

QUALITÉ CONSTRUCTION

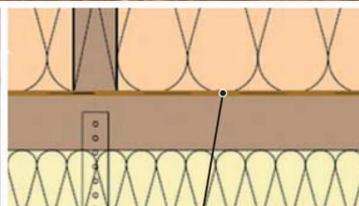


REVUE DE L'AGENCE QUALITÉ CONSTRUCTION • N° 147 • NOVEMBRE/DÉCEMBRE 2014 • 13 €



MATÉRIAU BOTTE DE PAILLE LA CONSTRUCTION PAILLE DANS LA COUR DES GRANDS

©2014 - Philippe Heltz - AOC



QUALITÉ

Bâtiments d'habitation : prévenir et traiter les non-conformités réglementaires

RÉNOVATION

Murs anciens : comment isoler en prévenant les risques liés à l'humidité ?

MISE EN ŒUVRE

Sertissage : une solution d'assemblage de canalisations simple et fiable

RÉGLEMENTATION

Toitures à éléments porteurs en bois : l'isolation thermique revisitée

5 000 bottes de paille isolent façades et toiture de la cité scolaire de Saint-Cirgues-en-Montagne, à 1 100 m d'altitude en Ardèche. Architectes : agence Charnay, agence Fabre et Doinel.



©2014 - Philippe Heitz - ADC

MARCHÉS PUBLICS ET BILAN CARBONE

Co-produit agricole peu transformé et disponible localement, la botte de paille est un matériau à faible énergie grise. Sauf si elle fait des centaines de kilomètres avant d'arriver au chantier, comme pour l'école de Rosny-sous-Bois (93) dont les caissons paille et l'ossature bois proviennent... d'Autriche. Mais le Code des marchés publics interdit de choisir ou d'exclure une offre sur un critère de proximité géographique. Pour garder la cohérence environnementale des projets paille, Philippe Estingoy, directeur général de l'AQC, suggère « d'introduire dans l'appel d'offres une analyse multicritères avec bilan carbone. Les collectivités peuvent s'appuyer sur le guide méthodologique Bilan carbone appliqué au bâtiment de l'Ademe (1) ».

(1) www.basecarbone.fr ou www.ademe.fr/bilan-carbone-applique-batiment-guide-methodologique

MATÉRIAU BOTTE DE PAILLE

LA CONSTRUCTION PAILLE DANS LA COUR DES GRANDS

TEXTE : PHILIPPE HEITZ PHOTOS : ASP ARCHITECTURE, ATELIER CHOUETTE & ATELIER 3A, BATI NATURE, COLLART ARCHITECTES, CORALIE GARCIA (RFCP), DE PIERRE ET DE BOIS, GAUJARD TECHNOLOGIE, PHILIPPE HEITZ/AQC, MV HABITATION

Deux ans et demi après la validation des Règles professionnelles de la construction en paille par la Commission Prévention Produits mis en œuvre (C2P)

de l'AQC, le retour du terrain montre le franchissement d'un palier. De grands bâtiments d'activités, des groupes scolaires, des logements collectifs, mairies, salles de spectacle, sont construits ou réhabilités avec divers systèmes constructifs isolés en paille. Et les maisons individuelles ne se cantonnent plus à l'auto-construction pour devenir le marché de petites entreprises spécialisées. Bases techniques et tour d'horizon d'un réseau créatif et structuré.

Soyons clair : de grands projets d'Établissements recevant du public (ERP) isolés en paille, comme le groupe scolaire d'Issy-les-Moulineaux (92) avec ses 5 238 m² livrés en 2013, ont été conçus avant la publication le 1^{er} janvier 2012 des *Règles professionnelles de construction en paille*. Ces dernières, qui couvrent le domaine de la paille comme remplissage isolant et support d'enduit, ne sont donc pas le sésame qui aurait déclenché la naissance de ces grandes réalisations. Mais, élaborées pendant cinq années au sein du Réseau français de la construction paille (RFCP) par notamment des maîtres d'œuvre de ces projets, ces Règles sont le symbole d'une organisation réussie d'une filière en plein essor (1). Aboutissement du travail acharné de pionniers de la paille, Compailons autoconstructeurs pour les plus anciens, ingénieurs, artisans, architectes, chercheurs, les Règles professionnelles témoignent de la maturité des savoir-faire dans la conception et la réalisation de bâtiments de toutes tailles avec des techniques constructives variées. Et comme l'attestent nombre de ces professionnels, les Règles ont crédibilisé les constructeurs et diffusé les techniques auprès des maîtres d'ouvrage et des assureurs. Il fallait bien



(1) Voir le n° 130 de Qualité Construction (janvier-février 2012, pages 54 à 60).

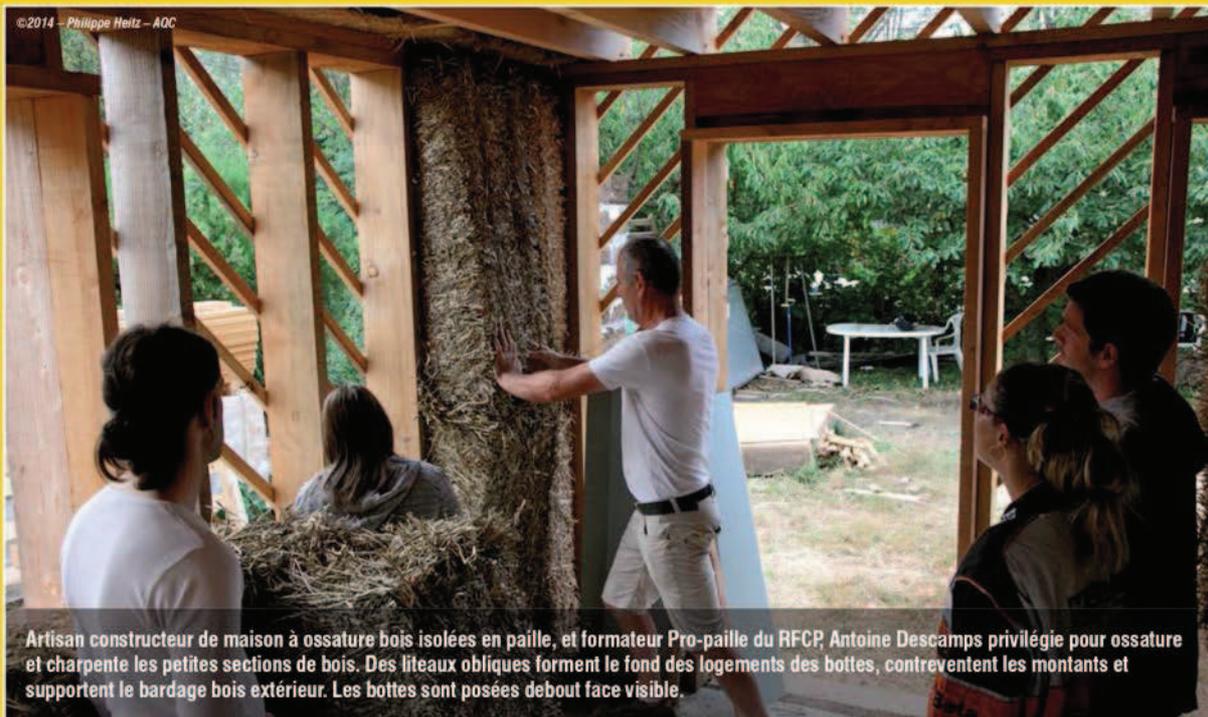
Les Règles professionnelles peuvent être commandées sur le site du RFCP : www.compailons.eu/rfcp.

(2) Vidéo sur YouTube d'un essai incendie dans une pièce complète avec mesures de températures par thermocouples et caméra thermique (taper sur le moteur de recherche : on n'est pas que des cobayes paille).

cet ouvrage de 200 pages pour contrebalancer l'image désastreuse de la paille dans l'imaginaire collectif, ancrée chez chacun dès l'enfance par l'histoire des trois petits cochons. Mais ce conte traditionnel, populaire en Europe dès le XVIII^e siècle, ne pouvait pas parler d'autre chose que de la paille gerbée, ignorant forcément que les presses mécaniques permettraient dès la fin du XIX^e au Nebraska (États-Unis) de construire des maisons en petites bottes porteuses. La paille pressée en bottes gagna alors ses propriétés de matériau constructif porteur, isolant thermique et phonique, support d'enduit et résistant au feu.

La botte de paille résiste au feu

Si la paille en vrac est facilement inflammable, la compression des bottes aboutissant à des masses volumiques entre 80 (petites bottes) et 200 kg/m³ (grosses bottes) fait que l'air indispensable à la combustion manque à l'intérieur de la botte. Un coup de brûleur à gaz sur une botte nue montre que la flamme parcourt sa surface le temps que les brins qui dépassent brûlent, puis s'éteint. C'est contre-intuitif, et les images d'essais de comportement au feu de murs en paille enduits à la chaux ou à la terre sont surprenantes (2). Le rapport d'essai >>>>



Artisan constructeur de maison à ossature bois isolées en paille, et formateur Pro-paille du RFCP, Antoine Descamps privilégie pour ossature et charpente les petites sections de bois. Des liteaux obliques forment le fond des logements des bottes, contreventent les montants et supportent le bardage bois extérieur. Les bottes sont posées debout face visible.

LE MATÉRIAU BOTTE DE PAILLE

Co-produit de la culture des céréales (blé, orge, seigle, triticale, avoine et riz principalement), la paille est très abondante en France : près de 50 millions de tonnes produites par an, dont 30 millions de tonnes de paille de blé. Seulement 10 % de cette dernière récolte serait nécessaire pour isoler l'équivalent de 500 000 logements.

Naturelle, renouvelable annuellement, abondante, bon marché, disponible localement partout en métropole, stockage de carbone, à faible énergie grise, la paille présente de gros atouts économiques et environnementaux. Pressée en bottes, elle devient un matériau de construction aux qualités multiples : isolant, support d'enduit,

matériau de remplissage, structurel et isolant phonique. En outre, la paille sèche n'est pas attaquée par les insectes. Enduite à la chaux ou à la terre, elle a une grande résistance au feu. En revanche, tout comme le bois, la paille craint l'eau liquide qui conduit à moyen terme au développement de bactéries et moisissures entraînant son compostage. ■

Caractéristiques du matériau botte de paille

CARACTÉRISTIQUES	VALEURS ADMISES
• Dimensions : hauteur x base x longueur	• Petite : 37 x 47 x 50 à 120 cm • Moyenne : 50 x 70 x 110 à 200 cm • Grosse : 80 x 120 x 120 à 230 cm
• Teneur en eau sur poids sec	• Inférieure à 20 %
• Masse volumique (kg/m ³)	• Entre 80 et 200 kg/m ³ • Euroclasse B-s1, d0
• Réaction au feu de murs isolés en paille enduits chaux ou terre crue (tests au feu SBI)	• B : produit combustible à contribution au « flash over » très limitée • s1 : faible production de fumées • d0 : absence de débris enflammés
• Diffusion de la vapeur d'eau	• $\mu = 1$
• Affaiblissement acoustique en laboratoire pour un mur en bottes de paille de 35 cm d'épaisseur enduit de terre sur les 2 faces	• Indice pondéré R = 43 à 45 dB
• Conductivité thermique W/(m.K)	• Bottes sur chant : $\lambda = 0,052$ W/(m.K) • Bottes à plat : $\lambda = 0,08$ W/(m.K)
• Résistance thermique botte de 36 cm sur chant	• $R = e/\lambda = 6,92$ m ² .K/W
• Coefficient de transmission thermique botte de 36 cm sur chant	• $U = 1/R = 0,144$ W/(m ² .K)

Sources : Règles professionnelles de construction en paille 2012 et arrêté du 26 octobre 2010.



Photo ASP Architecture

du CSTB n° 26021044 du 28 juillet 2009 concernant le comportement au feu d'un élément de façade, constate qu'après 30 minutes d'un incendie violent faisant monter la température entre 800 et 1 000 °C au niveau d'une allège constituée d'un caisson à ossature bois lamellé-collé, isolé en bottes de paille de 36 cm d'épaisseur, fermé par des panneaux bois particules (OSB et Agepan DWD), le bardage bois et le parement des allèges sont détruits, et « la paille présente une face extérieure visible et carbonisée. Après dépose des parties noircies et/ou carbonisées, on constate une épaisseur saine d'environ 280 millimètres ». La conclusion du rapport de cet essai de type Lepir 2 (3), mené à la demande de la maîtrise d'œuvre lors de la préparation de la construction du groupe scolaire d'Issy-les-Moulineaux, est claire: « La façade testée de l'Établissement recevant du public objet de cette étude est conforme aux exigences de la résistance au feu. » Le bureau d'études Gaujard Technologie Scop, concepteur de la structure bois de cet établissement scolaire, reconduira ensuite ce procédé constructif validé par cet essai pour les groupes scolaires de Montreuil (93) et de Saint-Cirgues-en-Montagne (07).

D'autres essais de comportement au feu ont été diligentés par le RFCP et par son homologue allemand Fasba. Conduits sur des maquettes de murs ou toitures en bottes de paille enduits à la chaux ou fermés par panneaux bois, ces essais constatent une stabilité au feu liée aussi à l'écran thermique et physique très important que constituent les bottes de paille. Même une fois l'enduit décollé par le feu, la botte de paille transmet très peu la chaleur et les fumées, ce qui a conduit à un classement Euro-classe B-s1,d0 [voir encadré ci-contre]. Les pompiers prévisionnistes notent un autre avantage: en brûlant, la paille ne dégage pas les fumées toxiques des isolants synthétiques type polystyrène.

Il n'en reste pas moins que le risque incendie demeure lors de la phase chantier à cause de la paille en vrac issue de la manipulation des bottes. Nettoyage fréquent et soigné du chantier, élimination des déchets de paille, interdiction de fumer, exclusion temporaire d'outillages à flamme ou produisant des étincelles (disqueuse) sont la règle lors de la phase de mise en place des isolants inflammables: bottes de paille, laines ou polystyrène. Les techniques constructives utilisant des caissons remplis de paille et fermés en atelier déplacent ce risque du chantier vers l'atelier.

Quatre types de systèmes constructifs

Historiquement, la petite botte de paille fut d'abord utilisée fin XIX^e au Nebraska comme matériau porteur. Les murs des maisons étaient bâtis par empilement des bottes posées à plat, entre un soubassement avec lisse basse en bois et une lisse haute supportant le plancher d'étage ou la charpente. En Europe, le plus ancien bâtiment isolé en paille connu est la « maison Feuillette » construite à Montargis (Loiret) par l'ingénieur Émile Feuillette en 1920. Toujours en bon état, cette maison utilise les petites bottes de paille posées à plat en remplissage d'une ossature bois treillis. Plus récemment, le développement de la préfabrication de parois en atelier a conduit à mettre la paille en caissons porteurs ou non, fermés et contreventés par plaques ou enduits. Enfin, notamment en réhabilitation de bâtiments existants, la paille est employée en isolation extérieure ou intérieure rapportée sur une structure porteuse en maçonnerie ou bois (voir tableau présenté sur la double page ci-après listant les caractéristiques techniques de ces quatre principes constructifs). À côté de l'isolation avec de la paille en bottes existent aussi des procédés utilisant la >>>>

À Saint-Dié-des-Vosges (88), le plus haut immeuble d'Europe en ossature bois isolé en paille est labellisé Passivhaus. Architectes: agence ASP Architecture.

[3] Lepir 2 signifie Local expérimental pour incendie réel à deux niveaux.

Les quatre types de système

PAILLE PORTEUSE

PRINCIPE CONSTRUCTIF

Un soubassement en dur avec une lisse basse en bois constitue une plaque rigide inférieure, sur laquelle sont empilées des rangées de bottes de paille en quinconce. Une lisse haute en bois (sablière) à chaque étage répartit les charges, assure chaînage, équerrage et contreventement horizontal. Historiquement, pas de liaison structurelle entre lisse basse et lisse haute. Aujourd'hui, liaison par sangles ou feuillards pour forcer le tassement de la paille. La liaison paille-enduit joue un grand rôle dans le contreventement. La variante dite « GREB » répartit les fonctions structurelles entre une ossature bois légère extérieure, l'enduit et les bottes de paille.

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

Nombreuses évolutions techniques depuis l'apparition de cette première utilisation de la botte de paille comme matériau de construction. De plus en plus d'usage de bottes moyennes ou grosses, à densité plus élevée que les petites. Nécessite d'équilibrer les descentes de charges entre des murs dont il faut anticiper le tassement. Enduisage après tassement. Très bonne tenue antisismique.



Photo Coralie Garcia

En paille porteuse, la lisse haute répartit les charges et assure équerrage et chaînage.

PAILLE EN REEMPLISSAGE

PRINCIPE CONSTRUCTIF

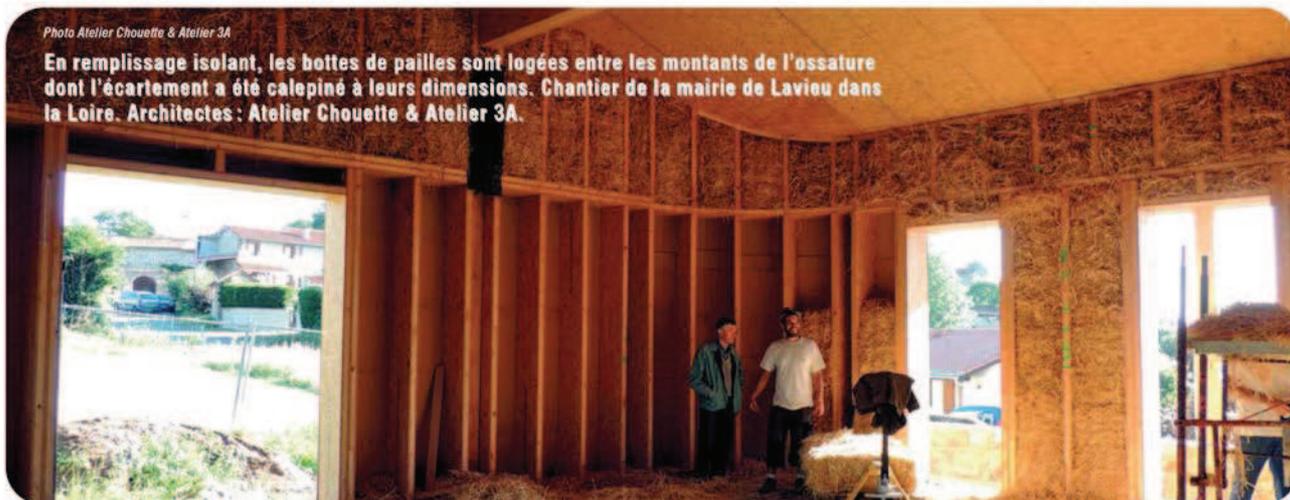
L'ossature bois porteuse forme la structure de l'ouvrage. La paille ne sert que de remplissage isolant. Les écartements des montants de l'ossature sont adaptés aux dimensions des bottes, variables suivant le sens de pose (à plat, sur chant, face, chant ou bout visible, debout).

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

Nombreuses variantes du positionnement de l'ossature selon la finition des faces : montants non affleurants si face à enduire, affleurants si finition en plaques, panneaux ou bardage. Contreventement le plus souvent par voiles (panneaux, voliges obliques) ou écharpes en bois. Les bottes peuvent être redimensionnées par découpe et reficelage.

Photo Atelier Chouette & Atelier 3A

En remplissage isolant, les bottes de pailles sont logées entre les montants de l'ossature dont l'écartement a été calepiné à leurs dimensions. Chantier de la mairie de Lavieu dans la Loire. Architectes : Atelier Chouette & Atelier 3A.



es constructifs de la paille

PAILLE EN CAISSONS

PRINCIPE CONSTRUCTIF

Les caissons remplis de paille sont porteurs ou pas. Ils sont fabriqués indépendamment les uns des autres puis assemblés sur le chantier. Les caissons porteurs généralement préfabriqués en atelier ont une armature dimensionnée pour porter les charges du bâtiment. Les caissons non-porteurs forment une isolation périphérique ou intégrée à la structure sur laquelle ils sont fixés.

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

Mode constructif particulièrement adapté à la préfabrication en atelier et à l'industrialisation. Dans ce cas, allongement des transports de matériaux et d'éléments finis et nécessité de moyens de levage plus importants. Les caissons peuvent être imperméabilisés en atelier par membrane ou enduit et être ainsi protégés de la pluie sur chantier. Ils peuvent aussi être assemblés vides de paille, celle-ci étant mise en place une fois le bâtiment couvert.



Photo Bati Nature

Les caissons porteurs isolés en paille permettent d'élever une maison hors d'eau en 4 jours.

PAILLE EN ISOLATION RAPPORTÉE

PRINCIPE CONSTRUCTIF

Sur une structure existante en maçonnerie ou bois massif est rapportée en intérieur ou à l'extérieur une épaisseur de bottes de paille, couche isolante sans fonction structurelle.

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

La paille doit être en contact étroit avec la structure pour éviter une lame d'air préjudiciable à la performance thermique et à la sécurité incendie. Les bottes sont montées avec ou sans ossature secondaire.



Photo De Pierre et de Bois

Une isolation en paille rapportée sur le mur existant en parpaings pour transformer un hangar en école à Avignon. Architecte : Daniel Fanzutti.



1 Photo MV Habitation

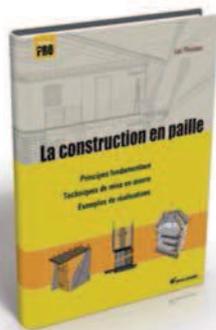
paille sèche en vrac remplissant des caissons, ou en voie humide en « béton de paille », « béton de terre » ou « terre-paille » qui mélangent l'isolant naturel fibreux avec divers liants et granulats.

La gestion de l'humidité et de la vapeur d'eau

Pour Luc Floissac, coordinateur de la rédaction des Règles professionnelles et auteur de l'ouvrage de référence *La construction en paille* [4], « le vrai ennemi de la paille, c'est l'eau et non le feu ». Comme pour tous les matériaux, même synthétiques ou minéraux, l'eau stagnante en leur sein est un milieu de développement de moisissures et bactéries préjudiciables à la qualité sanitaire de l'air du local. Pour la paille, ces micro-organismes conduiront à terme à son compostage, phénomène naturel reproduit chaque année dans les champs. Les Règles professionnelles sont donc très claires : la paille ne peut être bottelée, stockée et mise en œuvre qu'à moins de 20 % de teneur en eau sur poids sec. Un protocole d'autocontrôle par sondage de l'humidité des bottes est précisé. La phase chantier est la plus risquée, et le bâchage soigné indispensable, sauf en systèmes caissons fermés et imperméabilisés en atelier. Sur la durée, la protection de la paille contre pluie et vent est assurée en continu par les revêtements et couvertures, ainsi que par les moyens d'étanchéité des interfaces. Tous les systèmes de construction en paille révoient également une protection contre les remontées capillaires et le rejaillissement de la pluie par un soubassement surmonté d'une coupure capillaire. La gestion des excès de vapeur d'eau à l'intérieur des bâtiments, importante pour le confort des occupants, est avant tout obtenue par un système actif ou passif de ventilation. Comme pour toutes les parois, la migration de la vapeur d'eau au travers de

celles-ci doit cependant être prévue de manière à prévenir la condensation à l'intérieur du mur, source de moisissures et de dégradation des matériaux. Les parois isolées en paille étant toujours l'association de bottes de paille et de deux parements de constitution variable (enduits, plaques, membranes, frein-vapeur, pare-pluie, bardage), les combinaisons sont multiples. Donc, plutôt que de donner une interminable liste de prescriptions d'associations de produits, les rédacteurs des Règles professionnelles ont choisi de détailler selon les configurations les règles de principe à respecter sur « les épaisseurs de lame d'air équivalente S_d que doivent respecter les faces extérieures et intérieures étanches à l'air d'une paroi isolée en paille » [5]. Pour Julien Vye, charpentier et formateur spécialisé enveloppe du bâtiment, « sur les transferts de vapeur d'eau, les Règles paille sont le document réglementaire le plus abouti. Contrairement aux DTU avec leurs obligations de moyens, on est là dans une logique de paroi, de physique du bâtiment. On sort de l'idée de produits à mettre en œuvre, cela laisse une grande amplitude de choix pour des parois sécurisées. »

La règle de base est de favoriser la migration de la vapeur d'eau vers l'extérieur par l'association d'une face extérieure plus perméable à la vapeur d'eau que la face intérieure. La paille elle-même présente l'avantage d'être très perméable à la vapeur d'eau. Son coefficient à la diffusion de vapeur d'eau μ est de 1, alors que celui d'un enduit de plâtre est de 9, celui de la terre et du pisé de 10, d'un enduit à la chaux aérienne de 12, d'un enduit à la chaux hydraulique de 13 à 16, d'un enduit ciment de 82, du bois massif de 50 à 200, de l'OSB de 118 à 174... L'utilisation d'OSB sur la face extérieure des parois est donc déconseillée. En revanche, la fibre de bois est perméable à la vapeur, avec des coefficients μ respectivement de 3,



[4] *La construction en paille* de Luc Floissac aux Éditions Terre Vivante [2012], à commander sur www.compailles.eu/rfcp.

[5] S_d , la valeur de l'épaisseur d'air équivalente pour la diffusion de la vapeur d'eau, s'exprime en mètre. Elle s'obtient par le produit du coefficient à la diffusion de la vapeur d'eau μ du matériau par son épaisseur e (exprimée en mètre) : $S_d = \mu \times e$.



Photo MV Habitation

2

“L’emploi de grosses bottes, plus pressées que les petites, ainsi que la compression dès la pose par des feuillards ou sangles à cliquet posées entre les deux lisses permettent de ne plus attendre le tassement naturel sous la charge avant de commencer l’enduit”

5 et 11 pour les panneaux Agepan THD (Isoroy), Dif-futherm (Pavatex) et Agepan DWD (Isoroy). Elle sera donc employée plutôt côté extérieur. Praticien, Julien Vye insiste sur le risque de «*début de pourrissement en phase chantier, assez courant même avec une paroi bien conçue. En effet, les Règles professionnelles sont prévues pour le fonctionnement normal du bâtiment, avec une température et une hygrométrie normales et une ventilation qui fonctionne. Or, en phase chantier, on demande une étanchéité à l’air poussée alors que ni chauffage, ni ventilation ne sont posés ! Et les enduits terre épais, les dalles dégagent beaucoup d’humidité... Il faut donc prévoir une ventilation ou un déshumidificateur de chantier.*»

Hétérodoxe paille porteuse

Les maisons en petites bottes porteuses des paysans du Nebraska n’intégraient aucun élément de liaison structurelle entre la lisse basse et la lisse haute. Deux niveaux rigides (soubassement et plancher d’étage) enserraient un ensemble de parois semi-rigides de bottes de paille enduites : «*Cette approche est de premier abord non orthodoxe au regard de la construction contemporaine en béton, en métal ou en ossature bois*», analyse Luc Floissac. Mais ces maisons sont en bon état après un siècle, le système constructif fonctionne donc, et des recherches sont en cours pour comprendre et modéliser les caractéristiques physiques de l’association paille porteuse/enduits. L’absence d’ossatures

et d’assemblages complexes, la simplicité du système constructif facilitent la mise en œuvre, la gestion de l’étanchéité à l’air, et limitent les ponts thermiques. Pour l’architecte Vincent Rigassi, «*la paille porteuse économise beaucoup de bois, mais demande plus de savoir-faire spécifique : contrairement à l’ossature bois, ce n’est pas une technique de charpentier, ni de maçon d’ailleurs.*» La contrainte principale est le tassement de la paille sous la charge de l’étage et de la toiture. Il est nécessaire de l’anticiper pour la répartition des descentes de charges et pour l’enduisage. L’emploi de grosses bottes, plus pressées que les petites, ainsi que la compression dès la pose par des feuillards ou sangles à cliquet posées entre les deux lisses permettent de ne plus attendre le tassement naturel sous la charge avant de commencer l’enduit. Après compression par sangles à cliquet de murs constitués d’un empilement en quinconce de deux rangées de grosses bottes de 90 x 120 x 220 cm posées sur chant, l’entreprise ariégeoise MV Habitation a mesuré un tassement moyen de 2 cm sur une hauteur de mur de 250 cm. La rédaction des Règles professionnelles pour la paille porteuse n’est pas encore faite en raison du coût des essais, elle reste un objectif du RFCP.

La paille en remplissage isolant

En 1920, à Montargis dans le Loiret, l’ingénieur français Émile Feuillette construit le premier bâtiment à ossature bois isolé en paille, une >>>

1 Avec des grosses bottes, deux rangs suffisent à monter un mur porteur. Construction paille et enduits terre réalisés par MV Habitation.

2 La façade sud entièrement vitrée participe à la structure porteuse. Architecte : Corentin Desmichelle.



3 Photo Atelier Chouette & Atelier 3A



4 © 2014 - Philippe Holtz - AOC

3 Les montants de l'ossature bois en poutres/caissons. Chantier de la mairie de Lavieu dans la Loire. Architectes : Atelier Chouette & Atelier 3A.

4 Chantier du bâtiment du bureau d'études Izuba Énergies. Enduit terre en cours. Architecte : Vincent Rigassi.

5 8 étages en ossature bois isolée en paille, à Saint-Dié-des-Vosges : record d'Europe.

6 Empilement des caissons de paille contre l'ossature en bois massif.

maison de 100 m² avec un étage, toujours en bon état aujourd'hui. C'est un nouvel exemple de la durabilité à l'échelle du siècle des constructions associant bois, paille et enduits de terre ou de chaux, comme le prouvent également les maisons anciennes avec torchis et colombages. La petite botte de paille étant légère (15-20 kg) et facile à mettre aux dimensions et à la forme souhaitée, manuellement ou par tronçonnage, sciage et reficelage, elle s'est prêtée à la multitude d'architectures et d'usages inventés par les auto-constructeurs depuis les années quatre-vingt, du fait de son seul rôle isolant qui l'affranchit des contraintes structurelles assumées par une ossature bois ou béton. L'apparition de nouveaux matériaux structurels et isolants de la filière bois, de plaques de contreventement perméables à la vapeur d'eau, de membranes frein-vapeur et pare-pluie, et la professionnalisation des constructeurs ont multiplié les types d'ossatures bois, calculées pour loger les bottes entre montants. Bois massif ou contrecollé, poteau-poutre, poutre-caisson, poutre treillis, en I... les possibilités à la disposition des constructeurs sont nombreuses.

La mairie de Lavieu, petite commune de la Loire de 110 habitants, est un bon exemple d'un petit Établissement recevant du public (ERP) réalisé en ossature bois isolée en bottes de paille. Les élus ruraux ont bien accueilli la proposition des agences d'architecture Atelier Chouette et Atelier 3A d'une structure bois et paille, perçue comme symbole de modernité. Sur un soubassement béton s'appuie l'ossature en poutres-caissons portant une charpente en lamellé-collé, dont les fermes traditionnelles à entrain moisé restent apparentes dans la grande salle des mariages. Conçue en collaboration avec le bureau d'études bois Gaujard Technologie, l'ossature en poutres-caissons composites

permet de limiter les ponts thermiques et de dessiner un angle arrondi. Sous toiture, des caissons posés à plat sur la zone de bureaux sont remplis de 40 cm de ouate de cellulose. Dans la grande salle, les caissons de 45 x 360 cm sous rampant logent des petites bottes à plat. Le charpentier Frédéric Fontimpe et ses trois compagnons ont monté toute l'ossature et la charpente sur le site, mais « la prochaine fois, je fabriquerai des caissons à l'atelier », conclut-il. Coût de construction : 320 000 euros HT pour 244 m² de Shon, soit 1 311 euros HT/m².

Le chantier du bâtiment du bureau d'études énergétiques Izuba Énergies, conduit par l'architecte Vincent Rigassi, montre l'association d'une ossature bois adaptée à la paille pour les murs et de caissons pour la toiture. La paille est placée dans les murs après leur montage alors que, pour les caissons de toit, elle est mise dedans à l'atelier de l'entreprise Sud Est Charpentes, qui fabrique toute l'ossature et les caissons avec ses machines à commande numérique. Les caissons arrivant fermés sur le chantier, la paille est protégée de la pluie, tandis que celle des murs est rapidement protégée par un enduit de corps extérieur à base de terre stabilisée à la chaux, appliqué sur 4 cm d'épaisseur à la machine par l'entreprise Jolie Terre. Son dirigeant Éric Defrenne a mis au point en deux ans sa propre formulation de mélange de sable argileux et fibres biosourcées compatible avec la projection, ce qui lui permet de proposer une grande rapidité d'exécution de la pose de la paille et de l'enduit. Son carnet de commande est quasiment plein pour l'année 2015 : « Le réseau paille marche bien, les gens se connaissent bien. Et les Règles professionnelles ont ouvert notre activité aux marchés publics, il y a vraiment eu un avant et un après. »



Photo ASP Architecture 5



Photo ASP Architecture 6

La paille en caisson pour la préfabrication industrielle

Pas toujours adaptée à tous les chantiers, la préfabrication s'impose cependant pour les grands bâtiments : « C'était impossible de penser bâcher le chantier d'un immeuble de huit étages, il fallait que la paille arrive protégée en caissons étanches », constate Antoine Pagnoux (ASP Architecture), architecte du plus haut immeuble d'Europe en ossature bois isolé en paille, construit à Saint-Dié-des-Vosges (88) pour le bailleur social le Toit Vosgien. « Avec pour objectif le label Passivhaus, il nous fallait 35 cm d'isolant épais. Le maître d'ouvrage avait déjà un retour d'expérience positif de 15 ans sur ses plus petits immeubles à ossature bois, nous avons donc choisi la cohérence avec la paille comme isolation extérieure à la structure en panneaux de bois massif. Mais déporter de la structure porteuse une couche de caissons de 45 cm sur laquelle serait accrochée une vêtiture de terre cuite provoquait un effet levier important. Les caissons devaient donc recréer une deuxième structure autoportée, fixée à l'ossature bois par des vis télescopiques avec rupture de pont thermique. Nous voulions une mise en œuvre simple, qui fonctionne comme avec un matériau contemporain quasi-industrialisé. Pour simplifier au maximum la préfabrication des caissons, nous sommes partis sur des dimensions standard de panneaux, 1,20 m par 2,5 m, ce qui correspond aussi à 5 bottes de paille de 1,2 m par 0,5 m de largeur et 35 cm d'épaisseur. Sur 740 caissons, environ 500 correspondent à ce standard, et les

autres sont en version 4 et 3 bottes. Mais cela ne correspond pas du tout à une hauteur d'étage. Nous avons donc choisi d'isoler 90 % de la surface avec ces caissons de base, les 10 % de surface d'ajustement étant des vides de moins de 30 cm comblés avec de la ouate de cellulose. Deux sangles à usage unique étaient fixées sur chaque caisson pour le levage. Le contreventement des caissons est obtenu par un fond en OSB 15 mm et des panneaux de fibres de bois denses Agepan DWD 16 mm. C'est très très costaud, d'autant plus que la paille libérée de ses ficelles s'expanse et maintient la forme de son caisson. »

Pour le directeur du Toit Vosgien, Jean-Marc Gremmel, sa mission de bailleur social est pleinement remplie. « Grâce à l'ensemble structure bois isolée en paille, VMC double flux, chauffage et eau chaude par pompe à chaleur, solaire thermique et récupération des calories des eaux usées, 95 % du chauffage et de l'eau chaude sont autoproduits. Seulement 5 % des besoins sont couverts par le réseau électrique pour faire tourner la pompe à chaleur et les régulations. Les locataires des 26 appartements T3 et T4 ne payent que 11 euros de charges mensuelles pour l'ensemble chauffage, eau chaude, VMC et maintenance ! Ceci avec un coût de construction de 1710 euros HT/m² habitable, pour 2707 m² de Shon. »

À 1100 m d'altitude en Haute-Ardèche, le climat du village de Saint-Cirgues-en-Montagne exigeait comme dans les Vosges une protection complète de la paille en caissons préfabriqués pour l'isolation d'une cité scolaire à énergie positive >>>

“Le réseau paille marche bien, les gens se connaissent bien. Et les Règles professionnelles ont ouvert notre activité aux marchés publics, il y a vraiment eu un avant et un après”



7 Photo Gaujard Technologie



8 ©2014 - Philippe Heitz - AGC



7 Les caissons paille contreventent l'ossature poteaux-poutres de la cité scolaire de Saint-Cirgues-en-Montagne.

8 Siège social d'Écocert (Agence Collart Architectes).

9 Les caissons paille en mur-rideau désolidarisé de l'ossature bois poteaux-poutres au siège d'Écocert.

10 Fabrication de caissons à l'atelier de Bati Nature.

11 Pose du toit d'une maison en caissons paille.

labellisée HQE®. La préfabrication industrielle de l'intégralité de l'ossature bois était d'ailleurs dictée par la taille du bâtiment regroupant école et collège avec internat pour 200 élèves au total : 4 439 m² de Shon sur 4 niveaux et 17 m de hauteur. Les 500 m² de bois mis en œuvre furent travaillés sur machines à commande numérique par l'entreprise Moulin Charpente d'Aubenas, suivant les plans des agences d'architecture Charnay, et Fabre et Doinel. « Le niveau de précision était tel qu'il n'y eu pas un seul coup de scie sur le chantier de charpente », se souvient Renaud Testud, conducteur de travaux du maître d'ouvrage, le Conseil général de l'Ardèche. 5 000 petites bottes de paille en caissons forment l'isolation de la toiture et de la majorité des façades. Samuel Némoz, ingénieur du bureau d'études Gaujard Technologie concepteur de l'ossature bois, précise que « l'ossature est de type poteau-poutre contreventée par les caissons paille et par des diagonales bois ou métal ». Enveloppe bois-paille, ouvertures larges au sud, éclairages LED et tubes fluorescents régulés, chaudière au bois déchiqueté, chaudière gaz de secours, eau chaude sanitaire par panneaux solaires, 84 kWc de puissance photovoltaïque installée en toiture : le bâtiment économe en énergie en produit 10 % de plus qu'il n'en consomme pour son chauffage, eau chaude sanitaire, rafraîchissement, éclairage et auxiliaires. Décidément, même si le loup revient en Ardèche, les trois petits cochons peuvent dormir tranquilles au chaud ! Coût total des travaux : 6,585 M€ HT, soit 1 483 euros/m² de Shon.

Autre exemple de grand bâtiment bois-paille à énergie positive, le siège social d'Écocert, livré en 2013 au leader mondial de la certification en agriculture biologique, a obtenu la certification internationale Leed Platinum, que seuls trois bâtiments en France détiennent. Conçu par l'agence

Collart Architectes, il optimise les apports solaires pour les 1 780 m² de surface utile sur 4 niveaux. Sa structure poteaux-poutres en bois avec dalles en bois massif lamellé-cloué est contreventée par un noyau central en béton regroupant ascenseur, escalier et circulation des fluides. Recouverte d'un enduit terre épais parcouru par un réseau hydraulique de chauffage-rafraîchissement, cette masse joue le rôle de régulateur thermique et hygrométrique de ce bâtiment comprenant plusieurs niveaux de bureaux en open-space. L'enveloppe en caissons de paille constitue des murs rideaux. Les caissons ont été installés vides et la paille mise en place par les charpentiers une fois le bâtiment couvert. Jean-François Collart précise : « Désolidarisée du plancher, la façade isolée en paille se porte seule, favorisant ainsi l'absence de pont thermique. L'absence de gros éléments porteurs en façade laisse la place pour ouvrir de grandes baies. » La toiture photovoltaïque et le soleil toulousain produisent 1,3 kWh/an pour 1 kWh/an consommé dans cet immeuble bioclimatique. Responsable des services généraux d'Écocert, Matthieu Hauvuy souligne la cohérence des choix constructifs et des valeurs de l'entreprise. « C'est très vendeur pour la société, les très bonnes conditions de travail apportent une ambiance immédiatement perceptible. » Il souligne la difficulté qu'il y a eu à trouver un assureur pour le chantier. Au final, c'est la Mutuelle des architectes français qui l'a assuré. Coût de construction (hors VRD) : 1 605 euros HT/m² utile.

La paille en caisson aussi pour les maisons individuelles

Fondée en 2006 par le maçon Mathieu Junique et le charpentier Maël Steck, l'entreprise Bati Nature, spécialisée dans la maison ossature bois,



Photo Colliart Architectes



©2014 - Philippe Heitz - AGC



Photo Bati Nature

“Nous arrivons de mieux en mieux à travailler avec les autres corps de métier que les Règles professionnelles rassurent”

est installée en Isère avec une dizaine de salariés. Avec une soixantaine de maisons isolées en paille construites depuis 2008, Bati Nature valorise son retour d'expérience par une évolution constante de la conception de ses maisons. Depuis 2008, la préfabrication des murs en caissons isolés en paille en atelier est la règle. Maël Steck retrace ces évolutions. « En 2009, nos premiers tests d'étanchéité à l'air étaient satisfaisants initialement, mais défectueux à la livraison à cause des malfaçons du second œuvre qui abîmaient les membranes frein-vapeur intérieures. Le remplacement des membranes textiles par du panneau fibres de bois Pavaplan 3F (de Pavatex) donne de bons résultats aux tests d'infiltrométrie. L'isolation par la botte de paille est une stratégie d'anticipation de la RT 2020 qui obligera à des épaisseurs d'isolant de l'ordre de 30 à 35 cm. Il vaut mieux investir dès le début dans l'isolation des murs, car on sait changer les menuiseries, pas les murs. Notre génération 4 est un produit abouti, pour maison passive, sur le marché de moyen/haut de gamme de l'habitat individuel ou du petit collectif et du tertiaire. Mais pour le marché des auto-constructeurs partiels, c'est trop fini et trop cher. Et comme les Règles professionnelles ont crédibilisé l'enduit sur paille, nous proposons la G5 avec des caissons ouverts sur une face, montés vides ou remplis de paille prête à enduire. La finition est adaptable à la demande du client. Nous arrivons de mieux en mieux à travailler avec les autres corps de métier que les Règles professionnelles rassurent, et aussi grâce à des outils communs de maquettes numériques. Mais pour relever des défis techniques comme du passif à 1 400 m d'altitude, la valeur du coefficient λ de conductivité thermique majoré

en France pour la paille à 0,052 W/(m.K) par un coefficient d'incertitude est un handicap, alors que les meilleurs essais allemands le donnent à 0,038 W/(m.K). Et malgré l'absence de sinistres sur nos soixante maisons, notre assurance décennale nous mange encore 12 000 euros par an, soit 1,3 % de notre chiffre d'affaires : les Règles professionnelles ne sont pas encore assez prises en compte par les assureurs et les bureaux de contrôle. »

La paille en isolation rapportée pour la réhabilitation

Chantier immense à l'heure de la transition énergétique, la réhabilitation des passoires des trente glorieuses peut bénéficier des techniques de l'isolation en paille décrites précédemment. Les murs en place conservant leurs fonctions structurelles, le chantier d'isolation est simplifié. L'enveloppe isolante en paille, extérieure ou intérieure, doit être en contact étroit avec le mur porteur pour éviter les convections et la propagation du feu. Son épaisseur va augmenter la profondeur des murs, ce qui peut affecter l'éclairage naturel. Ainsi, la nouvelle école Montessori en Avignon (84) est le résultat de la transformation en 2012 d'un hangar industriel à charpente métallique et murs en parpaings de ciment. Les 946 m² ont été isolés par l'extérieur en paille avec enduit chaux et terre.

En 2010 à Marseille, 3 000 m² de hangar métallique industriel en pleine ville ont été transformés en 4 mois en une salle de spectacle. Des caissons en paille empilés à l'extérieur de la charpente métallique apportent l'isolation thermique >>>>



12 Photos Gaujard TechnoLogic



13

12 et 13 **Réhabilitation en isolation paille rapportée. Transformation d'un hangar industriel en salle de concert de 600 places à Marseille. Architectes : SCPA Poiterin Reynaud.**

et acoustique voulue. Des plaques de Fermacell côté intérieur forment un coupe-feu, l'extérieur est revêtu d'un bardage métallique. Coût : 335 euros HT par m² de paroi isolée en paille, moins cher que les solutions conventionnelles concurrentes lors de la consultation. À Ugine en Savoie (73), l'architecte Vincent Rigassi conduit en ce moment une réhabilitation en ITE paille d'une barre de six logements en béton des années 1955, en essais comparatifs dans le cadre d'un programme thermique expérimental financé par la région Rhône-Alpes. La rédaction des Règles professionnelles de l'isolation thermique extérieure en paille est en cours au sein d'un groupe de travail du RFCP.

Un réseau dynamique et bien structuré

Pour Christel Ebner, responsable de la Commission Prévention Produits mis en œuvre (C2P) de l'Agence qualité construction, le Réseau français de la construction paille « a accompli un travail très sérieux pour la validation des Règles professionnelles. Après la validation des Règles le 1^{er} janvier 2012, ils ont été très réactifs pour répondre aux demandes successives de la C2P sur le retour d'expérience des bâtiments construits selon les Règles après 2012, puis sur ceux construits avant 2012, avec instrumentation de trois bâtiments, suivi visuel et thermographique de dix autres. Le RFCP est bien structuré, avec en février 2014,

65 formateurs Pro-paille qui ont réalisé 34 sessions pour 280 stagiaires. Malgré cela, le RFCP constate une trop grande méconnaissance des Règles par les assureurs et les bureaux de contrôle. »

Coralie Garcia, ingénieure coprésidente du RFCP, précise l'action du réseau. « La rédaction des Règles professionnelles pour la paille en remplissage isolant et support d'enduit s'est faite sur cinq années à une vingtaine de professionnels. Elle se poursuit pour les Règles sur la paille en isolation extérieure et nous souhaitons trouver les moyens pour financer les essais nécessaires sur la paille structurelle contreventante. Le suivi technique de huit maisons et d'une crèche, comme l'instrumentation de trois autres, est rassurant sur la durabilité du matériau paille malgré des désordres mineurs type fissuration d'enduit. Le RFCP a racheté la "maison Feuillette" à Montargis pour y créer le Centre national de la construction paille (CNCP), qui sera un outil de communication et un centre technique d'innovation et de formation (6). Nous travaillons avec nos homologues européens à la mise au point d'une formation longue de 600 heures au métier de constructeur en paille. »

Quant à Luc Floissac, coordinateur RFCP, il constate la crédibilisation de la filière grâce aux Règles et plaide pour leur diffusion auprès des assureurs et des bureaux de contrôle, et pour une ouverture à la paille des programmes de formation des écoles d'ingénieurs et d'architecture. Histoire de rendre enfin les trois petits cochons ringards... ■

(6) www.cncp-feuillette.fr et www.rfcp.fr.



“Le Réseau français de la construction paille (RFCP) constate une trop grande méconnaissance des Règles professionnelles Paille par les assureurs et les bureaux de contrôle”

Revue bimestrielle **Qualité Construction**

Tous les deux mois, l'essentiel pour améliorer la qualité de l'habitat et prévenir les désordres



Au sommaire de chaque numéro

- Les techniques et procédés innovants
- Les questions-réponses d'experts
- Les bonnes pratiques de mise en œuvre
- Le développement durable
- Les chantiers exemplaires
- La veille juridique et réglementaire
- Les *Fiches pathologie bâtiment*
- Les *fiches Expertise judiciaire*
- Les *fiches Qualité réglementaire NOUVEAU*
- L'étude des pathologies régionales

+ **Le service gratuit abonnés en ligne sur www.qualiteconstruction.com** pour consulter et télécharger l'intégralité des archives de la revue depuis sa parution (par mot-clé, par rubrique ou par thématique)

+ **Un numéro spécial,** édité tous les deux ans à l'occasion du salon BATIMAT

+ **En cadeau** (pour 2 et 3 ans d'abonnement), le *Guide technique de la maison individuelle* (valeur 40 € TTC, 5^e édition)



AQC NOTRE MISSION : AMÉLIORER LA QUALITÉ DE LA CONSTRUCTION

Bulletin d'abonnement

À renvoyer sous enveloppe, accompagné du règlement, à l'Agence Qualité Construction : 29, rue de Miromesnil, 75008 PARIS
Ou abonnez-vous sur www.qualiteconstruction.com, rubrique « **Revue Qualité Construction** »

Jusqu'à
65 €
D'ÉCONOMIE !

OUI, je profite de votre offre et je m'abonne à *Qualité Construction*, en choisissant:

- abonnement(s) d'1 AN (6 n°) au tarif préférentiel de **72 € TTC** au lieu de 78 € TTC (prix de vente au n°), soit un total de: _____ € TTC (11)
- abonnement(s) de 2 ANS (12 n°) au tarif préférentiel de **117 € TTC** au lieu de 156 € TTC (prix de vente au n°), soit un total de: _____ € TTC (11)
- abonnement(s) de 3 ANS (18 n°) au tarif préférentiel de **169 € TTC** au lieu de 234 € TTC (prix de vente au n°), soit un total de: _____ € TTC (11)

MON CADEAU (si je m'abonne pour 2 ou 3 ans): le *Guide technique de la maison individuelle* d'une valeur de **40 €!**

(11) Frais de port compris

MES COORDONNÉES

Prénom et NOM : _____

SOCIÉTÉ/ORGANISME : _____

Adresse : _____

Tél. : _____

Fax : _____

E-mail : _____

SECTEUR D'ACTIVITÉ

- | | | |
|---|--|--|
| <input type="checkbox"/> A1 maîtrise d'ouvrage publique | <input type="checkbox"/> C1 entreprise du bâtiment | <input type="checkbox"/> G contrôle technique |
| <input type="checkbox"/> A2 maîtrise d'ouvrage privée | <input type="checkbox"/> C2 constructeur de mais. indiv. | <input type="checkbox"/> H expertise |
| <input type="checkbox"/> B1 architecte | <input type="checkbox"/> D artisan | <input type="checkbox"/> I assurance |
| <input type="checkbox"/> B2 économiste | <input type="checkbox"/> E industriel, fabricant | <input type="checkbox"/> J administration |
| <input type="checkbox"/> B3 ingénieur-conseil, BET | <input type="checkbox"/> F négoce, distribution | <input type="checkbox"/> K collectivité locale |

- | |
|--|
| <input type="checkbox"/> L enseignement |
| <input type="checkbox"/> M autre professionnel |
| <input type="checkbox"/> N presse |
| <input type="checkbox"/> O particulier |

TAILLE DE L'ENTREPRISE

- | |
|--|
| <input type="checkbox"/> 1 à 5 salariés |
| <input type="checkbox"/> 6 à 20 salariés |
| <input type="checkbox"/> + 20 salariés |

- En cochant la case ci-contre, j'accepte que mes données soient utilisées par l'AQC et ses membres afin de m'envoyer des offres commerciales.
- En cochant la case ci-contre, je m'oppose à ce que mes données soient utilisées par l'AQC et ses membres afin de m'envoyer des offres commerciales.



L'AQC, responsable du traitement, met en œuvre des traitements de données à caractère personnel à des fins de gestion administrative et commerciale. Les données collectées sont indispensables à ce traitement et sont utilisées par les services concernés de l'AQC et, le cas échéant, ses sous-traitants et prestataires. En application de la loi informatique et libertés du 6 janvier 1978, vous disposez d'un droit d'interrogation, d'accès, de rectification et d'opposition pour motifs légitimes relativement à l'ensemble des données vous concernant, qui s'exercent par courrier postal au Service commercial de l'AQC, 29 rue de Miromesnil, 75008 Paris, accompagné d'une copie d'un titre d'identité.

DATE ET SIGNATURE OBLIGATOIRES
