

## **Evaluation des deux premières sessions du programme « Logements optimisés : Coûts, Qualité, Fiabilité, Délais »**

Sylvain Laurenceau, Jean-Luc Salagnac

*Université Paris-Est, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment,  
Laboratoire Services Process Innovations*

**Septembre 2012**



Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie  
Ministère de l'Égalité des Territoires et du Logement  
Direction générale de l'aménagement, du logement et de la nature  
Plan urbanisme construction architecture  
Grande Arche de la Défense  
92055 la Défense cedex

**Directeur de la publication** : Emmanuel Raoul, secrétaire permanent du Puca

**Coordination**

Hervé Trancart, Puca – Tél. : 01 40 81 24 31  
herve.trancart@developpement-durable.gouv.fr

**Site internet du Puca**

<http://rp.urbanisme.equipement.gouv.fr/puca/>

## Le programme CQFD Bilan, perspectives

*Prévu pour durer jusqu'à fin 2012, avec trois sessions en 2006, 2007 et 2009, le programme CQFD a permis de retenir 32 équipes pour des procédés couvrant une large palette incluant les technologies dominantes (béton, maçonnerie), mais également des procédés constructifs plus atypiques dans le contexte actuel (métal, bois en procédés bi-ou tridimensionnels). Une soixantaine d'opérations expérimentales (environ 4000 logements) aura été réalisée selon ces différentes familles constructives.*

*Les performances des logements réalisés dans ce cadre sont significativement améliorées : BBC, coûts maîtrisés, délais améliorés, qualité des finitions, chantiers exemplaires, conception davantage optimisée et partagée ...*

*Ces opérations ont bénéficié des conditions favorables à l'expérimentation que sont l'article 75 du CMP ou la procédure conception-réalisation, notamment.*

*Aussi est-il maintenant nécessaire de faire le bilan de cette expérience, bilan qui sera encore enrichi du retour des opérations encore en cours actuellement, d'en présenter les enseignements, de débattre des nouvelles impulsions à donner aux innovations. Il est nécessaire dans le même temps, de se tourner vers les programmes tels REHA, mais surtout BEPOS pour réaliser ensemble de nouveaux progrès.*

### Préfabrication, produits industriels, mixité ...

Les procédés constructifs sélectionnés dans le cadre de CQFD offrent une grande diversité d'innovations portant sur des systèmes constructifs bien différenciés. Les matériaux structurels représentés sont très variés -béton, bois, acier, béton cellulaire. Le recours à la préfabrication, partie intégrante des trois quarts des procédés sélectionnés, a atteint des degrés très divers.

Si la préfabrication s'est limitée aux murs précoffrés pour les procédés béton, elle a atteint un niveau beaucoup plus poussé avec les procédés bois. Pour ces procédés, la palette des usages de la préfabrication va du mur de bois massif composé de pièces de bois assemblées par des machines aux modules tridimensionnels permettant une livraison de l'ouvrage à peine quelques semaines après la phase de fondations.

D'autres procédés ont développé une approche complémentaire basée sur une mixité de matériaux afin de tirer le meilleur parti des caractéristiques de chacun d'entre eux. Ainsi, sur une structure béton pour le logement collectif ou acier pour le logement individuel, toitures et panneaux de façades sont ensuite rapportés en choisissant les matériaux suivant les propriétés recherchées et l'esthétique désirée.

### De nouvelles pratiques de conception

L'innovation se retrouve aussi dans la composition des équipes lauréates ; les deux tiers des procédés sont portés par une collaboration forte entre maîtrises d'oeuvre et industriels. Cette configuration d'acteurs originale instaure un dialogue dès les prémices de la conception et permet de tirer le meilleur parti des caractéristiques des produits proposés par l'industriel. L'utilisation d'outils numériques de conception partagée est une voie d'optimisation et de dialogue entre acteurs qui a été développée dans de nombreuses opérations.

## Enjeux et perspectives

En termes de procédés constructifs, le programme CQFD montre la robustesse des filières « traditionnelles » qui ont su s'adapter aux nouvelles exigences de qualité et de performances (thermiques, notamment). En même temps une offre nouvelle émerge et se structure autour de l'usage de matériaux comme le bois ou de procédés mixtes qui présentent de nouvelles réponses. En termes de conception architecturale, les possibilités offertes par ces procédés doivent être exploitées dans le sens de la diversité et de la singularité des réponses face aux attentes des maîtres d'ouvrages.

Le résultat le plus remarquable du programme CQFD est que quelque soit le procédé, de type traditionnel ou faisant appel à la préfabrication, c'est bien l'organisation des chantiers, des acteurs et des relations entre acteurs (industriels, architectes, entreprises) qui va permettre ou non d'atteindre les performances visées. Ceci est particulièrement vrai dans le cas d'utilisation de produits et composants industrialisés à plus forte valeur ajoutée, pour lesquelles, les conditions de mise en œuvre, la logistique et le pilotage par la qualité, sont déterminants. En résumé, la technique joue un rôle, certes, mais un rôle au service de la qualité des organisations. On observera que c'est à l'occasion de CQFD, pour la mise au point et le développement de nouveaux procédés ou l'amélioration des performances des procédés « traditionnels », que nombre d'entreprises ou industriels ont revu leurs pratiques, l'organisation des chantiers, la formation des équipes, les outils de dialogue et de pilotage ...

Il reste cependant un certain nombre de « verrous » technologiques tels que les enveloppes aptes à intégrer plusieurs fonctions (isolation, éclairage, régulation thermique, ventilation, EnR), les énergies renouvelables ou les équipements permettant de mutualiser les efforts et gains en performance énergétique (gestion de l'énergie, stockage). L'utilisation des matériaux nouveaux présentant un meilleur bilan « carbone » ; les problématiques du recyclage, des déchets, de l'énergie grise ... devront également contribuer à stimuler une nouvelle offre innovante et une nouvelle génération de procédés constructifs. L'utilisation d'outils de conception partagée, de simulation, les maquettes numériques ... seront sans nul doute une condition indispensable à l'optimisation conjointe des projets et des solutions architecturales et constructives.

C'est ce qui est appelé maintenant à s'exprimer dans le cadre du programme BEPOS pour lequel s'est constitué un premier cercle (ou consortium) de maîtres d'ouvrages désireux d'aller vers un niveau de qualité et de performance inédit.

CQFD a en effet rempli son mandat. Différentes opérations expérimentales sont encore en cours ; un bilan complet sera réalisé en 2013. En tant que programme expérimental du PUCA, CQFD parvient, fin 2012, à l'aboutissement de son mandat, mais les procédés labellisés « CQFD » conservent, bien sûr, leur appellation d'origine, d'autant que pour la plupart, ils sont réussis à s'actualiser, se mettre au niveau des normes les plus exigeantes actuelles. C'est en cela que les équipes CQFD apparaissent en première ligne pour aller maintenant vers les BEPOS.

Françoise Baudouin  
Hervé Trancart

## Table des matières

<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>1</b>
<b>1. ANALYSE CRITIQUE DES PROCÉDES LABELLISÉS CQFD .....</b>	<b>5</b>
<b>1.1 Composition des équipes et systèmes constructifs .....</b>	<b>5</b>
<b>1.2 Cadrage méthodologique .....</b>	<b>7</b>
1.2.1 Performances annoncées.....	7
1.2.2 Impacts de l'innovation portée par les procédés constructifs .....	8
<b>1.3 Les procédés béton.....</b>	<b>10</b>
1.3.1 Le procédé « Logipass ».....	10
1.3.2 Le procédé « 6x6 ».....	14
1.3.3 Le procédé « pour un logement innovant » .....	17
1.3.4 Le procédé « Habitat Colonne » .....	20
1.3.5 Le procédé « Batinov » .....	23
<b>1.4 Les procédés maçonnés.....</b>	<b>26</b>
1.4.1 Le procédé « Blocs Thermopierre ».....	26
<b>1.5 Les procédés acier .....</b>	<b>29</b>
1.5.1 Le procédé « Puzzle » .....	29
1.5.2 Le procédé « Archilenoir » .....	31
<b>1.6 Les procédés bois .....</b>	<b>34</b>
1.6.1 Performances techniques de procédés bois .....	35
1.6.2 Les procédés en bois massif .....	37
1.6.2.1 Le procédé « Construction en bois massif tourillonné » .....	37
1.6.2.2 Le procédé « Industrialiser la Construction Bois » .....	39
1.6.3 Les procédés « intermédiaires » .....	42
1.6.3.1 Le procédé « Dorean » .....	42
1.6.3.2 Le procédé « Ligno-Trend ».....	44
1.6.5 Les procédés « tout en amont » .....	47
1.6.5.1 Le procédé « Muse » .....	47
1.6.6 Le procédé « Un appartement dans un module ».....	49
1.6.7 Le procédé « Bois pour l'habitat social ».....	50
<b>2. LES OPERATIONS CQFD REALISEES.....</b>	<b>55</b>
<b>2.1 Performances des opérations labellisés.....</b>	<b>55</b>
2.1.1 Le procédé "6x6".....	57

2.1.2	Le procédé "Batinov" .....	59
2.1.3	Les opérations "Logipass".....	64
2.1.4	Les opérations "Habitat Colonne" .....	67
2.1.5	Les opérations "Bloc Thermopierre" .....	69
2.1.6	Les opérations "Dorean".....	71
2.1.7	Les opérations "Ligno-trend" .....	72
2.1.8	Les opérations "Muse" .....	74
2.1.9	Les opérations « Industrialiser la Construction Bois ».....	78
2.1.10	Les procédés n'ayant pas été mis en œuvre lors d'opérations en CQFD	80
<b>2.2</b>	<b>Bilan des surfaces construites .....</b>	<b>82</b>
2.2.1	Bilan par procédé .....	82
2.2.2	Bilan géographique.....	83
2.2.3	Bilan par matériau employé pour la structure .....	84
2.2.4	Bilan par types de groupements.....	85
<b>3.</b>	<b>QUESTIONNEMENTS SOULEVES PAR LE PROGRAMME CQFD .....</b>	<b>86</b>
<b>3.1</b>	<b>Quelle place pour la préfabrication ? .....</b>	<b>87</b>
3.1.1	La préfabrication dans les procédés CQFD .....	87
3.1.2	Quelle valeur ajoutée pour la préfabrication ? .....	88
3.1.3	Les limites de la préfabrication.....	90
<b>3.2</b>	<b>Quelle procédure pour accompagner un tel programme ?.....</b>	<b>92</b>
3.2.1	Intérêts de la procédure.....	92
3.2.2	limites de la procédure.....	92
3.2.3	Les effets d'aubaine potentiels .....	93
<b>CONCLUSION</b>	<b>.....</b>	<b>94</b>

## Liste des tableaux

Tableau 1: Evolution de la consommation des logements en fonction de la date de construction (Grenelle De L'environnement Comité Opérationnel "Rénovation Des Bâtiments Existants" 2008) .....	3
Tableau 2: Libellé des attendus des appels à idées CQFD lors des trois sessions .	3
Tableau 3: répartition des procédés en fonction du matériau de structure.....	5
Tableau 4: composition initiale des équipes .....	6
Tableau 5 : délais de construction moyens et médians en 2000 (CHRISTEL V 2005) .....	56
Tableau 6: nombre de procédés mis en œuvre par filière.....	56
Tableau 7: caractéristiques des opérations "6x6" .....	57
Tableau 8: Indicateurs, opérations "6x6" .....	58
Tableau 9: caractéristiques des opérations "Batinov"-1 .....	60
Tableau 10: caractéristiques des opérations "Batinov"-2.....	60
Tableau 11: indicateurs, opérations "Batinov" .....	61
Tableau 12: caractéristiques des opérations "Logipass" .....	65
Tableau 13: indicateurs, opérations "Logipass".....	65
Tableau 14: caractéristiques des opérations "Habitat Colonne" .....	67
Tableau 15: indicateurs, opérations "Habitat Colonne" .....	68
Tableau 16: caractéristiques des opérations "Bloc Thermopierre" .....	69
Tableau 17: indicateurs, opérations "Bloc Thermopierre" .....	70
Tableau 18: caractéristiques, opérations "Dorean" .....	71
Tableau 19: caractéristiques des opérations "Ligno-trend" .....	73
Tableau 20: indicateurs, opérations "Ligno-trend" .....	73
Tableau 21: caractéristiques, opérations "Muse".....	75
Tableau 22: indicateurs, opérations "Muse" .....	75
Tableau 23: caractéristiques des opérations "Industrialiser la construction bois" .....	78
Tableau 24: indicateurs, "Industrialiser la construction bois" .....	79
Tableau 25: indicateurs, opération "Un appartement dans un module" .....	80

## Liste des figures

Figure 1: Exemple de conception de bâtiments d'habitation adaptée aux climats locaux (GRIFFITHS, John F. 1976) .....	1
Figure 2: coûts de construction, opérations "Batinov".....	62
Figure 3: vitesses de construction, opérations "Batinov" .....	63
Figure 4: coûts de construction des opérations "Logipass" .....	66
Figure 5: vitesses de construction, opérations "Logipass" .....	66
Figure 6: Coûts de construction, opération "Muse" .....	76
Figure 7: durée de construction, opération "Muse" .....	76
Figure 8: répartition des surfaces utiles construites par procédé.....	82
Figure 9: carte de France des opérations CQFD, par surface utile et par région	83
Figure 10: répartition des surfaces utiles construites par matériau.....	84
Figure 11: répartition des surfaces utiles construites par type de groupement (en m <sup>2</sup> ) .....	85
Figure 12: surfaces utiles construites dans le Nord-Pas-de-Calais .....	93

## INTRODUCTION

Activité multimillénaire, la construction de bâtiments et notamment de logements a fait appel jusqu'à l'orée du XX<sup>ème</sup> siècle à des techniques traditionnelles valorisant les ressources locales (bois, pierre, argile, ...) et mobilisant des savoir faire issus d'une longue suite d'essais et d'erreurs, et transmis pour l'essentiel de manière orale et par apprentissage.

Sur une si longue période, non seulement les techniques se sont stabilisées mais également la conception générale des bâtiments. Conception adaptée aux dominantes climatiques locales qui sont pour l'essentiel restées stables depuis la formation des premières villes, il y a environ six mille ans (figure 1).

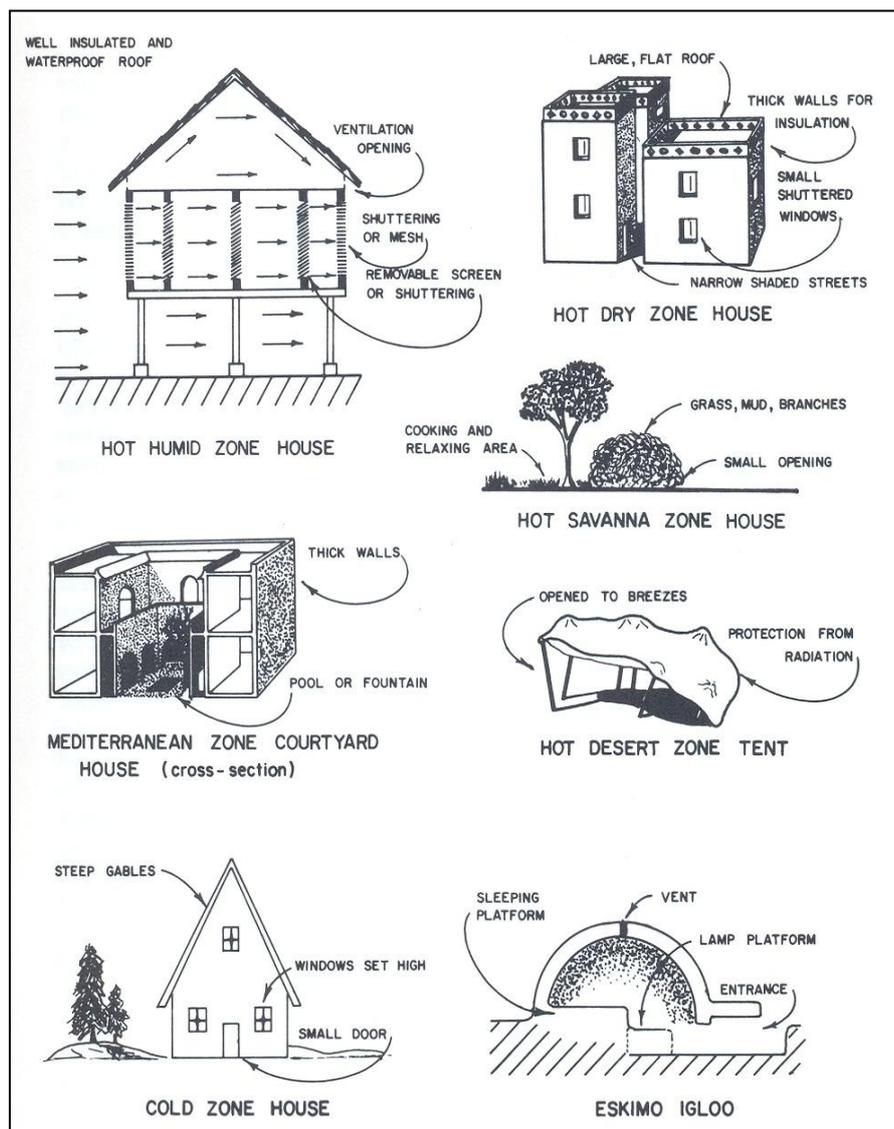


Figure 1: Exemple de conception de bâtiments d'habitation adaptée aux climats locaux (GRIFFITHS, John F. 1976)

Le développement de l'industrie en Europe et en Amérique du nord au XIX<sup>ème</sup> siècle puis dans une grande partie du reste du monde a fait émerger et a permis la diffusion de moyens inédits pour construire des bâtiments et les équiper de dispositifs apportant de nouveaux services aux occupants. Ainsi, le chauffage central à eau chaude au milieu du XIX<sup>ème</sup> siècle puis la climatisation au début du XX<sup>ème</sup> siècle pour atténuer les effets du froid et du chaud.

La maîtrise des lois de la mécanique et l'apparition de nouveaux matériaux (béton armé, acier) et de nouveaux équipements comme les ascenseurs ont favorisé le développement de bâtiments de hauteur inhabituelle jusqu'alors. Des formes nouvelles de villes sont également apparues.

L'invention du verre float par Sir Alastair Pilkington en 1959 a ouvert de nouvelles perspectives. Les architectes et ingénieurs se sont emparés de cette technique et ont ainsi contribué à modifier le cadre bâti tant dans son aspect extérieur que pour ce qui est de l'ambiance à l'intérieur des bâtiments, du fait des apports solaires généreux à travers de grandes surfaces vitrées et des importantes surfaces de déperdition thermique présentées par ces mêmes surfaces.

Un flux d'innovations techniques vient sans cesse modifier la donne et éventuellement corriger des insuffisances des techniques précédemment introduites. Ainsi, les améliorations des propriétés des vitrages viennent-elles contribuer à trouver des compromis entre parti architectural, confort intérieur et consommation d'énergie. Avant ces développements relativement récents, des techniques comme la climatisation ont été mobilisées pour pallier les inconvénients des bâtiments survivrés.

Le contexte démographique dans lequel surgissent ces innovations a également profondément changé au cours du XX<sup>ème</sup> siècle et continue d'évoluer. La concentration de la population dans les zones urbaines est un phénomène mondial qui se traduit par le fait que plus de la moitié des sept milliards d'habitants vivent dans des villes (VERON J. 2007). En Europe, cette proportion était 74% en 2007, alors qu'un français sur deux vivait en ville en 1936 (ONERC 2010).

La remise en cause à terme de la pérennité du « bouquet énergétique » qui a fourni les ressources nécessaires aux développements des dernières décennies constitue un autre élément dominant du contexte contemporain.

Le pétrole bon marché a joué un rôle essentiel au sein de ce bouquet. Depuis le choc pétrolier de 1973, qui a marqué l'entrée dans une ère nouvelle au sein de laquelle nous nous trouvons actuellement, les techniques de construction ont considérablement évolué, conduisant à une diminution sensible des consommations énergétiques comme l'illustre les données du tableau 1.

Le renforcement de la réglementation thermique depuis le début des années 2000 avec l'étape actuelle de la RT 2012 puis l'échéance programmée de la RT 2020 sont autant de signes forts obligeant les constructeurs à faire évoluer leur offre.

Toutefois, même si l'énergie est un élément essentiel pour le secteur de la construction, ce serait une erreur majeure que de réduire les bâtiments, les quartiers, les villes à la seule dimension énergétique.

Un bâtiment pris isolément est bien plus qu'un volume à chauffer et à refroidir. C'est également une création dont les occupants attendent de multiples fonctions techniques et symboliques (CIB W 092 1997).

Une ville est bien plus qu'un ensemble de volumes à chauffer et à refroidir. C'est également un ensemble complexe de réseaux de surface et souterrains, assurant des fonctions multiples de transport de biens et de personnes, permettant d'amener l'eau et l'énergie aux bâtiments et d'évacuer les déchets résultant de l'activité humaine. C'est aussi un lieu chargé de symboles dont l'évolution s'étale sur de très longues durées si bien que le tissu urbain porte les marques de l'histoire de la ville (SALAT S. 2011).

	Parc ancien (avant 1975)		Parc « récent » (de 1975 à 1981)		Parc récent (de 1982 à 1989)		Parc récent (après 1990)	
	Parc (M de logements)	Conso. (TWh)	Parc (M de logements)	Conso. (TWh)	Parc (M de logements)	Conso. (TWh)	Parc (M de logements)	Conso. (TWh)
Maisons individuelles	8,5	177,3	1,8	30,6	1,7	25,9	2,4	38,2
Immeubles collectifs	7,6	109,5	1,3	17,9	0,8	8,4	1,6	16,8
Ensemble du parc de logements	16,1	286,8	3,1	48,5	2,5	34,3	4	55

Tableau 1: Evolution de la consommation des logements en fonction de la date de construction (Grenelle De L'environnement Comité Opérationnel "Rénovation Des Bâtiments Existants" 2008)

Créé en 1971, le PUCA a été un témoin et un acteur de ces transformations impulsées par le choc pétrolier de 1973. Le lancement des consultations CQFD s'inscrit dans ces évolutions.

Ainsi, à l'occasion des trois appels à idées CQFD, la volonté de faire émerger et de promouvoir des solutions constructives bien adaptées au contexte actuel et à venir ressort-elle comme le met en évidence le tableau 2.

CQFD 1 juillet 2005	<i>C'est pourquoi, il est nécessaire aujourd'hui de diversifier l'offre de logements et d'ouvrir le champ des solutions techniques afin de mieux répondre aux situations nouvelles, notamment celles dictées par les objectifs de rénovation urbaine ou de relance du logement social, qui imposent une production en plus grand nombre et à un rythme de réalisation plus élevé.</i>
CQFD 2 Juin 2007	<i>...les quatre principaux objectifs de l'appel à proposition : coûts et qualité des logements; fiabilité du processus de conception et de construction; délais des réalisations.</i>
CQFD 3 Octobre 2009	<i>Aux côtés des filières techniques existantes, qui manifestent des performances et niveaux de qualité élevés, le programme CQFD a pour but de promouvoir des modes constructifs innovants répondant à des besoins spécifiques, et notamment, à un besoin de variété et d'innovation architecturale, ainsi qu'aux nouvelles exigences réglementaires, thermiques principalement. dont on sait qu'elles vont profondément bousculer les conceptions des logements et les modes de construire.</i>

Tableau 2: Libellé des attendus des appels à idées CQFD lors des trois sessions

Les propositions retenues à l'issue des trois sessions couvrent une large palette incluant les technologies dominantes (béton, maçonnerie) mais également des solutions plus atypiques dans le contexte actuel (métal, bois).

Les appels à idées invitaient à proposer des procédés constructifs innovants portés par des équipes intégrant les compétences essentielles de conception architecturale et technique, de fourniture des éléments de construction et de mise en œuvre : « *Les réponses à cet appel à propositions de procédés constructifs en vue de réalisations expérimentales proviendront d'équipes intégrant des compétences de conception, d'étude (des structures et enveloppes comme des équipements, partitions ou finitions), de fabrication (des composants, des modules) et de mise en œuvre.* » (CQFD1)

Le premier chapitre du présent rapport propose une analyse critique des procédés CQFD des sessions 1 et 2 (la session 3 n'a pas conduit en avril 2012 à des réalisations terminées) Pour cette analyse, nous avons adopté une structure commune à chaque procédé :

- performances CQFD annoncées,
- évolution du procédé constructif dans CQD3 (en cas de reconduite)
- description de l'innovation,
- impacts du procédé constructif
  - sur l'organisation de chantier
  - sur le jeu d'acteurs

Le second chapitre s'intéresse aux opérations réalisées. Les performances accessibles sont rapportées et analysées. Un bilan portant sur plusieurs aspects (procédé, localisation, matériaux, type de groupements) est proposé.

Le troisième chapitre tire les enseignements de la démarche CQFD vis-à-vis de ses objectifs au travers des opérations réalisées.

La conclusion ouvre des perspectives relatives à la prolongation de la démarche.

## 1. ANALYSE CRITIQUE DES PROCÉDES LABELLISÉS CQFD

Les quinze procédés constructifs innovants issus des deux premières sessions du programme CQFD sont de natures très variées. Les différences entre ces procédés sont multiples et portent aussi bien sur les matériaux de construction et leur assemblage que sur l'organisation du jeu d'acteurs, avec en particulier un recours marqué à la préfabrication.

Ce chapitre introduit chacun des procédés constructifs en analysant les performances annoncées en termes de coût, de qualité, de fiabilité et de délais puis en présentant l'innovation principale portée par chaque système et son impact sur l'organisation du chantier et le jeu d'acteurs. Enfin, nous présenterons les évolutions du procédé constructif lors de sa reconduction dans la troisième session du programme, afin de mettre en avant son potentiel d'évolution et d'adaptation à un contexte changeant, en particulier en ce qui concerne l'amélioration des performances thermiques.

### 1.1 COMPOSITION DES ÉQUIPES ET SYSTÈMES CONSTRUCTIFS

Les systèmes constructifs à ossature bois représentent près de la moitié des procédés sélectionnés.

Principal matériau de la structure porteuse	Nombre de procédés
Béton	5
Maçonnerie	1
Acier	2
Bois	7

Tableau 3: répartition des procédés en fonction du matériau de structure

Le tableau suivant présente les compositions initiales des équipes.

Procédé	Nature du mandataire	Composition des équipes d'origine					
		Architecte	Entreprise générale	Industriel	Association d'industriels	BET/économiste/bureau de contrôle ou de conseil	MOA
« 6x6 Habitat Modulable »	entreprise générale	1	1			1	
« Pour un logement innovant »	maître d'œuvre	1	1	1			
« BATINOVPAC »	Association d'industriels		1		1		
« LOGIPASS - un passeport pour l'habitat résidentiel »	entreprise générale	1	1				
« Habitat Colonne »	entreprise générale		1	3			
« Blocs Thermopierre »	industriel	1		1		2	
« ARCHILENOIR concept »	maître d'œuvre	1				1	
« PUZZLE® (SCOPEMI) »	maître d'œuvre	1		2			
« Concept Dorean »	industriel	1		1		3	
« Procédé Ligno-Trend »	maître d'œuvre	1		1			
« La Maison individuelle MUSE »	industriel	1		1			1
« Industrialiser la construction bois »	maître d'œuvre	1		1		1	
« Bois massif tourillonné »	maître d'œuvre	2		1		1	
« Un appartement dans un module »	maître d'œuvre	1		1		2	
« Le bois pour l'habitat social »	industriel	1		1		1	

Tableau 4: composition initiale des équipes

Les 15 équipes sont de composition très diverses. Elles comportent entre deux et cinq partenaires, représentant deux à quatre professions différentes. Les catégories de partenaires les plus représentées sont les maîtres d'œuvre, présents dans 13 des 15 procédés, et les industriels dans 12 des 15 procédés.

Les entreprises générales sont membres de 4 groupements, proposant tous des logements collectifs à structure béton.

On peut identifier trois principaux types de groupements : les groupements portés par un maître d'œuvre associé à un ou plusieurs industriels – 6 groupements-, les groupements portés par un industriel associé à un architecte -4 groupements- et les groupements de la filière béton portés par des entreprises générales et assimilés seules -4 groupements-. Archilenoir, seul groupement qui ne rentre pas dans ces catégories, est porté uniquement par un architecte secondé par des bureaux d'études.

## 1.2 CADRAGE MÉTHODOLOGIQUE

### 1.2.1 PERFORMANCES ANNONCÉES

L'analyse critique des performances annoncées des procédés labellisés CQFD dans les deux premières sessions du programme a été faite sur la base :

- des documents fournis par les mandataires lors de la sélection des procédés puis lors de leur reconduction dans CQFD 3,
- des évaluations d'experts des différentes sessions de CQFD,
- d'échanges avec les membres des équipes portant ces procédés
- de l'expertise de l'équipe CSTB.

Les performances attendues de chacun des procédés en termes de Coût, de Qualité, de Fiabilité et de Délais sont issues des documents de présentation des procédés communiqués par les mandataires des groupements. Ces données déclaratives sont ici reportées de manière brute, puis mise en perspective par les rapports d'experts lors de la sélection des procédés et par notre analyse. Si les performances en termes de coûts et de délais sont quantitatives et peuvent être aisément mises en perspective, les performances en termes de qualité et de fiabilité sont plus subjectives. La qualité a été appréciée principalement en fonction de l'évaluation technique des procédés et de la capacité d'adaptation du procédé à un changement de morphologie ou d'exigence de performances. La fiabilité a été appréciée en fonction de la solidité de l'équipe et du procédé constructif – utilisation de produits sous avis technique, techniques traditionnelles, ...-.

Les performances globales du procédé sont issues d'un équilibre entre ces quatre composantes, qui sont souvent antagonistes. Par exemple, une réduction du coût et des délais peut entraîner une perte de qualité et de fiabilité du système constructif ; une recherche de qualité peut générer une augmentation des coûts et des délais ou conduire le mandataire à proposer un système constructif non restrictif permettant de s'adapter à toutes les situations et tous les niveaux d'exigences ; enfin, la recherche de fiabilité peut inciter le mandataire à proposer des techniques éprouvées et peu innovantes.

Par la suite nous appellerons chantier sec un chantier qui ne requiert pas d'eau ou très peu d'eau à partir de la réalisation des fondations jusqu'à la livraison du bâtiment. Le procédé Logipass, basé sur l'utilisation de murs précoffrés en béton creux et « remplis » sur le chantier, n'est donc pas considéré comme un procédé en filière sèche même si l'utilisation de prémurs creux améliore la propreté du chantier.

### **1.2.2 IMPACTS DE L'INNOVATION PORTEE PAR LES PROCEDES CONSTRUCTIFS**

Les innovations des procédés constructifs sélectionnés dans le cadre du programme CQFD ont un impact important sur l'acte de construire. Que l'innovation repose sur le matériau de structure utilisé, le procédé constructif lui-même ou une combinaison des deux, le phasage des différentes étapes de la construction, le chantier et l'équilibre du jeu d'acteurs en présence sont profondément modifiés.

Pour les procédés dont l'innovation repose sur le matériau, ces modifications sont provoquées d'une part par la gestion de l'approvisionnement qui peut devenir complexe et d'autre part par la nature même du matériau. Ses propriétés spécifiques, jugées intéressantes par le mandataire, modifient le travail de conception ainsi que l'organisation du chantier, en particulier le travail des corps d'état directement concernés.

Les produits issus des matériaux innovants proviennent généralement d'un faible nombre de sites de production, ce qui n'est pas sans incidences sur l'approvisionnement du chantier. En particulier, la fiabilité de la livraison et le respect des délais peuvent être compromis, notamment en cas de défaillance d'un site ou dans le cas d'une demande conjoncturelle supérieure à la capacité de production. De plus, les frais de transport peuvent entraîner une forte augmentation du coût des produits et peser sur le bilan carbone du bâtiment dans le cas où chantier et site de production sont éloignés.

Le jeu d'acteurs est lui aussi largement impacté par l'utilisation de nouveaux matériaux. En particulier, le fabricant de produits possède un véritable rôle stratégique. Contrairement à un matériau traditionnel ou le producteur est cantonné à un rôle d'approvisionnement et n'a que peu d'impact sur la diffusion et la fixation des prix car il est constamment mis en concurrence, le fabricant de produits issus d'un matériau innovant doit définir un positionnement et un modèle économique propre. S'il cherche à augmenter la diffusion de son produit, son rôle ne se limite pas à la fourniture et il doit s'assurer de la bonne mise en œuvre afin de bénéficier des retombées positives de premières opérations bien réalisées. Il peut ainsi avoir intérêt à élargir son domaine d'intervention, en établissant par exemple un guide d'utilisation, en participant à la formation sur le chantier des corps d'état manipulant ses produits ou en aidant la maîtrise d'œuvre à comprendre les spécificités de son produit.

La place du fabricant de produits peut devenir centrale s'il élargit ses champs de compétences en intégrant une partie de la mise en œuvre. Ceci se fait au détriment des entreprises, qui ne peuvent plus valoriser pleinement leur savoir-faire dans la manipulation des produits et se positionnent uniquement en tant qu'exécutant. Par contre, si ces nouveaux produits se diffusent, l'entreprise ayant déjà réalisé des opérations peut à son tour bénéficier d'un avantage concurrentiel en valorisant localement sa familiarité avec le procédé. Le producteur retrouve alors son rôle d'approvisionnement, et l'entreprise est renforcée car se trouvant en situation de monopole local relativement à la maîtrise d'un savoir-faire innovant.

L'utilisation d'un matériau innovant aura aussi des conséquences à la fois sur la conception du bâtiment et sur l'organisation du chantier. Les avantages et les inconvénients spécifiques à ce nouveau matériau devront être anticipés par la maîtrise d'œuvre. Cette prise en compte des caractéristiques spécifiques peut passer par exemple par la modification des compléments d'isolation thermique et acoustique ou par un allègement des fondations.

Sur le chantier l'utilisation de produits innovants aura elle aussi beaucoup de répercussions. Directes, tout d'abord, avec une modification des activités des corps d'état le manipulant. Indirectes, ensuite, car c'est alors tout le phasage des interventions qui peut être modifié et car les propriétés spécifiques au matériau innovant peuvent impacter d'autres corps d'état. Par exemple, dans le cas des blocs de béton cellulaire, la découpe aisée du matériau peut être d'une grande aide aux électriciens dans le cas d'une réorganisation du câblage électrique.

Pour les innovations de procédés, la modification de l'organisation du chantier et du jeu d'acteur peut être encore plus radicale. L'exemple le plus frappant est le cas de la préfabrication de modules 3D complets, où le chantier après fondations se résume à un assemblage et où le montage du bâtiment se fait en un temps record.

Les innovations de procédés proposées par les mandataires sont de multiples natures, mais tournent généralement autour d'une préfabrication plus poussée et d'une meilleure intégration des industriels dans la chaîne d'acteurs. Par contre, l'utilisation d'outils numériques de conception n'a pas rencontré d'écho auprès des lauréats, et la maquette numérique est restée cantonnée à une opération d'une complexité atypique, celle de Béthune.

Le recours à la préfabrication bouscule fortement les habitudes d'un chantier traditionnel et modifie profondément les relations entre les différents acteurs de la construction. Les éléments arrivant sur le chantier ne sont plus des composants aux dimensions modestes ou des matières premières semi transformées mais un objet complexe pouvant aller jusqu'à des fractions du bâtiment final assemblées sur site sans presque aucune retouche supplémentaire.

Les innovations de procédés étant de nature très diverses, nous décrivons leur impact au cas par cas dans les présentations.

## 1.3 LES PROCEDES BETON

### 1.3.1 LE PROCEDE « LOGIPASS »



Procédé	<i>Logipass</i>
Système constructif	Prémurs béton
Mandataire	Vinci
Session CQFD	CQFD 1

Logipass est basé sur l'utilisation de murs béton précoffrés et pré-câblés en usine de 12 m de large pour un étage de haut. Le contreventement de l'ouvrage est en partie assuré par les escaliers, placés en extérieur.

#### *Performances CQFD annoncées*

Vinci prévoit une économie d'environ 15% sur le prix de revient total de l'opération, mais sans préciser le prix de revient de l'opération. La réduction des coûts doit découler de la réduction des délais de chantier liée à l'utilisation de murs préfabriqués. Pour les quatre premières opérations le coût constaté (valeur 2007) hors VRD, garages, parkings et honoraires de maîtrise d'œuvre est compris entre 950 et 1 226 €/m<sup>2</sup>SHON. Le coût annoncé correspond à des opérations de niveau HPE 2005 ou THPE 2005.

Pour ce qui est des délais, Vinci prévoit un gain de 15 mois sur le cycle complet d'une opération – la durée totale est de 21 mois au lieu de 36-, mais ne précise pas sa taille et ne distingue pas les gains de temps liés à la procédure de conception-réalisation et ceux liés aux performances du procédé constructif.

Les prémurs équipés des circuits électriques permettent un gain de temps lors de la phase de gros œuvre et fiabilisent les délais en réduisant le temps de mise hors d'eau hors d'air du bâtiment. Ce concept ayant déjà été mis en pratique dans plusieurs opérations en dehors et avant CQFD, sa fiabilité est éprouvée. Le pré-câblage électrique permet d'intégrer ce réseau à l'intérieur de la structure et évite ainsi un câblage en intérieur masqué par des plinthes qui peut engendrer un inconfort. Par contre, la configuration du réseau est figée et n'autorise pas de changements ultérieurs. Plus généralement, ce procédé constructif est très rigide et tout ajout ou modification est très contraignant. Par exemple, en cas d'ajout de balcons, ces derniers sont désolidarisés des murs précoffrés et cette solution engendre un surcoût par rapport à une solution traditionnelle.

Les bancs de préfabrication sont utilisés sur toute leur longueur pour optimiser les coûts de fabrication. Ainsi, pour des raisons économiques, la longueur d'un mur-pré-coffré est de 12 mètres.

Longueur et largeur du bâtiment, hauteur des étages et positionnement des escaliers sont donc fixes pour l'ensemble des opérations Logipass, et la diversité architecturale vient des modénatures de façade, de la forme de la toiture et de l'agencement des espaces intérieurs.

### *Evolutions du procédé constructif dans CQFD 3*

Pour que le procédé constructif soit compatible avec le niveau BBC, les murs précoffrés intègrent maintenant un isolant afin d'améliorer les performances thermiques de l'enveloppe –on parle de murs précoffrés « sandwich ». De plus, leur longueur a été divisée par deux pour que la manipulation des éléments préfabriqués puisse être réalisée par une grue de moindre puissance.

### *Description de l'innovation*

Logipass propose une solution constructive basée sur l'intégration dans le gros œuvre d'éléments préfabriqués en béton. Si la préfabrication d'éléments béton existe depuis longtemps et a connu son apogée au sortir de la seconde guerre mondiale, Vinci a apporté avec Logipass une solution plus proche des problématiques actuelles. La préfabrication des trente glorieuses cherchait avant tout à réduire les délais de construction pour répondre à un besoin urgent de logements dans les centres urbains. Les solutions constructives ont alors cherché à pousser la préfabrication d'éléments béton à son maximum, sans trop se soucier de son incidence sur les coûts –les constructions préfabriquées de cette période ont coûté plus cher que des constructions traditionnelles- ou sur la relative pauvreté architecturales. Dans un contexte où les exigences de qualité intérieure et architecturale sont plus élevées et où la contrainte du coût a acquis une place de choix dans le raisonnement des bailleurs sociaux en manque de financements publics, les réponses apportées par la préfabrication du béton sont loin d'être identiques à celles de l'époque.

Si la réduction des délais reste au centre de la préfabrication, elle dispose d'autres atouts qui lui permettent de répondre à des problématiques nouvelles, notamment la réduction de la complexité et des nuisances du chantier. Avec l'augmentation des exigences de qualité et le développement des milieux urbains denses, la réduction des nuisances liées au chantier est devenue un enjeu important pour les collectivités. La préfabrication de façades porteuses, en transférant en atelier une partie du gros œuvre, réduit la durée de la phase du chantier la plus préjudiciable pour l'environnement immédiat. L'autre problématique nouvelle à laquelle la préfabrication apporte des réponses est la réduction de la complexité du chantier. La croissance forte des exigences réglementaires et l'intégration de systèmes techniques de plus en plus sophistiqués sont difficilement compatibles avec une organisation traditionnelle

du chantier, ce qui entraîne souvent une baisse de la qualité et une augmentation du coût des ouvrages (GOBIN C 2005).

En répartissant le travail sur des lieux différents, la préfabrication limite les possibilités d'engorgement sur le chantier et réduit les coûts de non qualité.

Enfin, avec l'augmentation du coût de la main d'œuvre, la préfabrication est maintenant envisagée comme une piste de réduction des coûts, qui suppose notamment de ne pas multiplier les dispendieux moyens mécaniques de manipulation des éléments préfabriqués.

Ces nouveaux enjeux contraignent la préfabrication du béton à des éléments de taille limitée pour être manipulables par des moyens mécaniques standards, encouragent une intégration poussée d'éléments à même de limiter la complexité du chantier, et conduisent l'industriel à proposer des produits qui s'éloignent de l'image d'Epinal du bâtiment reproduit à l'identique sur une même zone.

En intégrant l'ensemble de ces contraintes, Logipass a donc proposé une préfabrication :

- portant uniquement sur les façades porteuses
- en murs pré-coffrés plutôt qu'en prémurs pleins pour rendre les éléments plus légers et manipulables, puis en divisant par deux leur longueur (de 12m à 6m dans CQFD 3)
- intégrant un pré-câblage électrique pour limiter la complexité du chantier
- laissant la possibilité de choisir la toiture, le parement extérieur et la présence de balcons pour diversifier les modénatures et créer de la diversité architecturale

Avec ce procédé, la réduction des coûts et des délais est notable mais il n'y a pas de réelle rupture. En effet, les injonctions sont souvent contradictoires (préfabrication poussée mais facilité de transport ou besoin de diversité architecturale,...) et ne permettent pas de tirer pleinement parti du potentiel de la préfabrication. Les coûts et les délais sont quasiment comparables avec l'autre procédé constructif porté par Vinci alors que cette solution constructive est beaucoup plus fermée –longueur, largeur et hauteur d'étage fixes, pré-câblage électrique incompatible avec un changement d'usage du bâtiment-.

### *Impacts du procédé constructif*

#### *-sur l'organisation du chantier*

La préfabrication des façades porteuses demande une bonne coordination avec l'industriel fabricant et une bonne gestion du phasage du chantier.

Le choix des murs pré-coffrés plutôt que des prémurs plein limite le recours aux outils de manipulation mécanique et les éléments préfabriqués peuvent être déplacés à l'aide d'une grue de levage. En revanche, ce choix implique un coulage en place de béton -même si les banches sont inutiles et que le chantier est plus propre et une équipe de coulage du béton doit être intégrée dans la gestion du chantier.

Dans le cas où les performances thermiques de l'enveloppe sont fortes, ce qui est le cas des bâtiments compatibles avec la RT 2012, la pose d'un isolant en façade n'est pas nécessaire car il est alors directement intégré aux murs pré-coffrés dans les ateliers de préfabrication.

La mise hors d'eau hors d'air de l'édifice est réalisée plus rapidement, ce qui fiabilise les délais et l'intervention des corps d'état du second œuvre. De plus, le pré-câblage des murs facilite grandement l'intervention des électriciens permet d'optimiser plus facilement les multiples interventions des corps d'état pendant le second œuvre. Par contre, le pré-câblage demande un respect complet et limite les possibilités de modifications en cours de chantier.

#### *-sur le jeu d'acteurs*

Ce procédé, basé sur la préfabrication, redonne de l'importance à la conception technique afin de tirer partie des éléments préfabriqués. La conception du bâtiment doit être réalisée avec soins car aucune modification ultérieure ne sera possible sur les façades ou le câblage électrique. De plus, la mission de pilotage du chantier est, elle aussi, modifiée avec une gestion plus difficile du phasage du gros œuvre –livraison puis pose des éléments préfabriqués-, mais un pilotage plus aisé du second œuvre –câblage électrique déjà réalisé-.

La préfabrication renforce aussi la place de l'industriel, avec un transfert en atelier de certaines compétences jusqu'ici présentes sur le chantier.

### 1.3.2 LE PROCEDE « 6X6 »



Procédé	6x6
Système constructif	Béton banché à prise rapide
Mandataire	Eiffage
Session CQFD	CQFD 2

Pour accélérer la vitesse du chantier et diminuer les coûts le procédé constructif 6x6 s'appuie sur l'utilisation d'un béton à prise rapide et sur la généralisation d'une trame de 6m x 6m préconçue. Le béton à prise rapide Chronolia, développé par Lafarge, permet d'envisager de doubler la vitesse de rotation des banches. La trame de 6m x 6m peut constituer une trame nuit (2 chambres, salle de bain, toilette), une trame jour (séjour, salle à manger, cuisine et toilette ou escalier), deux places de parkings ou une cage d'escalier et un ascenseur.

#### *Performances CQFD annoncées*

Les coûts de construction ont été estimés (valeur juin 2007 en zone 2), hors parkings à :

- 1160€ HT/m<sup>2</sup> habitable pour un plot R+3 de 16 logements
- 1 400 €HT/ m<sup>2</sup> habitable pour une maison individuelle
- 1 100 € HT/m<sup>2</sup> habitable pour un ensemble 3 plots

Les performances thermiques associées à ce coût sont de niveau HPE 2005, et les coûts d'études sont optimisés par la standardisation des trames.

Pour la réalisation d'un plot R+3 de 16 logements, les délais de construction sont de 8 mois au lieu de 10 mois pour un procédé « traditionnel » en béton banché. Ces gains de délais sont moins importants que les gains dus à la procédure CQFD –conception-réalisation en appel d'offre restreint-, estimés par Eiffage à 5 à 11 mois.

Le procédé constructif est très proche du traditionnel béton banché, et n'a pas de contraintes particulières par rapport à ce dernier.

Dans le cas de l'utilisation de prémurs, privilégiés dans la version reconduite du procédé, les balcons doivent être désolidarisés pour conserver le respect des performances thermiques de l'enveloppe, ce qui engendre des surcoûts par rapport à une solution traditionnelle.

### *Evolutions du procédé constructif dans CQFD 3*

L'abandon du béton autoplaçant a fait perdre une large part du caractère innovant du procédé 6x6 originel. Pour pallier l'abandon du béton autoplaçant le mandataire a introduit des éléments préfabriqués dans son procédé constructif : les salles de bains sont maintenant entièrement préfabriquées et les prémurs béton sont privilégiés. On est donc revenu à un procédé plus traditionnel basé sur la préfabrication qui redonne de l'importance à la conception technique afin de tirer partie des éléments préfabriqués. Suite à l'abandon du béton autoplaçant les délais sont augmentés d'un mois par rapport aux délais annoncés dans la précédente session de CQFD, et les coûts de construction (valeur 2009 en zone 2) sont de 1 200 à 1250 €HT/m<sup>2</sup> habitable, hors parkings et VRD.

### *Description de l'innovation*

Le béton à prise rapide concentre le caractère innovant. Les réponses aux questions soulevées par ce produit ont été apportées par six chantiers tests (en 2007).

L'innovation de matériau présente dans le procédé 6x6 repose sur l'utilisation du Chronolia, un béton au séchage rapide développé par Lafarge en 2007 qui permet théoriquement de doubler le nombre de rotations journalières pour les coffrages. Cette innovation s'inscrit dans la grande famille des innovations liées au matériau béton proposés par Lafarge depuis 2000 : béton hyper résistant –Ductal-, pour réaliser de grandes surfaces sans joints – Extensia-, décoratif –Artevia-, autoplaçant –Agilia-, à prise rapide –Chronolia-, auto drainant –Hydromédia- ou isolant –Thermedia-.

### *Impact du procédé constructif*

#### *-sur l'organisation du chantier*

Le béton à prise rapide a un temps de prise d'environ 4 heures pour les parois ne subissant pas d'efforts latéraux. On peut donc avoir un doublement théorique du nombre de banchages quotidiens et réduire ainsi grandement le temps de la phase de gros œuvre. Mais passer à deux banchages par jour demande une réorganisation forte du chantier pendant la phase de gros œuvre, en particulier en ce qui concerne l'utilisation de la grue. En effet, étant donné son coût d'installation, la grue est l'élément stratégique du chantier et ce dernier s'organise généralement de manière à mettre au maximum la grue en saturation. Un doublement de la vitesse de rotation des banches peut ainsi nécessiter une augmentation du nombre de grues sur le chantier, ce qui n'est pas forcément rentable pour les entreprises de gros œuvre. En revanche, pour des chantiers de taille réduite mais où une grue est nécessaire et n'est pas mise en saturation, l'utilisation du béton Chronolia peut permettre d'optimiser l'utilisation des infrastructures en place.

Dans le cas d'un doublement du nombre de banchages quotidiens, l'organisation des activités et des flux de personnes sur le chantier doit être géré avec minutie, le nombre de personnes travaillant simultanément étant largement augmenté.

#### *-sur le jeu d'acteurs*

Le béton à prise rapide est fabriqué par un seul industriel –Lafarge- et le groupement est soumis aux aléas de la fourniture du matériau. Cette dépendance envers un fournisseur de matière première unique peut fragiliser le groupement en cas de défaillance de livraison. Le groupement a d'ailleurs été contraint (déclaration du mandataire) d'abandonner l'utilisation du béton à prise rapide et de se séparer de Lafarge suite à un problème de disponibilité du matériau. En effet, les quatre premiers appels d'offre auxquels le groupement a répondu se trouvaient hors de la zone de livraison du béton Chronolia, qui ne couvre pas l'ensemble du territoire national.

### 1.3.3 LE PROCEDE « POUR UN LOGEMENT INNOVANT »



Procédé	<i>Pour un logement innovant</i>
Système constructif	combinaison de brique hauteur d'étage, de prémurs porteurs béton et de toiture bac acier
Mandataire	Pierre Lombard architecte
Session CQFD	CQFD 1

Ce procédé constructif se base sur la combinaison de prémurs béton creux pour les murs de refend, de brique hauteur d'étage en façade, et d'une toiture bac acier courbe. En combinant trois matériaux différents, ce procédé trouve son innovation dans l'originalité de la composition des éléments.

#### *Performances CQFD annoncées*

Pour une opération de 48 logements totalisant 4004 m<sup>2</sup> de surface habitable, le coût annoncé est de 1 100 €HT/m<sup>2</sup> habitable (valeur 2005), hors études, VRD et fondations spéciales.

Les délais sont de cinq mois pour la mise hors d'eau du chantier. Les délais complets de réalisation de l'ensemble de l'ouvrage sont de neuf mois à partir d'un terrain plat viabilisé.

Comme l'estimatif des coûts a été réalisé par l'entreprise Léon Grosse Normandie, les coûts et délais sont garantis pour la Picardie, le Nord Pas De Calais, le Pas de Calais et la Normandie, mais pas pour le reste de la France.

Les bâtiments imaginés ont une morphologie unique mais atypique. Ces bâtiments en R+3 laissent les briques de terre cuite apparentes en façade et une toiture bac acier courbe. Le parti de laisser la façade en terre cuite apparente empêche la mise en œuvre d'une isolation par l'extérieur mais permet de donner un aspect fini sur toute la hauteur du premier niveau.

Rien n'interdit des modifications de morphologie, mais elles auront un impact potentiel sur les coûts et les délais. Tous les éléments sont portables par un camion grue pour optimiser les délais et limiter les installations de chantier. Les conditions de bonne réalisation relèvent des méthodes traditionnelles de construction. Les trois principaux produits de construction – brique hauteur d'étage, prémurs béton et toiture bac acier- sont sous Avis Techniques. Les techniques sont fiables et éprouvées, c'est leur réunion qui rend le procédé constructif innovant. Par contre, la toiture des bâtiments proposés pourrait poser des problèmes acoustiques, et une évaluation préalable des performances acoustiques devrait être réalisée si un maître d'ouvrage choisit ce procédé constructif.

### *Evolutions du procédé constructif dans CQFD 3*

Ce procédé n'a pas connu d'évolutions dans CQFD 3, et le mandataire ne répond plus à ce type d'appel d'offre.

### *Description de l'innovation*

Ce procédé constructif est emblématique d'un mode de conception où un bâtiment n'est plus construit en grande partie avec un matériau unique, mais où chaque matériau est utilisé à l'endroit où ses caractéristiques sont employées au mieux. La maîtrise d'œuvre cherche alors, dans la phase de conception du bâtiment, à optimiser l'utilisation des matériaux en fonction des propriétés recherchées, qu'elles soient d'ordre technique (structurelle, acoustique, thermique, inertielle,...), esthétique (couleur, texture,...), pratique (rapidité de pose, maniabilité,...) ou économique (faiblesse des coûts, peu d'entretien,...). Le bâtiment est ainsi alors composé d'une multiplicité de matériaux choisis en fonction d'un arbitrage entre ces quatre paramètres.

Dans le cas du procédé « pour un logement social innovant », les « meilleurs » matériaux ont été choisis pour réduire au maximum les délais de construction -et dans une moindre mesure des coûts- sans nuire à la qualité architecturale de l'ouvrage. Pour les propriétés structurelles, l'inertie thermique et l'isolation acoustique entre logements le maître d'œuvre s'est logiquement tourné vers le béton, puis vers la préfabrication pour réduire la durée du chantier. Les briques hauteurs d'étages, disposées en façade, ont été choisies pour leurs propriétés esthétiques, leurs bonnes propriétés thermiques et leur rapidité de pose. Enfin, l'acier est choisi en toiture car sa grande flexibilité lui permet de s'adapter au choix esthétique de la toiture courbe et car sa livraison en éléments de grande taille facilite la gestion de l'étanchéité et améliore la rapidité de pose.

Dans la plupart des solutions constructives courantes, des contraintes liées au procédé constructif empêchent souvent de la recherche du « meilleur » matériau. Par exemple, la fonction première d'une façade est d'isoler des éléments extérieurs (des intempéries, des nuisances extérieures, des intrus,...), de laisser entrer la lumière naturelle et, dans une moindre mesure, d'être esthétique. On devrait alors choisir le « meilleur » matériau ou la « meilleure » combinaison de matériaux en fonction de l'importance qu'on accorde à ces trois paramètres. Mais si le procédé constructif est en façades porteuses, ces dernières auront alors une contrainte supplémentaire : être suffisamment robustes pour supporter le poids du bâtiment. Cette nouvelle contrainte limite le champ des possibles et peut supprimer des combinaisons de matériaux qui auraient pu être optimales au regard des fonctions recherchées pour la façade.

De même, la préfabrication impose des contraintes supplémentaires liées au transport et à la maniabilité des éléments préfabriqués et vient réduire les possibilités offertes par les combinaisons de matériaux.

A l'inverse, le procédé constructif en poteaux-poutres béton place ce matériau uniquement aux endroits où il est nécessaire, sans assujettir les autres éléments constitutifs de l'ouvrage.

### *Impacts du procédé constructif*

#### *-sur l'organisation du chantier*

En cherchant à combiner les matériaux et à limiter la durée du chantier, l'équipe a fortement modifié son organisation. Le chantier des logements est presque sec, avec pour seule partie humide le coulage du remplissage des prémurs porteurs. La manipulation des prémurs béton requiert l'utilisation d'un camion grue. Son utilisation rythme l'avancée de la pose des parois

structurelles, à condition que celles-ci soient livrées au bon moment par l'industriel. La coordination des équipes du chantier doit être gérée avec minutie car les matériaux ont été choisis pour augmenter la vitesse de construction. De plus, une attention particulière doit être portée aux jonctions entre matériaux de différentes natures car chaque matériau est généralement manipulé par une entreprise spécialisée qui n'est pas habituée à la gestion des interfaces. Une fois la mise hors d'eau hors d'air rapidement réalisée, le chantier et son organisation sont comparables à un chantier traditionnel.

*-sur le jeu d'acteurs*

En faisant appel à des matériaux peu usuels dans la construction de logements, ce procédé constructif renforce la place des industriels produisant ces matériaux relativement atypiques et augmente en parallèle la possibilité de délais supplémentaires à la livraison. De plus, le recours à la préfabrication demande une bonne gestion de la convergence des besoins et intérêts entre l'industriel fabricant à la chaîne de montage bien rodée et le chantier, souvent confrontés à des aléas de diverses natures.

### 1.3.4 LE PROCÉDE « HABITAT COLONNE »



Procédé	<i>Habitat Colonne</i>
Système constructif	Poteau poutre béton
Mandataire	Vinci
Session CQFD	CQFD 1

Ce procédé porte sur l'utilisation d'une structure poteaux poutres béton et dalles béton, l'ensemble évitant les retombées de poutres. Les contreventements sont assurés par les cages d'escaliers extérieures et les façades extérieures sont en parpaing. Les poteaux peuvent être préfabriqués ou coulés sur place.

#### *Performances CQFD annoncées*

Les coûts de construction annoncés sont inférieurs de 10% aux coûts d'une opération traditionnelle, mais aucun niveau de prix de référence n'est fourni par le mandataire. Les gains de coût viennent à la fois de la réduction des délais et de la réduction du volume de matériaux pour la structure qui demande des fondations moins importantes (structure poteaux-poutres et non façades porteuses).

Pour une opération de 50 logements, les délais totaux annoncés sont de 10 mois contre 16 mois pour un procédé standard. Les gains de délais sur les travaux sont comparables aux gains de délais administratifs estimés liés à la procédure de conception/réalisation.

La trame de référence est 2.70m x 5.40m, et peut conduire à la présence de poteaux dans les grandes pièces mais laisse une grande liberté de configuration intérieure.

Le poteaux-poutres est un procédé éprouvé, bien que peu utilisé dans le logement. Il n'y a pas de conditions spécifiques de bonne réalisation au-delà du respect des règles de l'art. Le partenariat avec des industriels solides - Lafarge, Aldes- est aussi un gage de fiabilité.

#### *Evolutions du procédé constructif dans CQFD 3*

La trame est passée à 3m x 6m pour tenir compte des contraintes d'accessibilité handicapé.

Les façades ne sont plus maçonnées mais généralement en bois et préfabriquées par l'entreprise Arbonis, filiale de Vinci. Les performances thermiques ont été améliorées pour atteindre le niveau BBC.

### *Description de l'innovation*

L'innovation de conception du procédé Habitat Colonne porte sur l'utilisation d'une structure poteaux-poutres pour le logement alors que la structure dominante est une solution en façades et refends porteurs. Ce type de structure est largement utilisé en France pour les bâtiments de bureaux et est très répandue dans la construction de logements dans certains pays –Espagne, Maroc,...-.

Les raisons du choix de la façade porteuse plutôt que du poteaux-poutres ne semblent pas dictées par un principe de rationalité technique ou économique clair. La structure poteaux-poutres présente en effet de nombreux intérêts. Les aménagements intérieurs sont uniquement contraints par la trame de poteaux, ce qui laisse une grande flexibilité de configuration intérieure. Les coûts de construction sont généralement plus faibles qu'une solution en façade porteuse car il y a des économies de matière, aussi bien pour la structure porteuse que pour les fondations. Un des principaux défauts de cette solution constructive est sa faible résistance aux séismes. La structure poteaux poutres est à l'origine de nombreux effondrements de bâtiments suite à un tremblement de terre. La résistance aux séismes est encore réduite avec la préfabrication des poteaux et des poutres, qui impose une reprise de bétonnage à la jonction entre poteaux et poutres. Cette non-continuité du matériau béton dans une zone critique vient réduire encore la résistance de l'ouvrage. La préfabrication des éléments n'est donc pas conseillée dans une zone à sismicité forte.

Comme nous l'avons déjà mentionné –cf procédé « pour un logement social innovant »-, le système constructif poteaux-poutres va dans le sens d'une architecture où chaque fonction du bâtiment serait traitée séparément par le matériau ou le composant qui est le plus adapté. Dans cette logique, le poteaux-poutres béton contreventé par les escaliers extérieurs est la solution technique assurant la fonction structurelle, et d'autres solutions techniques peuvent ensuite être développées indépendamment pour assurer les autres fonctions. Par exemple, les fonctions requises pour les façades –isolation de l'extérieur, entrée de lumière naturelle, esthétique extérieur- peuvent être pensées dans un tout autre contexte : les matériaux choisis n'auront plus à assurer la tenue structurelle de l'ouvrage et on peut imaginer que les façades soient conçues dans un autre lieu puis rapportées sur la structure. Cette logique de construction permet une grande flexibilité dans la reconfiguration de l'ouvrage, car chaque fonction du bâtiment est traitée séparément et interfère peu avec les autres.

Logipass, l'autre procédé constructif innovant porté par Vinci, s'inscrit dans une logique presque opposée à celle d'Habitat Colonne. En plus d'assurer la fonction structurelle, la façade porteuse pré-câblée remplit une partie des fonctions de l'enveloppe et une partie des fonctions liées aux usages du bâtiment (précâblage électrique). Elle permet de développer des synergies dans le processus de construction mais restreint fortement les utilisations potentielles et enferme le bâtiment dans un cadre stricte d'utilisation. A contrario, le champ des possibles du système constructif poteaux-poutres laisse une grande flexibilité à la requalification de l'ouvrage lorsque le contexte urbain aura rendu son usage obsolète mais où les propriétés structurelles du bâti auront encore une longue durée de vie. Il est intéressant de constater que les performances économiques de ces deux procédés constructifs sont globalement similaires –entre 10% et 15% de réduction annoncée des coûts- alors que les solutions techniques proposées sont très éloignées.

L'utilisation d'un béton ayant une résistance améliorée pourrait permettre de limiter les retombées de poutres et d'augmenter l'écartement entre les poteaux, rendant encore plus flexible la configuration des aménagements intérieurs (cf la REX « Habitat Grande Portée » dans le programme Chantier 2000).

C'est certainement une réflexion sur les différentes fonctions du bâtiment et des éléments qui le compose qui a amené Vinci à intégrer des façades préfabriquées en bois avec isolant intégré à son procédé dans la troisième session de CQFD. Les fonctions requises pour la façade sont traitées séparément et ensuite raccordées à la structure porteuse sur le chantier. Le bois présente des caractéristiques environnementales plébiscitées par les maîtres d'ouvrage, mais est aussi un intérêt pour l'entreprise générale : sa légèreté rend les grands panneaux préfabriqués manipulables par des moyens de levage mécanique usuels.

Ce choix d'intégration d'éléments préfabriqués dans la construction du bâtiment soulève aussi la question de la répartition des activités entre le chantier et l'atelier de préfabrication mais ces éléments seront abordés plus loin dans le rapport, l'innovation première du procédé constructif Habitat Colonne venant du choix de la structure poteaux-poutres.

### *Impact du procédé constructif*

#### *- sur l'organisation du chantier*

La structure poteaux-poutres a un poids moins important que la structure porteuse, les fondations sont donc, à sol identique, moins importantes. La phase de gros œuvre est sans surprises la phase du chantier la plus modifiée par ce système constructif. En particulier, les banches ne sont plus utiles à la réalisation des murs.

#### *- sur le jeu d'acteurs*

La structure poteaux-poutres n'a pas d'influence directe notable sur le jeu d'acteurs, si ce n'est que l'entreprise de gros œuvre doit maîtriser cette technique et que l'équipe de conception doit intégrer les contraintes spécifiques à ce type de structure porteuse. Par contre, ce procédé constructif favorise le recours à la préfabrication d'éléments, que ce soient des poteaux de structure ou les façades, ce qui peut avoir indirectement de fortes conséquences sur le jeu d'acteurs en renforçant le rôle des industriels.

### 1.3.5 LE PROCEDE « BATINOV »



Procédé	<i>Batinov</i>
Système constructif	Béton
Mandataire	Ginnov
Session CQFD	CQFD 1

Le procédé Batinov est basé sur une double innovation organisationnelle. D'une part, le chantier est divisé en deux lots distincts et pré-réceptionnés, l'un portant sur la réalisation de l'enveloppe architecturale et technique et l'autre portant sur l'aménagement de la surface privative des logements ainsi que la finition des parties communes. D'autre part, le procédé Batinov fait appel à Ginnov, une association regroupant plusieurs industriels. Cette association joue le rôle d'intermédiaire entre l'entreprise générale et un ensemble d'industriels proposant des solutions techniques finies ou semi finies d'usine qui garantissent une bonne qualité d'exécution et de finition sans retouches lors du chantier.

#### *Performances CQFD annoncées*

Le coût est compris entre 900 et 1200 €HT/m<sup>2</sup> habitable hors VRD (année 2005).

En dehors des gains de délais liés à la procédure de conception-réalisation, il y a un gain de trois jours pour un T3 moyen, réalisé en 13 jours au lieu de 16. Ces gains sur le chantier sont réalisés uniquement sur le second lot de la démarche Batinov, portant sur l'aménagement de la surface privative des logements et finition des parties communes. Les gains de temps se font sur la peinture -1.5 jours-, sur l'appareillage et la distribution de la plomberie -1 jour- et sur l'appareillage électrique -0.5 jour-.

L'innovation de ce procédé est organisationnelle et n'implique aucunes contraintes sur la morphologie et la qualité architecturale des ouvrages, hormis le choix de produits industriels parmi une liste proposés par les industriels partenaires de Ginnov. Cette liste est en constante évolution et intègre un nombre toujours plus important de produits. Le potentiel de conception est ouvert car ce procédé constructif est non contraignant et s'adapte à de nombreux contextes, comme l'ont montré les nombreuses opérations expérimentales.

Le principal intérêt de ce procédé constructif réside dans sa fiabilité. La présence d'une grande entreprise générale dans le groupement et la pré-réception des macros-lots qui permet de lever les éventuelles réserves avant la livraison sont autant de gage de fiabilité des performances, notamment en termes de délais de livraison.

### *Evolutions du procédé constructif dans CQFD 3*

Les évolutions apportées par Ginnov pour la troisième session de CQFD ont donné naissance à un nouveau concept, baptisé BATINOV PAC. Ces évolutions sont, d'après les données fournies par le mandataire, l'extension de la liste des produits finis/semi finis d'usine, la systématisation du label « Chantier Bleu » et l'utilisation du logiciel « Projection, l'Indice de Construction Durable ».

-l'accroissement de la liste des produits finis/semi-finis d'usine était déjà possible dans le concept Batinov (d'après le document de reconduction pour CQFD 3, au sujet du concept Batinov « Au fil des réalisations, de nouveaux produits se sont greffés au concept Batinov »). Il paraît donc difficile de considérer l'allongement de la liste de ces produits comme une évolution du concept.

-le label « Chantier bleu », systématisé dans le concept Batinov PAC, est une charte de chantier environnemental interne à l'entreprise Bouygues. Elle vise à reconnaître les chantiers phare en matière de Qualité, de Sécurité et d'Environnement. 126 chantiers ont été labellisés dès 2006. Norpac, filiale de Bouygues ayant réalisé la majorité des opérations CQFD Batinov, a labellisé 60 chantiers en 2009 et engage depuis 2010 tous ses chantiers dans la démarche du label Chantier Bleu.

-le logiciel « Projection, l'Indice de Construction Durable » permet d'afficher une première tendance vis-à-vis de la certification Habitat & Environnement gérée par Cerqual. Sa première utilisation dans CQFD remonte à l'opération de 104 logements à Lambersart – protocole signé en avril 2008-. Ginnov avait alors baptisé BATINOV PRO 3 l'intégration du logiciel « Projection, l'Indice de Construction Durable » à la démarche Batinov.

Ce logiciel a été initialement développé par Losinger, filiale suisse de Bouygues Construction, et a été présenté pour la première fois lors du congrès HLM de Lyon en 2007, et 150 commerciaux de Bouygues ont été formés à l'utilisation de ce logiciel dès 2008. Son utilisation est donc très répandue en dehors du cadre de CQFD.

Les évolutions apportées au concept Batinov semblent ainsi issues de l'intégration d'une démarche qualité généralisée à l'ensemble des filiales de Bouygues plutôt que d'une réflexion propre à CQFD.

En janvier 2008 Norpac a mis au point une nouvelle méthode constructive, baptisée « Inovpac ». Cette méthode constructive se rapproche fortement du procédé constructif « Batinov » et s'étend progressivement aux autres filiales de Bouygues (offre de stage sur la démarche « Inovpac », rédaction de mémoire,...).

### *Description de l'innovation*

En dehors du phasage en deux lots pré-réceptionnés, la principale innovation du procédé Batinov vient de l'apparition d'un intermédiaire dans la négociation entre l'entreprise générale et les industriels. Cet intermédiaire, l'association Ginnov, établit un partenariat avec différents industriels et peut ainsi proposer à l'entreprise générale Bouygues une liste étendue de produits de second œuvre sélectionnés pour le faible niveau de retouche qu'ils génèrent. L'utilisation sur le chantier de produits issus de cette liste réduit les délais du second œuvre et permet au chantier d'être livré sans réserve.

Le rôle de l'intermédiaire entre entreprise générale et industriels est ici centré sur la sélection de produits améliorants la vitesse de la phase de second œuvre mais les possibilités de cet intermédiaire sont multiples et l'association Ginnov pourrait être préfiguratrice d'un nouveau positionnement des industriels dans la construction.

L'intermédiaire pourrait par exemple regrouper un ensemble d'industriels issus de domaines très divers pour proposer une offre technique complète à une entreprise générale. Cette intermédiaire deviendrait alors son interlocuteur unique. Les prémices de ce positionnement nouveau existent aujourd'hui avec des associations comme BATIC –qui est également membre de Ginnov-.

Une organisation basée sur des industriels sans interactions est bien adaptée à une passation de marchés en lot séparés, où chaque industriel a un lot qui lui correspond et négocie avec l'entreprise bénéficiaire du lot. Dans le cas d'un marché en entreprise générale ou en conception/réalisation, c'est une offre globale qui est attendue du prestataire. La collaboration d'industriels regroupés au sein d'une entité unique est une solution à ce besoin de prestation globale. On pourrait par exemple imaginer un regroupement d'industriels proposant un « pack RT 2012 » regroupant les solutions techniques à même de remplir les exigences de la nouvelle réglementation thermique.

A terme, ce nouveau service d'« ensemblier » industriel pourrait connaître de multiples développements mais sa position privilégiée d'interlocuteur unique du client pourrait le conduire à capter une grande partie de la marge des industriels.

### *Impacts du procédé constructif*

#### *- sur l'organisation du chantier*

Le chantier est divisé en deux macro-lots pré-réceptionnés. L'intégration d'éléments finis ou semi-finis d'usine limite les reprises et accélère l'aménagement des parties privatives.

#### *- sur le jeu d'acteurs*

La collaboration avec une association d'industriels élargit l'offre proposée par l'entreprise générale, qui pourrait à terme se rapprocher d'une offre globale. La constitution d'une offre complète faciliterait la position du maître d'ouvrage, qui aurait alors une vision très précise des composants du futur bâtiment. En contrepartie, cela pourrait l'encourager à se distancer du suivi de la réalisation et il pourrait perdre sur le long terme sa compétence dans la maîtrise du fonctionnement du bâtiment. De p

lus, ce type de marché serait réservé aux quelques majors du secteur du bâtiment.

## 1.4 LES PROCÉDES MAÇONNÉS

### 1.4.1 LE PROCÉDE « BLOCS THERMOPIERRE »



Procédé	<i>Bloc Thermopierre</i>
Système constructif	Blocs de béton cellulaire
Mandataire	Xella Thermopierre
Session CQFD	CQFD 1

Unique procédé maçonné labellisé dans les deux premières sessions de CQFD, « Bloc Thermopierre » repose sur l'utilisation du béton cellulaire pour la structure du bâtiment. Ce matériau structural léger présente à la fois des caractéristiques mécaniques et thermiques permettant de réaliser des structures maçonnées à isolation répartie. Le dossier initial a été représenté lors de la session CQFD 2 pour que son utilisation puisse être étendue au collectif.

#### *Performances CQFD annoncées*

Le coût travaux hors VRD pour un niveau thermique BBC est compris entre 1 150 €HT/m<sup>2</sup> habitable pour une maison individuelle T3 de 68 m<sup>2</sup> et 1 350 €HT/m habitable pour du collectif R+3 ou R+4.

Les délais sont de 9 à 11 mois pour 20 unités de maisons individuelles. Le béton cellulaire étant environ cinq fois plus léger que le béton les blocs peuvent être plus gros et la mise en œuvre est plus rapide qu'en maçonnerie traditionnelle (de deux à neuf fois plus rapide, selon Xella)..

Le bloc de béton cellulaire étant poreux pour présenter de bonnes performances thermiques, ses propriétés structurales et acoustiques sont amoindries, ce qui limite le cadre de son utilisation. Sur le plan structural, le bloc en béton cellulaire permet de monter jusqu'à R+4 – les blocs font alors 36.5 cm de large-. Au dessus de R+4, le procédé constructif change et il faut utiliser un mur manteau ou une solution de remplissage. La portée maximale d'une toiture en béton cellulaire est de 6m. Compte tenu de sa portée limitée, le plancher en béton cellulaire n'est généralement utilisé que pour les maisons individuelles. De plus, il est souvent difficile de respecter la réglementation acoustique (NRA) en collectif avec ce type de

plancher. La grande taille des blocs permet de diminuer les liaisons, donc les problèmes d'étanchéité à l'air, ce qui est un atout pour le respect de la RT 2012. De même, selen Xella Thermopierre, une épaisseur de murs de 36.5 cm en maisons individuelle permet de s'affranchir d'isolant tout en atteignant un niveau de performances thermiques BBC.

### *Evolutions du procédé constructif dans CQFD 3*

Le procédé constructif présenté dans CQFD 1 était uniquement réservé à la maison individuelle. Pour la reconduction dans CQFD 2 puis 3, l'utilisation du procédé constructif a été étendue au logement collectif.

### *Description de l'innovation*

Le béton cellulaire, inventé en Allemagne vers 1920, est utilisé en France depuis le début des années 1950 mais son utilisation reste peu répandue.

En opposition avec l'approche cherchant à remplir séparément chaque fonction du bâtiment, l'intérêt principal du béton cellulaire vient de l'intégration des propriétés d'isolation thermique au matériau utilisé pour la façade porteuse.

Cette combinaison de propriétés différentes dans un matériau unique est limitée par l'opposition des propriétés sollicitées. Là où les propriétés structurelles demandent un matériau dense et compact, les propriétés thermiques demandent un matériau expansé et rempli de vide. L'antagonisme de ces propriétés a été résolu dans le béton cellulaire par des murs d'une largeur importante -jusqu'à 36.5 cm pour un bâtiment en R+4-. Au-delà, les solutions constructives sont différentes et des chaînages complémentaires ou des solutions de remplissages doivent être ajoutées pour assurer la résistance structurelle.

L'équilibre qui avait été trouvé pour l'épaisseur des murs confère de bonnes propriétés thermiques à l'enveloppe, mais elles ne sont généralement pas compatibles avec le niveau de performances élevées requises par la RT 2012. Un complément d'isolation intérieur est généralement nécessaire pour atteindre ce niveau de performances. Ce complément d'isolation thermique est souvent doublé d'un complément d'isolation acoustique, les murs légers et poreux n'ayant pas de bonnes propriétés phoniques.

Avec les précédentes réglementations thermiques, l'isolation de la façade était uniquement assurée par le béton cellulaire. La mise en place de la RT 2012 va certainement contraindre les édifices en béton cellulaire à intégrer un complément d'isolation thermique car les exigences de performances thermiques élevées imposeront une épaisseur de murs bien supérieure à celle requise par les exigences structurelles, au moins pour la maison individuelle. Mais cette isolation complémentaire pourra être réalisée en intérieur, car le béton cellulaire permettra de limiter les ponts thermiques grâce à son isolation répartie.

La recherche de matériaux permettant de limiter les ponts thermiques tout en ayant de bonnes propriétés structurelles est un grand enjeu pour les industriels car ces matériaux permettent de réaliser une isolation par l'intérieur sans grever les performances thermiques de l'enveloppe. On peut par exemple mentionner le partenariat entre Bouygues et Lafarge qui a récemment aboutit au développement du béton Thermedia. La conductivité thermique de ce béton est trois fois plus faible que celle d'un béton classique, mais reste encore environ trois fois plus élevée que la conductivité thermique du béton cellulaire.

Un béton cellulaire réalisé avec un béton plus résistant, permettrait de construire des édifices ayant plus de niveaux, ou des blocs ayant plus de vide et donc des propriétés thermiques renforcés qui ne nécessiteraient pas de complément d'isolation thermique. Par contre, ce type de bloc aurait des propriétés phoniques moindres et son utilisation en zone bruyante devrait intégrer un isolant phonique.

### *Impact du procédé constructif*

#### *-sur l'organisation du chantier*

Sur le chantier, l'utilisation du béton cellulaire demande une plus grande minutie de la part de l'entreprise de gros œuvre que pour une structure en briques ou en parpaings ; en effet, les blocs ont des dimensions plus importantes et les joints de liaison, minces, autorisent moins de réajustements pour le respect de la planéité. Par contre, la découpe aisée du matériau permet de réaliser des découpes mineures d'ajustement sur le chantier.

La relative légèreté du matériau par rapport aux blocs bétons permet de réaliser des blocs manuyportables de dimension plus larges, ce qui accélère la phase de gros œuvre.

De plus, ce matériau permet de réaliser aisément des saignées pour le passage des câbles, sans trop impacter les propriétés thermiques de l'enveloppe et l'étanchéité à l'air car l'isolation est répartie sur l'ensemble de l'épaisseur.

#### *-sur le jeu d'acteurs*

Les industriels produisant ce matériau et les sites de production sont peu nombreux, ce qui engendre plus d'aléas à la livraison et un coût du transport plus important. De même, le savoir-faire des entreprises manipulant les blocs de béton cellulaire limite le nombre d'acteurs susceptibles de réaliser un ouvrage de qualité, mais le grand nombre d'entreprises de maçonnerie a permis au mandataire de trouver localement des acteurs compétents pour réaliser les opérations.

Enfin, la maîtrise d'œuvre doit intégrer à la conception les caractéristiques de ce matériau innovant, en tenant compte de ses bonnes propriétés thermiques et ses faibles qualités acoustiques.

## 1.5 LES PROCÉDES ACIER

Les deux procédés acier ciblent les maisons individuelles et ont proposé une solution constructive basée sur une structure poteaux-poutres. Les innovations portées par ces procédés étant similaires, nous avons décrit l'innovation et son impact sur le chantier et le jeu d'acteurs uniquement pour le procédé Archilenoir, mais ces descriptions sont aussi valables pour le procédé Puzzle.

### 1.5.1 LE PROCÉDE « PUZZLE »



Procédé	<i>Puzzle (anciennement SCOPEMI)</i>
Système constructif	Poteaux poutres acier
Mandataire	SMII Diffusion
Session CQFD	CQFD 2

Le procédé est basé sur une ossature poteaux poutres acier (profilés minces MULTIBEAM de chez Arcelor) avec remplissage en panneaux sandwich bois ou acier, puis isolation complémentaire par l'extérieur.

#### *Performances CQFD annoncées*

Le coût est d'environ 1000 €HT/m<sup>2</sup> (valeur 2007), avec une VMC hygrothermique. Pour ce niveau de coût, les performances thermiques associées sont de 20% à 30% supérieures à la RT 2000, mais le niveau de performances thermiques peut aller jusqu'au THPE 2005.

Pour la construction d'une maison individuelle, la durée du chantier est estimée à quatre mois, avec une mise hors d'air au bout d'une semaine. Avec ce procédé, les délais de construction sont de 6-8 mois pour 19 logements dont 7 maisons individuelles et un logement collectif en R+1.

L'ossature poteaux poutres laisse une grande liberté d'agencements intérieurs. Par contre, pour garder une rentabilité par rapport aux procédés traditionnels, la résistance structurelle des profilés acier limite la hauteur des constructions à R+2.

Une suite de logiciels a été développée pour optimiser les phases de formalisation de la conception et d'organisation du chantier, et estimer le prix à +-5% dès l'Avant Projet Sommaire. Les logiciels développés permettent au maître d'ouvrage de s'impliquer plus fortement dans la conception à l'élaboration du projet.

Deux programmes phares composent principalement la suite de logiciels :

-un logiciel en ligne permet au maître d'ouvrage de composer les plans de ses maisons, de dialoguer en ligne avec un architecte partenaire de Puzzle et d'avoir une bonne idée du coût (à 5%près)

-un logiciel pour l'architecte qui peut réaliser la conception et les plans (3D, vues de plans, coupes,...) de la future construction en une journée. Ce logiciel génère aussi le planning des travaux et le nombre de compagnons à mobiliser. Les données sont au format IFC et donc compatibles avec de nombreux logiciels de modélisation numérique.

Plusieurs opérations ont déjà été construites avec ce procédé, comme les deux programmes HLM locatifs qui ont été réalisés pour la SEM de Colomiers (programme HABITAT 88).

### *Evolutions du procédé constructif dans CQFD 3*

SADEF –spécialisé dans la pose et la fabrication de profils acier- s'est associé au groupement. Par contre, Nobatek et ARCELOR n'en font plus partie.

Un travail a été fait sur l'amélioration technique et sur le passage au BBC : le procédé constructif utilise de nouveaux panneaux de façade, intègre des systèmes d'ossature acier SadeF et a simplifié la finition des revêtements.

Une étude thermique réalisée par le CSTB a conclu que les ponts thermiques inhérents au procédé n'empêchaient pas d'atteindre le niveau BBC, moyennant le respect des détails de conception. Cette étude devrait cependant être croisée avec des études complémentaires pour vérifier que les configurations étudiées (certaines sont hors techniques traditionnelles) n'entraînent pas de pathologies.

### *Description de l'innovation*

Voir le procédé Archilenoir.

### *Impact du procédé constructif*

Voir le procédé Archilenoir.

### 1.5.2 LE PROCEDE « ARCHILENOIR »



Procédé	<i>Archilenoir</i>
Système constructif	Maisons individuelles à charpente métallique
Mandataire	Eric Lenoir, architecte
Session CQFD	CQFD 1

Le procédé, destiné aux maisons individuelles, s'appuie sur une structure poteaux poutres acier, sur la base d'un pas de 60 cm. Deux configurations de maison sont proposées dans CQFD.

#### *Performances CQFD annoncées*

Le coût de construction est de 800 € HT/m<sup>2</sup> habitable (valeur 2005) pour une opération de 12 logements du modèle 360.2 de 111m<sup>2</sup> habitable et 820 € HT/m<sup>2</sup> habitable (valeur 2005) pour une opération de 12 logements du modèle 20.1 de 89 m<sup>2</sup> habitable. Pour ce coût, les prestations en termes d'isolation et d'équipements techniques ne dépassent pas le minimum réglementaire.

Pour le cycle complet –conception, clos couvert, second œuvre, parachèvement-, il faut compter 20 semaines pour 12 logements ou 26 semaines pour 24 logements.

Ce procédé constructif libère de grands plans à l'intérieur, et les cloisons internes sont démontables. Par contre, seules deux configurations de maison sont proposées dans CQFD.

La faible inertie thermique du procédé pourrait poser des problèmes de confort d'été, ce qui ne semble pas le cas d'après le premier retour d'expérience (voir la 10<sup>ème</sup> minute du reportage sur l'opération de Chantepie, où les occupants ne se plaignent pas du confort d'été) (Ordre des Architectes 2009).

La forte conductivité thermique du métal demande un traitement minutieux des ponts thermiques pour respecter la RT 2012, et la fiabilité de réalisation de ce procédé constructif reste à prouver, car l'équipe constructive n'est pas constituée. Les industriels fournisseurs des produits de construction ne sont pas identifiés, et les entreprises maîtrisant les techniques de construction en ossature acier peuvent être difficiles à trouver. Seule une

opération de 26 logements a été réalisée, et le chantier a rencontré de nombreuses difficultés liées notamment à des problèmes de gestion d'interfaces entre corps d'état.

### *Evolutions du procédé constructif dans CQFD 3*

Le procédé constructif n'a pas connu d'évolutions notables pour sa reconduction dans CQFD 3, et son mandataire a abandonné l'idée de réaliser des logements avec une structure métallique.

### *Description de l'innovation*

La structure poteaux poutres acier de section adaptée est généralement utilisée en France pour les bâtiments du type hangar, entrepôt, ou commerce de zone commerciale. Deux lauréats de CQFD, dont au moins un est issu de ce milieu, ont proposé de transposer ce système constructif poteaux poutres acier à la maison individuelle en R+1.

Comme pour le poteaux-poutres béton destiné au logement collectif, ce mode constructif va dans le sens d'une conception fonctionnelle où les différentes fonctions du bâtiment sont identifiées et traitées séparément par les matériaux ou composants les plus appropriés. On retrouve donc les avantages de ce mode constructif (possibilité d'industrialiser les façades et les planchers, facilité d'évolutions de la configuration intérieure, séparation des fonctions du bâtiment pour optimiser chacune d'elle séparément,...).

Pour les logements collectifs, c'est le béton qui a été choisi comme matériau pour la structure poteaux-poutres, notamment car ce matériau résiste mieux en cas d'incendie et car les entreprises du secteur construction sont habituées à le manipuler. Mais le béton doit être coulé en place ou amené sous forme de poteaux préfabriqués difficilement maniables, et son utilisation pour les bâtiments de petite taille n'est donc pas appropriée. A contrario, la structure acier est plus légère, très rapide à mettre en place, et peut se faire en chantier sec. C'est pourquoi les mandataires se sont orientés vers ce matériau pour les logements individuels. Par contre, dans la perspective de la généralisation de la RT 2012, la forte conductivité thermique de ce matériau peut être un défaut majeur.

### *Impact du procédé constructif*

#### *-sur le chantier*

Le choix d'une structure poteaux-poutres acier modifie profondément les habitudes du chantier. En effet, ce dernier est sec et le montage de la structure porteuse très rapide. La mise hors d'eau hors d'air de l'ouvrage peut être elle aussi accélérée si le parti constructif fait appel à des façades préfabriquées.

La maîtrise de l'étanchéité à l'air et des ponts thermiques ainsi que la bonne gestion des interfaces entre corps d'état ne sont pas simples et sont inhabituelles. Les entreprises doivent donc être qualifiées pour travailler sur ce type d'ouvrage.

Enfin, suivant la nature des éléments constitutifs des façades le bâtiment peut être considéré comme un ouvrage léger –comme les maisons à ossature bois- et utiliser alors un système de fondations sur pieux métalliques adapté bénéficiant d'un avis technique<sup>1</sup>.

#### *-sur le jeu d'acteurs*

Les industriels, préfabriquant la structure porteuse, ont un rôle accru avec ce procédé constructif. Leur positionnement peut même être central si la préfabrication des façades vient compléter la structure poteaux poutres.

La maîtrise d'œuvre doit intégrer en amont la forte conductivité thermique du métal et faire attention au traitement des ponts thermiques, mais peut jouer sur la grande modularité des espaces apportée par la structure poteaux poutres.

La gestion de l'étanchéité à l'air et le traitement des ponts thermiques demandent un travail minutieux de la part des entreprises. Malheureusement les entreprises habituées à la pose de structures poteaux poutres acier semblent aujourd'hui peu nombreuses à être compétentes dans la gestion des interfaces avec les autres corps d'état (retour d'expérience Archilenoir). Les marchés principaux de la structure poteaux poutres sont les bâtiments de stockage et les bâtiments commerciaux, où les interfaces sont plus limitées que dans le logement. Une entreprise habituée à ce type de bâtiments peut donc avoir des difficultés dans une opération de logements, où les interventions sont plus intégrées.

---

<sup>1</sup> Avis Technique n°3/09-602 pour les pieux métalliques vissés TECHNOPIEUX

## 1.6 LES PROCÉDÉS BOIS

Avec 7 procédés constructifs sélectionnés sur 15, le bois est le matériau le plus représenté parmi les procédés CQFD. Les procédés associés sont parmi ceux qui font le plus appel à la préfabrication, à des niveaux plus ou moins important.

Le bois connaît actuellement une forte croissance de son utilisation dans la construction et le positionnement récent des majors du BTP ou des grands promoteurs (par exemple le concept Access Design de Nexity) préfigure une montée en puissance dans les années à venir. Le bois est en effet un matériau au potentiel écologique important –il stocke du CO<sub>2</sub>-, renouvelable et fortement présent en France, qui vient amener de la diversité dans l'esthétique des bâtiments. S'il fait actuellement l'objet d'une politique volontariste forte de la part des pouvoirs publics, l'émergence du bois n'aurait pas été possible sans la mécanisation poussée de son système de découpe et d'assemblage, qui l'amène dans des niveaux de prix qui le rendent compétitifs avec d'autres matériaux.

Il y a de multiples manières de classer les procédés bois. Parmi les procédés CQFD nous avons identifié trois grandes familles de procédés.

Deux procédés ont proposé des solutions en bois massif. Pour ces procédés la préfabrication se limite aux matériaux de structure. Les planches de bois massif sont découpées puis assemblées industriellement en usine, avant d'être transportées et montées sur le chantier. La diversité de ces procédés constructifs vient des méthodes d'assemblage des planches, qui sont ici contrecollées ou tourillonnées. Pour ces procédés constructifs, l'implication de l'industriel ne va pas au-delà de la fourniture des panneaux bidimensionnels, l'aide à la conception ou à la manipulation des panneaux sur site ne fait pas partie de ses missions.

Deux autres procédés ont opté pour des solutions que nous avons appelé solutions intermédiaires, où la préfabrication porte sur des éléments complexes –par exemple façade avec isolant, bardage, pare vapeur et pare pluie incorporés- mais se limitent aux parois opaques et n'intègre ni les ouvrants ni les éléments du second œuvre technique. L'industriel sort alors de son rôle traditionnel de fournisseur de composants et assure souvent une aide à la conception du bâtiment et au montage de la structure.

Les trois autres procédés ont choisi une préfabrication maximale du bâtiment pour réduire le chantier à la portion congrue. Un maximum de tâches est effectué en atelier, et le chantier se limite aux fondations, à l'assemblage de la structure et aux finitions. L'industriel couvre alors l'ensemble des compétences et le chantier n'a besoin quasiment que de main d'œuvre non qualifiée et de moyens mécaniques de levage.

### 1.6.1 PERFORMANCES TECHNIQUES DE PROCÉDES BOIS

Plusieurs procédés CQFD sont fondés sur l'utilisation d'éléments en bois comme indiqué dans le tableau suivant. Certains procédés font appel à des produits industriels proposés sur le marché français.

Nom du procédé CQFD	Produit industriel associé	Poteaux	Poutres	Panneaux mur	Panneaux planchers	Structures 3D	Support de couverture et d'étanchéité
Concept DOREAN		✓	✓				
Procédé LIGNO-TREND	LIGNO-TREND			✓	✓		v
La maison individuelle MUSE				✓		✓	
Industrialiser la construction en bois	LENO			✓	✓		v
Bois massif tourillonné	KMH			✓	✓		v
Un appartement dans un module						✓	
Le bois pour l'habitat social				✓	✓		

L'évaluation technique de ces procédés relève de plusieurs démarches adaptées à leur conception, à leur degré de maturité et à leur caractère innovant.

Plusieurs procédés sont déclarés par leurs promoteurs comme relevant du DTU 31.2 (Construction de maisons et bâtiments à ossature en bois). Or, ce document, s'il « propose des clauses types de spécifications de mise en œuvre pour les travaux d'exécution de tout ouvrage ou partie d'ouvrage de constructions à ossature bois dont les murs notamment sont réalisés à partir de poteaux et de poutres en bois, quelle que soit leurs sections », ne saurait couvrir tous ces procédés.

Le tableau suivant présente la situation en février 2012 relativement à l'évaluation technique des procédés concernés.

<b>Nom du procédé CQFD</b>	<b>Relève du DTU 31.2</b>	<b>Procédure d'évaluation</b>	<b>observations</b>
<b>Concept DOREAN</b>	Non	Atex + PASS	La poutre treillis originelle évolue vers une poutre en I qui doit être associée à un marquage CE (référentiel ETAG <sup>2</sup> 11 (Poutres et poteaux composites légers à base de bois)).
<b>Procédé LIGNO-TREND</b>	Non	Produit sous ATE <sup>3</sup>	DTA GS n°3 et GS n°5
<b>La maison individuelle MUSE</b>	Non		Marquage CE (référentiel ETAG 23 (Unités de construction préfabriquées)).
<b>Industrialiser la construction en bois</b>	Non	Précédé sous ATE + DTA	Révision DTA en cours
<b>Bois massif tourillonné</b>	Non	-	Procédure d'Atec envisagée (avec un autre fournisseur que KMH)
<b>Un appartement dans un module</b>	Non	-	Marquage CE (référentiel ETAG 23, ETAG 7 (Kits de construction à ossature bois) et ETAG 12 (chalets, kit de construction préfabriquée en structures et rondins de bois)).
<b>Le bois pour l'habitat social</b>	Oui	-	

---

<sup>2</sup> ETAG : European Technical Agreement Guide : Guide d'Agrément Technique Européen

<sup>3</sup> ATE : Agrément Technique Européen

## 1.6.2 LES PROCÉDES EN BOIS MASSIF

Deux procédés ont utilisé le bois massif pour la structure. Comme ces innovations présentent des similitudes, nous les avons traitées ensemble dans le procédé « Industrialiser la construction bois ».

### 1.6.2.1 Le procédé « Construction en bois massif tourillonné »



Procédé	<i>Construction en bois massif tourillonné</i>
Système constructif	Panneaux de bois massif tourillonnés
Mandataire	2DKS
Session CQFD	CQFD 2

Ce procédé s'appuie sur l'utilisation de panneaux de bois massif tourillonné. Le bois massif tourillonné est constitué de planches de bois assemblées entre elles par un tourillon d'une autre essence de bois ayant un degré d'hygrométrie naturel plus faible. Une fois inséré dans les planches le tourillon gonfle en s'humidifiant et assure la liaison entre les planches.

#### *Performances CQFD annoncées*

Le coût est de 1250 €/m<sup>2</sup> pour du R+1 et 1 200 €/m<sup>2</sup> pour du R+2 (valeur 2007) avec une consommation de chauffage de 30-40 kWh/m<sup>2</sup>.an. Il faut compter 15% de plus pour atteindre un niveau de performances thermiques PassiveHaus (1 400 €/m<sup>2</sup> pour du R+1 ou du R+2).

Pour une opération qui devrait durer 17 mois (conception et construction) avec un procédé traditionnel, les délais sont réduits à 10 mois avec ce procédé constructif, toutes choses égales par ailleurs. Deux mois sont gagnés à la conception, un mois est gagné pendant les terrassements/fondations, deux mois sont gagnés sur le gros œuvre et un mois est gagné sur le second œuvre. Le dernier mois est gagné en superposant la fin de la conception et le début des fondations. La fabrication des panneaux en usine se fait en temps masqué sur les travaux de terrassement/fondation.

Pour une maison individuelle, la mise hors d'eau hors d'air est très rapide et peut être réalisée en quelques jours par une équipe de trois ou quatre personnes.

Les performances écologiques du matériau sont meilleures que les bois contrecollés car aucune colle n'est utilisée lors de la réalisation des panneaux. Ce système d'assemblage présente aussi l'avantage de solliciter des investissements moins importants qu'une usine de panneaux contrecollés. En contrepartie, les performances structurelles des assemblages sont moins bonnes mais théoriquement suffisantes pour des logements en R+4, et il n'est pas actuellement nécessaire d'aller plus loin car la réglementation incendie limite leur hauteur à R+3 pour ce procédé constructif. Le mandataire ne fournit pas d'éléments sur la portée du bois massif tourillonné.

Les planchers sont recouverts d'une chape de béton de 5 cm, et la solution retenue permet d'obtenir une bonne isolation phonique et une bonne inertie. Sur le plan thermique, il n'y a pas de contraintes particulières à la pose de l'isolant et à l'atteinte d'un niveau de performances élevé.

### *Evolutions du procédé constructif dans CQFD 3*

Il n'y a pas eu d'évolutions notables du procédé constructif pour sa reconduction dans CQFD 3, mais des efforts sont faits sur sa normalisation. Beaucoup d'essais, notamment acoustiques, ont été menés au CSTB. Un avis technique est en cours d'instruction. Ce procédé ne dépend pas du DTU 31.2, et une réflexion est en cours sur la reconnaissance du procédé.

### 1.6.2.2 Le procédé « Industrialiser la Construction Bois »



Procédé	<i>Industrialiser la Construction Bois</i>
Système constructif	Panneaux de bois massif contrecollé (LENO)
Mandataire	Atelier 15, SCOP d'architecture
Session CQFD	CQFD 2

Ce procédé est basé sur l'utilisation de panneaux de bois massif empilés en couches croisées et contrecollés sur toute leur surface (panneaux LENO). Ce sont des panneaux de grande portée adaptés à la construction de logements collectifs.

#### *Performances CQFD annoncées*

Les coûts (2007) hors VRD et conception sont de 1 350 €HT/m<sup>2</sup> habitable pour une opération de 4 123 m<sup>2</sup> habitables, répartis en 6 unités d'habitations en R+2 et 7 maisons.

La réduction des délais de chantier est le grand intérêt de l'utilisation de grands panneaux industrialisés, et il faut compter 1.5 jours de montage pour la structure d'un logement de 90 m<sup>2</sup>. Pour une opération de 60 logements, il faut compter 5 semaines de fabrication des panneaux de bois, une semaine de livraison, puis 13 semaines de chantier. Cinq semaines sont suffisantes pour la mise hors d'eau hors d'air du chantier.

Il n'y a pas de dimension standard des panneaux, ce qui garanti une bonne diversité architecturale. De plus, le panneau bois massif en intérieur apporte un bon confort hygrothermique et de l'inertie thermique. Les performances acoustiques semblent compatibles avec la NRA en collectif (utilisation de la loi masse-ressort-masse dans les planchers) mais ne sont pas décrites.

Sur le plan thermique, il n'y a pas de contraintes particulières à la pose d'un isolant et à l'atteinte d'un niveau de performances élevé.

Les panneaux LENO bénéficient d'Avis Techniques en dehors des zones sismiques et la taille de l'entreprise Finnforest (devenue depuis Metsä Wood) donne de la fiabilité au procédé constructif, même si l'éloignement entre sites de productions et d'utilisation peut perturber la livraison des panneaux (ils sont fabriqués en Finlande).

### *Evolutions du procédé constructif dans CQFD 3*

Dans la troisième session de CQFD ce procédé constructif a évolué, principalement pour améliorer les performances acoustiques des planchers. Ceux-ci ne sont plus en panneaux massifs LENO mais en KERTO RIPA (T), ce qui permet de mettre du sable à l'intérieur des planchers pour améliorer les performances acoustiques. Après tests, le DnT,A est de 60 dB. Les planchers en KERTO RIPA (T) bénéficient aussi d'un Avis Technique et ont une portée qui peut aller jusqu'à 20m.

### *Description de l'innovation*

L'innovation du panneau de bois massif est avant tout une innovation de matériau. Le bois vient ici assurer la fonction structurelle à la place du traditionnel béton banché. Le bois massif peut présenter d'excellentes propriétés structurelles et un bâtiment en R+11 est actuellement en projet en Allemagne. Pour ce procédé, des planches de bois sont liées entre elles puis découpées en usine avant d'être transportées sur le chantier en panneaux bidimensionnels. La découpe est mécanisée et il y a très peu de contraintes sur la forme de panneaux. La particularité des deux procédés constructifs lauréats de CQFD vient de la technique choisie pour l'assemblage des planches. Un procédé a opté pour un assemblage par colle, qui permet d'obtenir des performances structurelles plus importantes mais qui demande un investissement élevé dans les machines de collage. L'autre procédé a choisi un assemblage par tourillon, qui est plus écologique et nécessite des investissements moins importants mais ne permet pas d'atteindre les mêmes résistances structurelles.

La préfabrication des murs de bois massifs en atelier apporte de nouvelles possibilités au monde de la construction, ce type de panneaux étant extrêmement difficile à réaliser sur site.

Par contre, le bois massif reste plus cher que les solutions traditionnelles ou que les autres procédés bois et son utilisation semble pour l'instant limitée aux ouvrages nécessitant des performances structurelles exceptionnelles –bâtiments très haut, avec de grandes portées,...- ou choisissant le bois massif pour des raisons esthétiques ou emblématiques.

### *Impact du procédé constructif*

#### *-sur l'organisation du chantier*

Le montage des panneaux doit être effectué par une entreprise maîtrisant à la fois le bois et les techniques de manutention et d'assemblage d'éléments de grande dimension. Ces compétences qui peuvent être difficiles à trouver actuellement. Le montage de la structure bois est très rapide, et la mise hors d'eau hors d'air du bâtiment est accélérée. Le chantier est sec, et les murs peuvent être aisément percés, par exemple pour fixer un isolant ou un bardage extérieur.

#### *-sur le jeu d'acteurs*

La conception des bâtiments demande de faire appel à une équipe de maîtrise d'œuvre rompue à l'utilisation des techniques bois. Pour la phase de gros œuvre ce type de procédé constructif fait appel à un nouveau type d'entreprise maîtrisant le maniement d'éléments bois de large dimension, et cette qualification est encore peu répandue aujourd'hui.

Avec ce procédé constructif, l'industriel fabrique des éléments complexes dans une usine demandant un fort investissement initial, et il n'a que peu de concurrents potentiels. Son importance est donc accrue. Par contre, son rôle reste limité à la fourniture d'éléments et il n'intervient ni dans la conception ni dans le montage. Si les éléments fabriqués sont plus

complexes, son domaine d'intervention, limité à la fourniture de composants, est le même que celui d'un industriel avec un procédé constructif traditionnel.

Ce positionnement pourrait être différent avec d'autres industriels fabriquant des panneaux de bois massifs, qui pourraient aussi fournir de l'aide à la conception et au montage des panneaux. Mais, ce n'est pas le cas des deux industriels associés aux deux procédés constructifs CQFD 1 et 2 en panneaux de bois massifs et on peut s'interroger sur les raisons de cette limitation du domaine d'intervention à la fourniture de composants.

S'il n'est pas un matériau, le panneau de bois massif est un produit aux caractéristiques que l'on peut anticiper avec précision, en particulier sa résistance structurelle. Architectes et bureaux d'études n'ont donc pas particulièrement besoin d'une aide à la conception. De même, sur le chantier, les murs livrés ne présentent pas de spécificités d'assemblage, et l'entreprise de pose a peut être besoin d'être formé au maniement de panneaux de bois massif, mais pas aux panneaux d'un industriel en particulier. Il n'y a donc pas de réelle valeur ajoutée à l'intégration de compétences nouvelles au domaine d'intervention de l'industriel.

### 1.6.3 LES PROCÉDES « INTERMÉDIAIRES »

Comme pour les procédés en bois massif, nous avons traité simultanément les impacts des procédés « intermédiaires » dans le procédé Ligno-Trend.

#### 1.6.3.1 Le procédé « Dorean »



Procédé	<i>Dorean</i>
Système constructif	Structure bois basée sur l'utilisation d'une poutre unique
Mandataire	Dorean Développement
Session CQFD	CQFD 1

Le procédé Dorean développe un concept atypique basé sur l'utilisation intensive d'une poutre-treillis unique. Son utilisation est généralisée à la charpente et à l'ensemble des parois verticales et horizontales du bâtiment. De la ouate de cellulose est ensuite insufflée dans les murs qui font alors 38 cm d'épaisseur, et les performances thermiques de l'enveloppe sont alors compatibles avec un niveau de performances passif.

#### *Performances CQFD annoncées*

Le coût est compris entre 950 et 1100 €HT/m<sup>2</sup> habitable (valeur 2005), pour un niveau de performances thermiques RT 2000-60%.

Il faut compter 10 semaines d'études et 22 semaines de chantier pour une opération de 20 à 50 logements. Sur le terrain, une équipe composée d'un chef de chantier et de trois monteurs peu expérimentés peut mettre une construction de 130 m<sup>2</sup> fermée couverte en 3 semaines. Pour respecter les prix et les délais, il faut au minimum une opération de 6 logements à moins de 50 km du site de production.

Les poutres treillis sont obtenues par superposition de carrelots de section 3cm x 7 cm collés entre eux. Elles sont manportables et sont utilisées aussi bien pour les murs que les planchers ou la charpente. Espacées de 62.5 cm, elles sont destinées assurer la résistance structurelle jusqu'en R+2 et autoriser des portées allant jusqu'à 8 mètres. Néanmoins, ces

performances n'ont jamais été validées par un centre indépendant. Malgré la trame de 62.5 cm des ouvertures larges peuvent être faites dans les façades.

Le remplissage en ouate de cellulose assure une très bonne isolation thermique et, combinée au puits canadien, un bon confort hygrothermique. Par contre, la faible inertie de la structure risque d'être un problème pour maintenir un bon confort d'été en région chaude si un puits canadien n'est pas installé. De plus, le respect de la NRA en zone bruyante contraint à poser des plaques de plâtre désolidarisées des ossatures.

### *Evolutions du procédé constructif dans CQFD 3*

Le procédé constructif a évolué depuis sa conception car il a fait l'objet d'un Atex défavorable en 2007 –principalement dû à des incertitudes sur la résistance au feu de la structure liée à l'utilisation de colle pour assembler des poutres treillis-, puis d'un Pass Innovation favorable en 2010, après que la colle ait été complétée par des pointes. La portée du procédé modifié est de 4.5m.

Le procédé constructif a encore évolué depuis CQFD 3 et Dorean propose maintenant des poutres pleines en I en place des poutres treillis. La colle, principal point bloquant de la demande d'Atex, n'est plus utilisée pour l'assemblage des poutres. D'après l'industriel, ce nouveau procédé constructif permet non seulement de faire varier l'épaisseur de la poutre et mais assure aussi une meilleure pose de l'isolant. En effet, il y a moins de tassement car les trames de 62.5 cm sont bien compartimentées.

Selon le CSTB, l'utilisation du procédé Dorean implique de fortes restrictions sur la portée. Dans le cas du passage de la poutre treillis à la poutre pleine le contexte réglementaire est beaucoup plus encadré. Un avis technique existe sur l'utilisation des poutres pleines en station horizontale mais pas en station verticale.

Les parois sont maintenant préfabriquées en usine et assemblés sur site. Les murs d'une maison peuvent être montés en 1 journée.

### 1.6.3.2 Le procédé « Ligno-Trend »



Procédé	<i>Ligno-Trend</i>
Système constructif	Ossature bois en composants préfabriqués en usine et assemblés sur site
Mandataire	Régis Mury, architecte
Session CQFD	CQFD 1

Le procédé Ligno-Trend s'appuie sur une préfabrication par éléments de l'ossature bois, à partir de modules faisant 62.5 cm de large. Les composants préfabriqués en usine sont ensuite assemblés sur site.

#### *Performances CQFD annoncées*

Le coût de construction pour une opération (référence 2004) est de 1018 € HT/m<sup>2</sup> habitable pour une opération de 24 logements en R+2. Pour ce niveau de coûts, le niveau de performances thermiques RT 2000 – 50%.

Il faut compter 32 semaines pour une opération de 24 logements répartis dans 2 bâtiments R+2. Une fois fondations terminées –soit après 6 semaines le début du chantier-, la mise hors d'eau hors d'air est effectuée en 4 semaines.

Le procédé Ligno-Trend est basé sur un module de base de 62.5 cm de large, mais qui peut avoir une largeur comprise entre 50 et 75 cm. Sa longueur est indéfinie pour les éléments de planchers mais contrainte pour les éléments de parois opaques. Grâce à des modifications de la composition du module de base, son utilisation est généralisée à tous les ensembles fonctionnels : dalles, murs, refends, supports de couverture.

La faible largeur de la trame de base permet de composer des éléments variés, gage d'une grande diversité architecturale. Le procédé constructif cherche aussi à intégrer de l'inertie thermique dans la construction bois, avec l'utilisation de bois massif et d'isolant en laine de bois, plus dense que les isolants type laine de verre. Le déphasage thermique constaté par l'industriel est d'environ 12 heures, mais aucune précision n'est donnée sur la mesure.

La colle est « écologique » et ne dégage pas de COV, et les composants ont reçu le label européen NaturePlus certifiant les produits de construction respectueux de l'environnement et sans risques pour la santé.

Les produits Ligno-Trend bénéficient d'un Agrément Technique Européen (des démarches sont actuellement en cours afin d'obtenir un Avis Technique), et le respect de la NRA a été validé par Cerqual.

### *Evolutions du procédé constructif dans CQFD 3*

L'équipe s'est alliée avec Eiffage construction pour avoir une entreprise générale dans le groupement et pouvoir répondre aux appels d'offre CQFD, qui demandent de proposer une offre globale.

Le prix a augmenté -1422 € HT/m<sup>2</sup> habitable pour du BBC en R+2, valeur octobre 2008-.

Les délais de mise hors d'eau hors d'air, estimés à partir des deux bâtiments de la résidence du Cèdre à Obernai, sont précisés : une équipe composée de quatre charpentiers et d'un grutier peut rendre hors d'eau hors d'air 100 m<sup>2</sup> habitables par jour. Pour une équipe de 3 personnes les éléments permettant de construire 2 000 m<sup>2</sup> SHON demandent 8 jours de préfabrication en usine et 22 jours de pré-assemblage.

La gamme de composants Ligno-trend s'est étoffée, notamment pour répondre aux exigences de baisse de la consommation énergétique. L'industriel développe de nouveaux outils informatiques –devis estimatifs, calculs acoustiques,...- spécifiques à ses produits et accompagne leur mise en œuvre.

L'industriel avait envisagé la construction d'une usine de production en France, mais les acteurs locaux du bois ne pouvaient pas garantir un bon niveau d'hygrométrie -le taux d'hygrométrie des composants en sortie de fabrication est certifié à 9% plus ou moins 2% pour l'usine allemande-. Ligno-trend a donc abandonné ce projet.

### *Description de l'innovation*

Les procédés Ligno Trend et Dorean proposent tous les deux une préfabrication complète des parois opaques en panneaux bidimensionnels sur la base d'une trame de 62,5 cm. Les éléments livrés sur le chantier sont complexes (intégration de l'isolant,...) mais se limitent aux parois opaques, et il reste un grand travail à faire sur le chantier, en particulier sur le second œuvre technique. Ces procédés sont limités à de faibles hauteurs, généralement du R+1 ou du R+2.

Le choix d'une trame d'un quart de hauteur d'étage pour ces deux procédés semble issu d'un équilibre entre mécanisation de la fabrication de modules et diversité architecturale. Il est d'ailleurs frappant de voir que les procédés ont choisi la même largeur de trame, ce qui n'était pas évident a priori (c'est aussi la côte des blocs de béton cellulaire). La mécanisation de la fabrication de modules, que ce soit des poutres en I ou des éléments de parois, est un choix fort de l'industriel pour faire baisser les coûts de production, et la faible largeur de la trame permet de varier les compositions et de faire varier les morphologies.

Avec ces procédés constructifs, les délais de chantier sont grandement réduits et la mise hors d'eau hors d'air est très rapide. De plus la préfabrication en atelier permet de travailler en parallèle de la réalisation des fondations.

Malgré les grandes similitudes entre les procédés constructifs, les modules fabriqués mécaniquement ne sont pas les mêmes. Dorean a choisi de limiter la fabrication mécanisée à un seul élément, la poutre treillis, qui pourra ensuite être utilisée pour l'ensemble des parois opaques. Les investissements dans les moyens de production mécanique sont donc réduits –on ne fait qu'un seul élément- et peuvent être rapidement rentabilisés. Par contre, l'unicité de l'élément de base fait qu'il n'est pas toujours utilisé de manière optimale. Par exemple, les planchers ont la même épaisseur que les murs isolés.

Ligno Trend a choisi de diversifier ses éléments de base, suivant les propriétés recherchées pour la paroi –murs, plancher, plancher acoustique,...- mais cette diversité reste pour l'instant limitée à moins d'une dizaine de modules. Cette diversité demande plus d'investissement dans les moyens mécaniques de découpe et d'assemblage et un carnet de commandes suffisants pour utiliser l'outil de production. En contrepartie, elle permet d'optimiser la disposition des éléments et de mieux maîtriser les propriétés des parois – mécaniques, acoustiques,...- lors de la conception.

### *Impact du procédé constructif*

#### *-sur l'organisation du chantier*

Après les fondations, la mise hors d'eau hors d'air du bâtiment est extrêmement rapide. Les panneaux préfabriqués 2D assemblés en usine n'ont plus qu'à être assemblés sur le chantier, qui est alors un chantier sec. Des moyens de levage mécanique sont nécessaires pour la mise en place des panneaux –environ un grutier pour quatre charpentiers-. L'industriel doit former les équipes locales à l'assemblage des panneaux bidimensionnels, car ses panneaux sont spécifiques.

#### *-sur le jeu d'acteurs*

L'industriel fabricant est au cœur du processus. Il fabrique non seulement l'ensemble des panneaux bidimensionnels mais propose une aide à la fois en amont pour la maîtrise d'œuvre mais aussi en aval pour les entreprises travaillant sur le chantier. En amont, l'industriel développe généralement des outils à la fois didactiques –pour élaborer des devis estimatifs- mais aussi techniques –pour les calculs acoustiques et structurels- qui aident la maîtrise d'œuvre dans sa maîtrise du procédé constructif. En aval, l'industriel participe activement à la formation des entreprises du chantier en proposant une information technique sur la mise en œuvre des éléments de construction et en organisant des rencontres régulières pour échanger des astuces de chantier, des techniques de pose et faire évoluer les produits. En effet, l'assemblage des panneaux est spécifique à son procédé constructif, contrairement aux panneaux de bois massif.

L'industriel peut aussi superviser lui-même l'assemblage des panneaux sur le chantier, et ne travailler qu'avec des maîtres d'œuvre rompus à l'utilisation ce procédé constructif, mais sa croissance sera alors plus limitée.

### 1.6.5 LES PROCÉDES « TOUT EN AMONT »

Du fait de leur similitude, nous avons traité des implications de ces procédés uniquement pour le procédé « du bois pour l'habitat social ».

#### 1.6.5.1 Le procédé « Muse »



Procédé	<i>Muse</i>
Système constructif	Tridimensionnel bois
Mandataire	BH (groupe Beneteau)
Session CQFD	CQFD 2

Ce procédé, basé sur des modules bois tridimensionnels rapporte en atelier une partie majoritaire de la fabrication de l'ouvrage. Les modules tridimensionnels sont finalisés « à 85% » avant leur arrivée sur le chantier.

#### *Performances CQFD annoncées*

Le coût est de 900 à 1 200 € HT/m<sup>2</sup> habitable (valeur 2007), hors études et VRD pour une maison de 90 m<sup>2</sup> en THPE. Les modules étant entièrement préfabriqués, le coût final dépend fortement du volume de production. L'estimation est basée sur une production de 1500 unités/an.

Pour une opération de 20 maisons et 1 600 m<sup>2</sup> habitable, la durée de la phase de préfabrication est de 8 semaines. Les fondations sur chantier peuvent être réalisées en parallèle. Après fondation, la phase de chantier est de 7 semaines : 5 semaines pour le transport et le montage des modules et deux semaines pour les finitions.

Le procédé s'adapte aux maisons individuelles, isolées ou en bandes.

Pour éviter les problèmes d'humidité en partie basse, les maisons ne peuvent être de plain pied et un vide sanitaire d'une hauteur minimale de 30 cm entre le sol et la plus basse des pièces en bois doit être respecté. Les performances thermiques sont bonnes en hiver mais la faible inertie risque d'engendrer des problèmes de confort d'été. De plus, la résistance des modules assemblés aux perturbations sismiques devrait être mieux détaillée car elle pourrait être problématique dans les zones à forte sismicité

La production annoncée est de 700 unités par an, avec une capacité de potentielle de 2 000 unités/an. Ce procédé ne dispose actuellement pas d'un Agrément Technique Européen, qui est obligatoire si le produit est vendu afin d'être manipulé par d'autres entreprises. La pose du produit ne peut donc être effectuée actuellement que par l'entreprise BH.

### *Evolutions du procédé constructif dans CQFD 3*

Muse a été reconduit dans CQFD 3 en ajoutant aux maisons individuelles « Muse » le procédé constructif « Eve », destiné au logement collectif de petite taille tels que les logements d'étudiants ou les foyers de jeunes travailleurs. L'utilisation de ce procédé pour du logement collectif peut engendrer d'importants surcoûts pour respecter la réglementation acoustique.

Le procédé constructif, initialement « en mode 2D comme en mode 3D », s'est simplifié et n'est plus composé que de modules 3D assemblés à 85%. La typologie des logements est réduite afin d'optimiser les coûts. La diversité semble se limiter actuellement à 4 configurations possibles –T2 sur un niveau, T3 sur un niveau, T4 et T5 en R+1-, avec 4 nouvelles configurations en cours d'étude.

### 1.6.6 LE PROCÉDE « UN APPARTEMENT DANS UN MODULE »



Procédé	<i>Un appartement dans un module</i>
Système constructif	Tridimensionnel bois
Mandataire	Modulhusene France
Session CQFD	CQFD 1

Ce procédé constructif utilise des modules tridimensionnels bois préfabriqués de 35m<sup>2</sup> ou 47 m<sup>2</sup> habitables. Ces modules sont adaptés aussi bien à l'individuel qu'au petit collectif.

#### *Performances CQFD annoncées*

Le coût est de 1050 à 1200 € HT/m<sup>2</sup> habitable (valeur 2007) pour la fabrication et le montage sur site d'une maison RT 2005, y compris fondations.

Pour une opération de 30 logements les délais de conception/réalisation vont de 7 à 9 mois, dont 4 à 5.5 mois pour la conception. La durée des travaux –fabrication, transport, montage, finition- est de 3.5 mois.

Une fois les fondations achevées, le montage de 30 appartements s'effectue en 3 jours, puis la livraison avec toutes les finitions est faite en un à deux mois.

Le fabricant a développé deux tailles de modules de base de 13.5m\*2.9m et 13.5m\*3.9m, soit respectivement 35 m<sup>2</sup> et 47 m<sup>2</sup> de surface habitable. L'aspect modulaire peut être atténué par la création d'un espace central « à la carte » entre deux modules pour les maisons individuelles ou les immeubles, ce qui permet d'introduire une plus grande variabilité de configurations.

Les modules sont fabriqués en Estonie par Kodumaja, le premier fabricant estonien de modules en bois.

Les modules possèdent un agrément technique européen, et les ouvrages respectent la RT 2005 et la réglementation acoustique.

#### *Evolutions du procédé constructif dans CQFD 3*

Weisrock, entreprise de charpente en lamellé-collé qui doit assurer le montage des modules, n'a pas réalisé le pôle Habitat qu'elle avait prévu. De même, Kodumaja, le constructeur

estonien des modules bois, n'a pas construit une usine d'assemblage en Normandie. Il s'est d'ailleurs retiré du groupement.

### 1.6.7 LE PROCÉDE « BOIS POUR L'HABITAT SOCIAL »



Procédé	<i>Le Bois pour l'Habitat Social</i>
Système constructif	Préfabrication bois (bidimensionnel) et locaux techniques (tridimensionnels)
Mandataire	Ossabois
Session CQFD	CQFD 1

Le procédé est basé sur une préfabrication des parois en panneaux de bois 2D et une évolutivité technique autour d'une gaine technique unique préfabriquée.

#### *Performances CQFD annoncés*

Le coût est de 987 € HT/m<sup>2</sup> habitable hors VRD (valeur 2005) avec une labellisation H&E et HPE 2005 (66 kWh/m<sup>2</sup>Shab.an hors éclairage). Les fondations sont prévues sur pilotis pour profiter de la légèreté de la structure et limiter les coûts.

L'usine d'Ossabois peut produire l'ensemble des parois d'un logement en une journée par ligne de production. Le transport et le montage sur site de la structure prennent sept jours à une équipe de deux personnes. Le délai total des travaux –fabrication, fondation, montage, finitions, VRD- pour 10 logements individuels est de 45 jours.

#### *Evolutions du procédé constructif dans CQFD 3*

Le procédé constructif a beaucoup évolué depuis la première labellisation. D'abord, Ossabois a triplé sa capacité de production et a créé en 2007 la société Aqua-Logis, qui fabrique des modules de salle de bain tridimensionnels. Le procédé constructif, maintenant baptisé « 5D », est basé sur l'utilisation conjointe d'éléments d'enveloppe bidimensionnels en bois et de modules tridimensionnels pour la salle de bain et le local technique –compteur électrique, VMC, chaudière-.

Pour régler les problèmes acoustiques des tests ont été réalisés en décembre 2007 par le CSTB ont conclu à une applicabilité du procédé constructif aux logements collectifs et aux

maisons en bande (mais les nuisances sonores dues aux équipements n'ont pu être mesurées) (Guigou Carter C., Wetta R 2007).

La fourniture du bois vient principalement d'Allemagne, et seul 20% du bois vient de France (la tentative de création d'une coopérative dans le Haut Forclaz a échoué et les activités de la coopérative se sont arrêtées début 2011).

Pour que l'industrialisation du procédé constructif soit rentable, Ossabois conseille aux maîtres d'œuvre l'utilisation de murs d'une certaine composition (en général 28 cm, avec un U déjà calculé).

L'usine des Vosges est une ancienne usine SEB-MOULINEX, et 50 emplois ont été conservés. Les employés ont apporté leur expérience de la production industrielle, ce qui a engendré de fortes économies. Par exemple, grâce au personnel de Moulinex, le taux d'utilisation de leur machine de découpe numérique est passé de 35 à 85%. La méthode organisationnelle dite des 5S est mise en place dans leur usines.

La rationalisation du process est aussi passée par une rationalisation des formes architecturales : exit les patios et les formes complexes, Ossabois propose maintenant un « catalogue des possibles » pour pouvoir tirer pleinement partie de la préfabrication et de la mécanisation. Les éléments de différenciation sont les façades –surtout la position des vitrages, la largeur des façades étant souvent la même-, la forme de la toiture (plusieurs niveaux de pente, d'orientation de pente, différents types de toiture terrasse ou inclinée), et le revêtement (plusieurs types de bardage ou de crépit). La diversité des morphologies vient des variétés de combinaison de ces trois types d'éléments ; en ce sens, l'industrialisation proposée par Ossabois se rapproche du modèle d'industrialisation par composants compatibles.

Pour rationaliser le process de construction et réduire encore les coûts, ils envisagent de calculer exactement le nombre de vis par paroi, le coût exact de chaque élément et le temps de montage de chaque paroi pour ensuite optimiser au maximum leur procédé constructif.

Bouygues Immobilier est désormais actionnaire majoritaire de l'entreprise depuis qu'Ossabois a été durement touché par la baisse des commandes du secteur touristique.

### *Description de l'innovation*

Le concept « 5D » ou la préfabrication 3D de modules bois correspondent à l'aboutissement d'une logique qui cherche à limiter le chantier à la portion congrue au profit de l'atelier de préfabrication. Grâce à ce transfert en amont du chantier d'un maximum de tâches, la majeure partie de la construction de l'ouvrage se fait dans un site de production où les conditions de travail peuvent être optimisées et où il est possible de recourir à la mécanisation de certaines tâches.

Une démarche comparable a pu être observée pour les procédés béton dans les années 1950 à 1970 : intensification de la préfabrication des panneaux et tentatives d'introduction de procédés 3D (Vercelletto par exemple). A la fin de cette période, quelques développements de procédés 3D en bois ont vu le jour de manière éphémère (Houot par exemple).

Pourtant, le bois présente de multiples avantages pour ce type de construction : sa découpe est mécanisable, il se travaille filière sèche donc propre et, surtout, son poids relativement faible permet de créer des modules de taille importante qui peuvent être levés par des moyens mécaniques courants. Le potentiel de ce matériau pour la fabrication de modules 2D ou 3D paraît donc plus important que le béton.

La préfabrication en atelier d'une grande partie de l'ouvrage présente de nombreux avantages par rapport à une organisation traditionnelle du chantier. Tout d'abord parce

qu'elle permet rationaliser l'espace de production et le phasage de la construction. En amont, le stockage des matériaux peut se faire dans une zone spécifiquement aménagée et protégée des intempéries. Pendant la construction, les conditions de travail des ouvriers peuvent être optimisées pour améliorer le rendement et la sécurité, par exemple en créant des aménagements pour que leur zone de travail soit toujours à la bonne hauteur. La qualité de la réalisations en est améliorée, ainsi que la sécurité des ouvriers.

Le phasage de l'intervention des différents corps d'état peut lui aussi être repensé pour limiter la superposition des interventions, ce qui contribue à augmenter la qualité de la réalisation. Surtout, il permet de faire travailler plus d'ouvriers simultanément, ce qui diminue grandement les délais.

De plus, l'atelier de préfabrication n'est pas exposé aux aléas climatiques. Il y a donc moins d'arrêts du chantier du aux intempéries et les délais de livraison sont à la fois réduits et fiabilisés.

En outre, le contrôle de la qualité des éléments préfabriqués est plus aisé car le processus de fabrication des éléments est mieux maîtrisé.

Le travail sur deux sites distincts permet de travailler en parallèle et de réduire encore les délais de livraison. Pour ces procédés constructifs, fondations et VRD se font généralement en parallèle de la préfabrication des modules.

La préfabrication en atelier libère les possibilités de mécanisation du processus de construction, et les machines à commande numérique sont largement présentes dans les procédés bois basés sur une préfabrication poussée. Coûts et délais sont ainsi réduits tout en bénéficiant de la précision de la machine. Par contre, cette mécanisation du processus de construction est souvent limitée aux éléments de base –planches, panneaux,...- et les étapes de différenciation –bardage, isolant, systèmes techniques,...- sont généralement réalisées par des hommes.

Les éléments sortants des ateliers de préfabrication peuvent être des modules tridimensionnels mais aussi bidimensionnels. Si les modules 3D semblent au premier abord être la solution optimale pour réduire le chantier, les modules 2D permettent aussi d'atteindre des vitesses de construction défiant tous les autres systèmes constructifs (une semaine entre les fondations et la livraison pour une maison individuelle, avec un minimum de personnel qualifié). Ils bénéficient de certains avantages par rapport aux modules 3D : ils ont moins besoin d'avoir une structure renforcée pour résister au transport, sont plus facilement manipulables par des moyens mécaniques usuels et ne demandent pas de renforcer les VRD pour faire passer une grue suffisamment lourde pour soulever des modules 3D.

Par contre, leur travail est souvent pensé de manière à augmenter la productivité, ce qui peut aboutir à une taylorisation du travail dans le cas où les modules ne sont pas diversifiés.

Enfin, on peut se poser la question de la pérennité des ouvrages réalisés avec des procédés cherchant à rationaliser au maximum le processus de production sans forcément penser à la durabilité des ouvrages constitués.

### *Impact du procédé constructif*

#### *-sur le chantier*

Avec ces procédés constructifs, la phase de fondation est globalement inchangée, mise à part que les constructions à ossature bois sont plus légères que celles à structure béton et requièrent des fondations moins importantes. Par contre, le reste du chantier est limité à l'assemblage des modules et la phase de finitions. La phase d'assemblage requiert des moyens de levage mécanique (plus importants pour les modules 3D que pour les modules 2D) et l'intervention de grutiers. Par contre, c'est presque la seule main d'œuvre qualifiée nécessaire sur le chantier. L'intervention d'artisans qualifiés est possible quand le transport a endommagé les modules, mais le principe de ces procédés constructifs est d'avoir un « reste-à-faire » simplifié au maximum qui rend la recherche d'une main d'œuvre locale plus facile.

#### *-sur le jeu d'acteurs*

De même que pour le chantier, ce type de procédé constructif modifie profondément le jeu d'acteurs traditionnel puisque c'est l'industriel qui est l'élément central –et presque le seul– du processus de construction. Les entreprises travaillant sur le chantier ont un besoin de compétences réduites, puisqu'elles ne sont là que pour servir de main d'œuvre lors de la phase d'assemblage et pour les finitions. Même la maîtrise d'œuvre n'est plus nécessaire une fois les plans des maisons-types réalisées.

Pour réaliser en amont l'ensemble des parties techniques du bâtiment l'industriel intègre presque tous les métiers de la maîtrise d'œuvre –architectes, BET structure et thermique, designers- et les compétences techniques –plomberie, chauffage, ventilation, électricité, ...-.

Le savoir-faire est concentré dans l'atelier de préfabrication, où l'industriel assemble les différents éléments de l'ouvrage. Pour que son procédé constructif fonctionne, il doit faire travailler de concert l'ensemble des corps d'état et intégrer les compétences de maîtrise d'œuvre. Mais une fois le procédé constructif rodé et les plans réalisés la plupart de ces compétences ne sont plus nécessaires et une grande partie du travail peut être réalisée par des ouvriers non-qualifiés. Il y a actuellement un flou sur l'assemblage des modules qui n'est pas encadré par des règles de l'art (type DTU).



En moyenne, il y a une tendance lourde à optimiser tout ce qui se fait en atelier, car les conditions le permettent et cela devient une sorte de défi. On a donc une rationalisation et une standardisation de tout ce qui se fait en atelier. C'est pour cela que la préfabrication complète donne de l'uniformisation et du low cost. Il faut donc soit changer le mode de fonctionnement de l'atelier en évitant de prendre exemple sur l'industrie et la rationalisation des chaînes de montage, soit ne pas tout faire en atelier.

## **2. LES OPERATIONS CQFD REALISEES**

### **2.1 PERFORMANCES DES OPERATIONS LABELLISÉS**

Parmi les quinze procédés CQFD décrits au chapitre précédent, neuf ont effectivement été mis en œuvre dans le cadre d'une procédure CQFD. Cette partie présente les performances observées des opérations correspondantes, mais aussi les performances des quelques opérations construites hors CQFD mais avec des procédés constructifs labellisés. Le recensement des opérations et de leurs performances s'est fait par collecte d'informations auprès des mandataires de chacun des groupements.

Les indicateurs utilisés pour présenter les performances financières sont le coût hors taxes au m<sup>2</sup> de surface utile et le ratio SHON/Surface Utile (SU). Sauf indications contraires, les coûts sont exprimés hors taxes et ne tiennent pas compte des honoraires de maîtrise d'œuvre, VRD, espaces verts et fondations spéciales.

Le choix du raisonnement en surface utile plutôt qu'en surface habitable vient du type de données fournies par les mandataires. Comme la surface utile a été plus renseignée que la surface habitable nous avons choisi cette unité de mesure. Lorsque la surface utile n'était pas renseignée nous l'avons approximée à la surface habitable.

Afin de comparer les coûts présentés dans les dossiers de candidature à ceux des opérations réalisées nous avons réajusté les références de coûts fournis par les mandataires à l'année 2010 à l'aide de l'indice du coût de la construction –au premier trimestre de l'année de référence- établi par l'INSEE.

Les références statistiques sur les coûts de construction sont peu nombreuses et le périmètre considéré dans l'enveloppe des coûts est souvent mal détaillé. Pour information, les vingt opérations répertoriées dans l'Observatoire des Prix Constatés d'Opérations de Construction dont les données sont exploitables ont un coût de construction médian de 1689 € HT/ m<sup>2</sup> de surface habitable -Sha-, avec un ratio SHON/Sha moyen de 1.22.

L'indicateur utilisé pour présenter les performances de délais de chantier est la vitesse de construction –en m<sup>2</sup> de surface utile par semaine-, présentée en fonction de la surface de l'opération. En effet, on observe généralement une corrélation positive forte entre la taille d'une opération et sa vitesse de construction.

Afin de donner des ordres de grandeur d'indicateurs pour des opérations traditionnelles le tableau suivant présente les délais de construction moyens et médians pour les opérations de construction enregistrées au cours de l'année 2000 dans la base de données Sitadel.

Type de permis	Taille du permis	part parmi les logements autorisés en 2000(*) ( %)	délai moyen de mise en chantier en mois	délai médian de mise en chantier en mois	durée moyenne des travaux en mois	durée médiane des travaux en mois	durée moyenne de production	durée médiane de production en mois
individuel pur	1 logement	50,0	3,6	3,0	11,3	9,0	14,9	12,9
individuel groupé	de 2 à 9 logements	3,5	6,5	5,0	13,0	11,0	19,6	18,0
	de 10 à 19 logements	2,4	9,5	8,0	15,7	14,0	25,2	23,9
	de 20 à 50 logements	3,3	9,0	8,0	18,6	17,9	27,6	26,9
	plus de 50 logements	1,6	9,4	7,0	19,4	18,9	28,7	28,9
collectif	de 2 à 9 logements	4,7	6,6	5,0	14,5	12,0	21,1	19,0
	de 10 à 19 logements	4,7	9,1	7,9	17,6	16,9	26,7	25,9
	de 20 à 50 logements	12,2	9,4	8,0	18,7	18,0	28,1	27,0
	plus de 50 logements	14,0	9,1	8,0	20,7	20,0	29,8	29,0
en résidence	plus de 50 logements	2,2	7,5	5,5	17,2	17,9	24,7	23,0

Tableau 5 : délais de construction moyens et médians en 2000 (CHRISTEL V 2005)

Si les performances en matière de coût et de délais peuvent aisément être décrites de manière objective, les performances relatives à la qualité et à la fiabilité sont plus subjectives et ne peuvent être mesurées aussi abruptement. Elles peuvent néanmoins être évaluées à l'aide de photos d'opérations, du ratio SHON/SU –un ratio important est lié à des espaces communs généreux-, des différents labels d'une l'opération, de la concordance entre les coûts et délais annoncés et ceux réalisés,...Nous ne chercherons pas à évaluer dans ce rapport les notions très subjectives de qualité et de fiabilité des opérations réalisées.

Les images ou photos d'opérations réalisées présentes dans le rapport proviennent du site internet du PUCA, de recherche sur internet ou de photos prises par les auteurs du présent rapport.

Enfin, nous comparerons la mise en pratique réelle du procédé constructif avec son potentiel, décrit au chapitre précédent.

Les filières des neuf groupements ayant réalisé au moins une opération CQFD sont présentés dans le tableau suivant (filière est ici entendue au sens de principal matériau assurant la structure) :

Type de filière	Nombre de procédés par filière	Nombre de procédés mis en œuvre dans au moins une opération
<b>Béton</b>	5	4
<b>Maçonnerie</b>	1	1
<b>Acier</b>	2	0
<b>Bois</b>	7	4

Tableau 6: nombre de procédés mis en œuvre par filière

### 2.1.1 LE PROCEDE "6X6"



Opération logements étudiants, Rennes

Le procédé « 6x6 » a été sélectionné dans deux appels d'offre CQFD, et n'a pas été utilisé pour d'autres opérations par le groupe Eiffage, qui en est le mandataire.

Procédé 6x6		
Maître d'ouvrage	SEMIGA	Archipel Habitat
Localisation	Saint Dionisy	Rennes
Nombre de logements	18	201 logements / bâtiment R+8, 102 places de parking
Typologie	1 ST / 15 T1bis / 2 T3	185 T1 / 7 T1bis / 8 T2 / 1 T4
SHON (m <sup>2</sup> )	934	6 862
SU(m <sup>2</sup> )	678	4 423
Coûts études	Non disponible	Non disponible
Coûts travaux (€HT)	1 189 500 €	7 919 563 € (y compris VRD et 102 places de parking enterrées)
Délais administratifs (mois)	2	3
Délais retenu->dépôt PC (mois)	1	0
Délais dépôt PC -> début travaux (mois)	4	4
Délais travaux (mois)	10	16
Statut	En cours	livrée

Tableau 7: caractéristiques des opérations "6x6"

Opération	Coûts (€HT/m <sup>2</sup> SU)	Surfaces utiles (m <sup>2</sup> )	Vitesse de construction (m <sup>2</sup> SU/semaine)	Ratio SHON/SU	Labels
Référence dossier actualisée 2010	1 263 €	16 logements			HPE 2005
Saint Dionisy	1 753 €	678	16	1.38	
Rennes	1 791 €	4 423	64	1.55	BBC

Tableau 8: Indicateurs, opérations "6x6"

Si les délais sont globalement ceux indiqués dans le dossier de reconduction les prix sont plus élevés que ceux annoncés.

Plusieurs facteurs peuvent expliquer l'augmentation des coûts au m<sup>2</sup> de surface utile. Les performances thermiques sont supérieures à la référence –opération de Rennes en BBC-, les prix indiqués incluent des postes supplémentaires -VRD et parkings enterrés sont inclus dans les coûts pour l'opération de Rennes-, et les ratios SHON/SU sont élevés.

Les délais de construction devaient être sensiblement réduits avec ce procédé, l'utilisation du béton prise rapide permettant de doubler la vitesse de rotation des banches.

Du fait de l'abandon de l'option béton prise rapide, le procédé constructif est très proche d'un procédé traditionnel et il n'y a pas de forte réduction des délais ou des coûts par rapport aux performances couramment observées.

De même, la qualité et la fiabilité des opérations ne sont pas plus contraintes avec ce procédé qu'avec un procédé constructif traditionnel.

Ce procédé n'a pas été utilisé en dehors de CQFD

### 2.1.2 LE PROCÉDE "BATINOV"



Opérations de Neuves-Maisons (à gauche) et de Chartres (à droite)



Opérations de Béthune (à gauche) et de Parthenay (haut et bas à droite)

Batinov est, avec vingt-deux opérations, le procédé qui a été le plus sollicité par les maîtres d'ouvrage ayant fait appel à la procédure CQFD. En particulier, la région Nord Pas de Calais a été très demandeuse de ce procédé constructif et concentre 73% des surfaces utiles « Batinov », réalisées par la filiale Norpac.

Les deux tableaux suivants présentent les caractéristiques des opérations utilisant ce procédé. Les coûts ne prennent pas en compte les VRD, les parkings enterrés, les fondations spéciales, la dépollution du site ou le surcoût architectural. Cette dernière catégorie n'apparaît que pour l'opération atypique de Béthune, où le coût serait environ triplé si les surcoûts VRD + fondations spéciales + surcoût architectural étaient intégrés.

Procédé Batinov											
<b>Maître d'ouvrage</b>	ERILIA	OPH de Chartres	Meurthe et Moselle Habitat	UNILOGI	CMH	Habitat Eurelien	Pas de Calais Habitat	Brest Habitat	Colomoiers BABITAT	ORVITIS	Lille Metropole Habitat
<b>Localisation</b>	PARTHENAY ZAC les Loges	CHARTRES Rue Lebon / Ampère	NEUVES-MAISONS Champ du Moulin	SAINT-QUENTIN Place Dufour-Denelle	LAMBERSART Allée St Clément et Avenue de la Liberté	CHAMPHOL Le Clos de la Plisse Le Croix Souvet	BETHUNE Rue Outrebon	BREST Bonne Nouvelle	COLOMIERS ZAC Espinghèses	MONTBARD Cours Eugène Delacroix	ROUBAIX Quai de Marseille
<b>Nombre de logements</b>	44	26	37	103	147	32	47	76	46	39	50
<b>Typologie</b>	30 collectif et 14 pavillons	Collectif R+2 sur 32 PK souterrains	Collectif R+4 sur 38 PK souterrains	79 logements collectifs + foyer		Foyer logements pour handicapés	Collectif + 5 pavillons PK ariens	Collectif	Collectif PK s/sol dont 30 boxes	Logements + locaux Gendarmerie	Collectif + pavillons
<b>SHON (m²)</b>	4 400	2 630	3 730	7 100	13 800		3 870				
<b>SU(m²)</b>	3 730	1 950	3 267	5 900	11 500	1 838	3 230	5 041	3 288	3 462	4 619
<b>Coûts d'étude</b>	coûts études										
<b>Coûts travaux (€HT)</b>	4 349 180	2 406 300	4 178 493	7 245 200	13 800 000	2 573 200	3 917 990	5 731 617	3 481 992	4 130 166	6 019 883
<b>Délais administratifs</b>			6								
<b>Délais études (mois)</b>			4							4	
<b>Délais travaux (mois)</b>	12	11	13		16	11,5	18	15	14	12	15
<b>Statut</b>	livré	livré	livré	livré	livré	livré	livré	livré	livré	en cours	en cours

Tableau 9: caractéristiques des opérations "Batinov"-1

Procédé Batinov											
<b>Maître d'ouvrage</b>	Lille Metropole Habitat + Parthenor	Vilogia	Vilogia	Habitat 62/59		SIA Habitat	SIA Habitat	Pas de Calais Habitat	OPH Saint Quentin	VILOGIA	SIA Habitat
<b>Localisation</b>	ROUBAIX Quai de Marseille	HELLEMES ZAC de Mosley Rue Roger Salengro	LOOS Route de Seguedin	GRANDE SYNTHÉ Boulevard des Fédérés	LILLE Rue Abélard	CAMBRAI Rue Dambon et Place du Carré de Paille	TOURCOING Rue J. B. Lebas	LENS Rue Auriol	SAINT QUENTIN Rue de Luneville	LAMBERSART Avenue du Général de Gaulle	CAMBRAI Rue des Pierres Jumelles
<b>Nombre de logements</b>	50	80	223	83	265	66	72	68	64	32	46
<b>Typologie</b>	Collectif + pavillons			Collectifs locaux commerciaux	133 + 132 chambres	2 collectifs R + 3		Collectif + locaux commerciaux			
<b>SHON (m²)</b>											
<b>SU (m²)</b>	4 619	5 282	14 912	5 700	5 490	4 530	4 707	16 628	4 384	2 542	2 959
<b>Coûts études</b>											
<b>Coûts travaux (€HT)</b>	6 019 883	6 755 678	17 283 008		9 958 860	6 505 080	6 401 520	22 913 384	5 782 496	3 197 836	4 216 575
<b>Délais retenu-&gt; dépôt PC (mois)</b>		6									
<b>Délais études (mois)</b>		4									
<b>Délais travaux (mois)</b>	15	13	30	20	30	18			19		
<b>Statut</b>	en cours	en cours	en cours	en cours	en cours	en cours	projet	projet	projet	projet	projet

Tableau 10: caractéristiques des opérations "Batinov"-2

Opération	Coûts (€ HT/ m <sup>2</sup> SU)	Surfaces utiles (m <sup>2</sup> )	Vitesse de construction (m <sup>2</sup> SU/semaine)	Ratio SHON/SU	Labels
PARTHENAY	1 166 €	3 730	72	1,18	HPE
CHARTRES	1 234 €	1 950	41	1,35	HPE
NEUVES-MAISONS	1 279 €	3 267	58	1,14	HPE
SAINT-QUENTIN	1 228 €	5 900		1,20	niveau BBC
LAMBERSART	1 200 €	11 500	166	1,20	HPE
CHAMPHOL	1 400 €	1 838	37		HPE
BETHUNE	1 213 €	3 230	41	1,20	HPE
BREST	1 137 €	5 041	78		THPE
COLOMIERS	1 059 €	3 288	54		THPE
MONTBARD	1 193 €	3 462	67		BBC
ROUBAIX	1 303 €	4 619	71		BBC
ROUBAIX	1 303 €	4 619	71		BBC
HELLEMES	1 279 €	5 282	94		THPE
LOOS	1 159 €	14 912	115		THPE
GRANDE SYNTHÉ		5 700	66		
LILLE	1 814 €	5 490	42		BBC
CAMBRAI	1 436 €	4 530	58		THPE
TOURCOING	1 360 €	4 707			BBC
LENS	1 378 €	16 628			BBC
SAINT QUENTIN	1 319 €	4 384	53		BBC
LAMBERSART	1 258 €	2 542			BBC
CAMBRAI	1 425 €	2 959			BBC

Tableau 11: indicateurs, opérations "Batinov"

Le coût moyen des travaux est de 1 289 € HT/m<sup>2</sup> de surface utile (m<sup>2</sup> SU), soit dans la fourchette des coûts de référence (entre 900 et 1 200 € HT par m<sup>2</sup> SU valeur 2005, correspondant à 1 069 – 1 425 € HT en valeur 2010). Hormis deux opérations –dont un foyer à 1 814 € HT/m<sup>2</sup> SU ayant d'importantes surfaces communes- les prix au m<sup>2</sup> habitable se situent dans la fourchette indiquée lors du premier appel à projets CQFD.

Le tableau suivant présente les coûts travaux (en € HT/m<sup>2</sup> SU) pour 19 des 22 opérations -2 opérations non renseignées et le foyer, avec un coût de 1 814 € HT/m<sup>2</sup> SU, a été retiré de l'échantillon car trop atypique-.

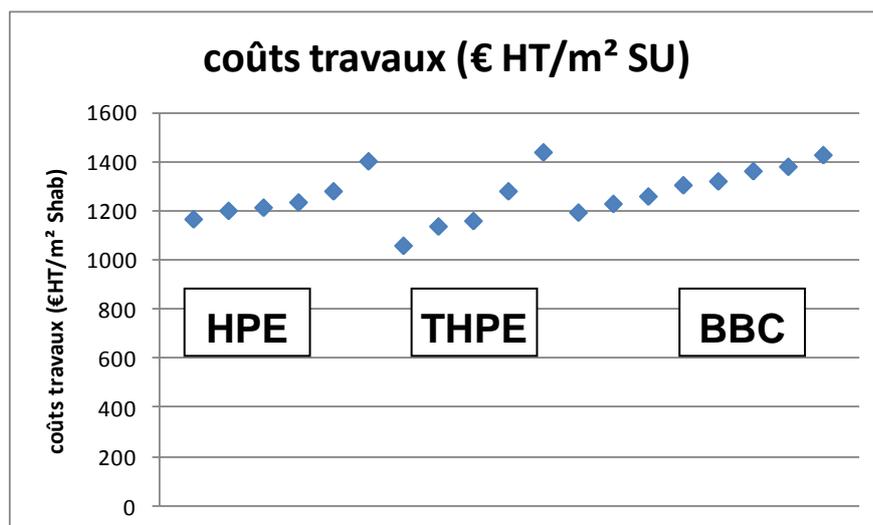


Figure 2: coûts de construction, opérations "Batinov"

Les coûts moyens sont de 1 249 € HT/m<sup>2</sup> SU pour un niveau de performance thermique HPE, de 1 214 € HT/m<sup>2</sup> SU pour un niveau de performance thermique THPE, et 1 308 € HT/m<sup>2</sup> SU pour du BBC.

Les délais de travaux sont renseignés pour seize opérations. Le graphique suivant présente les vitesses de construction (en m<sup>2</sup> SU/semaine) pour quatorze d'entre elles. Nous avons retiré deux opérations car leurs tailles et leurs vitesses de construction sont beaucoup plus importantes que les autres et auraient limité la pertinence de l'échelle du graphique ci-dessous (tous les autres points auraient été regroupés au même endroit).

Ces deux opérations ont des surfaces utiles de 11 500 m<sup>2</sup> et 14 912 m<sup>2</sup> pour des vitesses de construction respectives de 167 et 115 m<sup>2</sup> SU/semaine-.

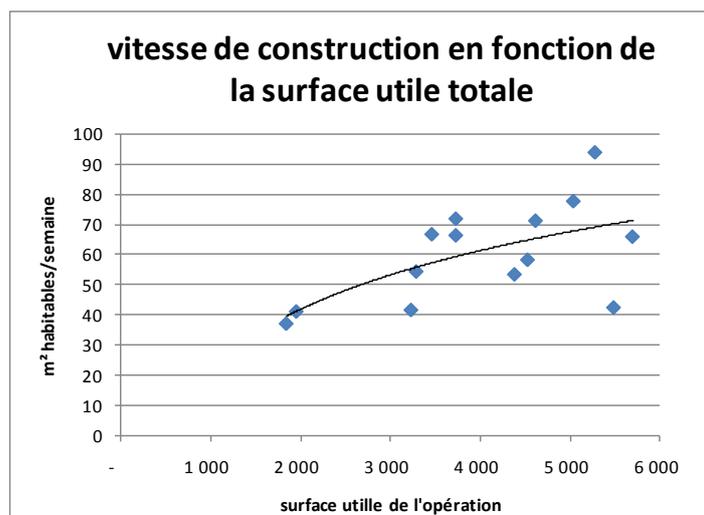


Figure 3: vitesses de construction, opérations "Batinov"

Les 6 ratios SHON/SU renseignés ont une moyenne de 1.21, valeur couramment observée pour les opérations de logements collectifs.

Le procédé Batinov étant basé sur une innovation principalement organisationnelle et peu décrite, il impose très peu de contraintes, comme le montre la diversité des opérations réalisées.

Le découpage en lots pré-réceptionné semble fonctionner et les bâtiments sont presque tous livrés sans réserves.

L'autre aspect innovant du procédé Batinov est l'intervention de l'association d'industriels Ginnov. Avec Batinov, ce groupement « ambitionne d'apporter au Maître d'Ouvrage, en fonction de ses souhaits et de ses besoins, toutes réponses adaptées en s'impliquant dès la conception d'un ouvrage et jusqu'à la programmation de la maintenance et de l'entretien ultérieur afin de mieux maîtriser les notions de Coût (global incluant gestion des énergies), Qualité, Fiabilité et Durabilité ». Nous n'avons pas pu obtenir la liste des produits sélectionnés par Ginnov et utilisés par les équipes de Bouygues mais il semblerait que l'apport ait été plus timide qu'escompté.

Deux des trois maitres d'ouvrage contacté ont été globalement déçus par le degré d'innovation de ce procédé constructif.

### 2.1.3 LES OPERATIONS "LOGIPASS"



Opérations de Saint Quentin (à gauche) et de Seclin (à droite)

Huit opérations CQFD ont utilisé le procédé Logipass, et trois opérations ont utilisé ce procédé constructif en dehors de la procédure CQFD. Les performances présentées dans le tableau suivant ne concernent que les opérations labellisées, le mandataire n'ayant pas pu obtenir les informations pour les autres opérations.

Procédé Logipass								
<b>Maître d'ouvrage</b>	Habitat Marseille Provence	OPAC de Saint Quentin				Meurthe et Moselle Habitat	Lilles Metropole Habitat	
<b>Localisation</b>	Marseille	Saint Quentin	Creil	Soissons	Reims	Villerupt	Seclin	Nuits Saint Georges
<b>Nombre de logements</b>	92	58	45	51	84	44	36	96
<b>Typologie</b>	26 T2, 32 T3, 25 T4, 7 T5, 2 T6	moyenne 3 pièces	moyenne 2,96 pièces	moyenne 4,08 pièces	17 T1, 17 T2, 36 T3, 14 T4	8 T2, 24 T3, 8 T4, 4 T5	8 T2, 20 T3, 8 T4	80 lits + 16 logements
<b>SHON (m²)</b>	7199	4508	3300		5548	3491		7340
<b>SU (m²)</b>	5778	3968	2975		5093	3045	2342	6013
<b>Coûts études</b>	668 387 €	320 000 €	438 000 €	630 000 €	427 812 €	286 230 €		563 000 €
<b>Coûts travaux (€ HT)</b>	8 227 614 €	5 169 000 €	4 600 000 €	5 888 000 € y compris VRD et parkings)	6 834 806 €	3 252 060 €	3 953 000 €	8 826 000 €
<b>Délais administratif (mois)</b>	12	3	4	4				12
<b>Délais études(mois)</b>		6,5	6,5	6,5	25	24		2
<b>Délais travaux (mois)</b>	15	13	12	12				16
<b>Statut</b>	en cours	livré	projet		livré			

Tableau 12: caractéristiques des opérations "Logipass"

Opération	Coûts (€ HT/ m² SU)	Surfaces utiles (m²)	Vitesse de construction (m² SU/semaine)	Ratio SHON/SU	Labels
Marseille	1 068 €	5778	54	1,25	HPE
Saint Quentin	1 424 €	3968	89	1,14	THPE
Creil	1 303 €	2975	76	1,11	THPE
Soissons	1 342 €		57		THPE
Reims	1 489 €	5093		1,09	THPE
Villerupt	1 546 €	3045		1,15	HPE
Seclin	1 688 €	2342			THPE
Nuits Saint Georges	1 468 €	6013	87	1,22	BBC

Tableau 13: indicateurs, opérations "Logipass"

Les coûts des opérations sont présentés dans le graphique ci-après :

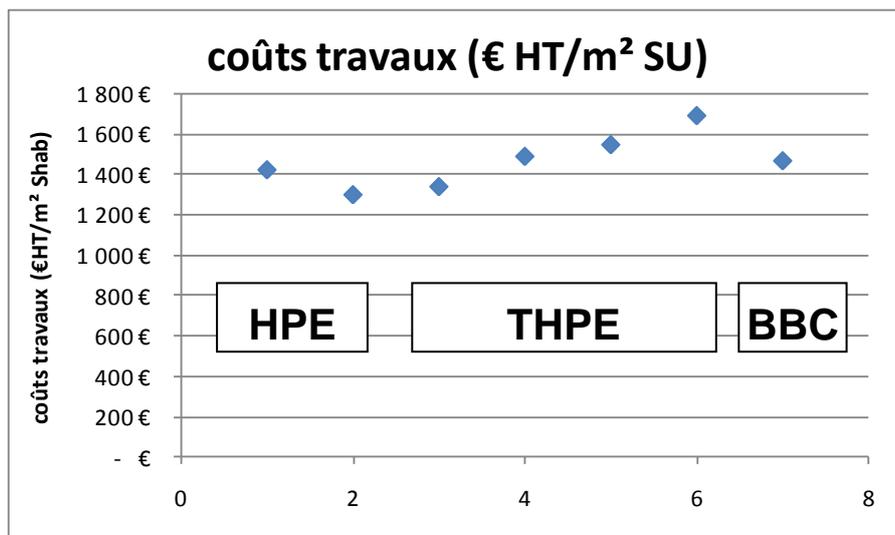


Figure 4: coûts de construction des opérations "Logipass"

Le coût moyen des opérations est de 1 415 € HT/m<sup>2</sup> SU, et les informations fournies ne sont pas suffisantes pour mettre en lumière l'impact du niveau de performances thermiques sur les coûts.

De plus, les coûts communiqués par le mandataire sont difficilement exploitables car ils n'intègrent pas toujours le montant des VRD ou le surcoût des fondations spéciales.

Les vitesses de construction des cinq opérations renseignées ainsi que les délais sont présentés dans le graphique suivant.

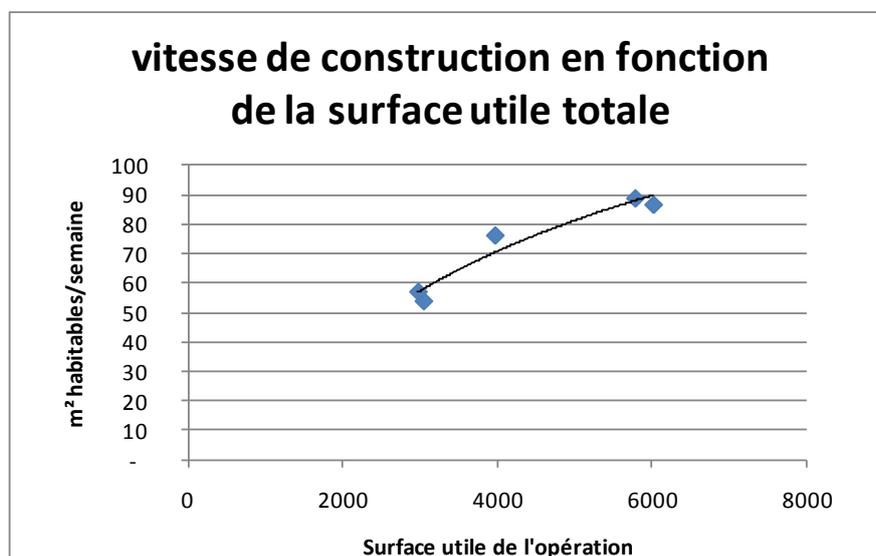


Figure 5: vitesses de construction, opérations "Logipass"

Les ratios SHON/SU sont en moyenne de 1.16.

La courbe des vitesses de construction n'est pas statistiquement robuste mais suggère que la vitesse de construction des opérations Logipass est relativement plus élevée que celle des opérations Batinov ou 6x6, certainement grâce aux murs pré-coffrés.

## 2.1.4 LES OPERATIONS "HABITAT COLONNE"



Opérations de Compiègne (à gauche) et de Ciboure (à droite)

Le procédé Habitat Colonne a été utilisé pour quatre opérations labellisées CQFD et pour quatre opérations en dehors de la procédure CQFD. Les tableaux suivants présentent les caractéristiques des quatre opérations labellisées, le mandataire ayant eu des difficultés pour réunir ces données pour les autres opérations.

Procédé Habitat Colonne				
<b>Maître d'ouvrage</b>			OPH Aulnay	OPH Aulnay
<b>Localisation</b>	Fosses	Ciboure	Aulnay et Belagny	Aulnay et Belagny
<b>Nombre de logements</b>	31	28	40	40
<b>Typologie</b>	6 T2, 13 T3, 9 T4, 3 T5	7 T2, 16 T3, 4 T4, 1 T5	9 T2, 17 T3, 10 T4, 4 T5	10T2, 17T3, 12 T4, 2 T5
<b>SHON (m<sup>2</sup>)</b>	2 437	2 517	3 083	3 375
<b>SU (m<sup>2</sup>)</b>	2 118	1 872	2 733	2 768
<b>Coûts études</b>	335 000	227 179	446 430	425 772
<b>Coûts travaux (€ HT)</b>	3 640 000 € (y compris VRD)	2 450 000 €	5 116 720 € (y compris VRD, parkings et fondations spéciales)	4 879 280 € (y compris VRD, parkings et fondations spéciales)
<b>Délais administratif (mois)</b>	6	5	23	23
<b>Délais études(mois)</b>	3	5		
<b>Délais travaux (mois)</b>	12	11		
<b>Statut</b>	en cours	en cours	en cours	en cours

Tableau 14: caractéristiques des opérations "Habitat Colonne"

Opération	Coûts (€ HT/ m <sup>2</sup> SU)	Surfaces utiles (m <sup>2</sup> )	Vitesse de construction (m <sup>2</sup> SU/semaine)	Ratio SHON/SU	Labels
Référence dossier	-10%		Gain de 6 mois pour 50 logements		
Fosses	1 719 €	2 118	41	1,15	BBC
Ciboure	1 309 €	1 872	39	1,34	BBC
Aulnay et Belagny	1 872 €	2 733		1,13	THPE
Aulnay et Belagny	1 763 €	2 768		1,22	THPE

Tableau 15: indicateurs, opérations "Habitat Colonne"

Les coûts et les délais des opérations utilisant le procédé Logipass ne sont pas explicites dans le dossier de reconduction présenté par Vinci et ont besoin d'être complétés (à quel périmètre s'applique le -10% pour les coûts et les 6 mois de réduction pour les délais ?).

Les surfaces utiles et les vitesses de construction des deux opérations pour lesquelles les délais ont été renseignés -environ 40 m<sup>2</sup> SU/semaine pour 2 000 m<sup>2</sup> SU- sont similaires aux vitesses des opérations Batinov.

Comme il n'y a que deux opérations pour lesquelles les délais sont renseignés, il est difficile de conclure quant à l'impact du procédé Habitat Colonne sur la réduction des délais.

De même, il est difficile d'évaluer l'impact de l'utilisation du procédé Habitat Colonne sur la maîtrise des coûts, mais les coûts renseignés sont proches de ceux d'opérations traditionnelles. Les opérations sont peu nombreuses et le périmètre de prise en compte des coûts diffère d'une opération à l'autre, prenant parfois en compte les VRD et/ou les fondations spéciales.

Le système poteaux poutres d'Habitat Colonne est censé réduire les coûts de construction de 10% via une réduction des délais travaux de six mois, avec comme sujétion une trame de poteaux de 6mx3m. Le faible nombre d'opérations réalisées ne permet ni de confirmer ni d'infirmer les déclarations du mandataire.

### 2.1.5 LES OPERATIONS "BLOC THERMOPIERRE"



Opérations de Vincennes (à gauche) et de Toulouse-Borderouge (à droite)

Plusieurs opérations ont été réalisées avec le procédé Bloc Thermopierre, dont deux via la procédure CQFD. L'une est une opération de logements collectifs en R+4 et l'autre est une opération en R+6 regroupant une crèche et des logements collectifs. Une opération de maisons individuelles en bandes et l'opération en R+6 ont servi de base à la constitution du dossier de candidature et du dossier de renouvellement dans CQFD 3. Les caractéristiques des opérations réalisées via CQFD sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Opérations « Bloc Thermopierre »		
Maître d'ouvrage	OPHLM Vincennes	Cité Jardin
Nombre de logements	9	33
SHON (m <sup>2</sup> )	574	
SU (m <sup>2</sup> )	433	3 249
Coût (€ HT)	1 210 235 €	4 126 900
Surcoût fondations spéciales (€ HT)	88 332 €	
Durée totale des travaux (mois)	16	18

Tableau 16: caractéristiques des opérations "Bloc Thermopierre"

Opération	Coûts (€ HT/ m <sup>2</sup> SU)	Surfaces utiles (m <sup>2</sup> )	Vitesse de construction (m <sup>2</sup> SU/semaine)	Ratio SHON/SU	Labels
Référence dossier	1 360 €	Collectif R+2 ou R+4	8 à 10 mois pour 80 unités		THPE
Vincennes	2 795 € (hors fondations spéciales)	433	6	1,33	BBC
Borderouge	1 270 €	3 249	42		THPE

Tableau 17: indicateurs, opérations "Bloc Thermopierre"

Comme ce procédé n'a été utilisé que pour deux opérations CQFD il est difficile d'en tirer des conclusions, d'autant plus que les performances sont très différentes pour ces opérations.

L'opération de Vincennes est atypique sur plusieurs plans. Elle s'est déroulée en milieu urbain dense, intègre la démolition d'un bâtiment existant (la démolition est comprise dans les délais mais pas dans les coûts), et est située en bordure de voies de RER, ce qui a généré d'importants surcoûts de fondation. La localisation en bordure de voies de chemin de fer a par ailleurs conduit à renforcer l'isolation acoustique vis-à-vis des bruits extérieurs, les propriétés acoustiques des blocs en béton cellulaire étant insuffisantes. Les coûts et les délais de construction pour cette opération ne sont donc pas représentatifs des performances du procédé.

L'opération de Borderouge est plus représentative des performances du procédé constructif porté par Xella. Cet immeuble en R+6 montre que les techniques constructives à base de béton cellulaire, traditionnellement cantonnées à l'habitat individuel, ont atteint un niveau de maturité suffisant pour être employées dans du collectif avec de nombreux niveaux. Comme le protocole de cette opération a été signé après juin 2011, elle ne fait pas partie des statistiques présentées dans le bilan.

### 2.1.6 LES OPERATIONS "DOREAN"



Opération de Rouen

Le procédé Dorean a été utilisé pour une opération CQFD en R + 2 à Rouen. Contrairement à la procédure CQFD prévue, c'est Eiffage qui a contacté le mandataire du groupement pour monter une réponse à cet appel d'offre CQFD.

Procédé Dorean	
Maître d'ouvrage	
Localisation	Rouen
Nombre de logements	30
SU (m <sup>2</sup> )	825
Coût	
Durée totale des travaux (mois)	6-9 mois
statut	Livraison prévue fin 2012

Tableau 18: caractéristiques, opérations "Dorean"

Nous n'avons pas obtenu des données précises de la part du mandataire sur les coûts et les délais pour l'opération de Rouen. Les informations que nous avons concernant les coûts portent uniquement sur le lot bois -130 000 €-.

Pour cette opération en R+2 de 30 logements le début des travaux est prévu pour le printemps 2012 avec une livraison fin 2012. Si la phase chantier doit durer moins d'un an les délais administratifs ont été longs : l'appel d'offre CQFD a été lancé en 2008 alors que la signature du marché n'est intervenue qu'en juin 2011.

### 2.1.7 LES OPERATIONS "LIGNO-TREND"



Opérations à Obernai (à gauche) et à Strasbourg (2010, à droite)



Opération à Strasbourg (2006, à gauche) et de Sanvignes les Mines (à droite)

Au moins quatre opérations de logements collectifs –dont une en autopromotion- utilisant le procédé Ligno-Trend ont été réalisées. Une, labellisée CQFD, est en cours.

Les activités de l'entreprise Ligno-Trend sont en pleine expansion. Une nouvelle unité de production est en cours de réalisation en Autriche. La France était pressentie en premier mais, d'après le mandataire, le refus des scieurs français de se structurer pour fournir des bois séchés a conduit Ligno Trend à se tourner vers d'autres contrées. De plus, l'entreprise peine à trouver des entreprises de charpente partenaires sur le territoire français.

Les tableaux suivants présentent les caractéristiques des trois opérations qui ne sont pas en autopromotion. L'opération labellisée CQFD est celle de Villeneuve sur Yonne.

	Opération CQFD	Opération non CQFD	Opération non CQFD
<b>Maître d'ouvrage</b>	Domanys	SEM Obernai Habitat	
<b>Localisation</b>	Villeneuve sur Yonne (89)	Obernai (67)	Sanvignes les Mines (71)
<b>Nombre de logements</b>	23	24	22
<b>Typologie</b>	habitat intermédiaire R+1 et R+2	R+2 et R+3	R+2
<b>SHON (m<sup>2</sup>)</b>	2220	2695	1430
<b>SU (m<sup>2</sup>)</b>	1714	2031	1305
<b>Coûts études</b>	107000	248000	206000
<b>Coûts travaux y compris VRD (€HT/m<sup>2</sup> SU)</b>	2 995 000 € (y compris VRD)	2 686 000 € (y compris VRD)	2 054 000 € (y compris VRD)
<b>Labels/certif</b>	BBC	BBC effectif	BBC
<b>Délais études (mois)</b>		34	37
<b>Délais travaux (mois)</b>		16	
<b>Statut</b>	En cours	Livrée	En cours

Tableau 19: caractéristiques des opérations "Ligno-trend"

Opération	Coûts (€ HT/ m <sup>2</sup> SU) y compris VRD	Surfaces utiles (m <sup>2</sup> )	Vitesse de construction (m <sup>2</sup> SU/semaine)	Ratio SHON/SU	Labels
<b>Référence dossier</b>	<b>1 432</b>	<b>2008</b>	<b>63 m<sup>2</sup> shab/semaine</b>		<b>RT 2000 – 50%</b>
Villeneuve sur Yonne	1 747	1714		1.30	BBC
Obernai	1 332 (valeur 2007)	2031	29 (m <sup>2</sup> shab/semaine)	1.33	BBC
Sanvignes les Mines	1 574	1305		1.10	BBC

Tableau 20: indicateurs, opérations "Ligno-trend"

L'opération CQFD de Villeneuve sur Yonne, en partenariat avec Eiffage, risque de ne pas voir le jour car le maître d'ouvrage a réduit son ambition de construction de logements sociaux. Pour cette opération le coût des travaux est élevé, en partie car il intègre une fraction du coût des études (seules les études et suivi architectural sont intégrés dans le poste « études » pour un coût de 62 € HT/m<sup>2</sup> SU).

### 2.1.8 LES OPERATIONS "MUSE"



Opérations des Herbiers (à gauche) et de et de Vert-Saint-Denis (à droite)



Opération d'Angers (à gauche) et de Cormelles-le-Royal (à droite)

Quatre maîtres d'ouvrage ont fait appel au procédé Muse via CQFD. Une cinquième opération, non labellisée, a été réalisée pour le compte de Vendée Habitat.

Les tableaux suivants présentent les principales caractéristiques et les indicateurs des opérations réalisées avec le procédé Muse.

Procédé Muse					
Maître d'ouvrage	SOCLOVA	FSM	Maine Chanterelle Habitat	Vendée Habitat	Valophis
Localisation	Angers	Vert Saint Denis	Villeparisis	Chantonay	94
Nombre de logements	158	75	12	35	11
Typologie	logements étudiants	MI	MI	MI	MI
SHON (m <sup>2</sup> )	4 103	5 181	9 35	2 779	817
SU (m <sup>2</sup> )	2 844	4 959	8 75	2 524	764
Coûts études	Non renseigné	Non renseigné	63 000 € HT	167 000 € HT	Non renseigné
Coûts travaux	5 100 000 € (y compris VRD et parkings)	6 700 000 €	1 63 9 663 € (y compris VRD)	3 345 000 €	939 000 €
Délais administratifs (mois)	3	4	5	3	3
Délais retenu->dépôt PC (mois)	1	7	1	5	3
Délais dépôt PC -> début travaux (mois)	1	10	6	2	plus de 7 mois
Délais travaux (mois)	7	6	6	7	
Statut	livrée	livraison prévue en 2011	livraison prévue en 2011	livraison prévue en 2011	livraison prévue en 2011

Tableau 21: caractéristiques, opérations "Muse"

Opération	Coûts (€ HT/ m <sup>2</sup> SU)	Surfaces utiles (m <sup>2</sup> )	Vitesse de construction (m <sup>2</sup> SU/semaine)	Ratio SHON/SU	Labels
Référence dossier	980 – 1307 €	1 600	7 semaines à partir des fondations		THPE
Angers	1 793 €	2 844	94	1,44	
Vert Saint Denis	1 351 €	4 959	191	1,04	BBC
Villeparisis	1 874 €	875	34	1,07	BBC
Chantonay	1 325 €	2 524	83	1,10	
Val de Marne	1 229 €	764		1,07	BBC

Tableau 22: indicateurs, opérations "Muse"

Les coûts de construction des opérations Muse sont présentés dans le graphique ci-dessous.

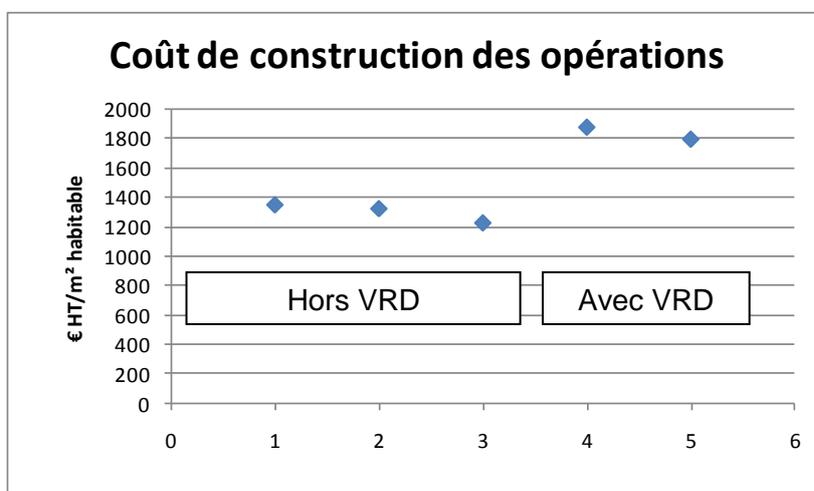


Figure 6: Coûts de construction, opération "Muse"

Avec coût de construction hors études et VRD moyen de 1 302 € HT/m<sup>2</sup> SU pour les trois opérations renseignées, les coûts de construction sont comparables aux coûts de construction des procédés béton.

Le coût des opérations est dans le haut de la fourchette des coûts annoncés (980 – 1307 € HT en valeur actualisée 2010). Le coût des études, renseigné pour deux opérations, est d'environ 70 € HT/m<sup>2</sup> SU, soit environ 5% du coût des travaux. Ce pourcentage faible vient de la non prise en compte des études de conception des modules, réalisées avant le commencement du projet.

Le tableau suivant présente les délais de construction des quatre opérations pour lesquelles ces données ont été renseignées.

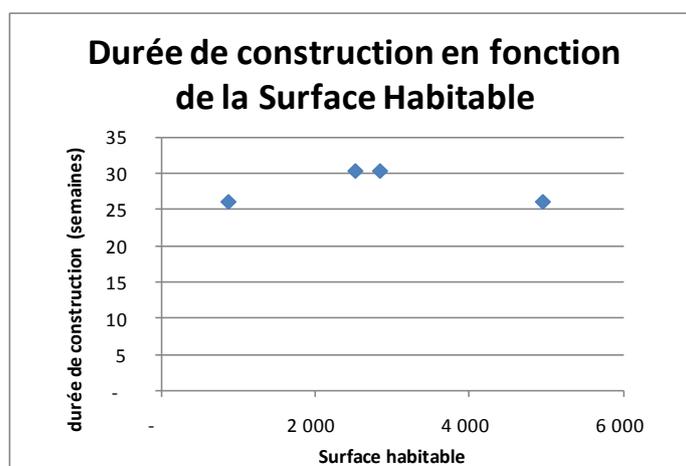


Figure 7: durée de construction, opération "Muse"

Contrairement à un chantier traditionnel, la durée des chantiers utilisant le procédé Muse est quasiment constante quelle que soit la surface de l'opération. En effet, l'assemblage des modules et les finitions sont très rapides et n'impactent que très peu la durée du chantier, ce qui explique cette constance par rapport à la surface de l'opération. Pour les quatre opérations présentées la phase de construction des modules s'est faite pendant les délais administratifs (mais après l'obtention du permis de construire) et a peu impacté la durée du chantier.

Les vitesses de construction des opérations Muse sont bien supérieures à celles de procédés traditionnels, avec des vitesses de chantier pouvant aller jusqu'à près de 200 m<sup>2</sup> de surface utile par semaine pour les grosses opérations. Toutefois, le périmètre considéré n'est pas le même car la phase de préfabrication n'est pas prise en compte dans le calcul des vitesses de chantier. D'après les données fournies par le mandataire dans le dossier de candidature, le temps de préfabrication pour une opération de 20 unités (8 semaines) est légèrement supérieur à la durée du chantier (7 semaines).

Hormis pour l'opération de logements étudiants qui a un ratio Shon/SU de 1.44 (nombreuses surfaces communes), le ratio Shon/SU des autres opérations est faible, avec une moyenne de 1.07. Les surfaces sont fortement optimisées et la diversité des modèles de maisons individuelles est pour l'instant réduite.

### 2.1.9 LES OPERATIONS « INDUSTRIALISER LA CONSTRUCTION BOIS »



Opération de Corbeil-Essonnes

Il n'y a pas en France d'opérations livrées de logement collectifs utilisant ce procédé constructif à fin 2011, mais deux opérations sont en chantier : l'une se situe à Paris (5 niveaux, les deux premiers en béton et les autres en bois) et est une opération privée, l'autre est l'opération CQFD de Corbeil. Une troisième opération, elle aussi labellisée CQFD, est en cours de montage à Montreuil.

Procédé Industrialiser la Construction Bois		
Maître d'ouvrage	I3F	OPH Montreuil
Localisation	Corbeil-Essonnes	Montreuil
Nombre de logements	41	25 (2+8+15)
Typologie	T1 au T5	T2 au T7
SHON (m <sup>2</sup> )	3 502	2 255
SU (m <sup>2</sup> )	2 674	1 720
Coûts études (€ HT)	456 189 €	330 773 €
Coûts travaux (€ HT)	5 068 765 € (y compris VRD et fondations spéciales)	3 150 223 €
Délais études (semaines)	48	18
Délais travaux (semaines)	44 (plus 25 semaines de démolition et de fondation spéciales)	34
Statut		

Tableau 23: caractéristiques des opérations "Industrialiser la construction bois"

Opération	Coûts (€ HT/ m <sup>2</sup> SU)	Surfaces utiles (m <sup>2</sup> )	Vitesse de construction (m <sup>2</sup> SU/semaine)	Ratio SHON/SU	Labels
Référence dossier	1 470 €	4 123	206		
Corbeil-Essonnes	1 896 €	2 674	61	1,31	BBC
Montreuil	1 832 €	1 720	51	1,31	BBC

Tableau 24: indicateurs, "Industrialiser la construction bois"

Les coûts sont élevés, mais comprennent aussi les VRD et les fondations spéciales pour l'opération de Corbeil. Les coûts et les délais sont plus élevés que ceux présentés dans le dossier de candidature.

Le ratio Shon/SU élevé -1.31 pour les deux opérations- vient lui aussi augmenter les coûts de construction au m<sup>2</sup> de surface utile.

Les vitesses de construction sont supérieures aux vitesses de construction des opérations de même taille des procédés en filière béton, mais il reste encore des marges inexploitées. En effet, si le montage de la structure est très rapide –objectif d'une semaine de montage par appartement-, le second œuvre a pris de temps car les entreprises n'étaient pas habituées à ce type de construction.

### 2.1.10 LES PROCÉDES N'AYANT PAS ÉTÉ MIS EN ŒUVRE LORS D'OPÉRATIONS EN CQFD

Six procédés n'ont pas été utilisés dans les opérations labellisées CQFD :

- « pour un logement innovant »,
- « Puzzle/ SCOPEMI »,
- « Archilenoir »,
- « Un appartement dans un module »,
- « construire en bois massif tourillonné »,
- « le bois pour l'habitat social ».

Les raisons avancées pour expliquer ces non-sélections sont multiples :

- des défections dans le groupement –pour « Puzzle » et « un appartement dans un module »-
- une frilosité des maître d'ouvrage pour CQFD et un manque de savoir faire des entreprises françaises dans la filière acier –« Archilenoir »-
- une lourdeur administrative non compensée par la rémunération de la maîtrise d'œuvre et un fléchage des appels d'offre –« Pour un logement innovant » et « construire en bois massif tourillonné »-
- une association avec des partenaires trop localisés couplée à une défaillance des maitres d'ouvrages –« le bois pour l'habitat social »-.

#### Le bois pour l'habitat social

Le procédé porté par Ossabois n'a pas été utilisé pour réaliser d'opérations CQFD, bien qu'il ait été sélectionné deux fois par des maîtres d'ouvrage se désengageant par la suite pour des raisons financières. Le faible nombre d'appels d'offre CQFD dans le périmètre d'intervention de l'équipe et un relatif désintérêt pour cette procédure à un moment où Ossabois traversait une période difficile peuvent aussi expliquer la non sélection de l'équipe dans les appels d'offre CQFD.

#### Un appartement dans un module

Une opération a été réalisée avec le procédé « un appartement dans un module » porté par Modulhusene, mais hors du cadre CQFD. Cette opération de 96 logements étudiants à Compiègne a été livrée en janvier 2009 à Picardie Habitat pour un coût travaux de 4.5 millions d'euros HT. Le fabricant estonien de modules tridimensionnels s'est depuis retiré du groupement.

Opération	Coûts (€ HT/ m <sup>2</sup> SU)	Surfaces utiles (m <sup>2</sup> )	Vitesse de construction (m <sup>2</sup> SU/semaine)	Ratio SHON/SU	Labels
Compiègne	1 307 € (hors fondations, valeur 2010)	2 480	65		

Tableau 25: indicateurs, opération "Un appartement dans un module"

### **Archilenoir**

Le procédé Archilenoir a lui aussi été utilisé hors du cadre de CQFD pour une opération de 26 logements à Chantepie, dans la proche banlieue de Rennes, opération débutée en 2003 qui a servi de support au dossier de candidature. Ce procédé constructif n'a pas été réutilisé depuis et le mandataire a abandonné l'idée de faire des logements avec ce procédé.

### **Pour un logement social innovant et SCOPEMI**

Les procédés « Pour un logement social innovant », « construire en bois massif tourillonné » et « Puzzle/SCOPEMI » n'ont par contre jamais été utilisés pour réaliser des opérations de logements en France.

## 2.2 BILAN DES SURFACES CONSTRUITES

Le programme CQFD a permis de lancer la construction de **186 200 m<sup>2</sup> de surfaces utile** répartis sur 45 opérations correspondant à 2 907 logements entre le lancement de CQFD 1 en 2005 et Juin 2011.

### 2.2.1 BILAN PAR PROCEDE

Batinov est le procédé qui a été sollicité pour la majorité des opérations CQFD, avec plus de 65% des surfaces utiles construites, loin devant Logipass -deuxième avec 17.8%- et Habitat Colonne –troisième avec 5.1%- . Muse, premier procédé issu de la filière bois, a lui aussi été utilisé pour 5.1% des surfaces utiles construites. Les cinq procédés restants se partagent 6.7% des Surfaces Utiles.

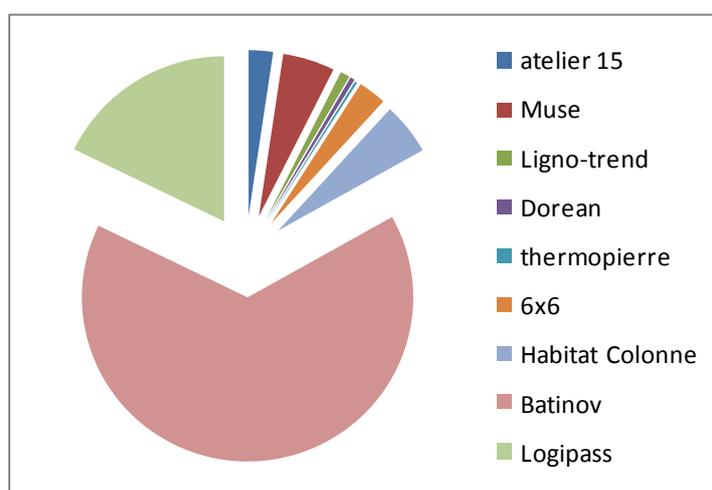


Figure 8: répartition des surfaces utiles construites par procédé

### 2.2.2 BILAN GEOGRAPHIQUE

Le Pas de Calais est de loin la région qui a construit le plus en CQFD, avec près de 49% des surfaces utiles construites au niveau national, suivi par la Picardie et l'Île de France, régions qui concentrent chacune environ 11% des surfaces utiles construites.

Les opérations labellisées CQFD sont présentes dans 15 des 22 régions françaises.

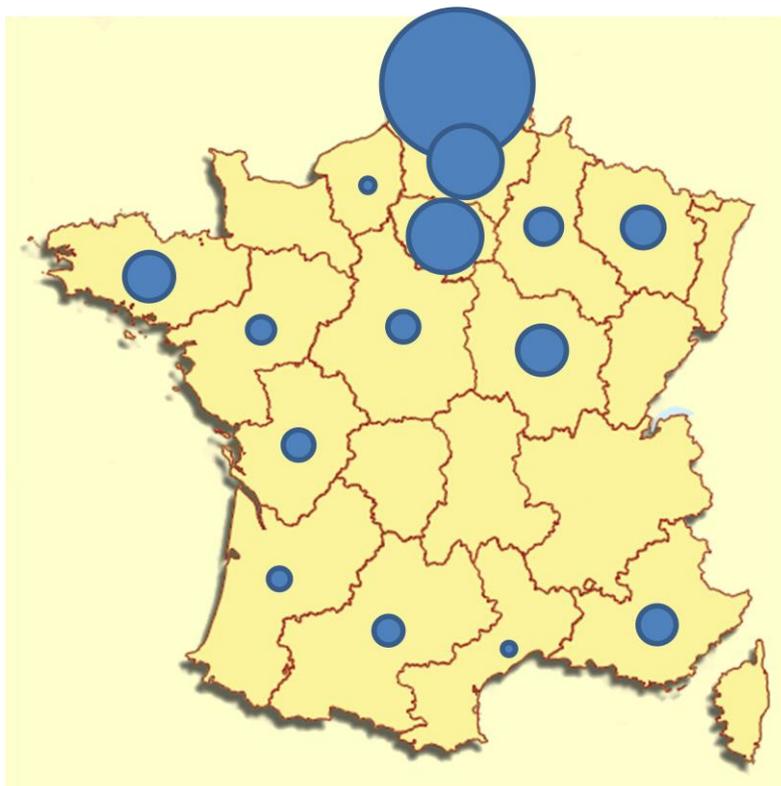


Figure 9: carte de France des opérations CQFD, par surface utile et par région

### 2.2.3 BILAN PAR MATERIAU EMPLOYE POUR LA STRUCTURE

Alors que seulement 5 des 15 procédés issus des sessions 1 et 2 de CQFD sont des procédés béton, ils représentent 91% des surfaces utiles construites. A contrario le bois, représenté par 7 procédés, n'a elle été utilisé que pour 9% des opérations. Le procédé de la filière maçonnée a été utilisé de manière anecdotique : une opération, soit 0,2% des surfaces utiles construites. Les deux procédés issus de la filière acier n'ont jamais été sélectionnés par les maîtres d'ouvrage lors des appels d'offre en CQFD.

Le graphique suivant présente la répartition des surfaces utiles construites suivant les matériaux utilisés pour la structure

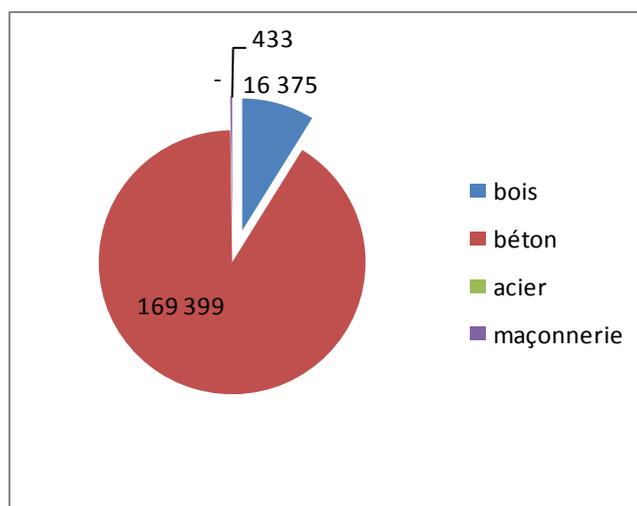


Figure 10: répartition des surfaces utiles construites par matériau

## 2.2.4 BILAN PAR TYPES DE GROUPEMENTS

On peut aussi analyser la répartition des surfaces construites suivant la nature du groupement, en reprenant les trois catégories identifiées au début du chapitre 2, à savoir les groupements portés par un architecte associé à un industriel, ceux portés par un industriel associé à un architecte et les projets portés par une entreprise générale. Le groupement composé uniquement d'un architecte et d'un bureau d'étude (procédé Archilenoir) n'a pas été pris en compte car le procédé n'a pas été utilisé dans les opérations CQFD.

Les groupements portés par une entreprise générale ou une association d'industriels -4 groupements- représentent 91% des surfaces construites. Les procédés portés par une équipe industriel/architecte -4 groupements- représentent 5.7% des surfaces construites et les procédés portés par une équipe architecte/industriel -6 groupements- représentent seulement 3.3% des surfaces construites.

Si le premier constat de ces données porte sur la domination massive des procédés portés par les entreprises générales, on peut aussi noter, pour ce qui est des surfaces construites, la meilleure performance des procédés portés par une équipe industriel/architecte par rapport aux procédés portés par une équipe architecte/industriel. En effet, chacun de ces 4 groupements a construit en moyenne 1.4% des surfaces utiles alors que chacun des 6 groupements portés par une équipe architecte/industriel n'a construit en moyenne que 0.5% des surfaces utiles en CQFD.

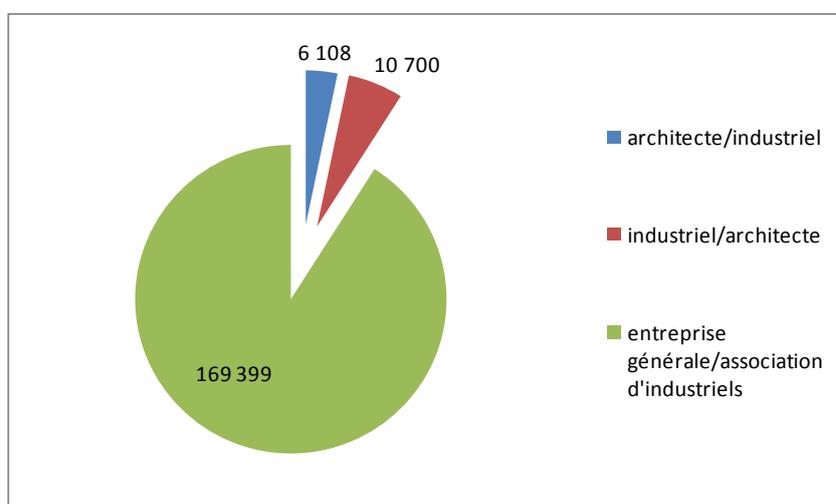


Figure 11: répartition des surfaces utiles construites par type de groupement (en m²)

### 3. QUESTIONNEMENTS SOULEVES PAR LE PROGRAMME CQFD

Là où d'autres programmes de REX lancés par le PUCA cherchaient à aborder une thématique particulière porteuse d'améliorations potentielles de l'acte de construire – organisation du chantier pour le programme « Chantier 2 000 », nouvelles exigences de performances thermiques pour le programme « Habitat Original par la Thermique » (HOT), créativité architecturale pour le « Programme Architecture Nouvelle » (PAN),...- le programme CQFD a choisi une approche très ouverte ne privilégiant pas d'axe particulier. En conséquence, les types d'innovation portés et les questionnements abordés sont très variés :

- Emergence de nouvelles filières, avec 7 des 15 procédés constructifs faisant appel au bois

- Nouvelles organisations avec des coopérations plus poussées entre architectes et industriels, avec 10 des 15 procédés portés par une association ces groupes d'acteurs

- Réduction des coûts et des délais pour répondre au déficit de logements sociaux

- Augmentation de la qualité et de la fiabilité des constructions pour faire face à la fois à l'augmentation des exigences des usagers, à la multiplication des normes et à l'utilisation de systèmes techniques de plus en plus complexes

Parmi l'ensemble des points de questionnements soulevés par les procédés CQFD nous en avons sélectionné trois. Deux questions sont transversales aux thématiques abordées par les procédés constructifs sélectionnés : la place de la préfabrication dans l'acte de construire et son impact sur l'évolution des métiers du bâtiment. La troisième question est relative au type de procédure adaptée aux attentes d'un programme comme CQFD.

### 3.1 QUELLE PLACE POUR LA PREFABRICATION ?

La préfabrication, lourde ou légère, mécanisée ou non, consiste en la réalisation d'éléments du futur bâtiment hors de leur emplacement définitif, que ce soit en usine, en atelier ou à proximité de l'ouvrage de construction. Dans cette partie, la préfabrication à proximité de l'ouvrage ne sera pas traitée et nous ne considérerons que la préfabrication en atelier ou en usine, qui permet de rationaliser plus aisément l'espace de production que pour une installation foraine. La préfabrication est un thème transversal à la grande majorité des procédés labellisés, qui y ont apporté des réponses très différenciées.

#### 3.1.1 LA PREFABRICATION DANS LES PROCÉDES CQFD

La préfabrication est en effet un aspect essentiel de 11 des 15 procédés constructifs labellisés, avec de grandes variations suivant la nature des matériaux utilisés pour la structure.

Les procédés bois sont de loin les procédés qui ont eu le plus recours à la préfabrication, avec, pour l'ensemble de ces procédés, l'acheminement sur le chantier d'éléments complexes allant des panneaux bidimensionnel aux modules tridimensionnels.

Ces procédés relèvent bien entendu des catégories connues de préfabrication : certains privilégient les éléments monodimensionnels (poutres pour la version originelle du procédé Dorean), d'autres les panneaux et d'autres enfin les modules tridimensionnels.

En complément de cette typologie traditionnelle, nous en proposons une autre fondée sur l'importance de la valeur ajoutée en atelier par rapport aux fonctions attendues de ces mêmes éléments dans le bâtiment terminé. Cette typologie comprend également trois classes.

- 1 Pour les panneaux de bois massifs, la préfabrication porte uniquement sur des éléments de structure. Les panneaux, fabriqués en usine, sont livrés sur le chantier en éléments de grande taille. Leur mode de fabrication est très mécanisé, ce qui permet d'atteindre un niveau de précision extrêmement élevé dans la découpe et l'assemblage des planches. Fabriquer ce type de parois sur chantier est quasi impossible et la préfabrication vient ici ouvrir le champ des possibles en apportant de nouvelles perspectives constructives.
- 2 Le niveau de préfabrication suivant propose des pans complets incluant parois opaques et baies. Aucune retouche n'est nécessaire sur les assemblages. La mécanisation est utilisée pour élaborer des pièces simples et répétitives, qui servent d'éléments structurels. Le reste de l'assemblage (pose de l'isolant, du bardage,...) est généralement réalisé par la main d'œuvre en atelier. Par contre, la préfabrication se limite aux parois opaques et n'intègre pas les menuiseries ou les équipements techniques qui sont mis en œuvre sur chantier.
- 3 Enfin, le niveau de préfabrication maximal consiste à réaliser la grande majorité du bâtiment en atelier. La valeur ajoutée est alors maximale. L'ensemble des parois du bâtiment, les pièces humides et le local technique sont préfabriqués avant d'être transportés sur site. Hors VRD et fondations, le chantier se limite alors à l'assemblage des différents modules et aux travaux de finition (par exemple, pose de plaque de BA13 et couche de peinture en intérieur). Ce type de procédé peut être aussi bien en panneaux 2D qu'en modules 3D –cf. Ossabois-.

Les deux procédés acier ont aussi fait appel à la préfabrication. Elle porte a minima sur l'ossature poteaux-poutres du bâtiment et peut être complétée par de la préfabrication de panneaux de façades rapportées.

La préfabrication des éléments béton, qui a connu une période florissante au cours des années 1960-70, est peu présente dans CQFD. Seuls deux procédés sur cinq –« Logipass » et « Pour un logement innovant »- y ont fait appel sous forme de prémurs creux servant de coffrage au béton coulé en place. Ce type de prémurs, moins lourd qu'un panneau plein, permet aussi d'insérer une couche d'isolant entre les deux épaisseurs de béton et de réaliser une isolation par l'extérieur à l'abris des intempéries.

Le procédé Habitat Colonne peut faire appel à la préfabrication pour la réalisation des poteaux et des poutres. Ce procédé ne repose toutefois pas essentiellement sur la préfabrication, même si l'évolution du procédé introduit des façades préfabriquées en bois.

De même, si Batinov n'est pas un procédé faisant directement appel à la préfabrication, il est cependant suffisamment souple pour l'intégrer. Une opération Batinov atypique a ainsi utilisé des panneaux préfabriqués en béton architectural plein pour la façade.

Le procédé maçonné ne fait pas appel à la préfabrication, si ce n'est sous forme de fabrication en série de blocs de béton cellulaire.

### **3.1.2 QUELLE VALEUR AJOUTEE POUR LA PREFABRICATION ?**

La préfabrication peut apporter des améliorations sur les quatre aspects C,Q,F et D du programme. Les avantages potentiels de la préfabrication ont été présentés au paragraphe 1.3.1.

La réduction des délais de l'opération est l'élément le plus marquant de la préfabrication. Elle résulte à la fois de la possibilité de travailler en temps masqué et de la rapidité potentielle d'assemblage des éléments préfabriqués sur chantier. La préfabrication offre la possibilité de débiter la production en atelier pendant que le chantier en est à la déconstruction, à la dépollution, aux VRD ou aux fondations. D'autre part, avec des conditions de travail optimisées, un effectif adapté et une mécanisation de certaines tâches, les éléments préfabriqués en atelier le sont plus rapidement que s'ils étaient réalisés sur le chantier.

Toutes choses égales par ailleurs, tous les procédés CQFD faisant appel à la préfabrication ont réduit les durées d'opération par rapport à des procédés traditionnels. Par exemple l'usine Ossabois de Noirétable produit l'ensemble des parois d'une maison individuelle en une journée. Et, une fois les fondations et le module technique préfabriqué –pièces humides et local technique- la phase d'assemblage des éléments jusqu'à la livraison de la maison ne prend qu'une semaine.

En limitant le nombre de tâches réalisées sur le chantier et en facilitant les conditions de travail, la préfabrication peut être également une piste pour améliorer la qualité de réalisation. De plus, on peut aussi y avoir recours pour réaliser des pièces complexes difficilement réalisables in situ, ce qui offre de nouvelles possibilités pour augmenter la qualité architecturale des ouvrages.

Pour les procédés bois, la préfabrication de panneaux massifs, qui n'est possible qu'en usine, est un exemple d'utilisation de la préfabrication pour réaliser des pièces complexes avec un degré de précision suffisant pour que les produits livrés assurent d'emblée les fonctions structurelles recherchées et présentent un aspect fini répondant aux choix esthétiques.

Pour les procédés béton, l'opération de Béthune fait figure d'exception : c'est à notre sens la seule qui ait utilisé la préfabrication dans le but de réaliser des produits trop complexes pour

être exécutés sur le chantier. Mais cette performance a un prix: le coût de construction au m<sup>2</sup> de cette opération emblématique est environ trois fois plus élevé que le coût moyen des autres opérations.

Avec la préfabrication, la fiabilité globale de l'opération est généralement améliorée. L'atelier ou l'usine, à l'abri des intempéries, peut être organisé pour que les tâches soient coordonnées et réalisées dans les meilleures conditions, notamment à l'abri des intempéries. Les délais et la qualité de réalisation sont donc fiabilisés. En effet, les contrôles de qualité sont plus aisés en atelier, ce qui est un atout pour la fiabilisation des performances. Et, en rendant le chantier moins complexe, la préfabrication vient aussi fiabiliser les réalisations sur site.

Enfin, les conditions de travail en atelier fiabilisent les conditions de travail des ouvriers et permettent de limiter les accidents du travail.

Si le transport des éléments préfabriqués vient ajouter quelques aléas –notamment la casse pendant le transport- l'augmentation de la fiabilité semble inhérente à la préfabrication.

Pour les opérations courantes, la réduction des coûts découle de ce qui précède. La réduction des délais, l'optimisation des conditions de travail, la mécanisation de certaines tâches, la fiabilisation des étapes de construction sont autant d'éléments qui contribuent à réduire les coûts de construction.

Cette réduction des coûts est difficilement visible aussi bien pour les procédés béton, qui n'ont fait que modérément appel à la préfabrication, que pour les procédés acier, qui n'ont pas réalisé d'opérations. Elle est en revanche patente pour les procédés bois. Les procédés en bois massif, qui utilisent la préfabrication uniquement pour les éléments porteurs, sont à environ 1 800 €/m<sup>2</sup>SU. Les procédés « intermédiaires », où la préfabrication porte sur l'ensemble des parois opaques, sont plutôt autour de 1 500€/m<sup>2</sup>SU, et les procédés avec un maximum de préfabrication sont autour de 1 300€/m<sup>2</sup>SU, avec une marge de baisse importante. Maintenant il reste à savoir si cette réduction des coûts n'est pas obtenue au détriment de la qualité architecturale ou de la pérennité des bâtiments ainsi construits.

### 3.1.3 LES LIMITES DE LA PREFABRICATION

La préfabrication, définie par une réalisation d'éléments hors de leur emplacement définitif, n'a pas de limites intrinsèques. Pourtant, on observe une certaine uniformisation des réalisations basées sur des procédés constructifs reposant grandement sur la préfabrication, comme on peut le voir sur les photos suivantes.



Maisons Elika, Hem



Chantier de Vert-Saint-Denis, 75 logements "Muse", été 2011

Cette uniformité apparente résulte-t-elle de l'utilisation de machines ? Les machines ne peuvent faire qu'un nombre restreint de tâches, et sont donc un facteur limitant la diversité. Mais leur utilisation est restreinte aux premières tâches du processus de production –découpe, assemblage primaire- et la réponse à la question posée est a priori négative (les blocs à maçonner sont éminemment identiques mais leur usage ne limite en rien la variété des bâtiments avec lesquels ils sont construits !).

N'est-ce pas plus l'organisation du travail en atelier qui est le principal facteur limitant la diversité dès lors qu'il y a « sur-optimisation » du processus. Comme le lieu géographique de production est inchangé, l'industriel cherche constamment à améliorer les techniques de

fabrication et d'assemblage et à augmenter ses marges. Fiabiliser la production, accélérer la cadence et réduire les coûts deviennent une sorte de défi et toute modification organisationnelle allant dans ce sens est considérée comme une réussite.

La monotonie de la production des éléments vers laquelle peut converger cette démarche est probable. Ce n'est cependant absolument pas un obstacle à l'obtention de bâtiments aux architectures variées dès lors que les éléments fabriqués sont chacun de très petites parties du bâtiment (à l'image de blocs à maçonner ou de poutrelles). En revanche, lorsqu'ils représentent des pans ou des volumes entiers du bâtiment, la marque de l'uniformité des éléments préfabriqués peut plus affecter l'architecture du bâtiment dont la conception doit s'adapter au jeu de contraintes lié aux éléments.

Une des principales raisons des nombreux échecs des procédés préfabriqués visant la production de pans ou de volumes entiers du bâtiment vient aussi de la non-régularité de la demande. Le bâtiment ayant une durée de vie très longue, la demande locale en bâtiments neufs est beaucoup moins élevée que pour d'autres secteurs industrialisés –l'automobile par exemple et plus généralement tous les produits manufacturés d'usage courant-. De plus, la demande de logements est certes constante mais la demande solvable est plus fluctuante au gré de l'économie générale et des politiques du moment. Elle est de ce fait sujette à des à-coups qui sont par nature difficilement conciliables avec la nécessité pour l'outil de production industriel de « tourner » régulièrement notamment pour amortir les investissements.

Un exemple récent (2007) d'abandon d'une « usine à maisons » est celui de la société suédoise NCC. Malgré les arguments évoqués précédemment : maîtrise de la qualité, réduction du délai global via une préparation poussée en usine nécessitant une période d'étude plus longue, l'abandon a été justifié par des raisons économiques associées à l'absence d'effet d'échelle suffisant en fonction de l'augmentation de production (BOUGRAIN F., SALAGNAC J-L. 2008).

Avec le logement individuel, la demande est plus lissée et une préfabrication basée sur des éléments facilement transportables permet d'élargir le marché potentiel et d'atteindre un niveau de demande critique assurant la viabilité de l'entreprise (par exemple Geoxia, créateurs des Maisons Phoenix, existe depuis 1946).

## **3.2 QUELLE PROCEDURE POUR ACCOMPAGNER UN TEL PROGRAMME ?**

### **3.2.1 INTERETS DE LA PROCEDURE**

La procédure CQFD se passe en deux temps. Dans un premier temps, des équipes proposant une solution constructive innovante « clé en main » sont sélectionnées par un jury organisé par le PUCA et labellisées CQFD. Dans un second temps, tout maître d'ouvrage d'habitat social peut lancer un appel d'offre restreint aux lauréats labellisés et en sélectionner un pour réaliser une opération en conception/construction avec l'équipe sélectionnée.

Cette procédure ouverte a généré beaucoup de créativité. Les procédés constructifs sont extrêmement variés, tant du point de vue des techniques et matériaux utilisés que des équipes qui les portent. Cette grande diversité des procédés constructifs sélectionnés est un atout qui permet de répondre à l'ensemble des sollicitations des maîtres d'ouvrage. Pour le maître d'ouvrage, le choix de la solution « clé en main » peut simplifier l'organisation de son projet ou au contraire la compliquer quant il a l'habitude de travailler localement avec des architectes, maîtres d'œuvre et entreprises.

De plus, comme n'importe quel bailleur social soumis au code des marchés publics peut lancer une consultation CQFD, la diffusion des innovations peut être massive et répandue sur l'ensemble du territoire (les procédés CQFD ont essaimé dans 15 régions sur 22).

### **3.2.2 LIMITES DE LA PROCEDURE**

Outre les effets d'aubaines potentiels, la procédure CQFD peut entraîner certains déséquilibres entre les candidats, rebuter des maîtres d'ouvrage à y faire appel ou limiter le niveau d'innovation des procédés sélectionnés.

Tout d'abord, seules les grandes entreprises générales peuvent proposer une offre globale sur l'ensemble du territoire national. Si le rayon d'action des autres groupements est généralement plus réduit (notamment du fait du transport d'éléments préfabriqués), c'est le fait de proposer une offre globale qui a été le point le plus contraignant. L'ensemble des équipes ayant réalisé des opérations CQFD se sont finalement associées avec une des entreprises générales labellisées pour assurer la globalité de l'offre.

Une autre limite de la procédure est le faible recours à la main d'œuvre locale. Certains maîtres d'ouvrage ont pu reculer devant le faible recours aux entreprises locales, en particulier aux architectes, et se détourner de la procédure CQFD. Cette raison pourrait expliquer en partie le nombre limité d'opérations réalisées.

Enfin, si les maîtres d'ouvrage choisissent une procédure CQFD car ils ont envie d'innovation, ils finissent bien souvent par choisir un procédé béton porté par une grande entreprise générale –plus de 90% des opérations réalisées-. Le système de concours peut avoir joué un rôle dans cet état de fait en mettant sur le même plan des procédés constructifs avec des degrés d'innovation très différents. Les maîtres d'ouvrage, ayant lancé une procédure CQFD par volonté de dynamiser l'innovation peuvent vite réduire leurs attentes en passant de la théorie à la pratique, et ainsi sélectionner des procédés constructifs qui se rapprochent du traditionnel.

De plus, depuis que les OPH ont quitté le giron du code des marchés publics (CMP) pour intégrer celui de l'ordonnance du 6 juin 2005, une procédure basée sur l'article 75 du CMP

est moins aisé. Cependant, la Direction Générale des Finances Publiques souligne que rien n'empêche un OPH de se soumettre volontairement aux règles du CMP, mais il faut le prévoir dans une délibération ou dans le règlement de consultation (LEVET-VEYRIER S. 2012)

### 3.2.3 LES EFFETS D'AUBAINE POTENTIELS

L'analyse des opérations CQFD fait apparaître les éléments suivants.

Le premier est le taux de réussite de 100% de Muse aux quatre appels d'offre où l'équipe a candidaté, là ou le taux de réussite des autres équipes se situe autour de 35%.

L'autre est la forte concentration d'opérations CQFD en région Nord-Pas-de-Calais qui concentre 49% des surfaces utiles construites. Autre fait, le procédé Batinov a été plébiscité pour 97% des surfaces utiles construites dans cette région.

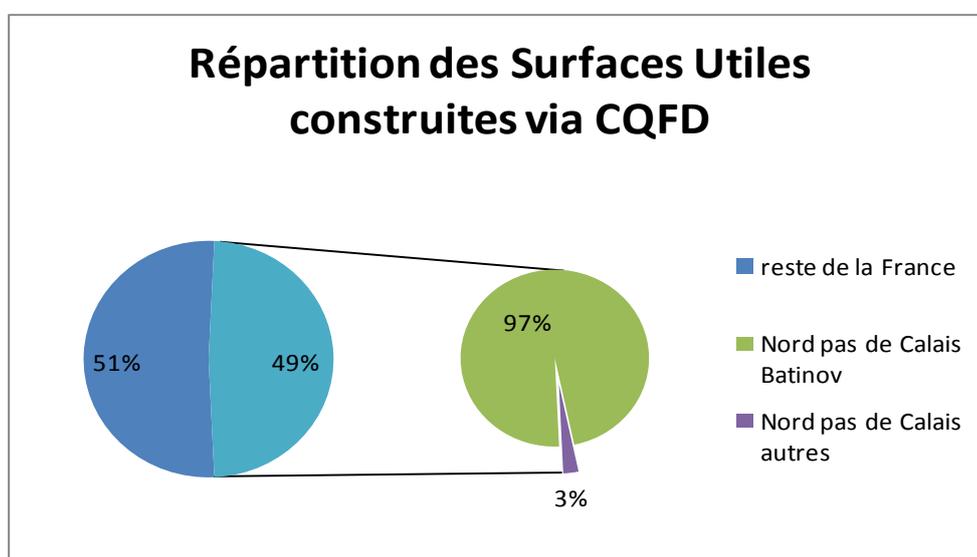


Figure 12: surfaces utiles construites dans le Nord-Pas-de-Calais

## CONCLUSION

Les procédés constructifs sélectionnés dans le cadre de CQFD 1 et 2 offrent une grande diversité d'innovations portant sur des systèmes constructifs bien différenciés. Les matériaux structurels représentés sont très variés -béton, bois, acier, béton cellulaire. Le recours à la préfabrication, partie intégrante des trois quarts des procédés sélectionnés, a atteint des degrés très divers.

Si la préfabrication s'est limitée aux murs précoffrés pour les procédés béton, elle a atteint un niveau beaucoup plus poussé avec les procédés bois. Pour ces procédés, la palette des usages de la préfabrication va du mur de bois massif composé de pièces de bois assemblées par des machines aux modules tridimensionnels permettant une livraison de l'ouvrage à peine quelques semaines après la phase de fondations.

D'autres procédés ont développé une approche complémentaire basée sur une mixité de matériaux afin de tirer le meilleur parti des caractéristiques de chacun d'entre eux. Ainsi, sur une structure béton pour le logement collectif ou acier pour le logement individuel, toitures et panneaux de façades sont ensuite rapportés en choisissant les matériaux suivant les propriétés recherchées et l'esthétique désirée.

Enfin, l'innovation se retrouve aussi dans la composition des équipes lauréates ; les deux tiers des procédés sont portés par une collaboration forte entre maîtrises d'œuvre et industriels. Cette configuration d'acteurs originale instaure un dialogue dès les prémices de la conception et permet de tirer le meilleur parti des caractéristiques des produits proposés par l'industriel.

L'observation montre que le foisonnement de propositions issues des appels à idées ne se retrouve pas dans le panel des opérations effectivement réalisées à l'aide de procédés CQFD. En effet, à plus de 90%, les 45 opérations sorties de terre ont été réalisées en béton par de grandes entreprises générales.

Les raisons de cette situation sont sans doute à chercher dans la force commerciale des grandes entreprises qui ont une plus grande capacité à intervenir en tout point du territoire et à mieux valoriser les atouts des procédés qu'elles portent que ne peuvent l'avoir des structures plus modestes. Ne faut-il pas y voir un biais, voire une limite, lié aux attendus des appels à idées ? En demandant aux mandataires de proposer une offre globale sur le territoire national, le PUCA n'a-t-il imposé des contraintes que seules les grandes entreprises peuvent supporter ? Par ailleurs, certains maîtres d'ouvrage ont pu être freinés dans leur intention à faire appel à des procédés dont la mise en œuvre pouvait perturber les habitudes de recours à la main d'œuvre locale.

Peut-on imaginer d'autres procédures de soutien à l'innovation ? On pourrait imaginer une subvention ou un accompagnement plus poussé du PUCA dans le cas de la sélection de procédés constructifs innovants (sur le procédé constructif proprement dit ou sur la composition des équipes) mais toute augmentation du niveau de subvention des équipes se heurterait à la réalité du contexte économique et à la difficulté de définir des critères de sélection.

Afin de lever la prévention que peuvent avoir des maîtres d'ouvrages vis-à-vis de procédés innovants tout en favorisant la création de réseaux de partenaires, ne peut-on pas plutôt imaginer aider à la diffusion de ces procédés en soutenant une forme « d'apprentissage » auprès des acteurs locaux des particularités de ces innovations, même si ceci semble difficile dans un contexte de concurrence ouverte ?

## Liste des références

BOUGRAIN F., SALAGNAC J-L., 2008. *ERABUILD - TRANS-USERS industrialiser la construction en impliquant les utilisateurs dans le processus d'innovation*, rapport PUCA n° M 06-27 du 04/12/06.

CHRISTEL V, 2005. Les durées de production des logements : de l'autorisation à l'achèvement de travaux.

CIB W 092, 1997. "Procurement systems", Proceedings of the symposium at University of Montreal May 1997.

GOBIN C, 2005. Industrialisation et construction.

Grenelle De L'environnement Comité Opérationnel "Rénovation Des Bâtiments Existants," 2008. *Rapport au ministre d'Etat, ministre de l'Ecologie, du Développement et de l'Aménagement durables, Grenelle De L'environnement Comite Operationnel Renovation Des Batiments Existants,*

GRIFFITHS, John F., 1976. *Climate and the Environment, The atmospheric impact on man*, London: Paul Elek.

Guigou Carter C., Wetta R, 2007. Structures légères à ossature bois – solutions règlementaires pour l'habitat social.

LEVET-VEYRIER S., 2012. Le régime des marchés passés par les OPH éclairci. *Le Moniteur du BTP*. Available at: <http://www.lemoniteur.fr/165-commande-publique/article/actualite/17041858-le-regime-des-marches-passes-par-les-oph-eclairci>.

ONERC, 2010. *Villes et adaptation au changement climatique,*

Ordre des Architectes, 2009. ZAC des rives du Blosne à Chantepie. Available at: <http://webtv.architectes.org/culture-architecturale/dvd-rom-architecture-responsable-et-developpement-durable/zac-des-rives-du-blosne-chantepie/>.

SALAT S., 2011. *Les villes et les formes sur l'urbanisme durable*, CSTB.

VERON J., 2007. La moitié de la population mondiale vit en ville. *INED-Population et sociétés*, (435), p.4.





Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère  
de l'Écologie,  
du Développement  
Durable  
et de l'Énergie

Ministère  
de l'Égalité  
des Territoires  
et du Logement

Le Plan Urbanisme Construction Architecture (PUCA), depuis sa création en 1998, développe à la fois des programmes de recherche incitative, des actions d'expérimentations et apporte son soutien à l'innovation et à la valorisation scientifique et technique dans les domaines de l'aménagement des territoires, de l'habitat, de la construction et de la conception architecturale et urbaine.

Il est organisé selon quatre grands départements de capitalisation des connaissances : Société urbaines et habitat traite des politiques urbaines dans leurs fondements socio-économiques ; Territoires et aménagement s'intéresse aux enjeux du développement urbain durable et de la planification ; Villes et architecture répond aux enjeux de qualité des réalisations architecturales et urbaines ; Technologies et construction couvre les champs de l'innovation dans le domaine du bâtiment. Le PUCA développe une recherche incitative sur le futur des villes à l'impératif du développement durable.

Ce plan 2007-2012 se décline selon huit programmes finalisés dont les objectifs de recherche répondent aux défis urbains de demain. Ces programmes sont accompagnés d'ateliers thématiques, de bilans de connaissances et de savoir-faire, ainsi que par des programmes transversaux à l'échelle des territoires et des villes et à l'échelle européenne, avec la participation du PUCA à des réseaux européens de recherche.

Le PUCA, par ailleurs, assure le secrétariat permanent du programme de recherche et d'expérimentation sur l'énergie dans le bâtiment (PREBAT).

## plan urbanisme construction architecture

- ▶ Le gouvernement des villes et la fabrique du bien commun
  - Planification sociale de l'urbain et des services publics
  - Citoyenneté et décision urbaine
  - Intercommunalité et métropolisation
  - Normes et fabrique du bien commun
- ▶ Le renouveau urbain
  - Rénovation urbaine et mixité sociale
  - Renouvellement et recomposition des quartiers
  - Créativité et attractivité des villes
- ▶ L'avenir des périphéries urbaines
  - Qualité et sûreté des espaces urbains
  - Architecture de la grande échelle
  - Habitat pluriel : densité, urbanité, intimité
  - Systèmes périurbains et coûts d'urbanisation
  - Dynamiques et pratiques résidentielles
- ▶ Comportements résidentiels et défis démographiques
  - Vieillesse de la population et choix résidentiels
  - Habitat et services aux personnes âgées
  - Évolutions démographiques et inégalités territoriales
- ▶ Accès au logement
  - Trajectoires résidentielles
  - Recompositions institutionnelles de l'offre de logement
  - Modes et formes de l'hébergement
  - Économie foncière et immobilière
- ▶ L'innovation dans l'architecture et la construction
  - Logements optimisés : coûts, qualité, fiabilité, délai
  - Concept qualité, habitat, énergie
  - Logement design pour tous
  - Évaluation énergétique du patrimoine existant (PREBAT)
  - Bâtiments démonstrateurs (PREBAT)
  - REHA (PREBAT)
- ▶ Territoires et acteurs économiques
  - Espaces urbains et dynamiques économiques
  - Lieux, flux, réseaux dans la ville des services
  - Développement économique local et mondialisation
  - Économie de l'aménagement
  - Attractivité des territoires
- ▶ Vers des villes viables et acceptables
  - Politiques territoriales et développement durable
  - Risques technologiques : enjeux économiques et territoriaux
  - Villa urbaine durable
  - Quartiers durables
  - Aménagement et démarches HQE
  - Collectivités locales et politiques énergétiques (PREBAT)
  - Collectivités locales et défi climatique (PREBAT)

PUCA  
Plan Urbanisme Construction Architecture

Grande Arche de la Défense  
Paroi Sud  
92055 La Défense cedex  
tél. 01 40 81 24 30  
fax 01 40 81 63 78  
[www.urbanisme.equipement.gouv.fr/puca](http://www.urbanisme.equipement.gouv.fr/puca)