

BTP 4.0 : quelles opportunités d'innovations numériques pour le secteur de la construction ?

THESE PROFESSIONNELLE



Mastère Spécialisé Management des Systèmes d'Information

Mai 2017

Vincent VERMOREL

REMERCIEMENTS

Tout d’abord, je tiens à remercier mon tuteur Sylvain TOUZEAU pour les échanges que nous avons eu lors des sessions de cours à GEM et pour ses conseils et encouragements qui m’ont permis de mener à bien cette thèse professionnelle.

Je remercie également Luc BRESSE, Directeur Recherche et Développement et Directeur des Systèmes d’Information de KP1 pour son soutien dans ce projet de formation.

Je souhaite aussi mentionner ici les personnes qui ont pris de leur temps pour répondre à mes questions, merci pour leur contribution à ce travail :

Christophe MOREAU, Directeur Projet Modernisation Métiers chez Bouygues Construction

Bernard CARTOUX, Directeur Innovation chez Schneider Electric

Pascal PIZELLE, Président de IXIADE, conseil en stratégie et innovation

Hervé GRUA, Consultant, expert de la production industrielle

Enfin, merci à Dave BRUBECK pour son « Blue rondo a la turk » ainsi qu’à l’interprétation qu’en à fait Claude NOUGARO...

EXECUTIVE SUMMARY

Les évolutions technologiques en termes d'internet mobile, d'électronique ou encore de cloud computing font que des solutions comme la maquette numérique (BIM ou Building Information Modeling), le travail collaboratif, l'internet des objets, la réalité augmentée ou la robotique avancée peuvent être génératrices de transformation majeure pour le secteur de la construction.

Cette thèse professionnelle vise à explorer les opportunités d'innovations numériques en phase chantier des projets de construction. Nous avons tenté avec ce projet, de transposer les enjeux de la 4^{ème} révolution industrielle au secteur de la construction.

Une enquête a été menée auprès de près de 3000 conducteurs de travaux et chefs de chantier pour mieux comprendre quel était le niveau de maturité des usages liés aux outils numériques sur les sites de construction, mais aussi de comprendre quelles pouvaient être leurs attentes en termes de nouveaux usages ou d'innovations technologiques.

Nous présentons ici les résultats de cette enquête et proposons une vision du chantier du futur.

TABLE DES MATIERES

I. INTRODUCTION	7
A. Contexte	7
B. Enjeux de transformation	7
C. Problématique de recherche.....	8
D. Questions de recherche	9
II. LE CONCEPT « BTP 4.0 »	10
III. ETUDE AUPRES DES ACTEURS DES CHANTIERS	13
A. Méthodologie	13
B. Site web dédié	13
C. Questionnaire en ligne	13
D. Campagne emailing ciblée	14
IV. USAGES DU NUMERIQUE SUR LES CHANTIERS	14
A. Niveau d'équipement	15
B. Types d'usage	15
C. Interopérabilité des équipements.....	15
D. Accessibilité sur sites	16
E. Domaines d'amélioration et freins au changement	16
V. VISION DU FUTUR	17
A. Gestion électronique des documents (GED).....	17
B. Télémaintenance	18
C. Logistique avancée	18
D. Géolocalisation et télémétrie 3D	19
E. Maquette numérique (BIM)	19
F. Réalité augmentée.....	20
G. Objets industriels connectés	21
H. Drones autonomes.....	21
I. Robotique collaborative	22
J. Fabrication additive	22
VI. CONCLUSION	23
VII. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	24
VIII. ANNEXES	25
A. Campagne emailing	25
B. Comportements sur le site web dédié.....	25
C. Enquête en ligne	26

TABLE DES FIGURES

Figure 1 – le secteur de la construction est parmi les moins digitalisés (MPSC, 2016).....	7
Figure 2 – croissance de la productivité mondiale (MGI, 2017)	8
Figure 3 – illustration des flux documentaires dans un projet de construction (Lascom, 2014)	9
Figure 4 – matrice probabilité / impact des nouvelles technologies (WEF, 2016).....	9
Figure 5 – le chantier du futur.....	11
Figure 6 – taux d'équipement « numérique » à domicile (ARCEP, 2015)	14
Figure 7 –documents graphiques envoyés sous forme numérique (Olle & Bo-Christer, 2013) ..	15
Figure 8 –types de documents envoyés sous forme numérique (Olle & Bo-Christer, 2013)	15
Figure 9 –principaux freins à la transformation numérique dans le secteur du BTP (KPMG, 2017)	16
Figure 10 – courbe enthousiasme / maturité.....	17
Figure 11 – applications du BIM dans un projet de construction (WEF, 2016)	19
Figure 12 - niveaux de maturité BIM (Gkoumas, 2015)	20
Figure 13 – âge des répondants	26
Figure 14 – profession des répondants	26
Figure 15 – type d'entreprise	26
Figure 16 – taille d'entreprise.....	26
Figure 17 – couverture géographique.....	26
Figure 18 – source d'accès au sondage.....	26
Figure 19 - personnes ou équipements disposant d'un terminal numérique	29
Figure 20 – capteurs électroniques	29
Figure 21 – capteurs connectés à internet	29
Figure 22 – domaines d'amélioration de l'usage du numérique sur les chantiers	30
Figure 23 – principaux freins au développement du numérique	31
Figure 24 – pertinence des propositions d'innovations	32
Figure 25 – niveau de maturité actuel des propositions d'innovations	34
Figure 26 – horizon futur des propositions d'innovations.....	35

Liste des Tableaux

Tableau 1 - Taux de réponse de la campagne emailing	25
Tableau 2 - Analyse des visites du site web.....	25
Tableau 3 - Dans votre travail, quels outils numériques utilisez-vous régulièrement ?	27
Tableau 4 - Utilisez-vous ces applications (à titre professionnel) sur plusieurs équipements ?	27
Tableau 5 - Quelle utilisation faites-vous des logiciels ou applications suivants ?.....	27
Tableau 6 - En général, comment échangez-vous ces différents types d'information ?.....	28
Tableau 7 - Quels types de communication sont accessibles en général ?	28
Tableau 8 - Quels équipements sont disponibles sur site ?	28
Tableau 9 - Combien de personnes ou de machines sont équipés et utilisent des terminaux numériques (ordinateur, tablette, écran tactile, smartphone...) ?	29
Tableau 10 - Selon vous, combien de capteurs électroniques mesurent des données sur le chantier ?.....	29
Tableau 11 - Parmi cette liste, sélectionnez les 3 domaines qui selon vous peuvent/doivent être fortement améliorés par l'apport de plus de "numérique" ?	30
Tableau 12 - Parmi cette liste, quels sont selon vous les 3 principaux freins au développement du numérique sur les chantiers ?	31
Tableau 13 - quelle est la pertinence des propositions de solutions ci-après ?.....	32
Tableau 14 - quel est le niveau de maturité actuel des propositions ci-après ?	33
Tableau 15 - à quel horizon les solutions ci-après seront répandues sur plus de 30 % des chantiers ?	35

à Claire, Pauline et Antonin, mes étoiles polaires.

I. INTRODUCTION

A. CONTEXTE

Le secteur de la construction est un des secteurs d'activité le moins numérisé (voir Figure 1) et où le processus de conception et de production des produits fait appel à une chaîne de partenaires particulièrement éclatée (promoteurs, économistes, architectes, bureaux d'études, organismes de contrôle, entreprise générale, industriels, sous-traitants...).

L'évolution démographique et la transformation de la société font que la demande en construction d'infrastructure et de bâtiments n'a jamais été aussi forte (WEF, 2016). Les enjeux économiques, énergétiques et écologiques, ainsi que les modes de production qui n'ont pratiquement pas évolués depuis 50 ans imposeront nécessairement des changements importants dans la manière de

concevoir et de construire les bâtiments du futur. Tout le cycle de vie des bâtiments ainsi que des interactions de plus en plus importantes avec leur environnement proche, à l'échelle du quartier ou de la ville, nécessiteront l'intégration de systèmes d'information et de données de plus en plus complexes.

B. ENJEUX DE TRANSFORMATION

Le World Economic Forum et McKinsey Global Institute font le même constat : partout dans le monde, depuis 50 ans, les gains de productivité dans l'industrie de la construction sont très faibles en comparaison à d'autres secteurs d'activités.

La moyenne de la croissance annuelle mondiale a été de 2,7% sur les 20 dernières années, tandis que le secteur de la construction sur la même période n'aurait atteint en moyenne qu'une croissance de productivité de 1% par an (MGI, 2017).

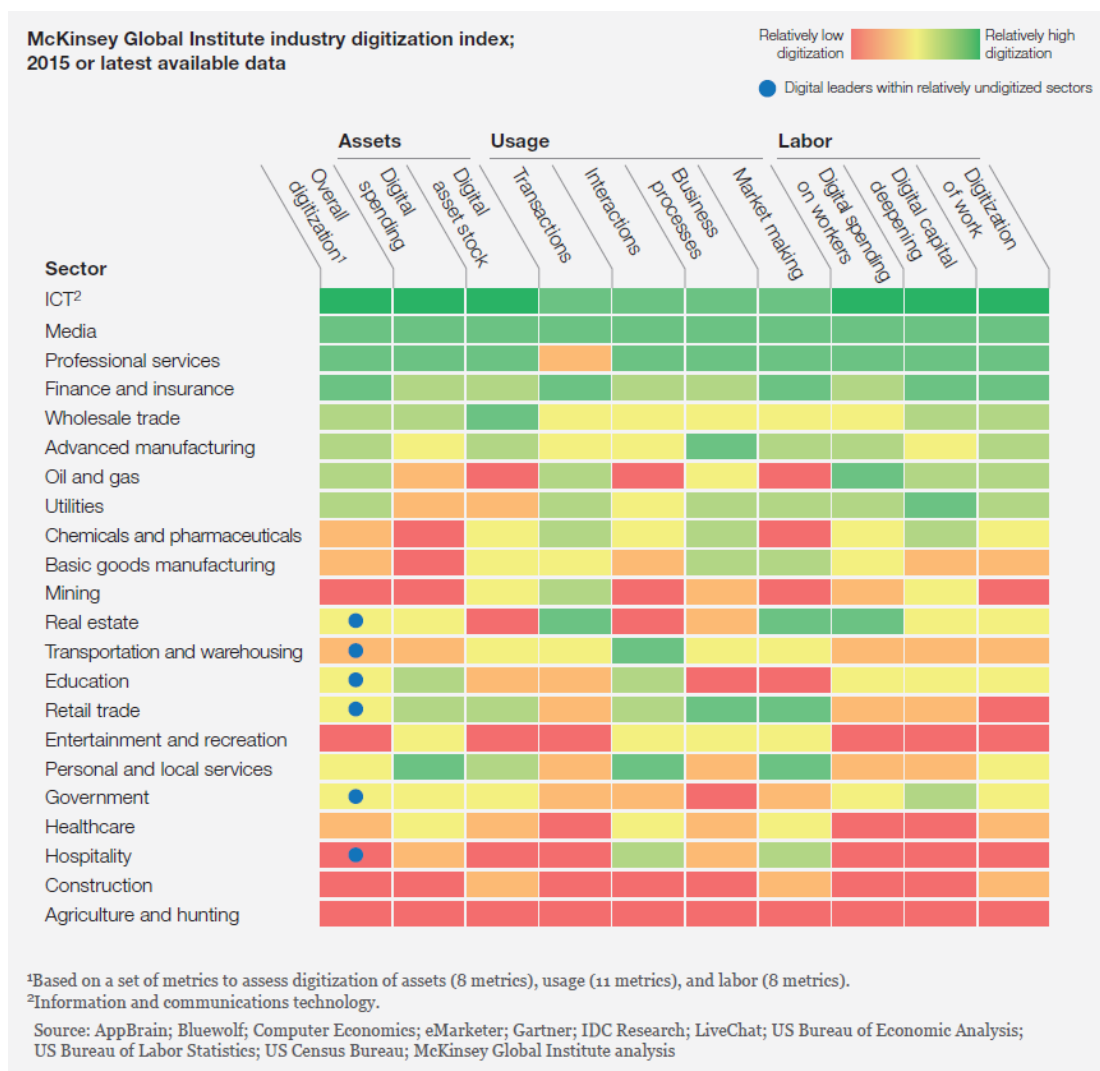


Figure 1 – le secteur de la construction est parmi les moins digitalisés (MPSC, 2016)

Même s'il semble difficile de mettre en rapport la productivité de secteurs économiques qui sont soumis à des contraintes de marchés très différentes, la différence serait encore plus importante si on comparait le secteur de la construction et celui de l'industrie manufacturière. Pour ce dernier, sur les 20 dernières années, la moyenne des gains de productivité annuels est de 3,6% (voir Figure 2). Près de 4 fois supérieure à celle du secteur de la construction.

une productivité de 5 à 10 fois supérieure (MGI, 2017).

L'optimisation des stocks de matière ou de composants sur un chantier, la gestion des approvisionnements en flux tendu, la préfabrication sont des solutions qui nécessitent également de bien appréhender la façon dont l'information circule entre les partenaires d'un projet de construction de bâtiment et d'identifier quelles améliorations en terme de système d'information pourraient

Globally, labor-productivity growth lags behind that of manufacturing and the total economy

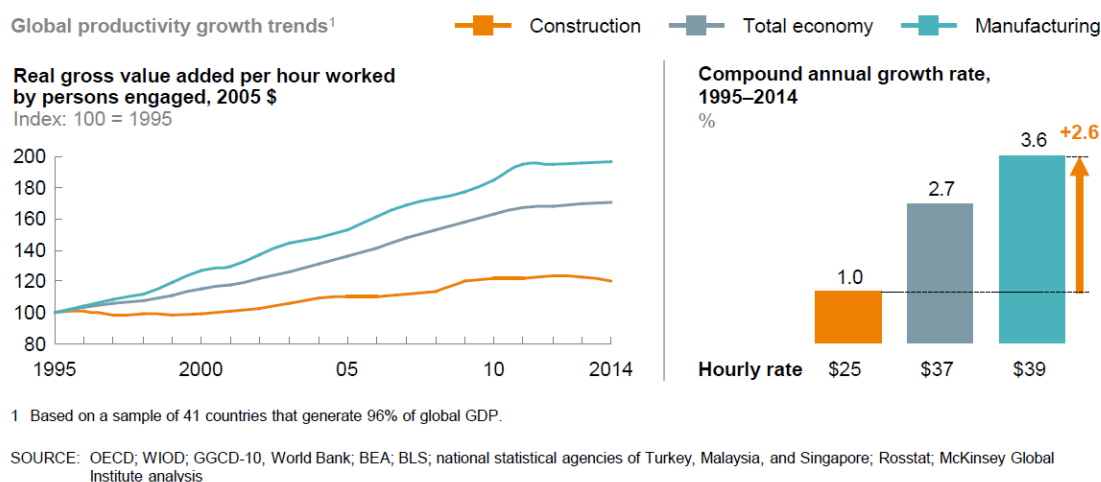


Figure 2 – croissance de la productivité mondiale (MGI, 2017)

On peut trouver des explications dans le fait que l'activité de ce secteur est pilotée quasi exclusivement par un mode de fonctionnement en projets avec un tissu de partenaires et d'acteurs particulièrement morcelé.

De ce fait, les entreprises de la construction restent frileuses sur les actions de R&D, l'adoption de nouvelles technologies ou de nouvelles pratiques. Les retours sur investissements sont peu visibles voire inexistantes sur l'horizon d'un projet.

De même ce mode de fonctionnement ne favorise pas le transfert de connaissance et la coopération et conduit à une faible capitalisation de l'expérience acquise d'un projet à l'autre.

« Les entreprises du secteur sentent bien la nécessité d'introduire davantage de méthode dans leurs façons de travailler, de rationaliser certaines tâches, là où l'intuition et l'improvisation ont tendance à dominer. » (Fédération Française du Bâtiment, 2015).

Repenser le système de production du secteur pour le transformer en un mode de fonctionnement plus industrialisé permettrait

être apportées pour proposer de nouvelles créations de valeur.

C. PROBLEMATIQUE DE RECHERCHE

La complexité de l'écosystème que constitue un projet de construction réside dans la multiplicité des acteurs impliqués.

De plus, ces projets ont pour particularité que les équipes qui se forment pour leur réalisation travaillent rarement plus d'une fois ensemble, augmentant encore les freins au travail collaboratif et à l'amélioration des échanges de données.

D'autre part, il semble que dans le processus global de conception et de construction des bâtiments, c'est la phase aval qui est la moins outillée en termes de système d'information, et que c'est probablement celle-ci qui sera la plus impactée par de nouvelles méthodes de travail plus « digitalisées ».

En effet, dans son enquête sur le futur de la construction, le World Economic Forum a identifié de nombreuses innovations liées au numérique dans sa matrice d'impact des nouvelles technologies (voir Figure 4).

Enfin, les sites des chantiers sont par nature décentralisés, déconnectés des différentes entreprises impliquées dans les projets de construction.

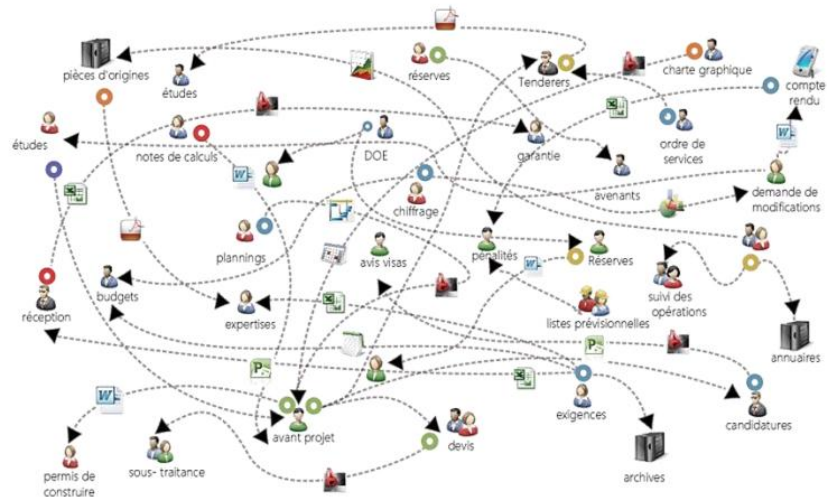


Figure 3 – illustration des flux documentaires dans un projet de construction (Lascom, 2014)

secteur de la construction en décrivant le mode de fonctionnement de l'industrie du futur appliqué aux projets de construction.

Dans une deuxième partie nous décrirons l'étude qui a été menée auprès des acteurs des chantiers pour répondre aux questions suivantes :

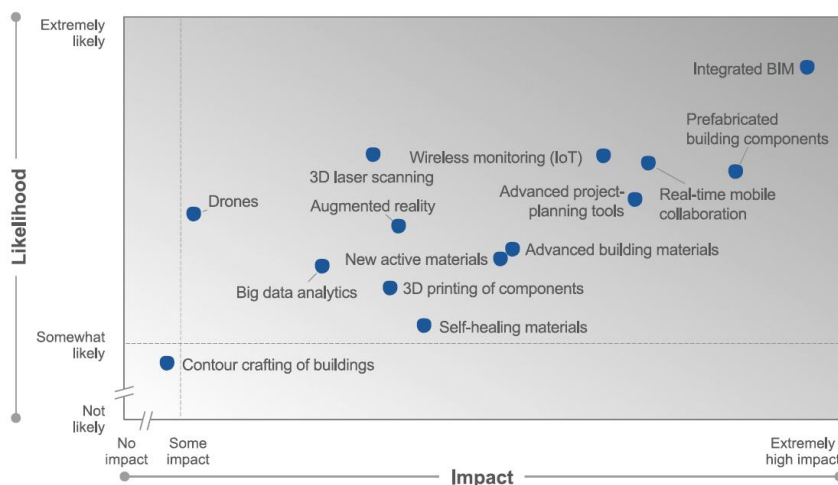


Figure 4 – matrice probabilité / impact des nouvelles technologies (WEF, 2016)

C'est pourquoi, la problématique de recherche qui est traitée dans cette thèse professionnelle, consiste à se focaliser plus particulièrement sur cette phase de réalisation des bâtiments, sur leurs sites de construction, et à mener une étude exploratoire des opportunités d'innovations en termes de système d'information.

D. QUESTIONS DE RECHERCHE

Dans une première partie, nous transposons la définition de « l'industrie 4.0 » au

Quelle sont les attentes de la part des acteurs de la construction face aux différents enjeux de transformation du secteur ?

Quel est le niveau d'adhésion de leur part pour différentes solutions d'innovations liées au numérique ?

Quelle est la maturité des technologies, mais aussi de leurs usages ?

Enfin pour terminer, nous présenterons, à la manière des études « hype cycle » du cabinet Gartner, les résultats dans une synthèse des différentes propositions d'innovations abordées sous la forme d'un graphique « enthousiasme / maturité ».

II. LE CONCEPT « BTP 4.0 »

Des initiatives d'amélioration des méthodes de construction des bâtiments commencent à se mettre en place, comme par exemple les méthodes de lean management, développées à l'origine dans l'industrie automobile japonaise et qui sont transposées en « lean construction » (Fédération Française du Bâtiment, 2015).

C'est d'ailleurs une des clefs identifiées par le World Economic Forum et décrite dans son cadre de transformation de l'industrie de la construction (WEF, 2016).

Dans ce rapport, de nombreux enjeux sont liés à une meilleure collaboration entre les acteurs et un meilleur partage des informations, que ce soit dans les phases de conception des bâtiments, mais également dans les phases de construction et même d'exploitation des bâtiments et des ouvrages d'art.

On retrouve déclinés ici les mêmes enjeux que ceux décrivant la 4^{ème} révolution industrielle avec le concept de l'usine du futur, aussi dénommé « industrie 4.0 » (Gimélec, 2014) : la co-conception via des maquettes numériques avec des reconfigurations jusqu'à des phases avancées du processus de fabrication, la prise en compte de l'ensemble du cycle de vie du produit, la collecte et l'exploitation statistique de données numérique (Big data), la gestion avancée des flux avec une planification et une logistique étendue à tout un écosystème de partenaires sous-traitants ou cotraitants, une production (semi-) automatisée avec des machines communicantes et/ou apprenantes, une maintenance prédictive améliorée par une instrumentation généralisée des équipements et outils de production, des accès à distance permettant du télédiagnostic ou de la télémaintenance grâce à l'internet industriel des objets (IIoT), des opérateurs « augmentés » et de la robotique collaborative (on parle de « cobotique »), des nouvelles technologies de production avec par exemple la fabrication additive en 3D et enfin des organisations et des processus adaptatifs comme l'est par exemple le lean manufacturing que nous avons déjà évoqué.

La Figure 5 présente une vision du chantier du futur et des différents domaines ou opportunités de transformation.

1. GESTION ELECTRONIQUE DES DOCUMENTS

La GED, en anglais EDM (Electronic Document Management), consiste à dématérialiser les documents (plans, notes de calculs, documentations réglementaires, compte-rendu...) en utilisant des échanges électroniques. Le stockage dans le cloud et les moteurs de recherche favorisant encore davantage le partage et le travail collaboratif.

2. PLANIFICATION INTEGREE

L'échange entre les différents systèmes d'information permet d'intégrer la planification des approvisionnements et des fabrications et de réajuster en temps réel les plannings des sous-traitants ou cotraitants pour tenir compte des ajustements liés aux aléas.

3. GESTION DES CYCLES DE VIE (PLM)

Les outils de PLM (Product Lifecycle Management) permettent le suivi des différentes configurations d'un produit (ou d'un document) tout au long de son cycle de vie (conception, production, exploitation). Ils permettent notamment d'informatiser les processus de révision et de validation et d'historiser les variantes d'un même produit ou document en traçant les différentes versions des composants dont il est constitué.

4. MAQUETTE NUMERIQUE (BIM)

Le BIM (Building Information Modeling) consiste à partager de manière collaborative des informations de modélisation du bâtiment en



Suivi du gros œuvre sur tablette et maquette numérique (EGF.BTP, 2017)

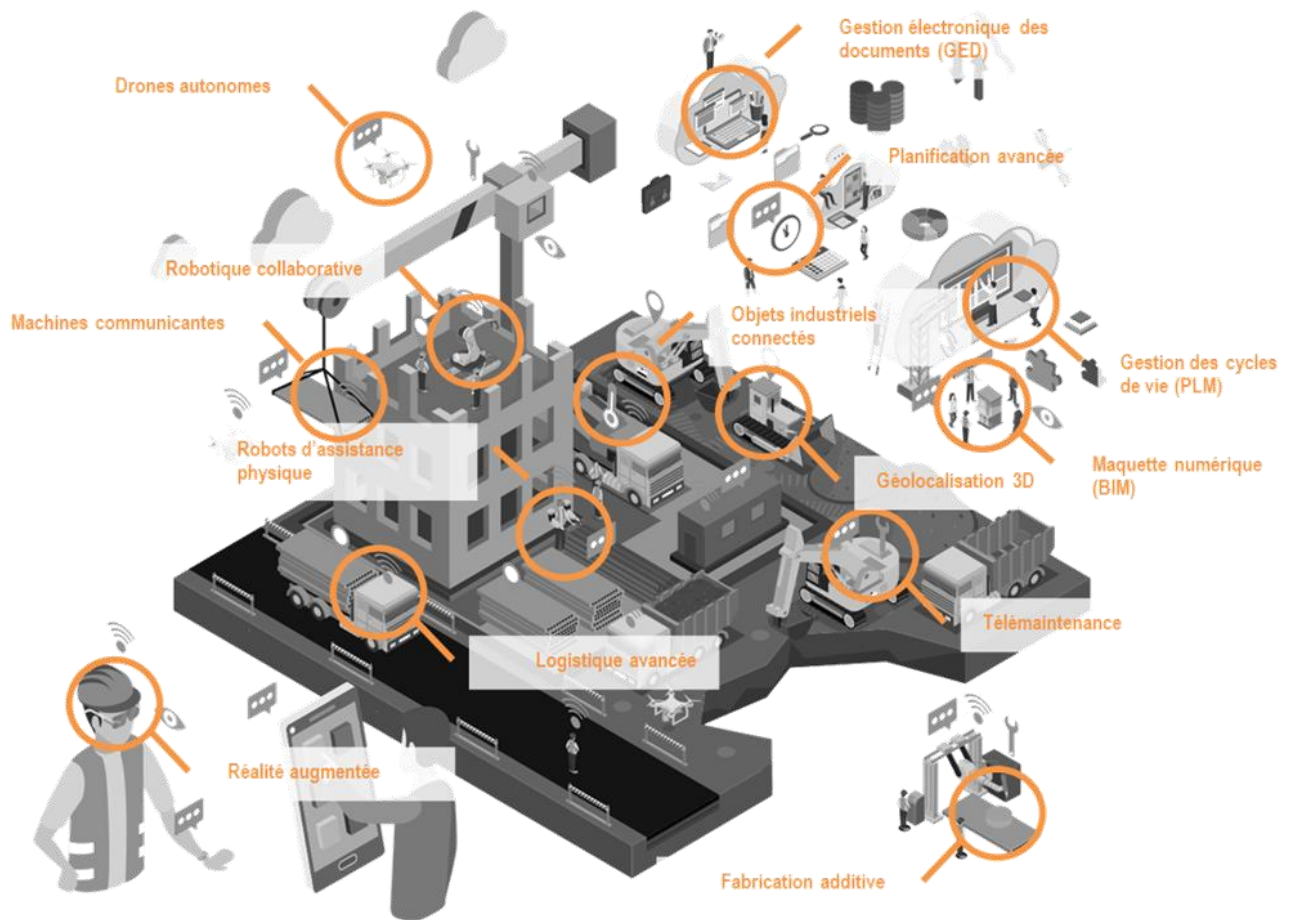


Figure 5 – le chantier du futur

3D. Il ne s'agit pas seulement de données géométriques, mais également de données structurées permettant de simuler numériquement le comportement du bâtiment ou de ses composants.

Avec le BIM 4D et le BIM 5D on enrichit également la maquette avec les dimensions temps (planning) et coût

5. LOGISTIQUE AVANCEE

Les différents camions qui approvisionnent le chantier sont géolocalisés en temps réel pour permettre de connaître les délais précis de livraison et ainsi optimiser les flux et les déplacements sur site. Les niveaux de stocks de matières premières ou de composants sur site sont informatisés pour une gestion optimisée des approvisionnements.

6. OBJETS INDUSTRIELS CONNECTES

Les objets industriels connectés (ou encore Internet industriel des objets, IioT : industrial internet of things) permettent d'échan-

ger via le réseau internet des informations de terrain. Cela peut être des informations relatives à l'environnement ou à l'usage de l'objet. Des réseaux de communication radio basses fréquences permettent une couverture du territoire très étendue, ou même de connecter l'ensemble d'un site avec peu d'équipements réseau actifs.

7. ROBOTIQUE COLLABORATIVE

Des robots autonomes ou semi-automatiques évoluent en milieu non protégé et collaborent avec des hommes sur des tâches spécialisées à forte pénibilité, risquées ou pour améliorer qualité et productivité.

8. MACHINES COMMUNICANTES

Les échanges d'information de machine à machine (M2M : machine-to-machine) ou de produit à machine, permettent l'adaptation d'une gamme de fabrication en fonction du contexte. Cela peut être par exemple le positionnement ou l'acheminement automatique

d'un élément préfabriqué par un engin de manutention.

9. ROBOTS D'ASSISTANCE PHYSIQUE

Des équipements spécialisés permettent d'assister un ouvrier dans l'accomplissement d'effort pendant son activité. Cela peut être par exemple un bras robotisé, voire un exosquelette qui augmente les capacités physique de l'opérateur.

10. DRONES AUTONOMES

Ces systèmes permettent de surveiller l'avancement du chantier, mais aussi d'effectuer des relevés dimensionnels ou de localiser les différents équipements sur toute l'étendue du site de construction. Ils permettent également d'effectuer des opérations de contrôle ou des interventions en hauteur en toute sécurité pour les opérateurs.

11. GEOLOCALISATION 3D

La localisation des produits, des équipements et des personnes sur l'ensemble du site, y compris à l'intérieur des parties déjà construites permet une optimisation des déplacements ou des contrôles de sécurité lors d'opérations à risques. Cela permet également une optimisation de la gestion des flottes d'engins ou outillages spécialisés.

Les équipements de télémétrie permettent l'acquisition automatique en 3D des points de dimensionnement du bâtiment ou du positionnement des équipements.

12. REALITE AUGMENTEE

Cette technologie consiste à enrichir le contexte réel de travail en affichant des informations complémentaires. Cela peut être via des lunettes ou un affichage tête haute, ou encore des images projetées.

13. TELEMAINTENANCE

Les équipements et engins de chantiers sont connectés à internet et permettent à des opérateurs de maintenance d'effectuer des diagnostics ou des interventions à distance. La maintenance préventive est améliorée du fait de la remontée en continu des paramètres de fonctionnement des équipements auprès du SAV du fournisseur.

14. FABRICATION ADDITIVE

Des procédés de fabrication automatisée par ajout de matière, type impression 3D, permettent de produire toute pièce ou partie de pièce spécifique à partir d'un plan numérisé sans nécessité d'usinage d'un moule ou d'un coffrage. Cela peut se réaliser sur site grâce à une machine mobile ou hors site dans un atelier de préfabrication 'généraliste'.

12



Suivi des terrassements par relevé 3D aérien (EGF.BTP, 2017)

III. ETUDE AUPRES DES ACTEURS DES CHANTIERS

Pour étayer notre analyse et la confronter aux besoins et attentes des acteurs de terrain, nous avons mené, entre le 10 et le 30 avril 2017, une enquête en ligne auprès notamment d'un panel de conducteurs de travaux et de chefs de chantier.

A. METHODOLOGIE

Cette enquête en ligne s'est appuyée sur 3 dispositifs :

- Un mini site web dédié
- Un questionnaire en ligne (Google Forms)
- Une campagne d'emailing, relayée sur les principaux réseaux sociaux

Les différents métriques qui ont pu être collectés via ces différents outils sont repris en fin de ce rapport (voir § « VIII. Annexes » à partir de la page 25).

A partir de ces différentes données, et notamment les réponses aux questions relatives à la « vision du futur », mais également de notre propre vision des différents sujets à travers la revue de la littérature que nous avons pu mener, nous avons construit de façon plus ou moins empirique un diagramme de synthèse « Figure 10 – courbe enthousiasme / maturité » présenté en page 17.

Enfin nous avons également complété notre analyse à travers plusieurs interviews menés auprès de personnes impliquées dans des projets d'innovations dans de grandes entreprises du BTP ou d'industriels fournisseurs du secteur de la construction.

Les différents résultats sont interprétés dans la partie suivante de ce rapport (« V. Vision du futur » page 17) qui énumère les différentes propositions d'innovation numériques qui ont été présentées dans cette enquête.

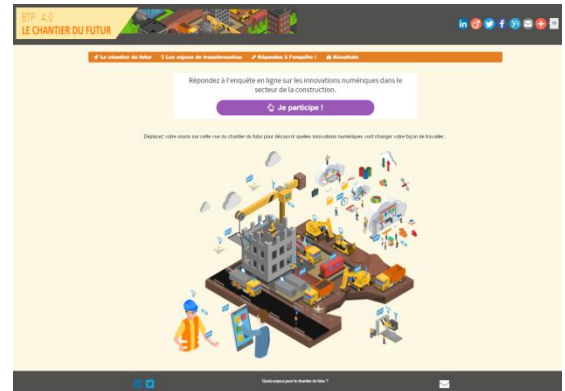
B. SITE WEB DEDIE

Nous avons développé un mini site web dédié (<http://btp-4-0.fr>) pour présenter le sujet de cette enquête et diriger les internautes vers un sondage en ligne.

Nous avons utilisé les principes du « responsive design » pour permettre une adaptation de la mise en page et une consultation sur

les différents terminaux numériques, notamment tablettes et smartphones.

Nous nous sommes également inspirés de la démarche « click to action » proposée dans la méthode « Value Proposition Design » (Osterwalder, Pigneur, Bernarda, & Smith, 2015) pour mesurer le niveau d'engagement ou d'intérêt des internautes vis-à-vis du sujet en les invitant à répondre au sondage en ligne ou à partager via les réseaux sociaux.



Enfin, ce site web a permis également d'analyser le comportement des internautes devant le schéma représentant la vision du « chantier du futur ». Il s'agissait d'enregistrer les événements liés au déplacement de la souris (survol et clic) sur des vignettes représentant les principales propositions d'innovations liées au digital.

C. QUESTIONNAIRE EN LIGNE

Le questionnaire était articulé en quatre parties.

Tout d'abord il s'agissait de collecter de façon anonyme et facultative quelques informations pour qualifier le profil du répondant : taille et type d'entreprise, fonction occupée.

Une deuxième partie était consacrée au niveau adoption et d'usage des outils numériques par le répondant.

La troisième partie était consacrée à la compréhension du terrain et notamment au niveau d'équipement numérique des chantiers. Nous avons également posé des questions relatives aux besoins métiers auxquels il serait utile de répondre par des outils numériques, ainsi que sur les freins au changement perçus par les utilisateurs.

Enfin la dernière partie dressait un panorama de quelques thèmes liés à des innovations numériques et tâchait de mesurer leur

pertinence par rapport aux différents besoins évoqués, leur niveau de maturité actuel ainsi que la vision des utilisateurs quant à un horizon de généralisation sur les chantiers de ces différentes solutions.

D. CAMPAGNE EMAILING CIBLEE

En parallèle, nous avons diffusé de façon ciblée deux courriers électroniques pour demander leur participation à cette enquête à des conducteurs de travaux et des chefs de chantier.

Nous avons exploitée une base de données de près de 3000 adresses électroniques correspondants à des contacts des chantiers que le groupe KP1, préfabricant d'éléments de structure de bâtiment en béton précontraint, a livré en France depuis 2014 (voir Tableau 1 page 25).

Cette campagne d'emailing a également été relayée sur les réseaux sociaux LinkedIn, Twitter et Facebook.

L'outil mailchimp.com a été utilisé pour diffuser ces deux messages à chacun des contacts, les invitant à répondre au sondage en ligne : un 1^{er} envoi de présentation de l'enquête, puis une semaine plus tard un message de relance pour entretenir leur curiosité et leur rappeler le lien vers le sondage.

Le taux global d'ouverture mesuré (24.9 %) est plus important que la valeur de référence du secteur¹ (17,8 %) du fait de l'envoi en deux temps. Il est probable que certaines personnes aient ouvert les deux messages.

Le taux de clics toutefois quant à lui conforme à la valeur de référence : 1.8 % avec 53 clics uniques.

Néanmoins, les clics sur un des liens contenus dans chacun des messages électroniques ne se traduisent pas forcément en une réponse au sondage.

En effet, si on se réfère à la Figure 18 page 26, on constate que seules 22 réponses à l'enquête ont eu pour origine la campagne emailing.

Le taux de transformation de cette campagne ciblée a été de 0,8 %.

IV. USAGES DU NUMERIQUE SUR LES CHANTIERS

Dans le « baromètre du numérique » (ARCEP, 2015), dont un extrait est reproduit en Figure 6, nous pouvons voir que le taux d'équipement en ordinateur, téléphonie et internet à titre personnel est très élevé en France.

Nous voyons que le taux d'équipement en ordinateur, s'il est massivement généralisé (80% de la population possède au moins un

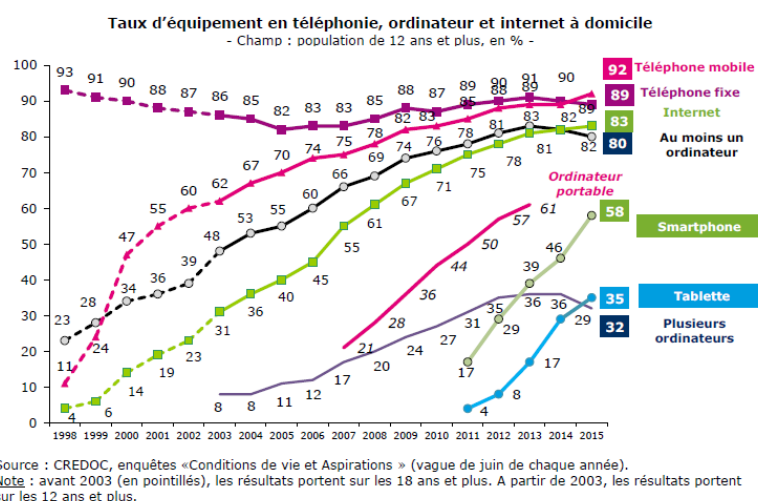


Figure 6 – taux d'équipement « numérique » à domicile (ARCEP, 2015)

ordinateur) commence toutefois à décliner au profit des tablettes, mais surtout du smartphone.

Quelle transposition pouvons-nous faire de ces chiffres sur un usage professionnel dans le secteur de la construction ?

A titre professionnel, nous faisons le constat que finalement **peu de personnes sont équipées ou utilisent un terminal numérique sur les sites de construction.**

En effet, plus de 60% des répondants à notre enquête déclarent que « 0 ou moins de 5 » personnes sont équipés sur les chantiers (voir Tableau 9).

¹ Les valeurs de référence du secteur de la construction sont fournies par mailchimp.com

A. NIVEAU D'ÉQUIPEMENT

Parmi les répondants, toutefois, 94% utilisent un ordinateur portable (voir Tableau 3), **97% utilisent un smartphone**.

La seule personne qui n'a pas répondu « smartphone » utilise toutefois « mobile + tablette ».

56% utilisent un appareil photo numérique, probablement du fait de la facilité offerte par les smartphones.

Enfin, personne n'utilise un autre terminal numérique de type lecteur de codes à barre laser ou autre.

B. TYPES D'USAGE

En se référant au Tableau 5, nous constatons que l'usage des outils numériques est principalement sur de la communication « classique » et l'échange de documents de type bureautique.

Agenda électronique, messagerie électronique, et usage bureautique sont largement utilisés plusieurs fois par jour par la totalité des répondants.

En revanche les outils métiers de gestion de projet, CAO, ERP sont quant à eux rarement utilisés ou occasionnellement.

Les outils de réunions en ligne sont boudés.

L'étude de Qian Shi (Shi, Ding, Zuo, & Zillante, 2016) montre bien également que les terminaux mobiles et l'usage de l'internet mobile se généralisent dans le secteur de la construction, mais les applications métiers intégrées semblent encore au stade de pilotes.

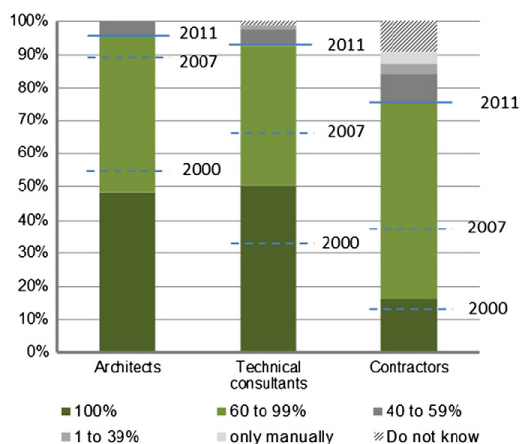


Figure 7 –documents graphiques envoyés sous forme numérique (Olle & Bo-Christer, 2013)

Nous constatons également que les échanges d'information se font de plus en plus sous forme numérique.

Notre enquête (voir Tableau 6) montre par exemple que les plans sont massivement échangés sous forme électronique (10% seulement sous forme papier).

L'étude d'Olle Samuelson (voir Figure 7 et Figure 8) le montrait également sur une population plus large que celle de notre étude.

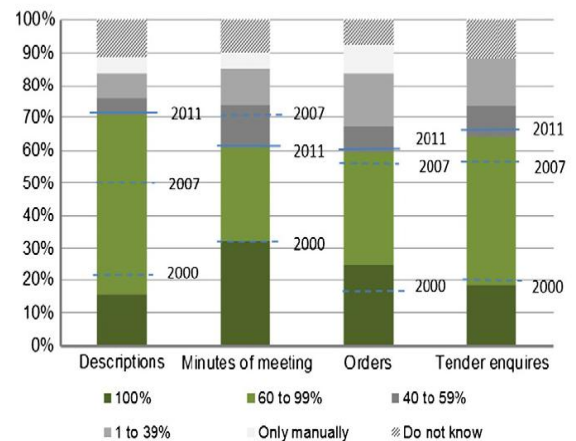


Figure 8 –types de documents envoyés sous forme numérique (Olle & Bo-Christer, 2013)

15

Cependant notre enquête montre également que les échanges numériques se font encore très majoritairement de façon non structurée, ou non intégrée dans des applications dédiées.

En effet, si on cumule toutes les catégories d'informations de notre Tableau 6, à elle seule, l'utilisation « **email + pièces jointes** » représente **70 % des usages**.

C. INTEROPERABILITE DES EQUIPEMENTS

En se penchant sur la problématique de l'interopérabilité des équipements, c'est-à-dire sur le fait que les mêmes applications sont utilisées sur plusieurs équipements (voir Tableau 4), on constate que la messagerie électronique, la navigation web et la lecture de documents PDF sont utilisées indifféremment en mobilité ou sur ordinateur.

L'agenda électronique est quant à lui un outil principalement mobile.

la tablette est utilisée comme un gros smartphone, mais peut également être le terminal dédié à une application spécialisée

Le partage de fichiers sur le cloud est très massivement utilisé, mais peu pour l'aspect "ubiquité" de l'information.

Il y a une faible utilisation des outils de réunion en ligne et quasiment exclusivement sur ordinateur seul.

A peine plus de 50% utilisent les solutions de communications IP type Skype et majoritairement sur ordinateur uniquement.

L'usage des réseaux sociaux est limité et reste une activité "smartphone" (chat).

Les applications spécialisées quant à elles ont vocation à être interopérables sur plusieurs terminaux.

D. ACCESSIBILITE SUR SITES

En ce qui concerne l'accessibilité aux outils numériques sur les chantiers, sans surprise, on constate que 100 % des chantiers sont couverts par les réseaux de communication mobile (voir le Tableau 7 page 28). En effet, les 3% de personnes n'ayant pas répondu à la question réseau téléphonie mobile ont répondu par ailleurs avoir accès à internet mobile (3G ou plus).

A partir du détail des données qui ont permis de générer ce tableau, on peut également constater que **94 % des sites de construction ont désormais un accès à internet**, que ce soit via le réseau mobile, le WIFI ou une connexion réseau haut débit.

Si on pose la question des équipements numériques disponibles sur chantier (voir Tableau 8), on voit que **sur près de 1/3 des chantiers, aucun équipement numérique n'est mis à disposition** (type imprimante, stockage de fichiers ou connexion internet).

En revanche, **sur 10 sites de construction équipés, 9 disposent d'une imprimante et 8 ont une connexion à internet**.

E. DOMAINES D'AMELIORATION ET FREINS AU CHANGEMENT

Quant aux domaines d'applications qui peuvent ou doivent être améliorés par l'apport de plus de numérique sur les chantiers (voir Figure 22 en page 30), les répondants retiennent la **gestion des documents**, le **suivi des modifications et la gestion des validations**, la **planification et le suivi de l'avancement**.

Les freins au changement (voir Tableau 12 et Figure 23) sont principalement perçus sur

les aspects de **coûts trop importants**, **d'inadéquation aux besoins** et de **trop grande complication** des solutions.

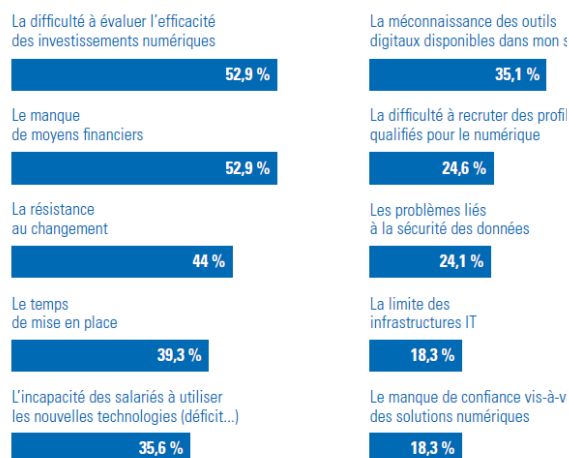


Figure 9 –principaux freins à la transformation numérique dans le secteur du BTP (KPMG, 2017)

Le cabinet KPMG dans son étude du mois de Mars 2017 pointe également les aspects économiques (coûts / investissement) et humains (compétences/ formation) comme principaux freins au changement.

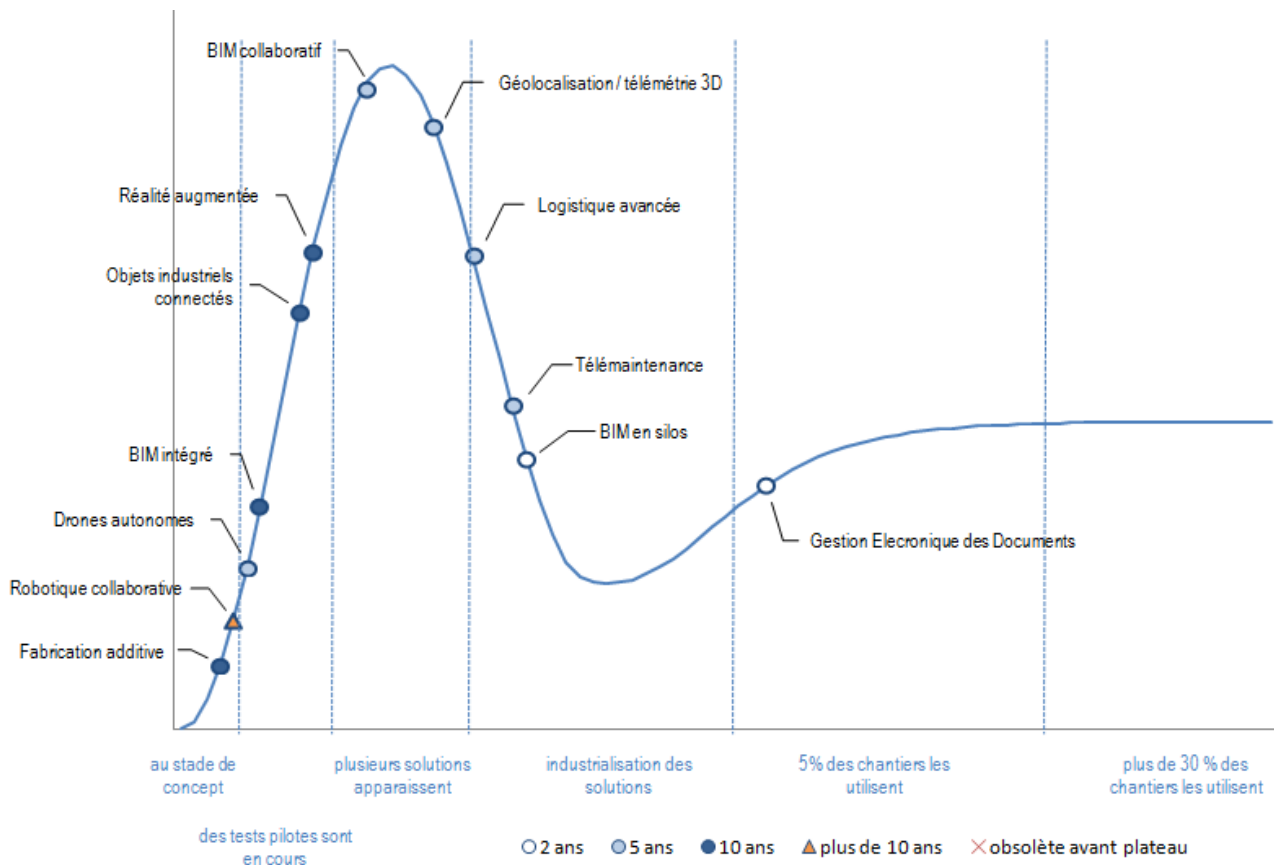


Figure 10 – courbe enthousiasme / maturité

V. VISION DU FUTUR

Concernant les questions de prospective, dans la dernière partie de notre enquête, nous avons interrogé les conducteurs de travaux et les chefs de chantiers sur leur vision et sur la maturité de différentes innovations digitales.

En reprenant le modèle proposé par le cabinet Gartner, nous avons compilé les résultats dans la Figure 10 ci-dessus.

A partir des résultats collectés, pour chaque proposition de solution digitale, nous avons calculé une moyenne du niveau de maturité actuel pondérée par le nombre de réponses.

Nous les avons ensuite positionnées sur la courbe de « hype » en fonction de ce niveau de maturité.

Une autre dimension nous permet également de représenter, à l'aide de différents symboles, l'horizon de temps auquel chaque solution atteindra le plateau de maturité où plus de 30 % des chantiers l'auront adopté.

A. GESTION ELECTRONIQUE DES DOCUMENTS (GED)

Au-delà de la dématérialisation des documents qui se met déjà en place de façon pragmatique avec l'utilisation des messageries électroniques et du partage via des plateformes de stockage dans le cloud, l'intégration d'applications dédiées permettant de gérer de façon structurée et partagée, non seulement les documents relatifs à un projet, mais aussi les données (version, statut, mot-clef...) qui y sont associées, est probablement un des domaines les plus matures et les plus attendus.

On retrouve ici des problématiques liées à la gestion du cycle de vie des projets avec le suivi des versions des différents documents. Des solutions type PLM (Product Lifecycle Management) commencent à se mettre en place pour répondre à ces besoins.

L'application spécialisée **Lascom AEC** par exemple, propose déjà d'automatiser le suivi des modifications et des validations des différents documents liés aux projets de construction. Grâce au stockage dans le cloud, elle permet une intégration des processus

de gestion documentaire dans un mode de fonctionnement collaboratif.

D'autres applications de niche apparaissent également. La plateforme d'intermédiation attestationlegale.fr propose par exemple une gestion des pièces administratives liées aux projets de construction. Au-delà même de la simple gestion des documents (stockage, partage), elle propose également des services de collecte et de mise à jour des documents administratifs auprès des sous-traitants d'un projet.

La généralisation des moteurs de recherche permet d'indexer la base documentaire, mais aussi le contenu des documents eux-mêmes.

Pour aller plus loin encore, on peut penser que l'utilisation de technologie comme l'intelligence artificielle, permettra à court terme la mise en œuvre d'algorithmes apprenants pour l'exploitation de ces documents. L'utilisation de requête en langage naturel ou la reconnaissance automatique du contenu des documents faciliteront encore davantage la recherche d'information.

B. TELEMAINTENANCE

L'instrumentation des engins de chantier couplée aux moyens de télécommunication mobile permettent aux fournisseurs d'équipements et à leurs Services Après Vente d'effectuer des diagnostics à distance.

Les équipes d'intervention peuvent désormais préparer leurs déplacements sur site et

même au-delà faire directement des opérations de télémaintenance.

Le fabricant de grues **Manitowoc** propose déjà des grues connectées via réseau GPRS ou 3G pour faciliter les interventions des équipes SAV (L'usine digitale, 2016).

Au-delà du diagnostic à distance, la collecte de données liées à l'utilisation des équipements associée à des algorithmes prédictifs de détection de panne, permettra également à terme d'effectuer des interventions de maintenance préventive en diminuant les temps d'arrêt des machines ou équipements sensibles sur les chantiers.

C. LOGISTIQUE AVANCEE

La gestion des flottes et la localisation des camions via GPS sont des applications largement déployées dans le secteur du transport et de la logistique. Une transposition dans le secteur des chantiers de construction permet d'imaginer une gestion des engins et outils spécialisés disponibles à l'échelle du site de construction.

Dans un autre registre, des plateformes B2B comme prokonect.fr proposent de louer des engins de chantiers entre professionnels et ainsi d'optimiser les temps d'occupation des différents matériels.

D'autres applications comme par exemple trafman.net permettent d'ores et déjà de gérer en mode collaboratif les plannings de livraisons sur les chantiers.



Les données récupérées par Manitowoc lui permettent d'assurer une maintenance adaptée et rapide de ses engins.

© Manitowoc

Au-delà des seules livraisons, l'intégration des plannings de fabrication des sous-traitants et une gestion informatisée des stocks des composants et matériaux utilisés sur chantier permet d'imaginer une optimisation encore plus poussées des flux logistiques.

D. GEOLOCALISATION ET TELEMETRIE 3D

Les technologies d'imagerie laser permettent déjà de générer, à partir de mesures effectuées sur site, des nuages de points et de reconstituer une image tridimensionnelle d'un bâtiment ou d'un ouvrage d'art.

Cette technique, utilisée dans le cadre d'une rénovation par exemple, permet également de recréer par logiciel une maquette numérique de l'ouvrage en identifiant les objets (murs, portes, etc.) à partir du nuage de points.

Le fabricant américain d'appareils de télémétrie laser **Trimble**, et leader mondial de la technologie GPS, a compris que l'interface entre le monde physique et le monde numérique était d'une grande importance stratégique ce qu'il l'a conduit racheter en 2012 des solutions de modélisation de bâtiment comme Sketchup, développée à l'origine par Google, ou encore l'éditeur d'outils de CAO Tekla.

A l'avenir, la géolocalisation des équipements et des personnes sur un chantier sera également une clef importante pour optimiser la logistique sur chantier ou améliorer la sécurité.

Des solutions comme les balises de positionnement utilisant la technologie BLE² qui ont

été initialement imaginées à des fins de marketing dans le commerce de détail pour permettre localiser les clients à l'intérieur des magasins, trouvent ici un nouveau potentiel de développement (Mubaloo, 2015).

E. MAQUETTE NUMERIQUE (BIM)

Un point particulier concerne la maquette numérique qui commence à se déployer depuis plusieurs années dans le secteur d'activité de la construction avec la mise en place du processus de modélisation des informations des bâtiments ou Building Information Modeling (BIM).

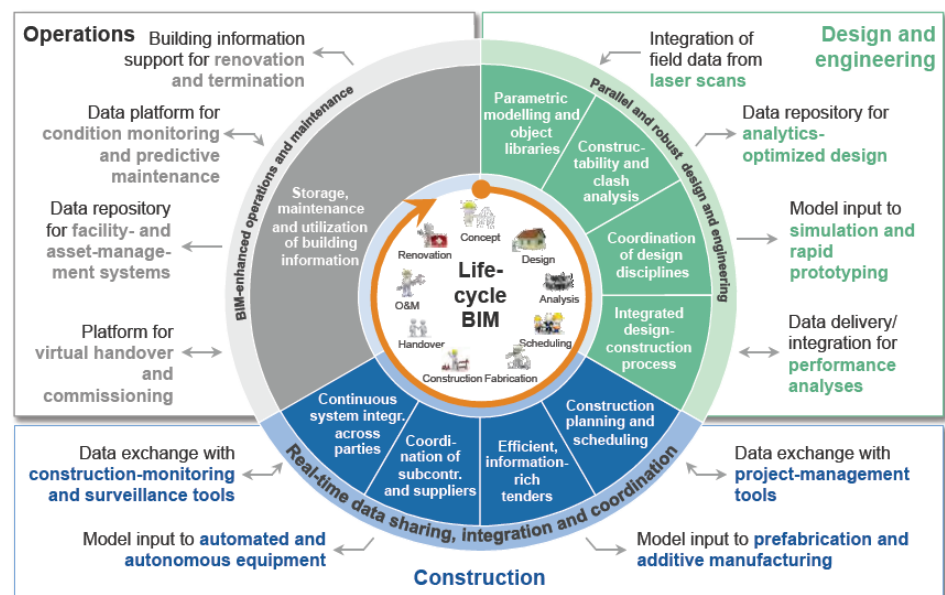


Figure 11 – applications du BIM dans un projet de construction (WEF, 2016)

Comme le montre ici la Figure 11, les applications du BIM dans les projets de constructions sont nombreuses, et concernent toutes les phases des projets.

Mais, nous constatons que le développement du BIM s'attache pour l'heure aux phases amont de conception des bâtiments et qu'en termes de maturité des outils et des acteurs, nous restons pour l'heure sur un fonctionnement encore très compartimenté dans des applications logicielles en silo.

C'est pourquoi, dans notre graphique, nous avons séparé les 3 niveaux de maturité : utilisation isolée, collaborative, puis BIM intégré (voir Figure 12).

Le niveau de maturité actuel d'utilisation des outils BIM se situerait quelque part entre le niveau 1 et le niveau 2.

² BLE = Bluetooth Low Energy

L'usage collaboratif de la maquette numérique n'est pas encore généralisé. Il se fait encore beaucoup via un export du modèle (comme le permet par exemple le format de données standardisé IFC³) mais rarement dans les deux directions à des fins de mises à jours / consolidation de la maquette.

D'autre part, comme le montre le « baromètre BIM » (PTNB, 2016) le BIM n'est utilisé que par 11% des acteurs du secteur, et en majorité par les entreprises de maîtrise d'œuvre (architectes, bureau d'études...).

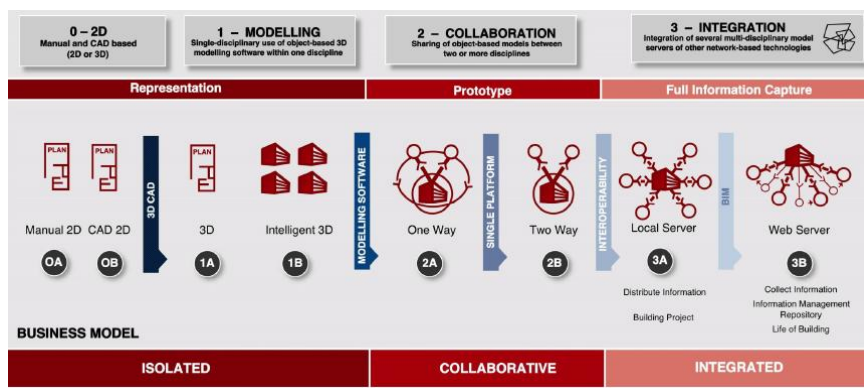


Figure 12 - niveaux de maturité BIM (Gkoumas, 2015)

Pour beaucoup le BIM ne correspond encore qu'à l'aspect conception 3D des bâtiments (Olle & Bo-Christer, 2013) alors que les promesses de gains de productivité et de qualité nécessitent que l'on s'attache non seulement aux outils (logiciels), mais également aux processus de collaboration.

Les notions de BIM 4D et 5D, pour ajouter les dimensions temps et coût à la maquette numérique, ne semblent pas encore bien clairement définies et abouties bien qu'elles représentent une des clefs de la transformation du secteur (MPSC, 2016).

D'autres développements, comme l'utilisation d'un format dédié aux échanges et à la collaboration autour de la maquette numérique (format d'échange de données BCF⁴) montrent que la différenciation du type d'information au sein la maquette améliore la qualité de la collaboration en réduisant le volume des données qui transitent entre les applications (Berlo & Krijnen, 2014).

³ IFC = Industry Foundation Class format de données permettant l'interopérabilité de la maquette numérique en décrivant de manière standardisée la structure du modèle

⁴ BCF = BIM Collaboration Format

Le suivi de l'avancement, mais aussi le contrôle qualité et le suivi des réceptions de travaux, avec la gestion des réserves, sont parmi les axes de développements les plus attendus sur les chantiers et une des cas d'usage les plus prometteurs de la collaboration autour de la maquette numérique (FINALCAD, 2016).

Pourtant, dans leur étude « IT Barometer » (Olle & Bo-Christer, 2013) qui mesure le niveau d'adoption des outils numériques dans le secteur de la construction en Suède,

nous voyons que les priorités des investissements dans le numérique sont d'abord axées sur la gestion et l'échanges des documents et sur la mobilité. Le BIM n'arrivait qu'en 9^{ème} position des priorités d'investissement.

Outre les aspects de coût et de compétences techniques, le

principal frein à l'adoption et à la généralisation de cet outil semble venir du fait qu'il faut enrichir la maquette numérique d'autres données que les informations géométriques que l'on retrouve classiquement sur des documents de conception, et que les personnes qui renseignent ces données ne sont pas directement celles qui vont les exploiter, ou même qu'elles seront exploitées dans des phases du cycle de vie du bâtiment très ultérieures à celles de la conception. La valeur portée par la donnée n'est pas directement à destination de la personne qui en porte la charge.

F. REALITE AUGMENTEE

Afin d'accéder à l'information directement sur site, des solutions proposent d'utiliser la technique de réalité augmentée pour afficher les données, issues de la maquette numérique ou non, dans le contexte de l'utilisateur.

Des afficheurs tête haute (HUD = Head Up Display) sont déjà utilisés depuis de nombreuses années pour des applications militaires ou plus récemment dans l'automobile. A un horizon plus ou moins court, des applications industrielles seront proposées pour permettre par exemple au grutier de visualiser directement sur le pare-brise de sa ca-

bine des informations relatives aux opérations de manutention qu'il est en train d'exécuter.

A l'image des casques de réalité virtuelle ou même des lunettes connectées imaginés pour le grand public, la société **DAQRI** développe un casque de réalité augmentée qui permet, par exemple, d'afficher sur la visière des informations issues d'une caméra thermique embarquée ou même des instructions liées à un mode opératoire.



Casque de réalité augmentée développé par la société DAQRI

De façon plus pragmatique et peut-être un peu moins futuriste, **Bouygues Construction** a imaginé et déjà expérimenté sur chantier un système de projection laser pour permettre de positionner in situ, et avec une plus grande précision, les mannequins sur les banches de coffrage.

G.OBJETS INDUSTRIELS CONNECTES

Les réseaux de communication à bas débit comme **LoRA** ou **SigFox** sont bien adaptés à l'internet des objets. Cela permet d'imaginer que les applications de supervision de process, jusque là réservées aux installations industrielles nécessitant le câblage de bus de terrain, pourront s'étendre à des sites distants et éphémères tels que les chantiers de construction.

L'acquisition de données de process directement issues des sites de construction permettra par exemple d'intégrer dans des applications de planification détaillée les états d'avancement, ou de gérer plus efficacement les approvisionnements en matériaux ou

composants grâce à une meilleure vision des niveaux de stock sur site.

Nous l'avons vu précédemment, les objets industriels connectés permettront également d'effectuer des télédiagnostics sur les installations et faciliteront la maintenance des équipements.

Enfin, la sécurité sur site sera également un domaine d'application important des objets connectés. L'incubateur **e-Lab (Bouygues Construction)** a par exemple prototypé un casque de chantier connecté favorisant la communication sur chantier.

H.DRONES AUTONOMES

La technologie de prise de vue aérienne grâce à des drones autonomes se développe sur les chantiers, et des applications de relevés topographiques des sites et de suivi des travaux ou de gestion des stocks sur chantier se mettent déjà en place.

L'équipementier **Caterpillar** a récemment passé un accord avec la société **Redbird** spécialisée dans l'acquisition et l'analyse de données par voie aérienne, pour développer des solutions adaptées aux chantiers de génie civil.

En embarquant des capteurs de télémétrie 3D sur des drones, les engins de terrassement peuvent être guidés dans leurs positionnements sur site de façon plus précise qu'avec un récepteur GPS.

D'autres entreprises utilisent des caméras thermiques embarquées pour effectuer des diagnostics d'isolation thermique d'un bâtiment avant et après une rénovation par exemple.

Pour aller plus loin que la prise de vue aérienne, des laboratoires de recherche (CNRS, 2017) développent actuellement des prototypes de robots aériens qui permettront d'effectuer des opérations grâce à des bras manipulateurs. On peut imaginer des dispositifs de manutention pour acheminer par les airs des matériaux ou des équipements.

Cependant, les cas d'usage restent limités et la mise en œuvre semble encore un peu trop compliquée pour pouvoir imaginer un déploiement à grande échelle. D'autant plus que se pose des problématiques de sécurité pour une utilisation en ville, sur des sites de construction où de nombreux opérateurs vont et viennent.

I. ROBOTIQUE COLLABORATIVE

A la manière du concept de « crabot » (pour « crane robot », ou robot grue) imaginé en 2015 par Google pour la construction de son nouveau campus, le futur des chantiers verra l'arrivée de robots autonomes qui assisteront les opérateurs dans l'exécution de tâches répétitives, pénibles ou dangereuses.



Modèle de grue araignée précurseur du concept de « crabot », robot-grue imaginé par Google ?

Des prototypes de robots mobiles sont déjà expérimentés. **Fastfabricks Robotics**, une société australienne propose par exemple une solution pour la construction de maisons individuelles.

D'autres projets, plus au stade de concept concernent par exemple la déconstruction. Pour son mémoire de formation le designer **Omer Haciomeroglu**, a imaginé le projet **ERO** en collaboration avec le groupe industriel suédois **Atlas Copco**, fabricant de compresseurs et d'équipements de chantier. Il s'agit d'un robot qui sera capable, par un procédé d'érosion par jet d'eau à haute pression, de séparer les composants d'un bâtiment en béton armé lors de la déconstruction et de recycler directement les gravats.

Toutefois, beaucoup de ces projets de robotique avancée pour les chantiers de BTP restent pour l'heure des concepts, qui proposent un niveau de sophistication qui semble encore loin de la réalité du terrain.

J. FABRICATION ADDITIVE

D'autres prototypes de machines exploitent la technologie de fabrication additive pour

construire des bâtiments ou des parties de bâtiments.

La fabrication additive permet de produire n'importe quelle pièce par addition de matière sans nécessiter la fabrication d'un moule ou d'un coffrage.

Encore au stade de « proof of concept » ces applications semblent adaptées pour le secteur de la construction car finalement comme chaque bâtiment est unique, il nécessite la production de pièces ou d'éléments spécifiques dont certains peuvent être compliqués à fabriquer.

L'impression 3D peut également offrir un moyen simple d'adapter ou corriger au dernier moment la forme d'une pièce pour s'adapter à une reconfiguration tardive de conception du bâtiment.

Un autre argument développé en faveur de la fabrication additive est l'aspect « zéro déchet », ou tout au moins économie en matière première car ne nécessitant pas de coffrage par exemple.

Bien que la construction de bâtiments complets par ce type de procédé fasse l'objet d'expérimentations, une maison individuelle a par exemple été récemment fabriquée directement sur site grâce à un système d'impression en 3D par la société russe **apis cor**, il est plus probable que la fabrication additive ne soit utilisée que pour la production d'éléments préfabriqués qui seront par la suite posés sur le site du chantier.

VI. CONCLUSION

Comme nous l'avons vu dans ce rapport, pour les chantiers de construction les innovations technologiques liées au numérique représentent un facteur important de transformation des modes de production.

Cependant nous remarquons qu'il existe deux mondes très distincts. Selon que l'on soit une entreprise générale du bâtiment major ou une PME à taille régionale, les moyens et les enjeux de transformation ne seront pas au même niveau.

La première sera focalisée sur un changement et une optimisation globale de ses méthodes de travail et cherchera à mettre en place de réelles usines à bâtiments.

Tandis que la seconde, qui n'a pas (encore) la structure organisationnelle pour repenser de façon globale ses processus de production, sera plus intéressée à résoudre ses problèmes du quotidien.

Dans les deux cas cependant, la transformation numérique arrivera par des outils d'efficacité.

L'usage avancé des systèmes d'information intégrés sur les chantiers sera probablement tiré par les enjeux qualitatifs. En effet, aujourd'hui encore trop de chantiers passent du temps à résoudre des problèmes de conception.

C'est peut-être lié à une caractéristique intrinsèque à ce secteur d'activité qui fait que chaque projet de construction consiste à fabriquer un nouveau prototype à chaque fois.

Un raisonnement de gestion de production industrielle à l'échelle globale de tout un écosystème a du mal à s'adapter à cette logique. Le sur-mesure et la relation contractuelle, basée pour l'essentiel sur de l'humain et des luttes de pouvoir, sont au cœur du fonctionnement du secteur.

Un autre facteur « aggravant » par rapport à l'adoption des outils numériques, est un mode de communication basé sur une transmission orale des informations (le mode oral représente 95 % des échanges sur chantier). La culture n'est pas à l'écrit.

Au cours des différentes phases d'un projet de construction : conception, production et exploitation, le jeu d'acteurs est rebattu à chaque étape. Les enjeux ne sont pas les

mêmes et les relations contractuelles qui existent entre donneurs d'ordres et sous-traitant viennent polluer encore un peu plus les échanges.

D'autre part, on retrouve entre partenaires une fracture majeure entre les bureaux d'études, ou plus largement les phases amont de conception, et les équipes de mise en œuvre sur le terrain.

Bien avant l'apport pour les phases aval d'exploitation des bâtiments, un des enjeux cruciaux du BIM et de la maquette numérique reste une amélioration de la conception grâce à plus de coopération et de collaboration dans ces phases amont.

Toutefois, le BIM sur les chantiers offre un réel intérêt grâce au partage d'information dans un mode collaboratif. C'est une opportunité très forte d'améliorer de façon significative deux processus essentiels que sont le contrôle qualité et le suivi de l'avancement.

Sur ce dernier point, le domaine qui reste le plus à développer reste celui de la logistique chantier en lien très étroit avec la préparation et la planification des opérations.

Malheureusement, l'interopérabilité des logiciels BIM actuels reste encore limitée car aucune réelle approche systémique n'a été faite de l'ensemble du processus de collaboration.

Le travail collaboratif, autour de la maquette numérique, mais pas seulement, se heurte rapidement aux problématiques de gestion des droits et des accès, conséquences des aspects contractuels liés au projet.

Revoir cette relation contractuelle en repensant le mode de partage des responsabilités semble être un pré-requis indispensable mais c'est un Everest à lui tout seul.

Pour avancer malgré tout, la clef de la transformation numérique semble être l'hybridation de l'innovation par les usages personnels de chacun.

En effet, l'individu doit pouvoir imaginer lui-même l'usage qu'il fera de ses outils numériques, et ne pas se voir imposer une solution qui sera trop sophistiquée voire inutile à ses yeux.

Il est difficile de percevoir les finalités et les enjeux liés au système d'information de tout un écosystème.

VII. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ARCEP. (2015). *Baromètre du numérique*.

Berlo, L. v., & Krijnen, T. (2014). Using the BIM Collaboration Format in a server based workflow. *Procedia Environmental Sciences* .

CNRS. (2017, Février 23). *Les premiers pas de la robotique aérienne*. Consulté le 04 12, 2017, sur <https://lejournel.cnrs.fr/articles/les-premiers-pas-de-la-robotique-aerienne>

EGF.BTP. (2017, Mars 28). *Le BIM pour construire - cas d'usage en phase chantier*. Consulté le 05 15, 2017, sur Entreprises Générales de France.BTP: http://www.egfbtp.com/sites/default/files/egf_btp_bim_28_mars_17.pdf

Fédération Française du Bâtiment. (2015, Septembre). *Lean Construction*. Consulté le Mars 9, 2017, sur [ffbatiment.fr](http://www.ffbatiment.fr): http://www.ffbatiment.fr/federation-francaise-du-batiment/laffb/mediatheque/batimetiers.html?ID_ARTICLE=2321

FINALCAD. (2016). *Mettre des bottes au BIM*.

Gimélec. (2014). *Industrie 4.0 : les leviers de la transformation*. Paris: Groupement des industries de l'équipement électrique, du contrôle-commande et des services associés.

Gkoumas, K. (2015, 12 17). *CM - An introduction to Building Information Modelling (BIM)*. Consulté le 05 11, 2017, sur [Slideshare.net](https://www.slideshare.net/franco_bontempi_org_didattica/cm-an-introduction-to-building-information-modelling-bim): https://www.slideshare.net/franco_bontempi_org_didattica/cm-an-introduction-to-building-information-modelling-bim

KPMG. (2017). *Les entreprise de BTP au rendez-vous de la transformation numérique*.

Lascom. (2014). *Livre blanc : la gestion des flux documentaires et des documents dans les projets d'ingénierie*.

L'usine digitale. (2016, 02 25). *Pourquoi Manitowoc connecte ses grues*. Consulté le 05 19, 2017, sur <http://www.usine-digitale.fr/article/pourquoi-manitowoc-connecte-ses-grues.N376013>

MGI. (2017). *Reinventing construction: a route to higher productivity*. McKinsey Global Institute.

MPSC. (2016). *Imagining construction's digital future*. Singapore: McKinsey Productivity Sciences Center.

Mubaloo. (2015, Avril). *Beacons in enterprise : the opportunities*. Consulté le 05 17, 2017, sur Mubaloo innovation lab: <http://mubaloo.com/wp-content/uploads/2015/04/Mubaloo-MiBeacons-in-Enterprise-2015-.pdf>

Olle, S., & Bo-Christer, B. (2013). A longitudinal study of the adoption of IT technology in the Swedish building sector. *Automation in Construction* .

Osterwalder, A., Pigneur, Y., Bernarda, G., & Smith, A. (2015). *La méthode Value Proposition Design*. France: Pearson.

PTNB. (2016). *Le BIM dans le secteur du BTP*. Plan Transition Numérique dans le Bâtiment.

Shi, Q., Ding, X., Zuo, J., & Zillante, G. (2016). Mobile internet based construction supply chain management: A critical review. *Automation in Construction* .

WEF. (2016). *Shaping the Future of Construction: A Breakthrough in Mindset and Technology*. World Economic Forum. Genève: World Economic Forum.

VIII. ANNEXES

Entre le 10 et le 30 avril 2017 les données issues de la campagne emailing, des analyses des visites du site web dédié et du sondage en ligne ont été collectées. Les différentes mesures faites sont mises à disposition ci-après.

A. CAMPAGNE EMAILING

Nous avons utilisé une base de données de près de 3000 adresses électroniques constituée des contacts de type « conducteur de travaux » ou « chef de chantier » créés depuis 2014 pour les livraisons de produits préfabriqués spécifiques effectuées par le groupe KP1.

Tableau 1 - Taux de réponse de la campagne emailing

	Envois	ouverts	clics	rebonds	désinscriptions
enquête BTP 4.0	2978	743	53	521	27
		24,9%	1,8%	17,5%	0,9%
référentiel secteur AEC (Architectural Engineering & Construction) ⁵		17,8%	1,8%		

B. COMPORTEMENTS SUR LE SITE WEB DEDIE

Le site web permet l'enregistrement du comportement des visiteurs et notamment le survol et le clic sur les différentes zones de l'image « chantier du futur » représentant les différentes opportunités d'innovation.

Tableau 2 - Analyse des visites du site web

Libellé d'événement	Survol	Survol unique	Taux survol multiple	Clic	Clic unique	Taux clic multiple
drone	51	39	24%	16	14	13%
fabrication additive	50	28	44%	25	19	24%
géolocalisation 3D	62	33	47%	10	9	10%
gestion des cycles de vie	62	33	47%	15	14	7%
gestion électronique des documents	73	34	53%	15	12	20%
logistique avancée	49	29	41%	12	10	17%
machines communicantes	71	37	48%	20	16	20%
maquette numérique (BIM)	60	32	47%	8	7	13%
objets industriels connectés	58	32	45%	12	9	25%
planification intégrée	97	42	57%	15	13	13%
réalité augmentée	52	36	31%	22	17	23%
robotique collaborative	62	32	48%	10	9	10%
robots d'assistance physique	72	35	51%	19	13	32%
télémaintenance	55	26	53%	11	9	18%

⁵ Ces valeurs de référence sont fournies par mailchimp.com

C. ENQUETE EN LIGNE

1. PROFILS DES REpondANTS

Le sondage en ligne a permis de recueillir 34 réponses entre le 10 et le 30 avril 2017.

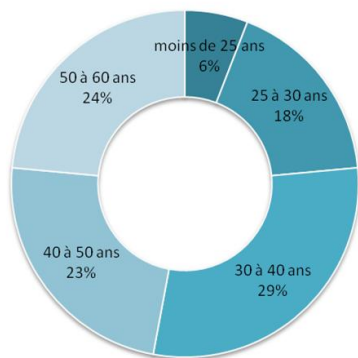


Figure 13 – âge des répondants

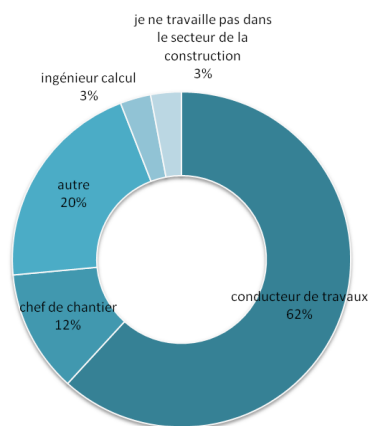


Figure 14 – profession des répondants

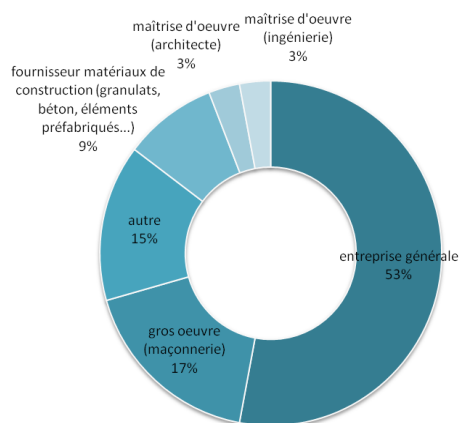


Figure 15 – type d'entreprise

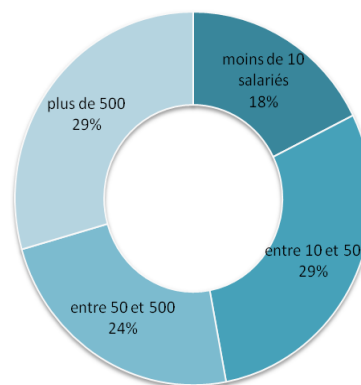


Figure 16 – taille d'entreprise

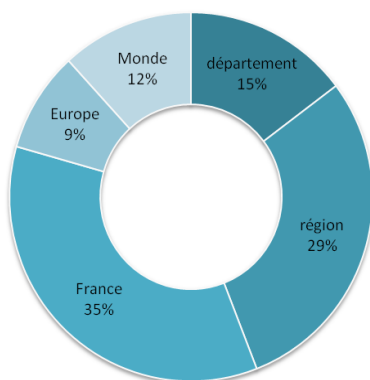


Figure 17 – couverture géographique

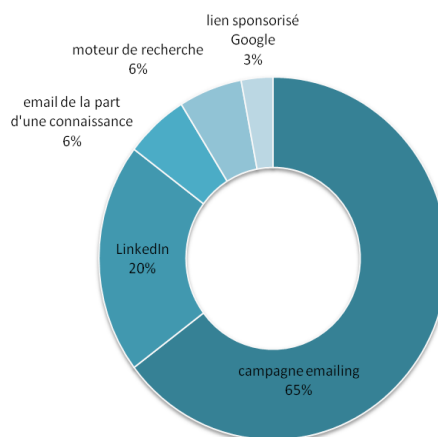


Figure 18 – source d'accès au sondage

2. LES USAGES DU NUMERIQUE

Cette rubrique du sondage a pour vocation de comprendre le niveau de maturité des utilisateurs vis-à-vis des outils numériques.

Tableau 3 - Dans votre travail, quels outils numériques utilisez-vous régulièrement⁶ ?

ordinateur de bureau	ordinateur portable	téléphone portable	smartphone	oreillette bluetooth	webcam / appareil photo	tablette	autre terminal
14	32	14	33	4	19	16	0
41%	94%	41%	97%	12%	56%	47%	0%

Tableau 4 - Utilisez-vous ces applications (à titre professionnel) sur plusieurs équipements⁷ ?

	Nombre de réponses par ligne	smartphone + ordinateur et/ou tablette	smart-phone + ordinateur	ordina-teur unique-ment	smart-phone unique-ment	tablette unique-ment
messagerie électronique	33	30%	58%	6%	6%	0%
agenda électronique	29	24%	66%	0%	10%	0%
lecteur PDF	33	33%	45%	12%	9%	0%
navigateur web	32	34%	56%	6%	3%	0%
stockage et échange de fichiers (Dropbox, One Drive...)	30	23%	13%	60%	3%	0%
réunions en lignes (Webex, Adode connect...)	16	13%	13%	75%	0%	0%
outil de communication (Skype, FaceTime...)	19	21%	11%	37%	32%	0%
réseau social (Facebook, Twitter, LinkedIn...)	23	22%	26%	17%	35%	0%
application(s) spécialisée(s)	25	28%	28%	28%	12%	4%

Tableau 5 - Quelle utilisation faites-vous des logiciels ou applications suivants⁸ ?

	Nombre de réponses par ligne	plusieurs fois par jour	une fois par jour	occa-sionnel-lement	rarement
SMS et MMS	34	79%	9%	12%	0%
messagerie électronique	34	94%	3%	3%	0%
agenda électronique	34	71%	15%	6%	9%
bureautique (Word, Excel...)	34	94%	3%	0%	3%
gestion de projet (MS Project...)	26	19%	15%	42%	23%
progiciel de gestion intégré (SAP, Navision...)	19	16%	16%	21%	47%
CAO (en modification)	25	28%	16%	8%	48%
outil BIM (visionneuse ou annotations)	20	5%	10%	30%	55%
stockage et échange de fichiers (Dropbox, One Drive...)	30	20%	17%	53%	10%

⁶ Pourcentage du nombre de répondants au sondage (plusieurs réponses possibles)

⁷ Pourcentage du nombre de réponses à chaque ligne (0 à 1 réponse par ligne)

⁸ Pourcentage du nombre de réponses à chaque ligne (0 à 1 réponse par ligne)

	Nombre de réponses par ligne	plusieurs fois par jour	une fois par jour	occasionnellement	rarement
réunions en lignes (Webex, Adode connect...)	22	9%	5%	27%	59%
outil de communication (Skype, Face-Time...)	24	17%	13%	25%	46%
réseau social (Twitter, LinkedIn...)	26	23%	15%	31%	31%
commande vocale (Siri, Cortana...)	23	17%	0%	17%	65%
application(s) spécialisée(s)	24	46%	8%	33%	13%

Tableau 6 - En général, comment échangez-vous ces différents types d'information⁹ ?

	Nombre de réponses par ligne	dans un logiciel dédié	plate-forme web	partage réseau interne	email + pièce jointe	SMS	impression papier
confirmation d'un rendez-vous	33	9%	6%	0%	76%	9%	0%
compte-rendu de réunion	34	0%	6%	0%	94%	0%	0%
validation, signature	30	13%	3%	0%	67%	0%	17%
plan	31	10%	6%	10%	65%	0%	10%
documentation, notice...	32	6%	6%	9%	75%	0%	3%
pièce administrative, réglementaire	32	0%	9%	13%	63%	0%	16%
bon de commande	33	12%	3%	3%	73%	0%	9%
bon de réception	30	7%	3%	3%	63%	0%	23%
facture	32	13%	3%	3%	56%	0%	25%

3. SUR LES CHANTIERS

Tableau 7 - Quels types de communication sont accessibles en général¹⁰ ?

non concerné	téléphonie fixe	téléphonie mobile	fax	connexion internet haut débit	internet mobile (3G ou plus)	WIFI privé	WIFI public	Autre
3	3	30	3	14	25	12	3	1
sans 'non concerné'	10%	97%	10%	45%	81%	39%	10%	3%

Tableau 8 - Quels équipements sont disponibles sur site¹¹ ?

non concerné	aucun	réseau informatique (filaire ou WIFI)	stockage / partage de fichiers	imprimante	imprimante multifonction (scanner, fax...)	traceur
6	9	16	8	17	14	4
sans 'non concerné'	32%	57%	29%	61%	50%	14%
sans 'aucun'		84%	42%	89%	74%	21%

⁹ Pourcentage du nombre de réponses à chaque ligne (0 à 1 réponse par ligne)

¹⁰ Pourcentage du nombre de répondants au sondage sans « non concerné » (plusieurs réponses possibles)

¹¹ Pourcentage du nombre de répondants sans « non concerné » ou « aucun » (plusieurs réponses possibles)

Tableau 9 - Combien de personnes ou de machines sont équipés et utilisent des terminaux numériques (ordinateur, tablette, écran tactile, smartphone...) ?

non concerné	Aucun	moins de 5	de 5 à 10	de 10 à 30	plus de 30
4	3	16	5	4	2
sans 'non concerné'	10%	53%	17%	13%	7%

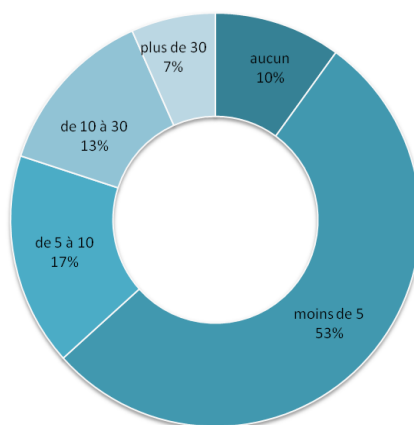


Figure 19 - personnes ou équipements disposant d'un terminal numérique

29

Tableau 10 - Selon vous, combien de capteurs électroniques mesurent des données sur le chantier ?

non concerné	aucune idée	zéro	moins de 5	de 5 à 20	de 20 à 50
10	9	4	7	3	1
sans 'non concerné'	38%	17%	29%	13%	4%

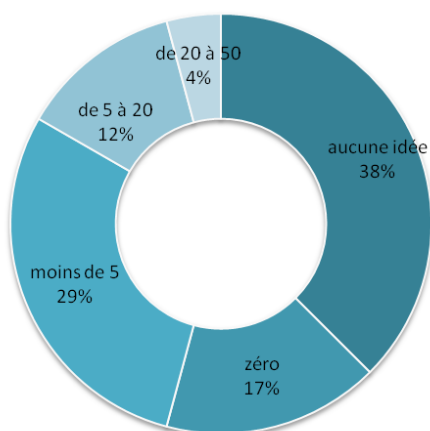


Figure 20 – capteurs électroniques

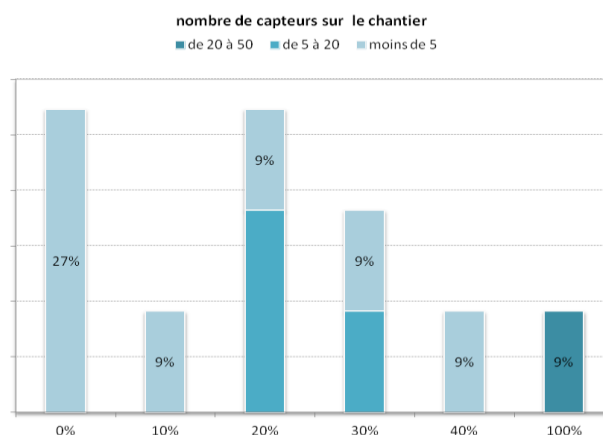


Figure 21 – capteurs connectés à internet

4. LA VISION DU FUTUR

Tableau 11 - Parmi cette liste, sélectionnez les 3 domaines qui selon vous peuvent/doivent être fortement améliorés par l'apport de plus de "numérique" ?¹²

communication et échanges d'informations avec les partenaires du chantier	communication sur le site du chantier	gestion administrative et réglementaire	gestion de stock sur site : matériaux, outillage, flotte d'engins...	gestion des approvisionnements et des achats	gestion des documents (plans, DTU, compte-rendus, documentation de mise en oeuvre ou de pose...)	gestion des ressources humaines	planification du projet, coordination des opérations et suivi de l'avancement	préparation et organisation du chantier avant son démarrage	sécurité, gestion des risques et des aléas	suivi des modifications, levée des réserves et gestion des validations
10	8	6	7	4	16	1	14	12	2	15
11%	8%	6%	7%	4%	17%	1%	15%	13%	2%	16%

30

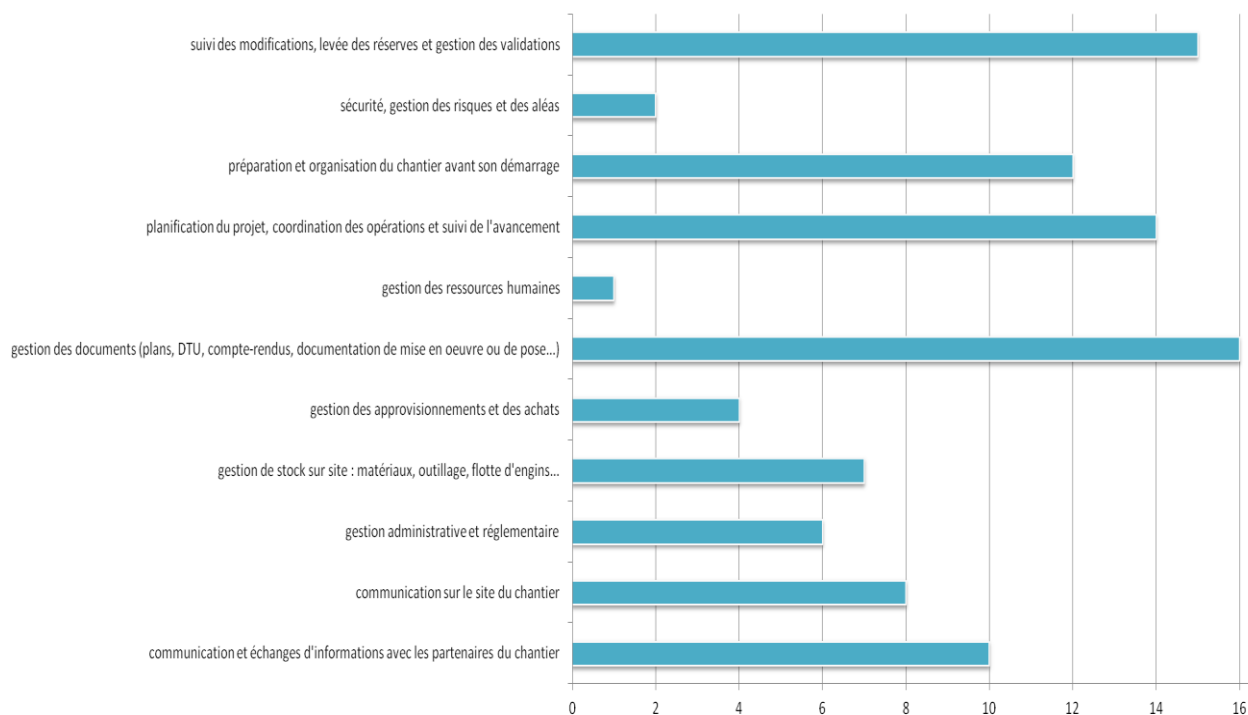


Figure 22 – domaines d'amélioration de l'usage du numérique sur les chantiers

¹² Pourcentage du nombre total de réponses (0 à 3 réponses possibles par répondant)

Tableau 12 - Parmi cette liste, quels sont selon vous les 3 principaux freins au développement du numérique sur les chantiers ?¹³

Autre	pas assez sûr en terme de sécurité de l'information	pas suffisamment de bénéfices à moyen ou long terme	pas suffisamment de bénéfices au quotidien	systèmes / logiciels pas adaptés aux conditions d'opération	systèmes / logiciels pas adaptés aux vrais besoins de terrain	systèmes / logiciels trop souvent indisponibles (panne, temps de réponse...)	trop cher	trop chronophage	trop compliqué
4	2	1	4	5	14	7	18	11	13
5%	3%	1%	5%	6%	18%	9%	23%	14%	16%

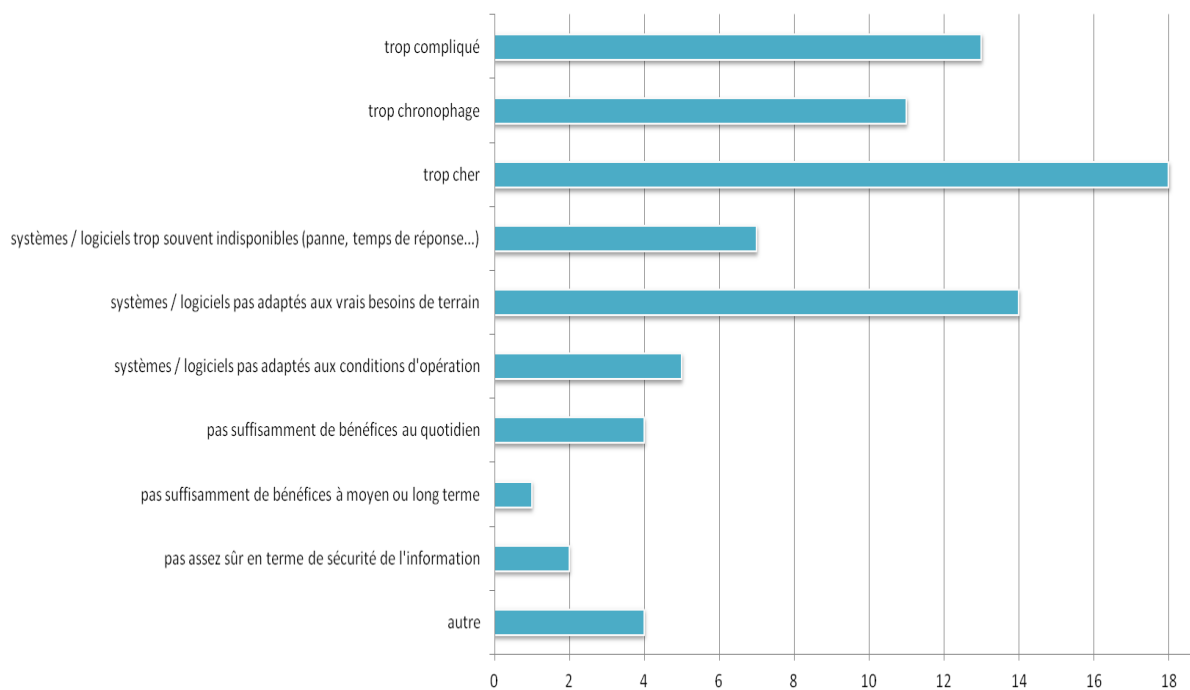


Figure 23 – principaux freins au développement du numérique

¹³ Pourcentage du nombre total de réponses (0 à 3 réponses possibles par répondant)

Tableau 13 - quelle est la pertinence des propositions de solutions ci-après ?¹⁴

	inutile / gadget		améliorerait votre travail quotidien		voie d'amélioration majeure		indispensable		(vide)
	nb de réponses	répartition des réponses non vides	nb de réponses	répartition des réponses non vides	nb de réponses	répartition des réponses non vides	nb de réponses	répartition des réponses non vides	nb de réponses
BIM (maquette numérique)	4	13%	8	26%	14	45%	5	16%	3
Gestion électronique des documents (GED)	3	10%	8	26%	8	26%	12	39%	3
Logistique avancée	1	4%	9	39%	8	35%	5	22%	11
Télémaintenance	4	17%	13	57%	3	13%	3	13%	11
Objets industriels connectés	7	33%	9	43%	4	19%	1	5%	13
Robotique collaborative	9	39%	8	35%	6	26%	0	0%	11
Drones autonomes	11	44%	7	28%	7	28%	0	0%	9
Géolocalisation / télémétrie 3D	3	10%	8	28%	13	45%	5	17%	5
Réalité augmentée	12	46%	5	19%	7	27%	2	8%	8
Fabrication additive	11	50%	5	23%	5	23%	1	5%	12

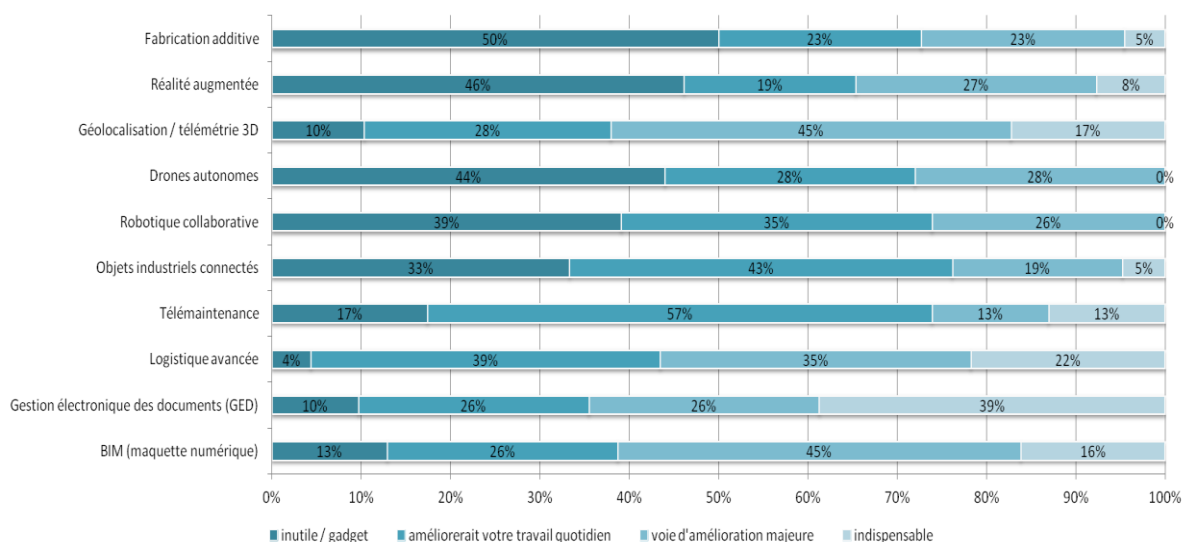


Figure 24 – pertinence des propositions d'innovations

¹⁴ Pourcentage du nombre de réponses par ligne (0 à 1 réponse par ligne)

Tableau 14 - quel est le niveau de maturité actuel des propositions ci-après ?¹⁵

	au stade de concept		des tests pilotes sont en cours		plusieurs solutions apparaissent		industrialisation des solutions		5% des chantiers l'utilisent		plus de 30% des chantiers l'utilisent		(vide)
	nb de réponses	répartition des réponses non vides	nb de réponses	répartition des réponses non vides	nb de réponses	répartition des réponses non vides	nb de réponses	répartition des réponses non vides	nb de réponses	répartition des réponses non vides	nb de réponses	répartition des réponses non vides	nb de réponses
BIM (maquette numérique)	10	30%	7	21%	4	12%	2	6%	9	27%	1	3%	1
Gestion électronique des documents (GED)	6	23%	1	4%	4	15%	3	12%	6	23%	6	23%	8
Logistique avancée	10	50%	0	0%	5	25%	1	5%	4	20%	0	0%	14
Télémaintenance	11	52%	1	5%	2	10%	2	10%	1	5%	4	19%	13
Objets industriels connectés	12	55%	2	9%	4	18%	0	0%	4	18%	0	0%	12
Robotique collaborative	11	55%	4	20%	2	10%	2	10%	0	0%	1	5%	14
Drones autonomes	13	59%	3	14%	5	23%	1	5%	0	0%	0	0%	12
Géolocalisation / télémétrie 3D	11	39%	2	7%	7	25%	2	7%	5	18%	1	4%	6
Réalité augmentée	14	58%	7	29%	1	4%	2	8%	0	0%	0	0%	10
Fabrication additive	15	75%	3	15%	0	0%	2	10%	0	0%	0	0%	14

¹⁵ Pourcentage du nombre de réponses par ligne (0 à 1 réponse par ligne)

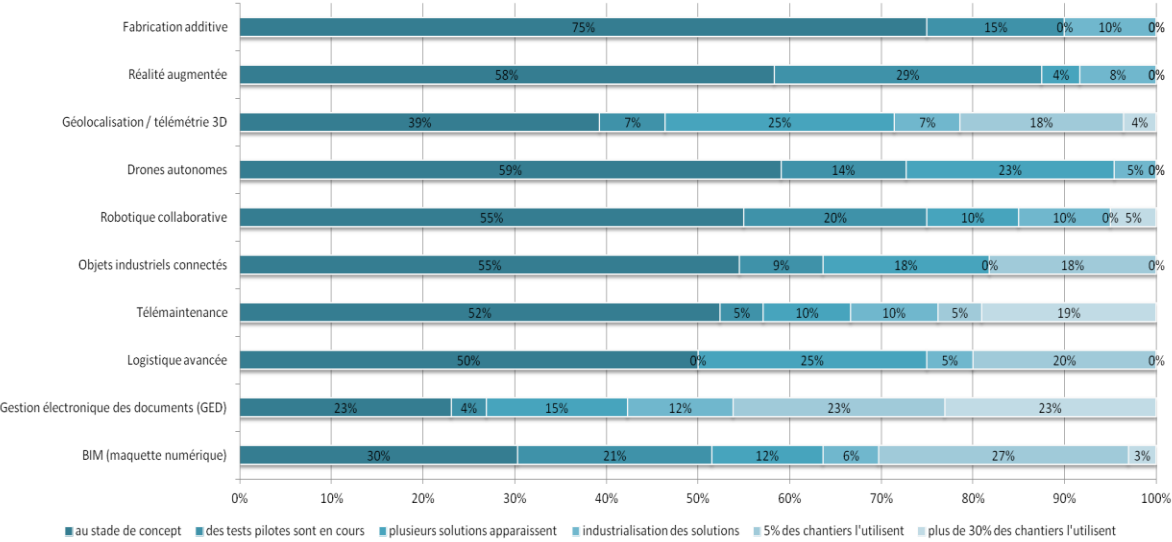


Figure 25 – niveau de maturité actuel des propositions d’innovations

Tableau 15 - à quel horizon les solutions ci-après seront répandues sur plus de 30 % des chantiers ?¹⁶

	moins de 2 ans		5 ans		10 ans		plus de 10 ans		jamais		(vide)
	nb de réponses	répartition des réponses non vides	nb de réponses	répartition des réponses non vides	nb de réponses	répartition des réponses non vides	nb de réponses	répartition des réponses non vides	nb de réponses	répartition des réponses non vides	nb de réponses
BIM (maquette numérique)	11	34%	15	47%	6	19%	0	0%	0	0%	2
Gestion électronique des documents (GED)	15	54%	10	36%	3	11%	0	0%	0	0%	6
Logistique avancée	4	20%	8	40%	7	35%	1	5%	0	0%	14
Télémaintenance	3	15%	6	30%	6	30%	4	20%	1	5%	14
Objets industriels connectés	4	17%	7	29%	8	33%	5	21%	0	0%	10
Robotique collaborative	1	5%	4	21%	8	42%	6	32%	0	0%	15
Drones autonomes	1	5%	8	38%	8	38%	1	5%	3	14%	13
Géolocalisation / télémétrie 3D	10	38%	8	31%	7	27%	1	4%	0	0%	8
Réalité augmentée	2	9%	5	22%	8	35%	4	17%	4	17%	11
Fabrication additive	4	21%	2	11%	7	37%	3	16%	3	16%	15

35

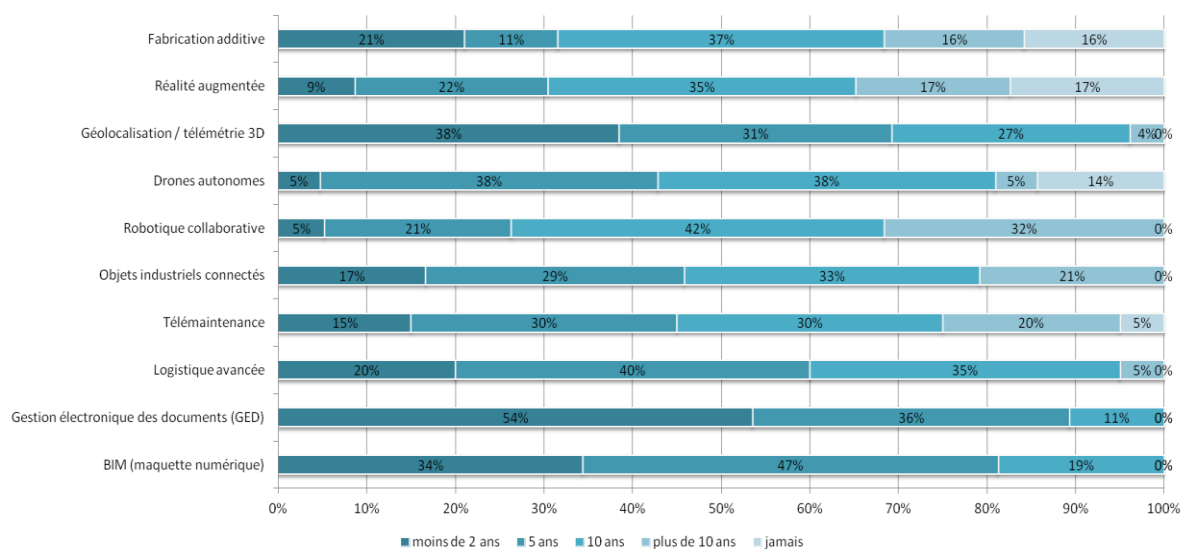


Figure 26 – horizon futur des propositions d'innovations

¹⁶ Pourcentage du nombre de réponses par ligne (0 à 1 réponse par ligne)

Linked in <https://www.linkedin.com/in/vincent-vermorel>