

CONSTRUIRE EN MUR DE PIERRES CONFINÉES



Améliorer l'habitat des populations fragiles au Maroc

LE PROGRAMME DE MUR EN PIERRES CONFINÉES



- Construire un bâtiment témoin en MPC sur un site dédié aux bonnes pratiques d'efficacité énergétique et d'architecture bioclimatique.
- Développer un catalogue de projet avec un modèle technico-économique qui préfigure une filière maîtrisée de production de bâtiments MPC.
- Lancer un programme pilote d'amélioration de l'habitat précaire dans un territoire isolé.
- Concevoir des programmes de petits équipements ou de logements en MPC, avec une offre « clé en main », en partenariat avec des collectivités, des agences gouvernementales ou des investisseurs sociaux.

Le programme MPC est soutenu depuis 2010 par



LUTTER CONTRE LES PRÉCARITÉS

La construction informelle au Maroc traverse un moment charnière où les techniques traditionnelles sont peu à peu délaissées au profit de nouvelles techniques de construction souvent mal maîtrisées se révélant parfois défailtantes, inabordables et inadaptées aux conditions climatiques. Il n'existe pas aujourd'hui de réponse adaptée pour ces populations particulièrement précaires, avec pour conséquence, la prolifération de constructions fragiles qui envahissent les territoires, au détriment de la qualité et souvent de la sécurité. Il est urgent de proposer des solutions de rénovation et de construction qui soient compatibles avec les exigences réglementaires, respectueuses de l'intégrité du territoire et adaptées aux besoins fondamentaux des habitants.

Face à la nécessité d'améliorer les conditions de vie des **populations précaires**, en situation de mal logement, de précarité énergétique ou soumises aux aléas climatiques, A&D se mobilise depuis plus de 15 ans dans des projets de (re)construction dans les contextes fragiles, en partenariat avec des collectivités locales, des institutions nationales, des agences internationales, des acteurs professionnels du développement et la société civile.

Depuis 2010, A&D mène un programme de **Recherche & Développement**, dont l'objet est de compléter les champs de connaissances dans le domaine de l'habitat en zone méditerranéenne, avec la prise en compte des objectifs de développement durable et l'identification d'applications directes en réhabilitation ou construction. Il s'est concrétisé avec la mise au point d'une technologie innovante dite « Murs de Pierres Confinées » (MPC), dérivée du gabion et destinée à pallier le déficit de compétences et de moyens des populations fragiles, à construire un habitat fiable.

Expérimentée pour la **première fois au Maroc**, avec la construction de deux bâtiments prototypes (un Centre Social pour Femmes et une école préscolaire à Al Hoceima et à Figuig), la technologie MPC a depuis fait ses preuves lors du tremblement de terre en Haïti avec la mise en œuvre d'un programme de 60 maisons rurales en MPC. Ce procédé inédit rend accessible la réalisation d'ouvrages domestiques ou communautaires pour les plus démunis et cible l'amélioration de l'habitat traditionnel, informel ou dégradé, contribuant ainsi à répondre à de nombreuses exigences socio-économiques et culturelles dans des zones réputées difficiles.

Notre programme MPC au Maroc cherche à valoriser les qualités d'**éco conception**, de performance thermique et énergétique de la technologie MPC. Avec nos partenaires, notre objectif est désormais d'aboutir à une offre viable de bâtiments MPC visant à monter des opérations « clé en main » avec des acteurs institutionnels publics ou privés, des opérateurs à vocation sociale, et des communautés locales.

Au nom de toute l'équipe d'A&D, je tiens ici à remercier les personnels techniques, les experts et les partenaires institutionnels et financiers qui ont soutenu ce projet et en particulier l'**Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME)** qui ont cru à ce projet depuis son origine.

Ludovic JONARD, directeur A&D

PRINCIPE CONSTRUCTIF



1. collecter des pierres



2. tresser du fil d'acier galvanisé



3. confectionner des cages



4. assembler les cages en rangées



5. remplir de pierres



6. insérer des menuiseries



7. enduire les murs



8. poser une toiture

LE PROCÉDÉ MPC



pierres en vrac



cages de grillage



enduit de terre et chaux



un bâtiment solide et durable

AVANTAGES

Résistance aux aléas climatiques

La technologie MPC rend plus accessible la construction d'ouvrages résilients aux aléas climatiques dans des milieux fragiles ou isolés. Le confinement des pierres dans les cages aboutit à une structure rigide et ductile qui a un meilleur comportement parasismique que les structures traditionnelles en autoconstruction. Combiné avec une toiture anticyclonique terrasse ou en pente, un bâtiment MPC améliore la sécurité et le confort, et propose une réponse concrète contre la précarité technique, sociale, économique ou géographique.

Bioclimatisme

La démarche MPC intègre l'efficacité énergétique dans la conception en exploitant au mieux les matériaux disponibles localement, avec pour conséquence de diminuer sensiblement l'empreinte environnementale (cycle court, recyclage de matériaux, faible énergie grise) et réduire la pression sur les ressources locales ainsi que les émissions de CO². Le mur composite possède une très grande inertie thermique et une résistance d'environ 0,60m².K/W qui limitent les besoins en chauffage et réduit d'autant la précarité énergétique.

Impact économique

Le coût final des bâtiments en MPC revient à environ 2000 Dh/m², ce qui rend particulièrement compétitif le procédé constructif. Une part importante d'économie provient de la collecte (gratuite) des pierres, de l'absence d'outillage complexe et de la participation active des bénéficiaires. La méthode MPC est aussi une activité génératrice d'insertion économique et sociale (production de composants, formation de main d'œuvre, coopératives d'artisans).

Simplicité de mise en œuvre

Appropriable par les acteurs de la construction informelle et en auto-construction assistée, la technologie MPC s'adapte aux contraintes locales, en fonction des compétences disponibles et des savoir-faire traditionnels. Elle nécessite peu de qualification, limite les malfaçons et contourne les pratiques constructives informelles non maîtrisées : c'est une filière sèche, sans fondations, ni béton armé.



Phase I : Fondation

Aucune fondation spécifique : la structure repose sur un lit de MPC encastrés qui peut être doté de barrière d'étanchéité et anti-termites. Première assise ancrée à moitié au niveau du sol naturel et permet de gérer les eaux de ruissellement. Ce dispositif permet de poser des modules sur une grande variété de terrains, même à faible stabilité.



Phase II : Elevation

Cages fabriquées et pliées in situ dans un atelier aménagé et équipé d'une table à tresser les fils d'acier galvanisés. Élévation des murs par assemblage de cages ligaturées et superposition de lits. Les murs sont montés en continu, par pose successive de paniers de grillage remplis de pierres.



Phase III : Toiture

La structure MPC supporte toutes sortes de charpentes ou de toiture. La typologie et les matériaux de la toiture sont choisis en fonction des objectifs de performance thermique et de résistance aux aléas climatiques.

- *Toiture terrasse accessible* : un solivage en bois est installé et des planches de bois sont clouées. Plusieurs couches de terre et de chaux sont damées afin de réaliser une dalle étanche.

- *Toiture terrasse non accessible* : une charpente légère est posée sur le solivage pour porter la couverture en tôle. La toiture est une double pente inversé qui permet de garder une typologie qui s'intègre bien dans le bâti environnant.

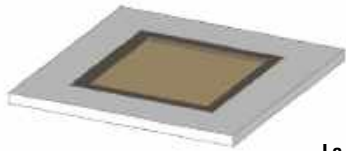
- *Toiture à quatre pans* : La charpente est constituée d'une ferme, de deux demi fermes et de quatre arêtiers fixés par entrails d'angle. La toiture est couverte de tôles en acier clouées ou vissées et complétée d'un isolant en sous face.



Phase IV : Enduits

Le mur est enduit sur les deux faces afin de protéger le grillage, d'isoler de l'humidité et de l'intrusion d'insectes ou d'animaux.

La composition des enduits s'adapte aux ressources locales et aux besoins en isolation, par exemple terre et chaux.



La fondation



Les gabions



Solivage



Toiture terrasse



Charpente anticyclonique



Toiture à quatre pans

Le procédé des Murs de Pierres Confinées se rapproche de la technique du gabionnage, plus connue dans le domaine du génie civil et adaptée par A&D à l'habitat. La technologie MPC consiste à élever des murs porteurs à partir de cages en grillage remplies de pierres collectées.

La mise en oeuvre est organisée suivant plusieurs ateliers accessibles à une main-d'oeuvre peu qualifiée. Les tâches collaboratives concernent la collecte des pierres, la confection des cages, le remplissage et l'assemblage des éléments.

Économique, la technique du MPC n'utilise ni eau, béton structural, ciment, ou encore outils particuliers. Néanmoins, la technologie du MPC n'est pas une solution miracle et suppose une conception architecturale et un accompagnement dans chaque étape de mise en oeuvre.

Les tresses produites en atelier, sont livrées sur le terrain afin d'être assemblées pour former les cages MPC. Le montage des murs s'effectue de façon simple et rapide par ligaturage des cages et remplissage successif des rangs avec les pierres.

Les pierres ont été collectées aux alentours par l'équipe et les bénéficiaires du projet et sont triées ou retallées grossièrement. Le remplissage débute une fois les tresses assemblées, ligaturées et les gabarits positionnés.

Les cadres des huisseries (préfabriquées en atelier) sont insérés pendant le montage des murs.

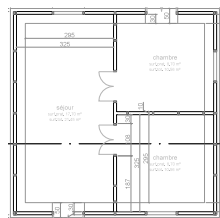
La structure MPC supporte toutes sortes de charpentes ou de toiture, en fonction des typologies locales et du niveau de sureté exigé (respect des règles Neige/Vent et parasismiques).

Le cloisonnement intérieur est réalisable avec diverses techniques, et s'adapte à la disponibilité des matériaux et des savoirs faire locaux (maçonnerie hourdées à la chaux, ossature bois, plâtre, ...)

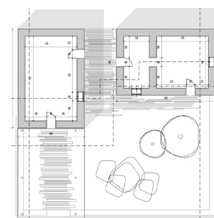
Le mur MPC est enduit sur les deux faces afin de protéger le grillage, d'isoler de l'humidité et de l'intrusion d'insectes ou d'animaux. Les parois étanches à l'air isolent thermiquement le bâtiment et apportent confort et esthétique.

*Photos : « Bâtiment témoin » sur la Green Platform de l'ADEREE Marrakech, Maroc, « Centre Social » Snada, Maroc. ©A&D

35 m³ de pierres par maison
 55 maisons neuves de 35m²
 60 ouvriers formés
 4 km de fil d'acier galvanisé/maison
 85€/m² cout de construction



typologie du logement



plan de sol

Maitre d'ouvrage



Financement



4 modules en tout MPC
 35 m³ de pierres par module
 15 ouvriers formés à la technique MPC
 10 km de fil d'acier galvanisé/maison
 200€/m² cout de construction

Suite au tremblement de terre qui a frappé Haïti en 2010, causant des dégâts considérables, avec plus de 200 000 morts et 1,3 million de sans-abri, A&D a proposé un partenariat technique à l'ONG Planète Urgence, pour la mise en œuvre d'un programme de reconstruction / réhabilitation d'habitat rural, utilisant la technologie de Murs de Pierres Confinées, dans une approche de re-développement local intégré. Cofinancé par la Fondation Abbé Pierre et Caritas, l'opération a eu pour objectifs :

- Apporter une réponse fiable et durable aux besoins de relogement et d'équipement des populations les plus vulnérables, dans une approche intégrée respectant et favorisant le développement local.
- Transmettre aux artisans et aux auto-constructeurs des techniques simples anticycloniques et parasismiques, ainsi que des compétences et des savoir-faire adaptés et permettre à la population locale d'accéder à un habitat bioclimatique et économique.
- Développer la technologie MPC dans le but d'ouvrir une nouvelle filière constructive qui couvre la réhabilitation et la construction neuve, tout en valorisant l'usage des matériaux locaux.

A&D a mené une mission d'appui à la maîtrise d'ouvrage et d'encadrement à l'exécution, en misant sur une approche globale structurante, autour d'une offre technologique appropriée, la formation d'artisans et d'entrepreneurs locaux, offrant ainsi d'un nouveau dynamisme sur le territoire rural.

Le projet inclut, des ateliers de production de composants de construction et la formation des habitants à l'auto-construction assistée. Les bâtiments témoins, construits en chantier école, deviendront un centre de ressources pour la construction durable. Deux autres équipements communautaires servent de refuge anticyclonique.



système mixte MPC/bois



contreventement et liaisons



montage des murs avec gabarits



un module de salle de classe



enduisage du mur MPC



confort intérieur



toiture terrasse traditionnelle



toiture autoportante à 4 pans



la maison de 35m² est livrée en 6 semaines



architecture locale et innovation technique

Projet pilote du Programme Gabion Méditerranée mené par A&D en 2011, le Centre Social pour les Femmes est situé dans la commune rurale de Snada, province d'Al Hoceima. Le bâtiment est dans sa forme essentielle un assemblage de deux modules MPC reliés par une structure légère couverte qui abrite un espace de transition et un point d'eau. A l'extérieur, un préau prolonge l'entrée de la cour vers les salles d'activité. Ce projet a permis de valider la typologie « pièce unique » avec toiture à 4 pans anticyclonique, ainsi qu'une variante avec mur de refend au 2/3. Les enduits terre + paille puis terre + sable + chaux ont mobilisé les savoirs faire locaux.

La toiture est liaisonnée aux structures verticales en gabions et joue un rôle de diaphragme. La charpente est reprise en périphérie par des poutres de rives. L'ensemble forme un double cadre solidarisé aux murs en MPC. L'échelle des bâtiments, le niveau de compétences mobilisées, le respect de l'environnement bâti, la symbolique des matériaux correspondent bien aux besoins de développement local.

Le MPC ne rentre pas en conflit avec les représentations des usagers. Le grillage et les pierres sont dissimulés par les enduits traditionnels familiers, mais l'épaisseur des murs et le toit terrasse donnent assurance et fierté. Les habitants ont bien compris la différence avec les « nouvelles » constructions traditionnelles : les maisons en maçonnerie chaînée, dont le confort thermique est toujours médiocre, sans parler de leur performance antisismique. Le résultat a été jugé très satisfaisant par la population qui est très familière des constructions en pierres sèches enduites de terre. L'équipe de maçons a été formée à la production de grillage, puis a décidé d'utiliser des pierres recyclées d'une maison détruite par le séisme de 2004 pour le remplissage des murs. Ce geste à la fois symbolique et pragmatique montre le potentiel d'appropriation et l'articulation bien comprise du saut technologique du MPC tout en gardant confiance avec des matériaux familiers et traditionnels.

UN CONCEPT ARCHITECTURAL DÉCLINABLE



Murs



Les murs en MPC sont **autoportants et sans fondation**. Ils sont remplis de pierres grossières collectées et se montent facilement avec une main d'œuvre peu qualifiée. Cette technique convient aux constructions neuves ou à la réhabilitation, avec réutilisation de pierres sèches par exemple. D'autres matériaux de remplissage sont envisageables. Le comportement statique et dynamique des murs (épaisseur (50 cm) permet de construire sur des terrains en pente ou de faible portance. Les finitions intérieures et extérieures s'adaptent aux pratiques locales (enduits, bardage, contrecloisons).



Typologie



Le MPC se décline suivant une typologie de **modules simples** (de 20 à 40m²) qui peuvent s'arranger par juxtaposition ou en combinaison avec des espaces tampons. Adapté pour des bâtiments de plain-pied, le logement individuel ou en bande, des espaces polyvalents, le MPC offre une flexibilité formelle qui respecte l'architecture vernaculaire et autorise des traitements contemporains dans ses volumes et façades. Il s'implante aussi bien dans du parcellaire diffus que dans des trames de lotissement.



Ouverture



Les menuiseries des bâtiments MPC sont essentielles au dispositif **bioclimatique** et sont préfabriquées en atelier localement en mobilisant les futurs usagers, dans le cadre d'activités génératrices de revenus et d'autoconstruction assistée. Pour de meilleures performances énergétiques et de confort, des dispositifs plus élaborés peuvent être préconisés (solaire passif, double vitrage, volets) et mis au point avec le partenariat technique de l'ADEREE.



Toiture



La typologie et les matériaux de la toiture sont choisis en fonction des objectifs de **performance thermique**, de résistance aux aléas climatiques (isolation, étanchéité, ventilation naturelle). Des systèmes de production d'énergie et de récupération d'eau pluviale sont incorporés dans l'enveloppe architecturale. En pente ou en terrasse, la toiture est conçue comme un élément majeur d'habitabilité et de confort d'usage.



DOMAINES D'INTERVENTION DU MPC

Petits équipements communautaires

Le procédé MPC convient à la construction de petits **équipements d'intérêt général** qui constituent l'armature des services de base indispensables dans les zones rurales mal équipées. Son mode constructif propose une démarche de **programmation participative** avec un protocole social de mobilisation adapté aux projets de développement communautaire. Les collectivités locales, les services déconcentrés de l'Etat, les institutions sociales, sont des maîtres d'ouvrages indiqués pour des programmes d'écoles, de dispensaires, de hammams ou de centres sociaux.

Amélioration de l'habitat

Le projet MPC vise à la création d'une offre de logements neufs très économiques pour les populations exclues des dispositifs classiques d'aide au logement. Les logements dégradés, dangereux, vétustes, dispersés, hébergeant des ménages en **grande précarité** (énergétique, technique, sociale, financière) sont une cible potentielle d'un programme d'amélioration de l'habitat, avec par exemple, des extensions réalisées en MPC offrant un meilleur confort et résilience aux aléas. Les populations périurbaines pourraient être également concernées (habitat informel bidonvillisé).

Tourisme durable

Avec sa flexibilité et sa faible empreinte écologique, le MPC répond aux critères de **durabilité** dans les normes et les référentiels touristiques promus par les Agences du Développement Touristique qui visent à la préservation des ressources, au maintien de l'authenticité socioculturelle et au développement économique et social des communautés d'accueil. La préservation du **patrimoine naturel et bâti**, l'aménagement de sites éco responsables avec de petites infrastructures non impactantes (gîtes, refuges, sanitaires, édicules) sont des axes de développement de projets MPC.

Construction en milieu sensible

Procédé non conventionnel (au même titre que la construction en terre), sans fondations, plus résilient aux aléas naturels le MPC valorise les matériaux locaux ou les recycle, dans les **zones rurales, montagneuses, désertiques ou isolées** qui disposent de gisements de pierres très abondants. Ces caractéristiques rendent possible l'édification de bâtiments dans des territoires réputés non constructibles comme les parcs protégés ou encore les zones semi désertiques comme le Grand Sud Atlantique, l'Atlas et les oasis.

NOS PARTENAIRES DEPUIS 1997



Photo : projet « Centre Social pour la femme et l'enfant » Snada, Maroc. ©A&D

« L'EXPERTISE SOLIDAIRE POUR CONSTRUIRE UN HABITAT DIGNE ET DURABLE POUR TOUS »

A&D est une Association de Solidarité Internationale spécialisée dans les projets de construction intégrés et l'appui technique aux projets de construction, reconstruction et rénovation/réhabilitation depuis plus de 15 ans. Elle travaille notamment à l'amélioration de la qualité du cadre de vie bâti, dans les contextes fragiles, de post urgence ou de développement. Son rôle est de mettre en œuvre des méthodologies opérationnelles compatibles avec une approche globale et pérenne de projets de construction ou de réhabilitation d'habitats en tenant compte de l'environnement socio-économique et naturel. Sa compétence relève de l'expertise technique, de l'assistance à la maîtrise d'ouvrage, de la programmation et du montage d'opérations, du suivi de réalisation de construction, de l'évaluation de programmes. Acteur professionnel et solidaire de l'humanitaire et du développement, A&D s'engage pour une construction décente et de qualité, accessible aux populations les plus démunies, socialement responsable, à forte exigence écologique et viable économiquement.



Association de Solidarité Internationale
régie par la loi de 1901
2, rue de la Providence
75013 Paris, France
archidev@archidev.org
www.archidev.org