

Le béton, mis au défi des enjeux environnementaux

Guillaume Buttin, chargé de mission à La Fabrique Ecologique

La crise sanitaire que nous connaissons va accélérer le débat sur la densification des grandes villes, qui a contribué à l'aggravation de la pandémie et aux difficultés du déconfinement. Après la canicule, la « bétonisation » est ainsi de plus en plus mise sur la sellette. Ce décryptage fait ainsi le point avec rigueur sur l'usage de ce matériau, ses impacts environnementaux, et les évolutions possibles dans le cadre de la transition écologique.

Responsable de 40%¹ de la consommation énergétique globale, le bâtiment est l'un des secteurs névralgiques de la lutte contre le réchauffement climatique ; il serait ainsi à l'origine de 30% des émissions nationales de GES². Si l'on distingue les différentes étapes de son cycle de vie la construction représenterait 60% de l'empreinte carbone du bâtiment neuf³. Au sein de ces émissions le béton, et plus particulièrement le béton de ciment qui représente le type de béton le plus produit et consommé dans le monde, occupe une place centrale.

Les choses se jouent bien sûr à l'échelle mondiale sur fond d'omniprésence de quelques grandes puissances. Ainsi selon une étude de la « *United States Geological Survey* » la Chine aurait produit 2 400 000 millions de tonnes de béton en 2017, soit quasiment 700 000 millions de tonnes de plus que le reste du monde (Inde : 270 000 millions ; USA : 86 300 millions).

Ce décryptage se concentrera pour sa part sur le cas de la France. D'une part parce que les entreprises françaises du bâtiment font référence sur le plan international et que leurs pratiques (trajectoires de la filière et de l'industrie française, évolutions des usages sur le territoire) sont en ce sens significatives à analyser. D'autre part parce que ce secteur va devoir faire face à de nouvelles obligations de responsabilité dans un cadre législatif renouvelé par la récente loi sur l'économie circulaire.

Interroger l'avenir du béton de ciment sous l'angle environnemental suppose à la fois d'aborder l'ensemble des facteurs qui influencent sa production et d'anticiper les transformations que ce secteur va connaître. De la préservation de la biodiversité aux objectifs de la stratégie nationale bas carbone en passant par la surexploitation des ressources, quels objectifs faut-il fixer? On observe à la fois des avancées strictement techniques liées à la recherche et au développement, et une évolution du cadre juridique et politique d'exercice des activités. En arrière-plan se dessine un débat fondamental, celui de la place de la construction et de la densification urbaine dans notre société.

¹ <https://www.eco-conception.fr/data/sources/users/7/docs/2014-01-10-guide-materiaux-de-construction-final.pdf>

² Gaz à effet de serre

³ <https://www.batimentbas carbone.org/carbone-batiment/>

I. Pourquoi cette omniprésence du béton de ciment ?

A. Le béton, un matériau au cœur de notre société

1. Un mythe en béton

Bien que le béton dans sa conception large ait une histoire très ancienne, la découverte du béton de ciment aura été un déclencheur de son usage massif. Longtemps perçu comme un matériau pauvre, inférieur à la pierre, le béton de ciment est devenu un matériau phare du XXème et du XXIème siècle.

Son emploi lors de la seconde guerre mondiale a dopé son usage pour les infrastructures de défense notamment, stimulant ainsi les industries cimentières⁴. C'est à partir de la fin de la seconde guerre mondiale et de l'effort de reconstruction que le béton de ciment se développe réellement. Essor des grands ensembles périurbains, quartiers pavillonnaires mais aussi multiplication des infrastructures du transport (autoroute, parkings, ponts) ou énergétiques (centrales, barrages hydrauliques, gazoducs), la construction d'ouvrages en béton de ciment se diffuse sur le territoire et transforme notre rapport à l'espace. L'usage de ce matériau bouleverse les métiers de l'architecture et de la construction avec en toile de fond l'essor du béton préfabriqué. Du fait de ses performances mécaniques et thermiques et de sa robustesse, celui-ci devient le matériau de prédilection de grandes figures de l'architecture comme Le Corbusier. La volonté de performance est aussi là: il s'agit de construire plus rapidement et toujours plus haut (essor des grands ensembles dans les années 70).

La découverte du béton à hautes performances puis des Bétons Fibrés à Ultra-hautes Performances entre les années 1980 et 2000 stimule davantage encore son emploi pour des constructions dont la durabilité et les propriétés physiques s'améliorent. Ces découvertes permettent une utilisation variée qui s'illustre par un usage massif dans le BTP ainsi que pour des constructions plus complexes qui ouvrent de nouvelles perspectives architecturales avec des œuvres telles que l'Église Saint-Joseph du Havre d'Auguste Perret, le MUCEM à Marseille de Rudy Ricciotti, ou le projet de Bourse du Commerce à Paris de Tadao Ando.

Aujourd'hui le béton de ciment est le matériau le plus utilisé dans le monde avec l'équivalent d'une tonne par an par personne. Associé à une urbanisation exponentielle, il est considéré comme étant le plus rentable et le plus facile à utiliser. Derrière l'Allemagne, la France est le deuxième producteur de béton de ciment prêt à l'emploi en Europe. En 2017, elle en produisait environ 39 millions de mètres cubes.

Symbole de l'artificialisation des terres et de la densification urbaine pour les uns, de la mondialisation pour les autres, le béton de ciment cristallise les tensions. Davantage que son mode de production c'est la massification de son emploi qui soulève de nombreuses questions autour de l'extraction des ressources que cela suppose et de l'impact carbone inhérent à son utilisation. Ainsi chaque année, la seule production de béton (tout usage confondu) nécessite près d'un dixième des ressources en eau du sec-

⁴ Lavergne, Vincent. « Le tout béton en France : une longue histoire », *Tous urbains*, vol. 26, no. 2, 2019, pp. 14-15.

teur industriel, alors même que les phénomènes de stress hydriques sont amenés à se multiplier à l'avenir.⁵

Nombre de voix s'élèvent aujourd'hui contre l'ampleur de la « bétonisation » et l'importance prise par l'industrie du béton de ciment. L'abondance et le bas coût de sa production ont ancré le réflexe de la construction neuve au détriment de la rénovation ou la réhabilitation d'habitats existants. Cette évolution participe à l'érosion de la biodiversité et peut avoir un impact négatif sur certains écosystèmes propices à l'agriculture.

De nombreuses actions citoyennes s'opposent ainsi à la construction de nouvelles centrales à béton, comme aux Ulis où une pétition vise à « Obtenir l'annulation du permis de construire » et stopper un projet de ce type. Aujourd'hui les projets les plus emblématiques d'un usage effréné du béton de ciment sont ceux du Grand Paris et la construction de nouvelles infrastructures pour les Jeux Olympiques de Paris en 2024. Un usage massif du béton pour les fondations des nouvelles lignes de métros ou des nouvelles gares est notamment en cours ou prévu pour les réalisations à venir.

D'autres critiques portent sur la durabilité de ce matériau⁶ dans sa conception la plus répandue, le béton armé. Son usage est très répandu à cause de son prix concurrentiel. L'acier qui le compose réduirait sa durabilité du fait d'un phénomène de réactions électrochimiques liées à l'humidité qui provoquerait la rouille et pourrait dilater l'acier au point de fissurer le béton. De nombreux ponts mal entretenus témoignent de ce phénomène. L'effondrement d'un pont de 300 mètres le 8 avril 2020 en Italie pourrait en être une conséquence et une des enquêtes en cours sur l'effondrement du pont de Gênes s'intéresse à cette possibilité.

B. Un impact environnemental important

La production du béton est aujourd'hui confrontée à des contradictions fortes. La nécessité en termes de coût et d'impact carbone de produire au plus proche des chantiers majoritairement urbains pose aujourd'hui problème pour les populations proches de ces centrales à béton. De la pollution localisée aux questions de nuisances sonores, cette production fait débat. Elle est aujourd'hui source de contestations multiples.

1. L'exploitation des granulats

Mélange parfaitement dosé d'eau et de ciment, le béton de ciment est en grande partie composé de granulats, et particulièrement de sable. Les granulats sont une des ressources les plus exploitées au monde. Ils sont nécessaires, dans l'état actuel de la recherche et du développement des structures de recyclage, à la construction de la majorité des infrastructures et des constructions. Aujourd'hui, 50% des extractions de matériaux de la croûte terrestre sont dues à la production de matériaux de construction. En 30 ans, la demande de sable a augmenté de près de 360% et bon nombre de mines dans le monde ont été épuisées.

⁵ Miller, S.A., Horvath, A. & Monteiro, P.J.M. « Impacts of booming concrete production on water resources worldwide ». *Nat Sustain* 1, 69–76, 2018

⁶ <http://www.slate.fr/story/166382/constructions-beton-pas-si-durables-architecture>

L'exploitation de ces granulats pose des problèmes importants, au point que des « mafias du sable »⁷ se sont organisées après avoir pressenti la raréfaction de cette ressource. Or le sable est une ressource non renouvelable dont le manque de régulation à l'international permet l'extraction massive, à l'origine par exemple de la disparition d'îles entières en Indonésie. En France, certains collectifs de protection de l'environnement se sont créés pour se mobiliser contre l'extraction de sable tel que « *Le Peuple des Dunes en Trégor* » dans la baie de Lannion⁸. Ces dernières années, les projets de poldérisation tels que le « *Palm Island* » à Dubaï ou le remblai de la raffinerie de Dangote Lekki au Nigéria, qui a nécessité le dragage de pas moins de 30 000 000 de m³ de sable, ont prouvé à quel point l'exploitation des ressources pouvait être monumentale et ce au détriment d'écosystèmes entiers.

Selon Nicolas Bernon, ingénieur risques naturels au BRGM⁹, la production de béton a nécessité 30 gigatonnes de sable en 2017 et pourrait atteindre les 50 gt par an en 2030, ce qui dépasse largement les apports naturels par les fleuves. L'impact sur les écosystèmes sera différent pour l'exploitation de granulats marins, alluvionnaires ou encore en carrière. Mais dans tous les cas les dégradations environnementales sont importantes.

En France, bien que l'attribution des concessions et des droits d'extraction soit réglementée par le Code minier et le Code de l'Environnement, cette exploitation pose question au regard de la procédure de gestion des autorisations. Certains chercheurs¹⁰ estiment ainsi qu'il serait nécessaire d'adopter une approche globale et non localisée pour attribuer les permis d'extraction, car même si certaines exploitations sont très encadrées, elles participent à la raréfaction de la ressource et à l'exacerbation de phénomènes inquiétants qui ont une portée d'ensemble tels que l'érosion du littoral ou la perturbation des écosystèmes. Certaines zones d'ombre subsistent en outre concernant les effets de l'exploitation des granulats marins sur la biodiversité, par exemple l'impact sur le phytoplancton qui est à la base de la chaîne alimentaire maritime. La fabrication de béton de ciment a une double conséquence sur la biodiversité, depuis l'extraction des granulats jusqu'à l'artificialisation des terres.

2. Les émissions de CO₂ liées à la fabrication

Le bâtiment est un secteur primordial pour la Stratégie Nationale Bas Carbone. La décarbonation de ce secteur est nécessaire pour que les trajectoires d'émissions de GES baissent et que la France atteigne ses objectifs dans un contexte où la France n'a pas respecté ses engagements entre 2015 et 2018 en termes de budget carbone.

La production de ciment représente à elle seule 2,6 % des émissions nationales, soit 11% des émissions de l'industrie. Si les émissions sont passées de 380 millions de tonnes de CO₂ en 2006 à 311 millions en 2018, c'est à la fois grâce à une production moindre, mais surtout à l'évolution du secteur vers un ciment moins carboné. Un des prochains enjeux est donc la mise en place de la nouvelle réglementation énergétique qui doit s'appliquer aux constructions neuves à partir de 2021.

⁷ <https://www.nationalgeographic.fr/photographie/2019/06/inde-enquete-sur-la-mafia-du-sable>

⁸ <http://peupledesdunesentregor.com>

⁹ Bureau de Recherches Géologiques et Minières

¹⁰ Par exemple Eric Chaumillon, enseignant-chercheur en géologie marine à l'Institut national des sciences de l'Univers rattaché au CNRS : <https://www.la-croix.com/Sciences/Environnement/L'extraction-sable-marin-elle-prejudiciable-lenvironnement-2016-09-12-1200788324>

Au-delà des règles liées aux émissions directes (scope 1) et indirectes (scope 2) d'énergie, ce nouveau dispositif devrait affecter l'ensemble du cycle de vie du bâtiment depuis sa construction et relever l'exigence vis-à-vis du budget carbone alloué pour la construction d'un bâtiment neuf. Pour évaluer l'impact carbone du cycle de vie d'une construction, l'Etat a déposé un label Energie Plus/Carbone Moins (E+/C-) en 2016. Le débat est ouvert sur le caractère plus ou moins restrictif de la norme à retenir. Plus elle sera exigeante, plus les objectifs de la stratégie nationale bas carbone pourront être atteints. Mais les effets sur les coûts des chantiers seront dans ce cas très importants et nécessiteront un effort et des investissements supplémentaires de l'industrie du béton de ciment et du ciment.

Jusqu'à présent l'industrie cimentière était partiellement à l'abri puisqu'une partie des quotas alloués par le système européen d'échange de quotas d'émissions de gaz à effet de serre sont gratuits. Mais les prix de la tonne de ciment devraient augmenter pour la quatrième phase de ce marché qui se déroule entre 2021 et 2030 et affecter fortement ce secteur en l'absence de mesures structurelles.

II. L'évolution des filières bétons

A. L'optimisation environnementale de la fabrication.

Comme évoqué précédemment, face à la pression juridique et des investisseurs, les industries du béton et du ciment ont dû adapter leur modèle de production en optimisant leur impact carbone. Si l'industrie optimise les technologies conventionnelles connues à l'heure actuelle, elles pourraient réduire de 32% ses émissions de gaz à effet de serre par rapport aux émissions de 1990, contre 14% entre 1990 et 2016¹¹. Cette réduction pourrait monter jusqu'à 80% si les investissements dans la recherche étaient accrus, notamment en ce qui concerne les technologies de séquestration du carbone.

Les réductions obtenues ces dernières années sont dues à plusieurs transformations. Au cours du cycle de vie du béton de ciment, la partie la plus polluante est la production du clinker, mélange d'argile et de calcaire. Ce clinker, qui devient du ciment une fois broyé, est le produit de la combustion dans des fourneaux de ces deux roches. Les fourneaux nécessaires à cette combustion requièrent des carburants fossiles et rejettent énormément de CO₂. Ce phénomène étant dû en partie à la décarbonation du granulats calcaire qui est à lui seul responsable des deux tiers des émissions de CO₂ lors de la fabrication du ciment.

Une partie de la recherche menée ces dernières années vise de fait à améliorer les technologies liées à la production du clinker. Elles portent non seulement sur le fonctionnement des fours, avec des innovations visant à substituer les combustibles fossiles par des déchets industriels ou de la biomasse, ou encore la création de nouveaux types de ciments qui proposent les mêmes propriétés physiques. En effet, le remplacement des roches permet la diminution de la température nécessaire au processus et un moindre rejet de CO₂ dû à la décarbonation du calcaire.

Les technologies « révolutionnaires » s'intéressent davantage à la recherche sur la séquestration du carbone. En Norvège, la compagnie *Norcem* du groupe *Heidelberg Cement* tente de développer des

¹¹ Etude en 2018 de l'European Cement Research Academy et de CEMBUREAU : https://lowcarboneconomy.cembureau.eu/wp-content/uploads/2018/12/CEMBUREAU-BUILDING-CARBON-NEUTRALITY-IN-EUROPE_final.pdf

technologies de capture et de stockage du CO₂ en post-combustion qui réduiraient drastiquement leur empreinte carbone. L'ECRA finance par ailleurs des recherches sur l'oxycombustion qui est une méthode de combustion à base d'air pur permettant d'isoler plus simplement le CO₂ afin de le réemployer.

Ces perspectives de réduction de l'empreinte carbone peuvent paraître positives, mais il ne faut pas occulter que les émissions de CO₂ n'en seront pas diminuées et que ces technologies de séquestration ou de stockage n'en permettront qu'une gestion optimisée à défaut d'une réduction liée à une baisse de l'activité émettrice.

B. Le développement des filières de recyclage

Les évolutions techniques de l'industrie cimentière ne sont pas les seuls leviers d'action dont elle dispose. Au-delà de la production et la construction en circuit court, privilégiées en raison de l'impact des coûts de transport, l'économie circulaire est une perspective importante pour ces acteurs. Le recyclage du béton et des déchets liés au bâtiment est devenu un enjeu majeur pour l'industrie. Dans l'UE, les déchets générés par le secteur constituent près de 1/3 de l'ensemble de ceux produits et représentent le flux principal en termes de volume. Selon les pays de l'Union Européenne, la gestion des déchets liés au bâtiment est plus ou moins avancée. Aux Pays Bas et en Belgique, par exemple, leurs taux de réemploi sont extrêmement élevés.

En France, : « *l'économie circulaire est définie par la loi de 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte comme visant à (...) une consommation sobre et responsable des ressources naturelles et des matières premières primaires ainsi que, par ordre de priorité, à la prévention de la production de déchets, notamment par le réemploi des produits, et suivant la hiérarchie des modes de traitement des déchets, à une réutilisation, à un recyclage ou, à défaut, à une valorisation des déchets* ». 70% des déchets doivent notamment être valorisés d'ici 2020.

En 2018, deux tiers des 71 départements diagnostiqués affichent un taux de recyclage, réemploi et de valorisation compris entre 65% et 90%¹². Mais la gestion de ces déchets reste plus difficile que dans d'autres pays. Les décharges sauvages sont nombreuses alors qu'elles ont un coût économique et environnemental important pour les collectivités¹³. La nouvelle loi portant sur l'économie circulaire, qui instaure la création d'une filière de responsabilité élargie du producteur (REP) applicable dès 2022 pour les « *produits ou matériaux de construction du secteur du bâtiment destinés aux ménages ou aux professionnels* »¹⁴, va toutefois dans le sens d'une meilleure responsabilisation des acteurs du bâtiment.

Aujourd'hui si près de 70% des bétons de ciment issus de la démolition sont valorisés, ces granulats recyclés servent essentiellement à la construction de route et à leur remblaiement. Bien trop peu sont employés dans la construction.

L'enjeu du recyclage du béton de ciment a fait l'objet d'un Projet National de Recherche mené de 2012 à 2018 nommé Recybéton qui découle du constat suivant : « *La France produit chaque année environ 260*

¹² Etude Recybéton / Janvier 2018

¹³ https://www.lemonde.fr/smart-cities/article/2019/11/20/batiment-comment-faire-du-dechet-une-ressource_6019898_4811534.html

¹⁴ <https://www.actu-environnement.com/ae/news/loi-economie-circulaire-dechets-batiment-rep-34826.php4>

millions de tonnes de déchets du BTP. A l'heure actuelle, seule une fraction de ces déchets sont recyclés. La part de granulats recyclés est estimée à seulement 10% de la production nationale totale de granulats. Certains pays européens comme l'Allemagne, les Pays-Bas, le Danemark, la Norvège ou la Suisse, réalisent déjà des bétons de structure incorporant du granulat recyclé. »¹⁵

La transformation du secteur vers un emploi plus important de granulats de béton recyclé au détriment de granulats naturels s'amorce. Mais des freins importants existent.

Un des premiers est lié à l'aspect réglementaire de l'emploi du béton. Son recyclage pose de nouvelles questions de traçabilité de ses composants et de la qualité de ses propriétés. Pour Serge Favre, ingénieur chimiste et expert béton chez Léon Grosse : « on choisit les granulats en fonction de critères techniques, qui dominent, et économiques. La qualité des matériaux est directement fonction des ouvrages que l'on a à faire (ouvrages d'art, tunnels de métro, bureaux, logements...) Il faut atteindre à la fois de bonnes résistances, une bonne plasticité, et de beaux parements. »¹⁶. C'est d'ailleurs ce que le président de l'association Circolab énonce en rappelant que les maîtres d'ouvrage et constructeurs ont besoin de garantir la conformité du produit réemployé. Par ailleurs, il ne semble pas si évident que les ressources en déchets soient suffisantes pour assurer un taux de substitution assez élevé. Ainsi, au Pays Bas, certains acteurs de la filière sont contraints d'importer des déchets de pays étrangers, impactant de manière considérable les externalités négatives liées au transport.

Autre difficulté : plus le taux de substitution des granulats naturels par des granulats de béton recyclé est élevé, plus la teneur en ciment, et donc en clinker, doit être élevée pour que la résistance mécanique soit équivalente. Ce qui a pour effet d'augmenter l'impact carbone de la production de ce ciment¹⁷. La qualité du granulat de béton recyclé est donc un facteur essentiel de la lutte pour la réduction des GES. Le développement du recyclage nécessite donc des financements de recherches sur les matériaux mais aussi des améliorations du processus de recyclage lui-même. Or les délais nécessaires pour mener ces recherches vont à l'encontre des impératifs de rentabilité économique du secteur. Une solution émergente pourrait être de favoriser des processus de déconstruction, dont la finalité est la récupération des matériaux, aux dépens de la démolition, qui nécessite un tri à posteriori beaucoup plus complexe.

Le troisième frein est celui du transport, qui peut nuire à l'utilisation de granulats de béton recyclé. On estime généralement que le prix des granulats peut doubler en fonction du transport. L'approche locale de la production du ciment et du béton est ainsi dû à des contraintes physiques mais aussi de coût. Selon les distances entre les centrales à béton et les sites de production de ces granulats, l'impact peut être plus ou moins important. Pour pallier cet écueil, certaines centrales optimisent le coût carbone du transport en s'installant près des fleuves, privilégiant le transport par bateau.

Les investissements requis constituent le quatrième et dernier frein au développement de cette approche plus durable. Pour beaucoup de constructeurs, le coût économique du granulat naturel est moindre que celui du granulat de béton recyclé. Le développement du recyclage suppose donc un volontarisme des acteurs industriels et des incitations financières ou juridiques.

¹⁵ <https://www.pnrecybeton.fr>

¹⁶ <https://www.usinenouvelle.com/article/le-recyclage-du-beton-bute-sur-plusieurs-obstacles.N448632>

¹⁷ https://www.ifsttar.fr/fileadmin/user_upload/editions/ifsttar/ouvrages scientifiques/2018-OSI4-ouvrages scientifiques-Ifsttar.pdf

Un des choix complémentaires à celui du recyclage abordé dans la loi de 2015 est celui du réemploi. Contrairement au recyclage, le réemploi promeut la réutilisation des matériaux sans qu'ils subissent trop de transformations. Au-delà des économies de coût liées aux infrastructures, cette méthode vise à réduire le temps de transport des matériaux et ainsi l'impact carbone. Il n'en est pourtant qu'à ses balbutiements en France avec des initiatives qui germent sur le territoire telle que le collectif d'architecte *Bellastock*. Dans le cadre d'un programme de rénovation urbaine à Stains, cette association ainsi qu'un bailleur social se sont associés pour répondre à un appel à projet lancé en 2015 par la Caisse des dépôts et l'Union Sociale pour l'Habitat. Suite à la démolition de deux immeubles, ils ont réutilisé le béton de ciment dans de nouveaux ouvrages urbains. Le *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment* a pu réaliser une étude ainsi qu'un guide de bonnes pratiques à partir de cette expérimentation qui servira de modèle pour d'autres par la suite.

Par ailleurs, certains collectifs tels que le collectif belge *Rotor*, en partenariat avec *Bellastock* et d'autres acteurs européens, tentent de diffuser cette alternative. Le projet FCRBE (*Facilitating the Circulation of Reclaimed Building Elements*), financé à 50% par l'UE, a pour objectif d'augmenter de plus de 50 % la quantité d'éléments de construction récupérés, qui circulent dans le nord-ouest de l'Europe d'ici 2032.¹⁸

Ces exemples illustrent que les filières de recyclage et de réemploi ne peuvent se développer sans un réel travail de coordination entre les acteurs politiques et industriels. La gestion des données et d'outils numériques facilitant la mise en réseau de tous les acteurs est un élément clé de la réussite de ces alternatives.

III. Quelles alternatives au tout béton ?

Les réalités économiques ou techniques expliquent en grande partie son suremploi. Il existe cependant des alternatives qui comportent certes des difficultés mais qui méritent d'être développées.

A. De l'enjeu des matériaux bio-sourcés et géo-sourcés...

Le 18 janvier 2018, un manifeste « *pour une frugalité heureuse et créative* » a été publié¹⁹. Ce document met en lumière les émissions dues à la construction dans son approche actuelle. Une de ses parties consacrée à la « *frugalité en matière* » aborde les alternatives au béton que sont le bois, la terre crue ou d'autres isolants bio-sourcés.

Les matériaux en fibres végétales bio-sourcés sont en vogue et la loi de transition énergétique de 2015 veut promouvoir leur développement du fait de leur capacité à stocker le carbone. Selon une définition du Ministère de la Cohésion des territoires : « *les matériaux bio-sourcés sont issus de la matière organique renouvelable (biomasse), d'origine végétale ou animale. La nature de ces matériaux est multiple : bois, chanvre, paille, ouate de cellulose, textiles recyclés, balles de céréales, miscanthus, liège, lin, chaume, etc. Leurs applications le sont tout autant dans le domaine du bâtiment et de la construction : structure, isolants, mortiers et bétons, matériaux composites plastiques ou encore dans la chimie du bâtiment (peinture, colles...)* ». Ces matériaux sont la base de nombreuses expérimentations qui s'inspirent à la fois de sa-

¹⁸ <https://www.cstb.fr/fr/actualites/detail/cstb-soutient-economie-circulaire-dans-la-construction-echelle-europeenne-2020-02/>

¹⁹ <https://www.frugalite.org/fr/le-manifeste.html>

voirs « ancestraux » mais aussi d'ingénierie moderne. Ils invitent par ailleurs à reconsidérer une approche plus locale des ressources, du fait de leur diversité, qui nécessite un savoir-faire ancré localement. Ainsi, la paille, par exemple, favorise une approche circulaire en permettant aussi à certains agriculteurs de valoriser leurs déchets.

Les prix des *Fibra Award*²⁰ illustrent l'ingéniosité des constructions à base de matériaux bio-sourcés. La diversité de ces architectures (écoles, salles de Congrès, bureaux...) en prouve le potentiel. Mis à l'honneur lors d'une exposition au Pavillon de l'Arсенal²¹, ces ouvrages présents à travers le monde démontrent qu'une pluralité de matériaux peuvent être employés, du béton de chanvre aux bottes de paille porteuses aux charpentes et parois brise soleil en bambou. Parmi les lauréats de ce concours, une sélection de six bâtiments a fait l'objet d'une évaluation environnementale qui a démontré l'impact positif de leur utilisation.

Le bois dispose de son côté de propriétés écoresponsables adéquates pour la construction de plusieurs types de bâtiments. Son usage dans la construction est de plus en plus commun : en 2018 le chiffre d'affaires (1,9 Md€) s'accroît de 13% par rapport à 2016 pour tous types d'usages²². Matériau stockeur de carbone, produisant peu de déchets, des performances d'isolation thermiques et acoustiques remarquables et une régulation naturelle de l'humidité, il constitue une alternative de substitution très crédible au béton de ciment. Contrairement à ce que l'on pourrait penser, certains types de bois sont aussi résistants au feu.

L'apparition du « *cross laminated timber* », permet des ouvrages de plus en plus audacieux tels que les tours *Hyperion* et *Silva* qui seront situées près de la Gare Saint Jean à Bordeaux. Pour certains experts, cette technique rendrait le bois aussi résistant que certains bétons et serait plus efficace en termes de vitesse de construction.

Le bois a fait l'objet entre 2018 et 2020 d'un contrat de filière et d'un plan d'action interministériel de développement de son usage²³. Il est au cœur de politiques territoriales comme le « *Plan bois construction III* »²⁴ dans le Grand-Est qui vise à diffuser les pratiques de ce matériau dans la construction ainsi qu'à augmenter sa part dans le secteur public. Il est un des matériaux phares de l'expérimentation du label E+/C- qui encadrera les futures réglementations du bâtiment. La construction en bois ne représente aujourd'hui que 6,3% des logements neufs et 16,3% du bâti non résidentiel, mais les perspectives sont encourageantes²⁵.

D'autres acteurs du bâtiment prônent aussi l'usage de matériaux géo-sourcés tel que la terre crue. Historiquement, ce matériau est l'un des plus anciens et répandus au monde. Son abondance et sa recyclabilité infinie en fait un des matériaux les plus écoresponsables. Certaines limites comme sa sensibilité à l'eau peuvent être problématiques, mais elle est utilisée depuis des siècles pour des architectures mo-

²⁰ <https://www.fibra-award.org/?lang=fr> : premier prix mondial des architectures contemporaines en fibres végétales

²¹ <https://www.pavillon-arsenal.com/fr/expositions/11374-fibra-architectures.html>

²² <https://www.batiactu.com/edito/construction-bois-gagne-parts-marche-56781.php>

²³ <https://agriculture.gouv.fr/filiere-foret-bois-le-gouvernement-annonce-un-plan-daction-interministeriel-et-signe-le-contrat-de>

²⁴ <http://www.grand-est.developpement-durable.gouv.fr/le-plan-bois-construction-iii-signe-le-28-a17090.html>

²⁵ http://afcobois.fr/wp-content/uploads/2019/07/ENQUETE_CONSTRUCTIONBOIS_JUIN_2019.pdf

numérales. En France, il subsiste encore des bâtiments de plusieurs étages construits en pisé, notamment dans le quartier de la Croix Rouge à Lyon.²⁶

L'association CRAterre²⁷ défend la terre crue depuis quarante ans et tente de redynamiser son usage. Son manifeste indique qu'elle constitue l'habitat de près de deux tiers de la population mondiale et qu'elle est aujourd'hui utilisée dans près de 190 pays. Elle permet un lien entre patrimoine et la recherche expérimentale, par le développement de spécificités locales en termes de ressources, de culture et de savoir-faire.

Cette association promeut par ailleurs le béton d'argile environnemental²⁸. Ce matériau, qui peut se décliner selon son usage tout comme le béton de ciment, possède des propriétés thermiques et mécaniques remarquables. Toutefois les professionnels butent sur certaines contraintes et l'absence d'un référentiel réglementaire dont ils espèrent la révision. Actuellement les pouvoirs publics travaillent sur un Projet National de Recherche (à l'image de Recybéton) pour dynamiser et encadrer davantage ce secteur de construction.²⁹

Depuis quelques années, les innovations en la matière ont permis de renforcer ces nouveaux bétons ou encore de trouver des substituts au ciment Portland classique³⁰. Cependant, les parts de marché du béton de ciment restent extrêmement majoritaires. En 2018, selon des données publiées par Batiétudes et reprises sur le site *Batiactu* : « Pour les dalles et planchers, quel que soit le type de logements, le béton écrase la concurrence. Pour ce qui est des murs extérieurs, il détient 54,6% de parts de marché (70,3% en collectif) ; et, en matière de murs intérieurs, la tendance est stable pour le collectif comme en maison individuelle groupée, et en hausse de cinq points en maison individuelle isolée sur cinq ans (à 65,3%). »³¹

Les freins au développement des alternatives diffèrent selon l'état de la recherche, ou sont pour partie techniques, mais aussi d'ordre culturel et structurel. Le béton est devenu un matériau perçu comme noble après avoir été considéré comme un matériau pauvre face à la pierre. Il est cependant indispensable de surmonter ces blocages pour que les choix intègrent mieux les critères environnementaux.

B. ... à la question du construire autrement

L'impact de la construction sur l'environnement est directement lié à notre rapport à l'architecture et à l'urbanisme. Une grande partie des émissions directes ou indirectes de gaz à effet de serre (GES) dans le monde sont le fait de territoires urbains, et ces territoires doivent se réinventer pour s'adapter aux enjeux à venir, ce qui suppose de définir de nouveaux courants architecturaux et d'urbanisme.

²⁶ <https://theconversation.com/le-plus-vieux-matériau-de-construction-au-monde-est-aussi-le-plus-ecoresponsable-133587>

²⁷ <http://craterre.org>

²⁸ Elle a participé entre 2010 et 2013 à un projet de recherche financé par le Ministère de l'Ecologie consacré à ce matériau : <http://www.amaco.org/spiral-files/download?mode=inline&data=3162>

²⁹ <https://www.cahiers-techniques-batiment.fr/article/construire-en-terre-qui-l-eut-cru-.40541>

³⁰ Par exemple la technologie d'activation alcaline développée par la société Argilus, qui permet de ne plus passer par la combustion à l'origine des émissions les plus fortes puisque la réaction moléculaire se fait à froid pour produire du ciment d'argile, et d'utiliser des sables non marins inutilisables dans les procédés de formation du ciment classique.

³¹ <https://www.batiactu.com/edito/2018-beton-a-tenu-son-rang-56928.php>

L'une des problématiques centrales que nous avons eu l'occasion d'évoquer précédemment est celle de l'étalement urbain et de la bétonisation induite. Si des matériaux alternatifs au béton de ciment existent pour certains types d'infrastructures, une majorité d'entre eux requièrent son usage. Et même si tous les efforts en termes de recyclage étaient fournis, l'insuffisance de recyclats et l'énergie nécessaires à la construction aurait un impact environnemental. Pour une politique urbaine durable, il faudrait aussi évoluer vers une dématérialisation, c'est-à-dire « *une consommation moindre de matières, associée à une substitution autant que faire se peut du non-renouvelable par le renouvelable.* »³².

Une des pistes explorées par les urbanistes et les architectes est celle de la réhabilitation au sens large³³. La multiplication de projets de réhabilitations sur le territoire, par exemple d'anciens sites industriels ou de lotissements d'habitat est de ce point de vue un bon signe. Dans le contexte de l'étalement urbain, la vacance d'une part considérable de l'immobilier en France constitue une véritable anomalie. Plutôt que la construction de bâtiments pour des fonctions uniques, le cabinet « *Canal Architecture* » défend par exemple une architecture de la réversibilité qui optimise les espaces vacants mais actuellement non-habitables³⁴.

Ce type de conceptions architecturales et de l'urbanisme se retrouve depuis quelques décennies dans plusieurs initiatives. La « *Charte d'Aalborg* »³⁵ signée en 1994 par 2550 villes européennes contient l'engagement que d'« *éviter la prolifération urbaine, en obtenant des densités urbaines appropriées et en donnant la priorité aux friches industrielles sur les terrains situés hors milieu urbain.* » et « *appliquer les exigences posées par la conception et la construction durables et favoriser l'architecture et les techniques de construction de haute qualité.* ». Certaines villes telles que Malmö en Suède ou Aalborg au Danemark (très certainement stimulée par le fait que la charte porte son nom) ont développé de grands chantiers de réhabilitation d'anciens quartiers industriels, l'autosuffisance énergétique des quartiers et un urbanisme centré sur le piéton. Des analyses plus récentes montrent néanmoins les lacunes en terme d'investissements pour la réhabilitation de quartiers populaires ou encore les émissions carbone importées dues à la fabrication de toutes ces technologies.³⁶

A une toute autre échelle, le réseau des « *Cittaslow* »³⁷ représente plus de 260 villes de moins de 50 000 habitants engagées dans des transformations visant la décroissance économique tout en optimisant les facteurs propices au bien-être des habitants. La ville durable se définirait ici davantage comme une « *ville qui répond à ses besoins sans externalités négatives reportées sur d'autres territoires et populations* »³⁸. S'il existe aussi une charte, ce réseau requiert des villes les transformations urbaines préalables à leur labellisation par l'association. Ces villes doivent notamment s'engager à privilégier la réhabilitation du patrimoine urbain au détriment de la construction de bâtiment neuf.

³² Barles, Sabine. « *Écologie territoriale et métabolisme urbain : quelques enjeux de la transition socioécologique* », Revue d'Économie Régionale & Urbaine, vol. décembre, no. 5, 2017, pp. 819-836.

³³ Définie comme « *le fait de réaménager un local, un bâtiment ou un lieu (quartier, friche, espace vert...). Elle consiste à garder l'aspect extérieur du bâtiment, à améliorer le confort intérieur et économiser l'énergie* ».

³⁴ <https://canal-architecture.com/sites/default/filesystem/files/publications/construire-reversible-555/201704construireversible.pdf>

³⁵ https://ise.unige.ch/isdd/IMG/pdf/Charte_Aalborg.pdf

³⁶ "S. Holgersen, A. Malm. « "Green fix" as crisis management. or, in which world is Malmö the world's greenest city? » Article in Geografiska Annaler Series B Human Geography, 2015

³⁷ <https://www.cittaslow.org/news>

³⁸ D. Bourg, A. Papaux « *Dictionnaire de la Pensée écologique* », Editions PUF, 2015

Réenvisager l'urbain est donc une voie à privilégier pour construire moins et plus durable dans une perspective de réduction de l'emploi des matériaux, avec une préoccupation importante, ne pas faire l'impasse sur la question sociale inhérente à ces transformations urbaines. Le concept de justice environnementale devrait ainsi être pris en considération dès la genèse de ces projets. Les exemples évoqués montrent que le changement doit être systémique, et les autorités compétentes penser le territoire urbain dans sa globalité sans tomber dans l'écueil des éco-quartiers promus comme des vitrines. La réflexion doit toucher une multitude de secteurs de la Ville parmi lesquels l'économie circulaire, le transport, la propreté ou encore les outils de démocratie locale. Entretenir un rapport systémique au tissu urbain permet de mieux stimuler les relations d'interdépendance entre les différents agents qui constituent ce territoire.

CONCLUSION

Le développement de ces alternatives suppose des investissements très importants. L'enjeu ne saurait se réduire au seul choix des matériaux mais suppose des transformations dans nos manières de penser, de construire et de transformer nos lieux de vie et de travail. L'ensemble des acteurs concernés, des citoyens, aux entreprises en passant par les architectes et les urbanistes et les acteurs publics qui devraient interagir dans ce sens.

L'architecte Philippe Madec illustre parfaitement cette philosophie : « *Construire durable, c'est aussi savoir de ne pas construire. Le principal enjeu, c'est d'arrêter de détruire, pour plutôt réhabiliter massivement le monde déjà là.* ». Une vision que défend le manifeste « *pour une frugalité heureuse et créative* », signé aujourd'hui par plus de 8000 professionnels.

GLOSSAIRE

Béton : Matériau composé d'un mélange de granulats et d'un liant hydraulique ou hydrocarboné, de nombreux types de bétons ont été inventés. Utilisé seul, ce terme désigne en particulier le béton de ciment ou hydraulique qui est un mélange de sable, de gravier, de ciment et d'eau, avec éventuellement des adjuvants et/ou des produits d'addition.

Béton armé : Matériau constitué par l'association d'un béton hydraulique et d'armatures en acier disposées de manière à résister aux contraintes de traction, à limiter l'ouverture des fissures et éventuellement à renforcer la résistance à la compression du béton

Béton de ciment : Béton hydraulique le plus commun à base de sable, de gravier, de ciment et d'eau.

Béton à haute performance : Béton dont la composition et la sélection des constituants permet d'atteindre des performances supérieures aux bétons traditionnels. Sa faible porosité lui confère une plus grande durabilité que le béton ordinaire. Initialement utilisé pour de grands ouvrages, son emploi devient plus courant.

Ciment : Le ciment est un liant hydraulique fabriqué à partir du clinker, obtenu par la combinaison chimique à très haute température de calcaire et d'argile. Le clinker est ensuite broyé avec des ajouts, dans des proportions très précises, qui donneront au ciment des caractéristiques spécifiques. Selon les usages il existe différents types de ciments.

Granulats : Ensemble des sables, graviers, cailloux constituant les mortiers et bétons.

Poldérisation : Aménagement d'un polder, vaste étendue endiguée et asséchée, conquise sur la mer, sur les marais littoraux ou sur des lacs, située à une cote inférieure au niveau maximal du plan d'eau.

Recyclage : Toute opération par laquelle la matière première d'un déchet est utilisée pour fabriquer un nouvel objet.

Réemploi : Toute opération par laquelle des substances, matières ou produits qui ne sont pas des déchets sont utilisés de nouveau pour un usage identique à celui pour lequel ils avaient été conçus.

Réutilisation : Toute opération par laquelle des substances, matières ou produits qui sont devenus des déchets sont utilisés de nouveau.

BIBLIOGRAPHIE

- BARLES, S. « *Écologie territoriale et métabolisme urbain : quelques enjeux de la transition socioécologique* », Revue d'Economie Régionale & Urbaine, vol. décembre, no. 5, 2017
- BLIN-LACROIX, J-L., ROY, J-P., « *Dictionnaire du BTP* », Edition Eyrolles, 2011
- BOURG, D., PAPAUX, A., « *Dictionnaire de la Pensée écologique* », Editions PUF, 2015
- GAUZIN MULLER, D., BORNAREL, A., MADEC, P., « *Manifeste pour une frugalité heureuse & créative* », 2018
- GENESTIER, P., GRAS, P., « *Sacré béton ! Fabrique et légende d'un matériau du futur* », Editions Libel, 2015
- HOLGERSEN, S., MALM, A., « *"Green fix" as crisis management. or, in which world is Malmö the world's greenest city?* » Article in Geografiska Annaler Series B Human Geography, 2015
- LAVERGNE, V., « *Le tout béton en France : une longue histoire* », Tous urbains, vol. 26, no. 2, 2019
- MILLER, S.A., HORVATH, A. & MONTEIRO, P.J.M. « *Impacts of booming concrete production on water resources worldwide* ». Nat Sustain 1, 69–76, 2018
- « *Charte d'Aalborg* », URL: http://www.adequations.org/IMG/article_PDF/article_393.pdf, 1994
- « *Construire Réversible* », canal-architecture, Edition Canal, 2017
- « *Enquête Nationale de la Construction Bois* », Observatoire National de la Construction Bois, le CODIFAB et France Bois Forêt, 2019
- « *Concrete: the most destructive material on Earth* », WATTS, J., The Guardian, 25 Février 2019, URL: <https://www.theguardian.com/cities/2019/feb/25/concrete-the-most-destructive-material-on-earth>

FILMOGRAPHIE

- DELESTRAC, D. « *Le sable : enquête sur une disparition* », prod. ARTE France, 2013

SITES CONSULTÉS

- AMACO (Atelier Matière à Construire), URL: amaco.fr
- BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières), URL: www.brgm.fr
- Batiactu, URL: batiactu.fr
- Cittaslow (Réseau international des villes du bien vivre), URL: cittaslow.fr
- CRAterre, URL: craterre.fr
- CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment), URL: <http://www.cstb.fr/>
- CTB (Les Cahiers Techniques du Bâtiment), URL: <https://www.cahiers-techniques-batiment.fr>
- ECRA (European Cement Research Academy), URL: <https://ecra-online.org/homesite/>
- FFB (Fédération Française du Bâtiment), URL: www.ffbatiment.fr
- FIB (Fédération de l'Industrie du Béton), URL: www.fib.org
- IFSTTAR (Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux), URL: <http://www.ifsttar.fr/accueil/>
- PNR Recybeton (Projet National de Recyclage du béton), URL: pnrecybeton.fr
- Peuple des dunes Entregor, URL: peupledesdunesentregor.com
- SNBPE (Syndicat National du Béton Prêt à l'Emploi), URL: www.snbpe.org