

MICROFICHE ETABLIE A PARTIR DE
L'UNITE DOCUMENTAIRE
N

جديدة منجزة حسب الوثيقة
رقم:

92

0207

ROYAUME DU MAROC

المملكة المغربية

المركز الوطني للتوثيق
CENTRE NATIONAL DE DOCUMENTATION

SERVICE DE REPROGRAPHIE
ET IMPRIMERIE

B.P 826 RABAT



مصلحة الطباعة والتصوير
ص.ب 826 الرباط

F

1

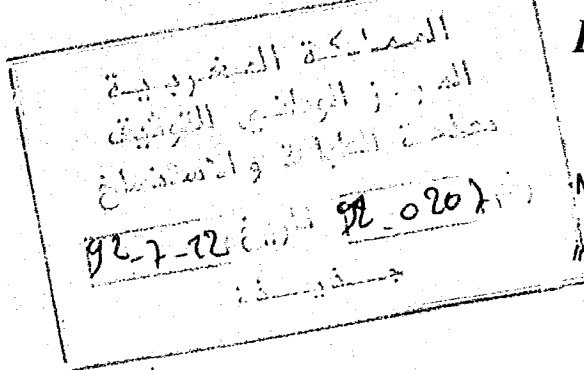
92-0207

UNE NOUVELLE TECHNOLOGIE : L'ADOBETON (*)

PAR

M. MARTIN ET N. YAMANI,

Ingénieurs, CRR - Bâtiment - LPEE



RESUME

La modernisation et le développement des constructions en terre ont été vus jusqu'ici surtout à travers deux filières : celle du bloc de terre compressée et, dans une moindre mesure, celle du pisé.

Mais la filière la plus répandue à l'échelle planétaire, l'adobe, n'a fait l'objet que de relativement peu de travaux, son caractère rural et sa forte érodabilité semblant la conduire à une marginalisation progressive.

L'invention de l'adobéton et de ses dérivés comme l'adobrique, le gypsobéton, etc... renouvelle totalement le problème et ouvre à cette technique des perspectives insoupçonnées.

Après une présentation générale de ce qu'est l'adobéton, on précise ses nombreuses caractéristiques techniques particulières. Puis on décrit la première construction prototype en adobéton (une maison cantonnière d'une centaine de mètres carrés) sans omettre de fournir les principales données économiques la concernant.

On termine par quelques indications sur l'intérêt que l'adobéton pourrait représenter dans des filières de construction en plâtre et, en particulier, sur le rôle qu'il pourrait jouer dans l'emploi des déchets de phosphogypse.

INTRODUCTION

0-1/ CONTEXTE DE L'INVENTION

Dans les pays en développement à forte démographie et à exode rurale accélérée, les responsables politiques sont confrontés à un double défi : construire un grand nombre de logements d'une part, créer des emplois dans les zones rurales d'autre part.

Au Maroc, pour y faire face, le Ministère des Travaux Publics, de la Formation Professionnelle et de la Formation des Cadres (Direction des Equipements Publics -D.E.P-) a signé plusieurs conventions de recherche technologique avec le Laboratoire Public d'Essais et d'Etudes (L.P.E.E), l'objectif étant le développement d'une construction rurale de qualité :

- 1/ qui soit à base de matériaux locaux et
- 2/ que la population pourrait faire réellement sienne.

(*) Communication présentée au 1er Séminaire International sur l'ingénierie des constructions en terre Marrakech 30, 31 Mai et 1 Juin 1990

Menée à Casablanca au sein du nouveau service de recherches et d'innovation dans le bâtiment : le C.R.R, une de ces recherches a débouché sur la mise au point d'un procédé de construction nouveau à base de terre, de paille et de béton intitulé «Adobéton». Testé sur une construction prototype d'une centaine de mètres carrés dans la campagne d'EL Kalâa des Sraghna (à 80 km de Marrakech), ce procédé a confirmé toutes les espérances que ses concepteurs avaient placées en lui.

0-2/ GENESE DE L'IDEE

0-2-1/ Matériau terre : identification du problème psycho-social

En premier lieu, le L.P.E.E a procédé à une analyse de la défiance bien connue de la population rurale (et pas seulement d'elle !) à l'égard du matériau terre. Il en est résulté que le problème clé est celui de l'érodabilité ; malheureusement, ce phénomène est difficilement quantifiable et il n'existe pas de normes d'essais commodes internationalement reconnues pour l'appréhender. Et y en aurait-il eu, le temps aurait manqué pour l'étudier à un niveau fondamental : l'objet de la recherche, en effet, était de trouver des solutions pratiques.

On a constaté aussi que les gens confondaient deux notions très différentes : la durabilité (liée à l'inaltérabilité de la surface extérieure) et la résistance mécanique (qui concerne la structure dans son volume). Grossièrement, ou bien un matériau est érodable et on considère qu'il n'est pas solide (la terre), ou bien il est inaltérable et on considère qu'il est solide (le béton, la terre cuite).

0-2-2/ Matériau terre : évolution technique du concept

Parallèlement, on a réfléchi à l'évolution de la terre comme matériau de construction. A l'origine, la terre était employée seule (terre crue) ou mélangée avec de la paille, selon sa finesse et la technique de mise en oeuvre.

Depuis quelques décennies, on s'est avisé de la stabiliser afin d'en améliorer la durabilité d'une part, la performance mécanique d'autre part, surtout à l'état humide. Parfois, le stabilisant est la chaux ; mais le plus souvent, on utilise du ciment et l'on obtient du béton de terre stabilisée (BTS). Celui-ci a fait -et fait encore- l'objet

de nombreuses études, mais son emploi n'a jamais atteint une échelle significative en comparaison des besoins en logements et en bâtiments de toutes sortes dans de nombreux pays.

La principale raison de cet état de fait est de nature économique. Pour avoir un effet intéressant, il faut un taux de 3 ou 4% au minimum ; or avec des murs dont l'épaisseur peut difficilement descendre en dessous de 20 cm, mais qui atteint souvent 50 cm, le BTS nécessite des quantités de ciment importantes qui lui font perdre beaucoup de son intérêt.

Considérant que la fonction première du stabilisant était d'améliorer la résistance à l'érosion de la terre, certains auteurs ont proposé de réaliser des produits bicouche en concentrant le ciment dans une faible épaisseur surstabilisée (faisant donc office d'enduit intégré) et de laisser crue la terre restante (au volume le plus important). Mais pour être économique, la terre bicouche présente deux inconvénients rédhibitoires :

- un retrait différentiel entre la croûte surstabilisée et le substrat de terre crue, entraînant le décollement de la première,

- une lenteur prohibitive dans la fabrication des blocs.

De plus, vis à vis des usagers potentiels, on restait dans une logique «terre», donc sans casser l'atmosphère de scepticisme, voire de méfiance, qui entoure ce matériau. C'est pourquoi, la terre bicouche n'est guère sortie des laboratoires.

1/ CARACTERISTIQUES CONSTRUCTIVES GENERALES

1-1/ DEFINITION DE L'ADOBETON

La conception du procédé adobéton a découlé logiquement de cette double analyse «psycho-technique» et, bien entendu, de considérations de nature plus économique.

Techniquement, on peut considérer qu'il s'agit d'une rationalisation et d'une systématisation de l'approche bicouche :

- la croûte surstabilisée en surface se transforme en écailles de béton préfabriquées,

- le substrat en terre crue est constitué d'adobes traditionnelles, à ceci près qu'elles présentent en leur partie supérieure une empreinte qui permet la fixation des écailles.

Psychologiquement, le fait que la terre soit bardée d'écailles en béton, matériau réputé durable, est d'une remarquable efficacité. La réticence qui entoure le matériau terre disparaît, témoin cette réflexion entendue dans la bouche d'un simple manoeuvre sur le chantier prototype (dont on parlera plus loin) : «Tiens ! c'est une bonne idée de protéger la terre par du béton ; comme ça, maintenant, la terre, ça sera solide !».

L'adobéton est donc le fruit d'un mariage à trois : la terre, la paille et le béton ; il consiste en une maçonnerie mixte d'éléments porteurs (blocs d'adobe en terre-paille) et d'éléments de protection (écailles en béton) qui viennent barder extérieurement et protéger des intempéries les éléments porteurs. Leur mise en oeuvre est effectuée alternativement, lit après lit.

1.2/ UNE FAMILLE DE PROCÉDES DE CONSTRUCTION

Les éléments porteurs sont constitués de matériaux réputés érodables et les éléments de protection de matériaux réputés inaltérables.

En les faisant varier, on génère une famille de techniques dont l'adobéton n'est que la principale variante et dont les plus importantes figurent dans le tableau ci-après :

Matériau "érodable"	Terre et terre-paille	Plâtre naturel et béton de plâtre	Phosphoplâtre et béton de phosphoplâtre
» inaltérable			
Béton	Adobéton	Gypsobéton	Phosphobéton
Brique	Adobrique	Gypsobrique	Phosphobrique

1-3/ UNE SÉRIE DE PROBLÈMES ET DEUX GRANDS CHOIX TECHNIQUES

Bien entendu, cette séparation radicale des fonctions porteuses et de protection a induit toute une série de difficultés techniques qu'il a fallu surmonter une à une :

- comment fixer les écailles ?
- comment les dimensionner ?
- comment les fabriquer de façon économique et commode ?
- comment confectionner les adobes correspondantes ?
- comment répondre à ces deux dernières questions, non seulement en partie courante, mais encore dans toutes les configurations constructives imaginables (blocs fractionnaires; orientations et/ou emplacements singuliers : angles, refends, nervures, ouvertures, etc...)?
- comment mettre ensemble blocs et écailles en conciliant qualité et économie ?

L'intérêt de l'adobéton réside dans un choix judicieux des solutions à chacun de ces problèmes, et dans leur bonne combinaison.

Avant de rentrer dans le détail technique (voir section 2/), on doit mentionner que deux décisions importantes sont à la base du procédé adobéton :

- le choix de la confection des écailles de protection en béton par une pondeuse manuelle d'agglos équipée d'un moule approprié ; cet appareil est très connu au Maroc où il est produit à raison de plusieurs centaines d'unités chaque année,

- le choix de s'adapter, pour la fabrication des blocs d'adobe en terre-paille, aux pratiques traditionnelles, mais en les améliorant grâce à de nouveaux moules en bois faciles à réaliser par n'importe quel menuisier.

1-4/ LIMITES ET CONTRAINTES DE L'ADOBÉTON

Par rapport à d'autres techniques de construction en terre, l'adobéton présente quelques inconvénients et beaucoup d'avantages.

Le principal inconvénient est de limiter relative-

ment l'expression architecturale : l'adobéton convient d'autant mieux que les formes sont simples, rectilignes et les angles pas trop nombreux.

Un autre inconvénient est de nécessiter un apprentissage spécifique. Si la fabrication des éléments porteurs (blocs d'adobe) et de protection (écailles en béton) est assimilée en quelques minutes, leur mise en oeuvre commune dans une maçonnerie demande un certain doigté ; et ce n'est qu'après un mois environ d'expérience pratique qu'un maçon pourra être considéré comme maîtrisant bien la maçonnerie d'adobéton.

Heureusement au Maroc, sous l'impulsion de l'ERAC-Tensift, on est en train de mettre sur pied un «Institut terre» Sis à Marrakech, cet institut aura une activité centrée sur la formation et l'information ; et l'enseignement de la mise en oeuvre de l'adobéton devrait pouvoir y tenir une place de choix.

1-5/ AVANTAGES DE L'ADOBETON

Quant aux avantages du procédé, ils sont multiples.

Le moindre d'entre eux n'est certes pas sa **très bonne acceptabilité psychologique** par la population ; celle-ci a été appréciée lors de l'exécution d'une construction prototype près d'El Kalaa des Sraghna, aussi bien auprès d'une partie des autorités locales que des maçons et ouvriers qui ont travaillé sur le chantier ou auprès des gens du voisinage. Ainsi on a pu noter de la part d'ouvriers ou de maçons des réflexions du genre : «Maintenant, la construction en terre devient un art !» Et à la fin du chantier, les maçons ont demandé une photo les montrant au travail sur les murs et un certificat attestant de leur compétence en maçonnerie d'adobéton ! Reste à savoir si ces réactions très positives seraient représentatives du reste de la population marocaine. A ce jour, aucun indice n'invite à en douter.

Parmi les avantages techniques, outre la durabilité déjà évoquée, il convient de mentionner **l'étendue des terres utilisables et la faible sensibilité des constructions à leur nature**. Plus d'études délicates pour vérifier, par exemple, la compatibilité chimique de telle ou telle terre avec tel ou tel stabilisant. Il suffit seulement, par souci de prudence, d'éviter les terres contenant un fort taux d'argiles sensibles et ayant de ce fait un potentiel élevé de retrait-gonflement dans les variations de teneur en eau.

Autre avantage : **l'indépendance de la quantité de ciment employée par rapport à l'épaisseur des murs** (environ 15 kg/m² de façade). En effet, le ciment est totalement concentré dans les écailles en surface au lieu d'être dispersé dans tout le volume du mur comme dans le cas de la stabilisation. Il en résulte qu'un mur épais est d'un prix de revient très voisin de celui d'un mur plus mince ; par suite, on a intérêt à construire des structures épaisses compte tenu des nombreux avantages qui en résultent : faible élancement, meilleure stabilité, inutilité des raidisseurs verticaux et surtout, ce qui est fort appréciable dans les pays à climat chaud et à forts contrastes jour/nuit de température, une inertie thermique élevée procurant un excellent confort d'habitation.

Sur le plan socio-économique, enfin, les conséquences sont des plus heureuses. **Au niveau macro-économique**, on fait appel à des matériaux ou des outils exclusivement locaux à l'exception de l'énergie nécessaire à l'élaboration du ciment (employé comme on l'a vu dans des quantités très raisonnables) et les royalties des pondeuses d'agglos fabriquées sous licence. Il est à noter à ce sujet que les écailles d'adobéton et les outils permettant de les fabriquer sont couverts par un brevet marocain, lequel a été étendu à la France par la suite.

Au niveau micro-économique, la construction en régie de la maison cantonnière prototype a permis d'établir les prix de revient suivants :

- Adobe sans empreinte : 0,15 DH
 - Adobe avec empreinte : 0,25 DH
- } dont 90% de main d'oeuvre

(ces prix étant un peu élevés à cause de la concurrence de la moisson à l'époque du chantier).

- Ecaille en béton : 0,40 DH
- } dont 10 % de main d'oeuvre

- Pose d'un «couple adobe écaille» (avant invention du gabarit de pose des écailles : cf : 2.3.3) : 0,55 à 0,65 DH (suivant la vitesse et la hauteur de pose).

Ce prix intègre une part de main d'oeuvre d'environ 90% .

- Mètre carré de façade à 55-60 DH (35-40 FF), dont 60% servent à la rémunération directe de la main d'oeuvre locale.

Au total, il faut compter que le couple d'éléments en place dans le mur revient à 1,20-1,30 DH. A raison de 45 couples par mètre carré, on retrouve les valeurs données précédemment.

On aura noté la **part importance de la main d'oeuvre** dans la structure de ces prix de revient. La génération de nombreux emplois locaux, avec au passage une certaine élévation de leur qualification, est un des grands atouts de l'adobéon qui apparaît ainsi comme une technologie de construction appropriée à très fort potentiel de développement local.

Concernant la construction elle-même, les différents prix de revient sont donnés dans la troisième partie.

Enfin, il convient de souligner que, depuis la construction de ce prototype, de notables progrès ont été enregistrés dans la vitesse de mise en oeuvre de l'adobéon par l'invention et l'emploi d'un gabarit de pose des écailles. Cette vitesse a été augmentée de 50% (avec une qualité plutôt meilleure) et les prix de revient précédents devraient être revus aujourd'hui en fonction de cette nouvelle donnée.

2/ CARACTERISTIQUES TECHNIQUES PARTICULIERES

2-1/ ELEMENTS PORTEURS (adobes)

2-1-1/ Matériaux

En principe, toutes les terres employées pour confectionner des adobes conviennent pour l'adobéon. On rappelle que ce sont des terres fines dont le pourcentage d'argiles ($< 2\mu\text{m}$) est compris le plus souvent entre 15 et 30, voire 35%. La limite de liquidité oscille en général entre 30 et 50% et l'indice de plasticité entre 15 et 30%. Enfin, on manque encore de recul pour établir avec une assez bonne précision la plage de valeur de bleu ; il semble qu'au delà de 5, la terre devienne collante et difficile à travailler et qu'en-dessous de 1, elle manque un peu de cohésion.

Concernant la **paille**, le taux optimal empirique paraît être compris entre 1 et 1,2 % du poids de terre sèche. Un taux inférieur conduit à un renfort insuffisant et à des risques accrus de fissuration des adobes au séchage ; un taux supérieur entraîne un foisonnement préjudiciable à la qualité du mélange terre-paille.

La teneur en eau est en général comprise entre 20 et 30% ; au delà, le mélange est trop liquide et s'affaisse au démoulage ; en-deçà, le mélange est trop sec et difficile à travailler.

En ce qui concerne la maison cantonnière prototype en adobéon près d'El Kalaa des Sraghna, la teneur en eau était de 25% environ, le taux de paille de plus ou moins 1% et la terre avait pour principales caractéristiques :

- argiles ($< 2\mu\text{m}$) : a = 17% ;
- fines ($< 80\mu\text{m}$) : f = 81% ;
- D = 0,63 mm ;
- LR = 14,5 % ; LP = 16% ; LL = 32% ; IP = 16% ;
- VB = 2,27 ; d'où AB = 13,3 ;
- taux de matière organique : 1,2% .

2-1-2/ Malaxage

Le malaxage s'effectue de façon tout à fait traditionnelle ; on laisse d'abord la terre s'imbiber d'eau pendant quelques heures, puis on ajoute la paille, on piétine le mélange et on le retourne en général au moyen de crocs, fourches et autres outils agricoles jusqu'à une «homogénéité» convenable.

2-1-3/ Moulage

2-1-3-1/ Processus

Le moulage est effectué grâce à des moules en bois particuliers munis d'une **plaque de fond**. Après remplissage, poinçonnement pour tasser le mélange et arasement, le moule est retourné au moyen des deux poignées latérales et repose sur ses quatre «têtes», c'est à dire sur les excroissances taillées aux deux extrémités de chacune des grandes parois du moule.

L'ouvrier a alors les deux mains libres pour appuyer sur la plaque de fond et démouler l'adobe. La séparation de la plaque de fond d'avec l'adobe sans décollement, arrachement ou déformation se fait tout simplement par l'interposition préalable d'un plastique fixé par punaisage ou par collage à la plaque de fond (et à ses deux extrémités seulement).

Ce type de moulage est 30% plus lent environ qu'avec les moules traditionnels. Il est justifié par le fait qu'il autorise un démoulage avec un matériau plus sec puisque l'ouvrier peut appuyer sur la plaque de fond.

Mais surtout, il est possible de fixer sur la plaque de fond des pièces en bois qui permettront la fabrication d'adobes avec les empreintes que nécessite l'accrochage des écailles d'adobéton.

Que l'adobe soit carrée de côté (nominal) $a = 30$ cm, ou rectangulaire de longueur et largeur (nominales) $l = 40$ cm et $b = 20$ cm, on peut réaliser toutes les empreintes que peuvent requérir les adobes, quels soient leur emplacement et leur orientation dans la construction, par combinaison d'un nombre réduit de pièces de base.

2-1-3-2/ Adobes carrées

On a besoin d'un moule unité d'un demi-moule. Si on appelle :

- A** : le côté de la plaque de fond,
- r** : le retrait mesuré de la terre avec la teneur en eau et le taux de paille du chantier,
- i** : l'épaisseur moyenne de l'interstice entre la plaque de fond et le moule (on prend en général $i = 1,5$ mm) et
- j** : l'épaisseur moyenne du joint vertical dans la construction (on recommande $j = 2,5$ cm pour les adobes).

$$\text{Alors on a : } A = (a - j) (1 + r) - 2i$$

$$\text{et } A' = A - a/2 (1 + r) = (a/2 - j) (1 + r) 2i$$

Et les pièces d'empreinte à réaliser seront les suivantes :

- Pièce droite : longueur A,
- Pièces taillées en biseau à 45° à l'une de leurs extrémités:

Longueur A (taille à gauche),
 Longueur A (taille à droite),
 Longueur A' (taille à gauche),
 Longueur A' (taille à droite).

- Pièce taillée en biseau à 45° à ses deux extrémités :

Longueur A

Il est clair que toutes ces pièces ne sont pas également utiles ; la plus employée, et de loin, est la

première puisqu'elle sert à la fabrication des adobes en zone courante des constructions.

2-1-3-3/ Adobes rectangulaires

On a besoin d'un moule unité et d'un moule «3/4» avec les mêmes notations que précédemment, mais avec une longueur et une largeur de plaque de fond s'appelant cette fois L et B, on a :

- L (unité) = $(l - j) (l + r) - 2i$
 - B (unité) = $(b - j) (l + r) - 2i$
 - L (3/4) = $(3/2 b - j) (l + r) - 2i$
 - B (3/4) = B (unité)
- (On rappelle que $l = 2b = 40$ cm)

Les pièces d'empreinte à réaliser seront les suivantes :

- pièces droites : longueur B (2 exemplaires),
 longueur $b (l + r)$ (2 exemplaires),
- pièces taillées en biseau à 45° à l'une de leurs extrémités :

longueur B (taille à gauche),
 longueur B (taille à droite),
 longueur $b (l + r)$ (taille à gauche),
 longueur $b (l + r)$ (taille à droite).

Il est clair que les pièces les plus employées seront les quatre premières puisqu'elles servent à la fabrication des adobes en zone courante (posées en boutisse comme en panerresse).

2-1-4/ Produits

On profite de l'invention de l'adobéton pour essayer de **standardiser les dimensions des adobes rectangulaires**

On suggère de retenir le format rectangulaire 40 x 20 cm

- Le format rectangulaire 40 x 20 cm.

- Le format carré 30 x 30 cm.

Dans les deux cas, la hauteur du bloc est 10 cm (en fait à cause de l'affaissement consécutif au démoulage, elle est plutôt de l'ordre de 9 ou 9,5 cm). En tenant compte de l'épaisseur du joint horizontal, les lits

d'adobéton ont donc une épaisseur de 11 cm.

Il est envisagé, dans la **variante adobrique**, d'employer une deuxième épaisseur de 15 cm. Les adobes qui en résulteraient seraient plus lourdes, mais permettraient une mise en oeuvre plus rapide.

Après confection, les adobes sèchent pendant quelques jours (quatre suffisent en été dans la région de Marrakoch) ; la première journée, elles reposent sur leur base et les jours suivantes sur leur côté après qu'on les a basculées.

Le stockage se fait en tas correspondant chacun à une date de fabrication et à une catégorie d'empreinte.

2-2/ ELEMENTS DE PROTECTION (écailles)

2-2-1/ Matériau

Les écailles sont en béton bien dosé (350 kg/m³). Les granulats utilisés seront avantageusement un tout-venant 0/8 mm bien gradué. La quantité d'eau à ajouter au mélange sec granulats-ciment est à apprécier en fonction de la mise en oeuvre qui exige une ouvrabilité bien ajustée : ni trop sèche (ce qui rendrait le démoulage difficile et conduirait à un matériau qui s'effriterait), ni trop humide (ce qui occasionnerait des affaissements non-admissibles au démoulage).

2-2-2/ Malaxage

L'idéal est bien entendu de disposer d'un malaxeur à béton ; mais un mélange traditionnel à la pelle est possible s'il est bien conduit, c'est à dire avec une bonne homogénéité de couleur ciment-granulats dans un premier temps, puis une bonne homogénéité d'humidité dans un second temps.

2-2-3/ Ponte

La ponte des écailles se fait au moyen d'une **pondeuse classique** de produits en ciment (parpaings, hourdis, etc...), mais munie d'un moule et d'un contre-moule-spéciaux.

Le moteur pour la vibration peut être alimenté par essence ou électriquement. En principe, le moteur à essence procure une meilleure autonomie et permet une ponte sur chantier ; mais il se dérègle plus facilement et l'association d'un petit groupe électrogène avec un

moteur électrique paraît représenter aujourd'hui la meilleure solution.

La zone de ponte doit impérativement être plane et unie. En cas de ponte sur chantier, le passage préalable d'une niveleuse est très efficace et utile.

2-2-4/ Produits

A chaque ponte, 28 écailles sont produites. Avec un cycle de deux ou trois minutes, on peut donc atteindre des productions journalières très significatives.

Le produit de la ponte se présente comme 14 «W» imbriqués les uns dans les autres. Ces «W» sont cassés en leur milieu en deux «L», chacun d'eux représentant une écaille en coupe.

Cette séparation s'effectue facilement par flexion d'un simple mouvement des mains au moment de la pose ; quant à l'aspect irrégulier de la cassure, il ne présente aucun inconvénient étant donné que les parties correspondantes sont noyées et donc invisibles dans la maçonnerie.

Les écailles n'ont pas une forme parfaitement prismatique. En effet, leur bon démoulage impose l'existence d'un léger fruit, mais celui-ci est suffisamment petit (3 à 4 mm maximum sur 22 cm) pour ne gêner leur mise en oeuvre ainsi qu'on le verra (ce petit inconvénient devrait disparaître avec les écailles en terre cuite qui sont projetées).

La masse des écailles d'adobéton est d'environ 1,8 kg ; la compacité du béton est telle que leur densité avoisine 1,7 et leur volume excède légèrement le litre.

Il faut veiller à la bonne cure des écailles. C'est pourquoi chaque ponte sera recouverte d'un simple plastique. Ce dernier se dégradant sous le rayonnement solaire, on aura intérêt chaque fois qu'on le pourra à effectuer cette ponte à l'ombre, du moins si l'on tient à réutiliser plusieurs fois ces plastiques. En général, une cure de 4 jours est suffisante.

2-3/ Mise en oeuvre

2-3-1/ Préparation du travail

La mise en oeuvre de l'adobéton nécessite la préparation des 4 composants suivants :

- les adobes,
- les écailles,
- le mortier pour les joints horizontaux et verticaux entre les adobes ainsi que pour les joints de collage entre ces adobes et les écailles,
- le mortier de rejointoiement des écailles.

Le premier mortier pour les joints horizontaux, verticaux et de collage a la même composition que les adobes : terre, paille et eau ; et les teneurs sont les mêmes à peu de choses près. En fait, pour des raisons de facilité de mise en oeuvre, on met un peu moins de paille et on ajoute d'autant plus souvent de l'eau au mélange que la chaleur et l'évaporation sont fortes.

Enfin le second mortier, pour fermer les joints verticaux entre écailles, ne nécessite que des quantités «homéopathiques» d'un mortier de ciment classique.

La préparation de la mise en oeuvre demande donc, outre l'amenée à pied d'oeuvre des adobes et des écailles, la fourniture dans deux récipients de tailles très différentes des deux mortiers décrits ci-avant.

2-3-2/ Pose des adobes

On commence par réaliser le joint horizontal sur toute la longueur à construire. Ensuite, on met en place les adobes d'extrémité ; à partir de celles-ci, on tend deux ficelles horizontales au niveau de la partie extérieure verticale sous l'empreinte d'une part, et du coin arrière supérieur d'autre part. La première ficelle permet l'alignement avant des adobes et donc du futur mur, la seconde, l'horizontalité du lit de ces adobes.

Celles-ci sont disposées les unes à côté des autres entre les éléments d'extrémité, en respectant la trame de 20 (ou 30 ou 40) cm, mais sans exécuter pour l'instant les joints verticaux.

Ceux-ci sont exécutés par la suite de la façon suivante :

- on dépose un cordon de mortier en terre paille au-dessus des interstices séparant les adobes (par exemple une dizaine de cordons),

- on fait pénétrer ces cordons de mortier dans les interstices. Pour ce faire, une simple plaque métallique de format 200 x 150 x 1 mm ou même 400 x 150 x 1 mm sera plus efficace que la simple truelle du maçon,

- on tasse le joint, racle le reste du cordon demeuré sur les empreintes des adobes et on recommence l'opération.

Si nécessaire, on rajoutera de l'eau (mortier trop sec) et/ou l'on rajoutera du mortier (cordon insuffisamment fourni). Mais on a toujours intérêt à avoir des cordons surabondants car le mortier excédentaire servira pour le joint horizontal suivant.

La vitesse de pose des adobes (y compris joints horizontaux et verticaux) en suivant la procédure précédente est assez rapide : environ une minute par élément porteur.

2-3-3/ pose des écailles

Leur pose commence également par une extrémité, qui est en général un coin. Le premier élément de protection doit être taillé en biseau (le plus souvent à 45°) sur toute la longueur de sa partie horizontale. Pour ce faire, on emploie un marteau arrache-clou, seul ou de préférence en association avec des tenailles dont l'ouverture des mâchoires est supérieure ou égale à 3 cm.

L'intérieur de l'écaille est chargé par une bonne «tartine» de mortier de collage (en terre-paille assez liquide) et l'écaille avec son mortier de collage est plaquée suivant une oblique plongeante à 45° sur l'empreinte de l'adobe. En faisant bouger l'écaille, on fait fluer le joint de collage jusqu'à ce que le parement extérieur de l'écaille soit vertical et que l'interstice le séparant de l'écaille du lit inférieur soit de l'ordre de quelques millimètres. Le bon positionnement de l'écaille est fait en compagnie de quelques autres (une demi-douzaine) au moyen d'un gabarit de pose qui garantit la verticalité du parement, l'alignement et le non-basculement des écailles.

Il n'est pas nécessaire de faire coïncider entre eux les joints entre écailles avec ceux entre adobes. Par contre, il faut veiller au harpage des joints verticaux entre écailles à l'instar de ce que l'on fait pour les adobes, ceci pour des raisons principalement esthétiques. Il faut veiller également à fermer ces joints.

Pour ce faire, avant la pose d'une écaille, on enduit d'un peu de mortier de ciment avec l'extrémité de la truelle la partie verticale de l'écaille adjacente. Elle est plaquée contre cette dernière (recouverte de son mortier de jointolement) par translation latérale au moyen de petits chocs donnés par le talon de la truelle.

Si l'on n'emploie pas le gabarit de pose et si l'on veut que celle-ci soit soignée, la vitesse de pose des écailles est environ deux fois plus lente que celle des adobes. Avec le gabarit, cette vitesse est augmentée de 50% et se rapproche de celle des adobes.

Avec un gabarit de pose, un maalem aidé d'un ouvrier posera en une journée entre 200 et 250 couples d'éléments (adobe + écailles), soit environ 5m². C'est donc une cadence du même ordre de grandeur que pour les maçonneries de blocs de terre compressée.

2-4/ ACCOMPAGNEMENT CONSTRUCTIF DE L'ADOBETON

A ce jour, les seules constructions en adobéton sont :

- la maison cantonnière prototype près d'EL kalaa des Sgharna (102 m²),
- deux cellules prototypes (ou l'on a pu, entre autres, vérifier l'efficacité du gabarit de pose des écailles) à l'annexe du L.P.E.E à CASABLANCA.

~~POUR INTERESSANTES ET INSTRUCTIVES QU'ELLES SOIENT,~~
ces constructions n'en demeurent pas moins des expériences. Afin qu'elles puissent se répandre, il faut régler trois problèmes :

- la formation à la mise en oeuvre de l'adobéton,
- la mise en place d'un cadre pour le contrôle technique des opérations en adobéton,
- l'établissement de documents constructuels-types.

En principe, la question de la **formation** devrait trouver une solution avec la mise en place de l'institut terre par l'Erac-Tensift. Son ouverture est prévue pour Octobre 1991. D'ici là, les maçons devront apprendre «sur le tas» avec les aléas que cela peut comporter.

En conséquence, l'exécution de bâtiments en adobéton dans le secteur organisé de la construction. C'est à dire par des entreprises, paraît difficile avant

cette date ; à moins d'initiatives spontanées d'entrepreneurs souhaitant devancer le mouvement en formant une partie de leur personnel à cette technique spécifique directement auprès du L.P.E.E.

En ce qui concerne l'**accompagnement technique** des opérations en adobéton, le L.P.E.E s'est doté d'une méthodologie interne visant à minimiser le nombre d'essais de reconnaissance, d'identification et de convenance, et à standardiser les deux principaux essais utiles à l'adobéton : le retrait et la résistance en compression (cf communication sur la mécanique des terres).

Il est à noter que l'aptitude à l'emploi des terres est, avec l'adobéton, nettement plus grande qu'avec d'autres procédés de construction. Par suite, l'intervention du L.P.E.E pour la qualification de la terre sera plus légère pour le client, et ce aussi bien avant le chantier que pendant celui-ci (opérations de contrôle).

Enfin, l'établissement des **documents contractuels types est en cours**. Le cadre du bordereau des prix et du détail estimatif est terminé. Le cahier des prescriptions techniques est entamé et, s'il n'y avait eu la préparation de ce séminaire, il aurait déjà été achevé lui aussi : Ce sera chose faite pour la fin Juillet 1990.

3/ QUELQUES DONNEES SUR LA MAISON CANTONNIERE EN ADOBETON

3-1/ DONNEES CONSTRUCTIVES

Le prototype en adobéton est situé en pleine campagne, mais le long d'une route importante (Ben Guerir-EL Kalaa des Sraghna). Il sert aujourd'hui de maison cantonnière pour la délégation provinciale des Travaux Publics. Il a été construit en Juin, Juillet et Août 1990.

Sa superficie hors oeuvre est de 102 m². Ses **fondations** sont classiques : il s'agit d'une maçonnerie de moellons bloqués avec du gros béton. Le soubassement est couronné par un chaînage inférieur en béton armé (de section 40 x 10 cm). Il est recouvert d'un simple plastique faisant office d'arase étanche.

Les **structures verticales** (murs et cloisons) sont en adobe pour les parties intérieures et en adobéton

pour les parties extérieures. La terre provient du site même, la paille du fermier voisin et l'eau de la citerne de la DPTP, un puits d'eau saumâtre à faible débit permettant d'assurer la soudure en cas de défaut d'approvisionnement par la DPTP.

La toiture est traditionnelle. Les poutres sont des poteaux en bois d'Eucalyptus provenant du souk de Ben Guérir et traitées avant pose ; elles sont couvertes successivement par :

- des roseaux,
- un lit de paille,
- une couche de forme en terre-paille d'épaisseur importante et variable (15 à 25 cm) à double pente latérale de 5% environ et à la surface supérieure bien lissée,
- une étanchéité par film plastique (de même nature que celui de l'arase étanche),
- une couche de terre de 10 cm environ fortement stabilisée à la chaux pour protéger les plastiques d'étanchéité du rayonnement solaire et du vent.

Les enduits intérieurs sont constitués d'une double couche : un enduit de dressage en terre appliqué assez liquide ; son fort retrait au séchage provoque une importante fissuration qui favorise l'accrochage de l'enduit de finition au plâtre.

Les menuiseries (portes et fenêtres) sont en sapin rouge sauf la porte d'entrée qui est en cèdre, petite «folie» autorisée par les économies que le procédé adobéton a procurées par ailleurs.

L'électricité et la plomberie-sanitaire sont absentes en raison de l'inexistence de réseaux d'eau et d'électricité dans le secteur.

Pendant le chantier, nombreuses étaient les voitures qui ralentissaient ou même s'arrêtaient ; certains prenaient des photos ; d'autres demandaient à emprunter les moules d'adobe et à louer la pondeuse munie de son moule spécial ou encore à acheter des écailles.

Un maçon originaire d'un douar voisin s'est déclaré très content du chantier : travaillant d'habitude à Casablanca, il a pu passer l'été chez lui pour la première fois depuis de nombreuses années. Heureux présage d'un frein possible à l'exode rurale par la création d'emplois locaux ?

Aujourd'hui, on entre dans une phase de consolidation technique : Un suivi du prototype est en cours, notamment sur le plan **hygrothermique** avec l'appui du CSTB. On a aussi une autition technique : Un suivi du prototype est en cours, notamment sur le plan **hygrothermique** avec l'appui du CSTB. On a aussi procédé à des **essais de chargement** de la terrasse (qui n'est pas accessible). Quant à l'**étanchéité**, elle donne de bons résultats puisqu'aucune pathologie n'a été décelée après un hiver.

3-2/ DONNEES ECONOMIQUES

Le prototype est revenu à 53.100 DH soit 520 DH/m² (prix du mètre carré hors oeuvre).

Ce montant n'est pas un prix d'entreprise, mais un **prix de régie**. Par contre, il intègre les surcoûts expérimentaux (liés à la formation «sur le tas» des maçons et à tous les tâtonnements, reprises, etc... qui en ont résulté, surtout au début de l'érection des murs). En outre, les maçons étaient payés à la journée et non, comme il est de coutume, à la tâche afin de garantir un certain niveau de qualité pour ce prototype qui a une importante fonction de vitrine technologique.

Ce montant se décompose comme suit :

GROS OEUVRE

- fondations (y compris soubassements et hérissonnage de la dalle de sol) : 7.700 DH	dont main d'oeuvre	1.900 DH (soit 25%)
- murs et cloisons (y compris chaînages et linteaux) : 16.400 DH	dont main d'oeuvre	9.100 DH (soit 56%)
- couverture : 7.900 DH	dont main d'oeuvre	4.100 DH (soit 52%)
- Total gros oeuvre 32.000 DH	dont main d'oeuvre	15.100 DH (soit 47%)

SECOND OEUVRE

- menuiserie (portes et fenêtres) : 9.300 DH	dont main d'oeuvre (fabrication et pose):	2.800 DH (soit 30%)
- finitions intérieures (chape ciment + enduit plâtre) :7.400 DH	dont main d'oeuvre	5.500 DH (soit 74%)
- finitions extérieures (trottoir, peintures, etc...) :4.400 DH	dont main d'oeuvre	2.600 DH (soit 59%)
Total second oeuvre : 21 100 DH	dont main d'oeuvre	10 900 DH (soit 52%)
Total général : 53.100 DH	dont main d'oeuvre	26.000 DH (soit 49%)

Dans ce montant, la part de la main d'oeuvre est pratiquement de la moitié. L'importante retombée financière apportée par la construction dans le voisinage explique en grande partie son succès populaire.

A la limite, une telle construction peut être envisagée en autoconstruction intégrale ; vu la part de main d'oeuvre dans son coût, on peut espérer une dépense de 27.000 DH seulement, ce qui correspond à un coût du mètre carré hors oeuvre de 265 DH ou encore, avec 1 DH = 0,65 FF, de 172 FF/m²!

4/ PERSPECTIVES ET CONCLUSION

L'adobéton est une technologie naissante. A ce titre, on peut supposer qu'elle a encore une grande marge d'évolution devant elle. Ainsi, la simple invention d'un gabarit de pose des écaïlles a permis d'augmenter fortement la vitesse de mise en oeuvre.

De même, l'étude en cours d'écaïlles en terre cuite devrait aboutir à un produit, l'adobrique, qui semble à priori encore plus intéresser les architectes que l'adobéton.

4-1/ FAISABILITE DU GYPSOBETON

Il est une autre voie que le CRR a commencé à explorer : Le gypsobéton. En effet, les constructions en plâtre ont un peu les mêmes problèmes que celles en terre, notamment leur grande sensibilité à l'eau.

Dès lors, ne pourrait-on pas réaliser des blocs porteurs en plâtre ou béton de plâtre ayant une empreinte en leur partie supérieure où l'on pourrait, à l'instar des blocs de terre-paille, fixer les mêmes écaïlles en béton ?

Les premières expériences menées conduisent à répondre affirmativement à cette question. Ci-après, on va résumer les indications figurant dans une communication qui devait être présentée en Décembre 1989 à Ghardaïa (Algérie) au Séminaire organisé par le CNERIB et intitulé «Pour une construction en plâtre».

4-1-1/ Matériaux

Les matériaux employés pour la réalisation du muret expérimental en gypsobéton étaient :

- Un plâtre semi-industriel vendu en sacs de 40 kg et coûtant en principe 15 DH, mais en fait sur le marché 25 D.!
- Un tout-venant 0-6.
- De l'eau.

On a fabriqué des blocs en plâtre pur (pourcentage d'eau E/P = 45%), et en béton de plâtre (G = 2P, E/P = 67%, E/(G + P) = 22%).

4-1-2/ Outillage

On a employé un moule d'adobéton carré de petit format (20 x 20 cm), avec pièce d'empreinte en bois et

plastique de démoulage, exactement comme pour les blocs en terre-paille.

Le matériel de préparation du mélange consistait en :

- Un bac métallique de maçon (60 x 45 x 10 cm environ),
- Un récipient cylindrique avec double repère pour le dosage du plâtre et des granulats nécessaires à la confection d'un bloc.
- Un bidon d'eau translucide avec repère pour en ajouter la bonne quantité.
- Le petit matériel de nettoyage.

4-1-3 Mélange et moulage

Dans le bac légèrement incliné par une cale, on homogénéise manuellement le mélange plâtre-granulats, puis ce mélange avec l'eau.

Le moule d'adobéton est immédiatement rempli et arasé, le temps de procéder à un nettoyage sommaire du bac, on peut démouler et l'on obtient un bloc avec empreinte à la finition bien meilleure que celle des blocs équivalents en terre-paille.

4-1-4/ Blocs produits

Leur volume était de 3,75 litres et leur masse de :

- 5,4 kg (d = 1,44) pour les blocs de plâtre pur,
- 7,1 kg (d = 1,89) pour les blocs en béton de plâtre.

Des essais d'écrasement réalisés à 7 jours ont donné des résistances de 10 MPa pour les premiers blocs et de 2,4 MPa pour les seconds.

4-1-5/ Coûts

Le prix de revient des blocs précédents en béton de plâtre se décompose comme suit :

- Matériaux : 1,07 DH (dont 0,97 DH pour le plâtre),
- Main d'oeuvre : 0,21 DH,
- Amortissement du matériel : 0,04 DH.

Soit au total 1,32 DH.

Ce coût est élevé et provient principalement du

plâtre qui est un liant chimique évidemment plus onéreux que le liant naturel de la terre : L'argile.

4-1-6/ Muret en gypsobéton

Avec une centaine de blocs avec empreinte, en plâtre ou béton de plâtre, on a exécuté un petit muret d'environ 2,5 m² de surface au banc de gros oeuvre du CRR à l'annexe du L.P.E.E.

La principale difficulté pour la mise en oeuvre est venue de la prise très rapide du plâtre employé dans les joints (verticaux, horizontaux et de collage), s'il n'est pas retardé un adjuvant adéquat.

Par ailleurs, pour éviter la formation de germes communs de cristallisation entre le ciment du mortier rejointoyant les écailles d'une part, et le plâtre du joint de collage écaille-bloc d'autre part, on a inventé un système de fermeture après coup des joints entre écailles, c'est à dire après achèvement du mur. C'est un simple outil de cuisine dans lequel on remplace la crème à déposer sur les gâteaux par un coulis de ciment à déposer sur le joint :

Ce muret en gypsobéton est exposé à l'ouest et il a passé son premier hiver (moyennement pluvieux, il est vrai) sans qu'aucune pathologie particulière ait été remarquée.

4-2/ PERSPECTIVES : DU GYPSOBETON AU PHOSPHOBETON

On a indiqué plus haut que le gypsobéton risquait fort de ne pas être économiquement compétitif, notamment à côté de l'adobéton, en raison du coût élevé du liant.

Or ce liant n'a pas besoin d'être de haute qualité puisqu'il est destiné à constituer un matériau invisible dans une maçonnerie plus ou moins massive, et non à servir d'enduit intérieur ou de décoration (struc, etc...).

C'est pourquoi, il serait fort intéressant d'étudier une possibilité d'emploi du plâtre chimique. C'est à dire tiré du **phosphogypse**. On sait que ce qui pénalise l'utilisation d'un tel matériau est le coût élevé des opérations d'épuration ; dès lors que celles-ci ne sont plus requises, ou seraient réduites à un strict minimum, ne pourrait-on pas cette fois obtenir un prix de revient

économiquement viable pour ce gypsobéton particulier ? (On propose dans ce cas de l'appeler phosphobéton).

Nul doute que les grands « producteurs » de phosphogypse, au Maroc, au Sénégal ou ailleurs, ne soient intéressés par une telle possibilité de valorisation d'un déchet bien encombrant. Mais bien sûr, il reste à vérifier la fiabilité technique du phosphobéton et à étudier avec soin son intérêt économique.

4-3/ CONCLUSION

L'**adobéton** est donc une véritable innovation dont tous les développements potentiels sont loin d'être explorés.

Ce procédé de construction est surtout intéressant dans la mesure où il n'est pas en rupture avec la technique universellement connue et utilisée de l'adobe ; mais, il la modernise en levant l'obstacle psychologique que représente pour beaucoup le matériau **terre** la « magie » d'un matériau complémentaire : Le **béton** (et peut être bientôt la terre cuite).

La contrepartie de cette évolution est une **mise en oeuvre** plus complexe qui demande des maçons plus qualifiés et qu'il faudra donc payer un peu plus cher. Cela est **souhaitable** car cela contribue à revaloriser les métiers du bâtiment, à commencer par le premier d'entre eux : Celui de maçon. Mais **sur le plan constructif**, la hauteur des bâtisses est pratiquement limitée au rez de chaussée, ou à la rigueur au R + 1.

Sur le plan **micro-économique**, la légère augmentation du coût à l'investissement est largement compensée par les économies à attendre sur l'entretien. Et de toute façon, le coût reste très raisonnable : La quantité de ciment employé (15 kg/m²) correspond, pour un mur de 40 cm d'épaisseur, à un taux de stabilisation de seulement 2% .

Sur le plan **macro-économique**, paradoxalement, aussi bien l'Etat que les cimentiers devraient y trouver leur compte. En effet, pour le premier, c'est une technique qui, dans le relatif, économise du ciment et donc l'énergie pour fabriquer ce dernier : Pour les seconds, c'est une technique qui, dans l'absolu, ouvre de nouveaux marchés dans les constructions rurales ou le ciment n'était présent jusqu'ici que de façon assez marginale.

On vient d'employer le mot « rural », et c'est à

dessein pour souligner que l'adobéton n'est pas une panacée qui va régler tous les problèmes constructifs. En effet, l'emploi massif de la terre avec ses fortes surfaces de murs suppose un coût du foncier relativement réduit : C'est pourquoi, l'adobéton ne pourra pas percer au delà des zones périurbaines de faible densité.

Enfin, indépendamment de l'aspect rural-urbain, on voudrait rappeler que l'adobéton est d'autant plus intéressant à employer que l'on se trouve dans une région :

- Où la terre s'y prête (terres fines),

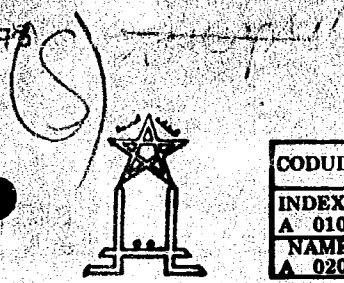
- Où le climat est pluvieux,

- Où la main d'oeuvre disponible est nombreuse et relativement bon marché.

Au Maroc, la région a priori la mieux appropriée est le Gharb. A l'échelle de l'Afrique, ce serait le delta du Niger (au Nigéria). A l'échelle de la terre, ce seraient certaines régions d'Asie : Delta du Gange (Inde, Bangla Desh), du Mékong (Viet Nam) et bien sûr en Chine.

Si l'adobéton peut, si peu que ce soit, contribuer à donner du travail et un habitat de meilleure qualité en campagne et, ce faisant, à freiner l'exode rural, on pourra dire qu'il n'a pas été inventé en vain.

89678



BORDEREAU DE SAISIE

C.N.D

MAROC

ISN	
NONAT A 110	
NAC A 090	92-0201
CODBI A 121	
COTRA A 122	

TYPREL A 141	T	G	S	R
NOAP A 142				
NACAP A 143				

CODUD	
INDEX A 010	PUBLI
NAME A 020	

ST/UT A 150	C	D	PAYS PROD. A 160	MA	TYPE BIBL. A 171	J
----------------	---	---	------------------------	----	------------------------	---

NIVUD A 131	A	M	C	NIVSO A 132	M	C	S
----------------	---	---	---	----------------	---	---	---

INDICATEURS BIBLIOGRA- PHIQUES	REUNION	DICIONNAIRE	DONNEES NUMERIQUES	THESE	TEXTE LEGISLATIF	BIBLIOGRAPHIE	CARTES (INCLUDES)	RESUME	NON CONVEN- TIONNEL	
A 172	K	L	N	U	W	Z	Y	E	V	R

UNITE DOCUMENTAIRE (A/M/C)	A 120 AUTEUR ET AFFIL	MARTIN, M. ; YAMANI, N. / Laboratoire Public d'Essais et d'etudes / Casablanca / MA.
	A 220 COLLEC- TIVITE AUTEUR	
	A 230 TITRE UD	Une nouvelle technologie : l'adobeton
	A 240 A 250	TITRES TRADUITS Utiliser le bordereau 2 : données complémentaires

SOURCE : DOCUMENT GNERIQUE (M/C/S/)	A 310 AUTEUR		
	A 320 COLLEC- TIVITE AUTEUR		
	A 330 TITRE DOCUM GENER		
	A 340	TITRE GNERIQUE . . . utiliser le bordereau 2 : données complémentaires	
	A 410 TITRE PUBLIC EN SERIE	Revue Marocaine du Genie Civil,	
A 420 VOLNUM	no. special	A 430 ISSN	0254-1646

NOTES D'INDEXATION

DATIN D 100	
DATSA D 110	
DATMI D 120	

Empty box for indexing notes.

FIN

النهاية

18

مشاهد

VUES