



VALORISATION DE LA VASE DES BARRAGES QUELQUES EXEMPLES ALGERIENS

B. REMINI

Professeur – Département de Génie Rural- Université Saad Dahlab de Blida
BP 270 route de Soumaa Blida Algérie
Chercheur au laboratoire LARHYSS, Biskra, Algérie
E-mail : reminib@yahoo.fr

INTRODUCTION

Le dragage est une technique de dévasement sûre, mais selon certains auteurs, la récupération d'une capacité de stockage est une opération très coûteuse et n'est pas économique pour les grandes retenues. Dans certains pays, cette opération s'impose surtout lorsqu'il y a moins de sites favorables à la réalisation de nouveaux barrages, ou lorsque la digue est menacée par la forte poussée des sédiments. Le lieu du rejet de la vase draguée se pose à chaque opération de dévasement. Généralement, les sédiments dragués sont jetés directement dans le cours d'eau à l'aval du barrage ou transportés jusqu'à la zone de dépôt la plus proche sans tenir compte des problèmes d'ordre esthétiques ou autres qui ont un impact écologique. Le rejet à l'aval du barrage peut augmenter la concentration en particules fines dans le cours d'eau pouvant être préjudiciables à la flore et à la faune. Des agriculteurs utilisateurs d'eau à l'aval risquent de se plaindre de la forte turbidité. Ce cas a été constaté lors du début des opérations de dragage du barrage de Zardezas en 1993 (Remini, 1997) et une solution au devenir de ces rejets s'impose. La valorisation de ces boues dans plusieurs domaines (agricole, industriel et artisanal) peut servir de remède à ce problème. Déjà, les Chinois ont créé des terres agricoles de valeur à l'extérieur des digues latérales des rivières en utilisant les matériaux dragués. Aux Etats Unis, des projets d'endiguement du mélange d'eau et d'alluvions provenant des opérations de dragage ont été mis au point (CIGB, 1989). Dans le domaine de la construction, l'Algérie connaît un déficit en matériaux qui s'élevait en 1990 à 30% pour les granulats, à 43% pour le ciment et à 52% pour la brique et la tuile. L'exploitation de la vase pour la fabrication des matériaux de construction peut être donc s'avérer utile (Kenai et Remini, 1999). Cette étude s'est orientée vers l'utilisation de la vase pour la fabrication de la brique. Des échantillons de vase prélevés au niveau des vannes de fond de onze barrages les plus envasés en Algérie ont fait l'objet de cette étude.

ESSAIS ET METHODES

Les analyses physiques, chimiques et minéralogiques ont été réalisées sur des échantillons de vase prélevée au niveau de la conduite de vidange de 11 barrages répartis sur les cinq bassins hydrographiques de l'Algérie (figure 1). Le choix de ces barrages est justifié par leurs états d'envasement très avancé, et c'est ainsi que leur dévasement est devenu aujourd'hui une opération urgente. La majorité de ces barrages sont programmés par l'Agence Nationale des barrages pour le dévasement à court terme, c'est le cas des barrages de Fergoug (ouest algérien) et Foug El Gherza (sud-est algérien) pour lequel le dévasement a débuté en 2005.

Durant nos essais, les analyses granulométriques ont été réalisés par la méthodes de sédimentation « pipette de Robinson » qui est basée sur la quantité de particules dispersées d'un échantillon par ordre de grosseur d'après leur temps de sédimentation dans un milieu liquide. Les analyses chimiques et minéralogiques ont été réalisées respectivement par fluorescence et infrarouge et par la diffraction aux rayons « X ».

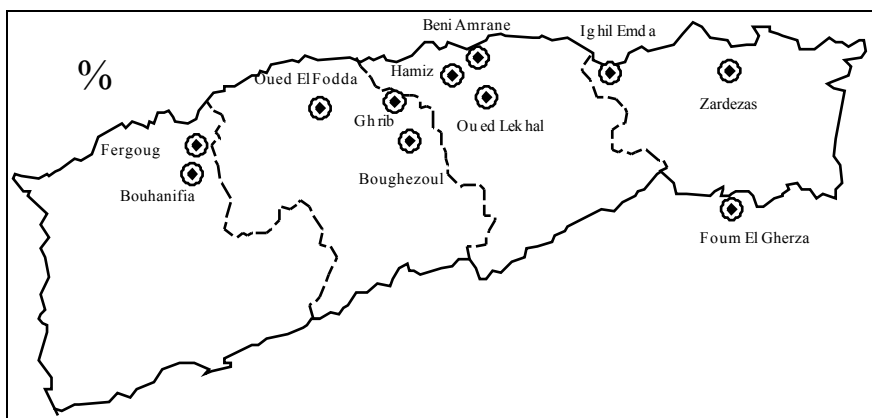


Figure 1 : Barrages étudiés

La préparation des échantillons de briques pleines a été réalisée dans plusieurs laboratoires de briqueteries d'Alger. Le processus de la fabrication peut être schématisé selon la figure 2. Au début, les deux matières (vase et argile) ont été traitées séparément (séchage à l'air libre, broyage dans un broyeur à bille, puis tamisage au moyen d'un tamis de 1mm). Après ce traitement, nous avons préparé des pâtes céramiques plastiques qui ne collent pas à la main. Chaque pâte préparée est soumise au façonnage dans une étireuse (façonnage par étirage). Les échantillons de briques semi-finis sont soumis à deux modes de séchage successifs (séchage naturel puis séchage dans l'étuve à 105 -110°C). Les briques sèches sorties de l'étuve ont été cuites dans un four tunnel à une température de cuisson de 900°C pendant 32 heures et 30 minutes.

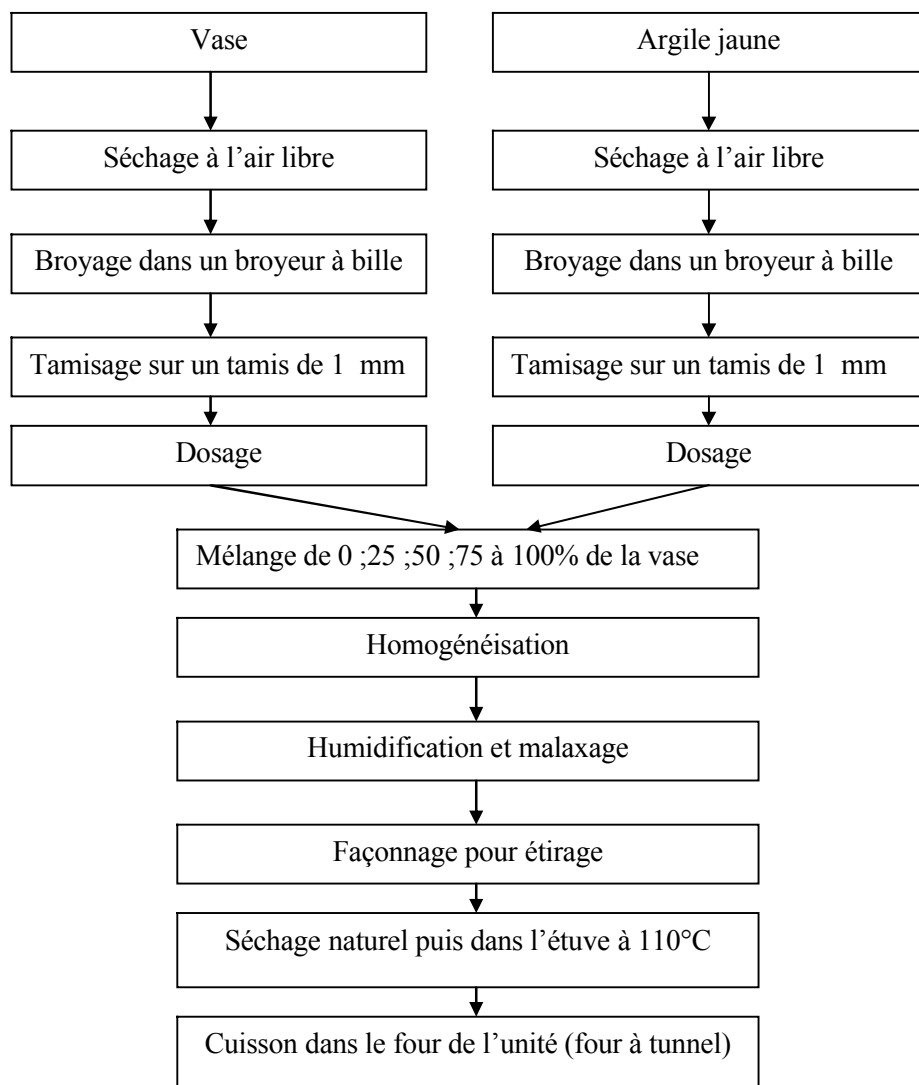


Figure 2 : Schéma général du processus de fabrication des briques

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Résultats des analyses minéralogiques

Les résultats des analyses minéralogiques sont regroupés dans le tableau 1. En plus du Quartz, les vases sont composées du trièdre argileux Smectite-Kaollinite-Illite. Cela permet de les classer comme étant des vases marines du climat tempéré ou bien comme des vases estuariennes des régions tempérées (Migniot, 1989). La teneur en minéraux argileux (Kaolinite et Illite) est

suffisante pour donner à ces vases la plasticité nécessaire afin qu'elles soient aptes à la valorisation. Bien entendu, la teneur en Quartz est bien souhaitée, mais elle ne doit pas excéder les 35% environ, tandis que dans la vase de Zardezas, elle est relativement supérieure à cette limite (36%).

Tableau 1. Résultats des analyses minéralogiques

| Vase du barrage | Quartz | Calcaire | Dolomite | Feldspate | Minéraux Ferrigènes | Kaolinite | Illite | Chronite | Montmorillonite | Inter straties Ix |
|-----------------|--------|----------|----------|-----------|---------------------|-----------|--------|----------|-----------------|-------------------|
| Oued El Fodda | 25 | 24 | 1,5 | 3 | 5,5 | 24,5 | 10 | 6 | | |
| Ghrib | 10 | ,5 | | | | 10 | 10 | 10 | | |
| Boughezoul | 8 | 18 | 1 | | | 20 | 30 | 5 | | |
| Fergoug | | 12 | | | | | | | | |
| Bouhanifia | 4,2 | | 2,9 | 3,2 | | 7 | 10 | 14,3 | | |
| Beni Amrane | 30 | 3 | 5,5 | 3,5 | 4,5 | 16 | 11 | 1,5 | | |
| Ighil Emda | 15 | 28 | tr | | | 15 | 10 | 15 | | |
| Hamiz | 17 | 25 | tr | | | 30 | 25 | 20 | | |
| Zardezas | 36 | 8 | 13 | 8 | 4,5 | 16 | 8 | 4 | 7 | |
| Foum El Gerza | 7 | 13 | 26 | | | 13,5 | 6,7 | 3,35 | 23,5 | 20 |
| Oued Lekhel | 20 | 26 | | | | 10 | 10 | 20 | 20 | |

Comparativement aux résultats des analyses minéralogiques de l'argile jaune utilisée comme matière première pour la fabrication des produits rouges, il ressort que la composition minéralogique de ces vases ressemble bien à celle de l'argile jaune (tableau 2).

Tableau 2 : Composition minéralogique de l'argile jaune (Emile, 1978)

| | Quartz | Calcite | Dolomite | Feldspat | M/Férogene | Kaolinite | Illite | Montmorillonite |
|--------------|--------|---------|----------|----------|------------|-----------|--------|-----------------|
| Argile jaune | 42,5 | 21,5 | | 3 | 4 | 14 | 10 | |

Résultats des analyses chimiques

Le tableau 3 regroupe les résultats obtenus (composition chimique de chaque matière). Les oxydes formant chaque matière sont exprimés en pourcentage massique. Une analyse détaillée des résultats basée sur la comparaison des teneurs en différents oxydes montre que :

- i. L'alumine (Al_2O_3) est liée à la plasticité, et les teneurs en cet oxyde signalées dans nos échantillons de vase sont comprises entre les limites admissibles (tableau 4). Ces vases sont utiles pour la fabrication de la brique.
- ii. Les teneurs en Silice (SiO_2) dans les vases sont plus au moins classées dans les normes (tableau 4). Cet oxyde est donc en teneur suffisante pour jouer le rôle d'un dégraissant sans avoir besoin d'ajout d'éléments inertes tels que le sable.
- iii. Dans les onze échantillons de vase, la teneur en oxyde de Fer (Fe_2O_3) est supérieur à 5%, cela permet de les considérer comme étant des argiles à grande teneur en oxyde colorant. Par contre, l'argile jaune (3,8% en FeO_3) est considérée comme une argile à teneur moyenne.
- iv. La teneur en chaux (CaO) est relativement faible pour les vases des barrages Ghrib, Ighil Emda, Hamiz, Zardezas. Elle n'a pas un effet indésirable parce qu'une forte teneur augmente le retrait au cuisson ainsi que la porosité et diminue la solidité des produits des cuits.
- v. Les teneurs reçues sont acceptables pour la Magnésie (MgO).

Les analyses chimiques montrent qu'une argile est composée de plusieurs oxydes minéraux (SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O ,...) de l'eau, des sels solubles et des matières organiques.

Tableau 3 : Résultats des analyses chimiques

| Vase du barrage | OXYDES (%) | | | | | | | | | | |
|-----------------|------------|-----------|-----------|-------|-------|--------|--------|---------|------|---------|------|
| | SiO_2 | Al_2O_3 | Fe_2O_3 | CaO | MgO | SO_3 | K_2O | Na_2O | PF | TiO_2 | MnO |
| O.Fodda | 44,5 | 13,6 | 5,5 | 14 | 1,75 | 0,5 | 1,3 | 0,8 | 16,5 | 26,2 | - |
| Ghrib | 29,6 | 13,7 | 5 | 2,1 | 1,6 | - | 1,1 | 0,3 | - | - | - |
| Boughezoul | 31 | 13 | 4,75 | 1,4 | 1,9 | - | 1,7 | 0,7 | - | - | 0,03 |
| Fergoug | 42 | 9 | 4 | 16 | 1,8 | - | - | - | - | - | - |
| Bouhanifia | 52 | 10,6 | 4,8 | 10,6 | 0,5 | - | - | - | 15,2 | - | - |
| B. Amrane | 44,8 | 9,3 | 4,7 | 17,3 | 1,5 | 0,4 | 1 | 0,9 | 18,5 | - | - |
| I. E mda | 48,5 | 14 | 6 | 7 | 1,4 | - | 1,1 | 0,7 | 18,7 | - | - |
| Hamiz | 49,5 | 16,5 | 6 | 6,5 | 1,4 | 0,01 | 2,2 | 0,7 | - | 0,6 | 0,06 |
| Zardezas | 59 | 10 | 5 | 8 | 1,6 | - | 1,8 | 0,5 | - | 0,7 | - |
| F.Gherza | 33 | 14 | 6,5 | 7 | 2 | - | 1,5 | 0,3 | 1,8 | - | - |
| Oued Lekhel | | | | | | | | | | | |

Les produits rouges utilisés dans la construction se distinguent par leur isolation thermique, leur capacité d’emmagasiner de chaleur et leur pouvoir de compensation d’humidité. Pour qu’une argile soit utilisable, ces oxydes minéraux doivent être variables entre les limites admissibles indiquées dans le tableau 4.

Tableau 4 : Composition chimique d’une argile utilisée pour la fabrication des produits rouges (Emile, 1978)

| Oxydes | Pourcentage (%) |
|------------------------------------|-----------------|
| SiO ₂ | 35-85 |
| Al ₂ O ₃ | 9-25 |
| CaO | 0-25 |
| MgO | 0-5 |
| Fe ₂ O ₃ | 3-9 |
| Na ₂ O+K ₂ O | 1-5 |
| CO ₂ | 0-15 |
| SO ₃ | 0-3 |

Les résultats des analyses chimiques de nos vases sont comparés à ceux des argiles utilisées pour la fabrication de la brique dans quelques briqueteries du monde (tableau 5).

Tableau 5. Compositions chimiques des argiles utilisées dans quelques briqueteries du monde (Remini et Kenai, 2000)

| Oxydes | Briqueterie | | |
|--------------------------------|---------------------|--------------|--------|
| | Oxford (Angleterre) | Arbil (Irak) | France |
| SiO ₂ | 55,4 | 38,4 | 35-80 |
| Al ₂ O ₃ | 19,8 | 6,1 | 5-25 |
| Fe ₂ O ₃ | 6,2 | 5,3 | 2-8 |
| CaO | 8,5 | 23,2 | 0,5-15 |
| MgO | 1,8 | 2,6 | 0,3 |
| Na ₂ O | 0,6 | | 0,1-1 |
| K ₂ O | 3,22 | | 0,5-10 |
| CO ₂ | | | 0,5-15 |
| TiO ₂ | | | 0,3-2 |
| PF | | | 3-18 |

Dans le but de mener une étude comparative avec les argiles utilisées dans les briqueteries d’Alger et ses environs, nous avons représenté la composition chimique des argiles des briqueteries de Boufarik, Hadjout et Baraki (Tableau 6).

Tableau 6. Composition chimique des argiles utilisées dans quelques briqueteries algériennes (Remini et Kenai, 2000)

| Oxydes (%) | Briqueterie | | |
|--------------------------------|-------------|---------|----------|
| | Baraki | Hadjout | Boufarik |
| SiO ₂ | 47,94 | 55,17 | 52,39 |
| Al ₂ O ₃ | 11,61 | 8,18 | 8,33 |
| Fe ₂ O ₃ | 5,34 | 4,04 | 4,1 |
| CaO | 14,31 | 13,45 | 14,6 |
| MgO | 1,35 | 1,57 | 1,88 |
| K ₂ O | 1,32 | 1,36 | 1,57 |
| SO ₃ | 0,3 | 0,14 | 0,39 |
| NaO ₂ | 0,5 | 0,43 | 0,22 |
| PF | 15,84 | 14,76 | 14,91 |

Il ressort de cette étude comparative que les valeurs des analyses chimiques des vases étudiées avoisinent celles des argiles utilisées dans les briqueteries citées dans les tableaux 5 et 6.

Résultats des analyses granulométriques

Les analyses granulométriques effectuées sur sept échantillons de vase ont fourni les résultats indiqués dans le tableau 7.

Les composantes granulométriques sont données en pourcentage massique.

Tableau 7 : Résultats des analyses granulométriques

| Vase | Grains (mm) | | |
|-------------|-------------|-----------|------------|
| | Sable (%) | Limon (%) | Argile (%) |
| Ighil Emda | 26 | 52 | 22 |
| Oued Fodda | 1 | 51 | 48 |
| Boughezoul | 10 | 70 | 20 |
| Ghrib | 15 | 65 | 20 |
| Bouhanifia | 22 | 68 | 10 |
| Beni Amrane | 5 | 87 | 8 |
| Oued Lekhel | 27 | 29 | 44 |

Les fractions sableuses sont en teneur de 10% dans la vase de Boughezoul et de 26% dans celle d'Ighil Emda. Ces résultats se confondent avec ceux des analyses minéralogiques du fait que la teneur en Quartz dans la vase d'Ighil Emda est élevée (15%). Par contre, elle est faible dans la vase de Boughezoul (8%). Les fractions argileuses sont en proportions presque identiques (22%) dans la vase d'Ighil Emda et dans la vase de Boughezoul (20%). Ces teneurs en grains inférieurs à 0,002mm peuvent donner la plasticité suffisante pour ces deux vases afin de pouvoir les utiliser pour le façonnage des briques.

Plasticité

Le tableau 8 regroupe les résultats obtenus sur les limites de liquidité et de plasticité de six vases. Les valeurs obtenues sont les moyennes de trois essais.

Tableau 8 : Valeurs des limites de liquidité et de plasticité

| Vase | Limite de liquidité Wl (%) | Limite de plasticité Wp(%) | Nombre de plasticité |
|----------------|----------------------------|----------------------------|----------------------|
| Bouhanifia | 36 | 16,5 | 19,4 |
| Beni Amrane | 42 | 25,38 | 16,69 |
| Ighil Emda | 41 | 24,8 | 16,19 |
| Oued El Fodda | 35,61 | 19,34 | 15,87 |
| Foum El Gherza | 54 | 38 | 16 |
| Oued Lekhel | 35,4 | 19,7 | 15,7 |
| Argile jaune | 32,2 | 16,72 | 16 |

D'après ces résultats, les six échantillons de vase peuvent être classés comme des argiles moyennement plastiques. La plasticité que présentent les 6 échantillons est très utile pour la fabrication des briques et des tuiles.

Produit finis

Les produits finis sont des briques pleines de petites dimensions.

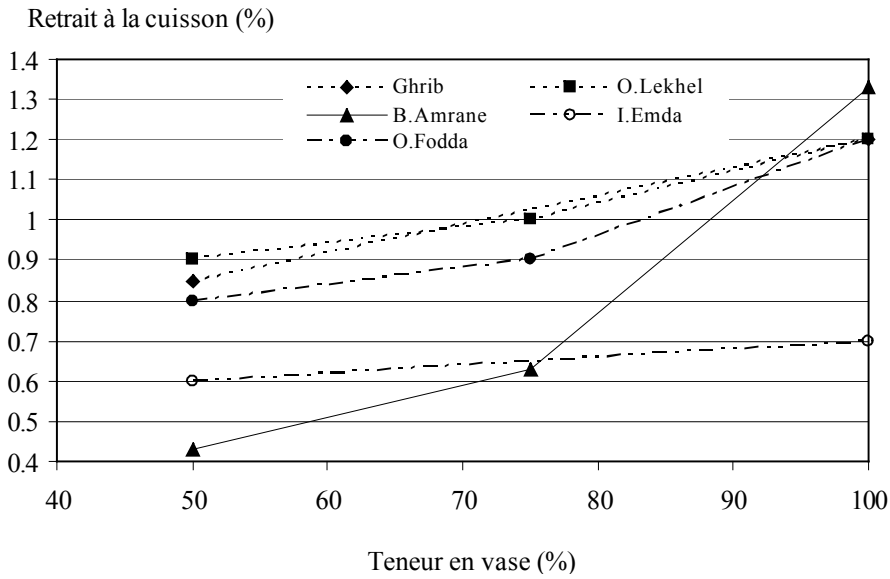
Aspect général

La couleur des briques obtenues varie comme suit:

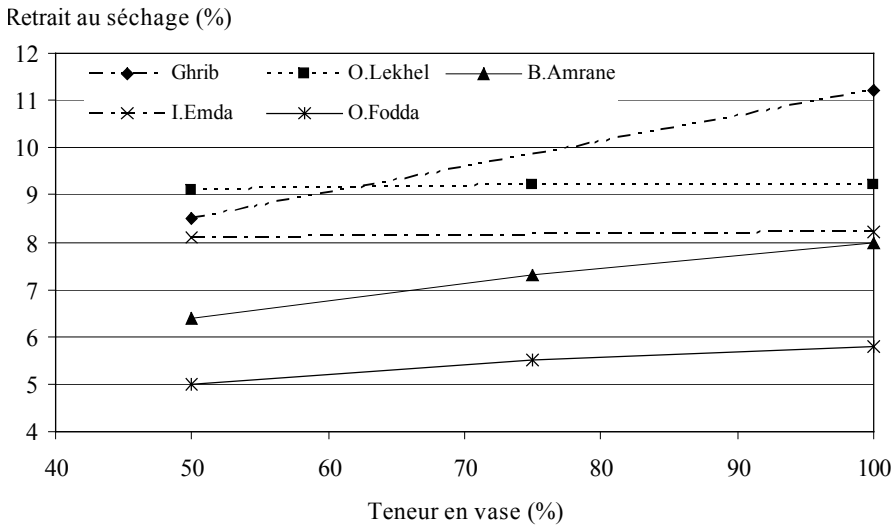
- i. Les briques fabriquées à partir de l'argile sont de couleur jaune.
- ii. Les briques fabriquées à partir d'un mélange d'argile et de vase sont d'une couleur dépendante de la matière majoritaire. La couleur rouge des briques à base de vase est due à l'oxyde de fer présent et à la teneur élevée dans chaque vase.

Résultats des analyses dimensionnelles

Les résultats des analyses dimensionnelles obtenues sur cinq produits de différentes vases sont représentés sur les figures 3a et 3b), tandis que les photographies 1 et 2 illustrent l'état de la vase après cuisson, séchage et broyage.



a) Evolution du retrait à la cuisson en fonction de la teneur en vase



b) Evolution du retrait au séchage en fonction de la teneur en vase

Figure 3 : Résultats des analyses dimensionnelles

Le retrait est lié à la plasticité d'une manière générale. Plus la plasticité d'une argile est grande, plus le retrait sera important. Selon la figure 4 représentant la variation de retrait au cuisson et de retrait au séchage en fonction de la teneur en vase. Nous constatons que :

- i. Plus la teneur en vase dans le mélange (argile jaune et vase) est élevée, plus les deux retraits sont élevés. Ce sens de variation de ces deux paramètres est dû à la plasticité de la vase qui est plus élevée que celle de l'argile jaune.
- ii. Les deux retraits diminuent en fonction de la teneur croissante en vase. Cela est dû à la plasticité de la vase qui est faible par rapport à celle de l'argile jaune.



Photographie 1 : Vase de Beni Amrane, obtenue après cuisson et broyage



Photographie 2 : Vase de Beni Amrane, obtenue après séchage et broyage

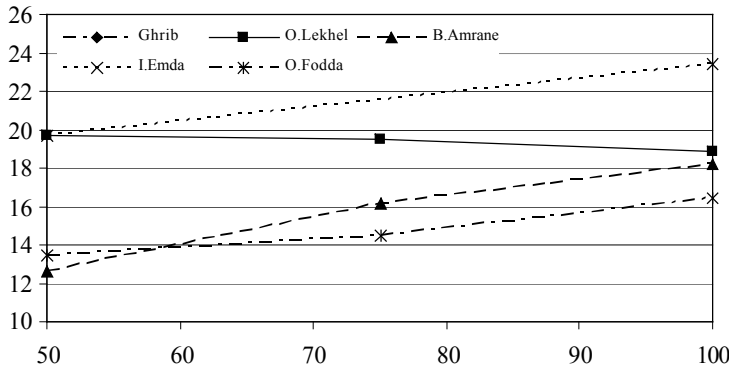
Toutes les valeurs de retraits sont situées dans les limites tolérées par les règlements (AFNOR, 1983) de :

- i. 10% au maximum pour le retrait au séchage.
- ii. 0,5 à 3% pour le retrait de cuisson.

Résultats des analyses physiques

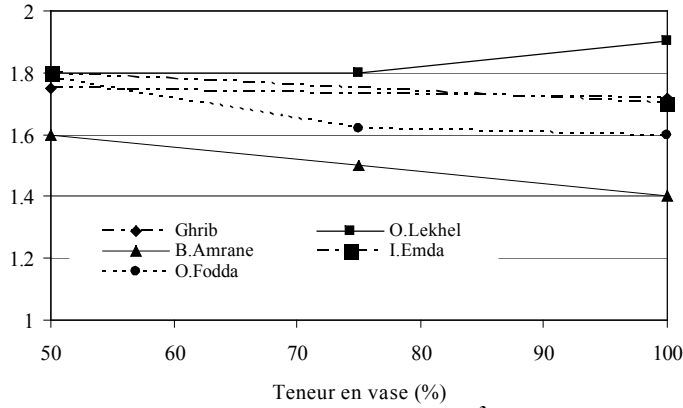
La porosité apparente, la masse volumique absolue et la capacité d'absorption d'eau sont présentées sur la figure 4, tandis que le coefficient d'absorption d'eau est représenté sur la figure 5.

Porosité apparente (%)



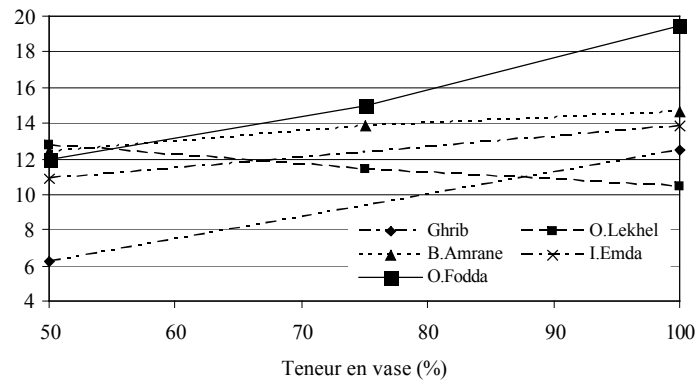
a) Porosité apparente

Masse volumique (g/cm³)



b) Masse volumique (g/cm³)

Capacité d'adsorption (%)



c) Capacité d'adsorption (%)

Figure 4 : Résultats des analyses physiques

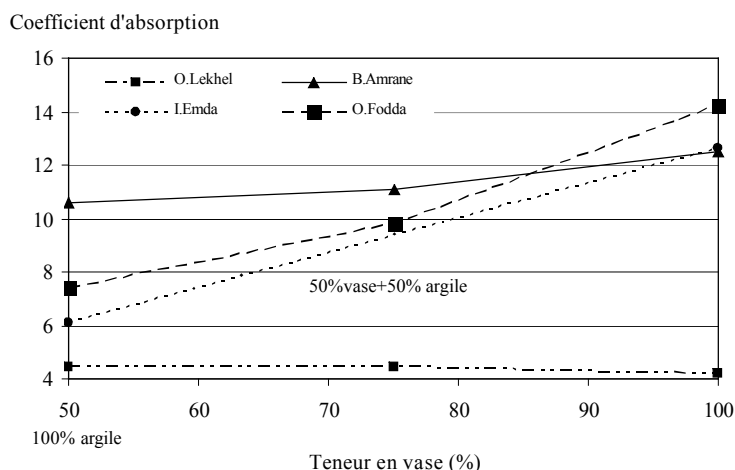


Figure 5 : Coefficient d'absorption d'eau des produits finis

Plus la teneur en vase croît dans le mélange de base (argile jaune-vase), plus la porosité apparente, la capacité d'absorption d'eau et le coefficient d'absorption d'eau augmentent. Ceci est dû au fait que la granulométrie des vases est très fine. D'une manière générale, les résultats des essais physiques sont conformes aux normes en vigueur (AFNOR, 1983):

- i. 15% au maximum concernant le coefficient d'absorption
- ii. 10% à 15% pour la porosité apparente
- iii. plus de 1,4 g/cm³ pour la masse volumique
- iv. pas moins de 8% pour la capacité d'absorption d'eau

Résultats des essais mécaniques

Les résultats de la résistance à l'écrasement effectués sur les échantillons de vase de 05 barrages sont représentés sur la figure 6.

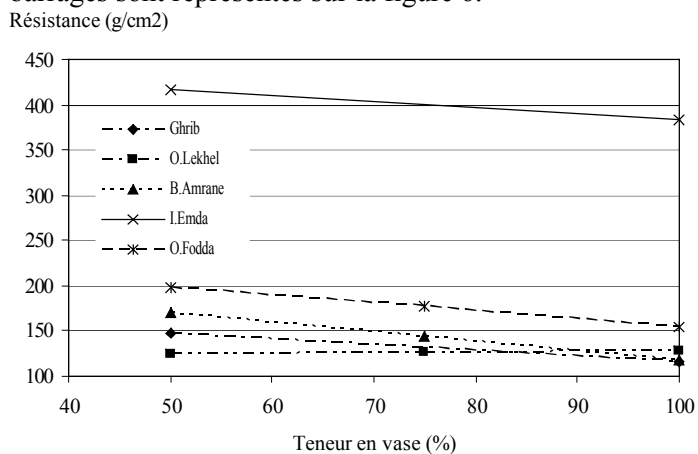


Figure 6 : Résultats des essais mécaniques

La résistance à l'écrasement a le même sens de variation que la masse volumique absolue. Elle augmente dans tous les cas. Les valeurs obtenues de la résistance à l'écrasement sont acceptables car elles sont supérieures à la limite tolérée par les normes en vigueur qui est de 100 bars.

Valorisation des vases

En se basant sur les résultats des analyses physiques, minéralogiques et chimiques des vases de 11 barrages, nous avons établi une première carte de réutilisation de la vase dans différents domaines (figure 7 et photographies 3 et 4).

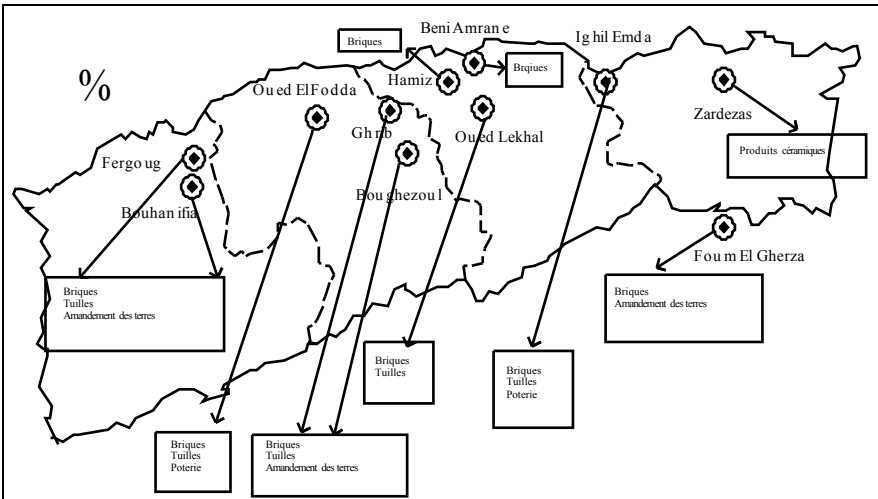
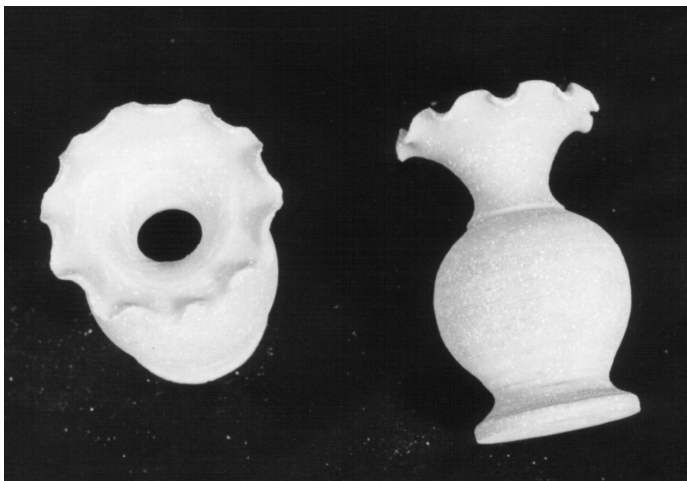
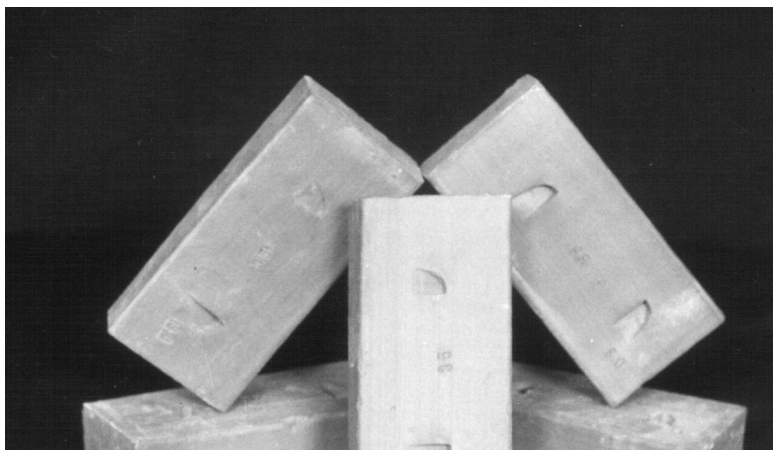


Figure 7 : Utilisation des vases des barrages les plus envasés.



Photographie 3 : Vases à base de la vase du barrage de Oued Lekhel (Remini, 2000)



Photographie 4 : Briques à base de la vase du barrage de Oued Lelhel (Remini, 2000)

CONCLUSION

L'absence de sites favorables à la réalisation de grands barrages en Algérie, nécessite l'entretien des barrages existants. Une quinzaine de barrages existants sur les 52 grands barrages en exploitation sont menacés de comblement et nécessitent un dévasement urgent.

Le rejet des vases à proximité des sites ou à l'aval dans l'oued pose d'énormes problèmes écologiques et environnementaux. Ceci incite à réfléchir sur la réutilisation et la valorisation de la vase dans les domaines de la construction, poterie et agronomique. Les résultats obtenus sont très encourageants pour l'utilisation de la vase comme matière première pour la fabrication de la brique, puisque elle présente les mêmes caractéristiques que celle de l'argile jaune utilisé par l'ensemble des briqueteries d'Algérie. Les essais que nous avons effectués sur le produit fini fabriqué à partir de la vase se sont avérés concluants. La résistance à l'écrasement, la masse volumique, la capacité d'absorption d'eau, la porosité, le retrait au séchage et le retrait à la cuisson vérifient bien les normes en vigueur. Cependant, pour améliorer la qualité physique du produit fini en particulier le retrait et la porosité, un ajout de sable est souhaitable. Ces premiers résultats nous encouragent à orienter l'utilisation de la vase draguée vers la fabrication des briques. Ce produit rouge peut être utilisé comme des objets de décorations par exemple.

La vase doit être considérée désormais comme un produit bénéfique et non pas un simple rejet dont les difficultés d'élimination ou de stockage posent un problème d'environnement. La vase draguée peut être utilisée en fonction de la nature et la granulométrie des sédiments.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AFNOR (1983). Briques pleines ou perforés est blocs perforés en terre cuite. NF, octobre, 13-305.
- CIGB (1989). Maîtrise de l'alluvionnement des retenues, Recommandations, Bulletin n° 67, 159 p.
- DOUSSAL H., RABUEL P. (1990). Matériaux de terre cuite et les contrôles de fabrication des produits de terre cuite. Techniques de l'ingénieur, C905, E.
- EMIL O. (1978). Technologie de matériaux de construction, Tome II, 335 p.
- KENAI S., REMINI B. (1997). Utilisation de la vase des barrages pour la fabrication des matériaux de construction, Journée d'animation scientifique du Génie Rural, Université de BLIDA, Mars.
- MIGNOT C. (1989). Tassement et rhéologie des vases, 1^{ère} partie, Revue Internationale La Houille Blanche, n°1.
- REMINI B. (1997). Envasement des Retenues de barrages en Algérie, Mécanisme et moyen de lutte par la technique du Soutirage, Doctorat d'état, E.N.P, Mars, 342 pages.
- REMINI B., KENAI S. (2000). Valorisation de la vase du barrage de l'Oued Lekhel pour la fabrication de la brique, Revue marocaine de Génie Civil, n° 90, nov/déc., 36-41.