autres acteurs, dans leur capacité à choisir leurs chantiers, à émettre la préconisation technique (et donc à maîtriser les équipements et matériaux à mettre en œuvre) et à partager des tâches sur le chantier, mais aussi dans leur besoin d'investir du temps dans la gestion administrative et financière de leur entreprise, etc. Chaque configuration a des avantages et des inconvénients en termes de conditions de travail ;
- selon la quantité et la qualité de main-d'œuvre disponible (i. e. quelle capacité de la politique de rénovation à attirer la main-d'œuvre nécessaire dans la filière ?).

Les artisans et les entreprises interviennent sur ces opérations de rénovation énergétique, qui ont toutes un même objet physique (le bâti) mais pas forcément les mêmes modes d'intervention. Plusieurs hypothèses d'évolution sur les impacts (positifs ou négatifs) peuvent être formulées en matière de conditions de travail sur quatre facteurs-clés liés à la rénovation énergétique.

#### • Main-d'œuvre et compétences

L'atteinte des objectifs de rénovation passe par une augmentation importante de la main-d'œuvre disponible dans la construction, mais également par un besoin fort de formation, par exemple pour acquérir des compétences transverses. Trois types de compétences sont nécessaires : techniques, organisationnelles et relationnelles.

Dans ce cadre, trois hypothèses d'évolution peuvent être envisagées.

**Hypothèse 1** : l'incapacité à attirer la main-d'œuvre en qualité ou en nombre suffisants rend impossible l'atteinte des objectifs. Cette hypothèse peut être considérée comme tendancielle. Il en résulterait des risques de surcharge pour les artisans et de tensions avec les clients sur les chantiers, mais aussi une augmentation de leur capacité à « choisir » leurs clients et le développement de nouveaux métiers porteurs de sens dans l'accompagnement à l'autorénovation, les particuliers palliant par leur temps disponible l'absence de main-d'œuvre dans la filière.

**Hypothèse 2** : le secteur du bâtiment réussit à attirer une nouvelle main-d'œuvre en montrant qu'il s'agit d'un secteur d'avenir qui propose des métiers concrets, porteurs de sens et plutôt bien payés. Il devient attractif pour des travailleurs en reconversion professionnelle et pour de nouveaux entrants sur le marché du travail. Il profite notamment de la perte d'attractivité d'autres secteurs et investit dans la formation de cette nouvelle main-d'œuvre notamment sur

9. <https://www.maprimerenov.gouv.fr>

10. <https://www.renovation-doremi.com>

11. Constructeurs de maisons individuelles.

les sujets de sécurité. En termes de conditions de travail, il en résulterait une évolution de la fierté et du sens du travail, mais aussi un temps passé en formation bien plus important qu'aujourd'hui pour actualiser les compétences en fonction des évolutions techniques.

**Hypothèse 3 :** le secteur du bâtiment intègre un grand nombre de travailleurs peu qualifiés et investit peu dans leur formation. En attirant une main-d'œuvre peu qualifiée, sans avoir la capacité d'investir dans la formation, le bâtiment est confronté à une baisse de qualité. En termes de conditions de travail, cela pourrait se traduire par une augmentation du nombre d'accidents, une montée des risques psychosociaux et l'instauration d'un climat de méfiance entre clients et artisans.

### • Équilibre entre qualité et quantité des travaux

La volonté de massifier la rénovation énergétique peut conduire à de nouveaux équilibres entre la qualité des rénovations et leur quantité.

Les hypothèses envisageables sont les suivantes.

**Hypothèse 1 :** la qualité entraîne la quantité. Des acteurs apprennent à proposer des rénovations de qualité bien coordonnées en mobilisant les compétences complémentaires nécessaires. La satisfaction des clients entraîne un développement progressif mais fort du marché.

**Hypothèse 2 :** l'obligation de travaux tire la qualité vers le bas. Les obligations de rénovation conduisent une part des acteurs à satisfaire à l'exigence sans guère se soucier de la qualité de la réalisation. L'important devient de faire vite plutôt que de faire bien. Les maîtres d'ouvrage visent uniquement l'obtention de diagnostics de performance énergétique (DPE) les autorisant à louer et mettent la pression sur les entreprises sans se soucier de la qualité effective des rénovations.

### • Impact des aides au financement

Des systèmes de subvention multiples visant à faciliter les rénovations thermiques sont mis en place.

Trois hypothèses peuvent être faites sur l'impact des aides au financement.

**Hypothèse 1 :** les subventions permettent aux maîtres d'ouvrage de réaliser des travaux qu'ils n'auraient pas pu réaliser autrement et se traduisent par une croissance du marché. En termes de sécurité et de conditions de travail, on est ramené à la question de la quantité de main-d'œuvre qualifiée nécessaire.

**Hypothèse 2 :** les subventions font monter les prix et les marges des entreprises. Ceci peut se traduire par une moindre tension sur les conditions de travail, les conditions de marché permettant la prise en compte de la prévention.

**Hypothèse 3 :** les subventions conduisent à ce que se créent des entreprises chasseuses de primes qui apparaissent, disparaissent ou se restructurent en fonction de l'évolution des systèmes d'aides. Le terme d'écodélinquant a été inventé pour certaines de ces entreprises qui pratiquent le dumping social, recourent au travail illégal et où les conditions de travail sont dégradées.

### • Obligation de résultat

Afin de permettre de garantir la qualité des travaux, des méthodes se développent pour mesurer la performance de l'ouvrage exécuté. Les mesures de la perméabilité à l'air de l'enveloppe se sont développées depuis le label Bâtiment basse consommation (BBC) en 2007 et la réglementation thermique RT2012. La réglementation environnementale RE2020 et le label associé vont conduire à une vérification du fonctionnement de la ventilation et probablement, à terme, de la qualité de la mise en œuvre de l'isolation. La mesure de la perméabilité à l'air a plutôt eu comme résultat de pousser à la formation des opérateurs.

En termes de conditions de travail, deux hypothèses peuvent être envisagées :

**Hypothèse 1 :** la mesure des performances associée à la formation conduit à valoriser le travail bien fait et à donner du sens aux métiers. Elle renforce également pour les entreprises l'intérêt de préserver la santé de leurs salariés expérimentés et qualifiés afin de les fidéliser et de les maintenir en activité.

**Hypothèse 2 :** la mesure de la performance fait porter sur les ouvriers une obligation de résultat qui peut être pesante. Une évaluation individualisée des résultats des chantiers peut être une source de risques psychosociaux pour les opérateurs, notamment s'ils ne disposent pas des moyens (temps, équipement) et de l'autonomie (qualifications, forte prescription) leur permettant de faire un travail de qualité.

### INNOVATIONS EN MATIÈRE DE PILOTAGE ET DE MONITORING DES PERFORMANCES ÉNERGÉTIQUES DES BÂTIMENTS

- Des capteurs associés à des plateformes de traitement permettent un pilotage intelligent de la performance énergétique du bâtiment. Par exemple : Qualiteo propose un système de mesure des consommations énergétiques via des capteurs intelligents et permettant une cartographie multifluide par zone, appareil et usage ; Hxperience fournit une solution qui collecte, traite et analyse en temps réel des données issues des bâtiments, des équipements et des usages pour améliorer la performance énergétique et faire de la maintenance prédictive.
- Une autre innovation utilise les températures du sous-sol pour améliorer la capacité thermique du bâtiment : Celsius Energy connecte les bâtiments neufs ou existants à l'énergie de leur sous-sol. Ils fournissent une chaleur « bas carbone » et une climatisation ou un rafraîchissement naturel.
- Outre les bureaux d'études spécialisés dans la rénovation énergétique, une application comme CapRenov+ permet de réaliser des simulations de travaux de rénovation.

### 3.2.2 L'économie circulaire

Dans un contexte où les ressources en matières premières pourraient se raréfier dans les décennies à venir et où les contraintes climatiques imposent de diminuer la consommation d'énergie (particulièrement celle d'énergies fossiles), le passage d'une économie linéaire à une économie circulaire est considéré comme une des solutions à privilégier. Les composantes de l'économie circulaire vont bien au-delà de la réutilisation d'éléments déjà utilisés ou du recyclage de matériaux, puisqu'elles comprennent aussi, par exemple, l'utilisation partagée de biens, l'écologie industrielle et territoriale, la consommation collaborative, etc. Cependant, dans le cadre de cet exercice de prospective consacré à la construction, ce sont bien ces deux premiers éléments (réemploi et recyclage) qui auront le plus d'impact sur les questions de santé au travail.



© Guillaume J. Plisson pour l'INRS (2021)

*Projection d'un enduit composé d'un mélange de fibres de chanvre, de terre sèche et de barbotine mouillée (procédé semi-sec) afin de concevoir un panneau isolant.*

### • Concevoir autrement pour permettre le réemploi

Pour que les opérations de démontage puissent être correctement effectuées, il faut concevoir autrement. Cette conception doit notamment prendre en compte l'augmentation des interventions manuelles des travailleurs qui résulte du nombre accru des interventions de démontage préservant l'intégrité des objets. Elle doit permettre de limiter les accidents, mais aussi les lombalgies et les troubles musculosquelettiques des membres supérieurs, qu'ils résultent du poids des composants, de mouvements forcés, de postures contraignantes ou de mouvements répétitifs et/ou entraînant des contraintes sur les articulations.

Cette amélioration de la conception devrait au fil du temps porter ses fruits : tout élément réutilisable devra avoir été conçu en tenant compte de la logique de réutilisation, ce qui n'a généralement pas été le cas jusqu'à ces dernières années.

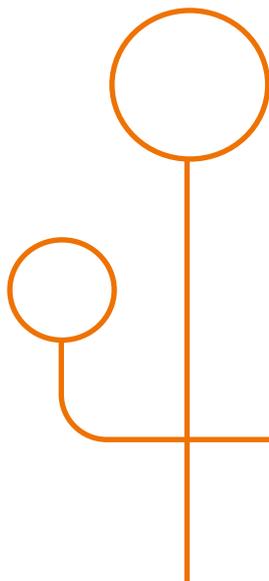
Dans certains cas, il ne s'agit pas d'un réemploi à l'identique d'un bien déconstruit, mais du réemploi sélectif (ou de la réparation) d'un de ses éléments constitutifs : le démontage de cette pièce particulière doit avoir aussi été envisagé et prévu dès la conception. Il faut aussi s'assurer que les travailleurs ont été formés à ces tâches spécifiques afin d'éviter tout accident.

### • Assurer une bonne traçabilité des éléments réutilisés et des matières recyclées

Le réemploi d'éléments de construction doit répondre à certaines exigences de traçabilité afin de garantir leur innocuité : pour les consommateurs, mais aussi pour les travailleurs. Au cours de leur démontage comme de leur remontage, ces éléments peuvent être soumis à des contraintes entraînant des risques de cassure, ce qui peut évidemment représenter un risque pour les travailleurs. À chaque élément doivent donc être associés une durée de vie et/ou un nombre limité d'utilisations dont il est possible d'avoir connaissance à travers un marquage permanent, qui donne accès à son historique d'utilisation.

De même, il faut s'assurer que le recyclage des matériaux assure une qualité technique suffisante, mais aussi qu'il ne se traduise pas par la génération d'une pollution par des composés toxiques ou un enrichissement progressif d'impuretés elles-mêmes toxiques. Dans ce cas aussi, une bonne traçabilité des lots utilisés doit être garantie.

Enfin, le risque chimique généré lors de l'utilisation des nouveaux matériaux et du recyclage des plus anciens doit faire l'objet d'une attention particulière et permanente (voir chapitre 4.3 page 34).



## INNOVATIONS

- StockPro, plateforme que l'on peut considérer comme dédiée à l'économie circulaire, propose un outil de pilotage des stocks des entreprises permettant la réutilisation de matériaux de construction dormants.
- D'autres entreprises proposent des solutions de collecte et de valorisation des déchets, de la réservation de benne TP en un clic (MyBen) à un intermédiaire qui met en relation les artisans avec des déchetteries professionnelles en négociant les tarifs et en facilitant le paiement (Ecodrop), jusqu'à l'installation de stations de tri sur chantier pour que les entreprises puissent trier leurs déchets (Tri'n'Collect). Cette dernière start-up les collecte et les trie avant de les envoyer vers des filières de recyclage et de réemploi.
- Des entreprises proposent d'intégrer davantage de matériaux recyclés dans les matériaux de construction. Par exemple : Néolith transforme les déchets non recyclables en matériaux écologiques de construction ; Etnisi propose des matériaux décoratifs ou de construction réalisés à 75 % à base de déchets ; Materr'UP produit des bétons structurels et rafraîchissants à partir d'un ciment d'argile breveté (béton « vert » à base d'argile de carrière et à base de terres excavées de chantier) ; Carbon8 a développé un procédé de carbonation de déchets pour la production de matières premières pour la construction ; d'autres encore recyclent du tissu ou des plastiques pour les intégrer à des matériaux de construction.
- Des plateformes et outils sont dédiés au réemploi. Backacia est une place de marché pour le réemploi des matériaux de chantiers, qu'ils viennent de la déconstruction ou d'un surplus de commande, de même Cycle-up optimise la rencontre entre offre et demande pour les matériaux de réemploi avec des fiches pratiques et des concepts de valorisation. La plateforme collaborative Upcyclea qualifie des données sur le patrimoine ou sur les matériaux du bâtiment afin de favoriser l'élimination progressive des déchets et la réutilisation des ressources. Pour l'amélioration de la prévention des risques professionnels, la qualification des matériaux à recycler est primordiale.

### 3.3 L'industrialisation de la filière

La conjonction des nouvelles opportunités offertes par les progrès technologiques et des contraintes auxquelles fait face le secteur du bâtiment – on pense ici notamment aux difficultés de recrutement et aux problèmes de qualité – incite les professionnels à développer des nouvelles solutions pour améliorer leur productivité. Ces innovations ne sont pas uniquement techniques, elles impliquent souvent des modifications organisationnelles importantes. Par différents aspects, les processus de construction se rapprochent de ceux de l'industrie. Cette question de l'industrialisation est ici traitée à travers deux phénomènes, celui du développement de la construction hors-site et celui de l'émergence de la robotisation sur les chantiers.



© Gaël Kerbaol – INRS (2012)

*Opération de soudure d'une structure métallique avec une torche aspirante.*

#### 3.3.1 Le développement de la construction hors-site

Les modes et méthodes de construction continuent d'évoluer en permanence et tendent vers une plus forte industrialisation des processus via de la construction hors-site, que ce soit de la préfabrication ou de la construction modulaire. Cette tendance peut être interprétée selon deux points de vue qui ne sont pas incompatibles. D'une part, ce processus peut être considéré comme une adaptation des entreprises aux difficultés de recrutement d'ouvriers pour travailler sur les chantiers. D'autre part, ces innovations organisationnelles modifient les besoins de main-d'œuvre du secteur. Ce qui est clair, c'est que ces techniques semblent être de nature à améliorer les conditions de vie et de travail des opérateurs du secteur et ce, pour plusieurs raisons :

- les conditions de travail en atelier sont beaucoup plus faciles à maîtriser et à améliorer que sur des chantiers ;
- dans un atelier, il est possible d'investir dans des équipements fixes (machines, équipements de manutention, etc.) qui peuvent améliorer la sécurité et réduire la charge physique ainsi que d'aménager les postes de travail de manière ergonomique, ce qui facilite l'emploi de femmes et de séniors ;
- pouvoir proposer un lieu de travail fixe à une partie des travailleurs peut être un argument important pour les recruter et les fidéliser (conciliation vie personnelle-vie professionnelle) ;
- les conséquences sur les conditions de travail sur les chantiers peuvent également être positives car la préfabrication impose une mécanisation plus importante des manutentions en raison de la taille et du poids des éléments à assembler, la durée même du chantier peut être réduite ;
- ces modes de production permettent également d'atténuer les contraintes temporelles, certaines opérations pouvant être anticipées en amont des chantiers.

Une étude réalisée par le cabinet Kyu Lab pour l'Observatoire prospectif des métiers et des qualifications du BTP est consacrée à ces questions de préfabrication et d'industrialisation<sup>(12)</sup>. Elle pointe clairement l'amélioration des conditions de travail des compagnons comme le premier avantage mentionné par les professionnels. Ces derniers citent également les inconvénients qu'ils associent à ces techniques, à savoir un risque de déqualification de la main-d'œuvre et une réduction de la liberté et de l'autonomie des compagnons sur les chantiers.

L'étude fait également ressortir les impacts sur les métiers et les compétences du développement de ces modes de construction. En termes de compétences clés, elle pointe notamment la conception associée au numérique (CAO), la logistique et la coordination de chantier qui deviennent déterminantes ; plus en aval, les besoins en levage et en manutention ainsi que les compétences techniques pour la mise en œuvre et l'installation. Sur ces nouveaux projets, les travailleurs clés seront les concepteurs, les logisticiens, mais aussi les grutiers (ce qui est déjà en partie le cas sur de nombreux chantiers traditionnels). Pour certaines fonctions, notamment en atelier, il sera plus facile d'intégrer des opérateurs ayant suivi des formations non spécifiques du BTP. Sur les chantiers, les besoins de compétences portent essentiellement sur les phases de pose et d'installation. On peut imaginer qu'à l'avenir, les industriels jouent un rôle encore plus important en matière de formation des ouvriers et des artisans à la pose de leurs équipements.

Dans bien des cas, travailler en atelier ou en usine permet donc une meilleure prévention que sur un chantier. Il est plus facile d'y trouver des dispositifs de captage des poussières, de levage des pièces lourdes, d'installations sanitaires, de chauffage, etc. Il est aussi plus facile d'y optimiser les processus, ce qui peut entraîner une intensification du travail et l'accroissement de pathologies de type troubles musculosquelettiques.



© Grégoire Maisonneuve pour l'INRS (2020)

*Pose d'une charpente d'un bâtiment d'habitation collective, assemblée au sol puis mise en place avec une grue télécommandée.*

Mais ce virage n'est pas si simple à prendre. Si, dans la filière bois de la construction, beaucoup de tâches dangereuses peuvent être automatisées, avec des systèmes assez souples, ce n'est pas aussi facile dans la filière béton. De plus, les éléments préfabriqués en béton pèsent très lourd et sont rarement autostables, leur manutention implique donc de disposer des engins adaptés, d'accès supportant ces poids importants (cela peut être compliqué en milieu urbain par exemple, en raison de l'instabilité de certaines chaussées). La préfabrication d'éléments plus volumineux (et donc plus lourds), qu'il faut aller positionner au milieu d'un environnement plus restreint (densification des espaces) peut créer des contraintes de mise en place et donc des risques supplémentaires. Par ailleurs, avec de tels éléments, les imprévus et le dernier mètre sont plus compliqués à gérer et

12. <https://www.metiers-btp.fr/publication/les-impacts-de-la-prefabrication-industrialisation-sur-lorganisation-des-entreprises-et-metiers-du-btp/>

l'improvisation peut être périlleuse. La formation professionnelle du grutier sera un élément majeur de la maîtrise du risque.

En outre, les éléments préfabriqués posent le problème de leur qualité car ils sont plus difficiles à reprendre en cas de défaut, ce qui peut faire peser un risque tant sur les opérateurs du chantier que sur la viabilité économique du chantier lui-même.

## INNOVATIONS

- Exemples : Corner développe des modes constructifs innovants préfabriqués en bois qui permettent une production de masse hors-site, un transport et un assemblage faciles des panneaux préfabriqués (murs, planchers) sur place ; Smart Cast propose des plaques de coffrage imprimées livrées sur mesure pour les chantiers ; Rebartek fournit des cages d'armature préfabriquées pour les projets de construction ou encore Revolubat fabrique des systèmes préfabriqués pour simplifier l'incorporation des réseaux de plomberie sur les chantiers.

- Les solutions constructives modulaires et évolutives, par exemple : Vestack conçoit et construit des bâtiments modulaires biosourcés (bâtiments en ossature bois, pré-assemblés hors-site à 90 %) ; Cubik Home a développé une offre de construction avec béton pour réaliser une enveloppe structurante et isolante, prenant la forme de modules assemblables ; Agilcare réalise des bâtiments écologiques à partir d'éléments préfabriqués de dimensions standardisées, en bois, pérennes, qui sont démontables, remontables, évolutifs et transformables.

### 3.3.2 Les innovations technologiques sur les chantiers

Au-delà des établissements de production hors-site, les métiers de la construction sont-ils automatisables ? Peut-on remplacer les hommes par des robots sur les chantiers ? Pour tenter de répondre à ces questions, le groupe de travail a choisi d'énumérer ici un certain nombre d'exemples d'innovations qui donnent à voir le foisonnement de projets dans ce domaine, sans préjuger de leur viabilité. Force est de constater que les projets en phases de recherche et de développement sont nombreux dans ce domaine et qu'ils sont souvent guidés par des objectifs de productivité : gagner du temps, réduire le nombre de travailleurs sur les chantiers et améliorer la qualité. Certains visent plus spécifiquement à améliorer les conditions de travail ou à protéger les opérateurs. Tous n'aboutiront pas car leur succès dépend de nombreux facteurs économiques, techniques et humains, certains se recentreront sur des marchés de niche, mais d'autres pourraient se répandre et contribuer à modifier sensiblement les modes de construction et les conditions de travail.

*À noter : De nombreuses marques et entreprises sont citées dans ce chapitre (comme dans d'autres parties de ce document), les éléments de description des solutions sont en partie issus de leur communication promotionnelle. Mais il ne s'agit pas ici de les promouvoir et encore moins de cautionner leur intérêt en prévention. L'objectif est de mettre en évidence la réalité et la diversité des innovations en cours et de permettre au lecteur de pouvoir accéder à des informations plus précises s'il le souhaite.*

### • Le robot-métier (maçon, carreleur, peintre)

Hadrian X est un robot-maçon<sup>(13)</sup> qui a été développé par une société australienne (FBR) en 2015-2016. Il pose blocs (12 fois plus grands que des briques standards pour optimiser la vitesse de pose) et mortier sans intervention humaine. En 2018, il a construit, en intérieur, une maison de 180 m<sup>2</sup> en trois jours. En 2019, les essais de construction étaient faits en extérieur pour valider son usage dans des conditions réelles d'utilisation (vent, chaleur, etc.). Le robot peut poser 1000 briques par heure quand un maçon peut en poser 400 par jour. Ce type de robot vise à complètement remplacer le maçon.

Sam 100 est un robot semi-automatique, développé par la compagnie newyorkaise Construction Robotic et déjà commercialisé depuis 2015. Il vise à aider le maçon et non à le remplacer complètement. Lui utilise des briques conventionnelles mais multiplie par 3 à 5 la productivité du travailleur (2000 à 3000 briques par jour au lieu de 500 pour un maçon classique) et est vendu 500 000 US\$. Le robot prend les briques, applique le mortier et positionne les briques sur le mur mais requiert qu'un ouvrier lisse le mortier le long du mur avant que le robot place une autre brique. Les bénéfices affichés par les concepteurs sont, outre la productivité, de réduire les coûts du travail de 50 % (le robot remplace un maçon sur deux), de réduire le port de charge de 80 % et de réduire les risques professionnels. Ce maçon semi-automatique a déjà été utilisé par plusieurs compagnies<sup>(14)</sup> de construction américaines (parfois en location à 20 000 US\$/mois), il a notamment été utilisé pour construire le *Jay and Susie Gogue Performing Arty Center* à Auburn (Alabama, USA). Pour ce dernier projet, le nombre de maçons a été divisé par trois (4-5 au lieu de 15-20), deux ouvriers mélangeaient le ciment, deux coupaient les briques et les mettaient dans le robot et un ouvrier manœuvrait le robot. Son avantage est double : la productivité et la qualité. En effet, le guidage au laser pour la pose des briques est bien plus précis que ce que peut faire un homme. En revanche, si le travail ne commence pas au sol, dans le cas d'un étage à monter sur une construction existante, l'installation et le réglage du robot peuvent alors prendre plus d'une semaine pour une installation correcte. Compte tenu de la place nécessaire, celui-ci est plus adapté à la construction neuve qu'à la rénovation dans un milieu contraint. Il est à noter que la même compagnie américaine vend aussi pour la construction un robot de levage (MULE, *Material Unit Lift Enhancer*), qui permet de déplacer et de positionner des matériaux lourds sur les sites de construction.



© Gaël Kerbaol - INRS (2020)

Des maçons utilisent un bras manipulateur permettant de transporter des briques.

13. <https://www.futura-sciences.com/maison/actualites/ce-robot-peut-construire-votre-maison-3-jours-73917/> et <https://redshift.autodesk.fr/robot-macon/>

14. The semi-automated Mason 100, Andrew J. Madsen, California Polytechnic State University, San Luis Obispo, 2019. DigitalCommons.Calpoly.Edu

Le robot carreleur ou la machine automatique à carreler existe aussi (société Si2y), elle a gagné le concours Lépine de 2016 (voir photo 1). Son inventeur la commercialise<sup>(15)</sup> (adaptée, évidemment, à de grandes surfaces à carreler) mais peu d'exemples de réalisations sont disponibles.

Les robots de peinture sont utilisés depuis des décennies dans l'industrie automobile. Concernant le secteur du bâtiment, de multiples solutions sont en phase de recherche et de développement : du bras articulé au robot grimpeur et peintre pour les surfaces en hauteur ou le drone, etc. La difficulté dans ce secteur est qu'il est nécessaire de numériser la surface à peindre pour programmer le robot (le BIM sera donc une innovation facilitant cette tâche). L'approvisionnement en peinture pour les drones est également une difficulté. Paco<sup>(16)</sup>, le petit robot de peinture et de ponçage sur roues muni d'un bras articulé (voir photo 2), développé par la start-up Les compagnons avec l'école des Mines de Douai, en partenariat avec Akzo Nobel, était encore à l'état de prototype en 2020. L'idée est de viser les opérations de rénovation en scannant les surfaces à peindre.

L'entreprise Les compagnons produit également des robots d'assistance à la peinture en bâtiment. La société Paintup, quant à elle, a développé une solution robotisée autonome pour nettoyer, décaiper, peindre ou percer des façades d'immeubles jusqu'à 10 étages (voir photo 3).

Enfin, des robots plus généralistes sont proposés par *Robot at work* qui a créé une plateforme robotique modulaire pouvant être utilisée pour automatiser les processus de travail répétitifs et fastidieux, ou encore Toggle qui commercialise un bras robotisé permettant l'assemblage des cages d'armature métallique dans les structures en béton.

15. <http://www.si2y.com/realisations/machine-automatique-a-carreler/>

16. <https://zepros.fr/paco-le-petit-robot-qui-va-donner-un-coup-de-main-aux-peintres--85718>



© M. Zaaboub (2022)

Le robot carreleur de la société Si2y.



© Antoine Rennuit (2022)

Paco, le robot de peinture et de ponçage sur roues.



© Romaric Gomarit (2022)

Un robot d'assistance à la peinture en bâtiment développé par la société Paintup.

### • Les robots de déconstruction

Husqvarna ou Brokk commercialisent une série d'engins de déconstruction télécommandés par l'opérateur à distance. Ces robots sont utilisés pour maintenir l'opérateur à distance du danger d'effondrement ou des projections. Dans ce domaine, il est à noter une société suédoise, Aqua-jet<sup>(17)</sup>, qui commercialise des machines d'hydrodémolition précise évitant les microfissures et les poussières et permettant de ne « démolir que la partie détériorée de grandes constructions en béton (ponts) ».

### • Les exosquelettes

La société allemande Ottobock<sup>(18)</sup> produit et commercialise Paexo, des exosquelettes légers (moins de 2 kg) pour faciliter le travail en hauteur (les bras levés) sur les chantiers. Il cible les plaquistes, les plâtriers et les peintres. Le poids est transféré des bras levés aux hanches en utilisant une technique de traction mécanique par câble. Cet exosquelette est déjà utilisé sur les lignes de montage dans l'industrie automobile (Volkswagen). La même société commercialise aussi un Paexo back pour diminuer les efforts sur le dos plutôt à destination des opérateurs de logistique qui portent des poids de façon répétitive. Il pourrait aussi trouver des applications dans le bâtiment. Bien que relativement onéreux, le prix des exosquelettes restera bien inférieur à celui des machines automatiques.



© Patrick Delapierre pour l'INRS (2017)

*Le développement d'un exosquelette sur mesure a permis à l'entreprise parisienne Stuc & Staff de limiter le risque de TMS sur ses chantiers de rénovation, pour un poste précis : le ponçage de plafonds.*

De nombreuses autres sociétés développent des exosquelettes variés pour réduire les troubles musculosquelettiques et améliorer la productivité des salariés (HTM, Moten, Bioservo, RB3D, COBO4YOU, etc.). Les premiers exosquelettes actifs apparaissent sur le marché. D'autres sociétés développent des solutions plus spécifiques, comme Vizo qui a développé un appui-tête pour les personnes qui travaillent de façon prolongée en regardant vers le haut, Percko qui commercialise des vêtements correcteurs de posture et capteurs de surveillance de ces postures ou Nuada qui propose un gant d'assistance qui permet à l'opérateur de porter jusqu'à 40 kg de charge sans difficulté.

### • Les objets connectés ou IOT<sup>(19)</sup>

Les capteurs et objets connectés (capteurs interconnectés liés à une plateforme de suivi et de gestion) ont l'intérêt d'être beaucoup moins onéreux que toutes les autres innovations proposées dans ce que l'on classe, ici, dans les innovations d'industrialisation sur chantier. Les grandes entreprises qui disposent d'un parc de matériel important développent fortement ces solutions pour limiter les pertes, vols ou dégradations, pour réduire les coûts de maintenance et les risques de défaillance du matériel et surtout pour optimiser la logistique et l'utilisation des équipements.

17. <https://www.aquajet.se/hydrodemolition/>

18. <https://paexo.com/?lang=fr>

19. Internet Of Things.

Parce que ces outils permettent de disposer du bon matériel au bon endroit et au bon moment, ils peuvent avoir un impact positif sur la sécurité des chantiers.

Citons par exemple HeronTrack qui propose une solution permettant de gérer à distance le matériel de chantiers internes et externes, à travers la mise en place d'un tracker et d'une application ; Omniscient, une plateforme qui traite les données de géolocalisation et fournit des indicateurs de performance et de mesure sur des opérations telles que la gestion de parc matériel, les méthodes de production, la sécurité des sites ou la logistique des marchandises ; le fournisseur de matériel BTP De Walt qui lance sa nouvelle version de la solution Tool Connect, permettant aux professionnels intervenant sur un chantier de gérer les options de leurs équipements via leur smartphone et de rendre la localisation du matériel accessible à tous ; enfin, CAD.42 qui a développé un gilet connecté permettant de connaître en temps réel le positionnement des personnes qui le porte.

Un cas spécifique est celui des lunettes connectées. Ellicie Healthy, par exemple, développe des lunettes intelligentes, connectées et aux fonctions évolutives (accéléromètre, capteurs oculaires, etc.). Les lunettes connectées peuvent aussi permettre aux opérateurs de recevoir des instructions à distance, d'accéder à des informations en cours de travail.

#### • L'impression 3D de béton

L'impression 3D de béton pour la construction promet gain de temps dans la fabrication, réduction des déchets et optimisation des matériaux utilisés (puisqu'il s'agit d'une fabrication additive ligne par ligne), plus grande liberté dans les formes et diminution de la pénibilité du travail et des accidents.

En France<sup>(20)</sup>, la première maison réalisée en impression 3D (l'enveloppe uniquement) a été réalisée à Nantes en 2017 par Bouygues Construction en coopération avec des équipes de recherche de l'Université de Nantes. Une maison de 95 m<sup>2</sup> a pris forme en trois jours par le biais du bras articulé d'un robot. Deux parois de polyuréthanes ont été imprimées dans lesquelles du béton a été coulé.

Fin 2020, la première maison en impression 3D a été vendue à Long Island aux États-Unis par SQ4D<sup>(21)</sup>. La maison de 130 m<sup>2</sup> coûte 300 000 US\$, soit 50 % de moins que la construction traditionnelle de la même maison (on estime que le coût d'une maison imprimée est 30 à 55 % moins cher qu'une construction traditionnelle). Néanmoins, l'imprimante utilisée et développée par la société ARCS est énorme puisqu'elle peut imprimer des bâtiments de 46 m<sup>2</sup> à 92 000 m<sup>2</sup>.

Aujourd'hui, on recense plus de 13 fabricants (y compris projets) d'imprimantes 3D pour le bâtiment<sup>(22)</sup> dans le monde, dont deux en France. Souvent, elles « impriment » directement du béton sous forme de pâte extrudée. L'imprimante crée les fondations, les murs et le toit de la construction. Le coût d'un mur en impression 3D serait de 27 US\$ avec l'imprimante 3D Apis Cor contre 75 US\$ avec les méthodes traditionnelles, en plus d'un gain de temps considérable. D'autres exemples peuvent être cités (voir figure n° 1 page 31).

20. <https://www.bouygues-construction.com/innovation/toutes-nos-innovations/limpression-3d-pour-construire-une-maison>

21. <https://www.3dnatives.com/en/sq4d-puts-first-ever-3d-printed-010220215/>

22. <https://www.aniwaa.fr/guide-achat/imprimantes-3d/imprimante-3d-construction-maison/>

 Batiprint3D SHAPING TOMORROW	Batiprint3D a développé un robot industriel de construction utilisant l'impression 3D pour construire des murs, isoler et rénover des façades.
 COBOD	Cobod conçoit des imprimantes robotisées de construction 3D et automatise les processus sur les chantiers de construction.
 XtreeE <sup>®</sup> The large-scale 3D	XtreeE propose un système de conception et impression 3D béton à grande échelle d'éléments architecturaux complexes.
 CyBe	CyBe Construction développe une imprimante 3D de construction. Cette imprimante est composée d'un bras robotique qui dépose du béton couche par couche en 3D.
 MIGHTY BUILDINGS	Mighty Buildings fabrique des maisons individuelles très peu consommatrices d'énergie. L'entreprise utilise une technologie d'imprimante 3D et de robotique, ce qui lui permet d'éliminer 95% des déchets de construction habituels.
 MX3D	MX3D est une entreprise d'impression 3D métal qui utilise le procédé de fabrication additive Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM).

Figure 1 : Exemples de fabricants d'imprimantes 3D pour le bâtiment (source : Observatoire des tendances d'innovation du BTP, p. 27).

Mais l'utilisation de machines d'impression 3D pour le bâtiment coûte cher : de 180 000 € à plus d'un million d'euros. La construction est partielle, il faut toujours installer manuellement, la plomberie, l'électricité, les fenêtres, etc. De plus, la surface extérieure des maisons imprimées n'est pas aussi lisse que celle des maisons traditionnelles. En revanche, comparées aux constructions traditionnelles, elles nécessitent beaucoup moins de main-d'œuvre.

Notons que SPIE Batignolles expérimente aussi l'impression 3D pour produire de petits éléments en béton préfabriqués et assemblés ensuite sur le chantier : des nœuds de poutres et des boîtes de réservations. Ainsi, l'impression 3D peut également être un outil d'industrialisation hors site de construction.

En conclusion, les robots « métier » comme l'impression 3D tendent a priori à diminuer les risques d'accidents du travail et de maladies professionnelles, notamment en réduisant le travail et le nombre de professionnels requis. Les risques nouveaux générés par ces robots sont divers, ils peuvent être liés aux interfaces homme-machine (surcharge mentale liée à la programmation, travail sur écran, isolement éventuel, etc.), mais aussi à l'intensification de la charge physique de l'opérateur, à la réduction de ses marges de manœuvre ou à la répétitivité de ses gestes. S'ajoutent à cela les risques pour les projets liés à une mauvaise utilisation de ces machines. Les exosquelettes, quant à eux, entrent davantage dans le cadre des outils de prévention des risques de troubles musculosquelettiques (TMS), à condition que la charge de travail ne soit pas accrue en raison d'un détournement de ces aides mécaniques à des fins de productivité.

## 4. Des risques toujours présents

### 4.1 Les incertitudes autour de la prévention des TMS dans les nouveaux modes de construction et de rénovation

En matière de prévention des troubles musculo-squelettiques et des lombalgies, les futurs possibles explorés à travers les scénarios portent des espoirs mais aussi des inquiétudes.

#### 4.1.1 Moins de contraintes physiques sur les chantiers neufs ?

Dans la construction neuve, le recours à plus d'industrialisation et de préfabrication peut contribuer à des situations de travail mieux maîtrisées. Dans une usine ou un atelier, il est plus facile de mettre en place des solutions techniques pour mécaniser et automatiser certaines tâches que sur un chantier. Cependant, ces solutions devront bien viser à limiter les contraintes liées aux manutentions de charges lourdes, aux postures inconfortables ou aux gestes répétitifs. Si les objectifs premiers sont, par exemple, d'augmenter le rythme de production ou de limiter le nombre d'opérateurs, il faudra s'assurer que leur mise en œuvre n'a pas pour effet de dégrader les conditions de travail, par exemple en imposant au travailleur d'accélérer son rythme pour s'adapter à celui de la machine ou en limitant la variété de ses tâches, les rendant plus répétitives.

Concernant les phases de chantiers, le développement de la préfabrication devrait conduire à une augmentation du volume et du poids des éléments à assembler sur site et à une réduction de la durée des chantiers. Gageons que cette augmentation sera telle qu'elle impliquera d'avoir nécessairement recours à des moyens de manutention mécaniques adaptés et devrait ainsi réduire les manutentions manuelles. Les phases de finition pourraient, pour leur part, être de plus en plus répétitives et monotones, les intervenants se voyant confier les tâches restantes qui n'auront pas pu être intégrées hors-site.

#### 4.1.2 Plus d'interventions manuelles lors des phases de déconstruction ?

Le développement de l'économie circulaire dans la filière impliquera une augmentation du réemploi et du recyclage. Cela se traduira par une transformation de l'approche des chantiers de déconstruction et de réhabilitation. Là où la démolition permet de soustraire les opérateurs à certains risques, via des moyens mécaniques, les opérations de démontage d'éléments en vue de leur réemploi impliquent plus d'interventions manuelles. Les contraintes sont plus importantes si les bâtiments concernés n'ont pas été construits dans l'optique de pouvoir être démontés de manière soigneuse. Un effort d'innovation en prévention devra donc être réalisé pour limiter les risques associés à ces opérations. Cela peut passer par l'usage d'équipements innovants adaptés à ces tâches. Ici, le recours à des exosquelettes peut s'avérer utile, sous



© Grégoire Maisonneuve pour l'INRS (2019)

*Des ouvriers déposent manuellement un faux plancher en vue de son réemploi pour une nouvelle construction.*

réserve qu'ils soient adaptés à la variété des gestes que doivent accomplir les travailleurs et que ces derniers adoptent ces équipements à l'issue de phases d'expérimentation et de formation qui peuvent nécessiter du temps. Parallèlement, des efforts de conception doivent être accomplis pour améliorer la démontabilité des bâtiments en vue de ces phases ultérieures. Par ailleurs, les solutions de mécanisation du tri des déchets de chantier en vue de leur recyclage devront être privilégiées.

## 4.2 Viser une meilleure prise en compte de la prévention des chutes

La prévention efficace des chutes dans les chantiers de construction et de rénovation passe avant tout par la prise en compte de ce risque le plus en amont possible. La question se pose donc des conditions de cette intégration de la prévention du risque de chute dans les futures modalités d'organisation des chantiers de construction et de rénovation.

### 4.2.1 Des avancées attendues dans la construction neuve

L'évolution des modes de construction attendue dans le neuf devrait permettre une meilleure maîtrise du risque de chutes à travers deux phénomènes. L'usage des outils numériques de planification des chantiers, notamment du BIM, permet d'intégrer les phases d'installation de protections collectives dans la planification des chantiers. Cette possibilité devra être intégrée aux outils BIM et, pourquoi pas, devenir bloquante dans certaines situations afin d'empêcher de planifier des situations de chantier sans protection collective contre les chutes. Par ailleurs, les phases de construction hors-site et modulaires devraient permettre d'éviter certains travaux en hauteur.

Le recours à plus d'industrialisation (éventuellement combinée au BIM) permettra aussi de mieux maîtriser les situations de travail à risque, en intégrant aux modules préfabriqués les protections collectives définitives (garde-corps de balcon, menuiseries), à défaut temporaires (protections provisoires des ouvertures).

Cependant, les acteurs du chantier devront également disposer de solutions leur permettant de gérer les aléas sans s'exposer à ce risque. Même si elles devraient en réduire le nombre, la planification des chantiers via des solutions numériques ne pourra pas empêcher totalement la survenue de situations imprévues. Celles-ci génèrent souvent des expositions aux risques non anticipées propices à la survenue d'accidents. La capacité de gestion de ces aléas dans des contextes de chantiers de plus en plus précisément planifiés, sous contrainte temporelle, sera déterminante dans la gestion du risque de chute.

### 4.2.2 Se donner les moyens de prévenir les chutes sur les chantiers de rénovation

Les conditions économiques d'organisation des opérations de rénovation seront sans doute déterminantes en matière de prévention du risque de chutes. Schématiquement, on peut considérer que plus les marchés seront importants et coordonnés, plus ils permettront une intégration de solutions de prévention, notamment en organisant la mutualisation de moyens de protection collective (échafaudages, plateformes élévatrices, etc.). A contrario, des modèles économiques dispersant les chantiers de rénovation auprès d'une multitude de petites structures et d'indépendants, sans solutions de prévention intégrées par les donneurs d'ordres,

pourraient conduire à des arbitrages défavorables, ces structures ne disposant pas forcément des moyens leur permettant seules de recourir à des solutions satisfaisantes.

### 4.2.3 Nouvelles technologies et prévention des chutes : promesses et interrogations

Certaines innovations technologiques s'avèrent particulièrement intéressantes en matière de prévention des risques de chute de hauteur. C'est notamment le cas lorsqu'elles permettent tout simplement de supprimer le risque en évitant à des opérateurs des accès en hauteur. On pense notamment ici à des drones ou des robots qui peuvent être utilisés, par exemple, pour des opérations d'inspection ou de contrôle en hauteur, voire pour des phases de travail (nettoyage de façades ou épandage de produits anti-mousse sur les toitures par exemple).

En revanche, le recours de plus en plus fréquent à des outils numériques sur les chantiers peut constituer un facteur de risque de chutes (de hauteur mais surtout de plain-pied) en raison de leur caractère distracteur. Smartphones, tablettes, lunettes ou casques connectés, en mobilisant l'attention de l'opérateur, peuvent contribuer à une baisse de sa vigilance par rapport à son environnement, augmentant ainsi les risques de collisions, trébuchements, glissades dans un environnement comprenant de nombreux dangers : trémies, outils, ferrailages, etc.

## 4.3 Le risque chimique à travers l'utilisation des nouveaux matériaux et des plus anciens

À travers les différents scénarios proposés, on voit se dessiner des évolutions possibles des différents métiers qui concourent aux opérations de construction ou de rénovation. Ces évolutions, qui concernent les matériaux, les modes d'organisation de la production en général et de certains travaux en particulier, peuvent aussi avoir une influence sur les expositions professionnelles à des polluants chimiques. On trouvera ci-dessous un récapitulatif de certains risques particuliers et/ou des circonstances qui peuvent favoriser leur développement ou leur maîtrise.

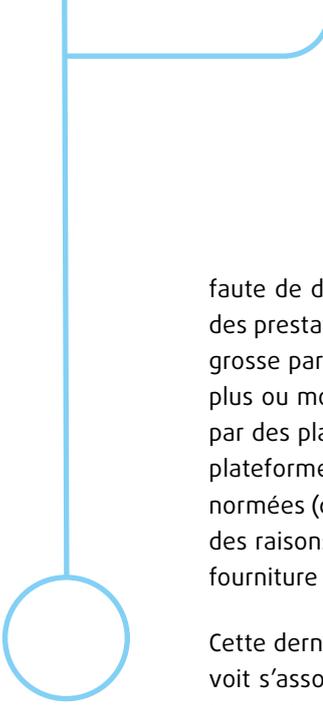
### 4.3.1 Les opérations de rénovation

Elles impliquent souvent la présence de matériaux anciens dont certains sont particulièrement préoccupants (amiante, différents pigments à base de chromates divers, plomb) en termes de santé au travail, que les différents diagnostics avant opérations ne permettent pas toujours de mettre en évidence. On est donc confronté à un risque d'exposition, en particulier dans le scénario 1 où,



© Gaël Kerbaol - INRS (2012)

Un système d'aspiration mobile pour les peintures, sans cabine.



faute de dynamique économique, les entreprises du secteur ne sont pas à même de fournir des prestations de meilleure qualité que celles d'aujourd'hui. Pire, dans certains scénarios, une grosse partie de l'aménagement intérieur est effectuée par des particuliers ou des bricoleurs plus ou moins professionnels (voire des travailleurs illégaux), mis en relation avec les clients par des plateformes d'intermédiation. Cependant, on peut aussi envisager que l'action de ces plateformes soit bénéfique si elles investissent le créneau de fourniture de prestations très normées (dont il est plus facile d'estimer et de facturer le coût), voire si elles investissent, pour des raisons de marketing, dans la prévention des risques professionnels (via, par exemple, la fourniture de perceuses munies d'aspirations).

Cette dernière possibilité est cependant beaucoup plus vraisemblable dans un contexte où on voit s'associer des artisans dans des coopératives ayant pour objectif de gagner en compétence et en qualité de prestations. Elle l'est en revanche beaucoup moins quand la plateformesation de l'activité se fait au détriment des exécutants.

### 4.3.2 La démolition, la déconstruction, la réutilisation, le recyclage

Les opérations de démolition, de déconstruction ou de curage de bâtiments anciens peuvent générer les mêmes risques que ceux décrits dans la partie précédente puisque rien n'a été prévu, lors de la construction, pour les faciliter et les sécuriser : dès lors, des peintures, des mastics, des joints peuvent générer des expositions toxiques pour les travailleurs. Cela est particulièrement vrai quand la logique de réemploi des anciens bâtiments est très présente et quand les travailleurs sont donc plus mobilisés pour que les éléments récupérés le soient dans un bon état : ces travailleurs se trouveront donc probablement plus près des lieux d'émission de pollution. La silice est potentiellement un polluant majeur en cas de démolition.

Sauf exception, la réutilisation d'éléments récupérés ne devrait pas générer d'expositions pourvu que les pollutions éventuelles aient été traitées.

La recherche de meilleurs taux de réemploi et de recyclage devrait conduire au développement d'opérations de dépollution ciblées, par exemple des encadrements de fenêtre en aluminium contenant des joints amiantés devront être dépollués de manière assez fine pour permettre de récupérer le verre et l'aluminium et éviter d'envoyer l'ensemble dans un centre d'enfouissement. Ces opérations qui requièrent des installations et compétences spécifiques pourront être déportées vers des centres de traitement spécialisés, où les opérations pourront être en partie automatisées, ou bien conduites sur site dans des structures provisoires ou mobiles afin de réduire les coûts de transport de volumes importants de matériaux pollués.

Les opérations de recyclage pour utilisation sur de nouveaux chantiers, telles que celles du béton, se multiplieront dans tous les scénarios. Pour que ces expositions (silice en particulier) puissent être bien gérées, il faudra qu'une vraie culture de l'économie circulaire se développe, partagée par tous les acteurs : ce sont donc des expositions à surveiller de près si tel n'est pas le cas.

### 4.3.3 Les « nouveaux » matériaux

La recherche a déjà permis de mettre sur le marché de nouveaux matériaux d'origine industrielle tels que les nanomatériaux ou des bétons autoréparants. Des travaux sont actuellement consacrés à la création de matériaux composites à haute performance et recyclables : il s'agit là d'une voie d'avenir.

Les propriétés toxicologiques des nanomatériaux sont encore mal connues, mais les premiers résultats incitent à la prudence : c'est par exemple le cas du dioxyde de titane considéré comme un produit sans risque particulier il y a quelques dizaines d'années et dont l'étude des formes nanométriques a abouti à un classement en tant que substance cancérigène. Les premières études consacrées au cycle de vie du dioxyde de titane montrent que la prévention peut être organisée de façon très efficace au moment de sa fabrication et de ses premières utilisations, mais qu'elle devient beaucoup plus difficile dans les étapes ultérieures quand la taille et les moyens des entreprises qui le mettent en œuvre diminuent. On peut aussi se poser la question de la dissémination dans l'air ambiant (certes en petites quantités) lors des usages finaux ou des opérations de déconstruction ou de démolition.

Pour ce qui concerne les matériaux composites à haute performance et recyclables, une attention particulière devra être portée aux opérations de recyclage : même s'il s'agit de secteurs très différents (piles et accumulateurs, déchets de plomb, déchets plastiques), l'expérience montre que l'hétérogénéité des matériaux pose souvent des problèmes de processus, susceptibles de générer des expositions professionnelles. De même, les matériaux ne peuvent généralement supporter des recyclages que pour un nombre fini de cycles : il s'agit là d'un autre point de vigilance.

Un développement significatif de l'utilisation des matériaux biosourcés dans les années à venir fait partie des hypothèses vraisemblables. Si les conditions climatiques régnant en France ne font pas craindre a priori des développements de mycotoxines, l'humidité peut générer des endotoxines avec un risque pour les travailleurs au moment d'opérations de déconstruction. Il conviendra aussi d'accorder une attention particulière aux résines utilisées pour assurer la cohésion de ces matériaux biosourcés, quand bien même elles seraient elles-mêmes biosourcées (amines, epoxy, etc.).

#### 4.3.4 L'industrialisation et la construction hors-site

Le groupe de travail estime que la fabrication hors-site d'éléments qui seront ensuite montés sur les chantiers est, a priori, un progrès en matière de santé et de sécurité au travail. Une réflexion poussée sur les questions de conception permettant d'assurer des opérations de maintenance et de nettoyage dans de bonnes conditions est indispensable afin d'éviter des expositions potentiellement élevées, par exemple à la silice ou à des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP). Ainsi, un dispositif d'aspiration des polluants sera vraisemblablement plus performant et plus facile à mettre en place s'il a été pensé lors de la phase de conception plutôt que s'il est conçu plus tard.

### 4.4 L'émergence des risques psychosociaux dans des métiers jusqu'ici relativement préservés

Si les données issues de l'enquête Sumer tendent à montrer que les salariés de la construction seraient moins exposés aux risques psychosociaux<sup>(23)</sup>, certains indices laissent penser qu'ils auront de plus en plus de mal à y échapper à l'avenir, pour plusieurs raisons.

23. « Les expositions aux risques professionnels par secteur d'activité », *Synthèse Stat'*, n° 35, septembre 2020, p. 93-98.

#### 4.4.1 La numérisation

La numérisation du secteur devrait permettre de mieux anticiper les différentes situations de travail et, si une analyse des risques est faite a priori, les aléas et les situations à risques devraient diminuer. Une bonne anticipation devrait donc être bénéfique tant pour diminuer les RPS que pour améliorer les situations de travail. Cependant, certaines fonctionnalités offertes par le numérique pourraient anéantir ces bénéfices attendus, par exemple, si la maîtrise d'ouvrage s'autorise à changer les plans jusqu'au dernier moment, arguant que la numérisation permet une flexibilité de dernière minute.

Les chantiers sont de plus en plus préparés en amont avec des outils numériques et une distribution très précise des tâches entre opérateurs, ces derniers étant éventuellement porteurs d'équipements connectés. Dans un tel schéma, tout serait de plus en plus prescrit et le travailleur disposerait sans doute de moins en moins de marges de manœuvre pour réaliser ce qui fait le sel de son métier : gérer les aléas sur le chantier grâce à son savoir-faire. Il est possible que cette numérisation empêche ou entrave les rattrapages des aléas par les compagnons expérimentés.

Des difficultés relationnelles entre générations pourraient également se développer dans le secteur en raison de l'évolution des relations maître – apprenti et de la numérisation croissante de certains métiers (essor de la domotique, par exemple) qui pourrait poser des problèmes aux compagnons les plus anciens. L'apport de l'expérience des plus anciens aux plus jeunes pourrait être moins valorisé, d'autant plus que la pression sur les délais de construction devrait encore s'accroître en même temps que les marges de manœuvre des opérateurs se réduire.

#### 4.4.2 L'industrialisation et la préfabrication

Outre l'appauvrissement des tâches qui pourrait réduire l'intérêt du travail pour les travailleurs les plus expérimentés, l'assemblage de modules préfabriqués sur les chantiers nécessite moins de personnel et peut conduire à davantage de situations d'isolement des compagnons sur le chantier. L'industrialisation peut également conduire à une intensification du travail des ouvriers sur les sites de production, sans leur apporter le sens du travail que donne la vision de l'avancement d'un chantier.

#### 4.4.3 L'économie circulaire

Le développement de l'économie circulaire dans le secteur de la construction est potentiellement porteur de sens pour les travailleurs du bâtiment. Il peut également être un facteur d'attractivité pour des travailleurs venant d'autres domaines. Cependant, une trop forte pression mise sur cette mutation peut avoir des effets pervers sur la santé mentale des travailleurs, notamment s'ils ne disposent pas des moyens permettant de réaliser un travail de qualité au regard des objectifs environnementaux affichés.

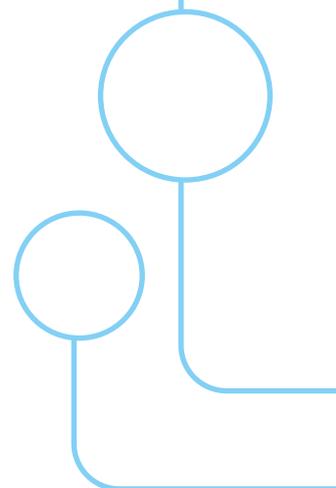
#### 4.4.4 La plateformes

La potentielle plateformes du secteur n'est pas neutre en termes de RPS (voir le chapitre 3.1.2 page 14).

#### 4.4.5 Une plus grande exposition aux violences externes

Jusqu'à présent relativement préservés dans leur relation avec le public, les travailleurs de la construction pourraient être de plus en plus souvent confrontés à des risques de violences externes. C'est notamment le cas dans les situations de chantiers de rénovation en sites occupés, par exemple un parc de logement social où généralement l'occupant du logement n'est pas le donneur d'ordres de l'entreprise et ne partage pas forcément les finalités du chantier (lui-même pouvant estimer que les priorités sont autres). L'entreprise peut alors se retrouver confrontée à des incivilités voire à des agressions, sans avoir les solutions en main pour répondre aux interlocuteurs, si ce n'est l'embauche de médiateurs pour gérer la relation tripartite entre le donneur d'ordres, l'entreprise et les occupants du bâtiment. Cette dimension, qui relevait historiquement des bailleurs sociaux, est de plus en plus souvent déléguée à des entreprises de construction dans le cadre de marchés importants. De plus, ces questions peuvent également concerner des copropriétés classiques.

Il peut aussi s'agir du développement de phénomènes de délinquance de type vols d'équipements ou de matériaux sur les chantiers face auxquels il est tentant d'équiper les chantiers de dispositifs de sûreté potentiellement utilisables pour surveiller les travailleurs (vidéo surveillance).



## 5. Focus sur des enjeux transverses

La dernière partie de cet exercice a été consacrée à l'exploration d'enjeux transverses qui apparaissent comme particulièrement déterminants en matière de conditions de travail et de sécurité aussi bien pour les acteurs de la construction que pour les futurs intervenants et usagers professionnels des bâtiments. Trois enjeux ont été retenus par le groupe de travail : la question de la coordination entre les acteurs, celle de la prise en compte des interventions ultérieures sur les bâtiments et celle de la réaffectation de bâtiments à de nouveaux usages professionnels. Aucun de ces enjeux n'est nouveau, leur caractère déterminant en termes de prévention est reconnu depuis longtemps mais les évolutions à venir, mises en évidence au cours de l'exercice, justifient qu'une attention particulière leur soit portée, de nombreux facteurs pouvant contribuer à accroître encore leur criticité dans le futur.

L'approche retenue ici a consisté à s'interroger pour chacun d'entre eux sur les évolutions potentiellement positives ou négatives en termes de prévention, induites par chacun des scénarios. Les résultats de ces questionnements sont présentés, pour chacun des trois enjeux, sous forme de tableaux visant à ouvrir des champs de réflexion et de discussion.

### 5.1 La question de la coordination entre les acteurs de la filière

Il s'agit ici d'imaginer les impacts possibles sur les conditions de travail (notamment sur les chantiers) de la qualité de la coordination et de la circulation d'information entre les différents acteurs : maîtrise d'œuvre, maîtrise d'ouvrage, sous-traitants, etc., sans se limiter à la seule question de la coordination SPS telle qu'elle existe aujourd'hui.



© Eric Franceschi pour l'INRS (2012)

*Une zone de préfabrication de gradins dans le chantier de construction du Stade de Nice où interviennent en même temps différents acteurs.*

N.B. : Dans le tableau présenté page 41, il est fait appel à deux notions différenciées :

- **la coordination organisationnelle (ou générale)** : elle correspond, par exemple, à une mission de pilotage ou d'OPC (ordonnancement, pilotage, coordination), confiée par le maître d'ouvrage (MOA) à un coordinateur - OPC (souvent rattaché à la maîtrise d'œuvre) ;
- **la coordination sécurité et protection de la santé (CSPS)** : il s'agit d'une mission spécifique de prévention (prévention de la co-activité et organisation de la mise en commun de moyens), confiée par le MOA à un coordonnateur SPS.

## SYNTHÈSE

Il ressort des éléments compilés dans le tableau présenté page 41 que la qualité de la coordination sera fortement dépendante du contexte économique et réglementaire dans lequel s'inscriront les chantiers. Selon les cas, la coordination pourra être perçue comme coûteuse et peu utile. Dans d'autres, elle pourra s'inscrire dans une démarche de coordination globale visant à garantir la qualité des ouvrages et l'atteinte des objectifs environnementaux. Des écarts de plus en plus importants pourraient être observés entre les grands chantiers et les petits.

Par ailleurs, le métier de coordinateur semble destiné à connaître à l'avenir des évolutions importantes dont le périmètre n'est pas encore précisément déterminé. La numérisation et le recours aux technologies peuvent transformer les pratiques. La communication via un BIM très interopérable et intégrant pleinement les questions de santé et de sécurité au travail est déterminante. Une part de l'activité de coordination SPS pourrait être dématérialisée et intégrée aux outils BIM en amont, dès les phases de conception et de planification. La pratique de la visite de chantier pourrait aussi évoluer en mobilisant des outils de « visiovisite » à distance ou des drones d'inspection ne nécessitant plus la présence du CSPS sur site.

D'autres dimensions peuvent générer des mutations du métier et des compétences nécessaires pour l'exercer. Le report d'une part du travail (et des risques) vers l'usine pourrait impliquer que le CSPS doive s'y intéresser car l'activité hors-site peut aussi avoir des incidences sur les risques sur le chantier. Une actualisation régulière des compétences tenant compte de l'évolution des matériaux mis en œuvre (nouveaux composants) et des modes d'intervention (déconstruction, réemploi, robotique) est également à anticiper.

Scénarios	Possibles opportunités pour la prévention	Possibles freins à la prévention
<p><b>Difficile de tout faire</b></p> <p><b>Acteurs clés de la prévention : maîtrise d'ouvrage pour les grands chantiers institutionnels, maîtrise d'œuvre pour les autres.</b></p>	<p>Les maîtres d'ouvrage (MOA) restent contraints par les enjeux, notamment celui de la maîtrise des coûts et des délais.</p> <p>Certains MOA, notamment institutionnels, de premier plan* ont cependant pris conscience de l'importance des missions de coordination (OPC et SPS) et acceptent de leur donner un rôle sur l'opération, tout en restant vigilant sur l'incidence. Ils jouent donc le jeu et intègrent les principales préconisations de prévention surtout pour les aspects de maintenance (intervention ultérieure sur l'ouvrage, IUO).</p> <p>*Tels des bailleurs sociaux et promoteurs d'habitat social, ainsi que des promoteurs immobiliers nationaux qui serrent les coûts, mais qui ont dû intégrer les recommandations des organismes de prévention dont le respect est de plus en plus souvent imposé dans les marchés.</p>	<p>Les intérêts contradictoires des acteurs peuvent conduire à des situations à risque.</p> <p>Certains MOA continuent de négliger les missions de coordination organisationnelle et SPS sur leurs opérations, pensant réaliser une économie financière. Les missions continuent à être sous-évaluées (concurrence), et seuls les majors (acteurs nationaux) s'en sortent :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- coordination organisationnelle : les maîtres d'ouvrage étant contraints, ils organisent peu la coordination (mission de pilotage - OPC), soit en laissant l'équipe de maîtrise d'œuvre s'en charger (cas des lots séparés), soit en choisissant des entreprises générales qui en ont la culture ; l'absence de coordination conduit à accentuer les risques sur chantier ;</li> <li>- coordination SPS : les missions restent sous-évaluées, les majors dominent le marché mais réalisent des missions <i>a minima</i>. Des coordonnateurs indépendants s'en sortent en se plaçant sur des marchés de niches avec des donneurs d'ordres convaincus par une démarche pro-active en matière de prévention.</li> </ul> <p>Le recrutement de coordonnateurs SPS reste difficile. On assiste à un appauvrissement des compétences.</p> <p>Dans le cadre des travaux pour les particuliers (dont la construction de maisons individuelles et les petites rénovations, notamment intérieures), les missions de coordination ne sont toujours pas réalisées (pas d'obligation, chantiers éphémères, intérêt non perçu et non expliqué au client). La prévention des risques en pâtit ; la sinistralité sur les chantiers reste forte malgré l'implication des acteurs de la prévention.</p>
<p><b>Les compagnons du durable</b></p> <p><b>Acteurs clés de la prévention : grandes entreprises et coopératives d'artisans.</b></p>	<p>Une bonne communication et des rapports équilibrés entre les acteurs permettent de tenir compte des contraintes de chacun et de mutualiser des moyens de prévention.</p> <p>Le sursaut en matière de rénovation énergétique par des acteurs engagés, entraîne une prise de conscience de leur responsabilité sociétale. La prévention des risques professionnels devient donc également une préoccupation des acteurs de la construction.</p> <p>Pour la maîtrise d'ouvrage, la coordination organisationnelle des travaux devient une pratique courante, car elle permet d'intégrer le développement durable (gestion, entretien, recyclage) dans une vision globale.</p> <p>Le bâtiment apparaît comme une filière d'avenir. Les métiers de coordinateurs (OPC et SPS) retrouvent leurs lettres de noblesse, et l'on peut assister à des spécialisations de coordinateurs dans les nouveaux modes de construction : matériaux nouveaux, biosourcés, recyclage/réemploi (récupération et remise en œuvre), construction bois, etc. Compte tenu de l'accroissement des spécialités du bâtiment, cette mission devient plus complète et dédiée.</p> <p>Même sur les opérations des particuliers, la coordination de la sécurité trouve sa place, car elle est intégrée à celle visant plus largement l'atteinte des objectifs techniques et environnementaux.</p>	<p>Ce scénario donne une place importante aux très petites entreprises artisanales dont on sait qu'elles disposent de moins de moyens pour mettre en place des stratégies de prévention structurées.</p> <p>Une focalisation de chacun sur son cœur de métier et son savoir-faire peut provoquer des problèmes dans la co-activité.</p> <p>En matière de coordination, la spécialisation fait perdre une vue d'ensemble. Le principe du « chacun dans sa spécialité » entraîne l'absence de coordination entre les différents acteurs.</p>



Scénarios	Possibles opportunités pour la prévention	Possibles freins à la prévention
<p><b>Industrialisation et économie circulaire</b></p> <p><b>Acteurs clés de la prévention : les fabricants industriels et assembleurs d'assemblage sur chantier (nouveau métier ?)</b></p>	<p>Une bonne préparation et planification des opérations peuvent permettre une réduction de la durée des chantiers et des aléas.</p> <p>L'industrialisation du bâtiment neuf se développant, les missions de coordination organisationnelle sur chantier se développent, avec une tendance à la spécialisation, susceptible de limiter (par effet induit) la co-activité sur chantier pour faciliter son avancement. Cette mission devient récurrente, à défaut d'être réglementaire (réglementée). Développement d'une spécialité de coordinateur SPS d'assemblage sur chantier.</p> <p>Les maîtres d'ouvrage s'entourent de coordinateurs (piloteage OPC) compétents et performants. Ceux-ci confortent leur présence auprès des MOA, grâce à l'industrialisation des procédés auxquels ils collaborent, remplaçant des missions de CSPS par des missions de contrôleurs techniques de procédés de fabrication (nouveau métier ?) ou d'expertise technique sur les chantiers de rénovation-démolition-recyclage que leurs MOA leur confient. Ils enrichissent aussi leurs compétences en matière de prévention au bénéfice des projets qu'ils suivent.</p> <p>Les opérations privées pour du neuf se développent en entreprise générale pour englober même les phases de déconstruction-démolition (économie circulaire) jusqu'aux travaux de finition (voire de mise en service et de maintenance) car ces entreprises offrent la garantie d'une coordination maîtrisée.</p> <p>Dans les marchés publics, l'allotissement étant de mise, les MOA institutionnels de premier plan jouent la carte d'une coordination générale (organisationnelle) efficace pour garantir les engagements pris en matière d'objectifs environnementaux et, en parallèle, d'une coordination SPS compétente en faisant confiance aux majors.</p>	<p>Si la coordination des acteurs se fonde uniquement sur des objectifs de circularité, cela peut accroître l'exposition à certains risques.</p> <p>Cette mission de coordination organisationnelle trop spécialisée se focalise sur les gains de délais et de moyens techniques (coûts, objectifs de circularité, enjeux énergétiques) au détriment de la prévention des risques.</p> <p>Contrairement à la coordination organisationnelle, la mission de coordination SPS n'a plus de valeur ajoutée réelle sur le terrain, car les chantiers ne sont finalement plus aussi complexes qu'avant.</p> <p>La complexité de la construction, qui générerait de la co-activité sur le chantier et des risques, est reportée dans l'usine de préfabrication et/ou gérée dans les outils numériques de conception et planification. En conséquence, les sites de production voient leur sinistralité augmenter. Les coordonnateurs SPS perdent de leurs compétences ; les indépendants diversifient leurs missions et seuls les majors conservent la CSPS.</p> <p>Les opérations privées pour du neuf ont recours à un CSPS compétent (car obligation réglementaire) missionné par le MOA à un coût (très) maîtrisé, mais dont le rôle reste secondaire compte tenu des compétences de l'entreprise générale qui intègre des missions généralement dévolues à la CSPS.</p> <p>Pour les autres MOA publics (collectivités moyennes ou petites, par exemple), les missions de CSPS sont peu utiles car l'enjeu de la coordination reste général et technique.</p>
<p><b>Le bâtiment plateformisé</b></p> <p><b>Acteurs clés de la prévention : la plateforme et des indépendants spécialisés.</b></p>	<p>L'activité étant fortement portée via des outils numériques, la coordination organisationnelle, lorsqu'elle est mise en place, n'échappe pas au numérique : les visites de chantiers se font par drone ou par visio (caméra piéton), pour générer un minimum de déplacements.</p> <p>La coordination SPS s'oriente de même pour rester sur le marché. On voit l'émergence de missions CSPS conduites à distance, avec des interventions réalisées par des « Uber-coordonneurs SPS » indépendants. Les rapports du registre-journal s'appuient sur des images et des films captés à distance. La réglementation CSPS évolue pour cela.</p>	<p>Les acteurs en aval subissent les contraintes imposées par les plateformes focalisées sur la satisfaction du client.</p> <p>Dans un monde où de nouveaux acteurs des services immobiliers interviennent, la coordination organisationnelle ne trouve pas sa place, car elle est peu visible en termes d'apport au projet. Son absence n'est détectée qu'une fois l'opération lancée (trop tard).</p> <p>À plus long terme, ce défaut est identifié, et enfin compensé par les opérateurs qui le proposent pour s'épargner les contentieux qui naissent de cette absence de coordination organisationnelle.</p> <p>La coordination SPS subit la loi du marché ; les missions de coordination SPS sont intégrées aux prestations de construction de bâtiment (par obligation réglementaire). Les CSPS interviennent peu à la conception, car les produits sont standardisés, et leurs prestations sont sans valeur ajoutée. Leur intervention lors de la construction est également limitée car les coûts restent tirés.</p>

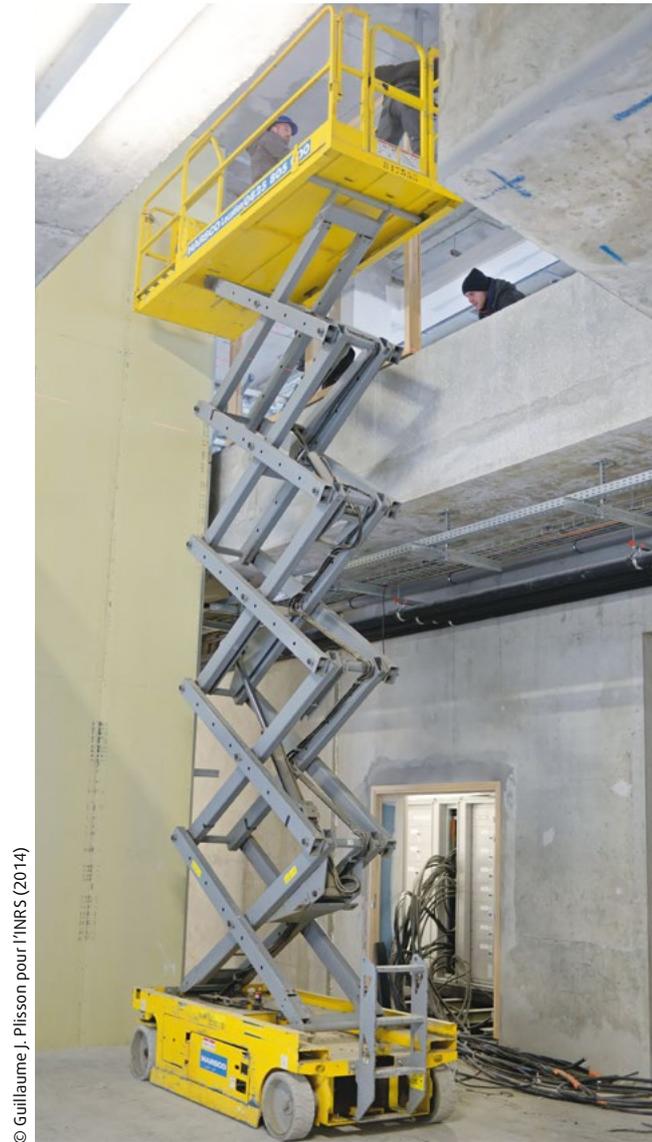
## 5.2 La prise en compte des interventions ultérieures

Il s'agit ici d'imaginer les impacts possibles sur les conditions de travail des futurs intervenants sur les bâtiments, qu'il s'agisse d'opérations d'entretien, de maintenance ou de nettoyage. Cela concerne aussi bien le neuf que l'ancien sur lequel sont conduites des opérations de rénovation.

### SYNTHÈSE

Sur cette thématique également, le contexte économique et la qualité de la communication entre les acteurs de la filière seront déterminants. Une des voies d'amélioration est celle de la normalisation pour intégrer dès la phase de construction ou d'assemblage les règles techniques qui faciliteront l'entretien et la déconstruction des éléments.

Sur cet aspect, les modèles de « servicialisation » des bâtiments (*building as a service*) peuvent permettre des progrès, notamment si le MOA reste propriétaire et gestionnaire du bâtiment dans la durée. Il aura alors naturellement tendance à intégrer ces questions dans sa conception pour maîtriser par la suite ses coûts d'exploitation. En revanche, si les phases d'entretien et de maintenance sont considérées comme accessoires car destinées à être sous-traitées à des prestataires extérieurs, le risque est de ne pas les voir prises en considération en amont.

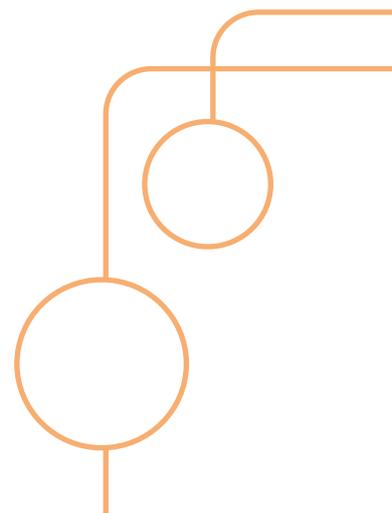


© Guillaume J. Plisson pour l'INRS (2014)

Une nacelle accordéon utilisée sur un chantier de rénovation de bâtiments.

Scénarios	Possibles opportunités pour la prévention	Possibles freins à la prévention
Difficile de tout faire	Le fait que les majors poussent à la technicisation des procédés constructifs, notamment à cause du manque de main-d'œuvre, peut permettre que la capacité à effectuer les opérations de maintenance et de nettoyage soit prise en compte dès la conception.	Si la communication et la traçabilité ne sont pas bonnes, chaque intervention ultérieure peut donner lieu à de mauvaises surprises. Par exemple, dans une opération d'isolation d'un bâtiment, si une entreprise recouvre de l'amiante, il ne faudra pas perdre l'information sur cette présence.  Les enjeux à court terme de la MOA engendrent un processus de conception contraint dans le temps qui pourrait se traduire par des phases d'étude et de programmation raccourcies. Ceci pourrait déboucher sur des situations où la MOE dispose de peu d'éléments sur les activités futures et pourrait oublier d'anticiper la réalisation de certaines activités, notamment les opérations de maintenance, de nettoyage et de rénovation.

Scénarios	Possibles opportunités pour la prévention	Possibles freins à la prévention
<b>Les compagnons du durable</b>	<p>La logique de reconstruction écologique et de durabilité des ouvrages qui prévaut est un contexte favorable pour que l'ensemble des opérations (de la conception à la « fin de vie avant rénovation ») soient prises en compte en permanence : c'est un scénario favorable pour les opérations d'entretien et de maintenance.</p> <p>La proximité entre la maîtrise d'ouvrage et les entreprises incite à une bonne prise en compte de ces enjeux, notamment pour préserver une relation commerciale de qualité et la réputation des entreprises. Le volontarisme politique est également un élément de contexte favorable.</p>	<p>Dans ce scénario, c'est la rénovation qui domine. La prise en compte des opérations ultérieures pourrait être moins forte dans ces chantiers de rénovation qu'elle ne l'est actuellement dans le neuf.</p>
<b>Industrialisation et économie circulaire</b>	<p>Les composants préfabriqués, s'ils sont facilement démontables, peuvent rendre les opérations de maintenance plus sûres.</p> <p>L'industrialisation est une bonne opportunité pour faire prendre en compte les contraintes liées à la réalisation des opérations d'entretien et de maintenance dans de bonnes conditions.</p> <p>Il en va de même pour la part croissante du neuf dans le marché, ainsi que pour la volonté de circularité : si on met en œuvre de bonnes conditions pour la déconstruction, on peut faire la même chose pour l'entretien et la maintenance.</p>	<p>A contrario, s'ils sont très imposants et n'intègrent pas ces enjeux (car les priorités sont uniquement de baisser les coûts de fabrication et le bilan carbone), les programmes peuvent rendre ces opérations intérieures plus délicates.</p> <p>La déconstruction-reconstruction augmente. La reconstruction sera peut-être plus sûre mais les risques pourraient être présents sur la phase de déconstruction, surtout si les circuits de réemploi et de recyclage ne trouvent pas de modèle économique rentable permettant une vraie montée en compétences et en qualité des opérateurs.</p>
<b>Le bâtiment plateformisé</b>	<p>Si le modèle économique évolue vers de la location (<i>building as a service</i>), les investisseurs ont intérêt à bien intégrer ces enjeux dans leurs programmes car ils resteront propriétaires des bâtiments et en assumeront la gestion dans la durée.</p> <p>La logique selon laquelle les bâtiments doivent être adaptables en permanence est favorable à ce que les opérations d'entretien et de maintenance aient été correctement prévues en amont.</p>	<p>Si les interventions ultérieures sont confiées à des indépendants via des plateformes, ce n'est pas favorable à la prévention.</p> <p>L'indication que les entreprises sont en concurrence permanente n'est pas non plus très favorable à la prévention des risques professionnels.</p>



## 5.3 La réaffectation de bâtiments à de nouveaux usages professionnels

Il s'agit ici d'imaginer les impacts possibles sur les conditions de travail (notamment des futurs utilisateurs) des opérations de réemploi de bâtiments existants pour y installer des activités nouvelles. Il peut s'agir, par exemple, d'anciens ateliers industriels transformés en bureaux, ou de l'utilisation comme entrepôt logistique de bâtiments qui n'ont pas été conçus pour (des parkings, par exemple) ou de tiers-lieux où peuvent cohabiter plusieurs activités (coworking, fablab, ressourcerie, etc.).

### SYNTHÈSE

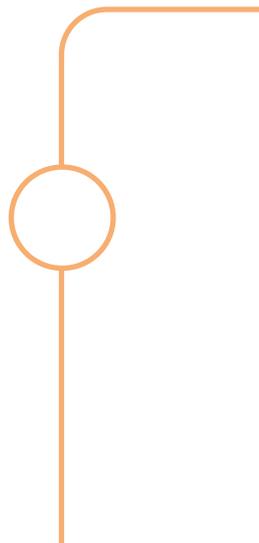
Dans ces situations de réaffectation de bâtiments à de nouveaux usages, comme dans tout projet de conception, les motivations seront déterminantes pour la future qualité d'usage. Selon les situations, l'objectif principal peut être :

- économique : disposer rapidement d'un lieu bien situé par exemple ;
- esthétique : donner une seconde vie à un bâtiment dont la valeur esthétique est reconnue ;
- écologique : limiter l'artificialisation et consommer moins de ressources que pour une construction neuve ;
- urbanistique : trouver un nouvel usage à un bâtiment délaissé.

L'avantage de ces démarches est que le bâtiment existant doit permettre d'estimer à l'avance la pertinence de l'adéquation du bâti à l'activité qui est destinée à y être réalisée. L'inconvénient est que les marges de manœuvre peuvent être réduites pour y parvenir. Les caractéristiques du bâtiment peuvent contrarier l'atteinte d'objectifs essentiels en matière de conditions de travail : ventilation, lumière naturelle, gestion des flux de circulation, etc.

Scénarios	Possibles opportunités pour la prévention	Possibles freins à la prévention
<b>Difficile de tout faire</b>	<p>La lenteur de la rénovation favorise la stabilité qui peut être favorable aux personnes qui se sentent bien à un endroit donné et ne désirent pas changer souvent de lieu ou de situation de travail.</p> <p>Si les matériaux en place sont sains, il n'y aura pas d'exposition à de nouveaux polluants type formaldéhyde ou matériaux comportant des nanomatériaux, etc.</p>	<p>Le manque de coordination renforce les conflits entre enjeux esthétiques (l'architecte veut un projet qui a du cachet), enjeux économiques (le logisticien veut des mètres carrés pas chers en centre-ville) et enjeux de conditions de travail (le salarié aimerait bien avoir un peu de lumière naturelle quand même).</p> <p>Les solutions d'améliorations des conditions de travail restent éphémères et fragiles. Toute nouvelle initiative d'amélioration va avoir des effets souvent délétères sur les initiatives précédentes vu le manque de coordination et d'anticipation.</p> <p>Le contexte « <i>d'obsolescence d'une partie du parc de bâtiment</i> » et dans lequel « <i>la rénovation porte davantage sur l'aménagement intérieur que sur le gros œuvre</i> » engendre des rénovations légères qui ne permettent pas de répondre suffisamment aux exigences techniques des changements d'affectation. Par exemple, des dispositifs acoustiques et thermiques en cas de transformation d'ateliers en bureaux ou l'accès à la lumière naturelle nécessitant des travaux de gros œuvre dans le cas d'une transformation de logements en bureaux. Cela a des conséquences sur les conditions de travail des futurs utilisateurs.</p>

Scénarios	Possibles opportunités pour la prévention	Possibles freins à la prévention
<b>Les compagnons du durable</b>	<p>Dans ce scénario, la maîtrise d'ouvrage arrive à assurer une vision à long terme et par là même globale (y compris la MOA occasionnelle qui se fait accompagner).</p> <p>Une attention particulière est portée à l'adaptation du bâtiment aux besoins de futurs occupants. La créativité et les initiatives laissées aux TPE conduisent à la mise en œuvre de solutions de rénovations adaptées aux spécificités des lieux. Le réemploi et la valorisation des matériaux en place limitent les déchets et l'apport de nouveaux matériaux. Grâce à l'expertise accrue de la MOA, les solutions d'amélioration des conditions de travail (acoustique, ventilation, éclairage naturel, etc.) s'intègrent de manière simple et harmonieuse dans le bâti existant.</p>	<p>L'accent est mis sur la frugalité du projet au détriment d'aménagements permettant de meilleures conditions de travail.</p> <p>La forte part de rénovation par rapport au neuf peut réduire les marges de manœuvre pour adapter le bâtiment aux futurs usages.</p> <p>L'importance prise par les aspects techniques (réemploi de matériaux, exigences de performance énergétique, etc.) risque d'occulter la question de l'usage et de l'adéquation entre aménagements et nouvelles activités.</p>
<b>Industrialisation et économie circulaire</b>	<p>L'industrialisation permet de réduire les risques sur les chantiers, car les produits sont conçus selon des standards qui intègrent la prévention (suppression des risques liés aux chutes, amélioration des conditions de manutention, etc.).</p> <p>Les futurs utilisateurs sont moins touchés par un chantier de rénovation ou d'extension, car celui-ci dure moins longtemps et est mieux appréhendé en termes de prévention des risques.</p>	<p>La rénovation lourde ou le réemploi des matériaux, dès lors qu'il y a présence de produits cancérigènes, mutagènes et reprotoxiques (CMR) tels que l'amiante, le plomb, la silice, etc., a des conséquences négatives sur les conditions de travail des salariés du chantier mais aussi sur les futurs utilisateurs si les travaux ne sont pas réalisés dans les règles de l'art. Le confinement des zones de travail (dépollution) reste un impératif pour éviter la dispersion des polluants.</p>
<b>Le bâtiment plateformisé</b>	<p>La réhabilitation est réalisée par des investisseurs à des fins de location, cela peut inciter à intégrer une modularité qui permette d'adapter l'aménagement aux besoins des occupants.</p> <p>La très grande modularité des bâtiments permet l'adaptation des espaces à des configurations et des usages très différents. Les critères de base (éclairage, acoustique, chauffage, vue sur l'extérieur, éclairage artificiel, etc.) seront systématiquement respectés mais souvent à minima.</p>	<p>Dans le cas de schémas de location <i>low cost</i> et pour des durées courtes, ce sera aux locataires de s'adapter au bâti ou de le quitter. Des temps d'occupation courts peuvent conduire à des compromis sur le confort d'usage.</p> <p>La standardisation à outrance conduit à une répétitivité lassante des espaces de vie et de travail.</p> <p>Les besoins spécifiques liés à une activité particulière risquent de ne pas être pris en compte, arguant que la polyvalence des lieux exempte le concepteur de les adapter aux usages.</p>



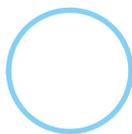


## Conclusion

Cet exercice de prospective est le fruit d'un double travail collectif qui a été conduit de 2019 à 2022. Dans un premier temps, le CSTB et l'Ademe ont constitué et animé un groupe de 17 personnes pour produire la boîte à outils « Imaginons ensemble les bâtiments de demain ». Dans un second temps, l'INRS a fait de même avec un groupe de 12 personnes qui s'est emparé de cette matière pour explorer plus précisément les enjeux de santé et de sécurité au travail. Nous tenons ici à remercier tous les contributeurs de cette démarche.

Comme toujours en prospective et en particulier dans ce document, l'objectif n'est pas de « dire l'avenir » mais plutôt de proposer des récits permettant de s'y projeter et de mettre en évidence des enjeux afin de susciter la réflexion et le débat. Sa destination est donc également collective : il s'agit que les acteurs s'en emparent pour nourrir leurs questionnements stratégiques. Son objectif sera atteint s'il permet, notamment, d'améliorer la prise en compte des préoccupations des uns par les autres.

L'ampleur des mutations à venir dans la filière du bâtiment et la diversité des forces qui les génèrent imposent plus que jamais un dialogue entre acteurs pour éviter que les priorités des uns engendrent des contraintes préjudiciables aux autres, et notamment qu'elles aient des conséquences sur la santé des opérateurs. Numérisation, transition écologique, industrialisation : chacun de ces phénomènes porte des opportunités d'amélioration des conditions de travail. Pour concrétiser cet espoir, il importe que ces aspects soient présents à l'esprit de tous les acteurs de la filière lorsqu'ils prennent des décisions qui peuvent, directement ou indirectement, à court ou à long terme, avoir un impact sur la santé et la sécurité des travailleurs.



# Annexe méthodologique

## 1. Variables-clés, résumés et hypothèses<sup>(24)</sup>

### • Occupation des bâtiments non résidentiels

#### Résumé

La principale tendance des transformations du tissu économique français au cours des 50 dernières années est sa tertiarisation, adossée à la « servicialisation » de l'économie et au développement de la société de consommation, des loisirs et du temps libre.

Ces transformations ont fait évoluer la demande en bâtiments non résidentiels : baisse de la construction de locaux industriels, hausse de la construction de bureaux et de commerces (qui sont désormais les deux premiers secteurs en termes de surface dans le parc tertiaire). Les autres secteurs ont évolué en fonction de la démographie et de l'aménagement du territoire. Par exemple, les surfaces d'enseignement ont crû de façon importante.

Les espaces de bureaux sont confrontés à des mutations récentes, sous l'effet notamment du numérique. Le travail s'automatise et, de plus en plus, peut se faire à distance. Le commerce est également en pleine mutation : développement du e-commerce et de la logistique, baisse de l'attrait des hypermarchés, augmentation de la vacance commerciale mais regain du commerce de proximité, et adaptation de l'offre commerciale (mutation des centres commerciaux vers les loisirs).

Le vieillissement entraîne des besoins liés à la santé, mais une partie se fait à domicile.

#### Hypothèses prospectives

##### 1. Stagnation

Les phénomènes déjà observés se poursuivent, à savoir que l'évolution de l'affectation des surfaces accompagne les transformations de l'activité.

Chaque secteur conserve ses mètres carrés mais en modifie les usages.

Les espaces de bureaux deviennent des lieux de réunions, de séminaires, les centres commerciaux deviennent des showrooms et des lieux de loisirs, etc.

##### 2. Crise du tertiaire

L'explosion du travail à distance et du e-commerce fait chuter la demande en surfaces de bureaux et de commerces. Il n'émerge pas de besoins nouveaux permettant une réaffectation des surfaces ou le changement d'usage est difficile. La vacance augmente et les prix chutent.

##### 3. Dynamiques nouvelles

Les nouvelles configurations sectorielles font diminuer les besoins en surfaces de bureaux et de commerces.

Les prix baissent et permettent une réaffectation d'une partie de ces surfaces à de nouvelles activités marchandes ou non marchandes.

Certains bâtiments peuvent devenir des espaces de logistique ou accueillir des activités relevant de l'économie sociale et solidaire et/ou de l'économie circulaire (ressourceries, centres de réparation, agriculture urbaine, etc.), ou encore d'industries relocalisées.

24. Ces éléments sont issus de la démarche « Imaginons ensemble les bâtiments de demain » et directement repris du site : <https://www.batimentdemain.fr/> où le lecteur pourra accéder aux fiches « variables » complètes.

## • Politique technique

### Résumé

Ces politiques qui, depuis plusieurs siècles, portaient avant tout sur la sécurité, se développent depuis quelques dizaines d'années sur les enjeux environnementaux, sanitaires et sociaux de plus long terme.

La consommation énergétique des bâtiments neufs fait l'objet d'une réglementation depuis les années 1970. Celle sur l'existant se développe, mais peine à atteindre ses objectifs, extrêmement ambitieux.

Enjeux sanitaires, prise en compte du cycle de vie, obligation de résultat, performance à long terme, mutabilité et réversibilité des espaces, etc., de nouveaux enjeux pourraient redéfinir drastiquement les règles techniques dans le futur.

Les politiques techniques ont une longue tradition de formalisation des règles constructives coutumières (règles de l'art), ce qu'elles font en alliant « droit dur » et « droit souple » (normes d'application volontaires de type normes NF ou labels).

La grande diversité des sujets traités complexifie ces règles, et peut engendrer des contradictions. Elle demande un travail fin de préparation des lois (analyse coûts-bénéfices notamment) pas toujours réalisé, entraînant des remises en cause de textes adoptés.

L'apparition de l'échelon de décision européen complexifie la donne.

### Hypothèses prospectives

#### 1. Patchwork de règles techniques

Le poids mal régulé de nombreux lobbies conduit à la multiplication de règles peu cohérentes entre elles. Cela entraîne une mauvaise optimisation des constructions et des rénovations, une multiplication des désordres et des non-respects des règles, etc.

Les politiques techniques n'atteignent pas leurs objectifs.

#### 2. Qualité du neuf et de la rénovation

Un corpus de règles négociées et cohérentes donne un cadre partagé aux acteurs qui le respectent. Ce cadre accompagne la transformation de la construction neuve et de la rénovation du parc pour atteindre les objectifs fixés, notamment en matière de développement durable.

#### 3. Qualité du neuf

Dans le neuf, la cohérence des règles permet un progrès de la qualité et l'atteinte des objectifs poursuivis mais les politiques techniques peinent à faire évoluer le parc existant sauf sur les grosses opérations.

## • Gestion de l'obsolescence

### Résumé

Depuis la fin de la Seconde Guerre mondiale, de nombreux facteurs d'obsolescence ont joué. Les évolutions économiques (tertiarisation) et territoriales (urbanisation), croisées avec l'évolution des techniques, ont rendu obsolètes des locaux agricoles et industriels. Cette obsolescence a été gérée par la vacance, la destruction ou le changement d'usage.

L'évolution des normes sociales dans le logement (confort, hygiène) a été gérée par adaptation du parc existant (développement des salles de bains, des WC, du chauffage central, etc.).

La construction neuve a également été un pilier de la gestion de l'obsolescence de logements insalubres. Les grands ensembles des années 1970 ont connu une obsolescence rapide, liée au fonctionnement de la ville, et des débats existent sur la meilleure stratégie de gestion de cette obsolescence (destruction, rénovation, etc.).

L'évolution du commerce a conduit à une vacance des commerces de centre-ville, surtout dans les villes moyennes. Le rythme d'obsolescence des bureaux s'accélère, sous l'effet des évolutions du travail et des stratégies de gestion des parcs immobiliers par les entreprises.

À partir de la première crise de l'énergie de 1973, les performances énergétiques deviennent un facteur d'obsolescence. Les politiques de rénovation énergétiques peinent à accélérer le rythme de travaux pour y répondre.

Autres facteurs émergents qui pèseront sur l'obsolescence future des bâtiments : le vieillissement de la population (et la prise en compte des handicaps) et le changement climatique.

## Hypothèses prospectives

### 1. Rénovation lente

La part des marchés du neuf et de l'entretien-rénovation se situe dans sa tendance historique. L'intégration de nouvelles exigences dans le parc se fait lentement, à l'image de ce qui s'est passé pour l'intégration des éléments de confort : salle de bains, wc ou chauffage qui a mis plus d'un demi-siècle à se rénover. Cette lenteur de la rénovation conduit à disposer sur le parc à la fois de bâtiments au goût du jour et adaptés aux nouvelles exigences, et d'un parc de bâtiments dont l'obsolescence croît.

Les parts de marché du neuf et de l'entretien-rénovation restent stables.

Si l'évolution des facteurs d'obsolescence est rapide et que la rénovation se fait lentement, il peut y avoir une croissance de l'obsolescence du parc qui ne suit plus l'évolution de la demande.

### 2. Rénovation rapide

Devant les pertes de valeur importantes et rapides liées aux facteurs d'obsolescence, de nouveaux modèles se développent pour massifier la rénovation des bâtiments existants et leur changement d'usage.

Des acteurs de l'offre montent en puissance sur ce marché : acteurs actuels de la rénovation, acteurs du neuf qui évoluent et nouveaux acteurs.

Des modèles économiques nouveaux rendent la rénovation souvent plus attractive que la construction neuve.

La rénovation de bâtiments apparaît comme une solution attrayante aux acteurs de la demande.

La construction neuve se concentre sur les zones où les tensions démographiques sont fortes.

Les bâtiments neufs sont construits pour être adaptables.

La part de marché du neuf décroît.

### 3. Nouvel esprit haussmannien

La compétitivité du neuf en termes de qualité-prix-délai-performance environnementale le rend plus attractif que la rénovation.

L'obsolescence est gérée préférentiellement par la perte de valeur des bâtiments obsolètes dont une part croissante devient vacante (plutôt dans les zones détendues), est démolie (plutôt dans les zones tendues) ou est utilisée par ceux qui cherchent des locaux à bas coûts.

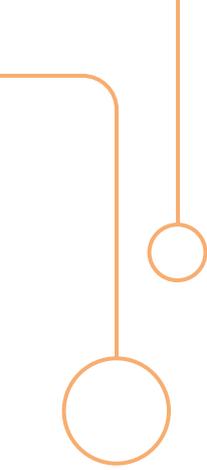
La part de marché du neuf croît.

## • Qualité d'usage des bâtiments

### Résumé

Sécurité, confort et hygiène sont des normes sociales centrales dans le bâtiment. Elles évoluent. Par exemple, le confort ne se résume plus à des critères purement techniques, il est synonyme de protection, de bien-être et d'épanouissement personnel.

Les qualités souhaitées par les occupants évoluent et s'étoffent : qualité de l'air intérieur, confort acoustique et, de plus en plus, écologie.



Dans l'habitat, l'idée d'un espace à soi s'impose, créant des tensions entre optimisation de l'espace et besoin d'intimité, dans un contexte où l'internalisation des activités (travail, loisirs) a modifié notre rapport à l'habitat.

Modeler les lieux à son image devient essentiel. En lien avec le vieillissement, l'adaptation est devenue synonyme d'autonomisation, négligeant le besoin de personnalisation et de contrôle. La qualité est de plus en plus normée, « critérisée » ou labellisée, mais l'écart se creuse entre les aspirations et les normes. Des tensions apparaissent entre exigences réglementaires et qualité d'usage (désynchronisation des comportements et des activités).

## Hypothèses prospectives

### 1. Meubles et équipements

L'immobilier est peu flexible et peine à s'adapter à la diversité des demandes (confort, intimité, évolution du travail, etc.) qui lui sont adressées. Dans ce contexte, les occupants aménagent leurs espaces avec des éléments mobiliers et des équipements qu'ils font évoluer en fonction de leurs besoins. Dans l'habitat, par exemple, après la cuisine, la salle de bains, le dressing, etc., l'adaptation mobilière se poursuit. Les équipements choisis par les occupants se multiplient (épurateurs d'air, home cinéma, etc.). Lorsque les occupants atteignent les limites de l'adaptation mobilière, et quand ils le peuvent, ils déménagent, pour adapter l'immobilier à leurs nouveaux besoins. Par exemple, les jeunes familles troquent un appartement contre une maison, les entreprises changent de locaux.

### 2. Photos et plantes vertes

L'immobilier est peu flexible et standardisé, mais les occupants s'en accommodent car leur appropriation des lieux peut se faire sans demande d'évolution forte du bâti, ou parce qu'ils n'ont pas la possibilité de faire autrement. On s'accommode d'espaces standardisés qu'on s'approprie par des retouches légères (peinture, photos, plantes vertes, etc.). Si des besoins différents apparaissent, les occupants préfèrent changer d'espace que changer leur espace. Par exemple, les jeunes commencent leur vie active dans des espaces de *coliving*, qu'ils quittent ensuite pour un espace plus grand lorsqu'ils fondent une famille ou, en cas de séparation, pour déménager vers des colocations pensées pour les familles monoparentales. Les entreprises passent d'un espace spécialisé (*coworking*, salles de réunion partagées, etc.) à un autre en fonction de leurs besoins.

### 3. Les murs s'adaptent à la demande

La flexibilité du bâti et des espaces devient le maître-mot de l'immobilier, et sa rencontre avec les demandes de plus en plus diversifiées des occupants conduit à une modification en profondeur des modalités de conception, de construction et de rénovation des bâtiments. Au-delà des extensions de maisons individuelles, déjà fort répandues, les bâtiments sont conçus pour permettre une adaptation à des besoins spécifiques et à leur évolution. Les constructions neuves et les grosses rénovations impliquent les futurs occupants. Les techniques utilisées permettent des restructurations faciles des espaces.

## • Organisation de la filière construction-rénovation

### Résumé

La filière construction-rénovation subit différentes évolutions :

- multiplication des acteurs, des sous-traitants et diminution du rôle de coordinateur de la maîtrise d'œuvre ;
- évolution basse de la productivité (prix, qualité) de la filière comparée à d'autres secteurs ;
- évolution des produits industriels de plus en plus sophistiqués et augmentation de leur part dans la valeur des projets ;

- augmentation des exigences sur l'ouvrage en matière d'environnement, de confort et de santé. Tendance à des exigences de résultat et pas seulement de moyens ;
- développement du BIM comme un outil pouvant potentiellement contribuer à une meilleure coordination ;
- développement du hors-site sur certains secteurs, parfois à l'étranger.

## Hypothèses prospectives

### 1. Productivité stagnante

La filière continue avec un fonctionnement similaire à la situation actuelle et ne résout pas ses problèmes de productivité.

Les nombreux acteurs de la filière se battent pour obtenir la plus grosse part de la plus-value sans qu'il en résulte de progrès sur la qualité et la valeur ajoutée collective.

Les nouveaux outils tels que le BIM sont l'objets de compétitions entre acteurs et n'atteignent pas leur objectif affiché de progrès dans la coordination.

### 2. Amélioration collective

Les acteurs prennent conscience de leur capacité à augmenter collectivement leur efficacité via une meilleure coordination collective. Ils s'appuient notamment sur les outils numériques pour faciliter cette coordination. Ceci se traduit par une réduction des malfaçons et une amélioration de leurs marges.

### 3. Pouvoir aux coordonnateurs

Sur différents types de chantiers, des acteurs prennent le rôle de chef d'orchestre en assurant une coordination collective. Ces acteurs coordonnateurs captent une partie croissante de la plus-value.

Les acteurs qui jouent ce rôle de coordonnateur varient suivant le type de chantier : majors pour les gros chantiers complexes, constructeurs de maisons individuelles organisés, plateformes de rénovation, etc.

Cette coordination n'exclut pas une industrialisation des produits, mais ce sont les acteurs de l'aval qui pilotent les projets.

### 4. Industrialisation

Une part importante de la valeur ajoutée est transférée du chantier vers l'usine. Ce sont les industriels qui captent la valeur ajoutée.

Des composants préfabriqués complexes ou de la construction hors-site se développent. La coordination se fait par les produits, le chantier devenant un lieu d'assemblage de produits industriels.

Cette industrialisation permet de réduire les temps de construction et les désordres sur le chantier. Elle peut être favorisée par le numérique. Elle a un impact important sur les types d'emploi nécessaires et sur leur localisation. Elle peut entraîner la délocalisation d'une part importante des marchés du bâtiment vers un pays européen ou extra-européen.

## • Matériaux produits et équipements

### Résumé

L'histoire du bâtiment est celle d'une complexification croissante des matériaux entrant dans sa conception, et de la multiplication des produits et équipements qui circulent entre pays dans un marché qui se mondialise.



Sur les trente dernières années, on constate une amélioration globale de la performance énergétique des équipements et des produits, sans toutefois de rupture majeure dans les solutions techniques de rénovation. Le bilan carbone des produits de construction se généralise. L'enjeu sanitaire des produits de construction est devenu une priorité depuis plusieurs années. L'amiante en est l'exemple le plus médiatique.

Dans la dernière décennie, ont également émergé des politiques publiques spécifiques aux ressources du bâtiment, structurées autour de la gestion des déchets dans le BTP, puis s'élargissant en introduisant la notion d'économie circulaire.

Face à des productions pour partie mondialisées, on constate depuis ces dernières années une forte tendance au développement de produits frugaux et locaux, notamment biosourcés. Une évolution récente du marché est l'apparition et le développement des équipements connectés et de l'Internet des objets.

## Hypothèses prospectives

### 1. Technicisation

Les matériaux produits et les équipements deviennent de plus en plus techniques. Les travaux sur la structure fine des matériaux permettent l'innovation technologique : produits super-isolants, autonettoyants, à transparence variable, autoréparants, etc.

Les produits de construction et les équipements se numérisent et se connectent, ce qui permet d'adapter automatiquement leur fonctionnement, de suivre leur maintenance, etc.

Cette technicisation peut entraîner une accélération de l'obsolescence des produits.

La technicisation vise également la facilité d'emploi sur les chantiers de construction neuve et de rénovation, un des enjeux étant d'arriver à des produits techniques mais faciles à poser.

### 2. Économie circulaire

L'économie circulaire se généralise dans la construction.

Les industriels mettent en place des filières d'approvisionnement en matériaux recyclés et s'impliquent dans la récupération de leurs produits en fin de vie.

Le réemploi des produits se développe et devient la solution de base pour certains types de produits qui sont conçus pour être utilisés successivement dans plusieurs bâtiments.

Certains produits ne sont plus vendus mais loués.

La durée de vie des produits s'allonge.

Les systèmes de caractérisation des produits et d'assurance évoluent pour permettre de tracer les performances des produits tout au long de leur vie et de maîtriser les risques liés au réemploi et au recyclage.

### 3. Frugalité

La construction fait appel de manière croissante à des produits biosourcés, géosourcés et locaux. Les produits peu transformés et locaux apparaissent en effet comme des moyens efficaces pour répondre à la pression sur les ressources et réduire l'empreinte carbone, mais aussi pour développer l'économie locale.

Leur utilisation sort des projets exceptionnels et devient courante.

Les matériaux historiquement utilisés (principalement le béton, le ciment, la brique, l'acier et le verre) évoluent. Ils sont utilisés de manière parcimonieuse suivant le principe du bon matériau au bon endroit. Ils réduisent leur impact carbone en faisant évoluer les énergies utilisées et leur processus de production. Ils mettent en avant leur intégration dans l'économie nationale ou locale.

## • Main-d'œuvre dans le BTP

### Résumé

1,5 million de personnes travaillent dans le BTP. Il s'agit de métiers très masculins (88 % d'hommes), peu attractifs (à part pour les métiers qualifiés) et qui peinent à maintenir les seniors en emploi.

Les conditions de travail se sont améliorées. Entre 1955 et 2008, le nombre d'accidents du travail dans le BTP a été divisé par deux. Mais les métiers restent pénibles.

Le secteur du BTP a toujours eu recours à de la main-d'œuvre immigrée, surtout pendant les Trente Glorieuses. Depuis les années 1990, le recours au travail détaché augmente et, sur la dernière décennie, le secteur a perdu pratiquement 250 000 emplois.

Plusieurs germes de changement traversent la profession, au premier rang desquels les enjeux environnementaux et ceux du numérique.

L'essor des plateformes numériques dans le domaine B to C du second œuvre est potentiellement porteur de transformations importantes pour les artisans.

La dynamique de formation du secteur ne semble pas être à la hauteur des enjeux qui se présentent dans les années à venir.

### Hypothèses prospectives

#### 1. Polarisation du marché du travail

Les transformations des modes de construction et de rénovation entraînent une polarisation des emplois. Les emplois très qualifiés et bien rémunérés se développent en accompagnement de la numérisation (BIM, CAO, etc.) et des nouvelles normes environnementales (filières utilisant des matériaux biosourcés, HQE, bâtiments à énergie positive, etc.). À l'autre extrémité de la chaîne, il y a toujours besoin d'une main-d'œuvre peu qualifiée pour effectuer des tâches de manutention, de pose ou de déconstruction qui ne peuvent pas être automatisées. Les emplois intermédiaires tendent à se réduire en raison du raccourcissement de la durée des chantiers et du recours accru au numérique pour guider le travail.

#### 2. Crise de la main-d'œuvre

Les difficultés de recrutement s'accroissent dans le secteur. Les entreprises ne trouvent pas de travailleurs disposant des qualifications qu'elles recherchent pour faire face à leurs nouveaux enjeux. Dans un contexte de crise économique et de forte concurrence, elles recourent à des solutions de repli qui accentuent encore les problèmes : délocalisation industrielle, plateformes de l'artisanat, développement du travail détaché, du travail illégal et du *do it yourself*. Des marchés de niche échappent cependant à cette spirale.

#### 3. La filière devient attractive

La filière parvient à renouveler son image et, dans un contexte de montée du chômage, devient de plus en plus attractive. Des efforts importants de formation sont réalisés avec une coordination efficace des acteurs. Le BTP devient une voie d'insertion professionnelle importante, notamment pour des jeunes en quête de sens et pour des travailleurs en reconversion professionnelle.

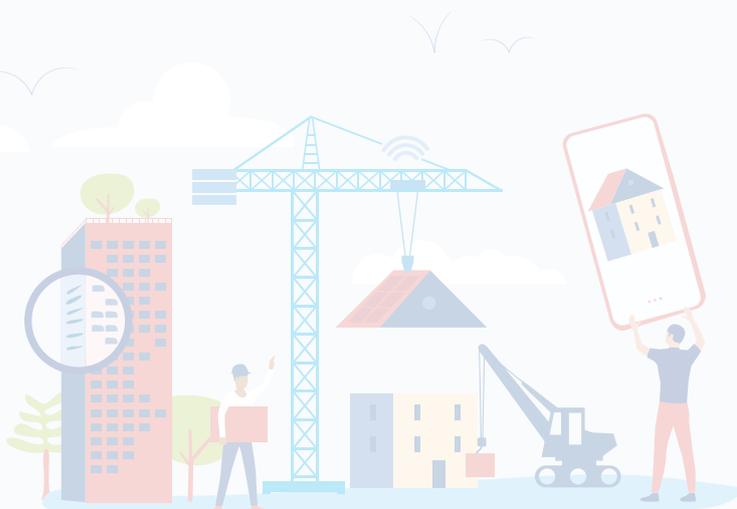
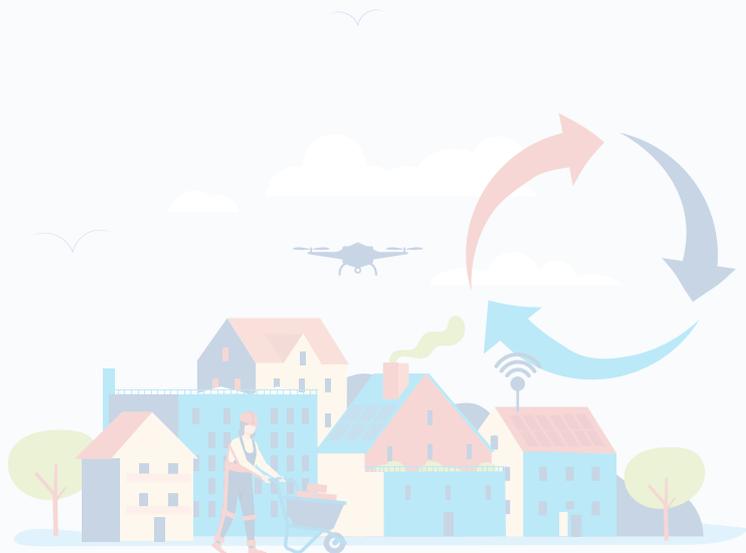
Les métiers de l'artisanat attirent en raison de leur caractère concret et de plus en plus technique, aussi bien dans les filières locales ou biosourcées que dans des métiers de plus en plus techniques et connectés.

Côté grandes entreprises, les perspectives de carrière, les salaires et les efforts de formation continue sont très attractifs. L'industrialisation et les investissements en dispositifs de prévention rendent les métiers moins pénibles et plus « ludiques » ce qui permet d'attirer des jeunes et de féminiser le secteur.

## 2. Tableau morphologique de construction des scénarios

Dans ce tableau, les variables retenues sont énoncées dans la première colonne, puis sur les mêmes lignes les différentes hypothèses d'évolution. Les codes couleurs et typographiques permettent de représenter les combinaisons d'hypothèses correspondant à chacun des quatre scénarios. Ces derniers sont formulés dans la dernière ligne.

Variables	H1	H2	H3	H4
<b>Occupation des bâtiments non résidentiels</b>	Stagnation	<u>Crise tertiaire</u>	Dynamique nouvelle	
<b>Politique technique</b>	Patchwork	<u>Qualité du neuf et de la rénovation</u>	Qualité du neuf	
<b>Gestion de l'obsolescence</b>	Rénovation lente	<u>Rénovation rapide</u>	Nouvel esprit haussmannien	
<b>Qualité d'usage</b>	Meubles et équipements	Photos et plantes vertes	<u>Les murs s'adaptent à la demande</u>	
<b>Organisation de la filière</b>	Productivité stagnante	Amélioration collective	<u>Pouvoir aux coordinateurs</u>	<u>Industrialisation</u>
<b>Matériaux et équipements</b>	<u>Technicisation</u>	<u>Économie circulaire</u>	Frugalité	
<b>Main-d'œuvre</b>	<u>Polarisation du marché du travail</u>	Crise de la main-d'œuvre	Filière d'avenir	
<b>Scénarios</b>	Difficile de tout faire	Les compagnons du durable	Industrialisation et économie circulaire	<u>Le bâtiment plateformisé</u>



Institut national de recherche et de sécurité  
pour la prévention des accidents du travail  
et des maladies professionnelles  
65, boulevard Richard-Lenoir 75011 Paris  
Tél. 01 40 44 30 00 • info@inrs.fr

#### Édition INRS PV 17

1<sup>re</sup> édition | mai 2022 | ISBN 978-2-7389-2744-6 | Disponible uniquement au format web  
Création graphique : Opixido | Illustration de couverture : Serge Miserez | Mise en pages : Valérie Latchague-Causse

L'INRS est financé par la Sécurité sociale  
Assurance maladie - Risques professionnels

www.inrs.fr   