

Florent DUBOIS



BÉTON ÉCOLOGIQUE ET CONSTRUCTION DURABLE

L'essentiel
de ce qu'il faut
savoir pour réussir
la transition





BÉTON ÉCOLOGIQUE ET CONSTRUCTION DURABLE

L'ESSENTIEL
DE CE QU'IL FAUT SAVOIR POUR
RÉUSSIR LA TRANSITION

● Éditions
EYROLLES

Éditions Eyrolles
61, bd Saint-Germain
75240 Paris Cedex 05
www.editions-eyrolles.com

En application de la loi du 11 mars 1957, il est interdit de reproduire intégralement ou partiellement le présent ouvrage, sur quelque support que ce soit, sans l'autorisation de l'Éditeur ou du Centre Français d'exploitation du droit de copie, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris.

© Éditions Eyrolles, 2022
ISBN : 978-2-416-00217-5

SOMMAIRE

Table des matières	4
Avant-propos	7
I Introduction	
La problématique environnementale du béton	10
II Le béton et son architecture dans la société française	
Dépasser le quiproquo et le statu quo	13
Focus techniques	17
III Comprendre le béton	
Les promesses d'un matériau caméléon	24
Focus techniques	31
IV Le béton face au défi de la neutralité carbone	
Réduire l'empreinte carbone de la construction en béton	54
Focus techniques	65
V Le béton face au défi des ressources naturelles	
Préserver les ressources naturelles	72
Focus techniques	83
VI Le béton face au défi de la biodiversité	
Accroître la biodiversité : utopie d'une symbiose écologique	113
Focus techniques	119
VII Réémergences : concevoir la complexité	
Pour une stratégie de transition écologique	132
Focus techniques	139
VIII Appel à une nouvelle architecture organique	
Réinterpréter le potentiel du matériau béton	163
Focus techniques	168
IX Conclusion	
Le béton du XXI ^e siècle sera écologique ou ne sera plus	189
Un enjeu politique avant tout	189
Remerciements	191
Glossaire	192
Table des figures	201
Table des tableaux	204

TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos	7	III.5 Fabrications et mises en œuvre du béton..	37
I Introduction		III.5.1 Complémentarité du maillage	
La problématique environnementale		industriel et des dispositifs extraordinaires..	37
du béton	10	III.5.2 Particularités des bétons coulés	
		en place	40
II Le béton et son architecture		III.6 Principes de formulation des bétons.....	41
 dans la société française		III.6.1 Une méthode empirique.....	41
Dépasser le quiproquo et le statu quo.....	13	III.6.2 La recherche du dosage en liant	
II.1 Les raisons d'un désamour et d'une remise		ou la chasse à l'eau.....	42
en question face à l'urgence écologique	13	III.6.3 L'optimisation de l'empilement	
II.2 Sortir du béton?	14	granulaire	43
II.3 Le béton, une partie de la solution à la crise		III.6.4 La formulation en pratique	43
écologique	15	III.6.5 Pour des propriétés spéciales,	
Focus techniques.....	17	les adjuvants essentiels	44
II.4 Quelques chiffres clés pour prendre		III.7 Propriétés et caractéristiques clés	
la mesure du sujet.....	17	des bétons	46
II.4.1 Une consommation de béton contrastée		III.7.1 Propriétés mécaniques.....	46
à l'échelle mondiale et nationale	17	III.7.2 Propriétés thermiques.....	48
II.4.2 Une filière à l'empreinte économique,		III.7.3 Réaction et résistance au feu	49
sociale et environnementale forte.....	18	III.7.4 Propriétés acoustiques.....	50
II.5 Des origines du béton antique aux bétons		III.7.5 Émissions dans l'air et l'eau	51
modernes	19		
II.5.1 Antiques et durables : les mortiers		IV Le béton face au défi	
et bétons de liants hydrauliques.....	19	 de la neutralité carbone	
II.5.2 L'invention du béton moderne :		Réduire l'empreinte carbone	
du ciment Portland au béton armé.....	20	de la construction en béton	54
II.5.3 Un siècle d'optimisations	22	IV.1 Décarboner le béton.....	56
		IV.2 Réduire la consommation de liant.....	56
		IV.3 Décarboner le ciment.....	57
		IV.4 Réduire la consommation de clinker	60
		IV.5 Fabriquer du clinker autrement	61
		IV.6 Vers des bétons neutres en carbone?	62
		IV.7 La décarbonation des matériaux	
		géosourcés : un enjeu de ressources	63
		Focus techniques.....	65
		IV.8 Quelles routes vers la neutralité	
		climatique?.....	65
		IV.8.1 Itinéraire de réduction	
		de l'empreinte carbone du béton.....	65
		IV.8.2 Des itinéraires technologiques	
		à l'écoconception.....	66
		IV.9 Propriétés, usages et poids CO ₂	
		des ciments	67
		IV.9.1 Les principaux types de ciments.....	67
		IV.9.2 Ciments spéciaux.....	69

V Le béton face au défi des ressources naturelles

Préserver les ressources naturelles	72
V.1 Retour aux sources	73
V.2 De l'âge de pierre à l'âge de raison	74
V.3 Le rêve d'un béton sans carrière.....	75
V.4 La construction de la ville, une mine de ressources.....	76
V.5 La cimenterie: clé de voûte d'une écologie industrielle	77
V.6 La construction sobre et efficiente	80
V.7 Prolonger la durée de vie des bâtiments par le réemploi des structures	81
V.8 Vers une écologie constructive territoriale...	81
Focus techniques	83
V.9 L'économie circulaire du béton: une voie possible	83
V.9.1 Les granulats: boucler le « cycle de la roche »	83
V.9.2 Le ciment: une fabrication qui dépollue?	87
V.9.3 Transport: de la contrainte à l'intérêt d'un matériau de proximité	90
V.10 Caractéristiques des granulats naturels	92
V.10.1 Les granulats: la roche à l'usage de la construction	92
V.10.2 Des gisements aux matériaux de construction	93
V.10.3 Réaménagement des carrières et cadre réglementaire	96
V.11 Emplois des granulats recyclés	97
V.11.1 Terminologie: distinguer « récupération » et « recyclage »	97
V.11.2 Granulats recyclés: de quoi parle-t-on?	98
V.11.3 Quel approvisionnement en granulats de béton recyclés?	99
V.11.4 Production et propriétés des granulats secondaires	100
V.11.5 Normes et recommandations	100
V.12 Des bétons renouvelables?	102
V.12.1 Des ressources minérales renouvelables?	102
V.12.2 Des granulats végétaux pour des bétons biosourcés	103
V.12.3 Biopolymères pour fibres de renforcement et adjuvants.....	105

V.12.4 Principales limites: la variabilité et la dispersion des ressources biomasse et agricole.....	106
V.13 Bétons et mortiers de chanvre.....	106
V.13.1 Le béton de chanvre: un candidat éligible à la construction?	106
V.13.2 Constitution du béton de chanvre.....	107
V.13.3 Propriétés naturelles d'un matériau biosourcé d'exception	108
V.13.4 Mise en œuvre et applications	109
V.13.5 Co-bénéfices d'une filière durable... ..	109
V.13.6 Cadre réglementaire dans la construction	110

VI Le béton face au défi de la biodiversité

Accroître la biodiversité: utopie d'une symbiose écologique	113
VI.1 Béton fertile.....	114
VI.2 Ville poreuse.....	115
VI.3 Ville refuge.....	116
VI.4 Reconversion de carrière	117
Focus techniques	119
VI.5 Le cycle de vie des carrières: une opportunité d'amélioration de la biodiversité?.....	119
VI.5.1 Atténuer les atteintes à la biodiversité.....	120
VI.5.2 Séquence itérative pour une perte nette nulle de biodiversité.....	120
VI.6 Bétons et pollutions	123
VI.6.1 Sources et atténuation de la pollution de l'air sur le cycle de vie du béton	123
VI.6.2 Des bétons contre la pollution lumineuse de l'éclairage urbain	125
VI.7 Des bétons drainants pour désimpermabiliser les sols.....	127
VI.7.1 Typologies d'applications des bétons poreux et drainants.....	128
VI.7.2 Porosité, perméabilité et résistance des bétons drainants	129
VI.7.3 Limites et précautions	130

VII Réémergences: concevoir la complexité

Pour une stratégie de transition écologique ..	132
VII.1 Changer de regard	132
VII.2 Eco-concevoir pour construire responsable.....	133

VII. 3 Innover par la transformation digitale.....	135
VII.4 Émergences de nouvelles économies	137
VII.5 Béton sensuel, béton intemporel	138
Focus techniques	139
VII.6 Analyse du cycle de vie appliquée aux bâtiments et aux bétons	139
VII.6.1 Approche en écoconception : l'importance du choix de l'unité fonctionnelle	140
VII.6.2 Sensibilité de l'impact à la forme	141
VII.6.3 Sensibilité de l'impact à la période d'étude	142
VII.6.4 Contribution du béton à l'empreinte carbone des bâtiments.....	144
VII.7 Rôles et définition des éléments porteurs du bâtiment	145
VII.7.1 Terminologie.....	145
VII.7.2 La toiture.....	147
VII.7.3 Les éléments porteurs horizontaux	148
VII.7.4 Les éléments porteurs verticaux.....	151
VII.7.5 Les fondations	154
VII.8 Béton et durabilités	155
VII.8.1 Vieillesse des bétons : une question de conception.....	155
VII.8.2 Le béton à tous les âges	156
VII.8.3 La maturation du béton	157
VIII Appel à une nouvelle architecture organique	
Réinterpréter le potentiel du matériau béton	163
VIII.1 Écologie constructive et architecture organique.....	164
VIII.2 Réinterpréter le fonctionnalisme	165
VIII.3 Collaborer	167
Focus techniques	168
VIII.4 Cinq architectes du béton qui ont marqué son évolution sculpturale	168
VIII.5 Comment bâtir pour durer : de la réhabilitation à la réversibilité	171
VIII.5.1 Ce que nous apprennent les réhabilitations des bâtiments existants	171
VIII.5.2 Anticiper la réversibilité : quels critères clés de conception ?	173
VIII.5.3 Une architecture modulaire en béton ?	175
VIII.6 Constructions hybrides : le béton agrégateur de ressources mixtes ?	177
VIII.6.1 La mixité des matériaux bio- géosourcés au service de la performance des bâtiments	177
VIII.6.2 Le diagnostic « ressources » obligatoire : pour de nouveaux métiers, ressources et (ré)emplois	178
VIII.6.3 La mixité béton-bois : du matériau au bâtiment.....	179
VIII.7 Bétons architectoniques : squelette, peau ou parure des bâtiments ?	182
VIII.7.1 Bien plus qu'un matériau structurel, une matière organique ?	182
VIII.7.2 Comment se caractérise et se maîtrise l'aspect de surface des parements ?	183
VIII.7.4 Techniques de traitement des parements	184
IX Conclusion	
Le béton du XXI^e siècle sera écologique ou ne sera plus	189
Un enjeu politique avant tout	189
Remerciements	191
Glossaire	192
Table des figures	201
Table des tableaux	204

AVANT-PROPOS

Le présent ouvrage vise à donner quelque matière à penser, pour composer avec les qualités environnementales du béton, ses limites et ses promesses, et pourquoi pas rêver un monde habité et partagé où le béton aura sa juste place.

On y trouvera des informations concrètes, parfois techniques, qui laissent espérer atteindre une performance jusqu'ici inégalée : la neutralité écologique. Cette quête suivra les trois défis écologiques que sont le changement climatique, le prélèvement des ressources naturelles et la sauvegarde de la biodiversité. Peut-on imaginer un béton qui capte autant de CO₂ qu'il en émet ? Un béton formulé à 100 % à partir de ressources renouvelables ou secondaires ? Un béton mis en œuvre à travers une chaîne de la construction en osmose avec ses écosystèmes ?

Parce qu'il ne s'agit pas seulement de la production d'un matériau mais aussi et surtout du développement de nouveaux savoir-faire, nous explorerons ce qu'offrent les nouvelles méthodes de conception et de réalisation d'une nouvelle architecture écologique, que l'on pourrait appeler néo-organique. Nous esquisserons cette architecture, nécessairement plus sobre en ressources et plus riche en qualité écologique et sociale.

Enfin, si nous admettons que la construction dépasse dans l'espace et dans la durée la volonté et l'ambition de ses propres géniteurs, nous reconnaissons alors que la transcendance de l'acte de construire lui confère une dimension politique intrinsèque. La question d'un avenir écologique serait donc incomplète si elle n'interrogeait pas également l'organisation de la construction et ses processus décisionnels.

La crise écologique plonge de force l'humanité dans la gestion de sa coexistence avec l'ensemble du vivant. En cela, elle sonne l'heure d'une crise sociétale, au sens premier d'une nécessaire métamorphose sociale et politique. Or, on peut voir la biosphère et les sociétés humaines comme des macro-systèmes complexes, où le carbone s'observe à tous les niveaux d'organisation, des microparticules aux macro-territoires. Le défi de la transformation écologique, confrontant les besoins sociaux avec ceux des écosystèmes, n'impose-t-il pas de croiser les échelles et d'adopter les outils de la pensée complexe pour concevoir et décider ?

Face à la complexité, le décideur avance sur un chemin de crête. Il doit éviter deux écueils opposés : d'un côté celui du simplisme, auquel amènent les méthodes de communication du politique qui doit se faire entendre ; de l'autre, celui de la complication induite par l'expertise qui peine à se faire comprendre. C'est sur ce chemin que le décideur doit faire appel à l'art synthétique de l'architecte, car celui-ci donne matière à comprendre notre environnement tout en lui donnant forme. Nourri de nouvelles connaissances sur les écosystèmes et les matériaux, ceux anciens que l'on redécouvre ou ceux nouveaux que l'on invente par biomimétisme, l'architecte est l'acteur capable de répondre à la nécessité de réinventer une architecture qui fera figurer ou non le béton parmi les matériaux d'une écologie constructive.

À tous les niveaux de l'acte de construire, négliger sa dimension politique mène à l'erreur. Je ne parle pas ici des affaires qui ont touché certains des plus hauts responsables politiques du pays. Je pense avant tout à l'organisation de la vie commune : le soutien aux filières locales, les opérations d'intérêt national, la prévention des nuisances de chantiers ou des risques naturels, qui peuvent par exemple amener à déconstruire pour mettre en sécurité des populations qui vivent dans des zones inondables. Je pense ici à un petit village de Seine-et-Marne dont un élu a dû faire preuve d'un véritable courage politique pour assumer cette responsabilité, celle-ci lui valant bien souvent plus de menaces et d'attaques personnelles que de remerciements et

signes de reconnaissance. Pour contenter ses électeurs, il est beaucoup plus facile d'accepter un permis de construire que de le refuser, ou de contourner des règles d'urbanisme faites pour préserver l'environnement, pourtant notre bien commun. Cet élu, c'est mon père, Christian Dubois. Depuis mon enfance, j'ai pu l'observer pendant les 25 années de ses aventures municipales. Il m'a permis de voir ce que l'engagement pour l'intérêt général pouvait apporter à une écologie constructive. Indéniablement, je lui dois ma sensibilité aux problématiques écologiques dont j'ai pris véritablement conscience en 2001 lorsqu'il a rejoint le comité de veille écologique auprès de Nicolas Hulot.

L'engagement politique de mon père est né en réaction à un projet d'ouverture d'une carrière à l'entrée du village. L'association créée pour l'occasion a finalement eu raison de l'entreprise aux pratiques douteuses et cette carrière n'a jamais vu le jour. J'ai cependant grandi à proximité de différentes carrières, celles-ci bien gérées, presque au pied de montagnes de sable extrait des alluvions de la Marne. Je me souviens avoir observé ces dunes artificielles depuis la route, à travers la vitre de la voiture, sans savoir à quoi elles pouvaient bien servir. Ma mère me disait qu'elles alimentaient la construction, et je m'imaginai alors, circonspect, des châteaux de sable immenses. Il me manquait encore un bout de l'histoire.

Construire avec du béton est un acte de passion, un travail de croyances.

Rudy Ricciotti

Plus tard, je devais me libérer d'autres croyances sur le rôle de l'ingénieur, de l'entreprise et sa capacité à s'autoréguler. Je me suis assez tôt destiné au métier d'ingénieur car je voulais me rendre utile. L'expérience m'a rapidement enseigné les limites de cette ambition un tantinet naïve. Une ambition, ou devrais-je dire cette conviction intime, qui continue néanmoins de gouverner mes choix professionnels et dont découlent mes engagements. Elle est aussi à l'origine de l'écriture de ce livre, qui se veut un exercice de lucidité autant que d'espérance. Car

si nous pouvons être attirés par les promesses d'un avenir plus durable, nous devons aussi être lucides quant aux freins à lever pour l'atteindre.

D'un naturel optimiste, je souhaite partager les observations qui m'ont amené à penser que le béton n'avait pas dit son dernier mot. À la lumière de mon expérience dans le domaine de la construction durable, relativement courte mais suffisamment éclectique, je suis convaincu que les discours clivants contre le béton ou tout autre matériau, sont tout à fait contre-productifs vis-à-vis des décideurs comme des nouvelles générations d'étudiants en quête de sens et d'espoir d'un monde meilleur.

J'ai conçu ce livre comme une invitation au voyage au cœur du matériau et de ses filières. Je ne prétends pas apporter les clés de la transition écologique, et suis conscient qu'il serait naïf de prétendre résoudre l'équation de la neutralité écologique grâce à un simple matériau, en l'occurrence le béton. Il serait aussi hypocrite de faire porter aux matériaux les maux de l'artificialisation des sols. Sans nier les contradictions à lever dans nos sociétés consuméristes globalisées, j'ose croire que le syndrome du Titanic n'a plus cours dans la majorité des consciences. Pour agir maintenant et concrètement, il me tient à cœur de partager des idées positives. J'invite à penser un avenir collectif en cherchant le meilleur dans chaque filière, et en redéfinissant la place du béton dans l'économie constructive de demain ; celle qui donnera naissance à notre futur patrimoine architectural.

Le présent livre n'est pas plus un guide pratique d'écoconstruction qu'un traité technique répondant à toutes les questions environnementales soulevées par l'utilisation du béton. Il traduit une tentative de dépassement de nos préjugés sur ce matériau et invite chacun de nous à s'interroger et à solliciter la communauté de scientifiques, d'architectes et d'ingénieurs qui connaissent et expriment ces problématiques de façon plus approfondie. Avec eux, nous développerons une nouvelle culture de l'environnement bâti à même de dépasser la stérilité des conflits actuels et le statu quo de nos modèles productifs et constructifs.

— — — — —

L'homme a besoin de se tromper lui-même : d'une part, il sauve une espèce qui a perdu sa capacité de survivre, d'autre part, il accélère la destruction de l'environnement qui lui permettait de subsister. Cultiver la sagesse en même temps que la force permet d'éliminer la violence et d'établir des relations plus constructives avec son environnement. L'écologie est aussi et surtout un problème culturel.

Nicolas Hulot

— — — — —

I. INTRODUCTION

LA PROBLÉMATIQUE ENVIRONNEMENTALE DU BÉTON

Tout le monde connaît le béton. En dehors de quelques architectes amoureux de ce matériau, la plupart d'entre nous le voient comme une boue grisâtre qui a donné ces bâtiments froids, ternes, à l'architecture parfois austère, ces châteaux d'eau qui forment autant de verrues dans le paysage, ou encore ces immenses barres d'HLM complices de la ghettoïsation de toute une frange de la société. Derrière cet héritage de façades qui vieillissent mal, on s'imagine une industrie sale et polluante, qui a permis l'émergence des pires formes urbaines et qui dévore nos terres vierges.

Cinq tonnes de béton sont coulées chaque seconde en France. Ce chiffre peut donner le vertige : à l'image des tours toujours plus hautes qui font craindre à certains la défiguration des paysages, on ajoute celle d'étendues vertes recouvertes d'une boue inerte qui semble signer l'extinction de terres vivantes au profit de l'avènement de l'uniformité grise et morne, sans parler des cicatrices causées par l'exploitation des carrières. La France n'est pourtant pas si mal placée si l'on considère son rythme de croissance urbaine, notamment bien inférieur à ceux des pays d'Asie. La bétonisation de la planète pèse plus de deux milliards de tonnes de CO₂ par an, rien que pour la fabrication du béton. C'est environ 5 % de la cause des dérèglements climatiques.

Les raisons de cette dépendance au béton sont évidentes. Le matériau a fait ses preuves. Il est économique et disponible à peu près partout sur terre, sauf là où l'on manque de sable et de gravillons que l'on doit importer d'un continent voisin. Ses performances techniques le rendent incontournable pour la quasi-totalité de la construction des bâtiments en France.

D'autres matériaux de structure comme les ossatures métalliques, les briques de terre cuite et les ossatures en bois complètent l'offre actuelle. Des techniques anciennes émergent à nouveau comme la construction en terre crue ou en pierre de taille. Suivant la facilité de substitution d'un matériau par un autre, notre attention est davantage portée sur les promesses de nouvelles alternatives que sur une filière qui semble à bout de souffle.

Les industries subissent une crise de confiance des consommateurs. S'improvisant apprentis chimistes, ils préfèrent parfois fabriquer eux-mêmes leurs détergents à base de bicarbonate de soude plutôt que d'acheter une nouvelle lessive manufacturée prétendument écologique. Mais sait-on comment le bicarbonate de soude est produit industriellement ? Sait-on que le procédé de fabrication de cette poudre blanche, que l'on croit souvent naturelle et que l'on peut même ingérer, émet deux fois plus de CO₂ que celui du ciment ?

Et pourtant, sans en connaître les impacts réels, la tendance du DIY (*Do It Yourself*) apparaît comme une réponse au NIMBY (*Not In My BackYard*) : qui accepterait de vivre à proximité d'une usine chimique ou d'une cimenterie ? Lorsque l'individu devient acteur du changement, sa perception change en même temps que sa compréhension de la problématique environnementale s'élargit. Sans une compréhension globale de l'impact environnemental de la construction, celui qui souhaite bâtir sa propre maison de manière écologique pensera d'abord à choisir des matériaux dits « écologiques », et négligera bien souvent d'autres aspects, comme la situation géographique de la maison ou l'opportunité d'une rénovation de l'ancien, plutôt que d'une construction neuve qui créera une nouvelle cicatrice dans l'environnement.

Il nous faut changer notre regard sur nos filières pour nous libérer de ces contradictions. Bien que les matériaux alternatifs sont appelés à prendre une place croissante, nous connaissons déjà leurs limites techniques et environnementales. Ils dépendent également de ressources, renouvelables pour certaines, mais tout de même limitées. Et si un secteur comme la sylviculture subissait une transformation industrielle, la maîtrise des impacts sur les écosystèmes forestiers deviendrait un véritable enjeu.

En réalité nous n'avons pas le choix. Sortir de la dépendance nécessite de la volonté. Dans son ambition écologique, le gouvernement français commence à exprimer ses exigences au monde de la construction en fixant des premières limites à travers une nouvelle réglementation environnementale du bâtiment. Se jeter sur les premiers substituts ne ferait que repousser le problème sans véritablement atténuer notre dépendance aux matériaux de construction. Nous devons transformer toutes les filières.

On connaît moins l'histoire du béton, celle d'une passion française qui nous a aussi légué un patrimoine architectural exceptionnel et formé les meilleurs ingénieurs du monde. Là où certains voient des ruines en devenir, d'autres mettent en valeur le caractère naturel de sa pierre, souvent cachée sous sa peau lisse. Les plus grands interprètes du béton en repoussent les limites techniques pour lui donner l'élégance de la dentelle. Le béton semble arrivé à son apogée.

Omniprésent et pourtant si méconnu, le béton est aujourd'hui controversé. Comment imaginer la suite pour éviter l'overdose ?

II.
LE BÉTON
ET SON
ARCHITECTURE
DANS LA
SOCIÉTÉ
FRANÇAISE

DÉPASSER LE QUIPROQUO ET LE STATU QUO

Nul besoin de forcer le trait pour dresser une image désastreuse de l’empreinte écologique du béton. À la racine du mal que ronge l’urbanisation incontrôlée, le coupable est tout trouvé : le béton. La société, confrontée soudainement à la crise écologique et à des aspirations à davantage

de prise directe avec la «nature», peine à assumer ses contradictions. Devenu l’icône de l’architecture du courant moderne, le béton porte aujourd’hui de plus en plus difficilement la responsabilité du progrès technique et de l’artefact en soi.

II.1 LES RAISONS D’UN DÉSAMOUR ET D’UNE REMISE EN QUESTION FACE À L’URGENCE ÉCOLOGIQUE

Déjà mal aimé pour son usage dans les grands ensembles et dans le courant architectural du «brutalisme» du milieu du XX^e siècle, le béton se retrouve à nouveau sur le banc des accusés. Cette fois, c’est son empreinte écologique qui est mise en cause par différents lobbies d’intérêts privés ou politiques. Pour le climatologue Jean Jouzel et l’homme politique Pierre Larrourou, la condamnation serait sans appel car «même si on [arrivait] à améliorer le bilan carbone du béton, ce matériau [demeurerait] un puissant polluant pour notre atmosphère, aussi certainement que le resteront, tant qu’elles rouleront, les automobiles à moteur thermique»¹.

Sans justifier ces accusations ni expliquer de quelles manières d’autres matériaux pourraient répondre à l’échelle des besoins de construction tout en minimisant les pressions sur les écosystèmes, d’aucuns appellent radicalement à «sortir du béton», jusqu’à jouer parfois sur l’ambiguïté entre le matériau et le vecteur d’urbanisation, résumée en un terme : la «bétonisation». Le matériau béton, est-il alors coupable de son impact ou victime de son exploitation ?

Qu’il joue au trompe-l’œil en mimant la roche naturelle dans le parc des Buttes Chaumont, ou qu’il symbolise l’audace des architectes et ingé-

nieurs dans des ouvrages défiant la gravité et tous les éléments naturels, il n’a jamais été difficile de critiquer cet artefact qui se prétend aussi naturel qu’une pierre liquide, et dont on fait un usage de masse. Dès son essor, l’architecte Edouard Menkès reproche son absence de «beauté propre» à cette «boue» dépourvue de «dessin naturel des matières premières comme bois et marbre», dont la forme définitive «dépend entièrement de la capacité créatrice de l’architecte»².

On dit communément qu’il est le produit le plus consommé sur terre après l’eau. Tout en doutant que ce classement puisse faire sens, on peut admettre que notre consommation de béton est aujourd’hui à la mesure de notre besoin de construction de logements, d’écoles, d’hôpitaux, de routes, de ponts, qui demeure constant et relativement soutenu. Son impact sur le changement climatique est loin d’être négligeable, puisqu’il contribue à lui seul à environ 3% des émissions de gaz à effet de serre sur le territoire national (ou 2% de l’empreinte carbone globale de la France, émissions importées comprises).

1– *Pour éviter le chaos climatique et financier*, J. JOUZEL et P. LARROUROU, Éd. Odile Jacob, 2017.

2– *Le Béton, histoire d’un matériau. Économie, technique, architecture*, C. SIMONNET, Éd. Parenthèses, 2005.

De la même façon que les coulées de lave qui, lorsqu'elles se figent, se transforment en pierres volcaniques, le béton est de la boue qui, en changeant d'état, devient maçonnerie. Et c'est pourquoi il est un matériau naturel. D'une certaine manière, les ingénieurs et horticulteurs du XIX^e siècle l'avaient compris en lui donnant l'aspect du roc ou du bois pour réaliser des bancs, des rambardes...

Paul Chemetov¹

Et pourtant, est-ce avant tout l'amalgame de sables, de gravillons, de ciment et d'eau qui détruit notre environnement? Ou plutôt la confusion de l'aménagement des territoires qui permet l'étalement de maisons individuelles isolées, d'entrepôts logistiques connectés aux nouveaux modes de consommation ou de grandes surfaces de distribution désertées? Ces transformations impactent de façon quasiment irréversible la qualité écologique de nos territoires, quels que soient les matériaux utilisés. En ce sens, le béton d'un dallage d'un entrepôt sur un champ fraîchement

artificialisé ne peut avoir la même empreinte écologique que le mur d'un logement érigé sur une ancienne friche industrielle dépolluée.

Le quiproquo entre artificialisation et béton est un comble pour ce matériau qui facilite la densité urbaine, forme de construction plus verticale qui préserve de l'étalement urbain mais qu'il faut toutefois prémunir de l'inconfort lié aux îlots de chaleur urbains. Il serait ainsi tentant, pour défendre le béton, de rejeter la faute sur ses consommateurs qui en ont fait une commodité omniprésente dans ses nombreuses applications connues, de l'ossature de bâtiments, aux dalles préfabriquées en passant par les tunnels, les fondations ou les mâts d'éolienne. Ce serait assez vite oublier que ce sont les qualités intrinsèques du béton et les progrès techniques continus améliorant sa durabilité, sa plasticité et son accessibilité, qui en ont fait son succès démocratisé. Le béton, victime consentante de son succès, devient responsable de son empreinte.

Son procès ne peut être équitable et constructif pour une société en symbiose écologique que s'il s'appuie sur l'analyse de l'ensemble de la filière, avec ses acteurs, leurs techniques et technologies, avec ses erreurs et ses promesses.

II.2 SORTIR DU BÉTON?

Alors suffirait-il de «sortir du béton» en France pour atténuer la pollution liée à la construction? N'a-t-on pas plus à perdre collectivement dans ce qui ressemble au mieux à une bonne polémique, au pire à un mauvais procès?

Les promesses des matériaux alternatifs sont séduisantes. Qu'ils fassent appel à des techniques anciennes réactualisées (comme la pierre ou le pisé de terre crue), ou qu'ils mettent en valeur de nouveaux savoir-faire artisanaux (comme la construction bois-paille ou le béton de chanvre), ces matériaux sont le plus souvent mis en œuvre hors des circuits industrialisés et standardisés, comme si cette particularité, liée souvent à un ancrage local, leur conférerait d'emblée une vertu écologique. On ne peut pas, en effet, nier la faible empreinte environnementale de matériaux fabriqués parfois par la seule main

de l'homme (à peine assistée de pelles mécaniques), qui s'inscrivent en outre souvent dans une démarche d'architecture vernaculaire, dite de bon sens écologique, voire bioclimatique ou encore «low-tech».

Ces matériaux, et surtout les filières qui les développent, portent le message d'une autre forme de construction possible. Ils appellent à d'importants efforts de développement et de formation pour en sécuriser et systématiser la mise en œuvre, garantir la performance, pour un coût global souvent bien supérieur à la construction courante. C'est pourquoi, sans soutien public, ces techniques auraient peu de chances de dépasser les pratiques d'autoconstruction.

Seules quelques filières relativement structurées aujourd'hui, comme le bois ou le chanvre,

1 – *Béton nature : 35 réalisations contemporaines*, Bétocib, Éd. Alternatives, 2019.

parviennent à lever les difficultés que pose la démonstration de la performance dans le bâtiment. On oublie souvent que le comportement structurel, thermique, acoustique, face au feu ou aux intempéries, voire hygrosopique des bâtiments, relève d'une infinie complexité pour que nos habitats demeurent stables, sûrs, sains et confortables. Tous les matériaux et toutes les filières ne parviennent donc pas à passer l'épreuve du banc d'essais, aussi coûteux qu'exigeant.

Au-delà du coût, tous les indicateurs de performance environnementale ne sont pas nécessairement positifs quand il s'agit des matériaux biosourcés. Contre-intuitivement par exemple, la production de bois consomme davantage d'énergie non renouvelable et d'eau que celle du béton. En outre, chaque matériau a son fonctionnement propre qui confère au bâtiment des qualités spécifiques. Préférer le bois au béton comme matériau de structure nécessite, selon sa mise en œuvre, de le traiter : étanchéité à l'eau et à l'air, durabilité du parement, isolation acoustique, protection au feu ou encore qualité de l'air intérieur ; autant de caractéristiques que possède déjà le béton : inerte, massif pour l'acoustique comme pour la thermique, étanche, résistant au feu... Cette complexité du scénario constructif peut engendrer d'autres consommations de matériaux, comme des membranes pare-pluie, des isolants acoustiques, ou des matériaux coffrants coupe-feu.

Les matériaux dits « biosourcés » sont aussi une des clés de la neutralité carbone de la France. Soit lorsque leurs filières de production permettent de maximiser les puits de carbone, comme avec la culture du chanvre en synergie avec une agriculture durable. Soit lorsque l'on prévoit de prolonger leur usage dans des bâtiments, comme le développement de l'exploitation des forêts au profit du bois de construction. Ils portent la promesse de rééquilibrer le bilan carbone de la filière forêt-bois d'ici la deuxième moitié du XXI^e siècle ; un immense défi si l'on cherche en même temps à préserver la biodiversité des écosystèmes forestiers qui ne survivrait pas à une exploitation sylvicole industrielle. Il s'agit donc de mesurer nos efforts. La filière bois elle-même n'envisage pas de répondre à plus de 20 à 30% de la demande, dans ses scénarios les plus ambitieux.

Puisque l'alternative ne suffit pas aujourd'hui et ne suffira pas demain, la question peut donc se poser dans l'autre sens : avec un effort équivalent en innovation, quelle performance environnementale la construction en béton, championne de compétitivité économique, pourrait-elle atteindre ? Le béton, « ce matériau qui porte la main de l'homme, comme le vin porte la trace du viticulteur¹ », peut-il aussi bénéficier de l'essor de la bioéconomie pour apporter des solutions hybrides en substituant des ressources végétales aux fibres, granulats ou plastifiants ?

La nature du béton alloue à ce matériau une pérennité séculaire. Aujourd'hui, c'est l'idée même de construire pour la durée, de faire œuvre responsable, qui est mise en question. L'architecture, comme trace et devenir, dérange. Il est certain que les constructions dites durables, faites de matériaux biosourcés, ne seront pas reconstruites.

Frédéric Schœller²

II.3 LE BÉTON, UNE PARTIE DE LA SOLUTION À LA CRISE ÉCOLOGIQUE

Renoncer aux qualités intrinsèques du matériau, encore et toujours perfectible, à cause de son usage et de sa consommation, serait à la fois une

erreur d'interprétation phénoménologique et une aberration économique conduisant certainement à aggraver la crise écologique que l'on prétend

1 – *Le béton en garde à vue : Manifeste architectural et théâtral*, R. RICCIOTTI, Éd. Le Mieux Editeur, 2015.

2 – *Béton nature : 35 réalisations contemporaines*, Bétocib, Éd. Alternatives, 2019.

combattre. Ce serait faire l'erreur du simplisme face à la complexité.

N'oublions pas que la crise écologique s'inscrit dans une crise des démocraties. Elle appelle au dialogue, à la concertation, à la réconciliation pour trouver le chemin de la transition. Nous devons dépasser les oppositions en évitant les récupérations politiques.

Les trajectoires de neutralité carbone le montrent : nous avons besoin de mobiliser toutes les forces potentielles, et d'exploiter et développer nos connaissances (de la chimie minérale à la biologie en passant par les sciences politiques et sociales) pour relever le défi de la transformation écologique. Nous ne pouvons pas nous offrir le luxe de nous passer d'une filière d'excellence française, voire « d'intérêt national, une économie au développement généreux pour les territoires ». « En France nous avons la chance d'être devenus des experts. L'art de construire a atteint un niveau de compétences peu égalé dans le monde. »¹

Avant de vouloir sortir du béton, nous devons avant tout sortir de nos postures idéologiques et de nos dogmes économiques pour entrer dans une nouvelle ère de la construction. À partir des dernières innovations, nous pouvons imaginer de nouvelles façons de construire : plus parcimonieuses, privilégiant les bons matériaux pour les bonnes fonctions, assistées par de nouvelles technologies digitales, liées à de nouvelles filières de bétons, composés de nouveaux liants bas carbone, de chanvre ou de bois, de terre ou de gravillons recyclés, devenus de véritables puits de carbone.

Chaque filière doit opérer sa transition écologique, et plus rapidement que prévu. Cette injonction est d'autant plus urgente pour le béton qu'il « porte les stigmates d'une société qui a grandi un peu trop vite », selon Pierre Gras.

Le développement des bétons s'inscrit dans une histoire de près de deux cents ans qui ont vu leur formulation et leur interprétation architecturale considérablement évoluer, permettant de décupler les résistances et de diviser leur empreinte carbone. Après le siècle de l'âge d'or du béton qui a fait naître l'architecture moderne, le XXI^e siècle verra-t-il l'âge de raison de ce maté-

riau que l'architecte Rudy Ricciotti dit « social » par son « implication dans la chaîne travail » ? À notre époque où les architectes doivent concilier des contraintes environnementales, techniques, esthétiques et sociales de plus en plus grandes pour donner vie à leurs projets, la question serait donc plutôt de savoir si la filière béton peut réconcilier les progrès de la chimie minérale avec la biosphère, les lumières des experts avec le romantisme d'une architecture néoorganique transmoderne. Pour relever ce défi, le béton leur offre un espace de liberté quasiment sans limite.

En termes de technologie, le défi consiste à réduire drastiquement les émissions atmosphériques liées à la fabrication du béton, voire à refermer en quelques décennies le cycle du carbone minéral qui s'inscrit naturellement dans une échelle de temps géologique comme celle qui rythme l'érosion de l'Himalaya qui piège durablement le CO₂ dans la roche. Cette ambition n'est pas un rêve de géo-ingénieristes. C'est une innovation à portée de main qui fait déjà l'objet d'expérimentations et d'essais pilotes à l'échelle industrielle.

Autant que les acteurs des filières émergentes, les industries et les artisans du béton ont d'immenses efforts à fournir pour transformer, pour ne pas dire hybrider, les filières. En ce début du XXI^e siècle, le béton affronte une situation apparemment paradoxale. Sa relative mésestime sociale perdure encore parfois, alors qu'il n'a plus rien à voir avec le matériau médiocre des années cinquante. Les avancées technologiques ont amélioré spectaculairement ses propriétés physiques (résistance, vieillissement) et permettent désormais de le mettre en œuvre avec une perfection inégalée, doublée de qualités esthétiques remarquables.

Alors qu'à la fin du XIX^e siècle les constructeurs cherchaient à développer un matériau nouveau, il s'agit aujourd'hui pour certains de restaurer son image, tandis que pour d'autres il redevient un matériau d'innovation. Loin d'être le problème, le béton doit continuer d'offrir des solutions constructives toujours plus durables et résilientes, et de servir la société de demain pour des territoires et des villes désirables.

1 – *Le béton en garde à vue : Manifeste architectural et théâtral*, R. RICCIOTTI, Le Mieux Éditeur, 2015.