

Chapitre

Murs extérieurs

Repère

V2 – Mai 2011

Titre fiche

LE PISÉ

PRESENTATION DU PRODUIT ET CONTEXTE D'UTILISATION

L'architecture de terre est présente sur tous les continents habités. Le pisé est en fait le mode de construction en terre le plus pur et le plus direct ; cette technique de construction existe traditionnellement au Maroc, en France, en Espagne, au Portugal mais aussi en Chine et en Amérique centrale. En France ; on trouve de nombreux bâtiments ruraux en pisé, parfois vieux de plus de 300 ans. On estime que près de 1/3 de l'humanité vit toujours dans un habitat en terre, soit près de 2 milliards de personnes. De tout temps, cette architecture a été produite en utilisant les seules ressources locales, directement utiles et accessibles. Cependant, dans les pays industrialisés, la construction en terre en général et en pisé en particulier a été quasiment abandonnée au profit de la brique, du bloc béton ou du bois, laissant se perdre les savoir-faire accumulés durant des générations. Aujourd'hui, on constate un regain d'intérêt pour le pisé, notamment à cause des préoccupations environnementales grandissantes, les avancées scientifiques aidant à mieux comprendre la terre et ses propriétés.

Principaux domaines d'application : Murs.

FABRICANT ET TYPE

[AKTERRE SARL](#) (38) : Terre à piser humide en big-bag ou en vrac

Distributeurs en région PACA et départements limitrophes

[C'EST TOUT VERT](#) (83)

CARACTERISTIQUES PHYSIQUES

COMPOSITION (de l'intérieur vers l'extérieur)

Le pisé est un matériau à base de terre damée coffrée. Cette terre a une composition très variable mais elle doit contenir suffisamment d'argile qui fait office de liant entre grains (mélange de limon, sable, gravier et pierres qui peuvent avoir la taille de quelques centimètres de diamètre).

Pour les pisés traditionnels, le liant unique est l'argile (ils sont appelés « pisés non-stabilisés »). Avec l'industrialisation, des pisés modernes sont apparus en ajoutant d'autres liants comme le ciment, la chaux hydraulique ou aérienne. Ils sont dits « pisés stabilisés ». L'intérêt principal de la stabilisation du pisé est d'augmenter sa durabilité (contre l'attaque de l'eau) et ses performances mécaniques (résistance à la compression).

CARACTERISTIQUES FONCTIONNELLES

AVIS SOLIDITE / STRUCTURE

Contrairement aux idées reçues, le pisé n'est pas un matériau de remplissage, au contraire. Il n'y a qu'à voir son utilisation traditionnelle en murs porteurs pour s'en convaincre. Le pisé est un béton non armé, qui résiste donc bien en compression (ce qui en fait un matériau intéressant pour le parasismique) mais qui peut se fissurer en traction, c'est pourquoi, un chaînage du bâtiment est recommandé. Vu les faibles teneurs en eau contenues dans les terres à piser, il y a un retrait lors du séchage, mais celui-ci est très faible.

NB : Béton n'est pas synonyme de ciment, c'est un terme générique qui désigne un matériau de construction composite fabriqué à partir de granulats de sable et de graviers agglomérés par un liant.

Si l'on veut construire en terre dans les régions sismiques, il est possible de l'associer avec un autre matériau, résistant à la tension, le bois par exemple, qui est mieux adapté que le béton ou l'acier.

Pour protéger les angles des constructions, plusieurs solutions existent comme le croisement des banches en bout de mur, le renforcement par des matériaux de type pierres ou briques cuites, l'application de mortier de chaux, ...
 Pour protéger les murs des intempéries, un débord de toit d'environ 1 m est nécessaire, avec de plus une pente faible en pied afin de faciliter l'écoulement des eaux pluviales.

	Pisés stabilisés	Pisés non-stabilisés
Epaisseur courante	30 cm	50 cm (permettant d'espérer une meilleure performance énergétique)
Densité	environ 1.7 à 2.2 t/m ³	
Teneur en eau	De l'ordre de 10 %	
Résistance à la compression sèche	les valeurs sont comprises entre 0,9 et 1,7 MPa	
Résistance à la traction	Les valeurs sont comprises entre 0.5 et 1 MPa	
Résistance à la flexion	Les valeurs sont comprises entre 0.5 et 1MPa	
Résistance au cisaillement	0.5 MPa	

Retours d'expériences

● Un matériaux porteur (Source : Architecte)

En ce qui concerne les aspects constructifs, le pisé n'est en aucun cas un matériau de remplissage au contraire ! Le pisé se fait par compactage d'une terre à faible teneur en eau (15/20%) dans des banches, l'utilisation traditionnelle du pisé en Dauphiné, en Midi Pyrénées, en Bresse, au Maghreb, en Amérique latine, au Etats Unis, en Australie est en murs massifs porteurs. Le pisé est un béton non armé, donc bon en compression mais fissuration en traction. Vu les faibles teneurs en eau il y a un retrait mais très faible

Il ne faut pas confondre le pisé avec le torchis, qui lui est une "pâte" à des teneurs en eau de 25 à 35% et mélangé avec des fibres (pailles, foin, etc) qui lui effectivement a davantage de retrait et s'utilise en remplissage d'une structure en pan de bois type "chaudière Normande",

AVIS MISE EN ŒUVRE

Le pisé se compose de plusieurs couches de terre. La terre est versée en couche d'environ 15 cm d'épaisseur dans un coffrage (en bois ou métal, glissant). Elle est damée par une dame manuelle ou pneumatique. Après damage, l'épaisseur de la couche est de 8-10 cm. La procédure est répétée jusqu'à finir le mur. Le damage se fait avec une teneur en eau dite « optimum », c'est-à-dire donnant la plus grande densité sèche pour une énergie de compactage fixée.

- Au début de la mise en œuvre, la consistance du matériau doit être vérifiée car l'humidité peut varier pendant le transport et le stockage. Par sécurité, la consistance doit être vérifiée par un spécialiste. Des mélanges trop secs ne peuvent pas être comprimés de façon optimale, et des mélanges trop humides ne se laissent pas comprimer.
- Le gel peut détruire la structure de la terre pisé encore humide et détruire sa stabilité. Le moment de construction doit être choisi selon le climat pour éviter ces dangers.
- Pendant le temps de la construction, la matière et les murs doivent être protégés de la pluie (stabilité du bâtiment mise en jeu).
- Des enduits ouverts à la diffusion sont meilleurs que des enduits non respirants.
- Les surfaces extérieures doivent être travaillées avec des enduits P1 ou P2, on peut utiliser un mortier de chaux aérienne ou faiblement hydraulique. Dans ce cas, il faut mouiller suffisamment la surface à enduire, selon les règles de l'art. La pose du mortier doit s'effectuer selon les indications du fabricant. Pour tous les travaux d'enduit extérieur, il est conseillé de se renseigner au cas par cas.
- En intérieur, il est possible d'enduire avec de l'enduit de base ou bien avec un enduit de finition en terre. Afin de prolonger le temps de travail de l'enduit de terre, il est nécessaire de mouiller suffisamment les surfaces à enduire.
- Sur les autres surfaces, les enduits P1 sont valables.
- Si les surfaces sont trop lisses, et qu'elles sont fortement sollicitées (couloirs, cage d'escalier...), il est préférable de renforcer avec un support pour plafonnage (nattes de roseaux).
- L'épaisseur minimum de l'enduit est de 2 cm au total. Pour l'intérieur, les murs en terre pisé peuvent être enduits à l'argile.
- La présence d'un sous-bassement est obligatoire.
- La finition des murs en pisé doit être entreprise uniquement après le séchage complet du mur.
- L'exécution des constructions en pisé requiert des connaissances particulières et une maîtrise des savoir-faire. Les travaux doivent être dirigés par un artisan spécialisé qui possède de bonnes connaissances théoriques et pratiques.

A proscrire : le doublage "étanche" (type placo-plâtre + laine de verre) intérieur, les enduits à base de ciment en extérieur ou intérieur, les dalles béton qui ont pour effet de concentrer les remontées d'humidité au pied des murs. La meilleure solution reste une isolation par l'extérieur (nattes de roseaux ou liège chevillé/collé par exemple).

Il faut 3/4 d'heures à un piseur expérimenté pour damer 1 m² de pisé. Si l'on intègre la durée de préparation de la terre, de coffrage, manutention et décoffrage, le temps de mise en œuvre sera de 4 à 6 heures selon les détails d'exécutions à réaliser. Le mur est décoffré immédiatement après la fin du compactage, son aspect est lisse comme la tôle du coffrage. *Source : Nicolas Meunier, piseur*

Retours d'expériences

● Zéro gramme de ciment (Source : Nicolas Meunier, piseur)

Dans les Monts du Forez à l'Ouest de Saint-Etienne, une habitation a été construite en pisé. Semblables aux constructions traditionnelles locales, les faitages sont parallèles à la plus grande longueur du bâtiment, les ouvertures sont carrées ou de proportion verticale.

Les Maîtres d'ouvrage ont choisi de construire leur maison en pisé. Ce pisé restera apparent. Les formes des murs et des ouvertures sont simples, les arêtes adoucies. Les murs reposent sur un petit soubassement en maçonnerie de pierres de pays récupérées de pierres jointées au mortier de chaux. Cette maçonnerie est directement en appui sur le sol rocheux.

Un bardage mélèze sur ossature est utilisé là où il est difficile, voire impossible de mettre en œuvre le pisé. Il a été choisi de couvrir l'habitation avec de la tuile canal de terre cuite rouge. Cette toiture a une pente de 30%.

180 m² de mur pisé. Terre extraite sur le site, à 100 mètres du chantier.

Extraction, transport, préparation de la terre, élévation, compactage = 800 litres de gazole, aucune consommation électrique.



www.construction-pise.fr

AVIS REGLEMENTATION / SECURITE / INCENDIE / ERP

Aujourd'hui, aucune règle professionnelle d'exécution n'est rédigée pour la construction en terre crue. Cette situation limite considérablement les projets des architectes et des entrepreneurs, faute de pouvoir garantir la qualité des réalisations. L'association nationale des professionnels de la terre crue (AsTerre) s'est manifestée et a obtenu l'accord du ministère de l'écologie pour formaliser les savoir-faire professionnels capitalisés depuis 30 ans. Une version définitive des règles professionnelles est attendue courant 2011 et pourraient servir de base à l'élaboration d'un futur DTU.

Le pisé étant réputé pour être incombustible, il appartient à la catégorie M0 du classement M qui définit la réaction au feu des matériaux.

Retours d'expériences

● Comportement sismique (Source : Architecte)

Pour le sismique, il faut assimiler le pisé à un béton non armé, donc le calcul sismique dépend de l'ouvrage. Il est possible de ne pas avoir de structures rapportées, si masse importante, faible élancement, etc.

Par contre, pour des murs "courants" en pisé, de largeur 50 à 60 cm en zone sismique, et pour agrément du bureau de contrôle, il faut des tirants. La bielle en compression est admissible pour les seuls murs pisé, par contre les tirants sont rapportés. Il faut faire attention que ces tirants ne fonctionnent pas comme des éléments porteurs car cela occasionne des tassements différentiels avec très facilement fissuration du pisé. La meilleure solution que j'ai appliquée pour l'instant est d'utiliser des précadres de menuiseries toute hauteur (de fondations à sablière) qui fonctionnent comme tirants et avec liaisons "souples" avec le pisé pour éviter les fissurations.

CONFORT ET ENERGIE

THERMIQUE

Résistance thermique : 0.83 à 1.11 m²K/W (pour une épaisseur de 30 cm)

Capacité thermique : 1350 kJ / m³. °C

Conductivité thermique : $\lambda = 0,9$ à $1,1$ W/m. k (Source : Base de données logiciel Cocon)

L'étude "Analyse des Systèmes Constructifs Non Industrialisés" (CSTB) donne une conductivité thermique comprise entre 0,45 et 0,6 W/(m.K) pour une masse volumique de 1900 kg/m³, après stabilisation dans une ambiance 23°C et 50 % HR.

Coefficient de résistance à la vapeur d'eau variée entre : $\mu = 9$ à 11
Coefficient de déphasage pour un mur de 40 cm d'épaisseur : de l'ordre 10 à 12 heures
Coefficient de déphasage pour un mur de 50 cm d'épaisseur : de l'ordre 16 heures

Ces propriétés sont utiles pour le confort d'été : le mur stocke la chaleur dans la journée et la restitue la nuit.

Retours d'expériences :

● Isolation du mur en pisé (Source : Architecte)

Le pisé n'est pas et ne sera jamais un isolant, bien qu'il ait en effet des qualités indéniables :

- c'est un matériau très déphasant : utile pour le confort d'été, il empêche le transfert de chaleur. Un mur en pisé de 50 cm donne un temps de transfert de 16 h environ.

- C'est un excellent régulateur d'humidité : matériau très hygroscopique, coefficient de perméabilité à la vapeur d'eau entre 1 et 2.

Sur la capacité du pisé à isoler, pas du tout. Le lambda du pisé est compris entre 0,9 et 1,1 (suivant la terre utilisée et le taux d'humidité). Un matériau isolant aura un lambda 10 fois plus faible au moins.

Cela signifie qu'en hiver, lorsque le mur se sera refroidi, il faudra compenser ses pertes thermiques en permanence. A titre de comparaison, une brique monomur de 37 cm sera 2.5 à 5 fois plus isolante. Et cette brique est tout juste suffisante pour entrer dans le cadre de la RT2005, déjà bien faible en regard de la crise énergétique qui nous attend. Autant dire qu'il faut isoler le pisé, et si possible par l'extérieur.

Il faut cependant être vigilant, et utiliser des matériaux respirants, de manière à ne pas bloquer l'humidité dans le mur. Un doublage placo+ laine minérale est catastrophique dans ce genre de bâtisse : l'humidité stagnera très vite entre le mur et le doublage, la laine de verre s'humidifiera et n'isolera plus rien, le mur se détériorera rapidement, et le placo finira par se déliter. Un béton de chanvre entre colombage est possible (intérieur ou extérieur) en épaisseur de 15 cm au moins pour obtenir de bon résultats, puis une finition enduit chaux sable.

Proscrire les enduits à base de ciment, qui provoqueront le pourrissement du mur (essentiellement les soubassements).

Il est aussi possible d'utiliser du liège expansé en plaques, collé au mortier de chaux et chevillé, puis enduit. Utiliser des chevilles longues à frapper en plastique dans ce cas.

Jamais de lame d'air entre mur et isolant, ce qui entrainerait de la condensation à ce niveau.

Pour information, j'ai moi-même une maison en pisé, mitoyenne est et ouest. Le mur sud n'est pas isolé, mais possède de larges ouvertures. Le mur nord est doublé en intérieur par de la brique montée à la chaux et enduite. Il est prévu dans un futur proche une isolation par l'extérieur de ce mur avec 2 couches croisées de liège de 30 mm.

ACOUSTIQUE

La texture des murs réduit les réverbérations. De par leur épaisseur et leur densité, les murs en pisé ont une acoustique appréciée : les bruits aériens et d'impact sont très absorbés.

Epaisseur (cm)	20	24	30	45
Rw (dB)	49	51	51	52

Tableau 1: Amélioration de l'isolation acoustique, valeurs R_w dans les murs en dB suivant un calcul de l'institut SWA d'Aix la Chapelle (extrapolation de valeurs mesurées et de valeurs théoriques).

VISUEL

De couleur jaune, marron ou blanche, le pisé peut être recouvert d'enduits colorés.

OLFACTIF

Aucune odeur particulière.

APPROCHE FINANCIERE

INVESTISSEMENT A TITRE INDICATIF (05/2011)

Dans le cas où la terre utilisée est celle récoltée sur le chantier, elle est gratuite (ou plus exactement elle est comprise dans le prix de vente du terrain...).

Dans le cas contraire, le coût direct du pisé varie de 172 à 846 €/m² (Source : Guide Régional des Matériaux éco-performants).

Si les murs en pisé restent apparents ce coût n'est pas rédhibitoire, ceci d'autant plus qu'en coût global, sur des durées de 20 à 50 ans, le pisé est performant car il nécessite peu d'entretien puisqu'il conserve une grande qualité d'aspect de par la chaleur de sa texture et de par ses qualités de régulations hygrothermiques.

La société AKTERRE, spécialiste de la construction en terre, commercialise de la terre à piser et des enduits en terre prêts à l'emploi.

Référence AKTERRE			
02.125.A	pisé grossier 0–45 mm	Tonne en vrac (départ carrière)	Attention, il faut prévoir 1,2 tonnes de terre à piser en vrac par m ² de mur d'épaisseur de 50 cm
02.045.A	pisé grossier 0–45 mm	en Big-Bag / 1000 kg	1 Big-Bag permet de construire 0.8 m ² de mur d'une épaisseur de 50 cm
02.122.A	pisé moyen 0–22 mm	en Big-Bag / 1000 kg	1 Big-Bag permet de construire 0.8 m ² de mur d'une épaisseur de 50 cm

Des fiches techniques ainsi que le catalogue [AKTERRE](#) sont disponibles en ligne sur le site du fabricant.

MISE EN ŒUVRE

Le faible coût du matériau est contrebalancé par un coût de main d'œuvre élevé : 300 € le m² construit.

Ce niveau de prix s'explique par l'importance de la main d'œuvre nécessaire à l'édification de ce type de construction (puisque la construction en terre nécessite plus d'hommes, mieux qualifiés et pendant plus longtemps que pour une construction classique).

Cela explique aussi la faible diffusion de ce matériau dans les pays où la main d'œuvre est chère et, au contraire, sa forte diffusion dans les régions de main d'œuvre à faible taux horaire.

La deuxième contrainte, c'est un manque d'entreprises réellement qualifiées, même si des formations se mettent en place dans les régions les plus concernées.

En région PACA : Nicolas Meunier, piseur, construit son site : <http://www.construction-pise.fr>

Retours d'expériences

● Le centre aéré de Ramatuelle (83)

Le bâtiment s'inscrit dans le cadre d'une préservation de l'environnement avec la présence notamment de murs en pisé. La terre crue économise l'énergie de fabrication, régule la température, l'hygrométrie et le son. Elle se révèle aussi très esthétique et est très appréciée, notamment par les enfants présents sur le site.

Murs en pisé du centre aéré de Ramatuelle (83).

Source : enviroBOITE, <http://enviroboite.net>



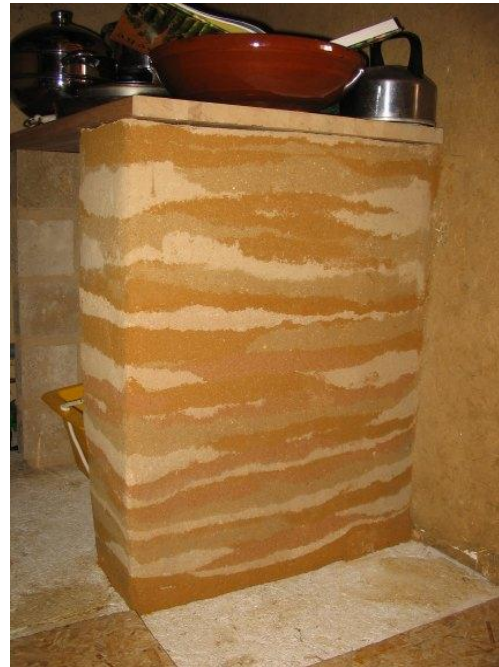
ENTRETIEN

Aucun frais d'entretien.

ILLUSTRATION



Elévation du mur en pisé dans des banches à béton à l'aide d'un fouloir pneumatique
Source : www.tailleur-de-pierre50.com



Mur intérieur avec pisé de différentes couleurs
Source : aupetitcolibri.free.fr/construire_paille



Source: www.construction-pise.fr

CARACTERISTIQUES ENVIRONNEMENTALES

ORIGINE DES PRODUITS (naturelle, synthétique, recyclage)

La terre utile à la construction est située sous la terre arabe ou végétale, cette terre noire et humide qui contient des matières organiques. Celle-ci doit être décapée sur 10 à 30 cm, en fonction des terrains, afin d'atteindre la terre argileuse adaptée à la construction. La terre argilo-sablonneuse, généralement récoltée à proximité du chantier, est tamisée pour l'homogénéiser et pour enlever les gros cailloux. En fonction de sa nature, elle peut ensuite être amendée de sable ou d'argile. La terre utilise peu d'eau en phase de transformation, c'est une ressource locale abondante et renouvelable.

CARACTERISTIQUES SANITAIRES ET SANTE (micro-organisme, émission COV, radioactivité, fibres...)

Sa composition essentiellement minérale ne peut être à l'origine d'émission de composés organiques volatils dans l'air intérieur. La radioactivité de la terre crue dépend de la provenance de l'argile dont les teneurs en radioéléments peuvent être légèrement plus élevées dans les départements français où les concentrations moyennes en radon sont supérieures à 100 Bq/m³.
Source : *Le guide de l'habitat sain*, Drs Suzanne et Pierre Déoux, Medieco Editions.

ELEMENTS D'ACV (contexte local, recyclage)

L'incidence environnementale de l'utilisation de la terre à piser est récapitulée dans le tableau ci-contre : Source : [Eco energies](#)

Phase	Incidence Environnementale
Fabrication	Argile en addition de sable et de gravillons fins
Mise en œuvre	Coffrage ; stabilisant : chaux
Vie en œuvre	Bonne inertie thermique ; sensible aux agressions mécaniques
Fin de vie	Déchets inerte ; recyclable
Ecobilan (note de -10 à 10)	9

Par ailleurs l'énergie grise d'origine non renouvelable est de 110 kWh/m³, ainsi la construction en terre crue n'utilise que 3% de l'énergie employée dans une construction en béton.

Enfin l'impact environnemental/changement climatique est de 33 kg eq CO₂/m³ contre 307 pour le béton armé.

La terre peut être achetée à un fournisseur, mais est le plus souvent récoltée sur place, ce qui limite les émissions de gaz à effet de serre dues au transport, et ce qui évite le conditionnement.

Source : [Logiciel Cocoon](#) - <http://www.maison.com/architecture/maison-basse-consommation/bibliotheque-materiaux-construction-4818/>

Retours d'expériences

● **La construction terre vue d'un autre angle** (Source : « La construction écologique » de Jean-Claude Mengoni, propos recueilli auprès d'un architecte)

Un mètre carré de mur en béton armé utilise un peu moins de 2h de travail humain et un peu plus de 25 litres de gazole (pendant qu'il y en a encore). Un mètre carré de mur en terre, lui, consomme un peu moins de 1 litre de gazole et environ 7h de travail humain. Cela doit donc être à cause de ces 5h de travail humain économisées qu'on dit que le mur en béton, c'est plus facile ? Pour les 24 litres de gazole... pas de doutes, c'est plus facile [...].

NUISANCES (emballage, déconstruction, déchets, types de déchets)

La terre crue ne produit aucun déchet, ne nécessite aucun emballage et son recyclage est naturel.

ENTRETIEN MAINTENANCE

Pas d'entretien ni de maintenance pendant la durée de vie du produit.

CONCLUSION

La technique du pisé, délaissée pendant des décennies, revient au goût du jour grâce notamment aux enjeux de protection de l'environnement et d'économies des ressources.

Bien que le pisé procure une faible isolation thermique, il possède d'autres qualités appréciables : perspiration (régulation hygrothermique), fort déphasage (confort d'été) et bonne isolation acoustique.

De plus, son bilan écologique est, comme tous les procédés constructifs à base de terre crue, très positif : c'est une ressource naturelle abondante, disponible sur place (si utilisation de terre de chantier : ni emballage, ni transport) et dont la mise en œuvre nécessite peu d'énergie grise (surtout si le compactage se fait manuellement).

Néanmoins, la technique du pisé est plus longue et plus coûteuse en main d'œuvre que les autres techniques dites « classiques ». De plus, il paraît complexe de satisfaire aux référentiels des bureaux de contrôle en termes de thermique en de parasismique avec la construction en pisé traditionnelle, sans ajouter d'isolation et de renforts structuraux.

BIBLIOGRAPHIE

Internet :

AKTERRE (fournisseur)

Spécialiste de la construction en terre crue. Documentation technique en ligne, tarifs.

Disponible sur : <http://www.akterre.com/>

CRATerre-ENSAG

Laboratoire de recherches et équipe d'enseignement de l'Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble, spécialisée dans la construction en terre. Articles, publications, documentation technique en ligne.

Disponible sur : <http://terre.grenoble.archi.fr>

C'EST TOUT VERT, distributeur,

Disponible sur <http://www.cest-tout-vert.com>

SAINBIOSE, distributeur,

Disponible sur <http://sainbiose.com>

Construction Pisé (Nicolas Meunier)

Disponible sur : <http://www.construction-pise.fr>

Eco energies, Disponible sur <http://www.ecoenergies-cluster.com>

Des murs en terre crue pour un bâtiment municipal (Le Moniteur – 21/12/12)

Envirobot Méditerranée

Débats sur le forum / enviroBOITE : <http://enviroboite.net>

Livre :

Drs Suzanne et Pierre DEOUX, « Le guide de l'habitat sain » - Medieco Editions