

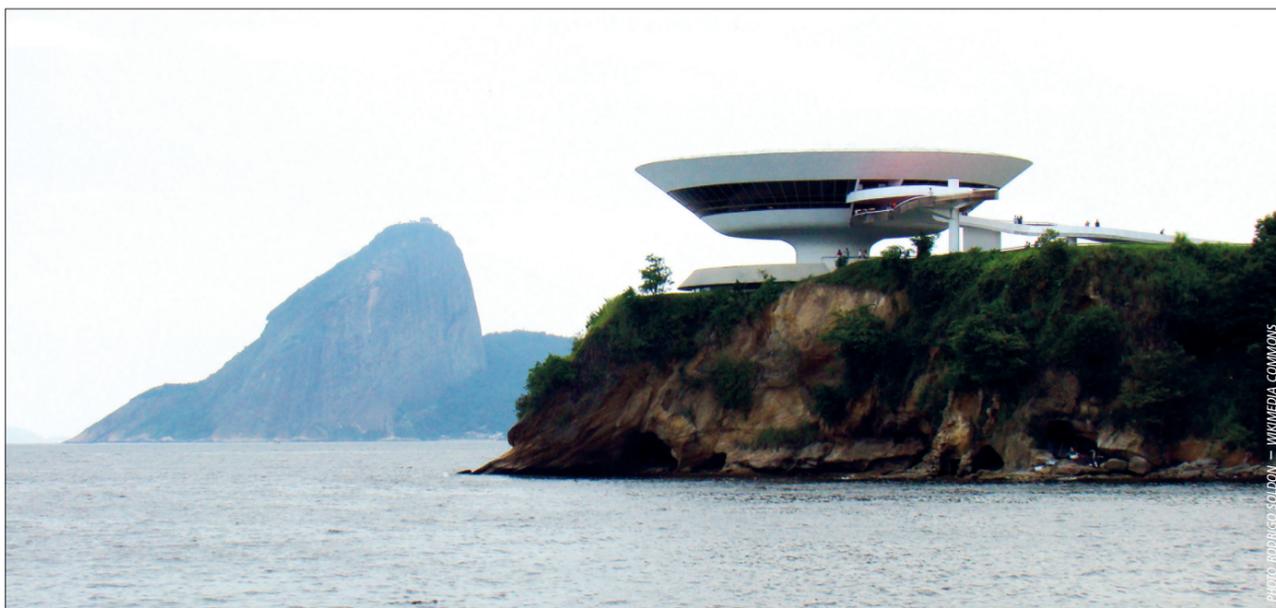
# Le béton, grand émetteur de CO2, aurait tout pour devenir plus durable

De nombreuses technologies existent pour réduire l'impact environnemental du béton de manière significative. Leur généralisation se heurte cependant à de nombreux obstacles, notamment à l'inertie du marché et des professionnels.

UN DOSSIER RÉALISÉ PAR  
PIERRE CORMON

La production de béton est l'une des principales sources d'émission de CO2 dans le monde. Les estimations varient, mais on lui attribue souvent 8% des émissions globales. C'est surtout la production du ciment, l'un de ses principaux composants (voir infographie), qui en est la cause. La production du ciment Portland, le plus utilisé, exige en effet de chauffer des ingrédients à environ 1450°C, ce qui se fait en grande partie avec des énergies fossiles qui émettent du CO2. En outre, pendant la formation du clinker – un produit intermédiaire –, du CO2 est relâché par la décomposition du calcaire.

Or, on fabrique des quantités pharamineuses de ciment: environ quatre milliards de tonnes par année dans le monde, soit environ cinq cents kilos par personne. Le béton est en effet un matériau très apprécié des acteurs de la construction: il est facile à utiliser, pas cher et peut prendre de nombreuses formes. Conscients du problème, les cimentiers ont déjà consenti des



LE BÉTON est particulièrement apprécié des architectes pour sa malléabilité (ici: Musée d'art moderne de Niterói, en face de Rio de Janeiro).

efforts pour réduire leur impact climatique. Premier axe: ils utilisent de nombreux déchets en tant que combustibles, à côté des énergies fossiles, comme des plastiques issus de l'industrie, des boues d'épuration, des résidus de bois, des pneus usés, etc.

## RÉSIDUS INDUSTRIELS

Deuxième axe: ils réduisent la proportion de clinker dans le ciment en le mélangeant avec différentes matières: cendres volantes de centrales à charbon, poussière émanant de l'exploitation de la roche calcaire, scories de hauts-four-

neaux, notamment. Troisième axe: certaines cimenteries valorisent la chaleur de la combustion. C'est le cas de celle d'Eclépens, la plus grande de Suisse romande, avec une production de huit cent mille tonnes de ciment par année. Elle injecte de la chaleur dans

un réseau de chaleur à distance qui alimente les ménages privés de quatre communes ainsi que des serres horticoles, un hôpital et deux centres postaux (dont le très grand centre de tri d'Eclépens). A l'autre bout de la chaîne, des cantons comme celui de Genève ou

des standards tels que Miner-ge-ECO promeuvent le béton recyclé. Les granulats issus de la déconstruction d'ouvrages remplacent des graviers et des sables naturels dans la recette du béton.

## DES PONTS À BÂTIR ENTRE RECHERCHE ET PRATIQUE

On est cependant encore loin d'avoir épuisé le potentiel d'amélioration du bilan écologique du béton. Des technologies plus propres existent, mais elles ne sont pas forcément plébiscitées par le marché. De plus, une partie des recherches n'est jamais appliquée. «Dans le monde universitaire, seules les publications comptent; la mise en pratique de nouvelles connaissances dans l'industrie par les chercheurs ne contribue pas à leur valorisation académique», regrette Eugen Brühwiler. «Une fois un travail publié, on passe à autre chose. Or, les professionnels ne font pas l'effort de lire la littérature scientifique. Il importe de bâtir des ponts entre la recherche et la pratique.» ■

## PROCESSUS DE FABRICATION DU BÉTON



## Les interlocuteurs de ce dossier

- **Eugen Brühwiler**, professeur au Laboratoire de maintenance, construction et sécurité des structures de l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL).
- **Denis Clément**, professeur à la Haute école du paysage, de l'ingénierie et d'architecture de Genève (hepia) et co-responsable du laboratoire d'essais des matériaux et structures.
- **Stéphane Fuchs**, membre du groupe professionnel environnement de la section Genève de la Société suisse des ingénieurs et architectes.
- **Valentin Gutknecht**, CEO de Neustark, une start-up bernoise issue de l'École polytechnique fédérale de Zurich qui récupère du CO2 auprès de la station d'épuration de Berne et le fixe, sous forme de calcaire, dans des granulats recyclés.
- **Daniel Kästli**, président de l'entreprise bernoise de construction Kästli Bau.
- **Abhishek Kumar**, fondateur de Nanogence, une start-up issue de l'EPFL qui commercialise des adjuvants permettant d'augmenter la proportion de substituts que l'on peut utiliser dans le ciment sans en altérer les propriétés.
- **Karen Scrivener**, professeure à l'EPFL.
- **Paola Tosolini**, spécialiste en construction durable et professeure à l'hepia.

## Le bâtiment, pas toujours exemplaire

A l'autre bout de la chaîne, les acteurs de la construction ne se précipitent pas forcément sur les solutions les plus durables. «Si le maître d'ouvrage ne donne pas d'instructions particulières, c'est l'architecte ou l'ingénieur qui a le plus d'influence dans le choix des techniques et des matériaux», relève Stéphane Fuchs. «Or, par souci de simplification, pour respecter les délais, le budget ou par manque de connaissance, il ne propose pas de minimiser l'utilisation de béton ou d'utiliser des matériaux recyclés.»

La double pression des coûts et des délais pousse plutôt à opter pour la solution la plus simple et la moins chère: couler du béton standard. Utiliser des graves recyclées complique en effet légèrement la tâche, surtout lorsque certaines parties du bâtiment requièrent du béton neuf. «Il y aura deux matériaux différents

à gérer au lieu d'un», note Stéphane Fuchs.

### PLANIFICATION

Autres obstacles: le béton recyclé n'est en général pas significativement moins cher. «Il ne l'est que par l'économie réalisée en évitant la taxe de mise en décharge du béton de déconstruction», explique Paola Tosolini. Comme les propriétés des granulats recyclés sont plus variables que celles des granulats naturels, il est indispensable de les tester. Or, «la vérification des caractéristiques mécaniques du béton est normalement réalisée lorsque le béton atteint l'âge de vingt-huit jours», relève Denis Clément. Son usage demande donc une bonne planification. Enfin, il n'a pas toujours une bonne image. «On pense qu'il est moins noble car il provient de déchets», note-t-il. L'usage de béton recyclé est donc loin

de correspondre à son potentiel. A Genève, il n'en représente qu'environ 30%, selon une estimation réalisée dans le cadre du programme cantonal Eco-mat.

Couler les installations techniques dans le béton coûte d'autre part moins cher à court terme, mais davantage à long terme puisqu'il faut tout casser pour les remplacer. La question de savoir qui assume le surcoût est donc centrale. «Les maîtres d'ouvrage sont plus attentifs à ces questions quand ils construisent des bâtiments pour leur propre usage que quand ils le font pour les revendre», note Paola Tosolini.

### INDUSTRIALISATION

Trop rares sont également les bâtiments où l'on cherche à diminuer la quantité de béton en faisant par exemple des dalles d'épaisseur différente,

des dalles nervurées, etc. selon les emplacements. «La pression des coûts et des délais a conduit à une «industrialisation» de la construction peu propice à l'économie de la matière», remarque Denis Clément.

Enfin, de nombreux acteurs de la construction se plaignent de manquer de recul sur ces nouveaux matériaux. «C'est quelque chose que l'on entend tous les jours», raconte Valentin Gutknecht. «Il existe pourtant des méthodes standardisées pour tester la manière dont ils se comportent au fil du temps. Sans quoi, si on devait attendre trente ou quarante ans avant d'avoir une idée de la manière dont un matériau vieillit, l'innovation serait impossible.» De nombreux décideurs préfèrent cependant se rassurer en optant pour la solution qu'ils connaissent bien, même si elle est moins écologique. ■

## Six solutions pour diminuer l'impact environnemental du béton

### 1 DIMINUER LA PROPORTION DE CLINKER DANS LE CIMENT

C'est la fabrication du clinker, principal composant du ciment, qui pèse le plus dans le bilan écologique de ce dernier. On améliore donc sensiblement ce bilan en lui substituant d'autres matériaux. Les rebuts industriels généralement employés dans ce but ne sont cependant pas toujours disponibles en quantité suffisante, ni équitablement répartis. Le Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherche (EMPA) a donc entrepris d'identifier des industries dont les résidus sont encore peu utilisés, comme le recyclage de déchets électroniques, pour les valoriser dans le ciment. Holcim a par exemple lancé un nouveau ciment réutilisant des granulats provenant de la démolition d'immeubles, le Susteno. Un consortium scientifique, dirigé par Karen Scrivener, a choisi une autre approche. Il a mis au point un nouveau ciment dans lequel 50% du clinker est remplacé par de l'argile calcinée et du calcaire broyé, des matières très répandues. «Dans les ciments destinés à des usages moins exigeants, on peut encore augmenter ce pourcentage», affirme-t-elle. Nanogence, une start-up issue de l'EPFL, commercialise des adjuvants qui permettent d'augmenter la proportion de substituts que l'on peut utiliser dans le ciment, sans en altérer les propriétés. «Ils le rendent même plus durable et moins cher», ajoute

Abhishek Kumar, son fondateur. Lancée en 2017, la start-up travaille déjà avec des grands noms de l'industrie, comme Lafarge Holcim, et a créé deux filiales, en Inde et en Chine. Elle se prépare à lancer un autre type d'adjuvants en 2021. «Ils permettront à un bâtiment en béton de mieux conserver la chaleur apportée par le chauffage dans un pays comme la Suisse et de mieux évacuer la chaleur dans un pays chaud, comme ceux du Golfe», annonce Abhishek Kumar.

### 2 UTILISER DES GRANULATS RECYCLÉS LORSQUE CELA A DU SENS...

A l'autre bout de la chaîne, pour former le béton, le ciment est mélangé avec des ressources naturelles, et notamment du sable et du gravier. En Suisse, si les réserves théoriques sont encore abondantes, les oppositions rendent extrêmement difficile d'ouvrir une nouvelle gravière. «En revanche, contrairement au gaz ou au pétrole, ils ne sont pas consommés pendant leur utilisation, mais continuent à exister physiquement, en grande partie dans leur état d'origine», précise Daniel Kästli. On peut donc les utiliser de manière circulaire.

De nombreuses instances s'efforcent donc d'encourager l'utilisation de granulats recyclés, issus de matériaux d'excavation ou de la démolition d'ouvrages existants. «Le béton recyclé est un matériau auquel je crois

beaucoup», confie Paola Tosolini. «Il faut l'utiliser astucieusement», explique Daniel Kästli. «Quand on a de très hautes exigences, comme dans le génie civil ou pour une station d'épuration, cela n'a pas de sens.» Pour lui donner les propriétés désirées, il peut être nécessaire d'utiliser beaucoup plus de ciment, selon la qualité des granulats, ce qui peut dégrader le bilan écologique. «De plus, on a actuellement besoin en Suisse de cinq fois plus de béton que la quantité que l'on recycle à partir des ouvrages existants. Il est donc écologiquement plus judicieux de produire un béton de haute qualité avec des matériaux extraits du sol, même si cela est possible autrement», ajoute Daniel Kästli. «L'empreinte écologique d'un produit n'est pas définie sur la base du contenu recyclé, mais sur la base du cycle de vie de ce produit.»

Le label Minergie-ECO exige qu'on utilise au moins 50% de béton recyclé dans le bâtiment, dans les parties où c'est possible. «Il faut cependant savoir qu'un béton doit contenir au minimum 25% de granulats recyclés pour être considéré comme tel», note Denis Clément.

### 3 ...ET LES FAIRE CAPTURER DU CO2

Les granulats recyclés peuvent capturer du CO2. C'est toute l'idée de Neustark, une start-up bernoise issue de l'Ecole polytechnique fédérale de Zurich.

«C'est un processus qui a lieu naturellement, nous ne faisons que l'accélérer», explique Valentin Gutknecht, son CEO. «Cela permet de diminuer de 10% la quantité de ciment utilisée, sans perdre de propriétés.» La commercialisation vient d'être lancée, par l'intermédiaire de l'entreprise Kästli et des discussions sont en cours avec d'autres acteurs. Plusieurs projets zurichois prévoient d'en utiliser. «Il faut cependant mener un gros travail de persuasion auprès de nos clients», relate Daniel Kästli. Le béton fabriqué de la sorte revient en effet environ 10% plus cher à l'heure actuelle. «Nous devons donc trouver des maîtres d'ouvrage d'accord de payer davantage. Ils existent, mais d'autres n'entreront jamais en matière.»

Neustark affirme cependant que l'évolution de sa technologie ainsi que la possibilité de vendre des certificats CO2 lui permettront bientôt de gommer le surcoût.

L'EMPA travaille également à mettre au point un béton permettant de capturer le CO2, notamment en utilisant du ciment à base de magnésium.

### 4 UTILISER MOINS DE BÉTON

Minimiser la quantité de béton coulée dans un ouvrage réduit l'impact environnemental de ce dernier. L'Université de St-Gall a ainsi mis en œuvre un système de corps creux dans un de ses nouveaux bâtiments, qui a permis de diminuer la masse

des plafonds de 17%. Cela requiert cependant un certain effort de l'architecte qui, sous pression des délais, peut être tenté d'aller au plus simple.

### 5 PENSER À L'ÉVOLUTION DU BÂTIMENT

Dans de nombreux bâtiments, les installations techniques (chauffage au sol, ventilation, etc.) sont coulées dans le béton. «Or, elles ont une durée de vie beaucoup plus courte», relève Paola Tosolini. «Quand on doit les changer, il faut casser la dalle de béton.» Une dalle qui doit ensuite être refaite. Un bâtiment conçu pour que l'on puisse accéder aux installations techniques, par exemple à travers des faux plafonds, permet donc de limiter l'usage de béton dans le temps.

### 6 PROLONGER LA DURÉE D'UTILISATION DES OUVRAGES

La durée d'utilisation des ouvrages a une influence énorme sur leur impact écologique. Plus rapidement on les démolit, plus on doit fabriquer du béton, avec les effets environnementaux que cela entraîne. C'est pour cela que l'EPFL a mis au point il y a une vingtaine d'années un nouveau matériau à haute performance, le BFUP, pour améliorer la construction d'ouvrages. «Le BFUP utilise deux fois plus de ciment par litre que le béton, mais il est si solide et résistant qu'il faut en utiliser quatre fois moins», explique Eugen Brüh-

wiler. «L'un dans l'autre, on emploie donc moitié moins de ciment.» De plus, le BFUP est imperméable et ne se dégrade pas sous l'influence de l'humidité, contrairement au béton. Cela réduit drastiquement les coûts d'entretien. «Nous venons de faire une étude comparative pour un viaduc ferroviaire: la variante en BFUP coûte 20% de moins que le projet en béton armé traditionnel pendant la phase de construction et aurait un impact environnemental d'environ 40% inférieur», affirme Eugen Brühwiler. «Un viaduc en BFUP n'aura presque pas besoin d'entretien; sur tout le cycle de vie, l'économie est donc de 50% par rapport à la construction traditionnelle en béton.»

Le BFUP permet également de prolonger la durée de vie des ouvrages existants, comme le viaduc autoroutier de Chillon, pour la réfection duquel il a été utilisé. Eugen Brühwiler s'est donné pour mission de sauver des ouvrages de la destruction en les renforçant au moyen du BFUP sur les endroits très sollicités, afin de conserver leur énergie grise (celle qui a été dépensée pour les construire). «Trop de professionnels sont formés à détruire un ouvrage au terme de ce qu'ils estiment être sa durée de vie», déclare-t-il. «Il n'y a aucune raison de le faire; la cathédrale de Lausanne est là depuis le Moyen Âge. Avec le BFUP, un pont d'autoroute peut aussi durer des centaines d'années.» ■

## Faire adopter un ciment durable, pas si facile...

Le ciment LC3 permet non seulement de faire baisser de 40% les émissions de CO2 dues au ciment, mais permet aussi au béton de mieux résister à la corrosion, affirment ses promoteurs. De plus, il est 10% moins cher et ses inventeurs ont renoncé à tout droit de propriété intellectuelle: ils ont mis la recette dans le domaine public. «Le coût est un facteur essentiel», estime Karen Scrivener. «La plupart des maîtres d'ouvrage ne sont pas prêts à payer un centime de plus pour du béton plus écologique.» L'utilisation du LC3 est-elle donc un *no-brainer*, comme on le dit aux Etats-Unis, c'est-à-dire une solution si évidente qu'il n'est même pas besoin d'y réfléchir? Les choses sont apparemment plus compliquées. Alors que le LC3 existe depuis 2014, il n'est pour le moment utilisé qu'en Colombie et en Côte d'Ivoire. Pourquoi le marché est-il si peu réactif? «La logique de l'industrie, c'est de tout continuer à faire comme elle l'a toujours fait», répond Karen Scrivener. «Les cimenteries sont d'énormes usines qui tournent sept jours sur sept, vingt-quatre heures sur vingt-quatre et arrêter la production pour faire un essai avec un autre matériau coûte très cher». Or, il s'agit d'un secteur très concurrentiel. Changer ses méthodes de production demande également



SI DE MULTIPLES TECHNOLOGIES permettent de diminuer l'impact écologique du béton, elles restent peu appliquées.

un effort. «Pour produire du LC3, on procède aux mêmes opérations, mais dans un ordre différent», note Karen Scrivener. «Il faut donc beaucoup d'explications.» Enfin, la production de LC3 requiert un investissement de quelques centaines de milliers à quelques millions de francs. «C'est peu, dans cette industrie», estime la professeure. Pour convaincre les acteurs de la filière, le consortium mené par l'EPFL a donc construit deux installations pilote, en Inde et à Cuba, où les essais peuvent être réalisés avec des matériaux fournis par les cimenteries. Elles ont été financées par la Direction du développement et de la coopération de la Confédération, qui travaille avec les scientifiques ayant mis au point le LC3

pour faire connaître et adopter ce ciment dans le monde. Le LC3 s'est encore heurté à un autre obstacle: jusqu'au début de cette année, la norme européenne EN 206 sur le ciment ne permettait pas d'utiliser le LC3, malgré qu'il ait des propriétés équivalentes au ciment Portland. Il a fallu plusieurs années pour l'adapter. Or, elle est aussi appliquée en Suisse et dans de nombreux pays d'Afrique. Ce problème réglé, le LC3 devrait être utilisé en Europe dès cette année.

### LES BESOINS, PUIS LA TECHNOLOGIE

Les normes jouent d'ailleurs un rôle essentiel dans la décision ou non d'adopter des substituts au clinker, juge Abhishek Ku-

mar. Les normes fixent leur proportion maximale pour les différents types de ciment. «Parfois, on est déjà près de la limite, parfois, il existe encore une marge», explique-t-il. «Dans le premier cas, un industriel ne sera pas très motivé à gagner quelques pour cent supplémentaires. Nous nous concentrons donc sur les types de ciment pour lesquels il reste la plus grande marge de substitution du clinker par d'autres produits.» La clé, pour Abhishek Kumar, est de partir des besoins du marché et des clients. «Nous devons nous concentrer sur leurs besoins et les associer à la mise au point de la technologie. Nous ne pouvons pas partir de la technologie en espérant qu'elle aidera le monde.» ■

## Les jeunes générations plus ouvertes

Les jeunes ingénieurs et architectes ont été formés à la construction durable, contrairement à leurs aînés. A la Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève, par exemple, la thématique est abordée de manière transversale les deux premières années et un cours spécifique lui est consacré la troisième. «Souvent, les jeunes professionnels sont très sensibles à ces questions et se retrouvent dans un bureau qui s'y intéresse peu», relève Stéphane Fuchs. «Ils sont un peu frustrés.» Le temps joue heureusement en leur faveur: un jour ou l'autre, leur génération sera aux commandes. Eugen Brühwiler regrette cependant que la formation soit trop portée sur les nouvelles constructions et pas assez sur la manière de prolonger la durée d'utilisation des ouvrages déjà bâtis. «On pense qu'étudier les nouvelles constructions permet de comprendre comment intervenir sur une structure existante»,

juge-t-il. «Quand on travaille sur celles-ci, comme je le fais depuis des années, on s'aperçoit que c'est très différent.»

### CONDITIONS CADRE

Une meilleure formation et de meilleures technologies ne suffiront toutefois pas, juge Eugen Brühwiler. «Les politiques et le public font une erreur fondamentale. Ils pensent que l'évolution technologique se produit naturellement, par le marché libre. Ce n'est pas vrai; il faut mettre en place des conditions cadre et des politiques incitatives, comme une taxe sur le béton neuf dont le produit serait utilisé pour encourager le recours au béton recyclé.» Quoi qu'il en soit, les mentalités évoluent. «Quand nous nous sommes lancés, en 2017, notre technologie n'intéressait pas grand monde», raconte Valentin Gutknecht. «Avec les mouvements de jeunes en faveur du climat, en 2019, nous avons senti un tournant.» ■



RÉGIE TOURNIER  
tournier.ch

### Location – Vente

Toutes opérations immobilières

Régie Tournier  
4, cours de Rive  
1204 Genève

T +41(0)22 318 30 70  
F +41(0)22 318 30 89  
E regie@tournier.ch