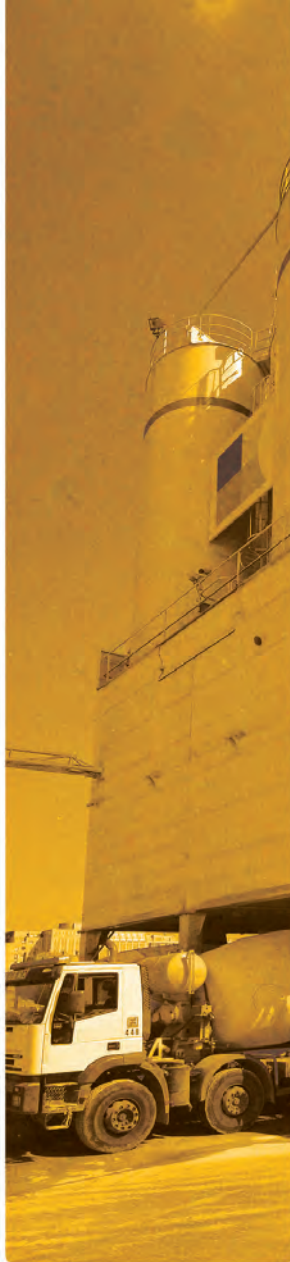




LOGEMENT COLLECTIF & BÂTIMENT NON-RÉSIDENTIEL



SNBPE
BÉTON PRÊT À L'EMPLOI

LE BÉTON PRÊT À L'EMPLOI OPTIMISE LES PERFORMANCES DES SOLUTIONS CONSTRUCTIVES MIXTES

Février 2017

CIM*béton*
CENTRE D'INFORMATION SUR
LE CIMENT ET SES APPLICATIONS

Membre de **By** **ÉTON**

SNBPE

SYNDICAT NATIONAL DU BÉTON PRÊT A L'EMPLOI

Membre de **By** **ÉTON**

Sommaire

PREFACE	4
1 - LA MIXITÉ DES MATÉRIAUX DE L'ANTIQUITÉ À NOS JOURS	5
2 - LES APPORTS RESPONSABLES DU BÉTON PRÊT À L'EMPLOI (BPE) À LA MIXITÉ	8
2.1 Santé	8
2.1.1 Atouts du Béton Prêt à l'Emploi	8
2.1.2 Apports du BPE à la mixité	8
2.1.3 Illustrations dans le logement collectif et le non résidentiel neufs	10
2.2 Environnement	11
2.2.1 Atouts du Béton Prêt à l'Emploi	11
2.2.2 Apports du BPE à la mixité	11
2.2.3 Illustrations dans le logement collectif et le non résidentiel neufs	12
2.3 Economie circulaire	13
2.3.1 Atouts du Béton Prêt à l'Emploi	13
2.3.2 Apports du BPE à la mixité	14
2.3.3 Illustrations dans le logement collectif et le non résidentiel neufs	15
2.4 Compétitivité économique	16
2.4.1 Atouts du Béton Prêt à l'Emploi	16
2.4.2 Apports du BPE à la mixité	16
2.4.3 Illustrations dans le logement collectif et le non résidentiel neufs	17
3 - LES APPORTS TECHNIQUES DU BÉTON PRÊT À L'EMPLOI (BPE) À LA MIXITÉ	19
3.1 Thermique et inertie	19
3.1.1 Atouts du Béton Prêt à l'Emploi	19
3.1.2 Apports du BPE à la mixité	19
3.1.3 Illustrations dans le logement collectif et le non résidentiel neufs	20
3.2 Feu / sécurité incendie	21
3.2.1 Atouts du Béton Prêt à l'Emploi	21
3.2.2 Apports du BPE à la mixité	21
3.2.3 Illustrations dans le logement collectif et le non résidentiel neufs	22
3.3 Acoustique	23
3.3.1 Atouts du Béton Prêt à l'Emploi	23
3.3.2 Apports du BPE à la mixité	23
3.3.3 Illustrations dans le logement collectif et le non résidentiel neufs	24

3.4	Séisme	24
3.4.1	Atouts du Béton Prêt à l'Emploi	24
3.4.2	Apports du BPE à la mixité	25
3.4.3	Illustrations dans le logement collectif et le non résidentiel neufs	26
3.5	Durabilité	27
3.5.1	Atouts du Béton Prêt à l'Emploi	27
3.5.2	Apports du BPE à la mixité	27
3.5.3	Illustrations dans le logement collectif et le non résidentiel neufs	27
4 - CONCLUSIONS		30
BIBLIOGRAPHIE		31
REMERCIEMENTS		31

Préface



Alain PLANTIER
Président du Syndicat
National du Béton Prêt
à l'Emploi (SNBPE)

Producteurs de Béton Prêt à l'Emploi (BPE), les adhérents du SNBPE n'ont de cesse d'optimiser les performances et les propriétés de leur matériau tout en étant à l'écoute des attentes des prescripteurs et des utilisateurs des ouvrages que le BPE contribue à construire.

Promoteur des qualités du BPE (résistance, durabilité etc...) lorsqu'il est utilisé seul dans la construction, le SNBPE a également tenu à montrer comment ces mêmes qualités valorisent les performances des autres matériaux dès lors qu'ils sont associés par le maître d'ouvrage dans son projet, que ses choix soient guidés par des opportunités techniques ou dictés par les attentes du donneur d'ordre.

Dans tous les cas, le BPE sait accueillir les autres matériaux et se combiner avec eux pour optimiser des systèmes constructifs au sein d'un même ouvrage. A ce titre, il s'inscrit pleinement dans la mixité constructive.

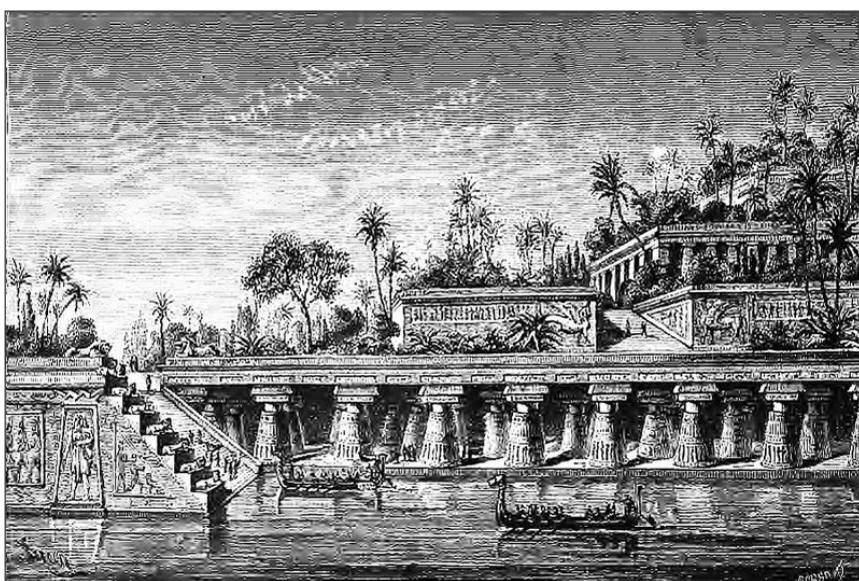
Le SNBPE est également attentif à la performance environnementale des ouvrages auxquels le BPE contribue et combien cette mixité permettrait d'obtenir des impacts environnementaux maîtrisés. Le syndicat entend favoriser des productions industrielles, qui à l'image de celle de ses adhérents, s'inscrivent dans des boucles courtes et dynamisent l'économie des territoires.

Pour répondre aux exigences de notre époque, le bâtiment se doit de gagner en adaptabilité pour permettre l'évolution de ses fonctionnalités. C'est en s'appuyant sur des résultats d'études et sur des réalisations, que ce document présente les apports du BPE vis-à-vis de la mixité constructive appliquée aux logements collectifs et aux bâtiments non-résidentiels.

1

LA MIXITÉ DES MATÉRIAUX, DE L'ANTIQUITÉ À NOS JOURS

Depuis la plus haute Antiquité, les Hommes ont eu le souci de bâtir, de construire pour eux-mêmes mais aussi pour leurs dieux. Ces derniers édifices dans la mesure où ils nous sont parvenus, nous sont mieux connus que les ouvrages à usage d'habitation dont souvent ils s'inspirent. Tous ces ouvrages, qu'ils soient profanes ou religieux, sont construits avec des matériaux locaux, pierre, bois, brique, mortier, chacun étant utilisé en fonction de sa résistance attendue dans la construction, afin de participer à la solidité de l'ensemble.



Jardins suspendus de Babylone
(source «Voyage aux Sept merveilles du monde» Augé de Lassus)

En Orient, dont l'histoire de l'art et de l'architecture occidentale est directement l'héritière, les matériaux d'origine minérale ont été privilégiés, associés le plus souvent au bois.

En Mésopotamie, en dehors des temples, un ouvrage mythique a traversé à défaut des âges, les mémoires pour atteindre l'universalité, puisqu'il s'agit de l'une des sept merveilles du monde, les jardins suspendus de Babylone. Qu'Alexandre les ait admirés ou pas, que les descriptions que nous en ont laissées les auteurs antiques soient

quelques peu discordantes, peu importe, retenons celle de Diodore¹ qui expliquent comment plusieurs couches de pierre, roseau, bitume et plomb avaient dû être mises en œuvre pour assurer l'étanchéité d'une structure qui vraisemblablement associait la brique à la pierre pour permettre aux jardins de se développer en terrasses successives selon le procédé proche, bien connu des babyloniens, de la ziggourat.

Dans le pays voisin d'Égypte, les temples qui constituaient la colonne vertébrale du pouvoir de Pharaon et donc de l'ordre social, en revanche nous sont parvenus. Leur étude a montré que leurs différentes parties étaient construites en brique de limon du Nil pour les murs d'enceinte, tandis que la pierre extraite des carrières voisines était réservée au sanctuaire qui doit demeurer éternel afin que l'ordre du monde, le Maât² soit préservé. Ici le choix des matériaux se fait davantage en fonction d'un choix métaphysique, celui de l'éternité, que physique liés à leur résistance réelle.

Le monde grec n'en est pas moins intéressant à observer dans la mesure où ses premiers temples qui apparaissent probablement au IX^e siècle avant J-C sont construits avec des matériaux identiques à ceux utilisés pour les maisons : les murs, posés sur des soubassements en pierre, sont en brique crue et recouverts de stuc. Les colonnades extérieures sont des poutres en bois qui permettent de dissocier les

1. Diodore de Sicile est un historien et chroniqueur grec du I^{er} siècle av. J.-C., contemporain de Jules César et d'Auguste, auteur de la Bibliothèque historique dans laquelle il décrit les Sept Merveilles du Monde

descentes de charges en dehors des parois, de même que la charpente surmontée d'une toiture en chaume recouverte d'argile. Une mixité des matériaux parfaite et raisonnée, la destination de chacun étant induite par sa fonction structurelle, isolante, décorative, etc.

Les premiers temples construits entièrement en pierre apparaissent en Grèce au VII^e siècle av. J.-C, avec des toits à doubles pentes recouvertes de tuiles et sont alors de dimension encore modeste, la portance des travées de pierre en limitant la largeur du fait du risque de leur fléchissement. C'est la double colonnade qui permettra aux Grecs de donner à leurs temples la physionomie qui nous vient à l'esprit lorsque nous évoquons par exemple le Parthénon ; en effet les Grecs n'ont jamais utilisé la voûte pourtant connue des Mésopotamiens et si largement utilisée par Rome, Byzance puis déclinée parallèlement par le monde arabe et occidental.



Basilique de Maxence à Rome

Si la voûte, que ses éléments soient maintenus en place par leur taille ou du mortier, a ouvert la voie à l'ère minérale et aux ouvrages de dimensions les plus divers, du plus modeste à Rome tel que le Cloaca Maxima, aux plus vastes tels que la Basilique de Maxence ou les thermes de Caracalla, elle n'a jamais été exclusive des autres matériaux à savoir le bois, le bronze... tandis que leur mixité a triomphé dans les habitations ainsi que les fouilles de Pompéi notamment le montrent.

C'est sur ces bases désormais établies que se poursuivra l'histoire de l'architecture, les époques successives corrigeant autant que faire se pouvait les limites de leurs ouvrages.

Aux oppidum en bois gallo-romains et du haut Moyen Age ont succédé des fortifications en brique ou en pierre résistant mieux aux assauts mais surtout moins sensibles aux incendies provoqués par les jets de poix brûlante, les villes aux maisons à structures de bois trop fréquemment ravagées par le feu ont laissé la place progressivement à des cités où le minéral n'a cessé de croître d'abord pour les ouvrages publics, religieux et palatiaux, puis progressivement pour les demeures privées. Les architectes ont toujours su mettre les matériaux dont ils disposaient à leur juste place : minéraux pour les structures, bois pour les charpentes, sols et éléments décoratifs, métal pour les liaisons et les ouvertures...

Cette mixité, si elle est immuable dans son principe, n'en a pas moins évolué beaucoup au gré des découvertes, l'usage du métal et du verre dans les grandes verrières du XIX^e siècle a durablement modifié la physionomie des villes comme celui de l'acier a révolutionné la conception et la portance des ouvrages d'art et des ponts.

Le développement du béton s'est inscrit naturellement dans la longue histoire des techniques constructives ; comme tous les autres matériaux, son succès est venu de sa proximité avec les ouvrages dans la construction desquels il participe : les Hommes ont toujours privilégié l'utilisation de matériaux locaux, réservant leur énergie à leur mise en œuvre.

Minéral, le BPE sait accueillir tous les autres matériaux : le verre, l'acier, la terre cuite, le bois. Structurel, il a la vocation d'optimiser la pérennité des ouvrages. Résistant aux agressions, vent, pluie, feu, parasites ... il contribue au confort et à la sécurité de ses usagers. Innovant et agile, il est au service de la créativité des architectes dont il permet la réalisation de tous les gestes.

Par conséquent, le BPE s'inscrit pleinement dans la mixité constructive dans lequel il trouve naturellement un rôle structurant. Architectural, il peut rester apparent ou être revêtu d'un parement d'une autre nature (brique, bois, verre, etc.).



Viaduc du Buvet - A89 (source Construction moderne)

2

LES APPORTS RESPONSABLES DU BETON PRET A L'EMPLOI (BPE) À LA MIXITÉ

2.1 Santé

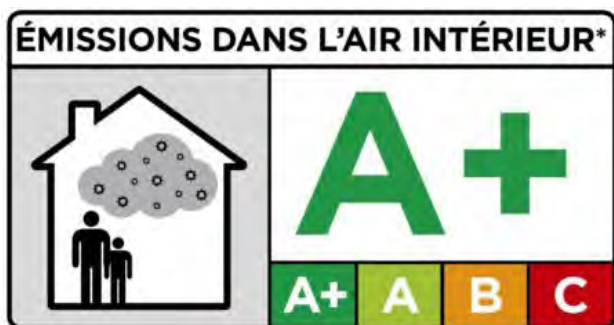
2.1.1 Atouts du Béton Prêt à l'Emploi (BPE)

La construction de bâtiments confortables et sains est indissociable de la qualité de l'air intérieur : nous passons, en moyenne, 80% de notre temps en espace clos ou semi-clos, que cela soit dans les logements, lieux de travail, écoles, espaces de loisirs, commerces, transports, etc.

Le choix des matériaux de construction est donc essentiel pour assurer une qualité de l'air intérieur optimale.

Les atouts du BPE

Le BPE est un matériau minéral qui n'émet aucun COV¹ et n'influe pas sur la qualité de l'air intérieur :



S'agissant du décret d'application de l'arrêté du 19 avril 2011 (et de l'arrêté modificatif du 20 février 2012) relatif à l'étiquetage des produits de construction, il y est précisé que le béton n'est pas concerné (à l'exception des bétons cirés qui apparaissent dans les revêtements de sol). La profession du BPE ayant pris l'initiative de démontrer la classification A+ du BPE vis-à-vis du niveau d'émission en polluants volatils, des essais ont été réalisés au CSTB.

Le BPE est un matériau inerte, inhibiteur naturel de la croissance des moisissures et des champignons

« Le béton, comme tous les matériaux hygroscopiques, a une capacité d'absorption et de désorption de vapeur d'eau.

Malgré l'élévation de la teneur en humidité du béton avec celle de l'air ambiant, le béton ne paraît pas être un milieu favorable au développement des moisissures en raison de sa composition essentiellement minérale et de ses propriétés hautement alcalines. » (Suzanne et Pierre DEOUX² in Guide de l'habitat sain).

Le BPE protège des ondes électromagnétiques :

« Enfin, vis-à-vis du comportement face aux ondes électromagnétiques, le béton est coulé autour d'armatures métalliques réalisant des cages de Faraday et de possibles antennes. La liaison des armatures des fondations assure une mise à la terre. » (Suzanne et Pierre DEOUX in Guide de l'habitat sain).

Le BPE est un matériau dense qui, au sein d'un système d'isolation acoustique, concourt à l'affaiblissement de la propagation des bruits solidiens et aériens.

2.1.2 Apports du BPE à la mixité

Pour des bâtiments confortables et sains, la solution constructive mixte privilégiée, associera une structure (mur et plancher) en BPE, une isolation thermique intérieure ou extérieure, et une façade légère rapportée (verre, bois, terre cuite, pierre naturelle agrafée, etc.).

¹ COV : Composés Organiques Volatiles

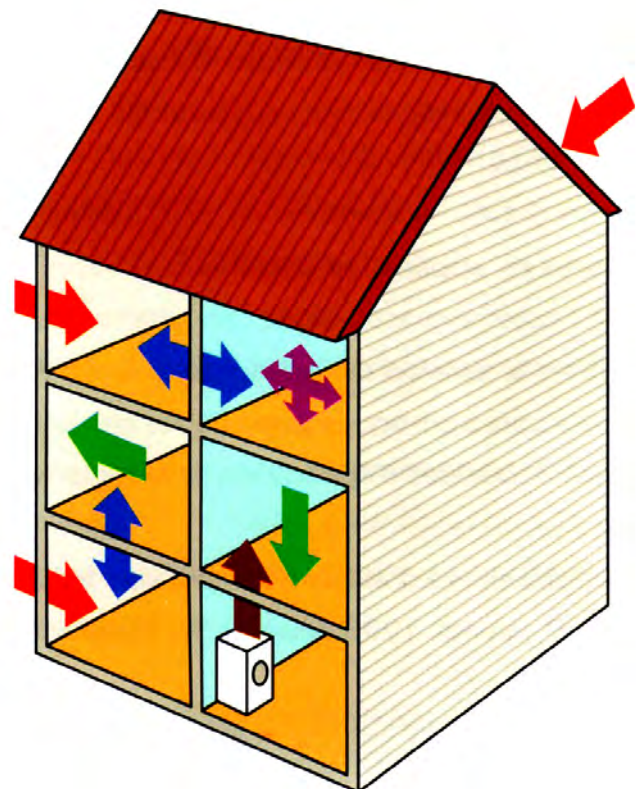
² Suzanne et Pierre DEOUX, Docteurs en Médecine, Guide de l'habitat sain, 2002, deuxième édition octobre 2004, 537 pages, Medieco Editions, Geodif diffusion- Groupe Eyrolles

Le BPE a un faible impact sanitaire*	Apports du BPE aux solutions constructives mixtes
N'émet pas de COV	Le BPE améliore la qualité de l'air intérieur
Évite la croissance des moisissures et des champignons	Le BPE supprime le risque de pourrissement de la structure, et assure ainsi la pérennité de l'ouvrage dans son ensemble ; les matériaux utilisés en parement sont mieux protégés et peuvent être interchangeables au gré de leur comportement dans le temps, tout en conservant la structure BPE initiale ; il permet enfin de protéger les occupants de l'humidité et des maladies qui lui sont liées
Protège contre les ondes électromagnétiques	Le BPE protège la santé des occupants
Affaiblit la propagation des bruits solidiens et aériens*	Le BPE procure un confort de vie aux occupants*

*Se reporter au schéma ci dessous

- Bruits aériens extérieurs
- Bruits aériens intérieurs, conversation
- Bruits d'impact intérieurs
- Bruits d'équipements
- Réverbération

Type de nuisances sonores

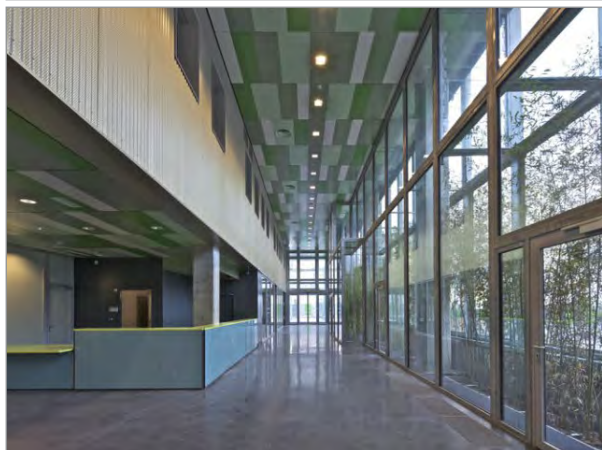
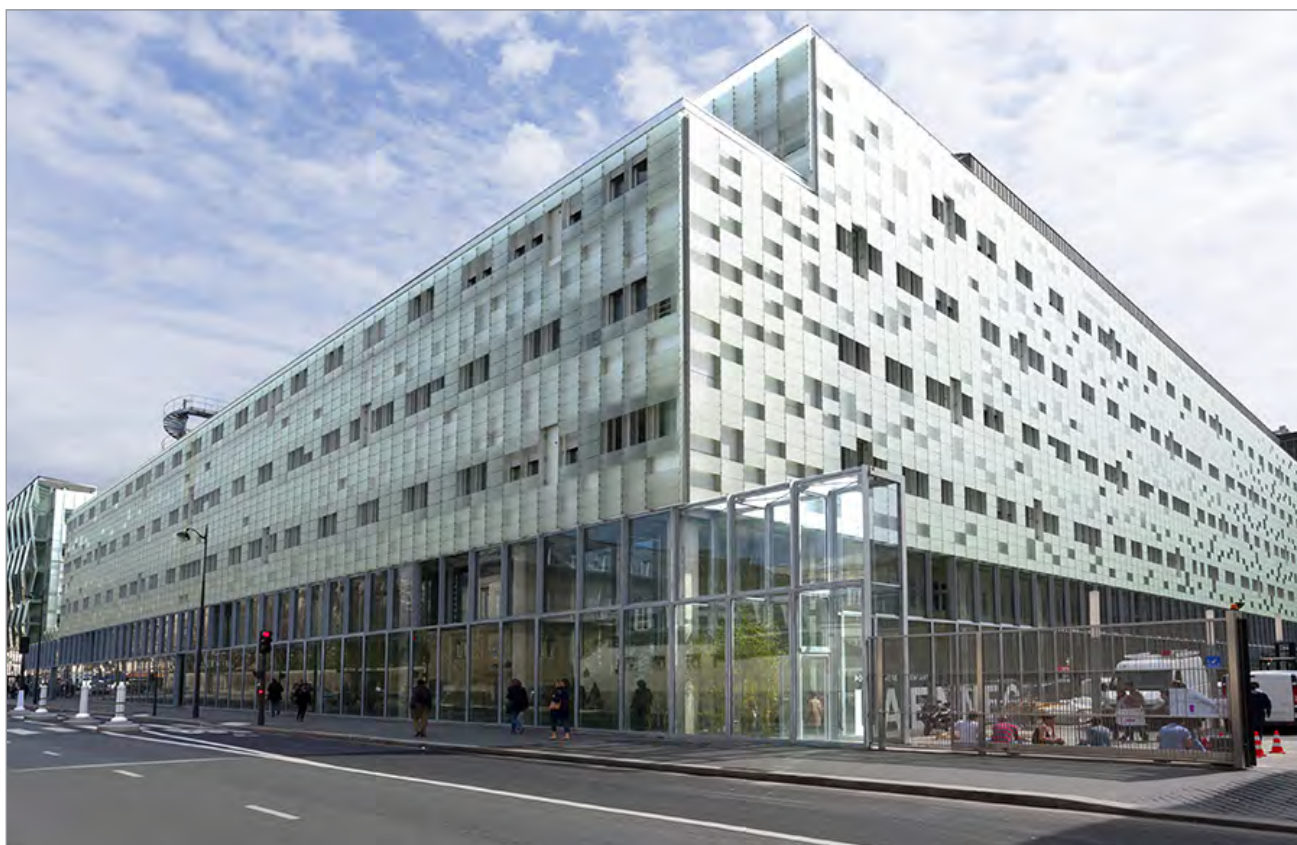


Source : Guide technique CIMbéton B54

2.1.3 Illustrations dans le logement collectif et le non résidentiel neufs

Mixité BPE/verre pour la restructuration du site de l'Hôpital Necker Enfants-Malades :

Etablissement de santé de référence depuis plus de 2 siècles, l'hôpital Necker-Enfants malades fait l'objet d'une opération de rénovation complète, laquelle devra s'achever en 2017. La réussite de ce projet passait par une intégration de l'hôpital dans la ville. Il fallait ouvrir le bâtiment. Amener de la lumière partout. Jusque dans les salles d'opération, pourvues de baies vitrées. L'architecte Philippe GAZEAU a voulu créer une certaine porosité entre l'intérieur et l'extérieur. Pour humaniser le bâtiment. Ne pas le réduire à sa seule fonction. Quant au carrefour Duroc, où se situe l'hôpital, il s'en est servi. Il a misé sur l'angle de la rue de Sèvres et du boulevard du Montparnasse, afin d'offrir au nouvel hôpital une visibilité maximum sur le quartier. Le lien avec l'espace public est immédiat. Et le filtre constitué par la façade-serre permet une relation visuelle forte entre l'espace public et les zones d'accueil de l'hôpital, tout en préservant l'intimité des activités intérieures. De plus, un jardin public d'un hectare va voir le jour au cœur du complexe de l'hôpital. Verre et vert font désormais bon ménage dans l'hôpital Necker à Paris, inondé de lumière, le tout assuré par une structure en béton et en acier permettant de supporter les dix étages. (source : http://www.cotemaison.fr/chaine-d/creation/paris-l-hopital-necker-a-paris-l-autre-ville-lumiere_21052.html)



Hôpital Necker - Paris (Architecte Philippe Gazeau)

2.2 Environnement

2.2.1 Atouts du Béton Prêt à l'Emploi (BPE)

Les maîtrises d'ouvrage et les concepteurs doivent à la fois construire vite et respecter des réglementations exigeantes en termes environnementaux. En effet, la réglementation thermique 2012 est en cours d'évolution vers une réglementation environnementale qui prendra en compte d'autres critères que l'énergie et notamment les émissions de gaz à effet de serre.

Les atouts du BPE

Les ouvrages en BPE s'intègrent dans leur environnement et permettent des gestes architecturaux adaptés à la vie des usagers.

Par ailleurs, compte tenu de la rénovation du parc

de bâtiments existants, de la mutualisation des espaces et de la réversibilité des usages, la durée de vie réelle des ouvrages augmente. Pour une durée de vie d'ouvrage estimée de 100 ans et avec une approche multicritères des impacts environnementaux, l'énergie grise du BPE (énergie dépensée de sa phase de conception à son recyclage) est négligeable.

2.2.2 Apports du BPE à la mixité

Du fait de ses performances environnementales, le BPE optimise celles des solutions constructives mixtes :

Le BPE a une faible empreinte environnementale	Apports du BPE aux solutions constructives mixtes
S'intègre à l'architecture locale grâce notamment à l'usage de matériaux de proximité	L'utilisation du BPE en parement de façade permet de réaliser des bâtiments « haut de gamme », tant en ville qu'en zone rurale. Associé à d'autres matériaux locaux (ex : bois local, pierre naturelle, etc.), le champ des possibles s'élargit fortement d'un point de vue architectural
Optimise une empreinte carbone limitée	Si l'on souhaite prendre en compte des durées de vie d'ouvrages inférieures à 100 ans et privilégier l'impact CO ₂ , alors les solutions mixtes peuvent apporter des réponses satisfaisantes, car elles optimisent les performances du point de vue de l'empreinte carbone (source : Etude Carbone 4).

2.2.3 Illustrations dans le logement collectif et le non résidentiel neufs

Mixité BPE / terre cuite pour l'intégration paysagère et environnementale d'un Etablissement d'Hébergement pour Personnes Âgées Dépendantes (EHPAD) à Saint-Germain-Nuelles dans le Rhône :

En plein cœur des Terres de Beaujolais, la maison de retraite Les Collonges est un établissement public intercommunal rattaché à la Communauté de Communes du Pays de l'Arbresle.

Le projet est situé au cœur du vignoble, et reprend de façon contemporaine la volumétrie de ces grandes fermes du pays des pierres dorées autour d'une cour intérieure. L'objectif a été d'intégrer le bâtiment avec son environnement local.

L'enjeu de ce projet a été de réinterpréter avec les techniques de construction moderne et les matériaux locaux actuels, les constructions traditionnelles en pierres dorées, afin de garder une homogénéité dans le paysage du vignoble du Beaujolais.

Pour ce faire, les façades du bâtiment, rythmées par des éléments métalliques, ont été réalisées en béton de pierre calcaire spécialement fabriqué pour ce chantier avec des matériaux issus de carrières locales des pierres dorées. Le béton de façade a été bouchardé afin de laisser apparaître les granulats érodés en surface dont l'aspect est proche de la pierre. La terre cuite a été retenue pour les toitures.

Le nouvel EHPAD de Saint-Germain-Nuelles (69), inauguré le 3 juillet 2015 est un bel exemple d'intégration dans l'architecture locale mais aussi de faible empreinte environnementale grâce à l'utilisation de matériaux locaux.



EHPAD - St Germain Nuelles (Vurpas Architectes)

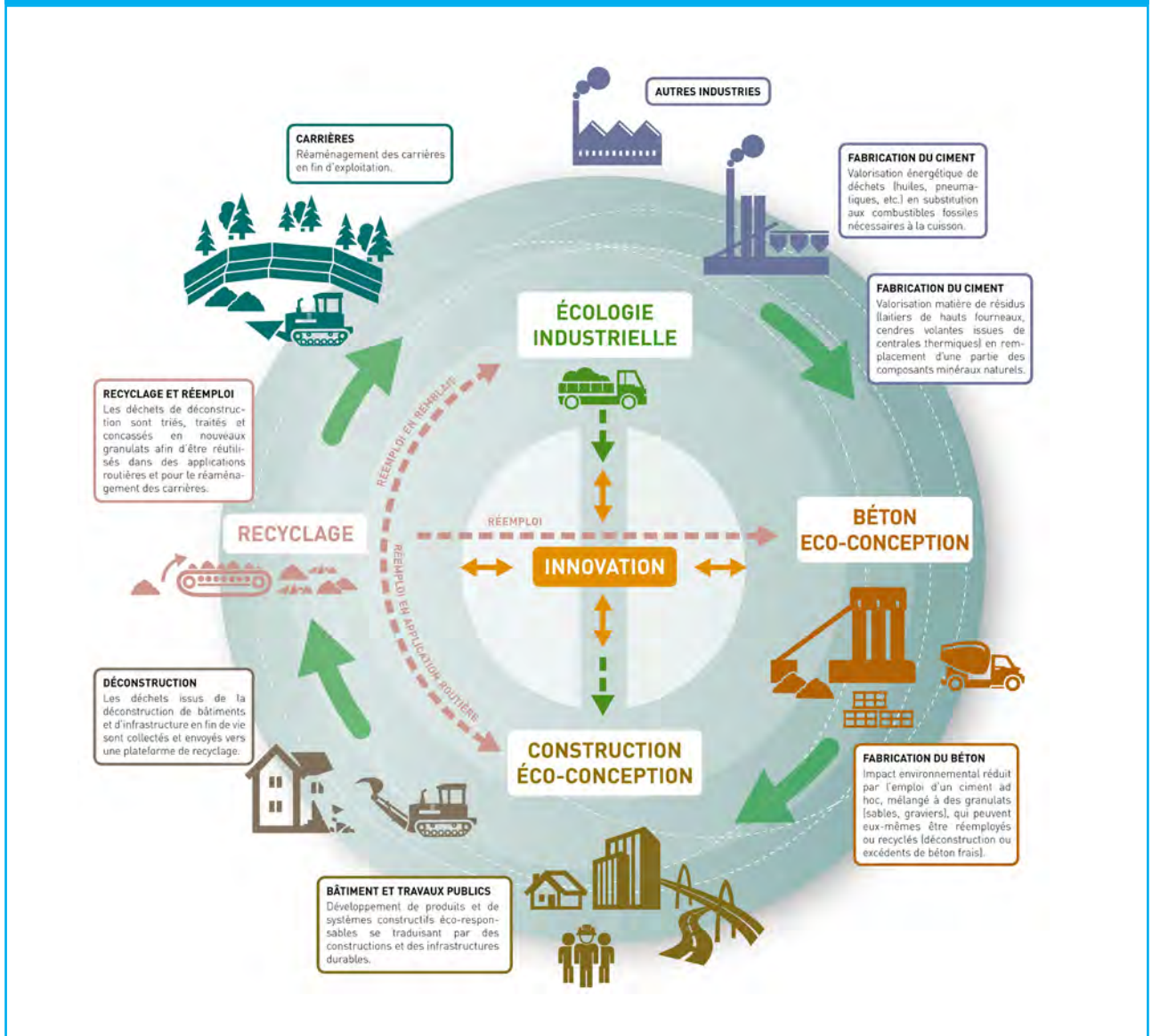
2.3 Economie circulaire

2.3.1 Atouts du Béton Prêt à l'Emploi (BPE)

Alternative au développement linéaire (extraire – fabriquer – consommer – jeter), l'économie circulaire s'inscrit dans une logique de développement durable afin de répondre aux défis de la raréfaction des ressources naturelles et du changement climatique tout en favorisant la croissance économique par la création de produits et de services innovants. Le modèle d'économie circulaire met notamment l'accent sur de nouveaux modes de conception, de production et de consommation : le prolongement de la durée d'usage des produits, l'usage plutôt que la possession des biens, la valorisation et le recyclage, l'optimisation de l'utilisation des ressources.

La Conférence Environnementale de 2013 a permis de poser les bases des chantiers à mener sur l'économie circulaire pour les années à venir.

Avec une distance de transport moyenne très réduite (moins de 20 km), la production du BPE est organisée au plus près des ressources et des besoins et s'inscrit dans une logique d'économie circulaire comme le démontre le schéma suivant :



Dynamisme des territoires et proximité :

Avec 1 875 unités de production, la production de BPE a un impact positif sur l'économie des territoires. Les entreprises de la filière BPE, qu'elles soient grandes ou petites, sont totalement intégrées à la vie économique locale à laquelle elles contribuent en employant 8 470 salariés directs auxquels il convient d'en ajouter 8 000 autres liés au transport et au pompage du BPE.

Tous ces emplois sont par définition non délocalisables et s'intègrent dans la vaste chaîne professionnelle des entreprises et des artisans du secteur du bâtiment et des travaux publics qui regroupent en France, rappelons-le, plus de 2 millions d'emplois, soit 8% du total des emplois.

Economies de ressources naturelles, valorisation et recyclage :

Concernant la production de BPE, la valorisation des ressources naturelles passe par :

- ⇒ l'utilisation de l'eau en circuit fermé dans les unités de production de BPE,
- ⇒ la valorisation des rebuts de production qui après avoir été durcis sont concassés pour produire des granulats,
- ⇒ l'optimisation des gisements de granulats naturels par les carrières,
- ⇒ et d'une manière générale, la préservation de la biodiversité sur les lieux de production et notamment dans les carrières que ce soit au cours de leur exploitation ou lors de leur ré-aménagement.

80 % des bétons de déconstruction sont d'ores et déjà valorisés.

Les enjeux du recyclage du béton sont importants puisque la France dispose d'un gisement de 18 millions de tonnes de béton de déconstruction sur les 240 millions de tonnes de déchets inertes produits par le BTP.

Il faut savoir que 80% des bétons de déconstruction sont déjà valorisés après traitement (concassage, criblage, tri) et ce principalement en sous couche routière.

La filière développe le recyclage dans la production des bétons. Pour y parvenir, elle s'organise en amont : de la construction à la déconstruction. Elle multiplie les tests pour disposer d'un retour d'expérience. Le projet national Recybéton se terminant en 2017 doit y contribuer.

Eco-conception :

Pour tous les segments liés à l'aménagement des territoires, il existe des BPE et des systèmes constructifs dotés de fonctionnalités structurelles et/ou décoratives (gestion de l'eau, dépolluant, hautes résistances, isolation thermique, phosphorescent, etc.). Toutes ces solutions demeurent parmi les plus économiques du marché et peuvent intégrer des ouvrages mixtes, dans une démarche d'éco-conception.

2.3.2 Apports du BPE à la mixité

Pour des bâtiments durables et vertueux, les acteurs de la construction peuvent opter pour des solutions mixtes, et doivent choisir des matériaux locaux répondant favorablement en matière de développement durable. Cette démarche permet d'anticiper très largement les contraintes de la future réglementation.

Le BPE étant un matériau répondant le mieux au concept de l'économie circulaire, il permet aux solutions constructives mixtes d'atteindre aisément cet objectif :

Le BPE est un matériau type de l'économie circulaire	Apports du BPE aux solutions constructives mixtes
Développe l'économie locale	La mixité des matériaux locaux favorise les économies locales et le BPE en est un gros contributeur puisque cette activité est fortement représentée en région (1 centrale à BPE tous les 20 km). Le BPE rend ainsi les systèmes mixtes constructifs plus compétitifs par rapport à des matériaux importés (approvisionnement facile, savoir-faire des artisans-maçons).

Le BPE est un matériau type de l'économie circulaire	Apports du BPE aux solutions constructives mixtes
Economise et valorise les ressources naturelles	<p>Choisir des matériaux de construction, dont la gestion des ressources et de leurs gisements est raisonnée, permet de mieux protéger la planète : l'utilisation de ce type de matériaux dans des ouvrages met en valeur des ressources naturelles au sein de systèmes constructif mixtes.</p> <p>La déconstruction de l'ouvrage et son recyclage / réemploi sont favorisés par l'utilisation de plusieurs matériaux valorisables en fin de vie (ex : BPE, verre, bois, acier), à condition qu'il existe des sources locales d'approvisionnement en matériaux recyclés.</p>
Répond à la démarche d'éco-conception	Le BPE, matériau performant et recyclable à 100%, se marie parfaitement aux matériaux biosourcés dans une logique d'éco-conception d'un bâtiment durable.

2.3.3 Illustrations dans le logement collectif et le non résidentiel neufs

Mixité BPE/béton préfabriqué/granulats apparents

Emmanuel GARCIA de Lafarge Bétons France témoigne sur l'économie circulaire : *« le BPE est issu d'un circuit de production très court, c'est un produit 100% local, ce qui veut dire un maillage de production extrêmement serré pour permettre la livraison d'un territoire. L'éco-conception repose sur l'économie de la ressource naturelle (ex : recyclage des anciens bétons dans les nouveaux bétons), sur la conception de l'ouvrage en mettant le bon béton au bon endroit pour économiser de la matière, sur l'énergie grise du béton en diluant la matière cuite avec des additions (ex : valorisation des déchets dans le cadre de la fabrication du ciment) et ainsi baisser le poids carbone. Le béton est aussi un matériau 100% recyclable, qui plus est dans un circuit court. »*

(Source vidéo CIMbéton/FIB/SNBPE novembre 2016)



Technopôle de St Lô (Architecte Farid Azib)

La technopole de Saint Lô ci dessus est un parfait exemple de complémentarité des matériaux locaux. En effet, l'architecte Farid AZIB de ce projet a souhaité lui donner un ancrage très local en associant différents matériaux de construction (BPE, produit préfabriqué en béton et granulats apparents) exclusivement locaux. Il a également eu à coeur de favoriser les entreprises locales, tout en respectant l'environnement très minéral des lieux. Farid AZIB décrit cette réalisation comme *« un élément fort qui émane du sol, se rapprochant de la forteresse de Saint-Lô »*.

De plus, ces matériaux locaux seront mariés à du verre pour ouvrir le bâtiment tant vers l'extérieur que vers l'intérieur.

(Source : GT Architectes CIMbéton 2016)

2.4 Compétitivité économique

2.4.1 Atouts du Béton Prêt à l'Emploi (BPE)

Le BPE est l'un des matériaux de construction les moins chers : c'est un matériau accessible à tous et fabriqué partout, qui a permis d'accélérer la construction d'une manière globale.

En 2013, le SNBPE et CIMbéton ont souhaité réaliser des études sur l'approche performantielle et économique des logements collectifs et bâtiments de bureaux en BPE.



Il est ainsi démontré que le choix du matériau BPE permet une optimisation économique de l'usage des bâtiments construits :

- Pour les logements collectifs, il s'agit de gains de surface habitable : quel que soit la typologie des bâtiments, le BPE permet un gain de surface habitable compris en 3 et 5 % de la surface habitable totale ;
- Pour les bureaux, il s'agit d'une optimisation des consommations d'énergie et des coûts d'exploitation et d'investissement associés. Les bâtiments en BPE ne nécessitant pas le recours à la climatisation permettent à la fois de traiter efficacement les inconforts d'été, mais également de limiter de manière notable les coûts liés à l'exploitation du bâtiment durant toute sa durée de vie.

(Source : Bureau Michel Forgue)

2.4.2 Apports du BPE à la mixité

Les systèmes constructifs mixtes se développent. A l'heure actuelle, il est difficile de mesurer leur compétitivité car il existe peu de retours d'expériences.

Toutefois, une étude réalisée par l'Union Sociale pour l'Habitat (USH) en partenariat avec la Caisse des Dépôts, a évalué sept opérations de construction de logements sociaux collectifs bois et deux opérations de construction modulaires, faisant appel à différents systèmes constructifs : 100% BPE, 100% bois, mixtes bois-béton et modulaires. Dans cette étude, les approches économiques ont notamment été abordées et en voici les principales conclusions :

- ⇒ Pour les opérations bois étudiées en comparaison du panel disponible de 9 opérations collectives BBC en filière béton, les coûts entre les filières béton, mixte bois/béton et tout bois sont équivalents (1 320 € HT/m² SHAB). En revanche, la filière modulaires 3D bois (2 360 € HT/m² SHAB) présente un surcoût par rapport à une opération comparable en béton.

- ⇒ La durée plus limitée des chantiers en filière bois est un facteur propre à réduire sensiblement le coût des opérations. Toutefois, sur les programmes réalisés, ce facteur d'économies a été en partie atténué par l'allongement de la durée des phases de conception, lié à la spécificité de cette filière constructive (détails d'exécution plus poussés) et à son caractère encore relativement nouveau en logement collectif en France.
- ⇒ Dans le cadre de cette étude, sans que cela ait une portée statistique, le coût des constructions bois n'apparaît pas comme un facteur discriminant pour le choix de la filière.

(Source : Evaluation d'opérations de construction de logements sociaux collectifs bois, mars 2015, USH)

Pour des bâtiments économiquement performants, il semble judicieux de ne considérer dans les systèmes constructifs mixtes que les matériaux les plus compétitifs, tant au niveau du coût matière que du coût de mise en œuvre. Cependant utiliser le BPE comme matériau de structure dans un ouvrage mixte assure déjà un niveau de coût peu élevé permettant ainsi de choisir d'autres matériaux un peu plus onéreux.

Le BPE étant un matériau économique, il permet aux solutions constructives mixtes d'atteindre aisément cet objectif :

Le BPE a des atouts économiques	Apports du BPE aux solutions constructives mixtes
Matériau économique	Dans le cas où la maîtrise d'œuvre est soumise à des contraintes fortes de délais de chantier et/ou à des contraintes architecturales fortes, le BPE apporte à la mixité des matériaux ses atouts en termes de structure et d'optimisation de la SHON.

2.4.3 Illustrations dans le logement collectif et le non résidentiel neufs

Mixité bois/béton

Le système Mix 3B (Bois Béton Bouygues) est une illustration de la compétitivité économique des systèmes mixtes récemment développés, comme le montre l'exemple du bâtiment imaginé par Bélus et Henocq Architectes.



Ce bâtiment accueille une crèche collective municipale de 66 berceaux qui s'étire jusqu'au fond de la parcelle pour qu'un maximum d'espace soient de plain-pied et côté rue un ensemble de logements sociaux répartis sur 7 niveaux. L'ensemble est édifié sur un niveau de parking en sous-sol.

Suivant une logique de conception durable, il a été opté pour un système constructif mixte dissociant structure et enveloppe afin d'autoriser la flexibilité des usages, les adaptations ou à plus longue échéance la déconstruction du bâtiment et les opérations de recyclage.

Le mode constructif associe BPE, bois et métal pour apporter à chaque situation la meilleure équation prix / performances / expression architecturale.

Compte tenu de la hauteur du bâtiment, des imbrications crèche/logements, des exigences de stabilité et de résistance au feu, des performances acoustiques intérieures, de la volonté d'optimiser les portés et impacts des structures dans les volumes intérieurs, le béton armé s'est imposé comme le meilleur choix pour la réalisation des structures à coûts optimisés.

L'ossature du bâtiment comprend des façades porteuses « libres » réalisées par poteaux (sections minimales 200x250 mm) et bandes noyées de rives, des voiles refends (épaisseur minimale 180 mm) pour les séparatifs de logements et cages de circulations et des dalles de plancher d'épaisseur structurelle de 230 mm.

Les façades profitent des qualités naturelles du bois pour équiper le bâtiment d'une enveloppe légère et performante suivant des épaisseurs de complexes optimisés. Elles sont réalisées en parois à ossatures bois préfabriquées, fixées à hauteur d'étage en rive de dalle.



Crèche collective - Paris (Bélus & Hénocq architectes)

En phase chantier l'entreprise Bouygues construction a proposé le nouveau système constructif Mixte 3B. Ce dernier intègre la pose des murs à ossature bois dans le cycle du gros œuvre.

Le principe réside dans un montage à la suite des ossatures bois et des ouvrages en béton armé pour chaque niveau. Dans cet enchaînement, les ossatures bois servent de coffrage pour le coulage des planchers afin de mieux gérer les interfaces bois/béton et de raccourcir les délais du chantier. Cette stratégie de mise en œuvre a permis de réaliser en 5 jours un étage complet (murs et planchers) et d'assurer un délai de construction de 7 à 8 semaines pour l'ensemble du bâtiment.

(source Forum Construction Lyon 2016)

3 LES APPORTS TECHNIQUES DU BÉTON PRÊT À L'EMPLOI (BPE)

3.1 Thermique et inertie

3.1.1 Atouts du Béton Prêt à l'Emploi (BPE)

Le comportement thermique des bâtiments, et plus particulièrement des logements, est devenu un point technique incontournable.

Depuis les années 70, il a fait l'objet de nombreuses réglementations successives qui chacune durcisse les exigences réglementaires et oriente les Maîtres d'ouvrage vers la réalisation de bâtiments très sobres, voire même ne consommant pratiquement plus

d'énergie (BEPOS).

Ceci a profondément changé la façon de concevoir les bâtiments et de les construire.

Plus la masse interne du matériau mis en œuvre est importante, plus l'inertie thermique est forte. Le BPE, matériau lourd, présente une très forte inertie. En effet, de par sa masse (2 400 kg/m³), le BPE est, parmi les matériaux de construction couramment utilisés, l'un des mieux placés en termes d'inertie.

3.1.2 Apports du BPE à la mixité

Pour des bâtiments performants d'un point de vue thermique, l'association gagnante fait incontestablement appel au BPE en structure et aux isolants, qu'ils soient posés en ITI ou en ITE, et ce conformément aux exigences de la RT 2012. La mixité ne s'arrête pas seulement à cette association, puisque d'autres matériaux en façade peuvent jouer un rôle à la fois tant esthétique que fonctionnelle (ex : des pare-soleils en bois).

Le mariage de granulats légers (ex : argile expansée) au BPE est également une autre forme de mixité : il permet au BPE de devenir un Béton Isolant de Structure (BIS) et de supprimer les rupteurs de ponts thermiques.

Le BPE ayant de forts arguments d'un point de vue thermique et inertie, il permet aux solutions constructives mixtes d'atteindre cet objectif :

Le BPE a des atouts thermiques	Apports du BPE aux solutions constructives mixtes
Concourt à la résistance thermique des bâtiments	Le BPE s'associe à tous les isolants qu'il s'agisse d'isolation thermique par l'intérieur ou l'extérieur. La structure BPE s'adapte à n'importe quelle vêtture/bardage (verre, bois, terre cuite, zinc) et n'a aucune incidence sur les plans d'aménagement classiques des logements ou des bureaux.
Offre une très forte inertie	« Plus l'inertie des bâtiments est faible, plus la plage de variation des températures est grande » (source : Solutions Béton 142). Aussi, utilisé en structure, le BPE offre cet avantage durablement, cette qualité prend tout son sens pour les années à venir où les incertitudes liées au climat sont fortes.

Le BPE a des atouts thermiques	Apports du BPE aux solutions constructives mixtes
Renforce l'étanchéité à l'air des bâtiments	Le BPE confère une meilleure étanchéité à l'air du bâti que dans le cas des filières sèches (ossatures bois, métallique, ou systèmes de montage d'éléments préfabriqués). Cet atout se traduit par des débits d'infiltration d'air parasites plus faibles, d'où une meilleure maîtrise des débits de renouvellement d'air. Mais également, la réduction des défauts d'enveloppe amène un meilleur affaiblissement acoustique vis-à-vis des bruits aériens extérieurs.

3.1.3 Illustrations dans le logement collectif et le non résidentiel neufs

Mixité béton/pierre naturelle

La mixité des matériaux peut aussi s'exprimer au travers de la réalisation d'extensions neuves de bâtiments existants, dans l'objectif de profiter des avantages d'un matériau en particulier : on retrouve ici le concept du bon matériau au bon endroit, au service de la thermique et de l'inertie.

C'est le cas de la mairie des Mureaux. Inaugurée en mai 2005 elle a été le premier bâtiment public tertiaire en France à avoir obtenu la certification NF Bâtiments tertiaires – Démarche HQE® délivrée par le CSTB.

Rassembler dans un seul et même lieu, les 220 agents des services municipaux répartis sur 21 sites dans la ville, tel était l'objet de la réhabilitation extension de la mairie des Mureaux. La réhabilitation de l'ouvrage, débutée en janvier 2004, s'est faite dans le respect de l'existant puisque l'ancienne mairie, en pierre, a été préservée pour l'essentiel.



Mairie des Mureaux (Architecte Agence Hesters)

L'extension est constituée d'une structure en béton qui répond aux exigences de l'inertie thermique pour un confort d'été. En façade, de grandes baies vitrées sont équipées de persiennes et de volets coulissants en bois pour réguler l'ensoleillement et la lumière. Le vitrage à isolation renforcée participe de la bonne gestion de l'énergie. L'enveloppe béton est isolée par l'intérieur grâce à un complexe en polystyrène expansé et une plaque de plâtre (80cm + 10cm). Les nez des dalles des planchers en béton armé sont isolés des voiles de façade par des rupteurs thermiques avec isolation dans les renforts de plancher. Ils assurent ainsi la continuité de l'isolation intérieure et éliminent les ponts thermiques. Un plancher chauffant/rafraîchissant est alimenté par une pompe à chaleur eau/eau qui utilise l'énergie de la nappe phréatique. Pour limiter la consommation énergétique, l'ouvrage ne comporte aucun système de climatisation actif et privilégie le rafraîchissement nocturne. L'amplitude thermique extérieur/intérieur est de 5 degrés, un ratio obtenu grâce au plancher rafraîchissant mais aussi à l'orientation est-ouest des grandes façades

(source : Solution Béton 123 - Photographie Alain Aubry).

3.2 Feu et sécurité incendie

3.2.1 Atouts du Béton Prêt à l'Emploi (BPE)

La sécurité des personnes et des biens contre l'incendie doit être prise en compte dès la conception des bâtiments, les éléments de construction devant être aptes à résister à l'action du feu. Des moyens de prévention sont mis en œuvre pour éviter la naissance d'un incendie, son développement et sa propagation.

Les différentes parties d'un bâtiment doivent permettre l'évacuation des personnes et la sauvegarde des biens dans de bonnes conditions, et les secours doivent pouvoir y intervenir efficacement.

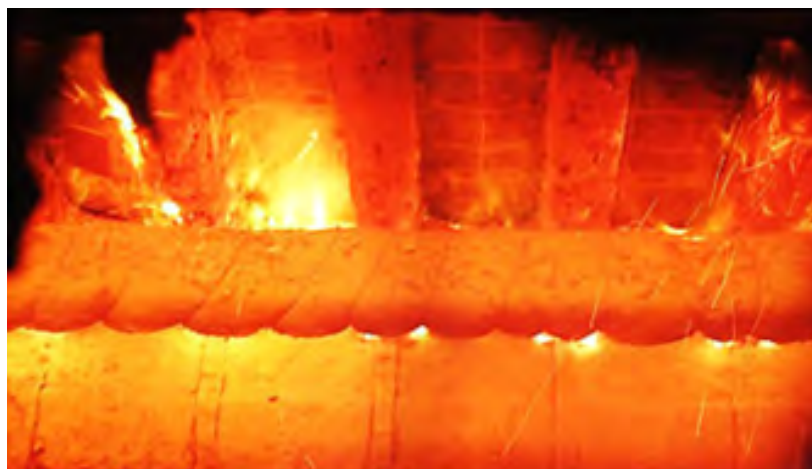
Élément massif à faible conductivité thermique, le BPE, matériau de structure, bénéficie d'un très bon comportement au feu et ne nécessite pas de

protection particulière pour atteindre les niveaux réglementaires requis.

Le béton est classé A1 sans essai préalable, au sens de l'arrêté du 21 novembre 2002 relatif à la réaction au feu des produits de construction et d'aménagement : le béton est « incombustible » et n'émet pas de fumées. Le béton ne conduit que très peu la chaleur (lorsque la température externe du béton atteint 550°C, à 4 cm de profondeur, elle n'est que de 20°C).

La température s'élève très lentement dans les couches intérieures des éléments en béton : même si cela occasionne des éclatements en surface dus aux différences de dilatation, ces phénomènes superficiels ne sont que d'ordre esthétique et n'entament pas la résistance au feu de la structure.

3.2.2 Apports du BPE à la mixité



Sous face d'un plancher dans un four d'essai au feu

De manière générale, il est essentiel de faire évaluer la conception de tous les systèmes mixtes par un bureau d'études spécialisé, et ainsi répondre aux exigences réglementaires en vigueur. Il est également important de vérifier si le système mixte choisi, bénéficie d'un agrément délivré par un laboratoire certifié pour réaliser des essais de résistance et de réaction au feu.

Par exemple, le plancher mixte bois béton SBB® élaboré par AIA Ingénierie dispose d'un Avis de Laboratoire agréé feu du CSTB validant le calcul de ce système en

situation d'incendie (Résistance-Etanchéité-Isolation au feu R.E.I. 30 mn et 90 mn).

Comme l'indique Alexis Autret (AIA Ingénierie), « l'utilisation d'une dalle en béton armée connectée dans ce système mixte n'est pas anodin : elle sert tant à l'amélioration de l'étanchéité qu'à l'augmentation de la résistance à la propagation du feu ».

Les éléments BPE présents dans un ouvrage répondent au principe de précaution et ils se comportent comme de vraies barrières coupe-feu : d'où l'intérêt d'utiliser le BPE pour bénéficier de bâtiments sûrs.

Le BPE ayant un bon comportement au feu, il permet aux solutions constructives mixtes d'atteindre aisément cet objectif:

Le BPE a un bon comportement au feu	Apports du BPE aux solutions constructives mixtes
Résiste au feu et ne le propage pas	Utiliser le BPE en tant que matériau de structure d'un bâtiment mixte, il protège les occupants du risque incendie
N'émet pas de fumées lors d'un incendie	De même, en structure le BPE permet de protéger la santé et de la sécurité des occupants

3.2.3 Illustrations dans le logement collectif et le non résidentiel neufs

Mixité béton/verre/acier

La mixité des matériaux reste possible face au risque incendie, y compris pour la construction d'IGH (Immeubles de Grande Hauteur) : c'est ce que montre l'exemple ci-dessous.

L'ancien tri postal, construit en 1963 par Louis Arretche, a été réhabilité et il abrite aujourd'hui le siège social de la SNCF. Situé dans le XIV^e arrondissement parisien, il fut l'un des premiers bâtiments intégrant une ossature mixte, combinant béton armé et béton précontraint.

Un contraste permanent existe entre la structure imposante d'un "premier" béton précontraint et les moteurs de transparence que sont l'acier et le verre : la réhabilitation de ce siège social a donc été l'occasion d'associer le BPE pour ses caractéristiques de résistance au feu, à l'acier et au verre pour leur qualité esthétique.

Outre les soucis d'ordre structurel, les architectes se sont trouvés confrontés à la réglementation

IGH à laquelle le bâtiment avait échappé jusque-là, puisque construit avant 1964. Or, le nouveau siège social de la SNCF n'a pas investi les deux premiers niveaux du tri postal qui seront réhabilités plus tard, a priori en centre commercial. Au bénéfice du doute, les exigences de sécurité à respecter prévoient le pire et imposent une dalle qui soit coupe-feu 4 heures entre les deuxième et troisième niveaux. Cette dernière étant en béton, les travaux à réaliser pour satisfaire cette exigence ont été réduits.

(Source : Construction Moderne N°103 - Photographes Jean Marie Monthiers et Eric Avenel)



Siège de la SNCF - Paris (Architectes Jean Mas et François Roux/agence Face)

3.3 Acoustique

3.3.1 Atouts du Béton Prêt à l'Emploi (BPE)

Le comportement acoustique (tout comme le comportement thermique) est désormais un des premiers éléments de confort attendus par les utilisateurs de logements.

La réglementation, datant de janvier 1996, fait l'objet d'obligations comme l'établissement d'attestation de prise en compte de cet élément de confort ainsi que des mesures in situ démontrant la performance atteinte par le bâtiment.

Le BPE permet de réaliser des structures lourdes et très homogènes dans leur conception.

Associé à des isolants thermo-acoustiques efficaces et à des procédés constructifs

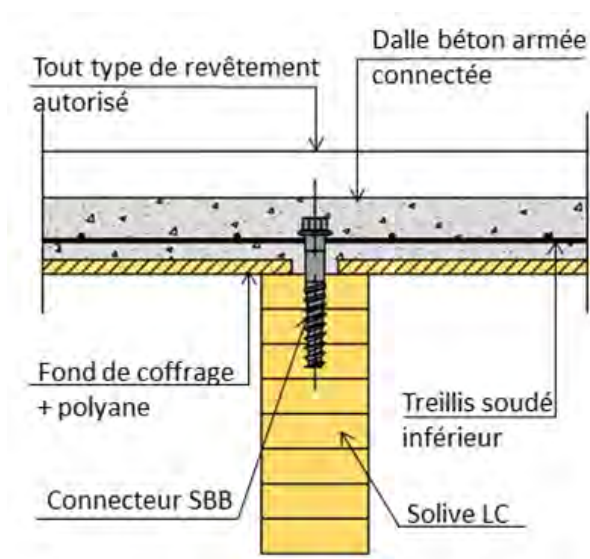
désolidarisant les différents éléments de la structure, **le BPE obtient d'excellentes caractéristiques acoustiques** grâce à son indice d'affaiblissement acoustique important.

Il faut cependant souligner que la conception du bâtiment et le bon traitement des liaisons sont des facteurs essentiels pour garantir une bonne acoustique.

Selon l'étude menée par le cabinet GAMBA Acoustique en 2014, **on peut affirmer que l'emploi de plancher 100% en bois n'est pas envisageable car les performances acoustiques sont mauvaises.** De plus, ces planchers sont complexes et plus épais que les planchers bétons.

3.3.2 Apports du BPE à la mixité

Le BPE est le meilleur matériau pour répondre aux performances acoustiques requises, d'où son utilisation dans les planchers mixtes BPE-bois, comme le montre l'exemple ci-dessous.



Le système SBB® est un système pour plancher mixte bois-BPE sous Avis Technique CSTB – (référence 3/12-732) depuis 2000. Ce système associe des poutres en bois à une dalle de compression en béton armé de faible épaisseur. La dalle de béton est coulée en place et est connectée aux solives en bois au moyen de connecteurs métalliques.

Comme l'indique Alexis Autret (AIA Ingénierie), « la dalle de béton, d'une épaisseur de 7 cm à 12 cm, constitue la table de compression pour tous types de solives (bois massif, bois massif reconstitué, lamellé-collé). La dalle de béton est coulée en place et connectée aux solives en bois au moyen des connecteurs métalliques SBB®. Cette solution mixte, présente également une performance technique accrue.

Le système SBB® peut être utilisé en réhabilitation dans tous types de bâtiments. La mise en œuvre de ce procédé permet une intervention uniquement par face supérieure du plancher et peut s'effectuer pour tout type de bâtiments (habitations, bureaux, établissements recevant du public), dont la structure porteuse verticale peut être en béton armé, en maçonnerie ou en bois. »

Le BPE ayant un excellent comportement vis à vis de l'acoustique, les solutions constructives mixtes s'intègrent dans des bâtiments où les exigences acoustiques sont draconiennes :

Le BPE a un bon comportement acoustique	Apports du BPE aux solutions constructives mixtes
Excellentes performances acoustiques	Utilisé en plancher mixte, le BPE apporte un grand confort acoustique aux occupants et augmente ainsi les performances globales du système constructif.

3.3.3 Illustrations dans le logement collectif et le non résidentiel neufs

Mixité bois/béton

Le système SBB® a été utilisé lors de la construction du Campus Chimie Balard à Montpellier pour les raisons suivantes :

- ⇒ Il répond à des besoins d'une structure limitée en hauteur également dans la structure de plancher, les particularités du plancher mixte, apporte cet atout ;
- ⇒ Cette solution utilise le BPE qui travaille en compression et forme avec les solives bois, une poutre en T ; elle permet d'en réduire les sections, puisque les efforts de traction sont reportés en partie basse de ces poutres bois ;
- ⇒ Par rapport à des solutions tout bois, le plancher mixte ramène de l'inertie au plancher et de s'affranchir simplement des contraintes de vibrations et de transmissions phoniques, or les normes acoustiques sont toujours plus restrictives sur ces problèmes ;
- ⇒ Cette solution apporte également une inertie thermique intéressante à retrouver dans les bâtiments à structure bois, notamment pour la gestion du confort d'été.



Projet du Campus de Chimie Balard - Montpellier (Agence Trace Architectes - Source Forum Bois Construction 2016)

3.4 Séisme

3.4.1 Atouts du Béton Prêt à l'Emploi (BPE)

Le moyen le plus efficace pour se protéger des effets d'un séisme majeur est le respect des règles de construction parasismiques. Dans la plupart des cas, ce sont les constructions qui tuent en s'effondrant sur les occupants. C'est ainsi que, dans le cadre de la concertation européenne, un nouveau zonage sismique français et de nouvelles règles de construction parasismique (Eurocode 8), ont été élaborés.

Pour répondre aux exigences parasismiques définies depuis 1969 en France par un zonage sismique et des règles de construction, le béton armé est la réponse structurelle la plus appropriée.

L'impact de la nouvelle réglementation sismique est très favorable aux systèmes constructifs en

béton armé : des bâtiments de grande hauteur en béton armé peuvent être réalisés dans des zones de forte sismicité. En effet, correctement confinées par des armatures formant une grille à mailles fines, les ossatures en béton armé montrent un comportement satisfaisant lors des secousses sismiques. Ces armatures assurent un comportement ductile des ouvrages, critère essentiel de la résistance aux séismes.

Lorsque la structure principale est en portiques, il convient de respecter le principe "poteau fort - poutre faible" : les déformations principales pouvant se produire en cas de séisme majeur concernent ainsi les poutres, que l'on peut en général réparer, et non les poteaux ou les nœuds, qui assurent la stabilité du bâtiment.

3.4.2 Apports du BPE à la mixité

La résistance aux séismes est davantage une question de système porteur (architecture, dispositions constructives, dimensionnement) que du matériau en lui-même. Face à ce risque sismique, il est préférable soit d'avoir un système porteur à murs en BPE, soit un système d'ossature en poteaux poutres de béton armé, associé à un contreventement en béton armé, puis enveloppé du matériau désiré.

S'agissant de l'exemple du siège de la Direction Départementale des Territoires et de la Mer (DDTM) 56 à Vannes (de catégorie III et donc soumis à l'aléas sismique), Alexis Autret (AIA Ingénierie) rappelle que « le BPE assure le contreventement d'un tel ouvrage ». Le BPE rend ainsi possible des bâtiments construits en ossature acier ou bois en zone sismique. Les photos ci-dessous illustrent ce type de solution constructive sur la DDTM de Vannes.



Siège de la Direction Départementale des Territoires et de la Mer 56 - Vannes (Architecte Studio AIA)

Pour des bâtiments résistant aux séismes, nous avons vu que le béton armé est la réponse structurelle la plus appropriée, notamment dans des zones sismiques exposées. En zone sismique faible ou modérée, il est envisageable d'utiliser des solutions constructives mixtes, en accord avec la réglementation sismique en vigueur. Quoi qu'il en soit il est primordial de faire évaluer tout système mixte constructif par un bureau d'études spécialisé, au regard de la réglementation « sismique » en vigueur.

Le BPE armé étant le plus performant face au risque sismique, il permet aux solutions constructives mixtes d'être employé dans des zones fortement ou faiblement exposées :

Comportement du BPE en cas de séisme	Apports du BPE aux solutions constructives mixtes
Comportement satisfaisant lors des secousses sismiques	Le BPE utilisé en tant que béton armé dans les murs et dans les planchers assure une grande résistance au séisme de l'ouvrage. Utilisé en tant que contreventement dans des ouvrages mixtes, il devient essentiel pour assurer la résistance au séisme de ces ouvrages.

3.4.3 Illustrations dans le logement collectif et le non résidentiel neufs

Mixité bois/béton

L'exemple du Collège de La Bâtie-Neuve construit dans les Hautes Alpes démontre que l'on peut concevoir des bâtiments mixtes BPE et bois dans des zones sismiques exposées.

Située à l'entrée est du village de La Bâtie-Neuve, la parcelle dédiée au projet de collège, encore agricole, demeure extérieure à la zone urbaine. Régis Rioton, architecte mandataire, a choisi de composer avec la situation et a dessiné des bâtiments à la géométrie simple, de deux niveaux seulement, qui n'accentuent pas le caractère "dominant" du terrain. L'axe principal de la vallée est repris par le mail piéton qui conduit jusqu'à l'entrée du collège et se prolonge dans l'enceinte de l'établissement par une rue intérieure. Disposé selon cet axe fondateur, repris par le gymnase, le bâtiment principal déroule une façade urbaine, les autres locaux du collège prenant place perpendiculairement à ce corps de bâtiment.

Un béton matricé, dit "béton drapé", est utilisé pour les parois des locaux de service et les vestiaires du gymnase qui bordent l'espace public.

Employé comme un voile pour dissimuler des locaux techniques, il prend une couleur ocre orangé qui confère à ces parois aveugles une expression de légèreté.

Situé en zone sismique, le collège de La Bâtie-Neuve fait partie des bâtiments dont la défaillance présente un risque élevé pour ses utilisateurs en cas de tremblement de terre. Les études d'exécution ont donc pris en compte l'aléa sismique. « *La détermination de la réponse de la structure et son dimensionnement ont été effectués par analyse modale spectrale*, explique Bruno Despas, du bureau d'études Patrick Millet. *Cette méthode d'analyse détermine dans un premier temps la réponse de la structure au voisinage de certaines fréquences particulières, dites fréquences de résonance, puis elle les associe afin de déterminer les effets maximaux du séisme sur la structure* ».

La mise en place de plans de contreventement verticaux, constitués par des voiles pleins en béton armé dont la charge se transmet en ligne directe à la fondation, associée à des diaphragmes horizontaux rigides (planchers en béton armé par exemple) a permis d'assurer la stabilité et la rigidité du collège. De quoi lui permettre de résister sans encombre aux sollicitations horizontales engendrées par les éventuels séismes (source : Construction Moderne N° 132).



Collège de La Bâtie Neuve (Architectes Régis Rioton, Miche Perrin/Atelier Quadra architecte OPC)

3.5 Durabilité

3.5.1 Atouts du Béton Prêt à l'Emploi (BPE)

Le BPE est un matériau technique, facile à mettre en œuvre et nécessitant peu d'entretien. Il épouse toutes les formes données à l'ouvrage. Des modifications et adaptations du projet sur le chantier sont faciles à effectuer.

Correctement utilisé, il dure plus d'une centaine d'années. Il résiste au feu et aux actions mécaniques usuelles. Associé à des armatures en acier, il acquiert des propriétés nouvelles qui en font un matériau de construction aux possibilités multiples (béton armé, béton précontraint). Il convient aux

constructions monolithiques. Les assemblages sont faciles à réaliser.

Dans la plupart des cas, les dimensions des ouvrages et des éléments d'ouvrage en BPE sont suffisants pour éviter tout problème délicat de stabilité.

En France, les producteurs de BPE ont choisi de se conformer aux exigences de la norme NF EN 206/CN, et pour 80% d'entre eux, d'être titulaires de la marque de certification AFNOR NF-BPE, et ce pour répondre aux attentes de traçabilité et durabilité des donneurs d'ordre.

3.5.2 Apports du BPE à la mixité

Pour des bâtiments pérennes, il est primordial d'employer des matériaux dont la longévité est grande, notamment pour prendre en compte les évolutions de la société en termes d'usages par exemple, mais également les évolutions climatiques.

Le tableau ci-dessous fait le rapprochement entre les atouts du BPE quant à la problématique de durabilité et les arguments apportés par le BPE dans le cadre de la mixité des matériaux :

Le BPE a une grande durabilité	Apports du BPE aux solutions constructives mixtes
Dépasse les 100 ans	Le BPE confère une meilleure durée de vie aux ouvrages, qu'ils soient mixtes ou non. En s'appuyant sur une structure BPE, les ouvrages bénéficient aussi de coûts d'entretien maîtrisés.

3.5.3 Illustrations dans le logement collectif et le non résidentiel neufs

De par leur nature et leur conception, les immeubles de Grande Hauteur (IGH) sont les exemples types d'ouvrages qui doivent durer dans le temps. Ils répondent autant à des problématiques de densité urbaine, que de mixité, qu'elle soit sociale, d'usage ou de matériaux.

Le béton armé accompagne l'aventure des immeubles élevés depuis leur origine. En 1902, à Cincinnati, il est le matériau d'un immeuble de 15 étages construit selon les principes de l'"école de Chicago". Un autre bâtiment en BPE apparaît dans cette même ville deux ans plus tard. Conçu selon le système du Français Hennebique, il associe poteaux et poutres.

D'autres types de structures BPE sont explorés en parallèle : planchers champignons, systèmes poteaux-dalles, ou résille béton, système qui connaît une illustration emblématique en 1922 avec l'immeuble du Chicago Tribune. En 1924, Frank Lloyd Wright innove à son tour dans les recherches en matière de structure. L'un de ses projets, une tour d'habitation au sud de Manhattan (18 étages), est construit à partir de supports creux en béton placés au centre, renfermant les ascenseurs et les gaines techniques ; les planchers sont accrochés en porte-à-faux à ce fût central.

En 1936, un événement remarquable a lieu à Buenos Aires avec (32 étages) : haut de 110 m, l'Edificio Kavanagh devient l'immeuble d'habitation le plus élevé du monde et il est en béton.



Edificio Kavanagh à Buenos Aires

En France, c'est à la fin des années 50 que la tour d'Auguste Perret à Amiens franchit la barrière des 100 m (104 m). Mais l'originalité est là, avec une ossature béton apparente et une structure répétitive qui permet l'emploi d'éléments préfabriqués.

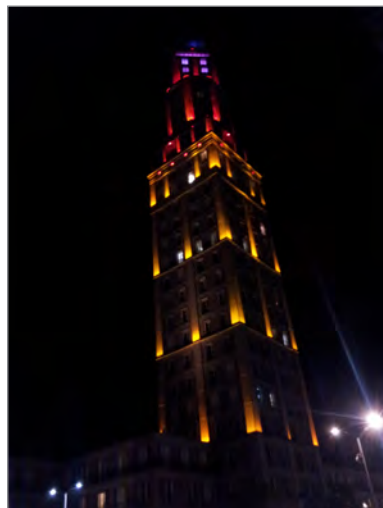
À la même époque, la tour Croulebarbe, à Paris (65 m), reçoit une structure basée sur des tubes métalliques remplis de béton qui lui vaudra une inscription à l'Inventaire des Monuments Historiques en 1994. Les années 60 seront celles de l'innovation en matière de structure béton.

Au cours des années 80 et 90, et grâce aux nouveaux Bétons à Hautes Performances (BHP), les tours en béton de 300 m vont devenir courantes. Et l'escalade continue : le Burj Dubai (330 000 m³ de béton) atteindra vraisemblablement les 800 m. Les nouveaux BPE permettent également un allègement des structures et des planchers, une simplification de l'exécution des ouvrages : les propriétés du matériau à l'état frais accélèrent les cadences de chantier et facilitent la mise en œuvre (pompage sur longues distances, décoffrages rapides, etc.). Les limites du BPE sont encore repoussées avec les BFUP et leurs valeurs de résistance extrêmes importantes, qui peuvent atteindre 250 Mpa à 28 jours. Utilisés pour les ouvrages d'art, ils promettent toutes les audaces dans l'architecture des IGH.

(source : Construction Moderne N° 131)



Tour Perret à Amiens



Futur “nouveau phare” dans le paysage de la rade de Marseille, la tour French Line se construit dans le prolongement du nouveau quartier d'affaires Euroméditerranée. Cette extension du siège social de CMA-
CGM est un Immeuble de Grande Hauteur (147 m) de 33 étages, qui regroupera à terme les services et bureaux du 3e armateur mondial et 1er armateur français.

L'architecte Zaha Hadid a été retenue au terme de la consultation. Réalisé en verre, BPE et métal, son projet sera le plus grand immeuble de Marseille. Sa construction exigera quelque 65 000 m³ de BPE (environ 168 000 tonnes) et 6 000 tonnes d'aciers pour une SHON de 64 000 m². Les travaux de béton, entamés le 1er avril 2006, ont été terminés en septembre 2008.

(source : Construction Moderne N° 131)



Tour French Line - Marseille (Architecte Zaha Hadid)

4 CONCLUSION

Ce document nous a permis d'identifier les apports du BPE vis-à-vis de la mixité constructive appliquée aux logements collectifs et aux bâtiments non-résidentiels. Nous sommes en mesure d'affirmer que le BPE optimise les solutions constructives mixtes :

- ⇒ en protégeant la santé des occupants : qualité de l'air intérieur, maladies liées à l'humidité, confort de vie ;
- ⇒ en diminuant l'impact sur l'environnement : empreinte carbone, durée de vie allongée et architecture locale ;
- ⇒ en répondant aux contraintes du développement durable : dynamisme des territoires, économies des ressources, économie locale, l'éco-conception ;
- ⇒ en étant compétitif d'un point de vue économique : matériau le moins cher ;
- ⇒ en apportant des performances techniques indéniables : thermique, inertie, résistance au feu et sécurité incendie, acoustique, sismique et de durabilité.

Optimisation des performances du bâtiment, nouvelles solutions architecturales, amélioration du bilan environnemental, etc. : les arguments en faveur des solutions mixtes, s'appuyant sur le BPE ou sur le béton, sont multiples, et en font de fait un matériau incontournable.

Demain, la ville devra permettre à ses usagers et habitants de s'adapter aux évolutions sociétales et climatiques. Que l'on envisage une accélération des cycles immobiliers, renouvelant et améliorant l'offre en bureaux, logements, équipements publiques, commerces, ou bien celle des épisodes climatiques extrêmes (canicules, inondations, tempêtes, etc.), les bâtiments construits aujourd'hui devront faire preuve de résilience tout en préservant les ressources naturelles.

La ville résiliente est avant tout celle qui donne plus avec moins :

- ⇒ Pousser les limites de la mixité des matériaux jusqu'à faciliter la mixité des usages au cours du cycle de vie des bâtiments, leur réversibilité et leur adaptabilité ;
- ⇒ Capitaliser sur la performance et la durabilité des systèmes constructifs ;
- ⇒ Exploiter la verticalité pour économiser le foncier ;
- ⇒ Favoriser le partage des usages des ouvrages
- ⇒ ...

Le BIM n'est pas un obstacle à la mixité. Il offre aux maîtres d'œuvres et aux maîtres d'ouvrages la possibilité d'optimiser le choix des matériaux de construction en prenant en compte la conception, la vie en œuvre, la déconstruction et le recyclage

Bibliographie

- Guide Bâtiment SNBPE (2014),
- Construction Moderne n° 103 (2000),
- Construction Moderne n° 123 (2006),
- Solutions Béton n° 142 (2014-2015),
- Collection Technique CIMbéton - B 40 Béton et confort : la thermique (2007),
- Collection Technique CIMbéton - B 45 Bâtiment et santé : Les solutions béton (2014),
- Etude Carbone 4 (2016)
- Etudes Bureau Michel Forgue (2014)
- Evaluation d'opérations de construction de logements sociaux collectifs bois, mars 2015)
- Construction Moderne n°131 (2008)
- Construction Moderne n°132 (2009)
- Forum Bois construction Lyon (2016)
- Vidéos CIMbéton : architectes et économie circulaire (2016)
- site www.cotemaison.fr (16/04/2014)
- Guide de l'habitat sain (2002)
- Bibliothèque hitorique
- Entretien avec Studi AIA (2016)

Remerciements

Le Syndicat National du Béton Prêt à l'Emploi (SNBPE) remercie le groupe de travail animé par Cécile Pierre-Louis (EQIOM) et Olivier Stéphan (SNBPE). Ce groupe constitué de professionnels de la filière béton prêt à l'emploi a contribué à l'ensemble de la rédaction de ce document.

Nous remercions également AIA Ingénierie pour les précisions apportées sur certaines solutions constructives présentées ci-après.

Création : Nicolas Luttringer, Syndicat National du Béton Prêt à l'Emploi (SNBPE)

L'ORGANISATION REGIONALE DU SNBPE

Pour vous accompagner dans votre projet
(Conseil sur le choix des solutions constructives, ...),
6 Délégués SNBPE Région



Nord-Ouest
Hauts de France, Normandie
Siège : Arras
Tel : 06 89 66 68 98
Fax : 02

Est
Bourgogne - Franche - Comté,
Grand Est
Siège : Nancy
Tel : 06 08 33 28 77
Fax : 03 83 67 62 36

Ouest
Bretagne, Centre,
Pays de la Loire
Siège : Nantes
Tel : 06 84 83 72 87
Fax : 02 40 63 02 14

Centre-Est
Auvergne Rhône-Alpes
Siège : Lyon
Tel : 06 37 34 90 20
Fax : 04 78 78 80 61

Sud-Ouest
Nouvelle Aquitaine, Occitanie
Siège : Bordeaux
Tel : 06 84 83 72 89
Fax : 05 56 81 22 57

Sud-Est
Corse, PACA, Occitanie
Siège : Aix en Provence
Tel : 06 84 83 72 86
Fax : 04 42 38 04 36



7, place de la défense
92974 Paris - La Défense Cedex
tel : 01 55 23 01 00
fax : 01 55 23 01 10
www.infociments.fr

3, rue Alfred Roll
75849 Paris Cedex 17
tel : 01 44 01 47 01
fax : 01 44 01 47 47
www.snbpe.org
www.snpb.org
www.synad.fr

Le SNBPE est adhérent à l'UNICEM



Création : Nicolas Luffringer SNBPE / Février 2017

