

GROS ŒUVRE

ENTREtenir ET RÉPARER LES BÂTIMENTS EN BÉTON DES TRENTE GLORIEUSES

Photo © Spech - Shutterstock

TEXTE : PAUL FALZON-MONFERRAN
PHOTOS & ILLUSTRATIONS : AQC, CANAL
ARCHITECTURE, DOMOFRANCE, ROBAIN
GUIEYSSE, LERM-SETEC, PIERRE L'EXCELLENT/
CANAL ARCHITECTURE, MAIRIE DE LORMONT,
MAX SAVOYE ARCHITECTE, SHUTTERSTOCK

Des millions de logements collectifs ont été construits entre 1945 et 1974 pour réparer les dégâts de la guerre, reloger les familles et accompagner la croissance économique. La plupart de ces bâtiments ont été conçus en béton, un matériau touché par un vieillissement naturel et des pathologies spécifiques. Ils nécessitent un entretien régulier et, le cas échéant, des campagnes de réparation, notamment pour prévenir des désordres esthétiques et parfois structurels.



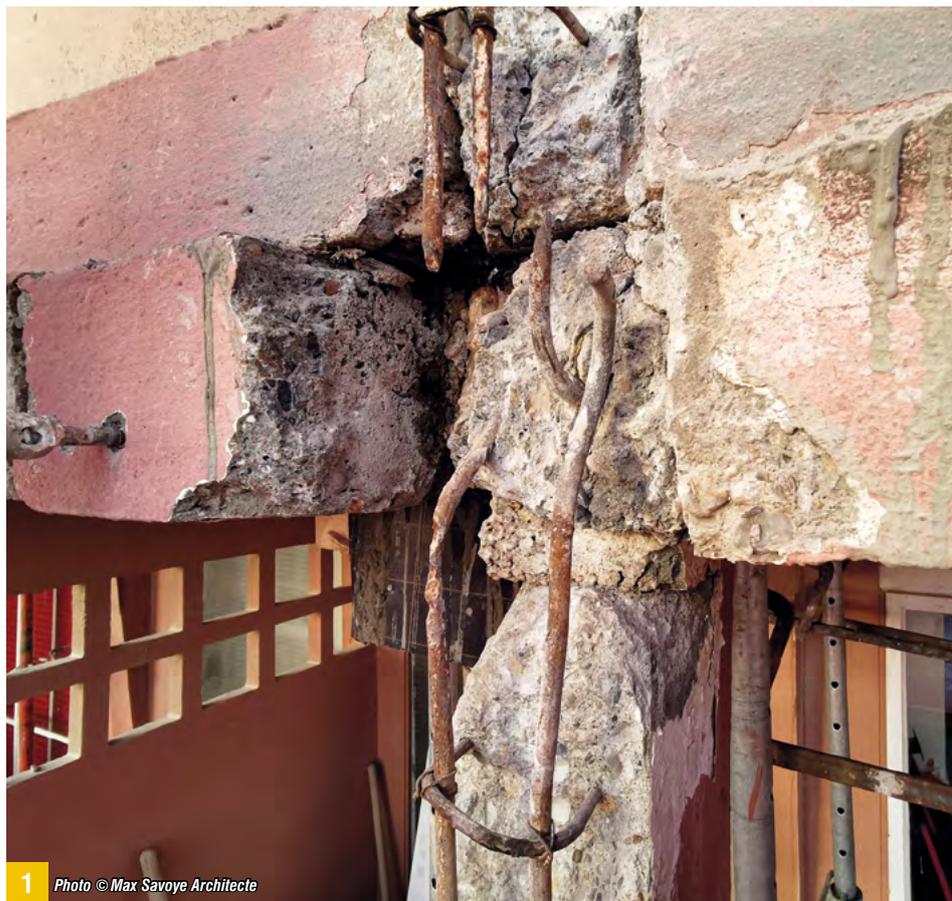
C'est la période de construction la plus intense de l'histoire nationale : selon l'Insee, un logement sur cinq a été construit entre 1945 et 1970. Cette période correspond à quelques années près aux décennies de relance économique dites des Trente Glorieuses (1945-1974). Sur les 7,5 millions de logements livrés au cours de cette période, l'accent a été mis sur le collectif qui représentait 54 % des nouvelles constructions, soit 10 points de plus que la moyenne du parc de logements français.

Dans les villes dévastées par la guerre puis dans les quartiers créés en périphérie des centres historiques, le béton a été massivement utilisé pour ériger en quelques années, et parfois en quelques mois, des bâtiments répondant aux urgences du moment, sous la direction du ministère de la Reconstruction et de l'Urbanisme. Certains logements ont été conçus pour des périodes à l'origine très limitées, par exemple pour loger des dizaines de milliers de mal-logés après l'appel de l'Hiver 54, ou pour accueillir les centaines de milliers de rapatriés d'Algérie. «*Il a parfois fallu aller très vite, avec un contexte de pénurie, ce qui a pu contribuer à une moins bonne qualité des bétons ou de leur mise en œuvre, rappelle Elisabeth Marie-Victoire, responsable du pôle scientifique "Béton" au sein du Laboratoire de recherche des Monuments Historiques (LRMH). Durant cette période les grands ensembles se multiplient, avec leur gigantisme et une forme d'industrialisation de la construction, en partie développée grâce aux "chantiers d'expérience" du ministère de la Reconstruction et de l'Urbanisme : la préfabrication se multiplie et la main-d'œuvre sur chantier tend à être moins nombreuse et moins qualifiée.*»

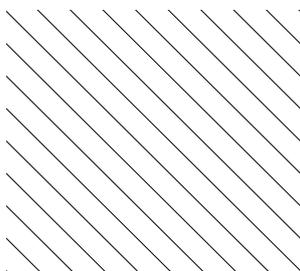
Dans les années cinquante, cet effort de reconstruction permet l'émergence des structures en poteaux-poutres et de la préfabrication lourde, qui perdent peu à peu du terrain dès les années soixante, quand les grands ensembles apparaissent, généralisant les structures en refend porteur, avec l'apparition aussi des coffrages tunnels.

Des qualités inégales

Toutes les constructions des Trente Glorieuses ne présentent donc pas les mêmes caractéristiques structurelles. Et leur durabilité dépend largement des choix techniques opérés à l'époque par les entreprises de travaux. À cette époque, le béton armé est un matériau globalement maîtrisé par les constructeurs, mais avec des qualités encore inégales sur la formulation comme sur la mise en œuvre. «*Les entreprises ne disposaient pas des moyens d'analyse des ciments et des adjuvants ainsi que du recul d'expérience que nous avons aujourd'hui pour formuler des bétons avec des propriétés mécaniques et physico-chimiques adaptées à l'environnement du chantier et aux performances attendues de l'ouvrage. On constate, par exemple, une porosité importante sur certains bétons mis en œuvre après-guerre, entre 18 et 24 % contre 12 à*



1 Photo © Max Savoye Architecte

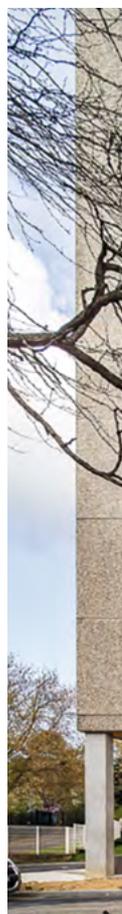


15 % pour les bétons actuels, qui se conjugue souvent avec un sous-dimensionnement des enrobages», constate de son côté François Martin, directeur des agences «Ingénierie de l'existant, diagnostic et structures» du Lerm-Setec (Laboratoire d'études et de recherches sur les matériaux du groupe Setec^[1]).

Au fil des années, l'état de l'art s'est amélioré et avec lui la qualité des ouvrages. «*Au sein de notre parc, on constate que les bâtiments construits dans les années soixante tiennent bien dans le temps, avec peu de désordres sur les bétons en parties courantes : les coefficients de sécurité appliqués à l'époque sur les teneurs en ciment et les ferrailages nous mettent à l'abri de pathologies lourdes sur les structures, souligne Nicolas Decouvelaere, directeur du développement et du patrimoine du bailleur social Archipel Habitat. Pour les bâtiments des années cinquante, on constate un peu plus de désordres, notamment sur les panneaux préfabriqués en façade.*»

Des zones de fragilité

En fonction de la qualité des bétons et des armatures, les bâtiments des Trente Glorieuses sont plus ou moins exposés aux attaques physico-chimiques qui >>>



“À cette époque, le béton armé est un matériau globalement maîtrisé par les constructeurs, mais avec des qualités encore inégales sur la formulation comme sur la mise en œuvre”



Photo © Max Savoye Architecte

2



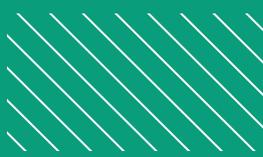
Photo © Robain Guieysse

3

1 Dans cette barre d'immeuble construite en 1960 à Toulouse, les balcons ont souffert de l'insuffisance des enrobages, qui a fini par exposer les aciers à l'air libre.

2 L'insuffisance voire l'absence d'armatures contribue à dégrader encore plus rapidement les bétons exposés, comme sur le balcon de cette tour construite en 1960 à Toulouse.

3 La rénovation de la tour Groix à Rennes est le premier des dix chantiers engagés par le bailleur Archipel Habitat pour redonner une seconde vie à dix immeubles d'habitation en béton construits entre 1959 et 1962. Achevée en 2022, cette rénovation a préservé les éléments architecturaux caractéristiques du bâtiment, avec la restauration des panneaux en béton lavé. Sur les parties de façades moins intéressantes du point de vue patrimonial, une isolation thermique par l'extérieur a permis d'améliorer le confort thermique des occupants.



AVANT

▶ **1** Sur cette opération de rénovation engagée par l'agence Canal Architecture pour le bailleur RIVP, les bétons souffraient d'un encrassement général et d'éclats sur plusieurs zones de la façade. La restauration a porté sur les bétons bruts en façade, fortement dégradés par la corrosion.

▶ **2** Une fois les aciers exposés, les processus d'éclatement des bétons s'accéléraient.

APRÈS

▼ **3** et **4** La rénovation du bâtiment s'est appuyée sur un diagnostic précis des pathologies et des différents bétons utilisés en façade, pour que les mortiers de réparation s'adaptent aux supports.

▶ **5** Les teintes des mortiers de réparation ont été choisies après des tests réalisés *in situ*, pour être les plus fidèles possibles aux bétons d'origine.



1 Photo © Canal Architecture



3 Photo © Pierre L'Excellent - Canal Architecture



4 Photo © Pierre L'Excellent - Canal Architecture





Photo © Canal Architecture

2



Photo © Pierre L'Excellent - Canal Architecture

5

DIAGNOSTIQUER, RÉPARER, PROTÉGER : À PARIS, UN CHANTIER EXEMPLAIRE

La transformation d'un immeuble de bureaux en logements a nécessité un minutieux travail d'analyse pour préciser l'état des bétons et sélectionner les solutions techniques les mieux adaptées.

Livré en 1974 par les architectes Claude Parent et André Remondet, l'immeuble de bureaux du 58, rue de Mouzaïa à Paris (19^e) se distingue par ses imposantes façades en béton, emblématiques du style dit «brutaliste». Quand le bailleur social RIVP (Régie immobilière de la Ville de Paris) en fait l'acquisition en 2015 pour y créer 168 logements dédiés aux étudiants, aux jeunes travailleurs et artistes, la préservation de l'identité du bâtiment est une priorité. Au fil des années, des rénovations mal inspirées et surtout le vieillissement naturel du béton ont dénaturé les façades, avec de nombreux éclats et même des fers dénudés sur les parties les plus dégradées.

Travail documentaire et analyses

L'équipe de maîtrise d'œuvre emmenée par Canal Architecture se lance d'abord dans une recherche documentaire visant à retracer les modes constructifs et les bétons utilisés. «*Nous avons découvert toute la complexité du bâtiment, qui associe des éléments coulés sur place comme la structure poteaux-poutres et les voiles de murs, de la préfabrication en usine pour les façades en "dents de mammoth" et leurs allèges, et des parties préfabriquées sur place pour les éléments répétitifs et volumineux comme*

les cannelures qui habillent les tourelles», résume Clément Vulliez, architecte à Canal Architecture. À chaque mode constructif correspond un béton différent, ce qui rend le travail de restauration d'autant plus complexe.

Sur la base du DCE (Dossier de consultation des entreprises), l'entreprise GTM est ensuite chargée d'un diagnostic précis du matériau, avec le soutien du bureau d'études BPE Laboratoire. Cette phase associe des analyses sur site et en laboratoire, avec une auscultation non destructive des façades au ferroscaan pour connaître la position des aciers. Elle comprend des carottages pour mesurer la profondeur de carbonatation des aciers, détecter des éléments pathogènes, et vérifier la composition des bétons pour établir les bonnes formules de mortier de réparation. Ce patient travail de diagnostic a permis de définir un mode opératoire spécifique : accessibilité et protection des façades, lavage à haute pression, décapage manuel, ponçage et piochage, dégarnissage des fers, passivation des aciers, et reprises au mortier.

Sur la coloration : recherche empirique

Malgré la précision du diagnostic et des compositions retenues, reconstituer les façades d'origine se révèle

une tâche délicate. En fonction de l'exposition et des modes constructifs, les bétons ont pris des colorations très variées. «*Il n'existe pas de pansement magique pour restaurer un béton ! La reconstitution des bétons a fait l'objet de tâtonnements parfois empiriques : plusieurs tests ont été réalisés pour chaque façade, avec des mélanges différents, qui ont permis de s'approcher au mieux des teintes d'origine*», explique Clément Vulliez. Une fois la restauration terminée, une protection hydrofuge a été appliquée pour mettre les bétons à l'abri des intempéries. Cinq ans après la fin des travaux, l'aspect des façades a évolué. «*Certaines réparations ne sont plus visibles, d'autres au contraire ressortent*, constate Patrick Rubin, fondateur de l'agence Canal Architecture. *Mais quand on voit que des fragments de pierre ont été changés sur certaines demeures anciennes, on l'accepte : c'est la vérité d'un bâtiment qui a vécu.*» En octobre dernier, le bâtiment a officiellement reçu le label «Architecture Contemporaine Remarquable» qui récompense les réalisations de moins de 100 ans d'âge encore non classées ou inscrites au titre des Monuments Historiques. ■





4 Photo © Mairie de Lormont

“Le principal ennemi des façades en béton est la présence d’eau, qu’elle soit due aux intempéries ou à l’humidité ambiante”

touchent le matériau (voir ► encadré page ci-contre). Le phénomène principal est la carbonatation, c’est-à-dire la diffusion du CO₂ ambiant dans les pores du béton : au contact du ciment, le gaz devient acide et abaisse le pH du matériau, ce qui réduit la protection des armatures métalliques et favorise leur corrosion. L’humidité est un facteur décisif dans l’intensité du phénomène. « *Le principal ennemi des façades en béton est la présence d’eau, qu’elle soit due aux intempéries ou à l’humidité ambiante. On constate aussi des pathologies liées à l’air salin : plus nos résidences sont proches de l’océan, plus les dégâts liés aux chlorures et aux sels se font sentir, ce qui accélère encore le processus de corrosion* », confirme Bertrand Gaillard, responsable « Maintenance et entretien du bâti » chez le bailleur social Domofrance, dont une part importante du parc est située sur la façade atlantique. La corrosion des armatures peut entraîner des désordres plus ou moins importants. Fissures et efflorescences figurent parmi les premiers signes de dégradation. Dans un second temps, les fissures s’agrandissent et les premiers éclatements du béton, ou épaufrures,

▲
4 **Construite entre 1949 et 1969 par l’architecte et ingénieur Pierre Mathieu, la Cité Carriet de Lormont (33) fait l’objet d’une vaste rénovation (500 logements environ). Le projet prévoit aussi la destruction de plusieurs bâtiments pour désenclaver le quartier et diversifier les typologies d’habitat.**

apparaissent aux angles. Si la corrosion n’est pas traitée, ces éclatements deviennent de plus en plus massifs, jusqu’à exposer les aciers dénudés. Dans les bâtiments des Trente Glorieuses, ces pathologies sont souvent localisées, observe Fred André, directeur des projets de réhabilitation et référent « Économie circulaire » chez Domofrance : « *Les dégradations se retrouvent principalement sur les têtes de refend ou les têtes de plancher. D’autant que, sur cette période de préfabrication, on se rend compte que les enrobages n’étaient pas forcément respectés en bout de plancher ou en bout de voile.* »

Si les épaufrures ne constituent pas en elles-mêmes un risque structurel, elles représentent un danger en cas de chute de débris, et doivent donc être prises en charge pour stopper le processus d’éclatement. Souvent, les campagnes de ravalement sont l’occasion de traiter ces désordres mineurs. Au sein d’Archipel Habitat, elles sont organisées systématiquement tous les vingt ans. « *Le périmètre d’intervention est bien sûr plus large qu’un simple ravalement, avec le traitement des bétons, la purge et la passivation des aciers quand c’est nécessaire. On constate le plus souvent la présence d’éclats dans les angles des panneaux préfabriqués, et parfois des dégradations observées sur les garde-corps ou les rives des balcons, avec des microfissures par lesquelles l’eau pénètre et peut venir oxyder les aciers* », détaille Rémy Messu, responsable du service « Exploitation » d’Archipel Habitat. ►►►

Les phases de dégradation du béton armé

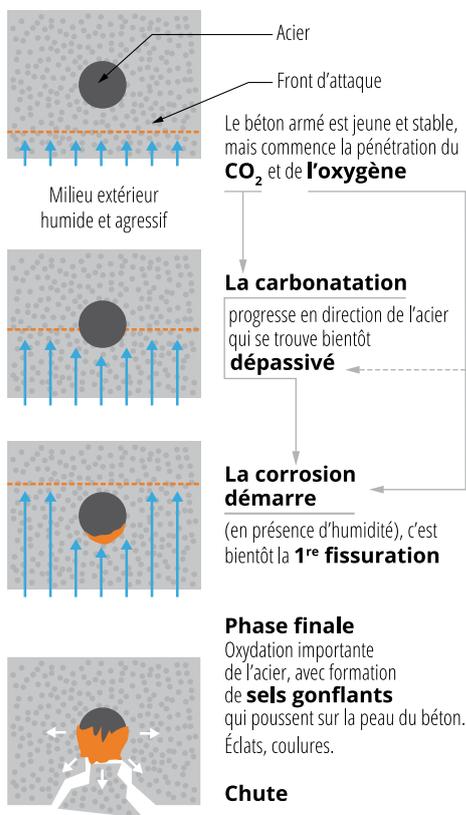


Illustration © AQC 1



▲ 1 Porosité excessive du béton : voici les phases de dégradation du béton armé jusqu'à l'éclatement et la chute de morceaux de béton. 2 Gros plan sur ce nez de dalle en béton vu en sous-face : corrosion des aciers avec éclatements de béton dus au manque d'enrobage des armatures.

LES PRINCIPALES PATHOLOGIES DU BÉTON

En fonction des conditions de mise en œuvre et de son environnement, le béton peut être soumis à des risques plus ou moins élevés de corrosion des armatures.

Le matériau peut être fragilisé par une trop grande porosité, due à un mauvais dosage (excès d'eau, mauvais rapport sable/granulats) ou aux conditions climatiques lors du coulage. Le défaut d'enrobage des aciers accélère également la dégradation du matériau, de même qu'une exposition régulière aux intempéries et aux températures extrêmes. La corrosion des armatures est causée par le contact

du béton avec des agents extérieurs, à commencer par le CO₂ (carbonatation) et les chlorures (sels de sodium ou de potassium) surtout présents dans les milieux marins ou en cas de contact avec les sels de déverglaçage (dispersés sur les trottoirs et les routes gelées). Dans certains environnements, le matériau peut aussi subir les attaques d'espèces agressives qui réagissent avec les composés du ciment, par



exemple les sulfates liés à la pollution automobile ou à l'activité agricole.
Pour en savoir plus :
Fiche pathologie bâtiment n° B.05 « Corrosion des armatures du béton armé en façades des bâtiments » de l'AQC et de la Fondation Excellence SMA. À télécharger sur <https://qualiteconstruction.com>, à la rubrique « Centre de ressources » ou scanner le QR Code ci-contre. ■

Les balcons en première ligne

Une autre zone de fragilité concerne les balcons, une situation assez courante dans les constructions en béton des années soixante. «*Parnature, les balcons constituent des points singuliers et ils sont plus exposés aux intempéries, et donc aux risques de corrosion. On constate le plus souvent des éclats autour de ferrillages pas suffisamment enrobés, mais parfois aussi des problèmes de corrosion qu'il faut investiguer, voire de positionnement des aciers. Ces deux prochaines années, nous allons confier à un bureau d'études structure un examen exhaustif des 8000 balcons de nos résidences, en donnant la priorité aux balcons les plus lourds ou avec des portées plus longues pour orienter nos prestataires sur les typologies d'ouvrages les plus à risque*», commente Nicolas Decouvelaere pour Archipel Habitat. Ce travail de diagnostic va associer des inspections visuelles mais aussi l'utilisation de méthodes non destructives comme le ferroskan pour détecter le positionnement des armatures (et les éventuels défauts). Le cas échéant, cette phase de détection sera complétée par des analyses plus poussées par carottage afin de préciser le niveau de dégradation des bétons (par exemple la pénétration de la carbonatation).

En dehors des balcons, les pathologies concernant ces bétons structurels exposés restent rares. Chez le bailleur Domofrance, on a enregistré des désordres sur plusieurs parkings enterrés sous dalle piétonne circulaire (fissurations entraînant des infiltrations d'eau), et surtout le cas d'un bâtiment des années soixante dont les poteaux de soutien des coursives étaient si dégradés qu'il a fallu purger le béton jusqu'aux aciers pour mettre un terme au processus de corrosion. «*On est alors sur des travaux d'une tout autre nature que pour la simple reprise d'épaufrures en façade: il faut s'adjoindre les services d'un bureau d'études pour réaliser les analyses physico-chimiques qui établiront la profondeur de la carbonatation, puis ceux d'une entreprise suffisamment compétente pour assurer une purge adéquate et renforcer le cas échéant la structure, avant de passer à la passivation des aciers et à la reconstitution des enrobages*», détaille Bertrand Gaillard pour Domofrance.

L'opportunité de la rénovation énergétique

Ces dernières années, les effets du changement climatique ont encore renforcé le risque de pathologies sur les bâtiments en béton. «*Les épisodes de températures extrêmes sur les façades sont plus réguliers, et décuplent le risque de dégradation. Lors de certaines journées d'été, la chaleur est telle que les aciers se "détendent": on voit alors certains planchers de structure qui s'arrondissent ou exercent une pression sur les façades, entraînant l'explosion des remplissages en briques*», ajoute Bertrand Gaillard. Les effets du changement climatique se font également sentir l'hiver. «*Les épisodes de gel sont moins fréquents, alors que ce gel venait emprisonner la pollution de surface et l'évacuer au moment du dégel. On tablait auparavant sur des ravalements de façades efficaces pendant une dizaine d'années, aujourd'hui on constate au bout de trois à cinq ans des traces de moisissures, qui viennent encore fragiliser les façades bétons*», complète Fred André.

Face à l'évolution des conditions climatiques, les bailleurs sont tentés d'inscrire la politique d'entretien des bâtiments des Trente Glorieuses dans une stratégie plus large de



5 Photo © Domofrance

“Mettre de l'ITE, c'est ajouter de l'inertie pour protéger les bétons de façade notamment face aux cycles de gel-dégel, et de canicule-refroidissement, mais aussi limiter leur exposition à l'eau et aux intempéries”

rénovation et d'amélioration de l'efficacité énergétique de leur parc. Construits avant le premier choc pétrolier (1973) et l'apparition des normes thermiques, ces bâtiments affichent en effet des performances thermiques souvent médiocres, et constituent des candidats de choix pour une rénovation énergétique incluant une Isolation thermique par l'extérieur (ITE). «*Mettre de l'ITE, explique Bertrand Gaillard pour Domofrance, c'est ajouter de l'inertie pour protéger les bétons de façade notamment face aux cycles de gel-dégel, et de canicule-refroidissement, mais aussi limiter leur exposition à l'eau et aux intempéries.*»

Bâtiments et valeur architecturale

Si elle peut être intéressante pour des immeubles sans valeur patrimoniale particulière, l'ITE n'est pas adaptée aux ouvrages en béton classés au titre des Monuments Historiques, dont la «Cité Radieuse» (Le Corbusier) de Marseille est l'exemple le plus connu (voir encadré présenté aux pages suivantes).

Plus généralement, la prise de conscience croissante de la valeur architecturale des bâtiments en béton des Trente Glorieuses incite certains acteurs à la prudence. Au sein d'Archipel Habitat, on plaide pour une approche pragmatique du sujet. Dans le cadre du projet de renouvellement urbain du quartier Maurepas à Rennes, le bailleur social a réalisé à la fois des ITE complètes sur des bâtiments dégradés et sans valeur architecturale, et des isolations mixtes (intérieur et extérieur) sur les tours emblématiques du Gros Chêne. «*Cette approche nous a permis de préserver des panneaux en béton lavé caractéristiques de ces bâtiments, avec une approche très fine des architectes pour trouver des solutions alliant les enjeux de rénovation énergétique et de préservation du patrimoine*, explique Nicolas Decouvelaere pour Archipel Habitat. *Plus généralement, sur des façades de qualité, nous faisons parfois le choix de maintenir le béton brut, quitte à appliquer des traitements de*



Photo © Domofrance 6

protection plus coûteux : nous considérons que respecter l'architecture d'origine fait aussi partie de notre mission d'office métropolitain.»

Des progrès dans les diagnostics et les réparations

Cet équilibre entre entretien des bâtiments en béton et préservation du patrimoine s'envisage différemment grâce aux progrès réalisés ces dernières décennies sur les techniques d'entretien et de restauration des bétons. En effet, l'état de l'art sur l'entretien et la restauration des bétons a fortement progressé : d'abord avec les recherches menées pour restaurer les ouvrages protégés au titre des Monuments Historiques, puis avec l'application aux bâtiments de procédés anticorrosion venus du génie civil, comme la protection cathodique par courant imposé ou par anodes sacrificielles.

Notons que la phase de diagnostic s'est enrichie d'une palette d'analyses physico-chimiques du matériau incluant des techniques usuelles mais optimisées pour l'identification des liants, et de méthodes d'inspection non destructives comme le ferroscon.

Grâce à ces données, les entreprises peuvent plus facilement déterminer la composition des bétons anciens et les pathologies qui les ont affectés, afin de choisir la formulation adaptée aux réparations. «L'essentiel est que le mortier ou béton de réparation dispose de performances comparables au matériau d'origine sur la porosité et la résistance mécanique, pour s'assurer de sa tenue dans le temps. Sinon, le risque est que la réparation ne dure pas plus de trois à cinq ans», insiste Elisabeth Marie-Victoire, du LRMH. En 2022, le LRMH a participé au guide *Les bétons du patrimoine* publié par le Groupement des entreprises de restauration des Monuments Historiques (GMH), qui fait la synthèse sur l'histoire du béton armé, ses pathologies, et les outils de diagnostic et de restauration adaptés aux différentes situations de chantier.

5 **Construites au début des années soixante-dix à Pessac (33), les tours Saige-Formanoir font actuellement l'objet d'une campagne de rénovation du bailleur Domofrance, visant notamment à améliorer le confort thermique des occupants.**

6 **Conçue à l'origine pour vérifier l'état de santé des balcons, cette campagne d'inspection par drone menée par le bailleur Domofrance permet plus largement de relever les défauts en façades, de les géolocaliser et de les suivre dans le temps. L'analyse des images d'inspection par un drone (via l'Intelligence artificielle) facilite l'expertise humaine, en surlignant de rouge les fissures.**

^[2] Lire l'article « Innovation : drones et intelligence artificielle pour l'inspection des ouvrages » publié dans le n° 198 de Qualité Construction (mai-juin 2023, pages 28 à 37).

Le drone pour géolocaliser et prévenir les désordres

Mieux détecter les désordres en façade et améliorer leur diagnostic, tel était l'objectif d'une expérimentation menée par Domofrance autour de l'utilisation de drones pour inspecter son parc immobilier. L'idée de massifier les inspections est apparue après l'effondrement d'un balcon à Angers en 2016. « Nous avons décidé de faire un diagnostic des 10 000 balcons que comptait à l'époque notre parc, avec une attention particulière aux risques de cisaillement des aciers et de fissuration des bétons à l'endroit du clavetage, explique Fred André [Domofrance]. Nous avons alors réfléchi aux modalités d'intervention pour réaliser cette campagne de diagnostic à coût maîtrisé. » Le drone s'impose comme une alternative intéressante aux traditionnelles inspections sur nacelle et visites dans les logements^[2]. Après des tests concluants, Domofrance décide même d'élargir la campagne de diagnostics à l'ensemble des façades. « Pendant le survol, l'appareil peut réaliser des photos et des vidéos, mais aussi un nuage de points qui sert à géolocaliser les défauts relevés et à établir une maquette 3D de l'ouvrage. On peut ainsi disposer d'un suivi dans le temps des désordres et, le cas échéant, des travaux réalisés », souligne Fred André. En 2022, Domofrance a enclenché une seconde phase de l'expérimentation utilisant l'Intelligence artificielle (IA) pour améliorer le traitement des données relevées par drone. Un partenariat est enclenché avec l'AQC qui fournit des photos de pathologies afin d'entraîner l'IA à mieux reconnaître les désordres et à fiabiliser son diagnostic. « L'objectif est que l'IA nous propose un niveau de risque pour chaque défaut, tenant compte de l'environnement du bâtiment comme la proximité d'un milieu marin, précise Fred André. À terme, l'ambition est de basculer d'une approche curative des défauts du béton à une approche préventive. »

UNE DIMENSION PATRIMONIALE TOUJOURS PLUS PRÉSENTE



Photo © Lerm-Setec

1



Photo © Lerm-Setec

2



Photo © Lerm-Setec

3

À l'image de la «Cité Radieuse» à Marseille, les bâtiments remarquables des Trente Glorieuses intègrent de plus en plus souvent la liste des bâtiments inscrits ou classés au titre des Monuments Historiques. Une protection qui impose d'adapter les méthodes de diagnostic et de réparation.

C'est sans doute le plus connu des bâtiments en béton des Trente Glorieuses : édiflée entre 1947 et 1952 dans le 8^e arrondissement de Marseille, signée de l'architecte Charles-Édouard Jeanneret (Le Corbusier), la «Cité Radieuse» a fait l'objet d'une inscription au titre des Monuments Historiques (MH), dès 1964, puis d'un classement MH en 1986. Lorsque la restauration du bâtiment a été engagée en 2000, toutes les précautions ont été prises pour respecter l'écriture d'origine du bâtiment, à commencer par les bétons de structure exposés. «Intervenir sur un ouvrage relevant des Monuments Historiques impose bien sûr des contraintes pour préserver l'esthétique du bâtiment, mais c'est aussi l'opportunité d'adopter une approche plus fine, répondant au plus près aux besoins. Lors des étapes de diagnostic comme de restauration, il faut mettre en œuvre les techniques les moins invasives et les moins visibles, et impliquer l'ensemble des acteurs du projet dans la recherche de solutions techniques pertinentes», pointe François Martin, directeur des agences de Lerm-Setec, le bureau d'études matériaux qui a réalisé le diagnostic général de la «Cité Radieuse» et accompagné la maîtrise d'ouvrage pendant la première phase des travaux (2005-2007).

Chantier pilote

Le diagnostic de l'état de santé du bâtiment conduit par Lerm-Setec a permis de constater que les bétons souffraient de plusieurs défauts courants dans

la construction d'après-guerre : une porosité élevée, la présence de nids de cailloux dus à l'absence de vibration pendant le coulage et une protection insuffisante des aciers. «Sur les éléments de structure, on a constaté des enrobages limités à 15 ou 20 mm, deux fois moins que ce qu'on préconiserait aujourd'hui», précise François Martin. La rénovation s'est engagée en 2005 sous le contrôle de l'Architecte en chef des Monuments Historiques François Botton. Centrée sur la façade ouest, cette première phase de travaux a été l'occasion de faire avancer l'état des connaissances sur la restauration des bétons par la mise en œuvre de nouvelles techniques de traitement. Le chantier a permis de tester une technique encore expérimentale à l'époque : la ré-alcalinisation, qui vise à faire remonter le pH du béton soumis à la carbonatation et aux chlorures. Après la purge du matériau et le brossage des aciers, le passage du courant électrique dans un cataplasme de ouate de cellulose imbibé d'eau alcaline a permis de forcer la remontée du pH et, dans une moindre mesure, la migration des chlorures. Une fois les armatures protégées, le travail de reconstruction des bétons a pu s'engager, avec une reconstitution à l'identique des teintes. Le chantier a aussi expérimenté, mais avec moins de succès, l'application en façade d'inhibiteurs de corrosion, qui devaient migrer au cœur des bétons par imprégnation. En

2020, une nouvelle phase de rénovation a concerné cette fois la façade sud, avec toujours le même souci de préservation ou de reconstruction à l'identique des ouvrages en béton.

Toujours plus de bâtiments protégés

À l'image de la «Cité Radieuse», de plus en plus de bâtiments construits en béton rejoignent la liste des ouvrages inscrits ou classés au titre des Monuments Historiques. En 2021, le ministère de la Culture en recensait près d'un millier, et ce chiffre augmente d'année en année. «Cette croissance tient au fait qu'on inclut dans le périmètre de protection de plus de plus de patrimoines différents, liés à des architectes illustres, ou emblématiques d'innovations techniques dans le choix des matériaux et des formes», explique la chercheuse Elisabeth Marie-Victoire. Le Pôle scientifique «Béton» qu'elle dirige au sein du Laboratoire de recherche des Monuments Historiques (LRMH) a lui-même été créé dans les années quatre-vingt-dix, quand s'est amorcée la prise de conscience de la valeur patrimoniale des bâtiments en béton du XX^e siècle et de leur inéluctable vieillissement. «Un enjeu majeur est de conserver au maximum la matière d'origine : chaque morceau de béton perdu l'est pour les générations suivantes... La dégradation du béton peut nuire à la lecture de l'œuvre, quand elle ne la menace pas», conclut Elisabeth Marie-Victoire. ■

1 Emblématiques de la «Cité Radieuse» construite par Le Corbusier à Marseille, les piliers qui soutiennent le bâtiment se caractérisaient par une porosité élevée des bétons et la présence de nids de cailloux, traduisant un manque d'homogénéité des mélanges. Engagé en 2005 sous la supervision de l'Architecte en chef des Monuments Historiques François Botton, le chantier de rénovation a permis de préserver les teintes d'origine des bétons de façades. 2 Les problématiques d'éclatement du béton se sont concentrées sur les piliers de la «Cité Radieuse» ainsi que sur des éléments du toit comme les garde-corps. 3 Pour déterminer l'avancement des pathologies comme la carbonatation, des carottages très localisés ont été réalisés dans les bétons de la «Cité Radieuse».