



Prévenir les désordres,  
améliorer la qualité  
de la construction

PÔLE  
OBSERVATOIRE

Dispositif REX  
Bâtiments  
performants

# CONSTRUCTION MODULAIRE TRIDIMENSIONNELLE 12 ENSEIGNEMENTS À CONNAÎTRE





# SOMMAIRE

Avertissement .....	2
<b>PARTENARIAT ENTRE L'AQC / ENVIROBAT OCCITANIE.....</b>	<b>2</b>
L'AQC ET LE DISPOSITIF REX BÂTIMENTS PERFORMANTS.....	3
Présentation générale.....	3
Fonctionnement du dispositif .....	3
Quelques chiffres.....	4
LE CENTRE DE RESSOURCES ENVIROBAT OCCITANIE .....	6
<b>CONSTRUCTION MODULAIRE TRIDIMENSIONNELLE .....</b>	<b>7</b>
<b>12 ENSEIGNEMENTS CLÉS TIRÉS DES RETOURS D'EXPÉRIENCES.....</b>	<b>9</b>
1 Préciser dès la programmation le système constructif modulaire retenu.....	10
2 Anticiper les délais de validation technique des solutions non traditionnelles .....	11
3 Intégrer dès la conception les tolérances dimensionnelles de fabrication et de montage...	12
4 Prévoir les modalités de transport .....	13
5 Anticiper la logistique liée au levage d'objets encombrants.....	14
6 Planifier le stockage des modules.....	15
7 Protéger les modules des risques de déformations et de dégradations.....	16
8 Protéger les modules des intempéries .....	17
9 Prévoir la mise hors d'eau du chantier dès la pose des modules.....	18
10 Gérer les interfaces entre les intervenants sur chantier .....	19
11 Effectuer les demandes de raccordements aux réseaux de distribution au plus tôt.....	20
12 Réaliser une cellule témoin avant la mise en production .....	21
<b>CONCLUSION .....</b>	<b>22</b>
<b>GLOSSAIRE .....</b>	<b>23</b>

## AVERTISSEMENT

*Ce document contient la description d'événements relevés lors d'une enquête. Il ne reflète que l'expérience issue de l'échantillon d'opérations visitées. C'est donc un retour partiel à partir duquel aucune extrapolation statistique ne peut être réalisée.*

*Ce document propose également un ensemble de bonnes pratiques qui sont issues de l'expérience des acteurs rencontrés sur le terrain ou de celle des spécialistes qui ont participé à ce travail.*

*En aucun cas ces bonnes pratiques ne peuvent se substituer aux textes de référence concernés.*

## PARTENARIAT ENTRE L'AQC ET LE CENTRE DE RESSOURCES DE LA RÉGION OCCITANIE

**Ce rapport est le fruit d'une collaboration entre l'AQC et Envirobat Occitanie.**

**Il a été réalisé grâce au soutien financier du programme PACTE et de l'ADEME. Les informations qu'il contient proviennent des retours d'expériences collectés via le Dispositif REX Bâtiments performants conçu et développé par l'Agence Qualité Construction.**

**Il a pour but de présenter 12 enseignements majeurs concernant la construction modulaire tridimensionnelle. Le choix de ces enseignements s'est fait en fonction de la récurrence des constats observés au sein de l'échantillon, de leur gravité et de l'appréciation des spécialistes du sujet qui ont participé à ce travail.**

# L'AQC ET LE DISPOSITIF REX BÂTIMENTS PERFORMANTS

## PRÉSENTATION GÉNÉRALE

Sous l'impulsion des objectifs de la transition énergétique, le secteur du bâtiment s'est engagé dans une mutation importante qui bouleverse les logiques et les habitudes du passé. Comme dans tous les domaines, ces changements impliquent une montée en compétences des acteurs, qui passe par l'expérimentation. Cette étape, indispensable pour progresser, est cependant naturellement génératrice d'écueils.

L'AQC se devait donc de capitaliser et valoriser ces retours d'expériences pour s'en servir comme des leviers d'amélioration de la qualité. C'est dans cet esprit que le Dispositif REX Bâtiments performants accompagne, depuis 2010, l'ensemble des acteurs de l'acte de construire en les sensibilisant sur les risques émergents induits par cette mutation de la filière Bâtiment.

Ce dispositif consiste concrètement à capitaliser des retours d'expériences en se basant sur l'audit *in situ* de bâtiments précurseurs allant au-delà des objectifs de performances énergétiques et environnementales et sur l'interview des acteurs qui ont participé aux différentes phases de leur élaboration.

Le partage des expériences capitalisées est au cœur du mode opératoire. Après une étape de consolidation et d'analyse des données, les enseignements tirés sont valorisés pour permettre l'apprentissage par l'erreur. Cette valorisation s'attache également à mettre en valeur les bonnes pratiques.

## FONCTIONNEMENT DU DISPOSITIF

### COLLECTE SUR LE TERRAIN

#### ÉTAPE A

- Interview *de visu* et *in situ* d'acteurs précurseurs de constructions performantes.
- Identification des non-qualités et des bonnes pratiques par les enquêteurs.

### CONSOLIDATION DANS UNE BASE DE DONNÉES

#### ÉTAPE B

- Capitalisation de l'information en utilisant une nomenclature prédéfinie.
- Relecture des données capitalisées par des experts construction.

### ANALYSE DES DONNÉES

#### ÉTAPE C

- Extractions de données en fonction de requêtes particulières.
- Évaluation des risques identifiés par un groupe d'experts techniques.

### VALORISATION DES ENSEIGNEMENTS

#### ÉTAPE D

- Production de rapports.
- Réalisation d'une mallette pédagogique et de plaquettes de sensibilisation pour les professionnels.

Le Dispositif REX Bâtiments performants est alimenté grâce à la coopération des centres de ressources membres du réseau BEEP (Bâti Environnement Espace Pro). Les enquêteurs qui collectent les retours d'expériences sur le terrain sont hébergés dans les centres de ressources régionaux, qui partagent leurs réseaux et leurs réflexions autour des retours d'expériences.

LE DISPOSITIF REX BÂTIMENTS PERFORMANTS EN CHIFFRES

**8 ANS**

d'ancienneté

**72 ENQUÊTEURS**

depuis 2010

**13 EN 2017**

**3 000 ACTEURS  
RENCONTRÉS**

depuis 2010

**500 EN 2017**

**550 BÂTIMENTS  
VISANT LE NIVEAU BBC  
OU RT 2012**

labellisés ou non

**150 BÂTIMENTS  
VISANT LE NIVEAU PASSIF**

labellisés ou non

**450 BÂTIMENTS  
VISANT LE NIVEAU BBC  
RÉNOVATION**

labellisés ou non

**40 BÂTIMENTS  
RÉALISÉS À L'AIDE D'OUTILS BIM**

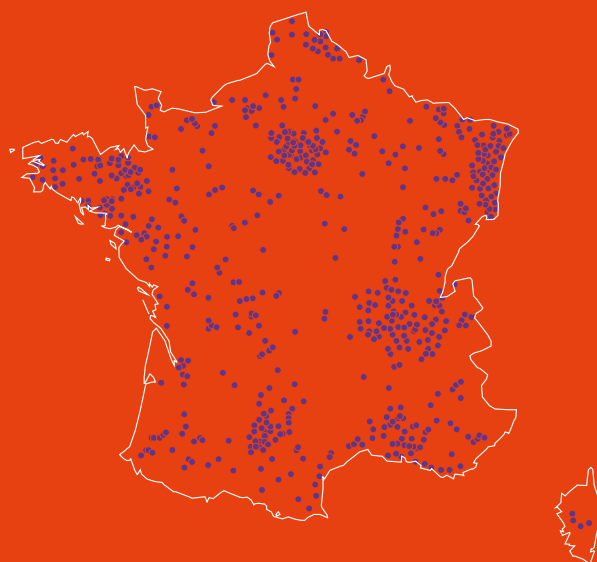
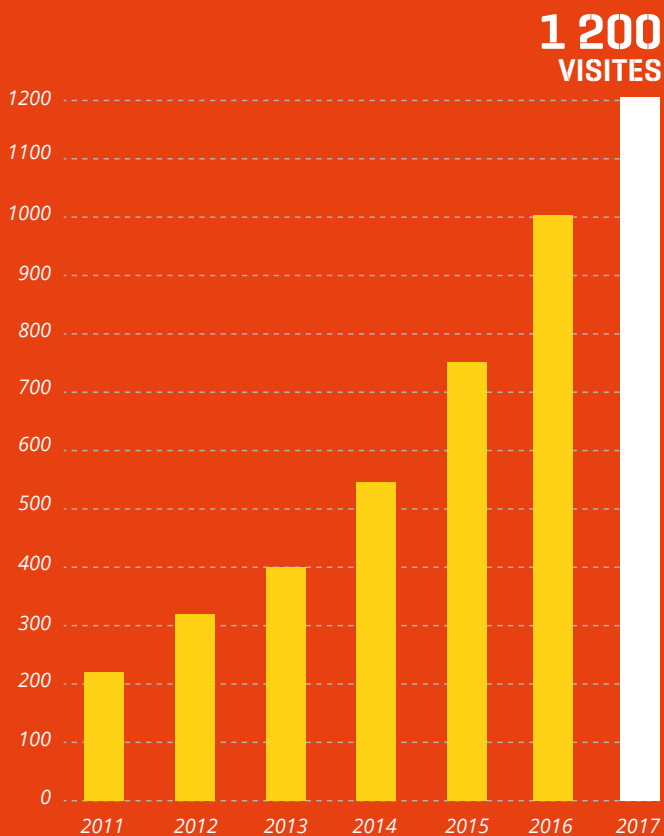
**10 BÂTIMENTS  
INTÉGRANT LA DÉMARCHE E+/C-**

**1 200 BÂTIMENTS  
VISITÉS**

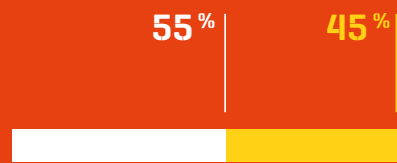
depuis 2010

**200 EN 2017**

OPÉRATIONS VISITÉES

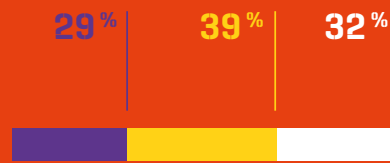


NATURE DE L'OPÉRATION



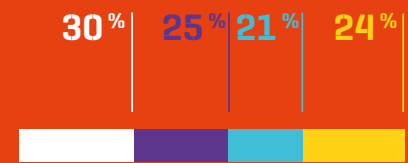
neuf  
rénovation

ANCIENNETÉ AU MOMENT DE LA VISITE



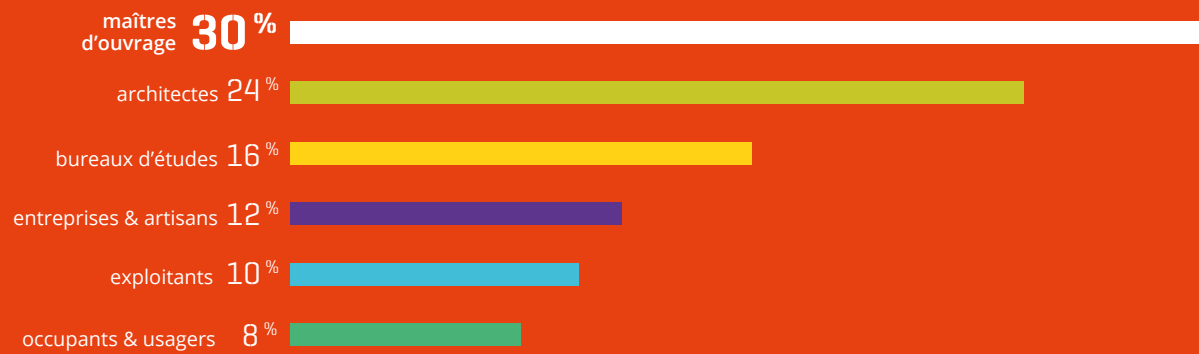
en phase de chantier  
pendant les deux premières années d'exploitation  
après deux ans d'exploitation

TYPE D'USAGE

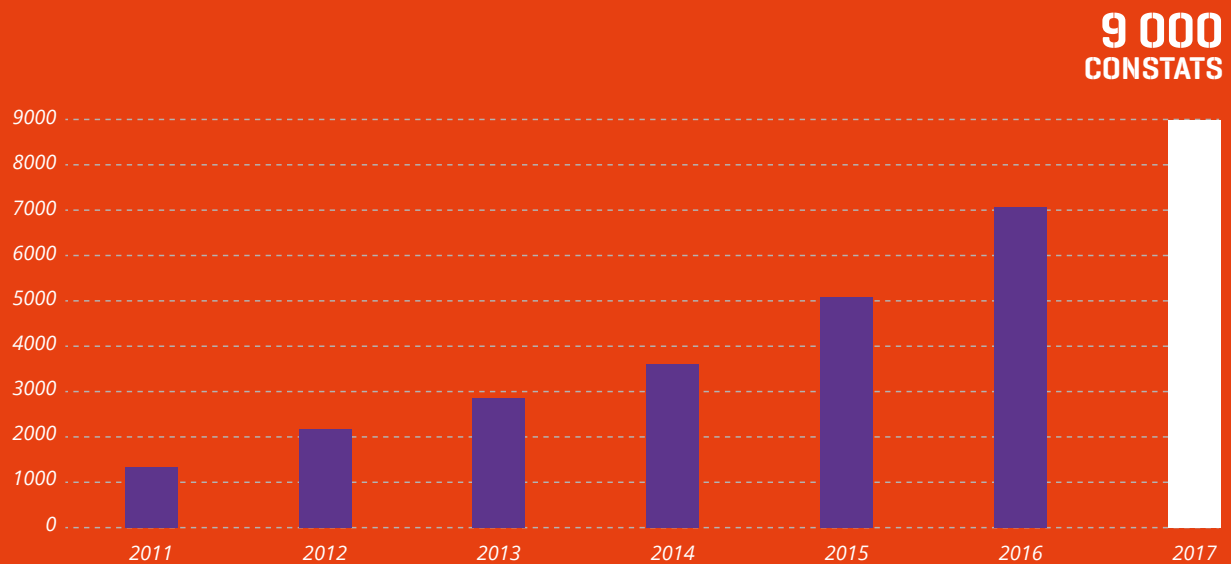


maisons individuelles  
logements collectifs  
bureaux  
établissements recevant du public (ERP)

LES ACTEURS RENCONTRÉS



CONSTATS CAPITALISÉS



# LE CENTRE DE RESSOURCES ENVIROBAT OCCITANIE

CENTRE DE RESSOURCES ET RÉSEAU D'ACTEURS  
DE L'AMÉNAGEMENT ET DE LA CONSTRUCTION DURABLES



Envirobat Occitanie, association loi 1901, est née le 1<sup>er</sup> janvier 2018 du rapprochement des deux centres de ressources occitans, CeRCAD Midi-Pyrénées et ECOBATP LR.

Envirobat Occitanie a pour mission d'accompagner l'évolution des pratiques des professionnels de la construction et de l'aménagement dans les enjeux de la transition énergétique et, plus spécifiquement, contribue à l'atteinte des objectifs fixés par le scénario REPOS de la Région Occitanie.

Véritable centre de ressources, de réflexions et d'actions collaboratives et innovantes, Envirobat Occitanie travaille à :

- capitaliser, produire et diffuser l'information ;
- sensibiliser, former et animer les réseaux d'acteurs ;
- accompagner les acteurs, leurs projets et les politiques publiques ;
- expertiser des projets d'aménagement, de construction, de rénovation et d'exploitation ;
- valoriser et partager les retours d'expériences.

Envirobat Occitanie, c'est un réseau de 130 adhérents et une équipe de 8 permanents répartis sur les sites de Montpellier et Toulouse.



De Gauche à droite : Sandrine Castanie, Illona Pior, Jonathan Kuhry, Catherine Banduau-Flament, Christophe Prineau, Lise Birard, Pauline Lefort, Claire Haegelin



# CONSTRUCTION MODULAIRE TRIDIMENSIONNELLE : UNE SOLUTION POUR DES BÂTIMENTS PERFORMANTS

## CONTEXTE ET DÉFINITION

Dans la pensée collective, le bâtiment modulaire évoque bien souvent des constructions préfabriquées aux volumes simples et standardisés, transportées en convois exceptionnels et posées de façon provisoire sur un site pour répondre à un besoin urgent, sans grande considération d'intégration architecturale et paysagère ou de recherche de performance énergétique.

Autrefois cantonnée à des marchés très spécialisés (bases-vie de chantier, vestiaires sportifs, mobile-home de camping, etc.), la construction modulaire s'invite aujourd'hui dans les constructions architecturées et pérennes de plus grande envergure, comme par exemple les résidences de logements collectifs ou les bâtiments d'enseignement.

À la préfabrication « 2D » de plus en plus fréquente, où panneaux, dalles, planchers, éléments de toiture pré-assemblés sont transportés à plat jusqu'au site de construction, la construction modulaire « 3D » apporte un degré d'assemblage supplémentaire - planchers hauts et bas sont assemblés aux murs en atelier avant d'être transportés sur chantier - et permet une finition plus avancée avec l'intégration des cloisons, des équipements techniques, des revêtements intérieurs et extérieurs et du mobilier. Sur chantier, en dehors des opérations de terrassement - fondations -VRD, les travaux se limitent aux raccordements aux réseaux et au raccordement structurel et mécanique des différents modules les uns aux autres. Jusqu'à 80 % de l'ensemble des travaux de construction d'un bâtiment peuvent ainsi être réalisés en usine.

## ENJEUX

Le secteur de la construction doit faire face à de nombreux défis : construire toujours plus et plus vite pour faire face à l'accroissement de la population, construire plus intelligemment pour préserver nos ressources et contenir le réchauffement climatique, construire plus qualitativement pour garantir le confort des usagers et optimiser les charges d'exploitation pour les gestionnaires, tout en maîtrisant les coûts de construction. Les professionnels du bâtiment font également face à des difficultés de recrutement et d'attractivité des métiers, liées aux conditions de travail, à la sécurité et à la qualification des compagnons.

Parce qu'elle entend répondre à plusieurs de ces objectifs dont ceux, non des moindres, de garantir les délais, les coûts et la qualité, la construction modulaire se présente comme une alternative crédible à la construction traditionnelle.

## L'ENQUÊTE

Les enseignements présentés dans ce rapport proviennent des constats effectués sur le terrain lors de visites d'opérations pérennes réalisées à base de modules bois, métal ou béton de toute taille (de 4 à plus de 200 modules), ainsi que des retours d'expériences collectés auprès des acteurs de la filière (concepteurs, constructeurs) et des maîtres d'ouvrage qui leur ont fait confiance, souvent pour une première expérience.

Ces enseignements visent à sensibiliser l'ensemble des acteurs concernés sur les principales difficultés techniques et surtout organisationnelles qu'ils peuvent rencontrer avec ce mode constructif.

Heureusement ces difficultés ne sont ni systématiques ni insurmontables : une bonne anticipation suffit bien souvent à les éviter !



# ENSEIGNEMENTS CLÉS

Les pages suivantes présentent 12 enseignements principaux issus de l'analyse et de la synthèse des retours d'expériences observés depuis 2010 dans le cadre du Dispositif REX Bâtiments performants. Le choix de ces enseignements s'est fait en fonction de la récurrence des constats concernés au sein de l'échantillon, de leur gravité et de l'appréciation des spécialistes du sujet.

---

✓ bonne pratique ✗ non-qualité

# 1 PRÉCISER DÈS LA PROGRAMMATION LE SYSTÈME CONSTRUCTIF MODULAIRE RETENU

## CONSTAT

- Les travaux décrits au CCTP (fondations, réseaux, étanchéité, ouvertures...) ne sont pas adaptés au système constructif modulaire. Des adaptations techniques et architecturales importantes sont nécessaires.

## PRINCIPAUX IMPACTS

- Modifications des lots de travaux par des avenants.
- Allongement des délais de conception.
- Réévaluation de l'enveloppe financière du projet.

## ORIGINE

- Chaque procédé modulaire a ses propres exigences techniques : type de fondation, trame des ouvertures, choix des revêtements d'étanchéité, tolérance dimensionnelle... Si on ne connaît pas ces contraintes dès la conception, le descriptif de travaux risque d'être inadapté.

## SOLUTIONS CORRECTIVES

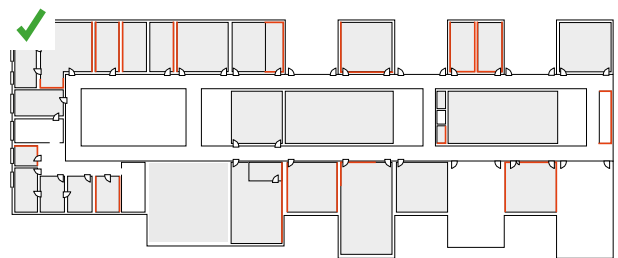
- Retravailler la conception et faire valider la solution définitive par le bureau de contrôle.
- Valider les modifications techniques et éventuellement les surcoûts avec les entreprises titulaires des lots.
- Changer de système modulaire ou de mode constructif.

## BONNES PRATIQUES

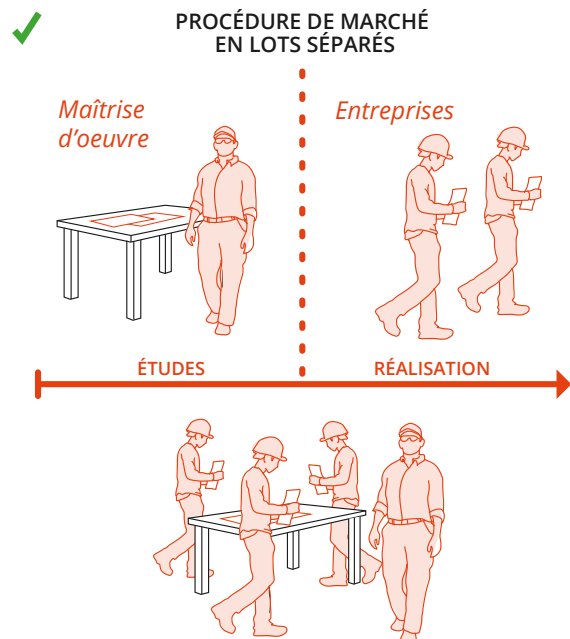
- En marché de travaux séparé ou alloti, sélectionner la solution modulaire avant de finaliser la conception.
- Envisager un marché de travaux de type conception-réalisation pour associer le constructeur modulaire à la rédaction du projet.



La conception des fondations de ce chantier a été revue après la passation du marché de travaux pour répondre aux prescriptions du système modulaire. ©AQC



Sur ce projet réalisé en conception-réalisation, le calepinage des cloisons et des ouvertures du bâtiment a été conçu en fonction de la trame du système constructif modulaire retenu. Vue de dessus. ©AQC



**PROCÉDURE DE CONCEPTION-RÉALISATION**  
Le type de procédure utilisée pour la passation de marché fixe le cadre d'intervention de l'entrepreneur. Dans une procédure classique, les entreprises n'interviennent pas dans la phase étude de conception. En conception-réalisation, les entreprises sont associées aux études. ©AQC

## Références

- Ordonnance no 2015-899 du 23 juillet 2015 relative aux marchés publics, article 33
- La réforme de la commande publique de 2016 applicable à la commande de projets de construction : quelles évolutions pour choisir les concepteurs ? Médiations n° 24 MIQCP, 2016
- www.miqcp.gouv.fr

## 2 ANTICIPER LES DÉLAIS DE VALIDATION TECHNIQUE DES SOLUTIONS NON TRADITIONNELLES

### CONSTAT

- Plusieurs mois supplémentaires ont été nécessaires pour valider des solutions techniques liées au système constructif.

### PRINCIPAUX IMPACTS

- Retard au démarrage du chantier.
- Coût supplémentaire d'études.
- Surcoût lié aux modifications.
- Impossibilité technique à réaliser le projet comme prévu.

### ORIGINE

- Les validations techniques nécessaires n'ont pas été prises en compte dans les temps d'études. Excepté en ossature bois (NF DTU 31.2), le module tridimensionnel n'a pas de cadre normatif. Les bureaux de contrôle et les assureurs exigent des vérifications et justifications techniques ainsi que des garanties sur les performances.

### SOLUTIONS CORRECTIVES

- En fonction du type de problème rencontré :
  - apporter des modifications au système constructif ;
  - retravailler les justifications techniques jusqu'à trouver une solution recevable par le bureau de contrôle.

### BONNES PRATIQUES

- Maîtres d'ouvrage : impliquer au plus tôt assureurs et contrôleurs techniques.
- Maîtres d'œuvre : anticiper le délai nécessaire au déroulement des procédures de validation technique des solutions non traditionnelles.



Exemple d'essai de comportement au feu pour justifier de la résistance au feu d'un module à structure métallique. La phase d'essai doit être programmée et anticipée. @EFFECTISFrance



La justification du comportement des modules en structure béton au regard des risques sismiques doit être anticipée afin de ne pas rallonger les délais d'études. ©CERIB



Exemple d'essai de flexion 4 points sur CLT (structure bois lamellé contrecroisé). La phase de justification doit être prévue en amont du projet. ©FCBA

### Références

- NF DTU 31.2 Construction de maisons et bâtiments à ossature en bois
- NF DTU 51.3 Planchers en bois ou en panneaux à base de bois

## 3 INTÉGRER DÈS LA CONCEPTION LES TOLÉRANCES DIMENSIONNELLES DE FABRICATION ET DE MONTAGE

### CONSTATS

- Au montage sur site, des décalages dans le positionnement des modules par rapport aux fondations sont observés.
- Des flèches différentielles entre les modules au niveau des raccords sont également constatées.

### PRINCIPAUX IMPACTS

- Risque d'instabilité de la structure.
- Risque de non-conformité d'implantation du bâtiment.
- Démolition possible.

### ORIGINES

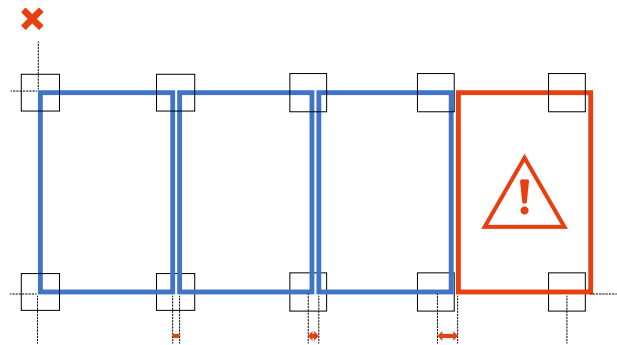
- La rigidité des modules ne permet pas de correction sur site.
- Les tolérances dimensionnelles ne sont pas intégrées aux cotes des plans de conception.
- Le dimensionnement est insuffisant pour éviter l'apparition de flèches différentielles.

### SOLUTIONS CORRECTIVES

- Chercher du jeu en décalant les modules déjà posés.
- Renforcer les structures qui présentent des déformations.

### BONNES PRATIQUES

- En conception, déterminer la valeur des jeux à introduire dans la fabrication des modules (calcul des chaînes de cotes).
- Prévoir des jeux de montage, par exemple en ménageant des espaces de quelques centimètres entre modules.
- Dimensionner les éléments structurels en fonction des déformations.
- Réaliser une réception de support afin de vérifier la conformité des ouvrages de maçonnerie et des attentes diverses.



Décalage progressif du positionnement des modules sur les fondations lors des opérations de pose/assemblage. Vue de dessus. ©AQC



Le dernier module à être posé ne « rentre » pas dans l'espace alloué : il faut trouver du jeu en décalant les modules déjà posés. ©AQC



Différence de niveau entre deux modules visible sous la plinthe. ©FCBA

## 4 PRÉVOIR LES MODALITÉS DE TRANSPORT

### CONSTAT

- Le transport est hors gabarit et ne peut pas passer par l'itinéraire prévu.

### PRINCIPAUX IMPACTS

- Mobilisation plus longue des moyens de transport.
- Retard du planning de livraison des modules.
- Retard de livraison du bâtiment.

### ORIGINE

- L'acheminement des modules sur site nécessite des moyens exceptionnels soumis à diverses réglementations ou autorisations. Le transport est parfois non adapté à l'itinéraire à emprunter.

### SOLUTIONS CORRECTIVES

- Se mettre en conformité administrative pour le transport.
- Rechercher un autre circuit de convoyage.
- Décaler l'acheminement des modules sur le chantier à une période moins contraignante.

### BONNES PRATIQUES

- Étudier avec précision la praticabilité de l'itinéraire et le gabarit routier entre la zone de production des modules et leur lieu de pose.
- Anticiper l'ensemble des démarches administratives à effectuer pour le passage des convois : demande d'autorisations de circulation pour chaque département et commune traversés, demande d'occupation temporaire de la voie publique pendant la durée de livraison des modules...
- Tenir compte des contraintes d'itinéraire et d'horaires imposées pour la circulation des convois : l'utilisation de voies dédiées à certains transports (bus, tramway), la traversée de certaines zones urbaines ou touristiques.
- Effectuer une reconnaissance d'itinéraire afin d'anticiper tout risque de dommage aux infrastructures empruntées (ponts, mobiliers urbains, câbles, arbres...) et aux modules transportés.

### Références

Voir la réglementation française de « transport exceptionnel » ([www.service-public.fr](http://www.service-public.fr))



Pour ce chantier, la rue a été bloquée une nuit, le temps de livrer et de poser l'ensemble des modules. Les délais ont été tenus. ©AQC



En sortie d'atelier, les modules sont acheminés sur le chantier en convoi exceptionnel, suivant l'itinéraire autorisé par l'administration. ©AQC



L'utilisation de remorques rabaissées permet de passer les ponts sans encombre. ©AQC

## 5 ANTICIPER LA LOGISTIQUE LIÉE AU LEVAGE D'OBJETS ENCOMBRANTS

### CONSTAT

- L'opération de levage pour la pose et l'assemblage des modules est plus complexe que prévu.

### PRINCIPAUX IMPACTS

- Détérioration des éléments.
- Risque d'accident aux tiers.
- Retard dans la livraison du bâtiment.

### ORIGINE

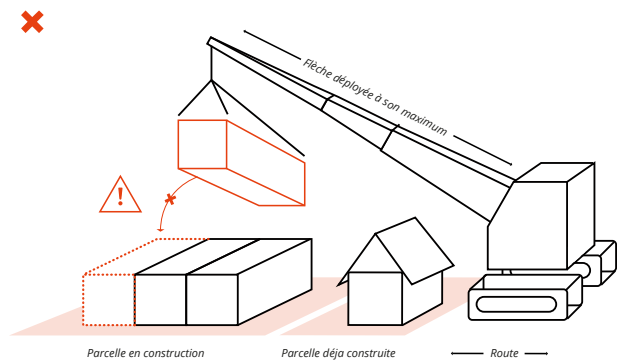
- La mise en place des éléments volumineux nécessite une organisation et des engins de levage exceptionnels : du personnel expérimenté, élévateur, grue à bras... Ces engins sont difficilement maniables en milieu contraint. Mal analysée en amont, cette opération peut se prolonger, se complexifier, voire provoquer un incident.

### SOLUTIONS CORRECTIVES

- Mobiliser un autre moyen de levage plus adapté à la situation.
- Modifier le planning de pose.

### BONNES PRATIQUES

- Dès la programmation, étudier avec précision la parcelle (accessibilité pour une grue) et son environnement immédiat (capacité portante de la chaussée, servitudes aéronautiques, câbles électriques, arbres...).
- Anticiper les demandes d'autorisations administratives.



Exemple de grue inadaptée : en fond de parcelle, les modules ne peuvent plus être posés. ©AQC



La présence de câbles (électriques, téléphoniques) dans la zone de levage ralentit les opérations de pose. ©AQC



La grue de levage utilisée sur la parcelle ne passe le portail qu'à quelques centimètres près, risquant une dégradation du mur de mitoyenneté et pouvant poser un problème de sécurité. ©AQC



## 6 PLANIFIER LE STOCKAGE DES MODULES

### CONSTAT

- Il n'y a pas la place pour stocker les modules sur le site avant leur pose définitive.

### PRINCIPAUX IMPACTS

- Multiple mobilisation des moyens de levage et de transport.
- Risques accrus de dégradations involontaires.
- Occupation foncière supplémentaire et frais de gardiennage.

### ORIGINE

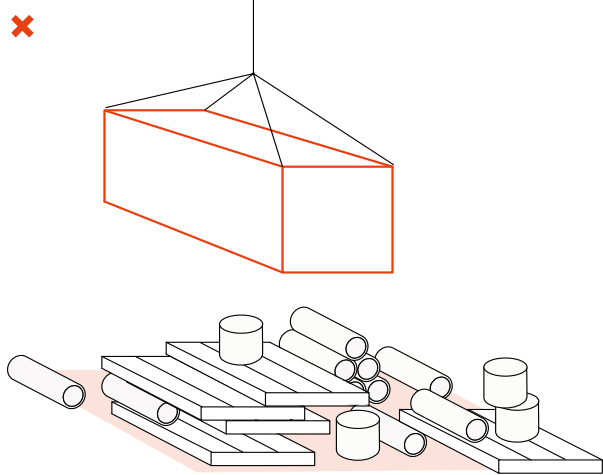
- Arrivés sur site, les modules ne sont pas systématiquement posés définitivement. Il peut y avoir une étape intermédiaire de stockage. Non planifié, ce stockage devient compliqué car les modules sont encombrants.

### SOLUTIONS CORRECTIVES

- Organiser la pose en même temps que la livraison.
- Identifier une zone de stockage intermédiaire à proximité du chantier.

### BONNES PRATIQUES

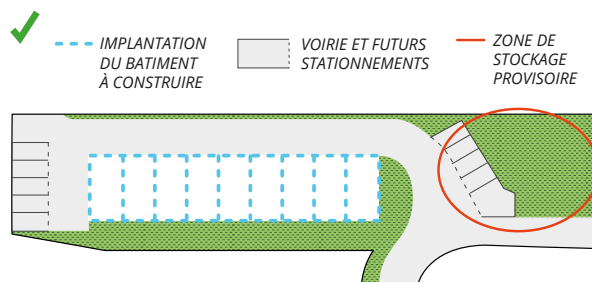
- Étudier très en amont les capacités de stockage disponibles sur la parcelle ou à proximité immédiate.
- Planifier le stockage (en atelier, sur un site externe, sur le chantier) afin d'optimiser les coûts et les délais liés à la logistique.



Le stockage des modules n'a pas été organisé, la parcelle est encombrée de matériaux et de matériels. ©AQC



Sur ce chantier, la parcelle ne disposant d'aucune surface libre pour stocker les modules, ceux-ci ont été levés et posés directement à leur emplacement définitif. Les moyens de transport ont donc été bloqués le temps de la pose, ce qui avait été anticipé. ©AQC



Sur ce chantier, l'emprise de la voirie et du bassin d'orage a servi à stocker temporairement les modules le temps d'assembler ceux arrivés précédemment, libérant ainsi les moyens de transport pour effectuer les rotations. Vue de dessus. ©AQC

## 7 PROTÉGER LES MODULES DES RISQUES DE DÉFORMATIONS ET DE DÉGRADATIONS

### CONSTAT

- Les modules arrivent sur site endommagés : vitrages cassés, acrotères arrachés, plaques de plâtre fissurées...

### PRINCIPAUX IMPACTS

- Risques d'altération de l'étanchéité à l'eau et à l'air.
- Perte de performances (mécanique, acoustique, thermique...).
- Défaut esthétique.

### ORIGINES

- Mauvaise protection des modules : ouvrants, gaines en attente, éléments en saillie, modules avec parois « ouvertes » non protégés vis-à-vis de la prise au vent.
- Mauvais dimensionnement des éléments structurels pour résister aux contraintes de levage et de transport.
- Dimension du module inadaptée au gabarit routier.
- Mauvais positionnement de la charge sur la remorque.

### SOLUTION CORRECTIVE

- Effectuer les reprises nécessaires, sur site ou en atelier suivant la gravité des détériorations.

### BONNES PRATIQUES

- Dimensionner correctement les éléments structurels des modules et rigidifier les points sensibles.
- Préférer la réalisation de certaines finitions sur site plutôt qu'en atelier (joints de faïence, crépi, bardage, panneaux de façade).
- Opter pour des revêtements capables d'absorber les déformations (plafonds en toile tendue, sols souples).
- Brider tous les éléments mobiles ou susceptibles de l'être en tenant compte des efforts « dynamiques » liés au transport.
- Préparer soigneusement la charge avant toute opération de levage et pour le transport.



Gauche : arrachement du châssis suite à l'ouverture intempestive du vantail lors du transport. ©Selvea  
Droite : angle abîmé lors du transport. ©AQC



Gauche : les raidisseurs métalliques positionnés sur les parois « ouvertes » des modules empêchent le cintrage du module sous son propre poids. ©AQC  
Droite : des cales de bois empêchent l'ouverture intempestive des menuiseries. ©AQC



Chargement d'un module en sortie d'atelier. Les parois « ouvertes » sont bâchées pour éviter les déformations lors des opérations de levage et pendant le transport. ©AQC

## 8 PROTÉGER LES MODULES DES INTEMPÉRIES

### CONSTAT

- Les modules ont été détériorés par les intempéries (pluie, vent...) lors de leur transport entre l'atelier et le chantier ou lors de leur assemblage sur chantier.

### PRINCIPAUX IMPACTS

- Risque de déformation.
- Défauts d'étanchéité à l'eau ou à l'air.
- Défaut esthétique après séchage.

### ORIGINE

- La protection aux intempéries n'a pas été prévue en phase conception ou n'a pas été mise en place en sortie d'atelier parfois dans le but de gagner du temps ou de faire des économies de fourniture.

### SOLUTIONS CORRECTIVES

- En cas de désordre et en fonction des défauts constatés :
  - reprendre ou remplacer les éléments détériorés ;
  - mesurer le taux d'humidité pour s'assurer du retour à l'équilibre des matériaux.

### BONNE PRATIQUE

- Envelopper les modules sous des bâches de protection (bâches thermo-rétractables à usage unique, bâches indéchirables réutilisables...). Celles-ci ont l'avantage de pouvoir également servir à repérer les modules en fonction de leur futur emplacement sur le site. Des constructeurs l'utilisent comme support publicitaire de l'entreprise lors du transport.



Isolant extérieur et revêtement intérieur ne sont pas protégés des risques de pluie lors de la pose du module sur chantier. ©AQC



Les modules en cours de pose sont bâchés. ©AQC



Module bâché pour le transport avec son numéro de repérage. ©AQC

## 9 PRÉVOIR LA MISE HORS D'EAU DU CHANTIER DÈS LA POSE DES MODULES

### CONSTAT

- Les modules prennent l'eau entre la dépose de leur étanchéité provisoire et la réalisation de l'étanchéité définitive.

### PRINCIPAUX IMPACTS

- Perte de performances (thermique, mécanique...).
- Variations dimensionnelles.
- Défaut esthétique (tâches, cloques) après séchage.

### ORIGINE

- Mauvais ordonnancement des tâches sur le chantier.

### SOLUTIONS CORRECTIVES

- Attendre le séchage complet des éléments humides en utilisant si besoin une ventilation de chantier.
- Vérifier l'intégrité physique et mécanique ainsi que la salubrité des matériaux isolants et structurels.
- Procéder au remplacement des éléments dégradés.

### BONNES PRATIQUES

- Préparer le chantier de façon à pouvoir lever, positionner et étancher définitivement le module sans attendre.
- Protéger le module lorsque les conditions météorologiques sont instables.
- Concevoir la pose du module avec sa bâche de protection temporaire. La bâche est retirée au moment de réaliser l'étanchéité définitive.



Sur cette toiture-terrasse, l'étanchéité reste à faire. Sans protection, elle est soumise aux intempéries. ©AQC



Étanchéité d'une toiture-terrasse : les membranes d'étanchéité des modules sont pré-positionnées et les jonctions entre modules sont étanchées dès que ceux-ci sont correctement posés et connectés entre eux. ©AQC



La bâche du module est retirée une fois le module posé et étanché. ©AQC

## 10 GÉRER LES INTERFACES ENTRE LES INTERVENANTS SUR CHANTIER

### CONSTATS

- Des dégradations sont observées aux connexions entre modules ou à la jonction d'un module avec un élément de la construction (palier, couloir...).
- Des détériorations sont constatées à l'intérieur des modules.

### PRINCIPAUX IMPACTS

- Défaut d'étanchéité.
- Défaut esthétique.
- Reprise des finitions.

### ORIGINE

- Une construction modulaire n'est jamais préfabriquée à 100 % : il y a des interfaces à gérer sur chantier. Les intervenants n'ont pas l'habitude d'assembler des éléments « finis » et peuvent dégrader les performances aux jonctions et aux interfaces.

### SOLUTIONS CORRECTIVES

- Reprendre le traitement de l'étanchéité des interfaces défectueuses.
- Nettoyer ou remplacer les parements détériorés.

### BONNES PRATIQUES

- Soigner les plans d'exécutions et de synthèse, notamment pour les opérations qui doivent être réalisées sur chantier.
- Concevoir les modules de façon à minimiser les interventions qui nécessitent d'y rentrer pendant le chantier.
- Fermer l'accès aux modules tant qu'aucune intervention n'est requise pour éviter toutes dégradations et salissures.
- Sensibiliser les différents intervenants sur le chantier à ne pas détériorer les modules livrés (parements posés, équipements installés...).



Sols intérieurs définitifs posés en atelier qui se salissent sur chantier tant que les travaux extérieurs ne sont pas terminés. ©AQC



Sur cette opération, la salle de bains est livrée finie. Des trappes de raccords sont prévues pour l'intervention du plombier afin de ne pas abîmer les finitions. ©AQC



Une plaque métallique au niveau de la porte palière permet de traiter proprement la jonction de plancher entre les logements réalisés à base de modules et le noyau central de distribution réalisé sur chantier. ©AQC

# 11 EFFECTUER LES DEMANDES DE RACCORDEMENTS AUX RÉSEAUX DE DISTRIBUTION AU PLUS TÔT

## CONSTAT

- Les logements sont prêts à être livrés alors que le raccordement au réseau public de distribution d'électricité n'a pas été effectué.

## PRINCIPAL IMPACT

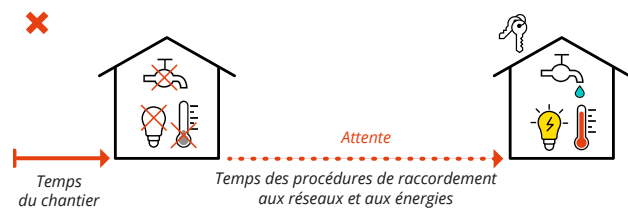
- Retard dans la livraison du bâtiment.

## ORIGINE

- La durée des procédures de raccordement aux réseaux publics de distribution d'électricité, de gaz ou d'eau est souvent plus longue que la durée de réalisation des constructions modulaires tridimensionnelles.

## BONNES PRATIQUES

- Dès que les caractéristiques techniques des équipements à installer sont connues, effectuer sans tarder une demande de raccordement.
- Insister sur le caractère spécifique de la construction qui diminue le délai habituellement constaté pour la phase chantier (exemple : moins de 6 mois entre la déclaration d'ouverture de chantier et la livraison du bâtiment).



*Le bâtiment est livré très rapidement alors que les alimentations en fluides et énergie ne sont pas encore activées. ©AQC*

## 12 RÉALISER UNE CELLULE TÉMOIN AVANT LA MISE EN PRODUCTION

### CONSTAT

- Le client veut apporter des modifications au projet alors que la production en atelier a démarré.

### PRINCIPAUX IMPACTS

- Augmentation du délai de fabrication.
- Surcoûts en cas de modification du projet.
- Impossibilité de satisfaire le maître d'ouvrage.

### ORIGINE

- Tous les détails n'ont pas été validés par le client en phase de programmation. La construction modulaire est un processus industrialisé, toutes les décisions doivent être prises avant la mise en production en atelier et non au fur et à mesure de la réalisation du chantier.

### SOLUTION CORRECTIVE

- Procéder aux modifications demandées en fonction de leur faisabilité technique et financière.

### BONNES PRATIQUES

- Échanger très régulièrement avec le maître d'ouvrage en phase conception pour bien lui faire comprendre les spécificités de la préfabrication tridimensionnelle.
- Réaliser une cellule témoin pour aider le maître d'ouvrage à se projeter (volumes, surfaces, matériaux...) et à valider tous les détails (comme par exemple le positionnement des prises électriques) avant la mise en production.
- Équiper la cellule témoin avec le niveau de finition attendu (parements, équipements, mobilier...) pour éviter toute déconvenue.
- Réaliser le « témoin » le plus tôt possible pour optimiser les délais du projet.



La tablette, ajoutée au-dessus de la porte à la demande du maître d'ouvrage après fabrication, entre en conflit avec la bouche d'entrée d'air du logement. ©AQC



Le mange-debout, livré avec les modules tout équipés, n'était pas présent dans le module témoin le jour de la visite par le maître d'ouvrage. Celui-ci s'avère trop haut et n'est donc pas utilisé comme il aurait dû l'être. ©AQC



Du studio étudiant à la maison individuelle, les bâtiments témoins réalisés par les constructeurs permettent au client d'appréhender en situation réelle les espaces, les volumes, les matériaux... ©OSSABOIS

## CONCLUSION

### LES PROMESSES DE LA CONSTRUCTION MODULAIRE TRIDIMENSIONNELLE

La construction modulaire tridimensionnelle pousse toujours plus loin l'industrialisation dans le secteur du bâtiment, ce qui bouscule les acteurs de la construction.

Les principaux atouts avancés de cette industrialisation sont :

- les délais de réalisation maîtrisés ;
- les coûts de construction concurrentiels ;
- la limitation des réserves en fin de chantier ;
- la fiabilité des performances thermiques et environnementales ;
- la réduction des nuisances de chantier.

Qui peut ne pas être séduit par une telle proposition ? Tout maître d'ouvrage souhaite que son bâtiment soit livré dans les temps, avec une qualité conforme à ses attentes et au coût convenu. En répondant à ces critères, la construction modulaire veut faire de l'acte de construire un événement heureux.

### LES POINTS DE VIGILANCE

Pour autant, rien n'est joué d'avance. Les retours d'expériences collectés lors de cette enquête permettent d'alerter les maîtres d'ouvrage, concepteurs comme constructeurs, sur les principaux écueils à éviter.

Avant de s'engager dans ce type de construction, chacun doit être vigilant :

- à la rédaction du marché de travaux ;
- aux délais globaux du projet et notamment au temps dédié à la conception ;
- à l'irréversibilité de ses choix lorsque la fabrication est lancée ;
- à la durée de certaines procédures administratives qui peuvent pénaliser la durée effective du chantier.

La plupart de ces difficultés sont propres à la préfabrication et à la spécificité d'une construction réalisée hors site.

Par ailleurs, les très fortes contraintes liées au stockage, au levage et au transport des modules imposent une parfaite organisation logistique et une très bonne préparation de chantier. Une attention particulière doit également être portée à la facilité apparente des opérations d'assemblage sur chantier. On rejoint là une des préoccupations majeures de tout type de construction : assurer la continuité des plans d'étanchéité à l'eau et à l'air.

Des problématiques de surchauffes, d'éblouissement, de difficulté d'utilisation ou de pilotage d'équipements techniques ont également été constatées dans les constructions modulaires. Aussi, il n'est pas inutile de rappeler qu'un ouvrage n'est réellement performant que s'il répond avec efficacité aux besoins de ses utilisateurs et de ses gestionnaires : au-delà de la performance technique de l'élément « module », la conception doit donc s'attacher à intégrer du mieux possible le bâtiment à son environnement climatique, paysager, visuel et sonore et à prévoir des modalités de pilotage et d'entretien efficaces.





## LES PERSPECTIVES

Aujourd'hui, la crainte d'aboutir à une expression architecturale imposée par la modularité est de moins en moins fondée au fur et à mesure que se développent des projets de grande ampleur qu'il est impossible de distinguer des constructions voisines traditionnelles.

Les professionnels développent de multiples solutions pertinentes, que ce soit en bois, en métal ou en béton. Ils innovent en permanence :

- en travaillant en étroite collaboration avec les acteurs de la maîtrise d'œuvre (architecte, économiste...), les bureaux d'études, les centres techniques, les bureaux de contrôle, les assureurs... ;
- en expérimentant différentes méthodes organisationnelles (spécialisation des tâches ou au contraire polyvalence) ;
- en optimisant les process de fabrication (chasse au temps perdu à attendre, se déplacer, corriger ses erreurs) ;
- en améliorant les conditions de travail pour les compagnons (sécurité, condition de travail, pénibilité...).

La prochaine étape de développement de l'industrialisation sera l'impression 3D des bâtiments directement sur site... mais il faudra attendre un peu avant d'avoir des retours d'expériences !



## GLOSSAIRE

CCTP : Cahier des Clauses Techniques Particulières

DTU : Document Technique Unifié

MIQCP : Mission Interministérielle pour la Qualité des  
Constructions Publiques

REPOS : Région à Énergie POSitive

REX : Retours d'Expériences

VRD : Voirie et Réseaux Divers

## LES MISSIONS DE L'AQC

### OBSERVER L'ÉVOLUTION DES DÉSORDRES ET DES PATHOLOGIES

La priorité est donnée au recueil et à l'analyse d'informations sur les désordres. Une méthode spécifique de recueil et de traitement des données est mise en place : le SYstème de COLlecte des DÉsordres (Sycodés).

Les données produites font apparaître les techniques et les ouvrages les plus sinistrants ainsi que les causes de ces sinistres. Elles permettent également de mesurer les progrès des professions.

En complément, l'AQC conduit une enquête d'envergure nationale sur les risques dans les bâtiments performants aux plans énergétique et environnemental.

### IDENTIFIER LES SIGNES DE QUALITÉ

L'Observatoire des signes de qualité a été conçu et enrichi par l'AQC, à partir de l'analyse des référentiels techniques et des conditions d'utilisation des diverses marques. Il a abouti à la conception d'un moteur de recherche des signes de qualité au service des professionnels et des maîtres d'ouvrage. Il est disponible sur le site internet de l'AQC.

### CHOISIR LES PRODUITS

La Commission Prévention Produits mis en œuvre (C2P) agit au sein de l'AQC avec trois objectifs clés :

- tenir compte des enseignements de la pathologie pour améliorer les produits et les textes qui régissent leur mise en œuvre ;
- éviter que de nouveaux produits ou textes ne soient à l'origine d'une sinistralité importante et répétée ;
- attirer l'attention des professionnels lors de leur choix technique sur les produits et/ou procédés, susceptibles de poser des problèmes.

Le champ traité par la C2P est vaste puisqu'il couvre le domaine traditionnel : normes et documents techniques unifiés (NF DTU), Règles professionnelles, et le domaine non traditionnel : Avis Techniques (ATec), Documents Techniques d'Application (DTA)...

### CONSTRUIRE AVEC LA QUALITÉ EN LIGNE DE MIRE

L'AQC développe des actions de prévention (publications techniques, Fiches pathologie bâtiment, articles dans la revue...) et accompagne les professionnels dans l'adoption de bonnes pratiques (démarches qualité, documents de sensibilisation).

La Commission Prévention Construction (CPC) s'est fixée comme objectif à sa création de :

- développer des actions sur les pathologies les plus coûteuses ou les plus nombreuses ;
- mobiliser les professionnels ;
- travailler sur les causes profondes de la non-qualité ;
- s'ouvrir aux règles et nouveaux systèmes constructifs susceptibles de générer des risques.

### PRÉVENIR DÉSORDRES ET PATHOLOGIES

La revue Qualité Construction, le site internet de l'AQC, le Rendez-vous Qualité Construction, la newsletter de l'AQC, la lettre Veille Pathologie destinée aux experts et aux contrôleurs techniques, les journées destinées aux formateurs, la présence active sur des salons comme BATIMAT, sont l'illustration dynamique de la volonté permanente de communication de l'AQC avec son environnement.

*réalisé avec le soutien financier de :*

