

# REGARDS SUR LA TRANSMISSION

Matériau séculaire, le béton ne cesse d'évoluer. La pression croissante des enjeux environnementaux et l'évolution des normes dynamisent la recherche et le développement de l'innovation. En relayant les explorations des étudiants l'année de leur diplôme, le Trophée béton montre comment les jeunes architectes se saisissent de ces questions en réfléchissant à l'utilisation de bétons de site ou bio-sourcés, au cycle de vie du matériau ou au réemploi. Par les connaissances, les gestes et les savoir-faire qu'il induit pour concevoir et construire, le béton est aussi une affaire de transmission. Nous l'évoquons avec des architectes qui sont aussi enseignants et ont participé aux jurys du Trophée béton. Par les échanges, les rencontres et les publications qu'il suscite quand ce n'est pas des amitiés et des connivences confraternelles, le Trophée béton n'est-il pas lui-même un vecteur de transmission ?



## 10 ANS DE PARTENARIAT DU MINISTÈRE DE LA CULTURE

Rencontre avec **Aurélie Cousi**, directrice adjointe au directeur général des patrimoines et de l'architecture, chargée de l'architecture.

**Comment le ministère aborde-t-il dans l'enseignement la connaissance des matériaux et la transmission des savoirs et quelle est la place du béton dans les écoles d'architecture ?**

Dans l'enseignement, être en prise avec la réalité du terrain et de la construction est primordial, d'où l'importance de valoriser ou de revaloriser au sein de nos ENSA la culture de la construction pour que les étudiants apprennent à maîtriser dans leurs différents aspects tous les matériaux pour les utiliser à bon escient. Redévelopper cette culture des matériaux est crucial ; un choix de mise en œuvre engage la responsabilité du prescripteur et c'est déterminant pour la durabilité des ouvrages. Quand la décarbonation s'impose comme une nécessité, une nouvelle appréciation du béton, décliné dans ses variétés et capacités, doit prendre place dans l'enseignement de l'architecture nourrissant une démarche pédagogique globale et approfondie pour un acte de bâtir économe

et durable intégrant le recyclage des bâtiments et des matériaux.

**Le Trophée béton révèle un état des connaissances des jeunes diplômés quant à ce matériau dont l'enseignement se renouvelle avec le développement de nouveaux bétons décarbonés même si les bétons traditionnels gardent toute leur place. Dans ce contexte, quelles sont les thématiques que votre ministère désire approfondir ?**

Qu'il s'agisse du neuf ou d'interventions sur l'existant, des questions techniques et scientifiques formulées par les architectes et les constructeurs peuvent conduire à l'élaboration de programmes de recherche sur les types de béton et de nouvelles méthodologies de conception ou de mise en œuvre encourageant la décarbonation, le recyclage des matériaux ou la réutilisation des structures, la performance énergétique, la durabilité des assemblages et l'évolution de tout le cycle de vie du bâtiment...

Les filières industrielles étant très concernées par tous ces sujets, les organisateurs du Trophée béton pourraient accompagner les programmes de recherche pilotés par les laboratoires de nos écoles nationales supérieures d'architecture à travers des partenariats avec leur réseau.

**Que démolit-on et que peut-on réutiliser sont désormais des questions clés dès que l'on intervient sur la ville...**

L'intervention sur l'existant et les cycles de vie des constructions sont en effet des sujets majeurs pour les architectes du XXI<sup>e</sup> siècle. Travailler sur l'existant pour le faire vivre et revivre amène à capitaliser des connaissances et à expérimenter des solutions de transformation tout en réinventant des usages. C'est aussi un formidable terreau pour la création architecturale. C'est le sens du programme pluriannuel de recherche « Architecture du XX<sup>e</sup> siècle, matière à projet pour la ville durable du XXI<sup>e</sup> siècle » porté par le Service de l'architecture ces dernières années et qui fait l'objet en 2022 d'un cycle de conférences pour mieux partager ces avancées notamment en termes de doctrine, quant à l'évolution nécessaire et possible des immeubles labellisés « architecture contemporaine remarquable ».

Propos recueillis par Christine Desmouliens



© AMANDINE CHADÉFFAUD

## Témoignages DE MEMBRES DU JURY ENSEIGNANTS DANS LES ÉCOLES D'ARCHITECTURE

**“UNE APPROCHE TRANSGÉNÉRATIONNELLE DU BÉTON”**  
**EMMANUELLE COLBOC**  
MEMBRE DU JURY TROPHÉE BÉTON EN 2013

Interrogée sur le matériau et ses évolutions, Emmanuelle Colboc mesure à quel point la perception du matériau béton évolue. Parallèlement, l'action d'industriels très actifs met au point de nouveaux bétons isolants par exemple. « La transition écologique est incontournable et nous nous y engageons à la hâte. En regard d'autres matériaux et d'autres techniques, on peut s'étonner que le béton soit si souvent attaqué alors même que les panneaux photovoltaïques sont très polluants et que la filière bois incite à la prudence. Les performances du béton, sa capacité de résistance à long terme et sa capacité d'évolutivité dans le bâtiment sont précieuses », dit-elle, captivée par ailleurs par la valeur transgénérationnelle de ce matériau. Et de poursuivre : « Qu'il s'agisse d'un homme de la génération de Paul Chemetov, d'architectes de ma génération ou de nos jeunes confrères et consœurs, l'évolutivité d'un bâtiment est une valeur à laquelle nous sommes tous attachés.

D'autre part, le brutalisme du béton et les explorations artistiques qu'il autorise, le rendent exceptionnel. » Dans le cadre pédagogique, elle le voit comme un matériau « extraordinaire qui permet de parler aux étudiants aussi bien de spatialité, de solidité, de matière et de structure tout en leur donnant une vraie conscience du matériau et de ses performances constructives. »

« Depuis trois ou quatre ans, les étudiants sont plus attirés par d'autres matériaux mais je les incite à conserver le béton pour clarifier le propos pédagogique dans le cadre des studios de logements notamment », ajoute-t-elle.

Parmi ceux de ses étudiants qui ont participé au Trophée, elle a gardé contact avec Amandine Chadeffaud, nommée au Trophée béton en 2021 dont le projet troglodyte ancré dans un relief accidenté près de la gare de Poitiers <sup>1</sup> obtint la même année le prix du meilleur diplôme de l'Académie d'architecture. « Pour ce projet très poétique, le béton était l'unique matériau possible afin de renforcer la roche et d'aborder par une abstraction formelle des questions d'ingénierie très concrètes », commente Emmanuelle Colboc.

Chaque année, elle incite à candidater ses étudiants de l'ENSA de Belleville, vite convaincus par cette idée et une jeune architecte de son agence a concouru en 2021.

« Participer à ce concours est une preuve de motivation et d'engagement de la part de ces jeunes architectes qui bénéficient ainsi d'une vraie dynamique alors même qu'ils préparent leur diplôme et leur entrée dans la vie professionnelle. J'ai également constaté qu'il n'est pas rare qu'un étudiant primé à ce type de concours obtienne ensuite d'autres prix. Peut-être est-ce là une façon de monter en gamme et de se fortifier pour aborder en conscience un métier exigeant », conclut-elle.

**“ LES DEUX PREMIERS PRIX DE CETTE ANNÉE-LÀ... ”**  
**CHARLES-HENRI TACHON**

MEMBRE DU JURY EN 2014

« Je me souviens bien des deux premiers prix de cette année-là. Le premier revenait à Diao Kai qui avait exploré la matérialité du béton en reprenant le thème ancestral de la maison de thé, sous la direction de Jean-Christophe Quinton à l'ENSAV. Le deuxième était attribué à Guillaume Prolonge dont le projet d'extension du Museum d'histoire naturelle de Strasbourg **2** instaurait une dialectique ludique entre le béton et la pierre massive des monuments construits au XIX<sup>e</sup> siècle pour l'université impériale allemande. Plus récemment j'ai embauché Diane Roman. Nominée au Trophée béton École la même année, elle avait conçu sous la direction de Bernard Desmoulin et Rémy Butler à l'ENSAVS, un beau projet de piscine. En valorisant des cadrages sur le paysage et des contrastes de béton matricié, elle installait cette piscine minérale dans la continuité du jardin Rocher des Doms à Avignon », dit-il.

Ayant enseigné pendant plusieurs années à des étudiants de troisième année, il a constaté qu'à ce stade de leurs études, ils utilisaient parfois le béton par défaut. « Ayant

encore du mal à appréhender la question de la construction à ce stade de leurs études, ils peinent à bien utiliser ce matériau pour ce qu'il apporte. En comparaison, ma participation à ce jury m'a permis de mesurer toute la valeur pédagogique du Trophée béton École lorsqu'il permet à des étudiants qui préparent leur diplôme de prendre position sur ce matériau en termes spatial et structurel. », observe-t-il.

**“ INFORMER LES ÉTUDIANTS SUR L'ÉTAT DE LA RECHERCHE SUR LES NOUVEAUX BÉTON ”**  
**NATHALIE REGNIER KAGAN**

MEMBRE DU JURY EN 2015

Selon elle, « le Trophée béton est un vrai tremplin pour les jeunes architectes. À l'ENSAPVS, où j'enseigne, nous parlons surtout du béton aux étudiants déjà avancés dans leurs études. En 3<sup>e</sup> année et en master, l'approche structurelle devient primordiale car le béton offre de multiples avantages pour régler certains programmes. »

Communiquer auprès des étudiants l'état de la recherche sur les bétons bas carbone, de chanvre ou bio-sourcés ou sur le recyclage du béton lui paraît très important car ces étudiants sont très sensibles à la montée des questions environnementales. Et comme ils sont très attirés par l'esthétique du béton, elle estime qu'il serait très utile de pouvoir faire venir des experts pour leur présenter toutes ces innovations lors de conférences. « Si Betocib ou Cimbéton proposaient des conférences, les étudiants seraient heureux de les voir associées à l'enseignement du projet afin d'illustrer tout cela très concrètement par l'exemple. Je me souviens notamment qu'à l'occasion de la rédaction d'un article avec Norbert Laurent pour Construction moderne, nous avons parlé du béton de cendre d'un projet suédois qui donnait une grande qualité d'imperméabilité à des logements », rappelle-t-elle pour ouvrir des pistes.

**“ LA CAPACITÉ DU BÉTON POUR ÉLANCER DES VOLUMES À L'ENCONTRE DE L'ATTRACTION TERRESTRE ”**  
**PASCALE DALIX**

MEMBRE DU JURY EN 2017

Suite à ce jury du Trophée béton, Félix Borel et Joseph Vincent qu'elle avait comptés parmi ses étudiants à l'ENSPV ont travaillé au sein de l'agence Chartier Dalix pendant trois ans avant de monter leur propre structure. Au sein d'une équipe de 70 personnes la transmission avec de jeunes architectes frais émoulus s'opère naturellement au fur et à mesure de l'aisance qu'ils développent dans tel ou tel domaine, au fil des diverses étapes d'un projet ou



© TAKUJI SHIMAMURA

3

en travaillant avec les chefs de projet et les architectes fondateurs lors des réunions.

« Dans l'enseignement, j'explique aux étudiants que le béton souffre d'avoir été utilisé à outrance et pas uniquement pour ses qualités. À l'agence, nous insistons pour que chaque matériau soit employé au bon endroit. Sur la ZAC des Batignolles en balcon sur les voies ferrées nous avons privilégié une structure métallique plus légère. A Saint-Ouen **3**, par contre, pour un bâtiment pont magistral, le béton apporte une très bonne réponse. Sa capacité portante pour élaner les volumes dans le vide à l'encontre de l'attraction terrestre est fascinante. Sachant qu'il est précieux en raison de son coût environnemental, nous l'utilisons à bon escient pour la stabilité, le contreventement mais aussi à minima en évitant les voiles et en privilégiant une trame de structure mixte intelligente, avec d'autres matériaux », précise l'architecte. Et d'ajouter : « La minéralité du matériau brut et apparent, ou parfois velouté par une lazure, donne d'heureux mariages. Sur l'un de nos bâtiments, il est associé à des volets en cuivre. »

Un autre point important est qu'au même titre que la pierre, le béton est propice à l'accueil du vivant, une potentialité dont l'agence s'est saisie et dont atteste la publication de l'ouvrage « Accueillir le vivant » aux Éditions ParkBooks

en 2019 et des recherches sur les façades habitées. « Quand nous coulons du béton dans des moules nichoirs ou que nous l'utilisons pour fabriquer des hôtels à insectes, il prend les caractéristiques de la pierre. 40 centimètres de profondeur suffisent pour la flore cavicole. Vivant dans les cavités naturelles des animaux, comme des terriers, des excavations ou des grottes, celle-ci a besoin d'humidité et d'obscurité et elle déteste les variations hydriques et thermiques. Pour ce tropisme du vivant, le béton est idéal. »

**“ LA PART TROP NÉGLIGEABLE DE LA CONSTRUCTION DANS L'ENSEIGNEMENT ”**  
**BORIS BERGMANN**  
**AGENCE GBAU**

MEMBRE DU JURY EN 2019

Ayant enseigné dans les écoles d'architecture de Lyon et Marne-la-vallée, Boris Bergmann s'étonne que la construction n'y soit pas solidement abordée. « Le béton est intégré au thème général de la matérialité, ce qui rend son approche très peu concrète et exclut toute distance critique face à l'idée selon laquelle le bois serait écolo et non pas le béton. Couramment répandue, cette idée qui



© GUILLAUME PROLONGE

2

repose sur une connaissance très superficielle des filières n'est cependant pas très fondée. Si dans ces écoles, Le Corbusier est souvent évoqué pour son approche plastique, une part assez négligeable est faite à Auguste Perret. Il a pourtant reconstruit vite et bien des pans de villes entiers, d'où l'importance d'étudier sa démarche qui témoigne d'une inspiration haussmannienne et montre à quel point le matériau fait la ville.»

Regrettant ce manque d'érudition des jeunes diplômés dans le domaine des matériaux lorsqu'ils arrivent sur un chantier, l'architecte formé à l'École Polytechnique fédérale de Lausanne ne peut s'empêcher de faire la comparaison avec cet établissement où la construction est une thématique importante qui complète une approche pragmatique des matériaux et des différentes filières. Revenant à sa propre façon d'enseigner le projet à des étudiants de 3<sup>e</sup> année, il défend cette approche par la construction en rappelant l'importance de la filière béton en regard de la connaissance des ouvrages et de l'implication des matériaux dans leur réalisation. « Porter sur les filières un regard sociologique est riche d'enseignement en termes de retour d'expérience », précise-t-il. « Si la filière bois est utile dans une logique de charpente, ses ressources de ne sont pas toujours locales et le bois peut être de piètre qualité. Le béton est beaucoup employé pour les murs et les dalles. L'ingénierie apporte les compétences structurelles et la conception architecturale intègre la problématique des joints du calepinage et de la tectonique.

Beaucoup de maçons polonais et portugais apportent leur savoir-faire à la filière béton, mode de production qui révèle l'importance de chaque corps de métier sur le chantier: le caractère assez vif du travail de maçonnerie fondé dans la terre au contact du sol, puis une économie un peu tendue avec un stade où l'on doit travailler vite sur les coffrages et les faire tourner lors du coulage en place. » Il rappelle aussi que si, en France, le béton coulé en place a toujours été plus courant que la préfabrication, cette dernière, fréquente en Suisse, est tout aussi attractive pour sa valeur de filière semi sèche produisant des éléments usinés pour les poteaux, les poutres et les linteaux.

« Aujourd'hui, l'intérêt envers cette filière est à reconstruire et des bailleurs engagés font de beaux projets en sollicitant de vraies compétences architecturales avec des budgets à la hauteur de leurs ambitions. Les jeunes architectes qui s'en sortent se forment eux-mêmes. Si vue de l'extérieur, l'architecture se distingue par son esthétique, tout jeune architecte devrait être capable de faire la différence entre ce qui relève du rationalisme et de la plastique et, s'il vise à l'abstraction il doit savoir le faire. Adrien Cuny et Thomas Mouillon (ACTM), ont ainsi choisi de se former chez nous avant de monter leur propre structure et ils ont

récemment réalisé deux chantiers de bâtiments en béton dont des ateliers d'artistes 4 couronnés par le prix de la première œuvre 2021.

### “EXPLORER DES DISPOSITIFS HYBRIDES” MARC BOTINEAU, CAB ARCHITECTES

MEMBRE DU JURY EN 2021

« L'un de mes anciens étudiants a fait partie des candidats au Trophée béton et les questions liées à ce matériau sont captivantes à maints égards. C'est le matériau de la modernité et il renvoie à la matérialité. Alors même que son bilan carbone peut sembler signer son arrêt de mort, nombre de pistes émergent dans le même temps pour le renouveler », affirme-t-il.

« Sur le plan de la pédagogie, le béton est tout aussi intéressant car il renvoie à une forme d'archaïsme, au côté rudimentaire d'une mise en œuvre, à la profondeur, à la masse. Il nous revient donc de réinventer la façon dont on en parle », poursuit-il, suggérant au passage aux organisateurs du Trophée béton de décliner le principe pour mettre en place: un Trophée béton de site, un Trophée béton de réemploi et un Trophée béton de terre.

Et si selon lui « le béton est très vertueux », il considère que le principal enjeu consiste à étudier comment l'associer à d'autres matériaux pour créer des structures hybrides. « Dès lors, les architectes produiront des architectures brutalistes tout en opposant à des voiles porteurs des éléments poteaux poutres associés à un remplissage plus léger », précise-t-il. « Ceci suffit à nourrir un programme d'enseignement pour des étudiants de troisième année ou de mastère, étape des études où l'on explore les enjeux environnementaux, l'économie de moyens.

Orienter le geste vers l'idée de retirer et non pas d'ajouter des éléments, du poids et de la matière remet la maquette et le geste manuel au cœur du projet ». Soustraire au lieu d'ajouter, limiter le poids d'une structure, détrôner le voile porteur au profit d'une ossature de poteaux et remplissage, c'est aussi peut-être une façon d'anticiper la transformation ultérieure d'un bâtiment qui aura plusieurs vies.

« Tout cela renvoie à des questions fondamentales que l'on peut évoquer dès la première année d'école si l'on demande aux étudiants d'imaginer comment une écriture architecturale peut naître de ces enjeux » ajoute-t-il en faisant référence à la richesse et à l'esthétique d'une structure hybride, au rapport entre la structure et l'enveloppe et à des assemblages de matériaux mêlant, par exemple, plancher béton et façade bois. Pour lui le mastère « ressources rurales » de l'ENSA Paris La Villette est une vraie opportu-



© GUILLAUME ROBERT

nité pour les étudiants à qui l'on demande de réaliser une carte territoriale afin de réfléchir à la façon de travailler avec ce qui est disponible localement en les invitant à faire le lien entre la matérialité, la structure et le paysage.

### “UN MATÉRIAU À LA FOIS INCONTOURNABLE ET BEAU” DOMINIQUE COULON

MEMBRE DU JURY EN 2013

« En dix ans, beaucoup de mes étudiants de l'ENSA de Strasbourg ont candidaté au Trophée béton qui fait aujourd'hui référence. Plusieurs d'entre eux ont d'ailleurs été primés ou nominés et certains travaillent chez moi car ils ont du talent », dit en souriant Dominique Coulon. « Ce concours crée une forme d'émulation entre les écoles et ce jury, présidé par Paul Chemetov où les projets sont analysés à la fois par des architectes et des ingénieurs, est très qualitatif. Pour les étudiants, bénéficier de cette visibilité au tout début de leur vie professionnelle est rassurant. »

Lorsqu'il enseigne, il se garde bien de faire la promotion d'un matériau mais il reconnaît utiliser beaucoup le béton qui est à la fois, dit-il, « un matériau incontournable et un beau matériau » doté de qualités structurelles et plastiques.

« Dans les sujets que je leur propose, les étudiants restent très ouverts à ce matériau auquel ils recourent souvent pour des porte-à-faux. Pour les diplômés que j'encadre, j'ai retenu comme thème d'atelier « architecture et complexité » avec l'objectif d'aborder de façon globale les questions architecturales et des thèmes contemporains tels que la montée des eaux », poursuit-il. Cette approche qui pousse les étudiants à utiliser les matériaux à bon escient est loin de les inciter à exclure le béton; bien au contraire.

« J'ai également la conviction que des solutions existent déjà pour que nous disposions de béton décarbonés. Si la fabrication de ciment basique exige une température de 1400°C, certains fabricants proposent déjà des bétons moins carbonés à 800°C », précise encore l'architecte.

À cela s'ajoutent des facilités d'approvisionnement sans égales et les performances irremplaçables du béton pour régler l'acoustique. Qu'un maître d'ouvrage se fixe l'objectif de ne pas utiliser le béton en rédigeant le cahier des charges d'une salle de spectacle lui semble actuellement très irréaliste dès lors qu'un équipement de ce type se doit d'être isolé des bruits du quartier, qu'il doit disposer de très grandes portées, sans compter les contraintes relevant des pompiers et le confort thermique. ■

# INNOVER

## ENJEUX ET PERFORMANCES

ENTRETIEN AVEC **FRANCK BOUTTÉ**,  
INGÉNIEUR ENVIRONNEMENT, FRANCK BOUTTÉ CONSULTANTS

**Ingénieur civil des ponts et chaussées, formé à l'architecture, Franck Boutté s'est spécialisé dans la conception et l'ingénierie environnementale. En nous éclairant sur les performances attendues de la filière béton et les recherches orchestrées par les industriels, son approche multicritères ne peut qu'enrichir la démarche des architectes dont les jeunes désireux d'utiliser des bétons traditionnels ou innovants, recyclés, bio-sourcés, bas carbone...**

**En tenant compte de l'évolution des normes environnementales et de leur incidence sur le matériau béton, qu'est-ce qui vous frappe dans la démarche des jeunes architectes ? Comment peuvent-ils s'approprier ce matériau plébiscité par les générations qui les ont précédés ?**

Les rêves des jeunes architectes diffèrent de ceux de leurs aînés pour qui les propriétés plastiques du béton étaient indissociables de l'affirmation d'une écriture architecturale. Confrontés aux préoccupations environnementales, ces jeunes s'intéressent à toute la palette des matériaux qui leur sont offerts : terre, brique coulée, matériaux végétaux. Les projets des candidats du Trophée béton montrent qu'ils ont envie de les explorer. Beaucoup d'entre eux réfléchissent à la façon d'utiliser des bétons, traditionnels ou innovants, des bétons de site, bétons recyclés, bétons biosourcés ou à réemployer les structures.

**Pour l'ingénieur environnement que vous êtes, quelles sont les performances intrinsèques propres au matériau béton et les prouesses que vous attendriez des industriels pour continuer à construire en béton ?**

Qu'il s'agisse du bois, de la terre ou du béton, toutes les filières doivent faire leur transition. Réussir une vraie décarbonation est un enjeu décisif pour la filière béton afin

que le matériau puisse justement retrouver tout l'attrait que lui confèrent ses propriétés plastiques. Aujourd'hui, la doxa environnementale le remet en cause, mais tout cela ne va pas manquer d'évoluer car la filière s'organise pour être au rendez-vous des objectifs progressifs définis par les critères de la RE 2020. L'évolution des normes et des contraintes environnementales questionne aussi le localisme des filières.

**Pour adapter le choix d'un matériau à un projet, vous insistez sur l'importance d'une analyse multicritère. Pouvez-vous nous préciser les performances attendues à travers cette démarche : durabilité, résistance, thermique, économies d'énergie...**

Quand on construit, il est indispensable de mettre dans la balance l'équilibre entre les matériaux concourant à cette construction. Le choix de ces matériaux doit être évalué selon de très nombreux critères qui, si on les regarde individuellement et d'une façon simpliste et court-termiste, peuvent s'opposer. Lorsqu'on recherche le bas carbone, par exemple, deux notions se complètent : le « moins de matière », et le « mieux de matière ». Afin d'utiliser moins de matière et d'optimiser l'utilisation de cette matière, une forme de légèreté est recherchée. Ces deux sujets, « le moins et le mieux », conduisent à un allègement du poids de la structure dans la construction qui est l'un des enjeux de la décarbonation. Mais alléger les bâtiments induit un problème d'inertie, ce qui diminue leur résilience au changement climatique et donc le confort d'été des usagers pour les décennies à venir.

Pour être plus précis sur cette problématique du changement climatique, nous ne concevons plus un bâtiment sans une étude prospective à l'horizon 2050 et selon les scénari du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) que l'on prend pour référence avec la maîtrise d'ouvrage. Le plus contraignant de ces scénari est le RCP 8.5 qui vise à limiter le réchauffement climatique à ...



Mémorial international  
de Notre Dame de Lorette,  
Ablain-Saint-Nazaire (62).  
Maître d'ouvrage :  
RÉGION HAUTS-DE-FRANCE.  
Architecte : PHILIPPE PROST, AAPP.  
Livraison : 2014.

© ANTOR ORTIZ

+1,5°. Prenons l'exemple d'un bâtiment qui, selon les labels HQE d'aujourd'hui, ne dépasse pas la température de 28° pendant plus de 2,5% de son temps d'occupation. Si on lui applique dès aujourd'hui le scénario RCP 8.5 à l'horizon 2050, les températures dépasseraient dans ce bâtiment 28° pendant 15, voire 20 ou 25% du temps d'occupation.

Même en adoptant un scénario moins contraignant, cette vision prospective nous impose déjà de raisonner aujourd'hui comme nous le ferions sous le climat de Casablanca ou Madrid pour étudier un projet en région parisienne. Et là, la légèreté et la décarbonation peuvent être un peu mises à mal... Dans les climats à forte amplitude jour/nuit, l'inertie, couplée à une stratégie de décharge thermique nocturne, est en revanche un véritable atout pour construire des bâtiments qui maîtrisent ces besoins de froid.

Alors que dire des bâtiments actuellement livrés sans froid si l'on songe aux climats attendus en 2040 ? On ne peut pas construire aujourd'hui des bâtiments hyper performants et décarbonés auxquels il faudra ajouter des climatiseurs dans 10 ans ! En regard de la problématique du réchauffement climatique à l'horizon 2050, il faut donc réfléchir plus largement. Ainsi, des solutions existent pour que le béton réponde bien à cet enjeu de construire des bâtiments de plus en plus légers, tout en conservant une

part d'inertie intéressante. Outre ces catégories de critère : carbone et quantité d'une part, et, d'autre part, climat et inertie, il faut considérer ceux relevant de la pérennité, ou encore de l'identité des villes (qui sont essentiellement minérales)... On se doit aussi de prendre en compte le critère de l'approvisionnement, d'une économie du localisme et d'une écologie territoriale au service du matériau. Là encore, il convient de rechercher le bon équilibre qui permettra d'éviter des contre-performances en utilisant un matériau a priori décarboné dont le transport pénaliserait le budget carbone.

#### Si certains aspects favorisent d'autres matériaux, le béton n'a-t-il pas de réels atouts en matière d'approvisionnement ?

Notion intéressante, l'analyse dynamique de cycle de vie instaurée par la RE 2020 attribue au carbone un poids décroissant dans le temps, ce qui minimise le carbone libéré en fin de vie et donc favorise logiquement les matériaux biosourcés qui, par nature, stockent le carbone nécessaire à leur croissance grâce à la photosynthèse (carbone biogénique).

À l'inverse et en comparaison, les matériaux issus des filières minérales comme la pierre ou le béton sont pénalisés. Les filières bio-sourcées restent en revanche encore fragiles pour répondre à une demande en forte croissance, même dans le cas d'une petite ZAC de huit lots comme Chapelle Charbon, sur laquelle nous avons travaillé, par exemple ; la filière bois, elle-même, bien que structurée, n'y échappe pas toujours. Le béton, lui, offre l'avantage d'un approvisionnement local et facile. Dans les territoires où les prix de sortie sont bas, cette question d'approvisionnement se double d'une contrainte économique. C'est notamment l'équation complexe à laquelle les équipes qui construisent les équipements des Jeux Olympiques ont été confrontées. Il y aura donc du béton dans ces bâtiments alors que les cahiers des charges et les budgets carbone définis à l'origine tendaient à le prohiber.

Comme évoqué plus haut, notre équipe a participé avec h2o architectes et Laurent Mouly à une étude lancée par Paris Métropole Aménagement sur la ZAC Chapelle Charbon engagée dans une stratégie bas carbone ambitieuse. Cette étude permet de comparer différents modes constructifs et des assemblages de matériaux qui peuvent être mixés selon la fonction qu'ils assument ; sans apporter de solution toute faite - ce qui n'existe pas -, elle met en lumière l'intérêt de toujours réfléchir pragmatiquement en comparant les inconvénients et les avantages de chaque solution, pour mettre le bon matériau au bon endroit. C'est pourquoi dans le cahier des charges de cette ZAC, nous fixons un budget carbone et une exigence de résultat mais

non de moyens. Imposer des matériaux dans les cahiers des charges est-il vraiment pertinent quand on assiste parfois à des revirements décevants pour tous les acteurs des opérations concernées ?

#### La RE 2020 faisant évoluer toutes les filières, quelle différence avec les anciennes réglementations et quelle conséquence aura-t-elle sur l'innovation et les performances du matériau béton ? En deux mots, quelle sera la place du béton demain ?

Le changement de braquet imposé par les enjeux du bas carbone n'est pas inintéressant. Depuis que cette question a émergé en France il y a cinq ans, certains matériaux et certains types d'énergie passent aisément la barrière des critères de décarbonation fixés par la RE 2020. Adopter des paliers tous les trois ans comme elle le fait laisse à chacune des filières le temps de s'adapter aux enjeux du bas carbone en tenant compte de ses propres spécificités.

La question du carbone étant désormais omniprésente, j'attends beaucoup du travail des industriels sur la décarbonation massive de l'ensemble du process en prenant en compte la totalité de l'énergie consommée pendant la production d'un bâtiment.

Par rapport à la RT 2012, la RE 2020 introduit des exigences carbone fortes qui ne vont pas dans le sens des filières béton, et dans une moindre mesure des filières géosourcées. À l'inverse, elle appréhende de façon beaucoup plus fine et ambitieuse la problématique du confort d'été et l'anticipation des épisodes caniculaires, ce qui valorise l'inertie, caractéristique des bétons et des matériaux minéraux. À travers ces calculs prospectifs la RE 2020 définit un seuil temporel et cette approche redonne une chance à l'intelligence du matériau béton en mixité constructive. On peut souhaiter que ces évolutions permettent d'atteindre un équilibre entre les matériaux.

Il faut aussi se méfier des discours fallacieux tenus lors des concours sur les critères imposés. L'empreinte carbone d'un citoyen est d'environ 10 tonnes par an. Pour respecter les perspectives de réchauffement à +1,5°, il faudrait passer à 2 tonnes annuelles, soit une division par 5, ce qui ne s'est jamais vu. Pour tenter de répondre à cet objectif, on peut jouer sur la construction, l'énergie et la mobilité mais ces trois postes ne représentent qu'un tiers du bilan carbone. Sans nier les efforts nécessaires de tout l'écosystème en matière de décarbonation, il faut aussi là encore voir plus large et travailler sur le caractère inductif des opérations en termes de programmation, d'usages et de mobilités décarbonées. Une autre réflexion consiste à trouver des équilibres entre l'empreinte énergétique du neuf et de l'existant. ■



© EUGEN POISS

**“On ne peut pas construire aujourd'hui des bâtiments hyper performants et décarbonés auxquels il faudra ajouter des climatiseurs dans 10 ans ! Il faut réfléchir plus largement.”**

FRANCK BOUTTÉ

▲  
Salle de spectacle Allende et studios de répétition à Mons-en-Barœul (59).  
Maître d'ouvrage : VILLE DE MONS-EN-BARŒUL,  
Architecte : DOMINIQUE COULON & ASSOCIÉS. 2017.



L'innovation en architecture passe par l'échange de connaissances et la confrontation des points de vue de chacun des acteurs du projet. Il semble que la réflexion actuelle s'oriente vers une recherche de la sobriété, tant dans l'acte de construire que dans les matériaux et techniques employés. Dans cette quête de résilience, les concepteurs se voient encouragés à proposer des projets responsables, ayant recours aux matériaux biosourcés, limitant les surfaces à bâtir et de fait, l'artificialisation des sols. De même, il devient essentiel d'aller vers une économie des surfaces en réhabilitant d'anciens lieux ou en créant de nouveaux espaces aux plans modulaires et appropriables pour maximiser les possibilités d'utilisation. Innover en architecture n'est finalement que rechercher la justesse et retourner à la simplicité, ce qui aboutit à des projets qualitatifs et adaptables aux usages de demain. Ne faudrait-il donc pas revenir aux principes de conception d'hier en les adaptant aux enjeux actuels, plutôt que de chercher sans cesse à innover ? « Si tu penses avoir inventé quelque chose, c'est la preuve de ton ignorance » (Alvaro Siza). ■■

**JÉRÉMY DELHOSTAL**  
LAURÉAT DU 6<sup>e</sup> TROPHÉE BÉTON ÉCOLE



© ERIETA-ATTALI

▶ Nouvelle Gare Montpellier-Sud-de-France (34).  
Les performances du BFUP en toiture créent une ambiance singulière et un comportement thermique de l'enveloppe. Le BFUP permet de satisfaire les grandes portées inhérentes à ce type d'espace mais également de travailler sur un matériau unique: unitaire et polyvalent à la fois. Ces éléments préfabriqués de la toiture comme de la dalle pont ont conduit à optimiser les temps de chantier.  
Maître d'ouvrage: **SNCF RÉSEAU / ICADE PROMOTION**.  
Architectes: **MARC MIMRAM ARCHITECTURE & ASSOCIÉS** (mandataire), **ATELIER D'ARCHITECTURE EMMANUEL NEBOUT** (co-traitant).  
Livraison: 2017.

▶ La tour Luma Arles, tel un phare qui éclaire la ville.  
Transformation d'une friche industrielle de 11 hectares des anciens ateliers de la SNCF de la ville d'Arles en lieu de rencontres et d'innovation pour les artistes et les créatifs du monde entier. Dans ce projet sont abordés mixité des matériaux et préfabrication. Une tour conçue comme une œuvre d'art, qui a nécessité 200 tonnes de ciment blanc CEM II 42,5R SB pour réaliser les 480 m<sup>3</sup> de béton dosé à 500 kg/m<sup>3</sup>, réalisés sur place via une centrale mobile. La formulation du béton a été élaborée par le LERHM à Arles, selon un cahier des charges précis qui nécessitait la réalisation d'un béton de type granito au sol, à tous les étages de la tour.  
Maître d'ouvrage: **FONDATION LUMA**, assistée de **MYAMO**  
Maître d'œuvre: **GEHRY PARTNERS**.  
Studios architecture: **T/E/S/S, TERRELL, SETEC**  
Entreprise de construction: **TANZI SARL** (Tarascon)  
Livraison: 2018



© PAUL KOZLOWSKI

## L'ANALYSE DU CYCLE DE VIE (ACV)

L'analyse du cycle de vie (ACV) est une méthode d'évaluation normalisée permettant de réaliser un bilan environnemental multicritère et multi-étape d'un système (produit, service, entreprise ou procédé) sur l'ensemble de son cycle de vie.

## FDES

Une FDES est un document normalisé qui présente les résultats de l'analyse de cycle de vie d'un produit ainsi que des informations sanitaires dans la perspective du calcul de la performance environnementale et sanitaire du bâtiment pour son éco-conception. Les FDES sont encadrées par la norme NF EN 15804+A1 et son complément national NF EN 15804/CN. Elles prennent en compte l'ensemble du cycle de vie du produit, de l'extraction des matières premières à sa

fin de vie, les transports, la mise en œuvre et l'usage même du produit (cradle to grave). Les FDES constituent ainsi un outil multicritère majeur permettant d'aider les professionnels dans leurs choix pour rendre un bâtiment plus durable, avec des impacts limités sur l'environnement tout en créant une ambiance saine pour les futurs utilisateurs.

## LES CIMENTS "BAS CARBONE", DE NOUVEAUX MÉLANGES TERNAIRES

Les ciments à basse empreinte carbone sont en cours de certification NF. Cette étape obligatoire du contrôle de conformité d'un produit est à l'origine du délai entre la parution d'une norme (ici la NF 197-5, parue en octobre 2021) et la mise sur le marché des produits couverts par cette norme. La conformité à la norme d'un ciment ne peut se faire qu'en système dit "1+", c'est-à-dire

par prélèvement et contrôle réalisés par une « tierce partie », par un organisme indépendant. Celui-ci est agréé pour effectuer ces prélèvements (24 par an) ainsi que les analyses nécessaires pour vérifier la conformité du ciment aux exigences de constitution décrites dans la norme. Et cette certification devra se faire dans toutes les cimenteries de France qui souhaitent produire ces ciments "bas carbone".

### PROPORTIONNALITÉ, TENEUR EN CLINKER ET EMPREINTE CARBONE

L'empreinte carbone des ciments Portland est directement proportionnelle à leur teneur en clinker, le principe actif hydraulique nécessaire au développement des résistances mécaniques du ciment, et donc à sa solidité et à la durabilité des constructions. En complément du clinker, il existe des matériaux qui, finement broyés peuvent participer au développement des résistances: les « matériaux cimentaires », tels que le calcaire, le laitier, les cendres

volantes, les pouzzolanes, les pouzzolanes naturelles calcinées (dont les argiles calcinées). Ces derniers sont encore plus efficaces en présence de chaux. Aujourd'hui, la manière la plus simple de réduire rapidement l'empreinte environnementale des ciments est de diminuer le plus possible leur teneur en clinker, tout en conservant leur résistance mécanique. Et pour ce faire, certaines combinaisons alliant clinker et matériaux cimentaires se révèlent très pertinentes.

### NOUVEAUX MÉLANGES TERNAIRES: CEM II/C-M ET CEM VI

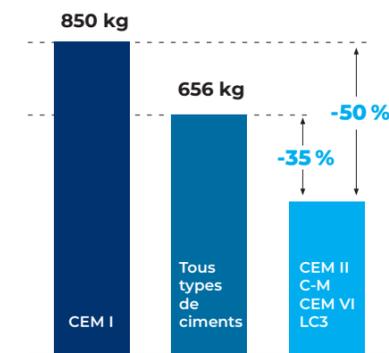
Des ciments à basse empreinte carbone, et donc à basse teneur en clinker ont été normalisés en mai 2021, qui associent au clinker un ou plusieurs matériaux cimentaires: les CEM II/C-M (M pour mélange) et les CEM VI. Ces ciments sont de nouveaux mélanges « ternaires », c'est-à-dire composés de clinker, et de deux autres matériaux

cimentaires (laitiers, cendres ou pouzzolane) et de calcaire. Leur teneur en clinker varie de 50 à 65 % pour les CEM II/C-M et de 35 à 50 % pour les CEM VI. Ces compositions permettent d'obtenir des performances mécaniques et de durabilité analogues aux ciments actuels, avec une réduction d'empreinte environnementale de 35 à 65 % par rapport au CEM I, le ciment utilisé pour les ouvrages d'art.

### LES CIMENTS LC3

Les ciments LC3 (Limestone Calcined Clay Cement) issus des travaux de la RILEM, correspondent au CEM II/C-M de la norme européenne NF EN 197-5. Ils sont constitués de clinker, métakaolin (argile calcinée) et de calcaire. L'interaction entre l'argile calcinée et le calcaire finement broyé favorise la formation de carbo-aluminates qui justifient d'une résistance mécanique supérieure à celle des ciments Portland de type CEM I. Ces différents ciments CEM II/C-M, CEM VI permettent donc de réduire l'empreinte

carbone de -50 % comparé à un CEM I (le ciment pur, sans ajout) et de -35 % comparé à la moyenne actuelle de tous les ciments.



**ÉMISSIONS DE CO<sub>2</sub> EN KG PAR TONNE DE CIMENTS À BASSE EMPREINTE CARBONE**