

DOSSIER

POLYTECH MARSEILLE

**LES APPORTS DU BÉTON DANS
L'UNIVERS DE LA CONSTRUCTION
EN 2035**





ENTRETIEN

« LES APPORTS DU BÉTON DANS L'UNIVERS DE LA CONSTRUCTION EN 2035 »

Le SNBPE, a décidé de lancer en 2015 dans le cadre du parrainage de la promotion 2017 Génie Civil de Polytech Marseille un concours d'idées sur le thème « Les apports du béton dans l'univers de la construction en 2035 ».

Un Jury composé de professionnels adhérents au SNBPE et de membres de l'encadrement pédagogique du département Génie Civil de l'école Polytech Marseille a sélectionné un dossier parmi 6 dossiers portés par des groupes de plusieurs étudiants. 33 élèves ingénieurs ont ainsi participé.

Nicolas Luttringer : Quel a été votre cheminement de pensée pour répondre au thème proposé ?

Benoit Troffin : Si le cinéma était une science exacte, le mercredi 21 octobre 2015 à 16h29 précisément, nous aurions vu apparaître Marty McFly dans une Delorean modifiée. Pure science-fiction, ou réalité d'un temps à venir, dans son film « Retour vers le Futur 2 », Robert Zemeckis imaginait 2015 dès 1989.

De la même manière, en nous projetant en 2035, nous essayons de répondre à des questions qui nous touchent aujourd'hui en développant de nouveaux usages pour tous. 2035 c'est demain cependant nous devons le rêver.

De notre main d'étudiants - ingénieurs, nous rêvons notre univers pour nous projeter dans un idéal de notre métier. Nous éluderons volontairement la dimension

économique qui est aujourd'hui, certes le « nerf de la guerre », mais surtout un frein constant au développement de nouvelles technologies et de nouveaux usages.

NL : d'une certaine manière vous vous inscrivez dans une démarche de développement durable orientée « social » et « environnemental » ?

BT : Répondre à la question de l'avenir du béton en 2035 induit un positionnement éthique. Le domaine de la construction se questionne, depuis plus de vingt ans, sur son rôle dans le Développement Durable, notamment à travers son impact économique, et écologique. Ses réflexions se traduisent par de nouvelles démarches de recyclages, de réductions des nuisances, de nouvelles formulations pour les bétons...

Si les réponses écologiques et économiques ne sont pas encore parfaites, nous pouvons espérer qu'avec les efforts engagés, une véritable solution sera trouvée. Si nous espérons obtenir des solutions satisfaisantes sur ces deux thématiques, l'impact social est oublié. Si nous voulons nous inscrire dans une démarche du

développement durable, il est essentiel de questionner cette dimension. En quoi les matériaux de construction peuvent-ils devenir sociaux ? Les matériaux doivent dépasser leur simple fonction structurelle. Selon Thierry Paquot, il est essentiel « d'améniser » nos villes et ainsi de rendre la vie de tous plus agréable, et notamment dans les espaces partagés. L'envie pour 2035 est donc d'induire le coût social des matériaux.

NL : Comment le béton peut-il devenir un matériau d'avenir en dépassant sa simple fonction structurelle ?

Caroline Nanna : à la vue d'une simple pièce à vivre, son aménagement initial semble nous appartenir ; nous disposons un meuble dans le coin à gauche puis le téléviseur ici, et enfin la table et les sièges plutôt à droite. Présentée ainsi, la configuration spatiale d'une pièce semble libre. Cependant en regardant de plus près, du point de vue des futurs ingénieurs que nous sommes, cette configuration ne nous appartient pas. Elle dépend de la construction, des plans établis préalablement, de normes, de lois, d'orientations... et surtout des réseaux électriques,



Les Lauréats

fluides, etc... Pour nous, le réseau électrique est la partie la plus contraignante pour les particuliers à disposer de leur chez soi.

Cela peut sembler anodin, et pourtant, l'aménagement intérieur contribue au bien-être et au confort de quiconque, et est dépendant de l'accès au courant électrique. Pourquoi notre environnement personnel et notre épanouissement, sont-ils soumis à cette disposition préétablie? Malgré des minima imposés par pièce la prise électrique est inamovible nous obligeant à aménager notre espace en fonction de cette sortie. L'aménagement intérieur est un facteur important dans le développement de notre quiétude, et joue un rôle prépondérant sur la qualité de notre vie sociale. Aujourd'hui dans tous les bâtiments de plus de dix ans, on constate soit l'absence de prise soit la nécessité de les développer par des ajouts de gaines apparentes...

NL : avant même de parler de l'aménagement intérieur, l'emplacement des circuits électriques influence le chantier ?

Manon Boissenin : Tout à fait, par exemple, intéressons-nous à l'aspect fonctionnel des bâtiments.

D'un point de vue énergétique, chaque bâtiment constitue une zone d'échange. Les ouvrages sont soumis à des flux entrants et sortants (air, eau, courants électriques, courants thermiques). Ce premier point renforce la notion d'une multiplicité d'intervenants dans le processus de construction. Puis le second point est de gérer et d'organiser la mise en place de ces différents réseaux en parallèle avec les autres corps d'états. Ce qui engendre des problèmes de retards considérables si toutefois les plannings n'étaient pas respectés.

À titre d'exemple, un électricien-monteur sur chantier est en coordination avec le gros œuvre, il doit incorporer les gaines et les boîtiers électriques dans les banches ou les installer sur les prédalles avant le coulage du béton. Les réservations du plan électrique doivent être respectées ce qui n'est pas une mince affaire. A l'intérieur des bâtiments, il tire manuellement les câbles à travers les gaines ou en cas d'un faux plafond, il les fixe sur des chemins de câbles ou directement sur les parois. Il pose ensuite les boîtes à fusibles, les prises électriques et les interrupteurs et enfin il effectue les raccordements. Des problèmes qui surviendraient à cette étape engendreraient un retard sur le

planning, une mauvaise coordination entre les corps d'états, éventuellement des complications pouvant conduire à la genèse de tensions liées directement à l'évolution du chantier. Cette coordination entre différents corps de métiers est alors strictement nécessaire. Nous devons élaborer de nouvelles réponses dans une logique d'organisation visant à réduire les aléas relatifs à la réalisation d'un chantier mais aussi, dans une logique d'innovation visant à trouver de nouvelles ressources d'efficacité. Comment améliorer le quotidien de tous ? L'électricité, conductrice de nos interrogations, pilier d'une première révolution, ne pourrait-elle pas en signer une deuxième ?

NL : cette révolution passe par le béton ?

Timothée Fernandes : Développer une association entre électricité et béton repose sur le besoin de faire évoluer notre quotidien. En s'appuyant sur le réseau très développé de fabrication du béton prêt à l'emploi en France, la démocratisation de l'énergie se fera par voie constructive en abolissant les limites électriques actuelles.

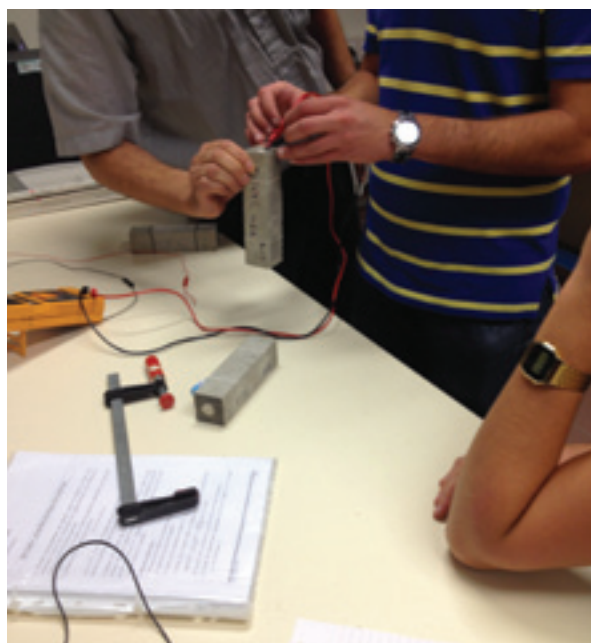
NL : Un béton électrique ?

TF : Recherchant la transmission et le stockage de l'énergie grâce au béton pour développer une utilité post construction, nous avons incorporé des fibres de carbone à sa formulation.

La très grande résistance à la fatigue de la fibre de carbone lui permet de mieux supporter les contraintes répétitives et son comportement face à la corrosion en fait un allié de choix pour les ouvrages en milieux agressifs.

En outre, les fibres sont ajoutées directement lors du malaxage du béton. On évite ainsi les potentiels problèmes de mise en place (ancrage, enrobage...) contrairement aux armatures traditionnelles.

La fibre de carbone se répartit de façon homogène dans le béton frais à l'image de la fibre métallique, mais contrairement à cette dernière, ses caractéristiques intrinsèques (poids, dimensions) lui permettent de créer un réseau connecté, idéal pour transporter l'électricité. En quantité égale, les fibres métalliques, bien que conduisant mieux l'électricité, ne garantissent pas un maillage optimal, et l'augmentation de leur proportion, modifierait le comportement du béton. La fibre de carbone se révèle donc être le meilleur compromis taille/conductivité sans altérer les propriétés du béton hôte, tout en offrant un avantage supplémentaire : le stockage de l'énergie électrique.



NL : avez-vous réalisé des tests dans ce sens ?

Jean-Marc Accari : Pour vérifier notre théorie, nous avons réalisé 3 éprouvettes de mortier (4x4x16 cm) constituées de 0.555 g de ciment, 1560.00 g de sable et 0.221 g d'eau. Nous avons incorporé une quantité équivalente à 0.2% en masse de fibres de carbone, soit 0.036 g.

Dans chaque éprouvette nous avons fait passer un courant sinusoïdal de 5V, en balayant des fréquences de 10 Hz à 2 000 000 Hz. Nous avons obtenu une signature électrique précise du béton capacitif confirmant un comportement similaire à un matériau conducteur plus classique.

Pour mesurer la tension en surface des éprouvettes, nous avons

utilisé un dispositif à 4 fils, reliés à l'alimentation et aux électrodes du voltmètre.

Les électrodes, placées à 4 cm du bord chacune, ont donné une lecture moyenne de 1,73V pour les trois échantillons.

L'impédance moyenne trouvée pour une fréquence arbitrairement choisie (50Hz), était de 1336,37 Ω pour les 3 éprouvettes.

Notre béton est donc capable de réagir à l'électricité, de la stocker et de la restituer.

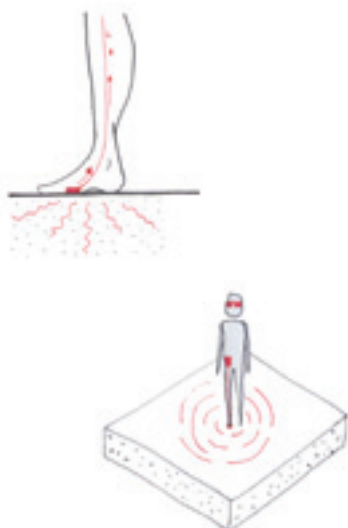
NL : avez-vous déjà une idée des usages possibles ?

Marie-Pierre Di Caro : En dépassant sa dimension structurelle, le béton capacitif offre de nouveaux usages, notamment dans l'espace public.

Forts des tests en laboratoire, nous nous sommes projetés sur les applications possibles.

Des recherches récentes ont montré l'importance des impulsions électriques pour donner aux non-voyants une vision de l'espace. En modulant le signal électrique dans le béton, nous pourrions transmettre tout type d'informations et notamment des signaux de position en temps réel.

Le concept existant, « BrainPort », permet de substituer le toucher à la vision. On parle de substitution sensorielle. Le dispositif actuel se



Application non voyants

compose d'une paire de lunette jouant le rôle d'une caméra, une prothèse linguale et d'un dispositif électronique, connectés entre eux. Son principe repose sur la transformation des images captées par la caméra, en remplacement de la rétine, en impulsions électriques transmises aux électrodes positionnées sur la langue afin d'exciter les nerfs de cette dernière et de transmettre l'information au cerveau.

Le béton capacitif modifierait ce concept en utilisant la sensibilité des pieds. Placé dans la chaussure d'une personne malvoyante un capteur pourrait être directement relié au béton capacitif d'une part et à la micro caméra d'autre part. L'utilisateur pourrait se dispenser de la prothèse linguale encombrante. Le signal transmis au cerveau depuis le pied serait d'une meilleure qualité que celui transmis depuis la langue du fait de sa proximité du béton chargé. Le béton capacitif permettrait également de recharger le boîtier électronique, toujours présent pour convertir le pixel des images en impulsion électrique.

L'espace public repensé avec le béton capacitif ouvre la voie à la fin de la ségrégation spatiale des handicapés et donc de nombreuses normes contraignantes.

NL : son utilisation pourrait donc s'étendre à l'aménagement urbain d'une manière plus générale ?

Léa Cazals : Oui, notre béton capacitif nous permet d'entrevoir par exemple la modification du fonc-

tionnement des transports communs en site propre (TCSP).

On compte 3 grandes familles de Transport en Commun en Site Propre : le métro, le tramway, et les Bus à haut niveau de service. Le béton capacitif serait capable de transmettre aux transports une alimentation permanente en électricité par le sol. Loin d'être de la science-fiction, cette idée est déjà développée, à Amsterdam, pour augmenter l'autonomie et réduire le temps de charge des véhicules électriques. Le système actuel est constitué de deux plaques de métal parcourues par des courants de sens contraire ou des câbles électriques installés sous les routes : une mise en œuvre lourde nécessitant un réseau électrique souterrain.

L'utilisation du béton capacitif semble une alternative logique à la mise en place des plaques. Il est possible d'utiliser la route elle-même pour recharger les batteries : plus besoin des bornes de recharge.

Appliqué aux lignes de tram, ce concept permettrait de supprimer les lignes électriques aériennes et de favoriser l'environnement visuel.

NL : et si nous retournons dans le bâtiment que vous évoquiez en introduction ?

LC : Le béton capacitif pourrait également jouer un rôle dans l'aménagement de l'espace et le caractère modulable d'une pièce. En effet, comme nous l'avons constaté

au quotidien, nous sommes aujourd'hui contraints d'aménager notre espace intérieur et extérieur en fonction de la proximité des prises électriques. Grâce au béton capacitif, chaque endroit d'une pièce pourrait jouer le rôle de sortie électrique, ce qui nous permettrait de faciliter l'aménagement de celle-ci. Utiliser également le béton capacitif comme moyen de générer un courant électromagnétique serait une façon de supprimer les contraintes liées aux fils. Pour cela, il suffirait d'intégrer des capteurs dans nos dispositifs électroniques et tout serait connecté à distance. D'un point de vue architectural, nos murs seraient libres de toutes gaines. En effet, de nos jours le numérique est présent partout autour de nous. Pourquoi ne pas aller plus loin en imaginant des pièces totalement interactives ? La domotique tend de plus en plus à rendre les espaces vivants. Le béton capacitif se constituerait alors comme support idéal.

Cette facilité d'aménagement permettrait également de changer la fonction d'une pièce dès qu'on le souhaite sans pour autant devoir intervenir sur la répartition de l'électricité : bureaux la journée et salle de spectacle le soir par exemple. On pourrait également envisager d'utiliser le béton capacitif dans la rénovation et la réhabilitation afin de simplifier les interventions.



NL : avez-vous imaginé mélanger votre béton à d'autres bétons technologiques existants ?

LC : Bien sûr. Le béton avec fibres optiques existe déjà sous le nom de LiTraCon, c'est un béton photo-transmetteur très peu utilisé. Conçu sous la forme de panneaux ou de blocs préfabriqués, ce béton intègre dans sa composition des fibres optiques dont l'effet translucide se révèle lorsqu'il est rétroéclairé. Sans lumière, il a une apparence de béton classique, opaque. Une organisation de fibres optiques est incorporée couche par couche dans le béton, lui donnant ainsi une certaine transparence et créant des motifs. Il possède les mêmes caractéristiques mécaniques que le béton normal. Ce type de béton peut être assimilé à du BFUP. La conduction de la lumière avec les fibres optiques permet la transmission de lumière, d'ombres, de couleurs à travers le béton.

MB : L'aspect esthétique et lumineux de ce béton offre de nouvelles solutions dans l'intégration des bâtiments en béton dans le paysage. Le fait d'avoir une synergie entre ce béton électrique et ces fibres optiques, permettrait de l'illuminer, de le colorer tout en gardant sa résistance puisque ces fibres n'altèrent pas ses caractéristiques mécaniques. De plus, cette combinaison ouvre de nouvelles perspectives dans la gestion de la publicité en ville. Oublions les encarts publicitaires et remplaçons-les par des

publicités projetées dans des bétons capacitifs directement dans le sol dans des endroits clés comme les stations de transports en commun. Dans ce cas, tout le module de béton devra être interactif afin de pouvoir changer, ce qui est une limite aujourd'hui du béton à fibres optiques. Ce principe peut se décliner des voies piétonnes aux routes de campagnes et aux autoroutes. Il est assez facile d'imaginer des tunnels diffusant en continu sur ses parois, des images de l'extérieur pour profiter du paysage.

CN : Enfin, l'éclairage de nuit, les lampadaires et autres dispositifs font aussi partie des causes de la pollution lumineuse. Grâce à notre solution, nous pourrions imaginer un système permettant de supprimer tous les lampadaires et toutes les nuisances lumineuses durant la nuit. On pourrait alors imaginer la lumière émise au niveau du sol sur les trottoirs en ne s'allumant qu'en présence d'une activité humaine. Ce qui pourrait s'avérer utile pour des voies piétonnes, sur les bandes d'arrêts d'urgence des routes de campagne et autoroutes. Dans le cas de villes demandant plus de luminosité, notamment pour les automobilistes et la sécurité de tous, il suffirait simplement de rajouter des bandes lumineuses à une hauteur suffisante pour avoir une luminosité convenable.

NL : avez-vous entendu parler du béton photovoltaïque ?

M-PdC : Le béton photovoltaïque est au stade de prototype : c'est un béton capable de convertir le rayonnement solaire en courant électrique. Les chercheurs ont utilisé le principe des cellules Graetzel qui imitent la photosynthèse végétale à l'aide de pigments photosensibles artificiels (équivalents de la chlorophylle). Il est constitué d'un béton conducteur, d'une couche d'oxyde de titane capturant l'énergie solaire, d'un colorant jouant le rôle d'électrolyte de la réaction, et d'une fine couche de graphite remplissant la fonction de seconde électrode. Le béton qui est utilisé joue le rôle de deuxième électrode. Les systèmes existants disposent d'une couche supplémentaire jouant le rôle d'électrode. On construirait ainsi une sorte de circuit fermé et autonome, alimenté par le béton photovoltaïque et conduit par le béton capacitif. Dans cette optique, nous pourrions assimiler les cellules photovoltaïques à un générateur qui permettrait au bâtiment de ne dépendre d'aucune autre source d'énergie extérieure.

Évidemment le rendement électrique nécessaire pour alimenter un bâtiment entier est beaucoup trop élevé pour que seules les cellules photovoltaïques suffisent. En comptant sur l'amélioration du rendement de ces cellules dans les vingt prochaines années, tout en gardant le béton comme élec-



trode, on entraînera la suppression de tout générateur. Les améliorations que l'on pourrait imaginer sont dans la composition des différentes couches du système et dans le prix des différents matériaux constituant ces nouvelles couches. Le fait d'avoir une maison ou un bâtiment complètement autonome pourrait être aussi couplé à une amélioration de la domotique qui est un des enjeux futurs vers une maison intelligente : appareils de cuisine, éclairage, TV, home cinéma, audio, informatique, téléphonie, chauffage, ventilation, climatisation, détection extinction incendie, caméra de surveillance connectés...

Au final, la synergie des bétons ouvre une nouvelle perspective sur l'intelligence même des matériaux et de la manière d'être utile dans la vie quotidienne.

NL : Un mot de conclusion ?

BT : Penser le rôle du béton post-construction a été le moteur de notre développement afin de conceptualiser les capacités d'un « béton utile ».

Nous voulons rêver un monde en 2035 où l'objectif commun serait le confort pour tous. Là où

aujourd'hui le système détruit le moral de toutes les générations, nous proposons un monde plus « humain » où tout le monde serait sur un même pied d'égalité grâce à une offre en énergie et en informations sans limite en tout lieu et toute heure.

Nous sommes conscients des limites actuelles de notre système mais pourquoi pas ? Nous avons évoqué des pistes à approfondir pour solutionner les problèmes majeurs liés au couple béton / électricité. Nous pensons que l'avenir est lié au partage. Le béton capacitatif porte toutes les valeurs qui sont, pour nous, essentielles à la vie en société. Nous aurons à gagner un monde meilleur en 2035. ■

Propos recueillis par Nicolas Luttringer, Délégué SNBPE Sud-Est, au colloque le Pont à Toulouse en Octobre 2015.

