

Ministère de l'Economie,  
des Finances et  
de l'Industrie



DIRECTION DE L'ÉQUIPEMENT

de

*Mayotte*

*Inventaire et perspectives de valorisation  
des roches et minéraux industriels à Mayotte*

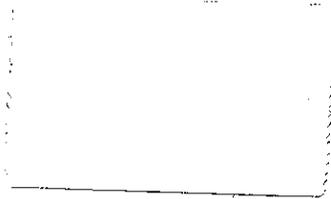
Etude réalisée dans le cadre des actions de Service Public BRGM SP 98-G-608

août 1999  
Rapport R 40696  
99 SGR/OI 23



**BRGM**

L'ENTREPRISE AU SERVICE DE LA TERRE



**Mots-clés : Argiles, Basalte, Blocs de terre comprimée, Carrières, Granulats, Ile de Mayotte, Inventaire, Laine de roche, Laves saines, Pierres dimensionnelles, Pierres ornementales, Ponces, Poterie, Pouzzolanes, Ressources, Valorisation.**

**En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :**

**Mouron R., Rançon J. Ph. (1999) – Inventaire et perspectives de valorisation des roches et minéraux industriels à Mayotte ; Rapport BRGM R 40696 / 99 REU 23, 56 p., 1 fig, 5 tableaux, 1 annexe.**

## **Synthèse**

Dans le cadre sa mission de Service public, le Service géologique régional océan indien du BRGM a été chargé par le Ministère de l'Industrie et la Direction de l'Équipement mandatée par Monsieur le Préfet, représentant du Gouvernement à Mayotte, d'une étude sur les perspectives de valorisation des roches et minéraux industriels à Mayotte.

Cette étude, réalisée entre décembre 1998 et juin 1999 a permis, à partir des différentes formations géologiques de l'île, d'identifier 3 filières faisant appel à 3 types de ressources naturelles distinctes.

- **Filière "roches volcaniques saines"**

Déjà exploitées pour la fabrication de granulats et de pierres dimensionnelles (lauzes et moellons), les roches volcaniques saines pourraient, en plus, être utilisées pour la production de laine de roche et de pierres ornementales polies. Pour ce qui est de la laine de roche, un ajout de chaux s'avérera certainement indispensable qu'il sera nécessaire d'importer. De plus, cette fabrication est consommatrice d'énergie et Mayotte doit importer la matière première nécessaire à la production de son énergie. Une étude de faisabilité sera donc obligatoire préalablement à toute création d'unité productrice de laine de roche. En ce qui concerne les pierres ornementales polies, le sous-sol mahorais n'offre que des roches sombres (basalte et phonolite) ce qui semble insuffisant, sauf importations d'autres variétés, pour la création de cette industrie. Les ressources en roches saines, reconnues dans le cadre d'une précédente étude sur la valorisation des matériaux naturels pour usage routier (rapport BRGM R 40574 / 99 SGR-OI 11) existent sur l'île en quantités relativement limitées et il semble difficile de pouvoir faire cohabiter ces différentes industries ;

- **Filière "produits argileux"**

L'île de Mayotte est riche en argiles d'altération de roches volcaniques. Depuis près de 20 ans, ces argiles sont utilisées pour la fabrication de blocs et terre comprimée (BTC) (25 millions de pièces produites depuis 1987). Dans les années 1990, une briqueterie cuisant ces argiles a été créée à Tsimkoura, mais elle a dû fermer pour des problèmes indépendants de la qualité des produits fabriqués. Un petit artisanat de poterie existe à Sohoa mais la qualité des produits finis laisse à désirer. Les ressources existent pour que, dans l'avenir, ces 3 « industries » cohabitent. Cependant, les BTC se heurtent dès maintenant à la "mauvaise image" du produit aux yeux du public pour qui « ce qui n'est pas en béton n'est pas fiable ». En ce qui concerne les produits en terre cuite, la création d'une nouvelle unité de production (l'ancienne étant totalement hors d'usage) nécessitera, au préalable, une étude de marché incluant les possibilités à l'exportation et la fabrication de nouveaux produits (poteries horticoles, tuiles,...). Pour le développement du secteur de l'artisanat potier, il sera nécessaire de définir, à partir des résultats de l'étude de 1978 du BRGM relatif à l'inventaire des ressources en matériaux à Mayotte, les gisements favorables ainsi que les éventuels ajouts de dégraissant.

- **Filière « pouzzolanes et ponces »**

L'île de Mayotte possède des gisements de matériaux pyroclastiques de très bonne qualité, c'est à dire avec un pouvoir pouzzolanique comparable aux pouzzolanes italiennes. Les utilisations actuelles de ces ressources font, pour partie, appel à ce pouvoir (utilisation comme dégraissant dans la fabrication de certains BTC où le ciment, ajouté comme liant, réagit, en présence d'eau avec ces pouzzolanes). D'autres utilisations, économiquement possibles, peuvent être envisagées sur l'île. Il s'agit des graves-pouzzolane-chaux (pour l'amélioration des structures routières), de l'ajout au clinker dans le cadre de la création sur l'île d'une unité de broyage pour la fabrication du ciment (identique à ce qui se fait à La Réunion), la réalisation de bétons légers, isolants (phonique et thermique) et de l'utilisation en plateaux absorbants et lits bactériens de stations d'épuration (en relation avec le programme d'assainissement mis en place).

Dans le prolongement de cette étude d'inventaire, se pose maintenant le problème de la gestion des ressources en matériaux naturels à Mayotte. L'élaboration d'un Schéma Directeur des Carrières, adapté aux contraintes (naturelles, administratives,...) mahoraises, intégrable dans le Schéma Régional d'Aménagement et de Développement du Territoire (S.R.A.D.T.), pourrait répondre à ce besoin.

## Sommaire

Synthèse .....	3
<b>1. Objet de l'étude.....</b>	<b>7</b>
<b>2. Situation géographique et grands traits géologiques de l'île de Mayotte .....</b>	<b>8</b>
<b>3. Phénomènes d'altération .....</b>	<b>10</b>
<b>4. Les différentes ressources .....</b>	<b>11</b>
4.1 Définition de trois grands types de ressources .....	11
4.2 Les laves massives "saines" .....	11
4.2.1 Utilisations actuelles .....	11
4.2.2 Utilisations futures .....	26
4.2.3 Bilan .....	31
4.3 Les formations argileuses d'altération.....	32
4.3.1 Blocs de Terre Comprimée (BTC).....	32
4.3.2 Briques de terre cuite .....	37
4.3.3 Autres produits.....	40
4.3.4 Bilan.....	43
4.4 Les roches à potentiel pouzzolanique.....	43
4.4.1 Définitions.....	43
4.4.2. Gisements mahorais de pouzzolanes et roches à effet pouzzolanique.....	45
4.4.3 Perspectives d'utilisations des pouzzolanes à Mayotte.....	47
4.4.4 Perspectives d'utilisation des ponces.....	50
4.4.5 Bilan.....	51
<b>5. Conclusions.....</b>	<b>53</b>
<b>6. Bibliographie.....</b>	<b>55</b>

## **Figures**

Figure 1 : Carte de localisation des principales ressources en roches et minéraux industriels de l'île de Mayotte

## **Tableaux**

Tableau 1 : Importations mahoraises de ciment .....	13
Tableau 2 : Producteurs de parpaings et produits en béton .....	18
Tableau 3 : Analyses chimiques représentatives des diverses formations géologiques de l'île de Mayotte (d'après Nougier et al., 1986. Extrait de la notice de la carte géologique de Mayotte par L. Stieltjes, 1988).....	29
Tableau 4 : Comparaison des caractéristiques physiques et des coûts des différents types de matériaux de construction utilisés à Mayotte.....	35
Tableau 5 : Résultats d'essais sur des matériaux argileux de Mayotte (d'après rapport BRGM 78 REU 02) .....	42

## **ANNEXES**

Annexe 1 : Référentiel photographique.....	56
--	----

## **1. Objet de l'étude**

Dans le cadre de ses missions de service public, le Service géologique régional océan Indien du BRGM, s'est vu confier par la Direction de l'Équipement de Mayotte et le Ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie, une étude portant sur la valorisation des ressources en roches et minéraux industriels (RMI) disponibles sur l'île de Mayotte. Cette étude (fiche 98 G 606 de la programmation de service public 1998 du BRGM), cofinancée par la dotation au titre du service public du BRGM et la Représentation du Gouvernement à Mayotte, fait l'objet d'une convention entre les deux parties et a comme objet :

- l'inventaire bibliographique des ressources géologiques de l'île et des utilisations actuelles (industrielles et artisanales) ;
- la visite de gisements et d'exploitations ;
- une première analyse des besoins en RMI à Mayotte et dans sa région géographique ;
- une première analyse de l'adéquation entre ressources en RMI et valorisations possibles.

L'étude de terrain a été réalisée courant décembre 1998.

## **2. Situation géographique et grands traits géologiques de l'île de Mayotte**

L'île de Mayotte appartient à l'archipel des Comores. Elle est située à égale distance des côtes africaines et malgaches (environ 200 km). D'une superficie de 374 km<sup>2</sup>, Mayotte est constituée d'une île principale, Grande-Terre, et de nombreux îlots dont un seul est habité de façon permanente, Petite-Terre (12 km<sup>2</sup>). Une barrière corallienne, située à plusieurs kilomètres au large isole un lagon d'environ 1 000 km<sup>2</sup>.

Le point culminant de l'île est situé dans sa moitié sud au Bénara (680 m). Les autres points hauts sont le Choungui (594 m) également dans la moitié sud et dans la moitié nord le Mtsapéré (572 m) et le Dziani Bolé (472 m).

Les ressources en roches et minéraux industriels que l'on peut espérer trouver à Mayotte dépendent, bien évidemment, de l'histoire géologique de l'île. Aussi, un bref rappel des principales caractéristiques géologiques est-il indispensable avant d'entreprendre une étude relative à la valorisation des roches et minéraux industriels à Mayotte.

Le résumé de l'histoire géologique de Mayotte est extrait du rapport BRGM R 40574, de mars 1999 sur l'inventaire et les possibilités de valorisation des matériaux naturels pour usage routier (le document de base étant la carte géologique de Mayotte au 1/50 000 établie par L. Stieltjes, 1988).

"Mayotte est une île volcanique dont les terrains les plus anciens connus à l'affleurement, ont environ 8 millions d'années (Miocène) alors que les derniers phénomènes volcaniques n'auraient que 0,5 million d'année (Pléistocène, voire Holocène).

Voilà 8 millions d'années, l'île a pris naissance par l'émergence de deux volcans boucliers accolés constitués de basanites, téphrites,... Au cours des temps géologiques, la composition des magmas a évolué vers des termes sous-saturés en silice donnant des laves beaucoup plus visqueuses : laves sombres à pyroxène ("ankaramites"), néphélinites, phonolites,..., formant des dômes ou des aiguilles. Les deux volcans ont eu une évolution similaire avec apparition de coulées périphériques que l'on retrouve au niveau des crêtes actuelles. Cette évolution de l'île s'est accompagnée d'un enfoncement progressif dans l'océan.

Plus récemment, il y a environ 1,5 millions d'années, s'est mis en place le massif du Mtsapéré ainsi que d'épaisses coulées de basaltes téphritiques et ankaramitiques dans les vallées creusées par l'érosion.

Les dernières manifestations volcaniques, autour de 0,5 millions d'années n'ont concerné que la moitié nord de l'île. A proximité des côtes, un magma trachy-basaltique, enrichi en silice, a provoqué d'importantes éruptions explosives en mer qui ont donné naissance à des projections et à des écoulements pyroclastiques : brèches et tufs à cendres, scories, lapilli,..., abondants

dans la région de Petite-Terre mais dont les produits les plus fins (cendres), entraînés par les vents, se retrouvent sur une bonne partie de l'île (plateau de Combani, par exemple).

En résumé, les 4/5 des formations géologiques constituant l'île de Mayotte correspondent à des coulées de lave appartenant à une série alcaline fortement sous-saturée ayant subi des phénomènes d'altération plus ou moins importants" (le 1/5 restant correspondant à des formations pyroclastiques).

### **3. Phénomènes d'altération**

En terme de ressource potentielle pour une valorisation industrielle ou artisanale, autant que la nature lithologique des formations, leur degré d'altération est une composante fondamentale dont il faut tenir compte

Ce paragraphe est également extrait du rapport BRGM R 40574, de mars 1999, sur l'inventaire et les possibilités de valorisation des matériaux naturels pour usage routier.

« L'altération des formations géologiques peut être définie comme l'ensemble de processus de transformation des roches, à la fois à partir d'agents naturels (eaux superficielles et circulations souterraines, vent, climat, végétation,...) et d'actions anthropiques (modes de culture, aménagements, déforestation,...).

A Mayotte, les phénomènes d'altération ont deux origines :

- l'argilisation en masse des roches liée aux conditions climatiques :

le climat mahorais, de type tropical, est caractérisé par l'alternance de deux saisons, l'une sèche de mai à août, l'autre humide de novembre à mars, séparées par deux intersaisons. Ce climat chaud et humide provoque la transformation des roches, en particulier au niveau de la phase vitreuse pour donner des formations argileuses pouvant atteindre des dizaines de mètres d'épaisseur. Les formations argileuses ainsi formées sont le plus souvent riches en smectites (montmorillonite) et la proportion de kaolinite est le plus souvent réduite (Stieltjes, 1988).

- l'altération fumerollienne :

ce type d'altération conduit à la production, en plus ou moins grande quantité, d'argiles proches des kaolins. Ce type d'altération n'est connue qu'autour de quelques massifs de phonolites.

## **4. Les différentes ressources**

### **4.1 DÉFINITION DE TROIS GRANDS TYPES DE RESSOURCES**

Dans la perspective de filières de valorisation, trois grands types de ressources naturelles peuvent être définis, résultant de l'évolution magmatique et volcanologique de l'île :

1. des laves volcaniques massives, de nature essentiellement basaltique ou phonolitique ;
2. des formations d'altération provenant de l'argilisation des laves ou produites par une activité hydrothermale (fumerollienne) ;
3. des formations pyroclastiques constituées essentiellement de scories et de tufs cendro-ponceux.

Les différents gisements inventoriés dans le cadre de cette étude, sont localisés sur la carte de la figure 1.

### **4.2 LES LAVES MASSIVES "SAINES"**

#### **4.2.1 Utilisations actuelles**

Les laves massives "saines" sont actuellement exploitées à Mayotte pour la production de granulats et de pierres dimensionnelles.

##### **4.2.1.1 Granulats**

Pour mémoire, nous rappellerons la définition que donne la norme AFNOR XP P 18-540 d'octobre 1997, du terme granulats : "ensemble de grains de dimensions comprises entre 0 mm et 125 mm".

Les granulats sont utilisés soit en technique routière soit pour la fabrication des bétons.

##### **4.2.1.1.1 Estimation de la production mahoraise de granulats**

Les granulats consommés sur l'île de Mayotte sont en totalité produits localement (aucun mouvement importation - exportation n'est enregistré).

Il n'existe, à Mayotte, aucune statistique relative à la production de granulats, l'ouverture d'une carrière n'étant soumise qu'à l'accord du propriétaire du sol et à une simple déclaration à la Préfecture qui en accuse réception.

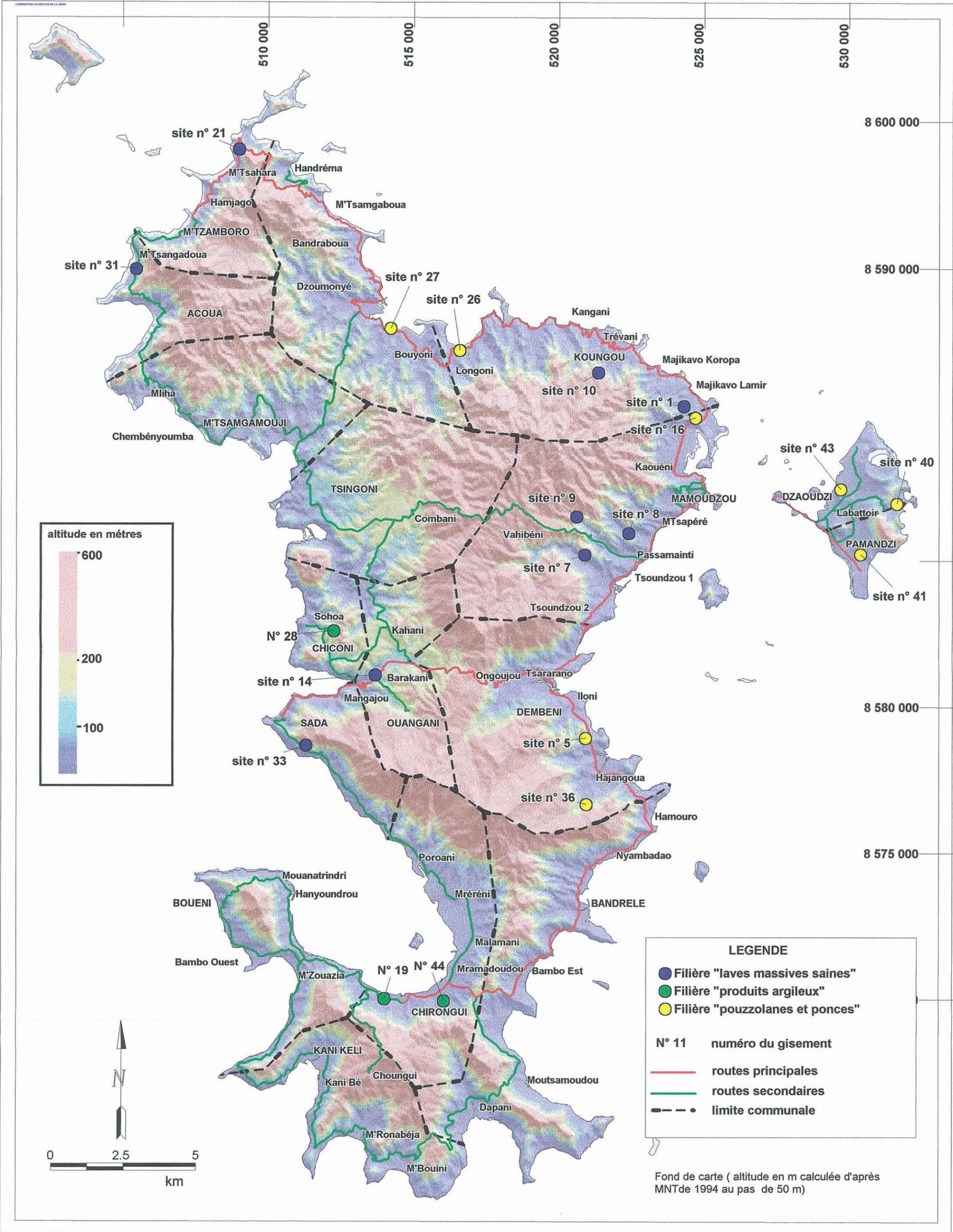


Figure 1 : Carte de localisation des principales ressources en roches et minéraux industriels de l'Ile de Mayotte

Une estimation de la production locale de granulats a pu être réalisée à partir des consommations de ciment et de bitume, ces deux substances étant importées en totalité.

Après enquête auprès des professionnels et des services de la Direction de l'Équipement, les ratios suivants ont été retenus :

- ◆ pour la fabrication du béton, la mise en œuvre d'une tonne de ciment mobilise 6 tonnes de granulats (sables et graviers) ;
- ◆ la mise en œuvre d'une tonne de bitume nécessite 19 tonnes de granulats ;
- ◆ la production de BTC (Bloc de Terre Comprimée) utilise également du ciment et des granulats en tant que dégraissant : 80 BTC nécessitent, en moyenne, 50 kg de ciment (1 sac) et 0,2 m<sup>3</sup> de dégraissant (4 brouettes).

#### **a) estimation de la consommation de granulats induite par la fabrication de bétons**

Les importations de ciment entre 1994 et 1997, communiquées par les services du port de Mayotte sont données dans le tableau 1 ci-dessous :

Année	1994	1995	1996	1997
Importations de ciment (en t)	38 200	42 640	49 660	47 471

**Tableau 1 : Importations mahoraises de ciment**

A titre indicatif, on peut noter, qu'en 1997, les importations de ciment se sont faites soit sous forme de "big bags" (29 300 t), soit en sacs de 50 kg ("loose bags" pour 18 150 t).

Mayotte présente, au regard de la consommation de ciment, une particularité liée à la fabrication de Blocs de Terre Comprimée (BTC). En 1997, la production de BTC a été de l'ordre de 3.10<sup>6</sup> unités, ce qui correspond à environ 1 875 tonnes de ciment (un sac de 50 kg de ciment permet de fabriquer 80 BTC). En 1997, la quantité de ciment étant entrée dans la fabrication de béton a donc été de 45 596 tonnes.

Cette consommation de ciment pour béton permet d'estimer le volume de granulats associés, soit environ 270 000 t/an ou 150 000 m<sup>3</sup>/an.

#### **b) estimation de la consommation de granulats induite par la fabrication d'enrobés bitumineux.**

Les statistiques douanières classent les importations de bitume avec les hydrocarbures, ne permettant pas ainsi de les isoler. Bien qu'une seule société importe la totalité du bitume consommé sur l'île, il ne nous a pas été possible de connaître avec précision les tonnages

concernés. Aussi nous avons dû estimer cette consommation à partir de comparaisons établies avec l'île de la Réunion. En 1996, l'île de la Réunion a importé 14 425 tonnes de bitume pour une superficie 6,7 fois plus importante (2 507 km<sup>2</sup> contre 374 km<sup>2</sup>) et une population 5,3 fois plus importante (en 1997 : 690 000 habitants à La Réunion contre 131 320 habitants à Mayotte). L'application de ces ratios conduirait à une consommation mahoraise de bitume variant entre 2 100 tonnes et 2 700 tonnes. Au vu des infrastructures routières existantes à Mayotte et à La Réunion, ces ratios semblent très optimistes et les importations de bitume devraient être plus proches de 1 000 t/an que de 2 000 t/an.

Si l'on retient l'estimation de 1 000 t/an pour les importations de bitume, la consommation correspondante de granulats pour les revêtements routiers (bi-couche ou enrobés) serait de 19 000 t/an ou **10 500 m<sup>3</sup>/an**.

### **c) estimation de la consommation de granulats entrant dans les corps de chaussée.**

Schématiquement, les structures routières mahoraises sont constituées de bas en haut d'une couche de forme, d'une couche de base (faisant également office de couche de fondation) et du revêtement. Les granulats, tels que définis précédemment, entrent dans la constitution de la couche de base et du revêtement (la couche de forme étant le plus souvent constituée de tout-venant prélevé dans le voisinage immédiat du chantier). Pour ce qui est du revêtement, la consommation a été estimée précédemment à 10 500 m<sup>3</sup>, ce qui pour une épaisseur moyenne de 2 cm correspond à une surface traitée de 525 000 m<sup>2</sup>. En supposant que la couche de base a, en moyenne, une épaisseur de 0,30 m, le volume correspondant de granulats serait de **157 500 m<sup>3</sup>/an**.

Remarque : l'estimation d'une surface traitée au bitume de 525 000 m<sup>2</sup> correspondrait à 87,5 km d'une route de 6 m de large. Le réseau routier revêtu étant actuellement de 235 km, cela revient à dire que la collectivité intervient annuellement sur un peu plus du tiers du réseau (entretien et construction). Cela paraît beaucoup, mais comme les volumes concernés demeurent faibles, sans données plus précises, nous garderons ces estimations.

### **d) estimation de la consommation de granulats induite par la fabrication de BTC.**

Les Blocs de Terre Comprimée (BTC) sont constitués d'un mélange de terre (terre constituée de graviers, sables, silts et argiles), d'un dégraissant (sables de concassage ou pouzzolane) et d'un liant (ciment) dans la proportion moyenne de 1 sac de 50 kg de ciment pour 1,5 brouette de 50 l de terre et 4 brouettes de dégraissant, ce mélange permettant d'obtenir 80 BTC. La production 1997 a été de l'ordre de 3 millions de BTC ce qui a exigé environ 7 500 m<sup>3</sup> de dégraissant, pour partie constitué de pouzzolane et pour partie de sables de concassage. Si l'on suppose que ces 2 dégraissants sont utilisés en quantités égales, la consommation de sables de concassage pour la fabrication des BTC n'est que de **3 250 m<sup>3</sup>/an**.

## **e) bilan**

Compte-tenu des nombreuses hypothèses formulées ci-dessus, on peut estimer la production mahoraise de granulats à **321 250 m<sup>3</sup>/an** soit **578 250 t/an** ce qui correspondrait à une **consommation annuelle par habitant de 4,4 t.** (par comparaison on peut rappeler que la consommation par habitant en France métropolitaine a été de 6,1 t en 1997, chiffre communiqué par l'UNICEM).

### **4.2.1.1.2 Utilisations**

Les granulats produits à Mayotte sont utilisés soit pour la fabrication des bétons et produits en béton, soit dans le domaine routier. Quelque soit leur destination finale, ils sont produits dans 5 carrières :

- carrière IBS de Majikavo Lamir ;
- carrière ETPC de Koungou ;
- carrière ETPC d'Iloni ;
- carrière ETPC de Moutsamoudou ;
- carrière ETPC de Petite-Terre.

Ces carrières ont été décrites dans le rapport BRGM R 40574, de mars 1999 "Granulats à usage routier – Ile de Mayotte".

## **a) utilisations dans le domaine routier**

Ce domaine d'utilisation a fait l'objet d'un rapport spécifique (BRGM R 40574, mars 1999) que l'on pourra consulter pour plus de renseignements. Les matériaux traités présentent, dans l'ensemble de bonnes, voire de très bonnes caractéristiques géomécaniques permettant de rattacher certains échantillons aux classes A ou B (toutefois d'autres échantillons ont été classés en classe E). Le principal problème mis en évidence lors de cette étude est l'absence de précriblage avant le primaire, conduisant très souvent à un 0/31,5 de médiocre voire de mauvaise qualité.

## **b) Utilisation pour les bétons**

Dans le domaine des bétons, les granulométries utilisées couramment sont : 0/4, 4/6, 0/6, 6/10 et 10/25. Les bétons sont utilisés directement sur le chantier ou servent à la fabrication de parpaings et autres produits manufacturés.

Dans le cadre de la mise en place d'un suivi qualité de la production de parpaings associant la SIM, le SMIAM et la DE, a été mis en place une "normalisation" garantissant un certain niveau de qualité (cette procédure concerne deux produits : les parpaings et les Blocs de Terre Comprimée).

### **c) Sociétés**

En juin 1997, les principaux producteurs de produits en béton étaient :

ETPC à Koungou (à l'emplacement de l'ancienne carrière)

Dotée d'une pondeuse semi automatique Tetra-Structure (Type 1000T de 1996), cette société produit de l'ordre de 2 000 pièces par jour. En plus des parpaings, de dimensions 10x50, 15x50 et 20x50, sont fabriqués des buses, des poteaux EDF, des regards, des claustras, des linteaux, des blocs d'angle,... Les mélanges sont constitués de 400 kg de 0/4 + 120 kg de 4/6 pour 60 à 75 kg de ciment CPA 42,5 sans adjuvant. Les granulats utilisés viennent de la carrière ETPC de Koungou.

- ***Payet à Kaweni***

Dotée d'une pondeuse Inter 100 A (1982) et d'une pondeuse PAB 5 (1995), cette société produit de 1 500 à 4 000 pièces/jour (4 000 étant le maximum). Les produits fabriqués sont des parpaings (10x40, 15x40, 20x40, 15x50, 20x50), des hourdis, des claustras, des parpaings d'angle,... Les mélanges sont constitués de 400 kg de 0/4 + 200kg de 4/6 pour 65 kg de ciment. Les granulats proviennent de la carrière ETPC de Koungou, l'exploitant signalant des problèmes liés à la propreté des sables ("sables terreux" dont la qualité pourrait être améliorée par la mise en place d'un précriblage ou l'installation d'une ligne de valorisation des sables pouvant inclure un lavage).

- ***Saidou Moudala Mouzouna à Tsoundzou***

Dotée d'une pondeuse Toutagglo Tetra-Structure de type 60/40 (1990) cette société produit 400 pièces/jour (maximum 500 p/j). La production comprend des parpaings (10x40, 15x40, 20x40) et des claustras. Les mélanges sont constitués de 2 brouettes de sable et 1 brouette de graviers pour 1 sac de 50 kg de ciment. Les granulats proviennent de la carrière ETPC de Moutsamoudou.

- ***Briqueterie Ibrahim Madi Abdou à Acoua***

Seulement dotée de moules à mains, cette société produit au maximum 52 pièces/jour (parpaings 10x40, 15x40 et claustras). Le mélange set constitué de 3 brouettes de sables et graviers pour 1 sac de 50 kg de ciment 32,5 R. Les granulats proviennent de la carrière ETPC de Koungou, les sables commercialisés par IBS à Kangani étant trop poussiéreux.

- ***SOTRABAT à Sada***

Produisant uniquement pour sa propre consommation, SOTRABAT est dotée d'une pondeuse Vincent type PEM 3 (1983) d'une capacité de 500 pièces/jour. La production (400p/j) est constituée de parpaings (7,5x40, 10x40, 15x40, 17,5x40, 20x40) et de claustras. Le mélange est constitué de 2 brouettes de 0/4 + 1 brouette de 6/10 pour 1 sac de 50 kg de ciment. Les granulats proviennent de Moutsamoudou, les sables IBS de Kangani étant trop poussiéreux.

- ***Madi Ousseni à Mzouazia***

Dotée d'une pondeuse Toutagglo, cette société produit 300 pièces/jour (pour un maximum de 400 p/j) constituées de parpaings (10x40, 15x40) et de claustras. Le mélange est constitué de 2 brouettes de 0/4 + 1 brouette de 6/10 pour 1 sac de 50 kg de ciment 32,5 R. Les granulats proviennent de la carrière ETPC de Moutsamoudou.

- ***Madi Abdou – Entreprise Massulaha à Dembéni***

Equipée d'une pondeuse Toutagglo Tetra-Structure type P 60/50 (1992) cette société produit des parpaings (10x50, 15,50, 20x50) et des claustras sur le rythme de 260 pièces/jour (270 maximum). Le mélange est composé de 3 brouettes de sable (0/4) et graviers (6/10) pour 50 kg de ciment. Les granulats proviennent de la carrière ETPC de Koungou.

- ***Coopérative Sikahazi Rifagne à M'tsahara***

Dotée de 2 pondeuses AL-BIN type BM (1994) cette coopérative produit 300 pièces/jour constituées de parpaings 15x40 et de briques béton. Le mélange est constitué de 3 brouettes de granulats (sable et graviers) pour 50 kg de ciment. Les granulats proviennent de la carrière IBS de Kangani, bien que l'exploitant trouve le sable trop poussiéreux.

- 3 autres sociétés avaient été recensées en 1997 mais aucune information n'avait pu être collectée. Il s'agit de :
  - l'entreprise Badoul Amana-Ahamadi Foundi de Ouangani ;
  - EAMC – M'Dahoma Madi qui aurait une production à Kaouéni, mais qui aurait momentanément cessé son activité ;
  - DATA SYSTECOM à M'Tsapéré qui a arrêté sa production avant d'acheter une nouvelle pondeuse.

Cette enquête a été reprise en 1998 et les principales modifications concernent l'acquisition de nouvelles machines par les plus importants producteurs et la mise en évidence de nouveaux producteurs.

Les données relatives aux produits en béton sont résumées dans le tableau 2 :

Sociétés	Matériel	Capacité/j	Production/j	Matériel	Capacité/j	Production/j
ETPC	Tetra-Structure type 1 000T	4 000	2 000	Delta 800	6 000 *	3 000 *
Payet	Inter 100A PAB5	4 000	1 500 à 4 000 moy : 2 700	Delta 800	6 000 *	3 000 *
IBS	Pas installé			Delta 800	6 000 *	3 000 *
Saidou Moudala Mouzouna	Tetra-Structure type 60/40	500	400	Tetra-Structure type 60/40	500	400
Briqueterie Ibrahim Madi Abdou	Moule à main	52	52	Fermée en 1998		
SOTRABAT	Vincent type PEM 3	500	400	Vincent type PEM 3	500	400
Madi Ousseni	Toutagglo	400	300	Toutagglo	500	300
Entreprise Massulaha	Tetra-Structure type 60/50	270	260	Faillite ?		
Coop. Sikahazi Rifagne	2 AL-BIN type BM	300	300	2 AL-BIN type BM	300	300
Entreprise Badoul Amana-Ahamadi Foundi	?	?	?	Arrêt d'activité		
EAMC-M'Dahoma Madi	?	?	?	Arrêt d'activité		
DATA SYSTECOM	?	?	?	Arrêt d'activité		
Abasse	?	?	?	?	500	400
Rachidi	?	?	?	?	500	500 *
Maefa	?	?	?	?	1 000	800 *
Youssef Assoumani	?	?	?	?	500	500 *

**Tableau 2 : Producteurs de parpaings et produits en béton**

\* La capacité et la production d'ETPC sont données, pour 1998, en planches. La production journalière correspond à 500 planches et la capacité au double. Une planche comprend 9 unités de 10x20x50, ou 6 unités de 15x20x50 ou 5 unités de 20x20x50. Le nombre de pièces produites par jour a été calculé sur la base d'1 base = 6 unités. Les productions journalières maximales des sociétés Payet et IBS varient de 4 à 6 000 pièces ; elles ont été considérées égales à 3 000 en moyenne.

- \* La production journalière de la société Maefa varie de 600 à 1 000 pièces/jour, elle a été considérée égale à 800 en moyenne ;  
Pour les sociétés Rachidi et Youssouf Assoumani les productions journalières ont été assimilées aux capacités de production.

A partir du tableau 2, on peut estimer les capacités actuelles de production par des entreprises industrielles à 22 300 unités/jour et la production journalière à 12 600 unités/jour. Il existe donc sur l'île une surcapacité importante mais concentrée entre les mains des 3 plus importants producteurs.

#### **d) Qualité**

La qualité des produits en béton dépend des caractéristiques des granulats utilisés, ainsi que des conditions de dosage du béton.

Pour ce qui est des caractéristiques géomécaniques des granulats utilisés, les informations recueillies lors de l'étude relative à "l'inventaire et aux possibilités de valorisation des matériaux naturels à usage routier" (rapport BRGM R 40574) ont montré que ceux-ci étaient le plus souvent de bonne, voire très bonne qualité. Nous rappellerons ci-dessous les principales caractéristiques des granulats actuellement produits sur l'île :

##### ❖ carrière ETPC de Koungou

- LA variant de 16,6 (pour le 6/10) à 33, 7 (pour le 0/31,5) ;
- MD variant de 19 à 30 ;
- teneur en eau naturelle variant de 1 à 1,8 % ;
- propreté superficielle variant de 0,32 à 1,34 % ;
- équivalent de sable à 10 % : 65 % (ES piston et à vue).

Ces granulats, au vu de ces seuls résultats, peuvent être classés en catégorie A (LA < 30, PS\* > 60 %) ou B (LA < 40, PS > 50%, propreté P < 1,5\*\*) selon la norme AFNOR XP P 18-540 d'octobre 1997 (un classement définitif devra prendre en compte d'autres caractéristiques comme le coefficient d'aplatissement A, le module de finesse MF, l'absorption d'eau Ab, l'alcali-réaction,...).

##### ❖ carrière ETPC d'Iloni

- LA : 20,1 pour le 10/25 et 23,48 pour le 0/31,5 ;
- MD : 27,7 pour le 10/25 ;
- propreté superficielle : 0,7 % pour le 10/25 ;

---

\* PS (propreté des sables) correspond à un nouvel essai d'ES (équivalent de sable) piston sur le 0/2 mm limité à 10 % de fines.

\*\* cette valeur est portée à 3 pour les gravillons de roches massives d'IC (indice de concassage)  $\geq 50$  si VBF (valeur de bleu sur le 0/0,125 mm, exprimée en g/kg)  $\leq 10$ .

- teneur en eau naturelle : 1,8 % pour le 10/25 ;
- ES à 10 % : 61,6 % pour le 0/31,5 (moyenne à piston et à vue).

Selon la même norme, ces granulats, au regard de ces résultats appartiendraient à la catégorie A.

❖ carrière ETPC de Moutsamoudou

- LA : 12,7 sur un seul résultat concernant un 0/31,5 ;
- MD : 3,4 sur un seul résultat concernant un 10/14 ;
- ES à 10 % : 71,9 % pour un 0/31,5 (piston et vue) et 74,3 % pour un 0/6 ;
- teneur en eau naturelle variant de 0,66 %, pour un 5/20, à 1,42 % pour un 0/31,5 ;
- propreté superficielle variant de 0,26 % pour un 10/14 à 0,9 % pour un 6/10.

Selon la même norme, ces granulats, sur la base des données précédentes, appartiendraient à la catégorie A.

❖ carrière ETPC de Petite-Terre

- LA variant de 21,9 pour le 6/10 à 50,1 pour le 0/50 ;
- MD variant de 24,4 pour le 6/10 à 32,6 pour le 0/50 ;
- teneur en eau naturelle variant de 1,04 % pour le 4/6 à 2,3 % pour le 0/31,5 ;
- propreté superficielle variant de 1,08 % pour le 6/10 à 4,38 % pour le 4,6.

Selon la même norme, l'étalement des valeurs ci-dessus, rattacherait ces granulats à différentes classes.

**e) Bilan**

Comme l'indiquent les données précédentes, dans la majorité des cas, les granulats produits à Mayotte conviennent parfaitement pour la fabrication de béton ou de produits en béton.

Pour ce qui est du dosage des différents constituants des bétons, dans le cadre du suivi qualité mis en place, le Laboratoire de l'Équipement apporte aux entreprises une aide dans la définition de la composition des mélanges ciment – granulats – eau. De ce fait, les entreprises contrôlées commercialisent des produits conformes aux normes.

Toutefois, au cours de nos visites sur le terrain, nous avons pu constater qu'un certain nombre des parpaings utilisés ne provenaient pas des sociétés contrôlées par le Laboratoire de l'Équipement, mais avait fait l'objet d'une fabrication artisanale locale, à partir de moules rudimentaires et sans aucun contrôle qualité. La teinte rougeâtre des pièces finies, mettant en évidence l'utilisation de matières premières locales à dominante argilo-sableuse, permet de supposer que les normes ne sont pas respectées. L'estimation quantitative de ce type de production est impossible à faire avec précision, mais on peut supposer que dans certains

villages, éloignés des carrières de granulats et des centres de production de produits en béton, la majeure partie des parpaings consommés soit fabriquée de cette manière.

#### **4.2.1.2 Pierres dimensionnelles**

Actuellement, sur l'île de Mayotte la production de pierres dimensionnelles est assurée par de petites exploitations artisanales clandestines, c'est-à-dire non déclarées en préfecture comme le prévoit le texte régissant les ouvertures de carrières à Mayotte et datant de 1903 (du temps de l'Administration française aux Comores et à Madagascar). Le Code minier précise :

article 1 :

*"Les gîtes de substances minérales ou fossiles renfermés dans le sein de la terre ou existant à la surface sont, relativement à leur régime légal, considérés comme mine ou comme carrière".*

article 4 :

*"Sont considérés comme carrières les gîtes non mentionnés aux articles 2 et 3".*

L'exploitation de pierres dimensionnelles, non prévue aux articles 2 et 3 du Code minier (articles relatifs aux mines) entrent donc bien dans la catégorie des substances de carrières et leur mise en exploitation devrait être déclarée en préfecture. De plus, les ouvriers travaillant sur ces sites sont le plus souvent des clandestins (principalement des anjouanais) et il a été fréquemment trouvé, lors de nos visites, les sites totalement déserts mais avec les vêtements, les bicyclettes et les outils (masses, pioches, pelles,...) abandonnés par leurs propriétaires dans leur "fuite".

Ces exploitations sont de 2 types ; certaines se sont installées en pied de falaise ou sur d'anciens sites pour granulats, d'autres exploitent de gros blocs situés le long des routes. Comme pour les granulats, la nature pétrographique de ces pierres dimensionnelles est soit basaltique (cas le plus fréquent), soit phonolitique (dans ce cas la roche est plus dure).

Aucune des exploitations visitées n'utilise d'explosifs, l'abattage étant exclusivement manuel, ce qui pose d'ailleurs au moins 2 problèmes (sécurité et gestion de la ressource). Les travaux de découverte du gisement réalisés normalement à l'aide d'engins mécaniques ne sont pas faits, les fronts de taille arrivent à l'aplomb des formations superficielles constituées principalement d'un mélange argilo-sableux avec présence de blocs risquant de tomber à tout moment. L'exploitation, très souvent, ne peut se poursuivre qu'en approfondissant le carreau de la carrière, ce qui pourra poser des problèmes lors d'une éventuelle reprise du site suivant les règles de l'art (cf site n° 8 ci-après).

Deux types de pierres sont produites selon les sites :

- production de pierres plates ou "lauzes"

Deux sites produisant ce type de pierres ont été visités :

- **site n° 1 à Majicavo Lamir**  
(x = 524,31 ; y = 8590,28 ; z ≈ 30)

Cette carrière est le siège de 2 exploitations, la première pour la production de granulats par la société IBS, la seconde pour celle de pierres "plates" :

- par rapport au chemin d'accès, la partie du gisement située à droite est constituée d'une lave basaltique de couleur sombre, dure, se débitant en plaques et exploitée le jour de notre visite manuellement (d'après ce qui nous a été dit, IBS ne touche pas à cette zone dont l'exploitation est réservée à la production de pierres plates). La hauteur du front exploitée est d'environ 5 à 6 m pour un recouvrement de terre argileuse rouge d'environ 2 m (**photo 1, annexe 1**). L'exploitation est arrivée en limite de zone autorisée et ne pourra s'étendre, faute d'accord avec le propriétaire ;
- la seconde zone, située à gauche du chemin d'accès, est constituée d'une coulée de lave basaltique présentant aussi un débit en dalles ("lauzes"), épaisses de 2 à 10 cm. C'est à ce niveau de la carrière qu'IBS s'approvisionne en tout-venant (**photo 2, annexe 1**) servant à la production de granulats (la station de traitement est située sur la commune de Kangani). Le front de taille est constitué, en partie haute, par une découverte d'argile rougeâtre, épaisse de 3 à 4 m (et qui ira en augmentant au fur et à mesure de l'exploitation), surmontant une zone d'altération indurée, de teinte blanchâtre, épaisse de 1 à 2 m recouvrant une coulée de basalte présentant un faciès scoriacé et vacuolaire.

- **site n° 8 à Doujani**  
(x = 522,41 ; y = 8585,93 ; z ≈ 20)

Situé à l'ouest de Doujani, en rive droite du Mro oua Doujani, ce site correspond à une carrière exploitée actuellement à partir d'une coulée basaltique de vallée (**photo 3, annexe 1**) pour la production de pierres basaltiques plates de 5 à 10 cm d'épaisseur ("lauzes"). D'après les ouvriers travaillant sur ce site, la production journalière pourrait atteindre une vingtaine de petits camions (≈ 3 m<sup>3</sup>). Ce chiffre paraît énorme au vu des conditions d'exploitation.

Le débit en dalles des coulées basaltiques des sites n° 1 et n° 8, est lié à la structure fluidale de la lave, héritée de sa rhéologie et de ses conditions de refroidissement. Ce type de pierres est utilisé comme dallage (trottoirs en haut de la place Mariage à Mamoudzou, par exemple) ou comme parement de murs en béton. L'intérêt économique de cette ressource et sa rareté (nous n'avons identifié que 2 sites produisant ce type de pierres sur l'île) justifieraient pleinement que l'on réserve son exploitation à un usage « noble » et non pas à d'autres fins comme la production de granulats (cas du site n° 1).

- productions de pierres dimensionnelles de type "moellons"

A l'exception des 2 sites précédents (n° 1 et n° 8), toutes les autres exploitations visitées produisent des blocs décimétriques (< 20 – 25 cm) de basalte ou de phonolite. Ces blocs, à arêtes vives (mettant en évidence la dureté de la roche), de teinte noire (lave saine) ou parfois

rouille (patine d'altération) sont utilisés pour la construction de murets, murs ou soubassements de maisons. Les sites produisant ce type de pierres sont les suivants :

□ à partir de falaises ou d'anciennes exploitations

- **site n° 7 de Koualé Légion**  
(x = 520,89 ; y = 8585,18 ; z ≈ 105)

Ce site se trouve entre la RN2 et le camp de la Légion (à environ 1,5 km de la RN2). Une piste carrossable située sur la droite permet d'accéder à une "carrière" dans laquelle sont extraits, de façon artisanale, des blocs de basalte qui sont ensuite vendus comme pierres à bâtir.

Le front de taille a une hauteur maximale de 7 à 8 m pour une longueur d'environ 30 m. Il est constitué d'une puissante coulée prismée de basalte aphyrique noir, dur (**photo 4, annexe 1**). A la base, au niveau du carreau, apparaît un faciès plus grossier, à cristaux visibles. Comme pour le site précédent, l'altération argileuse ne semble pas avoir affecté cet affleurement (toutefois, une ancienne zone de prélèvement située une cinquantaine de mètres avant, laisse voir une zone d'altération argileuse de quelques mètres d'épaisseur).

- **site n° 9 de Mtsapéré**  
(x = 520,61 ; y = 8586,50 ; z ≈ 20)

On accède à ce site en empruntant la route goudronnée qui mène au collège de Mtsapéré. Cette route se continue par une piste en terre sur environ 2,5 km avant de disparaître au niveau du site. Actuellement, une exploitation artisanale de pierres dimensionnelles existe.

La roche exploitée est une phonolite à texture microlitique légèrement porphyrique, fluidale, sans cristaux apparents, résonnant au marteau (les pyroxènes noirs qui apparaissent dans la mésostase sont des augites aegyriniques ; détermination : Monique Tegye, BRGM-Orléans, 1999). Aucun litage n'est visible. Le front de taille, haut de quelques mètres (< 5 m) est constitué essentiellement de blocs découpés par la fissuration dont la taille varie de 1 à 2 m<sup>3</sup> (**photo 5, annexe 1**). La découverte, de 2 à 5 m de puissance selon les endroits, est constituée d'argiles sableuses blanchâtres certainement riches en kaolin. Ce site n'a certainement jamais été le siège d'une véritable carrière, mais a été exploité artisanalement, à partir d'une falaise naturelle. Les dimensions de l'actuel carreau sont 10 m x 50 m.

- **site n° 10 de Koungou**  
(x = 521,36 ; y = 8591,42 ; z ≈ 180)

Cette ancienne carrière (**photo 6, annexe 1**) a été exploitée par la société Colas qui l'aurait abandonnée à cause de l'hétérogénéité du gisement.

Schématiquement, le front de taille apparaît comme constitué de 3 gradins :

- le gradin supérieur correspond à la découverte. D'une hauteur moyenne de 5 à 6 m (mais pouvant localement atteindre 8 m), il est constitué d'argiles rougeâtres à passées blanchâtres, soyeuses au toucher ;
- le gradin intermédiaire correspond à la partie supérieure d'une formation basaltique. De hauteur variant de 2 à 5 m suivant les endroits, il est constitué de basaltes durs, légèrement plus clairs que ceux du gradin inférieur. Localement, on y trouve des zones altérées constituées de roches massives, cohérentes, de teinte blanchâtre, plus ou moins vacuolaires, correspondant certainement à une première phase d'altération des basaltes. Le front de taille apparaît très fissuré, avec remplissage systématique des fissures par des dépôts argileux blanchâtres (la largeur de ces fissures varie de quelques millimètres à plusieurs centimètres, des poches argileuses au sein de la formation basaltique étant également visibles) ;
- le gradin inférieur, d'une hauteur de 2 m environ, correspond à des basaltes noirs, à structure vitreuse sans cristaux apparents. Par comparaison avec le gradin intermédiaire, il y a disparition des zones cohérentes, blanchâtres provenant de l'altération, mais persistance de la fissuration avec remplissage argileux, même si elle semble moins dense.

Actuellement, cette carrière fait l'objet d'une exploitation clandestine de pierres à bâtir au niveau du gradin intermédiaire et en pied du gradin inférieur (**photo 7, annexe 1**). Les blocs extraits sont cassés manuellement (taille finale < 20 - 25 cm), puis jetés au pied du versant SE où ils sont chargés sur des camions.

A 200 - 300 m environ, en arrière de ce front de taille, se trouve un thalweg rempli de blocs de basalte ( $\approx 1 \text{ m}^3$ ) noirs, massifs, dont certains situés sur les flancs de ce thalweg, sont exploités pour la production de pierre à bâtir ;

- **site n° 14 de Barakani**  
(x = 513,68 ; y = 8581,07 z  $\approx$  20)

Ce site est localisé en contrebas de la route RN 2 reliant Coconi à Sada, à la sortie de Barakani. Il est, actuellement, le siège de 2 petites exploitations artisanales de pierres dimensionnelles. Le front de taille, dont la hauteur est de l'ordre de 8 à 10 m, a la forme d'un éperon dont les deux faces sont à 90° l'une de l'autre (**photos 8 et 9, annexe 1**) (sur chacune de ces faces se trouve une exploitation artisanale). La roche exploitée est une phonolite noire avec de grands cristaux d'un noir plus sombre (pyroxène ? amphibole ?), présentant fréquemment des faciès vacuolaires ou scoriacés. La roche semble plus saine sur la première zone exploitée que sur la seconde. L'exploitation de cette partie du site ne semble pas pouvoir se développer de façon importante pour, au moins, deux raisons : 1) la découverte, de nature argilo-sableuse est importante (pouvant varier de 5 à 20 m) et 2) la progression du front de taille ne peut se faire que vers le sud (au nord coule le Mro oua Coconi) et se trouve limitée par la RN 2.

Toutefois, ce site présente des potentialités apparemment très intéressantes en rive droite du Mro oua Coconi. En effet, en amont du site exploité, ce cours d'eau est bordé par une falaise haute de 5 à 6 m que nous avons suivi sur une cinquantaine de mètres (mais qui se prolonge en amont et en aval). Sous une découverte (argilo-sablo-terreuse) d'environ 1,50 m d'épaisseur, cette falaise est constituée de roches sombres (phonolites ?) à débit en plaquettes de 5 à 10 cm d'épaisseur, reposant sur une dalle massive visible sur 50 cm (ce niveau crée des cascades en amont de la zone d'observation). Le sommet de la falaise ne semble être le siège d'aucune activité humaine.

- **site n° 21 entre Handréma et Mtsahara**  
(x = 509,00 ; y = 8599,03 ; z ≈ 100)

Le long de la RN 1, entre Handréma et Mtsahara, on trouve un affleurement de laves basaltiques massives, apparemment saines (sonnant clair au marteau), avec des niveaux scoriacés plus tendres. A l'affleurement, on distingue des "poches" à remplissage d'argiles brun ocre. Au niveau de ce front de taille, la découverte est quasi-inexistante et quelques prélèvements de petits blocs sont visibles (pour une utilisation comme pierres dimensionnelles). Localement, ces laves basaltiques se présentent en petits bancs épais de 0,5 à 1 m, présentant un débit en plaquettes de 5 cm en moyenne.

- à partir de blocs le long des routes

- **site n° 31 de Mtsangadoua**  
(x = 505,46 ; y = 85594,94 ; z ≈ 90)

Il s'agit de blocs (**photo 10, annexe 1**) provenant d'une falaise située au-dessus du village de Mtsangadoua. Ils sont constitués de phonolites alcalines sombres, massives et particulièrement dures. Au niveau de la RN 1, certains de ces blocs (≈ 1 m<sup>3</sup> maximum), dont quelques uns peuvent présenter un cortex d'altération ocre gris, sont exploités artisanalement comme pierres dimensionnelles.

- **site n° 33 de Sada**  
(x = 511,30 ; y = 8578,66 ; z ≈ 120)

Ce site se trouve à la sortie de Sada, sur la gauche du CCT 5 en direction de Chirongui. Il s'agit de gros blocs de laves noires, massives, dures, sans cristaux apparents, certainement de nature phonolitique (**photo 11, annexe 1**). Ces blocs proviennent d'une falaise haute d'une vingtaine de mètres et longue d'une centaine de mètres. Les blocs éboulés (dont certains ont des volumes de l'ordre de 5 à 6 m<sup>3</sup>) sont actuellement éclatés à la masse pour la production de pierres dimensionnelles.

## **4.2.2 Utilisations futures**

### **4.2.2.1 Utilisations futures acquises**

Dans l'avenir, les laves volcaniques saines continueront à être utilisées pour la production de granulats (pour le béton et la route). D'après les prévisions démographiques, la population mahoraise devrait presque doubler d'ici 2010, passant de 132 000 habitants en 1997 à 245 000. De plus, la consommation annuelle par habitant, de granulats (estimée à 4,4 t en 1997) devrait également croître pour se rapprocher de celle de l'île de la Réunion, qui était voisine de 5 t/hab/an en 1996.

Sur la base de ces hypothèses (245 000 habitants en 2015 et une consommation de 5 t/hab/an), on peut estimer que la consommation de granulats (béton et route) en 2015 sera voisine de 735000 tonnes, soit près de 2,3 fois plus qu'en 1997. Les 5 carrières actuelles ne pourront pas suffire pour assurer cette production, d'autant plus que le site d'Iloni est en voie d'épuisement, que celui de Petite-Terre, compte-tenu de son contexte environnemental ne pourra s'étendre et que celui de Majikavo Lamir devrait être réservé à la production de pierres plates. Il ne resterait plus alors que les sites de Koungou et Moutsamoudou, exploités tous les 2 par ETPC. Bien que ceux-ci possèdent des réserves importantes en matériaux de bonne, voire de très bonne qualité, de nouvelles carrières devront être ouvertes d'ici 2015, principalement dans le secteur de Mamoudzou et sur la côte ouest (région de Sada).

Comme l'a montré une récente étude du BRGM (rapport R 40574 de mars 1999), concernant l'inventaire et les possibilités de valorisation des matériaux naturels pour usage routier, il existe des ressources de bonne qualité non encore exploitées permettant d'envisager l'ouverture de nouvelles carrières, mais en nombre cependant relativement limité (sauf si l'on, considère l'hypothèse d'une exploitation des barres rocheuses situées au-dessus des villages de M'Tsahara, M'Tsangadoua et Acoua, ce qui poserait de très gros problèmes environnementaux).

De même, la production de pierres dimensionnelles (moellons et lauzes) devrait se poursuivre mais risque, dans de nombreux cas, de se trouver en concurrence avec celle des granulats. Afin de gérer au mieux l'exploitation des laves massives saines, il sera nécessaire de recenser toutes les exploitations actuelles de pierres dimensionnelles et d'obtenir des nouvelles une déclaration d'ouverture en préfecture (conformément à la loi) et d'estimer les productions annuelles. Une attention particulière devra être apportée aux lauzes auxquelles le débit en dalles confère une plus value intéressante, et ce d'autant plus que les gisements aujourd'hui identifiés, sont rares.

#### **4.2.2.2 Utilisations futures possibles**

Les laves volcaniques saines, de nature basaltique, pourraient éventuellement être utilisées pour la fabrication et la commercialisation de 2 nouveaux produits :

- la laine de roche ;
- les pierres ornementales.

##### **4.2.2.2.1 Laine de roche**

Actuellement, à Mayotte, les bâtiments (logements, bureaux, commerces,...) ne sont pas isolés par de la laine de verre ou de roche. Le confort est obtenu soit par la climatisation (consommatrice d'énergie), la ventilation ou la présence de petites ouvertures et des courants d'air. Il est évident que la mise en place d'isolation dans les bâtiments améliorerait la qualité de vie et que l'association climatisation – isolation permettrait des économies d'énergie non négligeables.

A notre connaissance, un seul bâtiment a été isolé à l'aide de fibres minérales synthétiques (certainement de la laine de verre) importées sur l'île de Mayotte. Il s'agit du supermarché de la zone industrielle de Kavani (face à la station service). Malheureusement, cette isolation a été installée en lieu et place de la climatisation et est sans effet dans une enceinte ouverte à un nombreux public entrant et sortant continuellement. Cette expérience n'a donc pas eu l'effet d'entraînement que l'on était en droit d'attendre.

Lorsque l'on parle de fibres minérales synthétiques, il peut s'agir soit de laine de verre soit de laine de roche. La laine de verre est obtenue à partir de sables siliceux, alors que la laine de roche est fabriquée à partir de roches diverses (éruptives, métamorphiques ou roches sédimentaires).

Il a été montré (Schindler, 1970) que l'on obtenait une laine de roche de qualité lorsque le degré d'acidité **S** était compris entre **0,6** et **1,5**, avec

$$S = \frac{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{CaO} + \text{MgO}}$$

Si  $S > 1,5$ , la longueur et l'élasticité des fibres diminuent et le nombre de perles infibrées augmente.

D'après les tests réalisés par M. Schindler, il faudrait idéalement que  $50 \% < \text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 < 55 \%$  et que la somme des oxydes basiques (CaO, MgO) ne dépasse pas 50 %.

Toujours d'après les mêmes travaux, la composition chimique idéale autorisant une température de fusion relativement basse serait :

$\text{SiO}_2 = 40 \%$	$\text{Al}_2\text{O}_3 = 15 \%$
$\text{CaO} = 30 \%$	$\text{MgO} = 15 \%$

Soit  $S = 1,22 \%$

D'après Osborn et Schairer (cités par Guppy et Phemister, 1945) la composition suivante :

$\text{SiO}_2 = 41,5 \%$	$\text{Al}_2\text{O}_3 = 10,8 \%$
$\text{CaO} = 44,8 \%$	$\text{MgO} = 2,9 \%$

autoriserait des températures de fusion de  $1\ 302^\circ \text{C}$ . D'après ces chercheurs, le rapport  $S \geq 0,75$  devrait fournir une laine de roche de bonne qualité.

D'autres sources bibliographiques fixent la composition idéale des matières premières compatibles avec une basse température de fusion à : 42 – 46 %  $\text{SiO}_2$  ; 14 – 17 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ; 14 – 18 % CaO ; 15 % MgO et 8 – 12 %  $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$ .

De plus, les expériences de M. Schindler ont montré que la température de fusion augmentait avec la proportion de la phase cristalline, d'où l'intérêt présenté pour les basaltes dont la phase vitreuse est nettement dominante.

Théoriquement, le mélange silice et chaux constitue la matière première idéale pour la fabrication de la laine de roche. Malheureusement, un tel mélange génère des températures de fusion trop élevées pour être économiquement rentables. Aussi, on ajoute à ce mélange des fondants (magnésie et oxydes de fer) qui diminuent la température de fusion en augmentant la fluidité des produits fondus.

La composition chimique des différents types de roches roches éruptives rencontrées à Mayotte est résumée dans le tableau 3 :

La lecture du tableau 3 montre que ce sont les formations les plus anciennes (8 à 4 Ma) qui présentent les caractéristiques se rapprochant le plus du degré d'acidité « idéal » ( $S < 1,5$ ), plus particulièrement les basaltes à olivine (pour mémoire l'olivine est un néosilicate de formule  $(\text{Fe},\text{Mg})_2 [\text{SiO}_2]$ , ce qui explique sa forte teneur en magnésie). Cependant, et quelque soit la composition idéale retenue, il sera nécessaire d'ajouter à ces basaltes locaux, de la chaux qui devra être importée en totalité.

Poids d'oxyde (%)	Types de roches							
	A	B	C	D	E	F	G	H
SiO <sub>2</sub>	38,90	44,00	41,02	45,18	51,23	45,23	44,60	56,95
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,47	11,10	16,40	14,96	20,00	14,76	15,30	18,95
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,60	5,21	7,19	5,32	4,26	5,27	10,04	1,89
FeO	7,65	7,02	4,31	6,56	1,55	7,05	4,64	2,76
MgO	11,12	15,00	6,16	7,87	0,83	8,66	6,20	0,27
CaO	13,36	11,40	10,57	10,42	2,88	9,76	7,65	1,30
Na <sub>2</sub> O	3,81	2,10	5,10	3,72	9,80	3,53	3,65	7,90
K <sub>2</sub> O	1,22	0,80	2,36	1,67	5,52	1,75	1,55	5,55
TiO <sub>2</sub>	3,17	2,10	2,41	2,40	0,72	2,70	2,80	
MnO	0,21	0,20	0,25	0,19	0,25	0,20	0,08	0,23
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	1,56	1,20	3,05	1,10	2,10	0,45	1,85	3,00
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0,37	0,43	0,95	0,55	0,69	0,39	0,68	0,25
Total	99,44	100,56	99,77	99,94	99,83	99,75	99,04	99,05

- boucliers anciens (âge : 8 à 4 Ma) correspondant environ aux 2/3 de la surface de l'île
  - A : néphélinites groupe I (moyenne de 4 analyses) S = 2,10
  - B : dyke de basalte à olivine S = 2,09
  - C : néphélinites groupe II (moyenne de 4 analyses) S = 3,43
  - D : basanites groupe I (moyenne de 4 analyses) S = 3,29
- 1<sup>ère</sup> série différenciée du sud (âge : 3 Ma)
  - E : phonolites groupe 1 (moyenne de 6 analyses) S = 19,20
  - F : néphélinite groupe III S = 3,26
- axe basaltique du nord (âge : 2,2 Ma)
  - G : basanites groupe II (moyenne de 3 analyses) S = 4,32
- 2<sup>ème</sup> série différenciée du nord (M'Tsapéré) (âge : 1,6 Ma)
  - H : phonolites groupe II (moyenne de 3 analyses) S = 48,34

**Tableau 3 : Analyses chimiques représentatives des diverses formations géologiques de l'île de Mayotte (d'après Nougier et al., 1986. Extrait de la notice de la carte géologique de Mayotte par L. Stieltjes, 1988)**

**En conclusion**, la production de laine de roche, à partir de basaltes locaux, semble techniquement possible à Mayotte mais aura les conséquences suivantes :

- nécessité d'importer de la chaux afin de se rapprocher au maximum des mélanges industriels économiquement rentables ;
- consommation importante d'énergie puisqu'il faudra porter le mélange basalte plus chaux à des températures voisines de 1 400° C. Or, l'île doit importer la totalité des matières premières énergétiques ;
- les ressources en lave basaltique sont les mêmes que celles pouvant fournir des granulats et des pierres dimensionnelles. Les réserves n'étant pas inépuisables (même si les granulats peuvent être produits à partir d'autres roches éruptives, comme les phonolites, dont la composition chimique s'éloigne fortement de la roche « idéale », se poseront, à court terme, des conflits d'usage.

#### 4.2.2.2 Pierres ornementales polies

Les roches éruptives saines présentes à Mayotte sont susceptibles de prendre le poli et l'on peut penser qu'elles présentent un potentiel pour la production de pierres ornementales. Toutefois, pour qu'une roche puisse être utilisée comme pierre ornementale polie, plusieurs conditions doivent être remplies. Les principales concernent :

- la fracturation

C'est elle qui limite la taille des blocs utilisables. L'industrie recherche des blocs ayant de grandes dimensions et provenant, donc, de massifs peu fracturés dont l'exploitation générera le moins de chutes possibles (normalement, le rendement de l'exploitation correspondant au rapport entre le volume des blocs marchands et de matériaux extraits bruts doit être au moins égal à 50 %) (Berton et Le Berre, 1983).

Pour ce qui est des gisements mahorais de roches éruptives, les observations faites sur les affleurements montrent que les formations basaltiques sont, dans leur ensemble, très fracturées. En revanche, les gisements de phonolite semblent pouvoir fournir des blocs de plusieurs m<sup>3</sup> (sites n° 8 à Doujani et n° 33 à Sada) sans que l'on puisse toutefois apprécier l'intensité de la micro fracturation, non exprimée à l'affleurement. De même, le trachyte peralcalin exploité dans la carrière ETPC de Moutsamoudou, pourrait fournir quelques blocs de dimensions intéressantes ;

- l'esthétique

Cette notion regroupe la couleur et l'homogénéité de la teinte. Il s'agit de notions fortement subjectives et pouvant fluctuer avec la mode. Cependant, les roches massives existantes à Mayotte sont toutes très sombres, avec ou sans cristaux apparents (qui sont le plus souvent également noirs : pyroxènes, amphiboles,...). Seul, le trachyte de Moutsamoudou est bicolore,

constitué de cristaux verdâtres à noirâtres dans une pâte également verdâtre mais plus claire. Bâtir une industrie de la pierre polie sur une seule couleur de roche semble économiquement irréaliste. Seule, une petite unité produisant du mobilier urbain et qui exporterait une partie de sa production (mais vers quelle destination ?) pourrait être envisagée. De toute façon, comme dans le cas précédemment évoqué de la laine de roche (paragraphe 4.2.2.2.1), la ressource exploitable est la même que celle qui alimente les granulats et certaines pierres dimensionnelles (moellons).

- les caractéristiques physiques

Différents paramètres sont à prendre en compte, principalement la densité, le coefficient d'absorption, la résistance à la compression, le module de rupture, l'aptitude au polissage,... Aucun de ces paramètres n'a été mesuré sur les roches de Mayotte mais, compte tenu des observations qui ont pu être faites sur le terrain (dureté, densité, caractère massif,...), la qualité de ces roches ne devrait pas poser beaucoup de problèmes quant à leurs caractéristiques physiques.

**En conclusion**, l'utilisation comme pierres ornementales polies des roches éruptives de Mayotte se heurtera en premier lieu à la fracturation importante, du moins au niveau des affleurements visités, des différents gisements. Seuls, certains gisements de phonolite et éventuellement le trachyte de Moutsamoudou pourraient fournir la matière première à ce type d'activité. Il s'agit de roches noires, fréquentes dans d'autres pays et, de ce fait, pas particulièrement recherchées. La production de mobilier urbain, résistant au vandalisme, pourrait être un débouché, mais le marché local ne peut à lui seul justifier la mise en place d'une unité de production et il semble difficile d'exporter cette production au niveau des pays voisins qui sont également fournis en ce type de matériau naturel (Afrique du Sud, Zimbabwe, Comores, Madagascar, Maurice, Réunion,...).

### **4.2.3 Bilan**

Les laves volcaniques "saines" sont actuellement exploitées, de façon légale, pour la production de granulats (bétons et routes) et de façon clandestine pour les pierres dimensionnelles (lauzes et moellons). Dans l'avenir, la demande en granulats ira en s'accroissant (quasi-doublement de la population d'ici 2010, remise en état du réseau routier, travaux d'infrastructure,...) et les pressions qui s'exerceront sur les gisements seront de plus en plus fortes (sans parler des contraintes induites par une prise en compte de plus en plus importante de l'environnement). De nouvelles carrières devront être ouvertes et il faudrait, dès maintenant, protéger/réserver les zones renfermant des ressources de qualité.

Pour ce qui est de la possibilité de créer de nouveaux produits (laine de roche, pierres ornementales polies), le marché local semble insuffisant pour construire les unités industrielles correspondantes et les possibilités d'exportation paraissent problématiques. De plus, la qualité des matières premières ne semble pas exceptionnelle et, dans le cas de la laine de roche, le lancement de cette filière exigerait l'importation de chaux et induirait de fortes consommations d'énergie.

## **4.3 LES FORMATIONS ARGILEUSES D'ALTÉRATION**

Les formations argileuses présentes à Mayotte peuvent avoir 2 origines : l'argilisation en masse des laves volcaniques en climat tropical et l'altération fumerollienne. Les premières couvrent la quasi-totalité de l'île sur des épaisseurs pouvant atteindre la dizaine de mètres alors que les secondes sont circonscrites autour de quelques massifs de phonolites.

Deux industries, dont l'une a disparu actuellement, se sont développées autour de ces ressources : la fabrication de blocs de terre comprimée (BTC) et celle de briques de terre cuite. A ces industries on peut ajouter le secteur de la poterie qui subsiste, de façon très artisanale, à Sohoa.

### **4.3.1 Blocs de Terre Comprimée (BTC)**

#### **4.3.1.1 Historique**

Cette industrie, créée en 1980, avait pour objectif de développer l'utilisation des matériaux locaux, en lieu et place des matériaux importés (principalement le ciment) et de permettre aux mahorais de participer à leur propre développement en valorisant leur savoir-faire. 20 ans après, les objectifs ont été atteints : entre 1980 et 1997 ont été construits, à partir de la technique du BTC, 8 000 logements sociaux, 1 000 logements locatifs, de nombreux établissements scolaires, dispensaires et bâtiments publics (Préfecture, DE,...) (photos 12, 13 et 14, annexe 1).

Entre 1980 et 1997, la production de BTC a été de 25 millions de pièces, ce qui correspond à environ 750 000 m<sup>2</sup> de murs (ou encore à 225 millions de francs investis dans la mise en œuvre de BTC).

En 1994, dans le cadre des activités de recherche et d'expérimentation du Secteur Pilote d'Innovation Outre-Mer, un programme a été mis en place avec CRATerre-EAG\* dans le but de définir les modalités de valorisation et de mise en œuvre de cette technique. Toujours dans cette optique et afin de faire face aux matériaux importés, la DE, le SMIAM et la SIM ont signé une convention avec les fabricants de blocs dans l'optique de mettre en place une démarche qualité sur le BTC (cette démarche qualité a également été conduite dans le secteur des produits en béton comme les parpaings).

---

\* CRATerre-EAG : Centre international de la construction en terre ; c'est depuis 1986 un centre de recherche de l'Ecole d'Architecture de Grenoble.

#### **4.3.1.2 SITUATION ACTUELLE**

En 1997 la production de BTC a été estimée à 3 millions de pièces. Il s'agit le plus fréquemment de blocs pleins de format parallélépipédique rectangle (29,5 x 14 x 9,5 cm). Il existe également d'autres fabrications permettant d'obtenir des blocs  $\frac{3}{4}$  ou  $\frac{1}{2}$ , des blocs de chaînage, des blocs perforés, des blocs pour gaines électriques ou des blocs arrondis.

Cette production est assurée par 10 briqueteries sur Grande Terre et 2 sur Petite Terre. Les capacités annuelles de production sont supérieures à 4 millions de BTC (estimation basée sur une capacité journalière de 600 pièces par presse, la présence de 28 presses sur l'île et 240 jours travaillés par an).

Pour la confection de BTC on utilise un mélange constitué de "terre", de dégraissant, d'additifs et d'eau. Les caractéristiques des matériaux constituants, sont données ci-après :

- Terre

On désigne sous ce vocable un mélange en proportions variables de graviers, sable, silt et argile. Les graviers ( $\Phi > 0,08$  mm) assurent le rôle de la matrice stable du BTC, les fines ( $< 0,08$  mm) assurent le remplissage entre les graviers, les silts et argiles constituent le liant et donnent au BTC sa cohésion. Les proportions idéales d'une terre pour BTC sont données dans la notice technique, éditée par la SIM (n° 1.1 d'avril 1997) : 65 à 75 % de sable pour 25 à 35 % d'argile.

- Dégraissant

Lorsque les terres utilisées ont une fraction silteuse ou argileuse trop importante (ou trop active), on doit leur adjoindre un dégraissant constitué généralement de sable.

- Additifs

Ceux-ci sont utilisés pour améliorer les caractéristiques finales du BTC. Les additifs les plus couramment employés sont des produits de stabilisation comme la chaux ou le ciment. A Mayotte c'est la stabilisation au ciment qui est employée. Cet ajout a pour effet de neutraliser la sensibilité à l'eau des fines présentes dans les terres. D'autres additifs peuvent être utilisés pour d'autres buts : colorant pour modifier la teinte des briques, fibres pour améliorer la résistance à la traction et diminuer le retrait.

La notice technique, éditée par la SIM, (n° 1.1 d'avril 1997) prévoit comme dosage usuel :

Sac ciment (50 kg)	1	1
Brouette de terre	1,5	2
Brouette de dégraissant	4	5
Paix (litres)	30-35	40-45
Nb BTC/mélange	70-80	85-95

(volume brouette = 50 litres)

La préparation des produits consiste en un tamisage, le plus souvent manuel, des produits (tamis de 10 mm pour la terre et 20 mm pour le dégraissant), suivi d'un malaxage avec le ciment (1 sac de ciment pour 5 à 7 brouettes de terre et de dégraissant). Le mélange, réalisé manuellement, est d'abord fait à sec puis humidifié. Le temps de retenue est de 30 à 45 minutes. La phase suivante est le pressage des BTC dans des presses manuelles. Le modèle de presse utilisé sur l'île est TERSTERAM de APPROTECNICO avec 4 à 6 N/mm<sup>2</sup> de pression de compression. Le rendement de ce type de matériel est de 600 à 800 pièces/jour. Après pressage, les BTC sont stockés, le plus souvent sous un hangar, sous un polyane durant 1 semaine avant d'être commercialisés.

La mise en œuvre des BTC nécessite au préalable l'établissement d'un plan de calepinage intégrant le principe de non superposition des joints verticaux et de recouvrement minimum d'1/4 de la longueur du bloc (principe également mis en œuvre pour les parpaings). L'épaisseur des joints verticaux ou horizontaux doit être régulière et, au plus, de 1 à 1,5 cm. Ces joints sont réalisés en mortier épais (pour mémoire, un mortier est un mélange de sable et petits graviers avec un liant constitué le plus souvent de ciment et éventuellement de chaux). Le mortier doit avoir la même résistance à la compression et la même tenue à l'érosion que les BTC. Aussi, le mortier conseillé est un mortier de terre stabilisé réalisé à partir des mêmes composants que les BTC. Toutefois, du fait de sa non compression, le mortier présente généralement une résistance moindre que le bloc compressé et son séchage plus rapide peut entraîner des fissurations. Afin de remédier à ces problèmes, on corrige le dosage en augmentant la proportion de sable (diamètre maximal des grains de 2 à 5 mm) ainsi que celle du ciment de 2 à 5 %.

Les dosages conseillés pour le mortier sont les suivants :

Brouette de sable 0/4	Brouette de pouzzolane 0/4	Brouette de terre	Seau d'eau	Sac de ciment
4			5	1
	4		5	1
	4	1	5	1

Volumes : brouette de 50 l ; seau de 10 l et sac de ciment de 50 kg.

Il est exclu de remouiller un mortier dont la prise a commencé car cela entraîne une diminution de la résistance finale.

Au niveau de la qualité, le tableau 4, extrait de la notice technique éditée par la SIM (n°1.2 de mai 1997), compare différents matériaux utilisés à Mayotte :

	Mur BTC 14 cm à 2 parements	Mur parpaing 15 cm + enduit 2 faces	Mur en pierre à 2 parements	Mur béton banché 15 cm ragré
<b>Résistance compression sèche</b>	4,0 MPa	4,0 MPa	-	25 MPa
<b>Masse volumique apparente</b>	1 800 kg/m <sup>3</sup>	1 800 kg/m <sup>3</sup>	-	2 400 kg/m <sup>3</sup>
<b>Absorption d'eau (% poids)</b>	15 %	-	-	-
<b>Isolation thermique (W/m°C)</b>	0,8 à 1,0	1,0 à 1,7	-	1,5 à 1,8
<b>Ordre de prix (matériaux + main d'œuvre)</b>	360 F/m <sup>2</sup>	470 F/m <sup>2</sup>	580 F/m <sup>2</sup>	550 F/m <sup>2</sup>

**Tableau 4 : Comparaison des caractéristiques physiques et des coûts des différents types de matériaux de construction utilisés à Mayotte**

Ce tableau montre, que pour des prix très compétitifs, les réalisations en BTC présentent des performances tout à fait intéressantes pour des constructions individuelles de type pavillonnaire.

Les unités productrices sont équitablement réparties sur l'île, assurant ainsi un réseau de commercialisation des plus efficaces. Les gisements de terre argileuse, provenant de l'altération des roches éruptives, ne manquent pas et les carrières correspondantes sont ouvertes à proximité des lieux de fabrication des BTC.

On peut noter, à ce propos, que ces sites d'extraction sont des carrières au sens du Code Minier et auraient donc dû, à ce titre, faire l'objet de déclarations d'ouverture en Préfecture.

Les sables proviennent des carrières ouvertes pour la production de granulats. Elles sont au nombre de 5 sur l'île : 4 sur Grande Terre (carrière IBS de Majicavo Lamir, carrières ETPC de Koungou, Iloni et Moutsamoudou) et 1 sur Petite Terre (ETPC). On peut remarquer qu'il n'existe actuellement aucun site produisant des sables sur la cote ouest, ce qui induit des transports relativement importants. Les gisements de matériaux pouzzolaniques sont également concentrés dans la partie est de l'île : sur Petite Terre et sur Grande Terre, au nord de Mamoudzou ainsi qu'à Iloni (même si pour ce dernier gisement nous n'avons pas trouvé traces d'analyses mettant en évidence la pouzzolanité des formations exploitées).

Une unité de production de BTC est en activité à proximité de la carrière de tufs pyroclastiques à potentiel pouzzolanique de Kaouéni (site n° 16 ; photos 15, 16, 17 ; annexe 1).

### **4.3.1.3 Perspectives**

La construction en BTC a fait, depuis 20 ans, ses preuves à Mayotte. Elle permet de valoriser une ressource locale en contribuant à la maîtrise des importations de ciment.

Afin d'améliorer la qualité des produits, il est prévu de mettre en œuvre un certain nombre de projets dont le plus important est certainement la mise en place de normes sur le BTC, en collaboration avec le CSTB et en application des règles parasismiques applicables à Mayotte (une étude sur l'aléa sismique régional et local à conduire par le BRGM, devrait permettre de préciser le niveau de sismicité de l'île et d'évaluer le degré d'aléa en fonction des conditions de site).

Une autre initiative destinée à développer l'emploi des BTC a été testée en 1998 lors de la construction des bureaux de Mayotte Bâtiment à Kawani. Sur ce chantier, ont été utilisés des blocs pleins de 22 x 22 x 9,5 cm, ainsi que des blocs de béton d'angle de dimensions 29 x 22 x 9,5 cm avec un trou cylindrique de 12 cm de diamètre. En 1999, le BTC de 22 x 22 cm sera systématiquement utilisé pour la réalisation de tous les logements locatifs de la SIM. Cette technique permet de n'utiliser qu'une brique pour réaliser un mur de 20 cm d'épaisseur, comme demandé par SOCOTEC, alors que 2 briques de 14 cm étaient nécessaires auparavant.

Le bloc de béton d'angle permet, quant à lui, de supprimer les fissures apparaissant au droit des liaisons béton / maçonnerie. Ces fissurations pouvaient provenir de la différence de comportement des 2 matériaux (béton chaîné de forte rigidité et BTC beaucoup plus "souple") ou du retrait hydraulique dans le bloc, si celui-ci n'a pas subi un séchage correct. L'utilisation des blocs de béton d'angle permet de couler, après mise en place d'une armature métallique, le béton dans le coffrage constitué par la superposition des trous de diamètre 12 cm. Les enseignements retirés de ce chantier sont les suivants (extrait de la notice DCR / démarche qualité de la SIM, Brique de béton d'angle du 17 décembre 1998) :

- le coulage du béton du raidisseur devrait sans doute être effectué en une ou deux fois, pour une meilleure homogénéité ; le dimensionnement des armatures doit être revu (3 fers disposés en triangle) ;
- section du raidisseur : selon les règles parasismiques NFP 06-14, le diamètre du trou peut être diminué jusqu'à 12 cm ;
- croisements de murs en T : amélioration du système à envisager, par réalisation de formats de briques béton appropriés.

Toujours en vue d'améliorer la qualité des produits finis tout en augmentant les capacités de production, la société Mayotte Bâtiment a prévu de s'équiper en 1999 d'une presse semi-automatique. Nul doute que la concurrence fera de même contribuant ainsi à la modernisation du parc mahorais de presses à BTC.

Comme on vient de le voir, la construction en BTC semble avoir un bel avenir à Mayotte et pourra répondre à la forte expansion démographique prévue d'ici 2010 (230 000 habitants en hypothèse basse et 249 000 en hypothèse haute). D'après les perspectives en matière d'habitat

et d'équipement, publiées dans le Schéma Régional d'Aménagement et de Développement du Territoire de Mayotte (S.R.A.D.T.), il faudra construire ou renouveler 25 000 logements d'ici cette échéance, soit environ 2 200 logements par an.

On peut comparer ces chiffres aux réalisations de 1997 qui ont consisté en 870 logements sociaux et 250 logements locatifs par la SIM, auxquels il faut ajouter les 270 permis de construire délivrés (sans savoir le pourcentage de ceux ayant réellement fait l'objet d'une réalisation) et les constructions sans permis. Pour ce qui est des réalisations de la SIM, 100 % de logements locatifs ont été réalisés à partir de BTC contre 40 à 45 % pour les logements sociaux (ce pourcentage était encore de 80 % voilà quelques années). Cette baisse est importante car elle montre bien les réticences qu'ont les mahorais vis-à-vis de ce type de construction. Dans le cadre de logements sociaux, le futur propriétaire participant, même faiblement, au financement, a donc son mot à dire et préférera presque systématiquement le parpaing béton, même de très mauvaise qualité, à la BTC.

Le parpaing est le matériau des pays industrialisés, le BTC celui des pays "pauvres", en voie de développement. Au béton et aux produits en béton est associée l'image de la solidité et de la pérennité des ouvrages alors que le BTC, réalisé à partir de terre, véhicule l'image d'un produit dégradable, d'un sous-produit en quelque sorte. Ceci constitue un frein important au développement de cette industrie (la suppression de ce frein sera d'autant plus difficile qu'il s'agit d'un blocage d'ordre totalement psychologique). Le développement futur de cette industrie sera donc porté en grande partie par le programme de logements locatifs de la SIM et les réalisations des équipements publics qu'il faudra construire d'ici 2010.

#### **4.3.2 Briques de terre cuite**

Dans les années 1990 la décision de créer une briqueterie classique, c'est à dire produisant des briques de terre cuite, était prise. Jusqu'alors les seules briques produites à Mayotte étaient les briques ou blocs de terre comprimée, stabilisée au ciment.

L'usine a été construite dans le sud de l'île, à la sortie de Tsimkoura en direction de Mzouazia.

On peut penser que ce site a été choisi en fonction de la proximité du gisement d'argiles kaoliniques de Chirongui. Ce gisement, constitué de 3 buttes a été visité lors de notre mission.

C'est la SIM qui a eu l'idée, dans le cadre de son programme d'habitat social, d'utiliser ces argiles kaoliniques pour la réalisation de briques en terre cuite. Jusque là ce kaolin était exporté vers les autres îles des Comores pour la pharmacopée et les cosmétiques et n'était plus utilisé que localement comme pansement intestinal. En 1982, à la demande de la SIM, le Service géologique régional océan Indien du BRGM a réalisé l'étude de ce gisement (Rocher et Stieltjes, 1982). La description qui suit est extraite de cette étude, complétée par les observations de notre mission en 1998 (**site n° 34**).

L'argile kaolinique de Chirongui provient de l'altération, vraisemblablement fumerollienne, de phonolites, dans une zone fortement injectée de dykes et fracturée. L'argile se présente sous

forme d'amas diffus, de filonnets en contact avec d'autres argiles d'altération ou directement avec la roche mère.

Elle apparaît sous forme de 3 buttes (**photo 18, annexe 1**) (**site n° 44**, figure 1 ; coordonnées moyennes :  $x = 516,05$  ;  $y = 8569,93$  ;  $z \approx 20$ ) dont, seule celle située la plus à l'est du village, présente un kaolin de qualité acceptable (c'est à dire relativement peu mélangé à d'autres argiles) pour la cuisson et des réserves potentielles intéressantes : de 22 000 m<sup>3</sup> (volume observé) à 50 000 m<sup>3</sup> (volume possible). Au niveau de cette butte, le kaolin apparaît sous forme d'une seule masse importante, sans trace visible d'autres argiles ou minéralisations hydrothermales associées. Elle passe progressivement à l'ouest, à de l'argile rouge. Les 2 autres buttes présentent un mélange trop important d'argiles, d'oxydes, de résidus rocheux granuleux, de minéraux d'altération divers,...

Le site visité en 1998 correspond à une ancienne carrière dont le carreau est actuellement occupé par un lycée professionnel. La hauteur du front de taille varie de 3 à 5 m. On accède à ce site par une petite sente qui aboutit à mi-hauteur du front. Le gisement est constitué d'un mélange d'argiles blanches et rouges avec des passages oxydés, la teinte dominante variant de blanchâtre à rosâtre (**photo 19, annexe 1**). Des traces de pelle mécanique sont visibles, confirmant ainsi que ce site a été exploité récemment (mais avant la construction du lycée). De petits grattages sont visibles, l'argile étant utilisée parfois pour les cases. L'urbanisation ayant atteint le pied de ces petites buttes, toute reprise d'exploitation, si la qualité de la matière première le justifiait, semble difficile, voire impossible.

La briqueterie construite à Tsimkoura (**photo 20, annexe 1**) a fonctionné durant 1 an et demi environ (1993-1995). Sa conception et sa mise en route ont été assistées par un briquetier métropolitain. A partir de 2 fours expérimentaux, la première production a été des briques pleines utilisées pour la construction de l'usine.

A l'origine, la matière première était composée d'un mélange d'argiles kaoliniques de Chirongui ( $\approx 50\%$ ) et d'argiles rougeâtres ( $\approx 50\%$ ) provenant d'une carrière située à environ 500 m de l'usine, en bordure de la RN 3. Cette carrière (**site n° 19** :  $x = 514,00$  ;  $y = 8570,00$  ;  $z \approx 10$ ) est composée de 2 gradins de 1,5 m à 2 m de haut. Il s'agit d'argiles sans nodules ni granules, du moins au niveau de l'affleurement, dont la teinte varie de l'ocre au rouge brique foncé voire au noir. Par la suite, devant les difficultés que posait l'exploitation de Chirongui les argiles kaoliniques ont été remplacées par des sables en provenance d'une carrière à Kangani (sables utilisés comme dégraissant).

Durant les 18 mois qu'a duré son exploitation, la briqueterie (gérée par la SABM) a produit des briques creuses 6 trous de 31 x 13 x 9 cm. La couleur des premières briques était rose (couleur due à l'emploi des argiles blanc-rose de Chirongui), alors que celle des dernières était le rouge habituel des briques. On peut encore voir ces 2 couleurs de briques au niveau des anciens bureaux situés derrière la briqueterie (**photo 21, annexe 1**). Les briques que nous avons retrouvé sur le site nous sont apparues comme étant de très bonne qualité (impression qui demanderait à être confirmée par des essais), une remarque pouvant toutefois être faite en ce qui concerne les joints (**photo 22, annexe 1**), dont l'épaisseur de l'ordre de 2 cm ne correspond pas à la pose habituelle (mais se rapproche de celle des BTC). La source d'énergie

utilisée était le fuel, mais il était envisagé d'utiliser ces fours pour brûler les huiles usagées produites sur l'île (la briqueterie a fermé avant que ce projet ne voit le jour).

La production était de l'ordre de 8 à 10 t/jour mais aurait pu atteindre au moins 14 t/j. La commercialisation ne posait aucun problème, semble t'il, les briques étant vendues au fur et à mesure de leur fabrication. Le prix de vente d'une brique était de l'ordre de 4 F contre 7,5 pour un parpaing de 50 x 10 et 3 pour un BTC (de plus la construction en parpaing exige un enduit de finition ce qui amène le prix du m<sup>2</sup> de briques au même niveau que celui du même volume de parpaings). La production concernait également des claustras que l'on peut également voir au niveau des bureaux et du siège de la SIM à Mamoudzou.

La fermeture de l'usine semble donc liée à des problèmes de gestion et non à la qualité des produits fabriqués ou à leur commercialisation (la SIM qui était l'un des investisseurs, étant le principal utilisateur).

Les réserves géologiques en argile de qualité, adaptée à la production de produits en terre cuite existent au niveau de la carrière de Tsimkoura, et certainement dans bien d'autres endroits de l'île (les argiles de la carrière de Tsimkoura correspondent à un type d'altération des formations volcaniques qui n'est pas rare à Mayotte). Techniquement, il semble donc possible de relancer une industrie de la terre cuite à Mayotte mais pas à partir de l'ancienne usine (sa remise en état coûterait certainement trop chère, le matériel visible étant totalement détruit : bandes transporteuses lacérées, moteurs remplis de terre, pneus des engins crevés,...). L'ajout des argiles kaoliniques de Chirongui n'étant pas indispensable à la fabrication du produit recherché (l'expérience l'a montré), cette nouvelle unité pourrait être installée plus près des centres consommateurs et de production du dégraissant (mais impérativement à proximité d'un gisement d'« argiles rouges »). Pour mémoire, nous rappellerons que les argiles pour terre cuite sont des argiles mixtes constituées d'un mélange illite – kaolinite, à illite prédominante, avec un peu de smectite (la teneur en smectites doit être inférieure à 10 % car celles ci possèdent un fort pouvoir gonflant en présence d'eau entraînant un fort retrait au séchage ; par contre, elles présentent un grand pouvoir plastifiant lié à l'extrême finesse des particules, ce qui justifie leur intérêt).

La reconnaissance de gisements d'argiles aptes à la production de terre cuite devra donc s'appuyer sur des déterminations minéralogiques fines (diffractométrie de Rayons X,...), afin de qualifier les différents gisements en fonction de l'usage recherché.

On doit toutefois se poser la question de la pertinence de l'implantation d'une telle industrie à Mayotte. En effet, l'essentiel de la production concernera des briques qui concurrenceront sur le marché les BTC et les parpaings en béton. Même si d'ici 2010 le S.R.A.D.T. prévoit la construction de 2 200 logements par an, il semble difficile de trouver un compromis économiquement acceptable entre ces 3 produits, d'autant plus que le mahorais risque de privilégier, si on lui laisse le choix, le parpaing béton à tout autre produit.

Aussi, pour rentabiliser une telle implantation, il est nécessaire d'envisager soit un autre marché, extérieur à Mayotte, mais pas trop éloigné (en raison du coût du transport qui ne doit pas être trop élevé pour un produit à faible valeur ajoutée), soit d'étendre la gamme des

produits fabriqués. Le marché extérieur pourrait être La République islamique des Comores (Madagascar ayant ses propres unités de fabrication), et éventuellement La Réunion (en dépit de la distance et du manque d'habitude locale pour l'emploi de matériaux de terre cuite). Cette hypothèse semble actuellement hasardeuse et devrait, de toute façon, faire l'objet d'une faisabilité sérieuse. Pour ce qui est de la gamme des produits fabriqués, aux briques et claustras pourraient s'ajouter les poteries horticoles et les tuiles.

Par ailleurs, l'introduction de tuiles sur le marché mahorais serait un nouveau concept qui pourrait intéresser des promoteurs ou des architectes mais qui risque de passer difficilement auprès du particulier, la tuile exigeant au préalable une charpente très bien faite, alors que la tôle ondulée, beaucoup plus souple, est plus tolérante).

### **4.3.3 Autres produits**

Actuellement, les autres produits utilisant l'argile comme matière première et fabriqués sur l'île, sont des poteries. Leur lieu de fabrication est Sohoa, sur la cote ouest. Il s'agit de la fabrication très artisanale d'une coopérative regroupant quelques potiers perpétuant une tradition. Bien que doté par les Collectivités locales de matériel moderne (malaxeur, tours,...), la fabrication se fait, comme jadis, avec un tamisage manuel de l'argile, une humidification de celle-ci dans des bassines recouvertes de toile de jute, mélange régulièrement pétri jusqu'à obtenir une pâte la plus plastique possible, suivie du façonnage des pièces avant un séchage à l'air libre, puis d'une cuisson dans un four situé à l'extérieur du bâtiment (**photo 23, annexe 1**). Les poteries fabriquées sont des poteries culinaires de teinte rouge brique foncé ornées de quelques motifs géométriques à la peinture blanche. Les pièces fabriquées à la main n'ont pas de forme régulière et il paraîtrait que certaines ne sont pas étanches, interdisant ainsi leur utilisation. Le jour de la visite de l'atelier, en nous expliquant la fabrication des pièces, la responsable présente a refermé une fissure de plusieurs cm de long et d'au moins 5 mm de large sur un pichet en cours de séchage. Les autres pièces en cours de séchage présentaient toutes des fentes de retrait plus ou moins marquées. Il est vraisemblable que l'origine de ces problèmes est à rechercher dans la nature de l'argile utilisée et dans l'absence d'un dégraissant. Le dégraissant le plus couramment employé est le sable ; il a pour objet de :

- diminuer la plasticité des argiles trop grasses ;
- faciliter l'évacuation de l'eau de façonnage et limiter le retrait au séchage ;
- réduire considérablement le retrait à la cuisson.

Il serait intéressant de faire quelques poteries expérimentales en utilisant le matériel de potier non utilisé et un mélange d'argile et de sable fin (les pourcentages relatifs ayant été préalablement défini par quelques essais de cuisson de barrettes). La société Mayotte Carrelage qui commercialise des produits venant de France ou de l'étranger (Maroc en particulier) et qui en fabrique d'autres à partir de biscuit importé (de Limoges principalement), nous a signalé que les terres mahoraises pouvaient cuire mais ne prendraient pas l'émaillage et poseraient des problèmes vis-à-vis du retrait (sur ce dernier point, il doit être possible de trouver sur l'île des gisements d'argiles ne posant pas de problème de retrait puisque ce défaut n'affectait pas les briques fabriquées à Tsimkoura. D'ailleurs un essai d'utilisation de l'argile

rouge de Tsimkoura serait intéressant à réaliser). Mayotte Carrelage nous a également déclaré que les anciens fabriquaient des poteries sur l'île avec de la terre venant de Madagascar.

Les potiers de Sohoa utilise, pour leurs poteries, une argile venant d'une butte situé à environ 1 km à l'est du village et que nous avons visité (**site n° 28** :  $x = 512,25$  ;  $y = 8582,58$  ;  $z \approx 140$ ). Ce site (**photo 24, annexe 1**) a été exploité pour la fourniture de remblais lors de la réalisation de la déviation de Chiconi. Il se présente sous la forme d'un éperon exploité sur 3 de ses faces. Sur la face ouest (regardant la mer) un "os" de basalte très altéré, gris bleuté, se débitant verticalement en plaquettes de quelques centimètres est le dernier témoin de la formation géologique avant argilisation.

Ce vestige de lave basaltique, épais de moins de 50 cm est limité par des épontes rougeâtres argileuses. Les formations exploitées comme tout-venant sont constituées de blocs anguleux de basalte, massif ou vacuolaire, altéré à très altéré, inclus dans une gangue argileuse rouge, légèrement sableuse à scoriacée, également plus ou moins altérée. Les niveaux argileux (argile rouge très plastique et très finement sableuse), que l'on trouve au niveau du carreau de la carrière, sont exploités manuellement dans de petites excavations et, seuls, les faciès sans "blocs" sont utilisés pour les poteries au rythme de 2 brouettes par semaine en moyenne (l'apparente plasticité de ces argiles pourrait être due à une teneur trop élevée en smectites).

Au cours de notre mission, nous avons eu l'occasion de voir 3 tables d'orientation. Deux d'entre elles sont recouvertes de carreaux de faïence de 2 cm x 2 cm : la première à l'est de Chirongui au niveau du carrefour RN3 – CCT4, la seconde sur le CCT4 entre Passi Kéli et Dapani. La troisième se trouve le long de la piste menant au Mlima Combani et est recouverte de carreaux de faïence de 10 cm x 10 cm (**photo 25, annexe 1**). Sur l'un des carreaux était inscrit le nom du fabricant et son adresse : Mayotte Carrelage, Z I de Kawani. Au cours de la visite de cette société, nous avons appris que ces carreaux ont été peints, émaillés et cuits à Mayotte mais à partir d'un biscuit d'importation (Espagne).

Une étude réalisée par le BRGM en avril 1978 (Billard, rapport BRGM 78 REU 02) avait déjà permis de reconnaître, échantillonner et tester 28 gisements d'argile répartis sur toute l'île et présentant des gîtologies différentes (seuls les gisements présentant des réserves compatibles avec une éventuelle exploitation ont été échantillonnés). Les tests réalisés ont consisté en :

- la confection de briquettes 10 x 5 x 3 cm ;
- la cuisson des briquettes au four électrique à 950° C ;
- des mesures de résistance mécanique des briquettes crues ou cuites à la presse portative Franklin (fendage entre pointes).

Les résultats sont consignés dans le tableau 5 :

N° Ech.	X	Y	Nature du gisement	Couleur		Rupture échantillon (kg/cm <sup>2</sup> )	
				Matériau cru	Matériau cuit	Matériau cru	Matériau cuit
1	506,20	8594,00	limon argilo-sableux	brun	marron	0,3	1,7
2	517,65	8593,40	phonolite décomposée	brun	marron clair	0,9	1,9
3	513,30	8586,90	Argile latéritique	brun	marron	0,3	0,2
4	512,24	8587,30	argile latéritique	rouge brique	rouge brique	1,6	6,9
5	514,50	8585,20	Argile latéritique	marron clair	marron	0,8	2,2
6	515,05	8587,25	limon argilo-sableux	brun jaunâtre	marron	0,6	7,7
7	515,15	8587,65	limon argilo-sableux	ocre	rose	0,5	1,8
8	515,55	8588,35	limon argilo-sableux	brun jaunâtre	marron	2,7	6,3
9	512,85	8584,70	limon argilo-sableux	brun	marron	0,4	17,8
10	513,35	8585,40	limon argilo-sableux	brun	marron	4,6	9,3
11	513,50	8583,60	Tuf altéré	bariolé brun-ocre	marron	1,3	21,3
12	514,00	8583,55	limon argilo-sableux	marron foncé	marron	0,4	0,5
13	514,45	8583,70	Tuf altéré	beige	rouge brique	3,4	9,3
14	518,20	8588,15	Tuf altéré	brun gris	marron	6,4	13,2
15	508,30	8573,05	Tuf altéré	brun	marron	2,2	11,8
16	509,80	8574,05	Tuf altéré	bariolé ocre- gris	marron jaunâtre	1,0	8,2
17	511,80	8578,25	Tuf altéré	bariolé ocre-gris	marron	1,2	15,0
18	511,30	8578,55	Tuf altéré	bariolé rouge-ocre	ocre rosé	0,7*	10,7
19	511,55	8582,60	Tuf altéré	rouge	rouge	3,3	11,5
20	511,30	8582,80	Scories décomposées	gris foncé	marron	6,7	24,0
21	516,40	8581,75	limon argilo-sableux	bariolé ocre-noir	marron	2,5	9,5
22	517,80	8577,35	Argile latéritique	marron	marron	0,2	1,5
23	521,10	8574,45	limon argilo-sableux	brun	marron	0,7	5,3
24	509,60	8571,75	Tuf altéré	bariolé ocre-gris	marron clair	1,3	7,3*
25	511,05	8570,60	Tuf altéré	bariolé ocre-rouge	marron	0,6*	14,0
26	516,20	8570,00	Tuf altéré	bariolé ocre-gris	marron	1,4	8,5*
27	517,70	8566,10	Scories décomposées	brun clair	marron	2,0	3,9*
28	514,95	8564,05	Tuf décomposé	marron foncé	marron foncé	2,5	8,9*

\* : valeur non significative = échantillon diaclasé

**Tableau 5 : Résultats d'essais sur des matériaux argileux de Mayotte**  
(d'après rapport BRGM 78 REU 02)

L'échantillon n° 19 pourrait correspondre aux argiles de Sohoa (le degré de précision du report des sites sur les cartes pouvant expliquer les différences entre coordonnées), le n° 26 aux argiles de Chirongui.

Ces essais mettent en évidence :

- la qualité médiocre des argiles latéritiques et de la phonolite décomposée ;
- la qualité variable des argiles alluvionnaires ;

- la qualité généralement bonne des argiles provenant de l'altération de tufs pyroclastiques ou de scories basaltiques.

#### **4.3.4 Bilan**

Les formations argileuses sont actuellement exploitées à Mayotte pour la fabrication de blocs de terre comprimée et, de manière marginale, pour les poteries de Sohoa. Il y a encore peu de temps, elles étaient utilisées pour la production de briques et claustras en terre cuite. La qualité des BTC, des briques et claustras en terre cuite est bonne ; il n'en est pas de même pour les poteries de Sohoa. Les formations argileuses sont présentes quasiment partout sur l'île, en quantités plus ou moins importantes, mais il n'est pas sûr que leur qualité permette toujours une utilisation industrielle, surtout si celle-ci implique une cuisson. Le tableau 5 met en évidence certaines formations susceptibles de fournir des argiles de qualité valorisables.

Pour ce qui est des BTC, la technique de fabrication et de pose est maintenant bien au point, les réserves en matières premières assurées (même si dans certaines régions de l'île, comme la moitié ouest, une partie des matières premières comme les sables ou la pouzzolane doit voyager sur plusieurs dizaines de kilomètres). L'utilisation de ce produit se heurte à la mauvaise image que la majorité des mahorais a de lui.

Pour ce qui est des produits en terre cuite, l'expérience de Tsimkoura a montré qu'il était techniquement possible de produire, à partir de terres mahoraises, des briques en terre cuite de bonne qualité, la faillite de l'entreprise étant due à des problèmes de gestion, semble t'il. Cependant, dans l'hypothèse de la relance de cette industrie, ces briques entreraient en concurrence avec les BTC et les parpaings qui, nécessitant pour leur fabrication de plus petites unités, pourront être produits à proximité des lieux de consommation. Aussi, une étude de marché devra être réalisée avant tout nouveau projet, qui inclura les possibilités à l'exportation et la fabrication de nouveaux produits.

Pour ce qui est des poteries, les réalisations observées à Sohoa ne sont pas de bonne qualité. Cela est certainement dû aussi bien à une mauvaise mise en œuvre qu'à une qualité non adéquate de la matière première, et en particulier l'absence de dégraissant. Avant de se prononcer sur les possibilités de réaliser, à partir de terres mahoraises, des poteries de qualité, il sera nécessaire de tester différentes argiles avec et sans ajout de dégraissant (dans une première étape, ces tests pourraient concerner les argiles retenues dans l'étude de 1978 du BRGM).

## **4.4 LES ROCHES À POTENTIEL POUZZOLANIQUE**

### **4.4.1 Définitions**

- Le terme de pouzzolane vient de Pouzzoles, ville italienne de la région de Naples. Il s'agit d'un matériau volcanique cendreux, de composition trachytique, de couleur claire et friable. En France, on réserve le terme de pouzzolane à des roches naturelles

correspondant à des projections (dites stromboliennes) volcaniques scoriacées, essentiellement basaltiques.

Par extension, le terme de pouzzolane est parfois attribué à des matériaux naturels ou artificiels présentant des propriétés pouzzolaniques.

- La pouzzolanité ou effet pouzzolanique, peut se définir comme la capacité qu'ont certains matériaux, à température ambiante et en présence d'eau, de fixer l'oxyde de calcium (chaux) pour donner des composés stables possédant les propriétés hydrauliques du ciment (Rocher, 1992). La pouzzolanité d'un matériau dépend de sa composition chimique (silice, alumine, chaux), du degré de vitrosité et de sa finesse (pouvant être améliorée par broyage). Dans un premier temps, elle dépend de la surface spécifique du matériau, ensuite elle est fonction de la teneur en silice "réactive" correspondant à la fraction vitreuse. La pouzzolanité d'un matériau est mesurée par l'essai Chapelle qui a l'avantage d'être rapide et peu onéreux. Il consiste à faire bouillir dans 250 cm<sup>3</sup> d'eau distillée, pendant 16 heures, 1 mg de matières à tester et 1 g de chaux décarbonatée. La silice et l'alumine se combinent à la chaux pour former des silicates et des aluminates de calcium. La quantité de chaux fixée fournit des indications sur la pouzzolanité du matériau.

Les matériaux naturels qualifiés de pouzzolanes et de ponces dans le langage des carriers, correspondent à des formations volcaniques pyroclastiques. Celles-ci sont constituées de fragments de lave plus ou moins vésiculée et ont en commun une mise en place explosive à partir d'un magma riche en gaz.

- Les scories (pouzzolanes au sens français) sont généralement des retombées, de nature basaltique, formant des cônes, à l'aplomb d'une fissure éruptive (on distingue également des scories de base ou de toit de coulée). De nombreux cônes de scories (dans lesquels s'intercalent souvent des coulées de lave) se sont édifiés au cours de l'histoire géologique de Mayotte.
- Les ponces se forment à partir de fragments d'un magma visqueux, très siliceux et riche en composants volatils dissous (en particulier de la vapeur d'eau) qui, projetés en l'air lors d'une éruption volcanique explosive, subissent une brutale chute de pression, ce qui produit un dégazage et la formation de bulles séparées par de minces parois de verre. Elles peuvent se mettre en place sous forme d'écoulements (coulées et déferlantes pyroclastiques) ou de retombées. Leur chimisme est plus différencié (plus riche en silice) que celui des scories ; elles sont friables, leur structure est vitreuse et leur texture est micro-vésiculée (ce qui leur confère une grande porosité et une faible densité - les ponces peuvent flotter sur l'eau -). A Mayotte, l'évolution du chimisme du magma au cours des 500 000 dernières années, a donné lieu à l'ouverture de cratères d'explosion (Kaouéni, Dziani Dzaha,...) dont les parois et les alentours sont constitués de tufs pyroclastiques ponceux.

Au cours de notre mission, nous avons reconnu les principaux affleurements de tufs pyroclastiques (cendres, ponces, scories non argilisées,...) présents à Mayotte.

#### **4.4.2. Gisements mahorais de pouzzolanes et roches à effet pouzzolanique**

A Mayotte, beaucoup de formations pulvérulentes, utilisées comme remblais routiers (ou en couche de fondation) sont appelées à tort "pouzzolanes" sur le seul critère de leur aspect et de leur couleur. Les 3 premiers sites décrits ci-dessous correspondent à des formations dont la pouzzolanité a été prouvée, les suivants à des sites pour lesquels nous n'avons pas trouvé traces de tests.

- **Site n° 16** (x = 524,33 ; y = 5889,85 ; z ≈ 40)

C'est le principal site à pouzzolanes de l'île. Situé sur le rebord nord de l'ancien cratère correspondant à l'actuelle zone industrielle de Kaouéni, ce site alimente en pouzzolane de qualité la quasi-totalité de l'île. La formation exploitée correspond à des dépôts pyroclastiques gris, lités, cendro-graveleux, friables à très cohérents (**photo 26, annexe 1**). Dans l'ensemble, la granulométrie est fine, mais localement on peut y trouver quelques lits à lapilli et de rares blocs de taille décimétrique. L'exploitation se fait manuellement (pelles, pioches). Le matériau extrait est criblé sur le site à l'aide de tamis rudimentaires constitués d'un cadre en bois et d'une toile métallique à maille variable (carré : 1x1 cm ; rectangulaire : 1x2 cm ; hexagonale : 2 cm ; etc...) (**photo 27, annexe 1**). Un premier niveau exploité correspond au prolongement vers l'ouest de la fabrique de BTC. Le second est situé légèrement plus haut, le long du chemin menant au réservoir. Le jour de notre visite, un bulldozer était sur le site mais il ne semble pas utilisé pour l'extraction des matériaux mais plutôt pour dégager les stériles. Au niveau des zones d'emprunt on peut remarquer que lorsque des dalles ou des blocs plus indurés se présentent, l'exploitation se fait autour, les matériaux correspondant partant en stériles. Un simple concassage permettrait de les valoriser et d'accroître ainsi les réserves du gisement.

- **Site n° 40** (x = 531,65 ; y = 8586,98 ; z ≈ 20)

Ce site, localisé sur Petite Terre, correspond à un affleurement de tufs ponceux clairs, gris-blanc, souvent lités, plus ou moins cohérents (**photo 28, annexe 1**). La granulométrie de cette formation, issue des cratères d'explosion situés juste à l'ouest, est généralement fine, mais elle est parcourue par de nombreux lits plus grossiers de lapilli et de petits blocs de basalte (< 5 cm). Les figures de dépôt observées sur l'affleurement font penser à un processus de mise en place de type retombée gravitaire.

- **Site n° 41** (x = 530,40 ; y = 8585,23 ; z ≈ 10)

Ce site correspond à des travaux d'affouillement réalisés pour le nouveau collège en construction sur Petite Terre. Les formations visibles sont des tufs cendro-ponceux gris-blanc, à granulométrie très fine et sans lits graveleux, du moins au niveau du talus vertical de 1 m de haut que nous avons observé (**photo 29, annexe 1**).

- **Site n° 5** (x = 520,93 ; y = 8578,92 ; z ≈ 60)

Il s'agit de la carrière ETPC d'Iloni au niveau de laquelle, dans sa partie nord, on peut voir un front de taille de quelques mètres de hauteur constitué d'une formation rouge brique d'éléments pyroclastiques vésiculés et de cendres oxydées et plus ou moins argilisées. ETPC qui exploite la carrière de basalte mitoyenne extrait à la demande les matériaux cendro-ponceux de ce gisement, crible les produits et les commercialise pour la fabrication de BTC. Nous mentionnons ce site car il est cité comme gisement de pouzzolane dans la notice technique sur les blocs de terre comprimée (notice technique éditée par la SIM sous le n° 2.2 d'août 1997).

- **Site n° 26** (x = 516,58 ; y = 8592,17 ; z ≈ 5)

Ce site (**photo 30, annexe 1**) a fait l'objet d'extractions à la pelle mécanique, des traces de godet étant très nettement visibles sur le front de taille. Situé en bordure de la RN 1, entre Longoni et Bouyouni, dans une zone où la route a été refaite, on peut penser que les matériaux extraits ont été utilisés lors des travaux et que depuis la fin de ceux-ci (environ 1 an) aucun désordre n'est apparu. Ces matériaux sont constitués de tufs cendreux blanchâtres, soudés, cohérents (le front de taille est vertical, haut de 2 à 3 m), mais s'effritant facilement sous les doigts et renfermant de nombreux blocs de lave d'une taille le plus souvent inférieure à 10 cm, mais pouvant parfois atteindre 50 cm. Il se pourrait que ces cendres indurées aient un certain pouvoir pouzzolanique.

- **Site n° 27** (x = 514,21 ; y = 8592,92 ; z ≈ 10)

Situé en talus de la RN1, entre Bouyouni et Dzoumonyé, ce site correspond à un affleurement de tufs cendreux gris clair, indurés, se débitant sous le marteau en petits rognons inférieurs à 5 cm (**photo 31, annexe 1**). Ces cendres sont formées de "grains" très fins, isogranulaires avec quelques indurations pouvant atteindre 2 à 3 mm. A l'affleurement, elles se présentent en lits horizontaux superposés d'épaisseur variant de 5 cm à 70 – 80 cm. Cet affleurement, épais de 5 m en moyenne sous 1 à 2 m de découverte sablo-terreuse, se prolonge sur une centaine de mètres.

- **Site n° 36** (x = 520,95 ; y = 8576,65 ; z ≈ 50)

Il s'agit d'un petit affleurement, situé le long de la RN 3, entre Hajangoua et Nyambadao. Cet affleurement qui forme un talus haut de 1 à 2 m et se prolongeant sur une cinquantaine de mètres le long de la route, est constitué de ponces brunes à rougeâtres voire noirâtres devenant ocre sous l'effet de l'argilisation (**photo 32, annexe 1**). Suivant les endroits, les ponces sont saines ou altérées. Localement, quelques blocs ( $\Phi$  20 à 30 cm) de lave scoriacée coexistent avec les ponces.

- **Site n° 43** ( $x = 529,70$  ;  $y = 8587,48$  ;  $z \approx 30$ )

Il s'agit d'une ancienne carrière située sur Petite Terre, certainement encore exploitée actuellement, mais de façon clandestine (**photo 33, annexe 1**). En effet lors de notre visite, des ouvriers qui ont dû être dérangés, ont fui en laissant sur place leurs effets personnels : vélos, pelles, râpeaux, conteneur avec lit,... L'activité semble concentrée au niveau d'un talus d'éboulis de granulométrie 0/250 mm. 2 tas de produits "élaborés" se trouvent à proximité : le premier de granulométrie fine (0/5 ou 6 mm), le second de granulométrie grossière (0/31,5). Il s'agit peut être des restes d'une ancienne exploitation mais nous pensons qu'il s'agit plutôt de produits actuellement commercialisés : le 0/5 ou 6 mm comme matière première pour BTC, le 0/31,5 mm pour les travaux routiers. Le jour de notre visite, aucun moyen de criblage, même rudimentaire, n'était visible sur le site. Les gros blocs, ( $\Phi$  environ 20 à 30 cm) sont récupérés par les habitants de l'île et on peut en voir de nombreux entrant dans la construction des maisons de Labattoir.

La carrière est composée de 1 à 3 gradins suivant les endroits. La hauteur totale du front de taille est d'environ 20 m et la découverte argilo-sableuse, de couleur brune, est peu puissante (de 1 à 1,5 m). La formation extraite est constituée de ponces grises à rouge, selon les endroits, à passées friables donnant des sables et des blocs très alvéolés (**photo 34, annexe 1**). Dans un coin de la carrière, un petit puits a été creusé. L'eau se trouve à environ 1 m sous le niveau du carreau.

#### **4.4.3 Perspectives d'utilisations des pouzzolanes à Mayotte**

##### **4.4.3.1 Qualité des pouzzolanes mahoraises**

L'activité pouzzolanique des gisements de Kaouéni et de Petite Terre a été étudiée dans le cadre de l'étude réalisé par le BRGM en 1978 (Billard, Rapport BRGM 78 REU 02).

Les analyses effectuées sur les échantillons prélevés ont été comparés avec un échantillon témoin constitué d'une pouzzolane du Latium (essais réalisés dans l'optique d'une utilisation en ajout au clinker pour la fabrication de ciment).

Les principales conclusions de ces essais, extraites du rapport de 1978 sont les suivantes :

"Les 2 échantillons de tufs de Mayotte : tuf de Pamanzi et tuf de Mamutzu, présentent les propriétés chimiques caractéristiques de l'activité pouzzolanique..."

Les résultats des tests de réactivité aux alcalis réalisés sur les matériaux pulvérisés à environ 6 500 cm<sup>2</sup>/g Blaine confirment l'activité pouzzolanique indiquée par les essais chimiques.

Les cinétiques de mise en solution de SiO<sub>2</sub> et Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> mettent en évidence une réactivité légèrement plus faible des tufs de Mayotte par rapport à la pouzzolane étalon du Latium. L'échantillon de tuf le plus intéressant est celui de Mamutzu dont la cinétique de mise en

solution de la silice est très rapide et proche de la cinétique obtenue avec la pouzzolane du Latium...

La broyabilité du tuf de Mamutzu est supérieure à celle de la pouzzolane du Latium...

Les minéraux argileux n'ont pas été décelés dans les tufs de Mayotte...

Les phases vitreuses présentes en abondance dans les tufs de Mayotte sont, très probablement à l'origine de l'activité pouzzolanique."

De ces essais il ressort que les tufs pyroclastiques actuellement exploités à Kaouéni sont de vraies pouzzolanes dotées de pouvoirs pouzzolaniques non valorisés actuellement.

#### **4.4.3.2 Utilisations actuelles**

Actuellement, les pouzzolanes sont utilisées comme dégraissant dans certaines fabriques de BTC ainsi qu'en substitution aux sables, lorsque les lieux d'utilisation sont proches de la carrière. Même si le pouvoir pouzzolanique est utilisé lors du mélange avec le ciment, il est possible de valoriser davantage cette richesse propre au sous-sol mahorais.

#### **4.4.3.3 Utilisations potentielles**

Les pouzzolanes peuvent être utilisées à bien d'autres fins que celles qui sont citées ci-dessus. En 1991, la consommation de pouzzolane en France métropolitaine se répartissait de la façon suivante (les pouzzolanes françaises ne sont pas utilisées pour la fabrication du ciment) :

• Viabilité.....	: 42,1 %
• Bâtiment.....	: 23,0 %
• Agriculture.....	: 17,5 %
• Assainissement.....	: 11,5 %
• Sols sportifs.....	: 4,5 %
• Industrie.....	: 1,2 %
• Autres utilisations.....	: 0,2 %

#### **• Viabilité**

En technique routière, les pouzzolanes sont utilisées dans les assises et la structuration des chaussées. Elles servent également à la constitution de drains et de remblais, au recouvrement des câblages et canalisations souterraines.

Mais c'est surtout leur capacité à se lier à la chaux en présence d'eau avec formation d'un liant à prise lente qui confère à ces produits tout leur intérêt en construction routière. Les résistances sont d'autant plus élevés que les granulométries sont fines et les dosages pouzzolanes – chaux voisins de : 80% de pouzzolane, 20 % de chaux (en poids sec) et 8 à 11 % d'eau.

Cette utilisation s'adapte à tous les types de granulats en constituant les **graves – pouzzolanes – chaux** mais c'est avec les matériaux basaltiques que l'on obtient les meilleurs résultats (avec 77 % de graves basaltiques, 20 % de pouzzolane et 3 % de chaux on obtient 15 bars à 28 jours et 32 bars à 60 jours).

- **Bâtiment**

Les pouzzolanes, du fait de leur légèreté (densité moyenne à l'état brut, départ carrière et non tassé variant de 1,15 à 0,80 g/cm<sup>3</sup> selon les granulométries pour ce qui est des pouzzolanes françaises) trouvent de nombreuses applications dans le bâtiment : bétons légers (blocs pleins ou caverneux, parpaings, buses,...), bétons réfractaires, isolation phonique et thermique, couches sous dalles et carrelages,...

- **Agriculture**

Dans ce domaine, les pouzzolanes sont utilisées pour le drainage, l'amendement des sols (effets physiques en permettant l'aération des sols lourds et, à long terme, amendements chimiques pour les sols pauvres sableux ou limoneux, les pouzzolanes étant, en général, riches en silice, en alcalino-terreux, en phosphore et en oligo-éléments) et comme substrats (mélangés à de la tourbe, du terreau ou du compost pour le maraîchage et l'arboriculture)

- **Assainissement**

Compte-tenu de leur structure alvéolaire qui leur confère une grande surface spécifique, les pouzzolanes sont utilisées dans les filtres d'eau potable et surtout au niveau des plateaux absorbants et des lits bactériens des stations d'épuration et des filtres de fosses septiques.

- **Sols sportifs**

Les pouzzolanes peuvent constituer la couche drainante, la couche intermédiaire ou de surface, le remplissage des fentes de drainage de sols gazonnés ou stabilisés (terrain de football, golf, pistes d'athlétisme,...)

- **Industrie**

Ce secteur consomme peu de pouzzolanes ; l'utilisation qui en est faite est essentiellement celle de dégraissant pour la fabrication de produits de terre cuite.

- **Autres utilisations**

Elles sont marginales et concernent : les litières pour chat, les pierres d'aquarium, les matériaux pour barbecues, l'ornementation et la décoration...

#### **4.4.4 Perspectives d'utilisation des ponces**

A Mayotte, les ponces ne semblent être utilisées que sur Petite Terre, en substitution aux sables et graviers.

Cependant, les ponces pourraient être utilisées comme les autres tufs pouzzolaniques dans les domaines où sont recherchés des matériaux à structure alvéolaire et de faible densité. Certaines de ces applications pourraient intéresser Mayotte :

- **Bâtiment**

Les ponces peuvent produire des granulats légers utilisés pour la fabrication de parpaings et de bétons isolants (isolation thermique et phonique), légers et résistants. Leur emploi permet la réduction du poids des éléments de construction, de la masse des fondations et des structures portantes.

- **Abrasifs**

Les ponces sont des abrasifs "doux" (dureté de 5 à 6 sur l'échelle de Mohs) ; elles ne rayent pas le verre. Elles sont utilisées, en tant que poudres abrasives, pour traiter des matières naturelles et synthétiques dans des domaines variés : odontologie et prothèse dentaire, verrerie (dont lunetterie), cristallerie, cosmétologie (dentifrice et pommades),...

Dans le secteur du délavage des textiles (jeans en particulier), les ponces calibrées sont utilisées pour adoucir la rugosité des vêtements. L'intérêt de la ponce est qu'elle s'use sans se briser ni s'effriter (actuellement la ponce est concurrencée par une technique mettant en jeu une poudre chargée d'un enzyme).

- **Charges minérales**

Les ponces sont utilisées comme charge minérales dans différents produits : plastiques, caoutchoucs, mastics, colles, peintures. Suivant les cas, elles interviennent comme agent de fluage, d'adhérence ou antidérapants.

- **Agriculture**

Les matériaux ponceux sont employés comme substrats de culture et pour l'amendement des sols (rétention d'eau importante et de fertilisants en phase aqueuse). Du fait de leur inertie chimique, les ponces sont utilisées comme supports de produits phytosanitaires (herbicides, pesticides).

- **Filtration et autres utilisations**

Les ponces sont utilisées comme agent de filtration en pétrochimie et surtout pour l'épuration des eaux potables ou usées.

Parmi les autres applications, on peut citer les absorbants industriels (huiles,...), les litières animales, les barbecues (rétention thermique), les synthèses minérales (zéolites en particulier).

#### **4.4.5 Bilan**

Les tufs pouzzolaniques de Mayotte, en particulier ceux produits à Mamoudzou, sont des matériaux d'excellente qualité qui pourraient être beaucoup mieux valorisés qu'ils ne le sont actuellement.

Parmi les différents types d'utilisation présentées dans les paragraphes précédents, certains pourraient être expérimentés sur l'île.

En particulier, le pouvoir pouzzolanique pourrait être utilisé pour la réalisation de graves-pouzzolanes-chaux dont la mise en œuvre améliorerait la qualité du réseau routier mahorais. De même, l'utilisation de pouzzolanes dans la fabrication des bétons et produits en béton améliorerait l'isolation phonique et thermique des constructions tout en diminuant le poids des différents constituants. En particulier pour ce qui est de la viabilité (technique graves-pouzzolanes-chaux, en particulier), du bâtiment (fabrication d'éléments en béton léger, amélioration de l'isolation).

Une autre possibilité pour valoriser cette ressource consisterait à importer du clinker, et non pas du ciment, et à le broyer sur place en y incorporant la pouzzolane (c'est ce qui se fait actuellement à La Réunion). Toutefois lors du broyage du clinker, d'autres matériaux doivent être ajoutés, principalement du gypse qu'il faudrait alors importer (les quantités de gypse correspondantes seraient cependant faibles : pour un ajout de 5 % maximum de gypse et sur l'hypothèse de 50 000 t/an de clinker importées, les besoins seraient de 2 500 t/an).

Dans le cadre de la campagne d'assainissement actuellement mise en place sur l'île, les pouzzolanes locales pourraient également trouver une application au niveau des plateaux absorbants et des lits bactériens de stations d'épuration. Une autre possibilité de valorisation serait, dans le cadre de la création sur l'île d'un centre de broyage du clinker, de les mélanger à ce dernier afin de produire des ciments pouzzolaniques (teneur en matériaux à caractère pouzzolanique comprise entre 30 et 40 %, ce qui diminuerait d'autant les importations de ciment).

Par ailleurs, les ponces de Mayotte, si leur caractère pouzzolanique est prouvé, pourraient se substituer aux pouzzolanes dans de nombreuses applications. Toutefois, le seul gisement actuellement exploitable est celui de Petite Terre et sa remise en activité n'ira pas sans poser des problèmes environnementaux.

Compte tenu de leur faible prix en sortie d'exploitation, les pouzzolanes sont des matériaux fortement handicapés par les coûts de transport. Elles sont donc destinées à un marché local et leur exportation ne pourrait être que marginale.

Le cas des ponces est un peu différent. En Europe, les matériaux destinés au secteur du bâtiment sont employés localement, alors que les produits plus spécifiques, notamment ceux entrant dans la fabrication des abrasifs, peuvent parcourir de grandes distances.

## **5. Conclusions**

L'étude sur la valorisation des ressources en roches et minéraux industriels à Mayotte a permis de mettre en évidence 3 filières possibles :

- La première filière concerne les roches volcaniques "saines" (basaltes et phonolites) actuellement exploitées pour la production de granulats (route et béton) et de pierres dimensionnelles. Ces productions se poursuivront dans l'avenir, en se développant même fortement pour ce qui est des granulats (doublement prévisible d'ici 2015). Ces roches volcaniques "saines" pourraient éventuellement, si leurs caractéristiques physiques et chimiques le permettent, être utilisées pour la fabrication de laine de roche et de pierres ornementales polies. Toutefois, la fabrication de laine de roche nécessiterait l'importation de chaux et consommerait beaucoup d'énergie. L'industrie de la pierre ornementale ne trouverait sur place que des roches sombres (basalte ou phonolite) et devrait importer des roches d'autres coloris pour offrir une palette attractive. Toutes ces industries utiliseraient les mêmes matières premières et les réserves sont limitées.
- La deuxième filière est celle des produits argileux. Les blocs de terre comprimée existent depuis près de 20 ans. Leur fabrication et leur mise en œuvre sont bien maîtrisées, mais le développement de ce produit se heurte à l'image de "sous-produit" ou "produit du pauvre" qu'à tort, véhicule le BTC.

L'expérience conduite sur les briques en terre cuite dans les années 1990 à Tsimkoura, a montré que cette fabrication était techniquement possible sur l'île (l'arrêt de ce projet étant dû à un problème de gestion). La relance de cette perspective de valorisation pourrait être envisagée, mais elle devra être précédée d'une étude de marché (débouchés à Mayotte, mais aussi à l'exportation, plus fabrication de produits connexes), d'autant plus que la brique de terre cuite risque de souffrir des mêmes réticences que le BTC.

Pour ce qui est des poteries artisanales, actuellement fabriquées à Sohoa, une modernisation des méthodes de fabrication (le matériel a été fourni mais il n'est pas utilisé) et une recherche d'argiles de qualité, adaptées à cette utilisation, avec ou sans ajout de dégraissant, seront nécessaires avant de pouvoir se prononcer sur la possibilité de développer ce type d'artisanat.

- La troisième filière concerne les pouzzolanes et ponces utilisées actuellement comme dégraissants dans la fabrication des BTC et, occasionnellement, dans les travaux routiers. La valorisation de ces produits, d'excellente qualité, au moins en ce qui concerne les pouzzolanes (pour les ponces les tests restent à faire) pourrait passer par la fabrication de graves-pouzzolanes-chaux (mais il faudrait importer la chaux), la réalisation de bétons légers et isolants et leur utilisation au niveau des plateaux absorbants et des lits bactériens des stations d'épuration.

En tout état de cause, il semble opportun de définir, dès maintenant, un cahier des charges de la gestion des ressources en RMI à Mayotte. Ceci pourrait prendre la forme d'un Schéma Directeur (de type Schéma d'Orientation des Carrières ou Schéma Territorial des Carrières), adapté aux contraintes (naturelles, administratives,...) mahoraises, qui pourrait être intégré dans le Schéma Régional d'Aménagement et de Développement du Territoire (S.R.A.D.T.).

## **6. Bibliographie**

AFNOR (1997) - Norme XP P 18-540. Granulats : définitions, conformité, spécifications, octobre 1997.

BERTON, Y., et LE BERRE, P., (1983) - Guide de prospection des matériaux de carrière. Collection Manuels & méthodes, n° 5, Editions BRGM.

BILLARD G., (1978) - Inventaire des ressources en matériaux de Mayotte. Rapport BRGM 81 REU 26.

GUPPY E.M., PHEMISTER J. (1945) – Rock wool. Memoires of the Geological Survey. Special reports on the mineral resources of Great Britain. Vol. XXXIV.

ROCHER P., STIELTJES L., (1982) - Les argiles kaoliniques de Chirongui (Mayotte) pour la production de terres cuites (briques, tuiles). Conditions d'exploitabilité. Cubature des gisements. Rapport BRGM 82 REU 12.

ROCHER P., (1992) - Mémento roches et minéraux industriels. Ponces et pouzzolanes. Rapport BRGM R 36447.

SCHINDLER M., (1970) – Untersuchungen der Rohstoffbasis für die Herstellung von Minerawolle in der D.D.R. (Recherche sur les matières premières pour la fabrication de laine de roche en R.D.A.). Baustoffind. 13, (3), p. 95-98.

SPENCER C., (1990) - Mémento roches et minéraux industriels - Matériaux pour ciment. Rapport BRGM R 31772.

S.R.A.D.T. (1998) - Schéma Régional d'Aménagement et de Développement du Territoire de Mayotte.

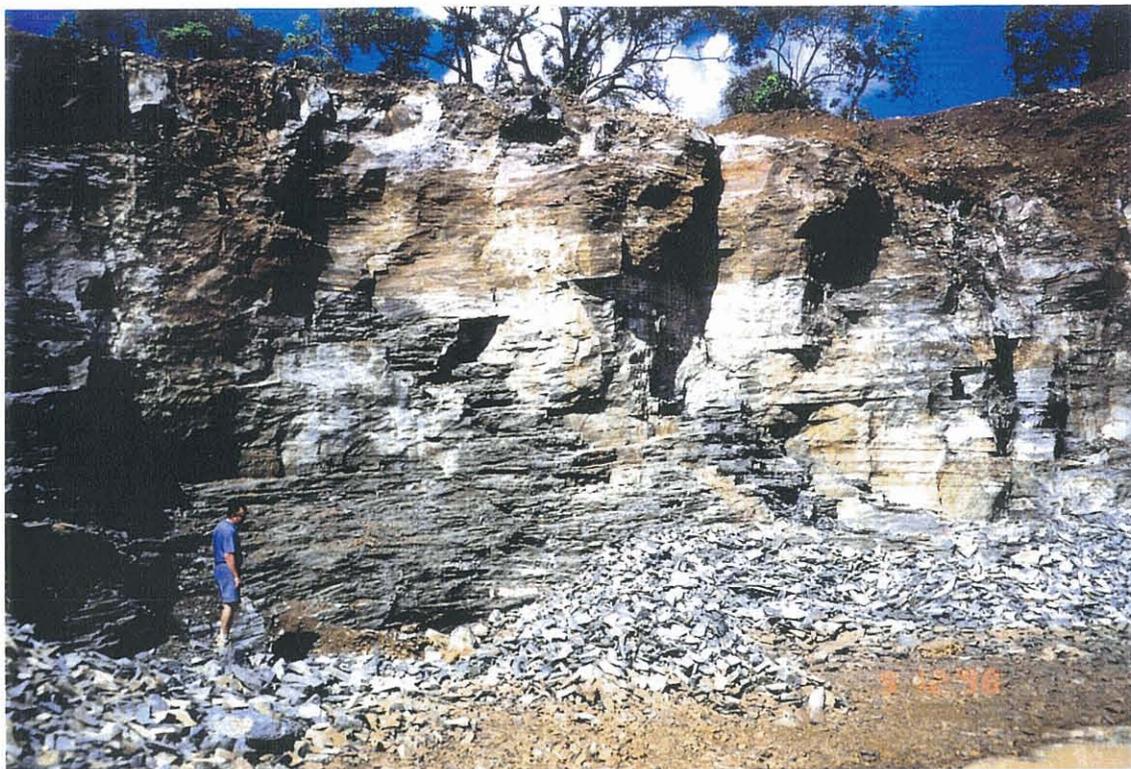
STIELTJES L., (1981) - Recherche de gisements de terre pour la fabrication de briques compressées crues dans l'île de Mayotte (Comores). Rapport BRGM 81 REU 26.

STIELTJES L., (1982) - Inventaire et recherche de gîtes de sables à Mayotte. Rapport BRGM 82 REU 04.

STIELTJES L., (1988) - Carte géologique à 1/50 000 de Mayotte et notice explicative. Edition BRGM.

# **ANNEXE 1**

## **Référentiel photographique**



**Photo 1 : Partie du front de taille de la carrière de Majicavo Lamir exploitée par IBS (site n° 1)**



**Photo 2 : Carrière de Majicavo Lamir, exploitée par IBS, montrant un débit en "lauzes" du basalte (site n° 1)**



**Photo 3 : Coulée basaltique de vallée (noter la morphologie en V) servant à la production artisanale de pierres plates (site n° 8)**



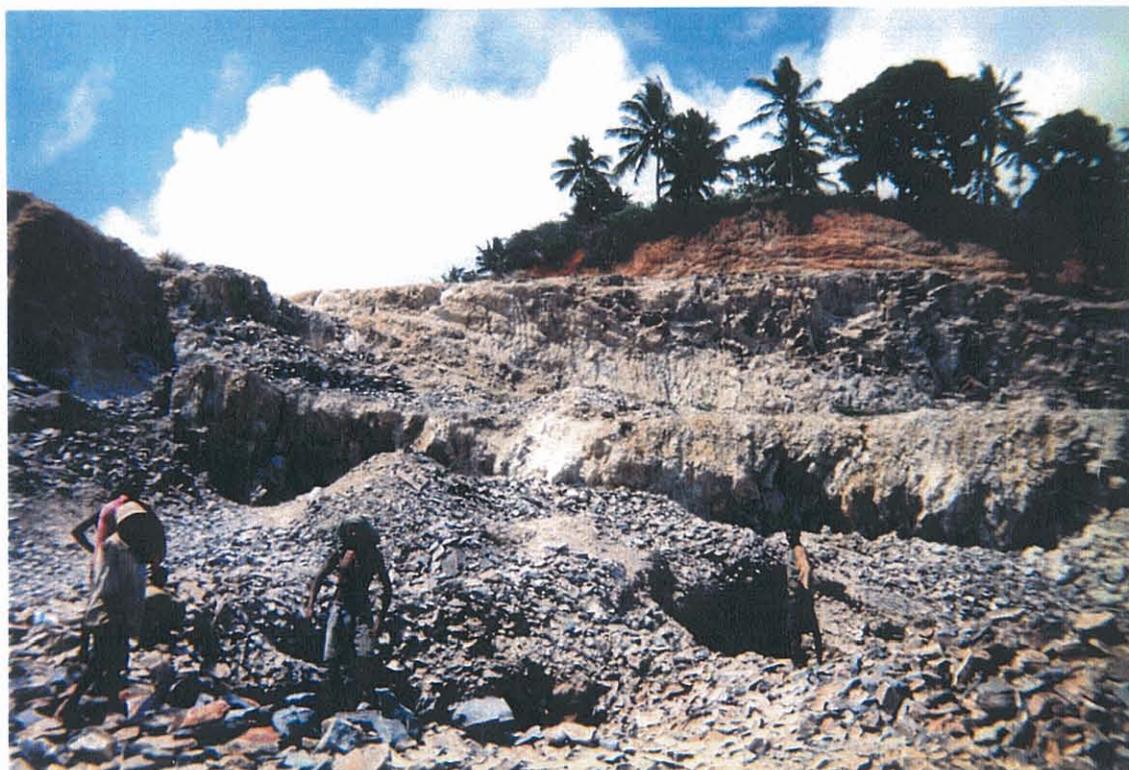
**Photo 4 : Falaise basaltique, grossièrement prismée, donnant lieu à une exploitation artisanale de pierres dimensionnelles (site n° 7)**



**Photo 5 : Gisement de phonolite présentant des bancs métriques redressés, exploité artisanalement pour la production de blocs (site n° 9)**



**Photo 6 : Vue d'ensemble de l'extrémité nord du front de taille de la carrière de Koungou (site n° 10)**



**Photo 7 : Zone sud du site n° 10 : gradin inférieur exploité artisanalement**



**Photo 8 : Ancienne carrière de phonolite à la sortie de Barakani (front est avec éperon) - (site n° 14)**



**Photo 9 : Ancienne carrière de phonolite à la sortie de Barakani (front ouest) (site n° 14)**



**Photo 10 : Blocs de phonolite au niveau de Mtsangadoua en bordure de la RN1, faisant l'objet d'une exploitation artisanale (site n° 31)**



**Photo 11 : Exploitation artisanale de blocs de phonolite au sud de Sada pour la production de pierres dimensionnelles – (site n° 33)**



**Photo 12 : Exemple de construction d'habitat par la SIM à partir de la technique du BTC**



**Photo 13 : Exemple de construction d'habitat par la SIM à partir de la technique du BTC**



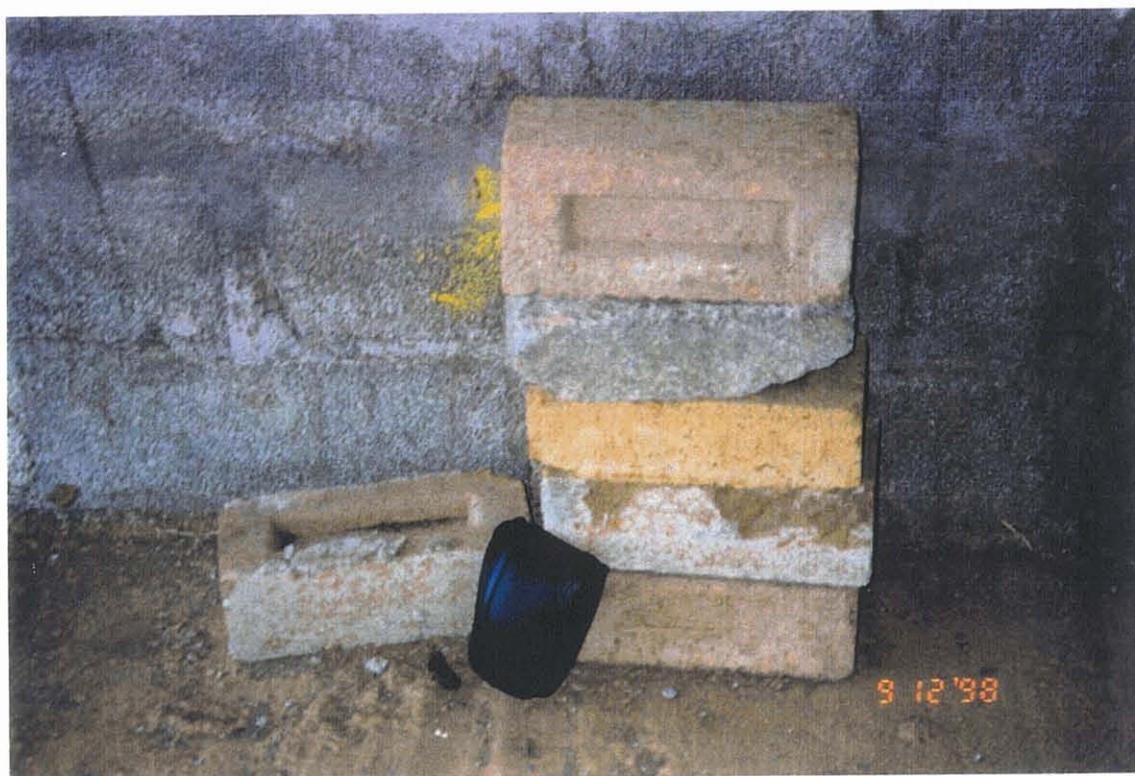
**Photo 14 : Siège de la SIM à Mamoudzou associant des moellons de basalte (rez-de-chaussée), des BTC (visibles à l'étage, à gauche de l'escalier) et des claustras en terre cuite (fabriquées à Tsimkoura)**



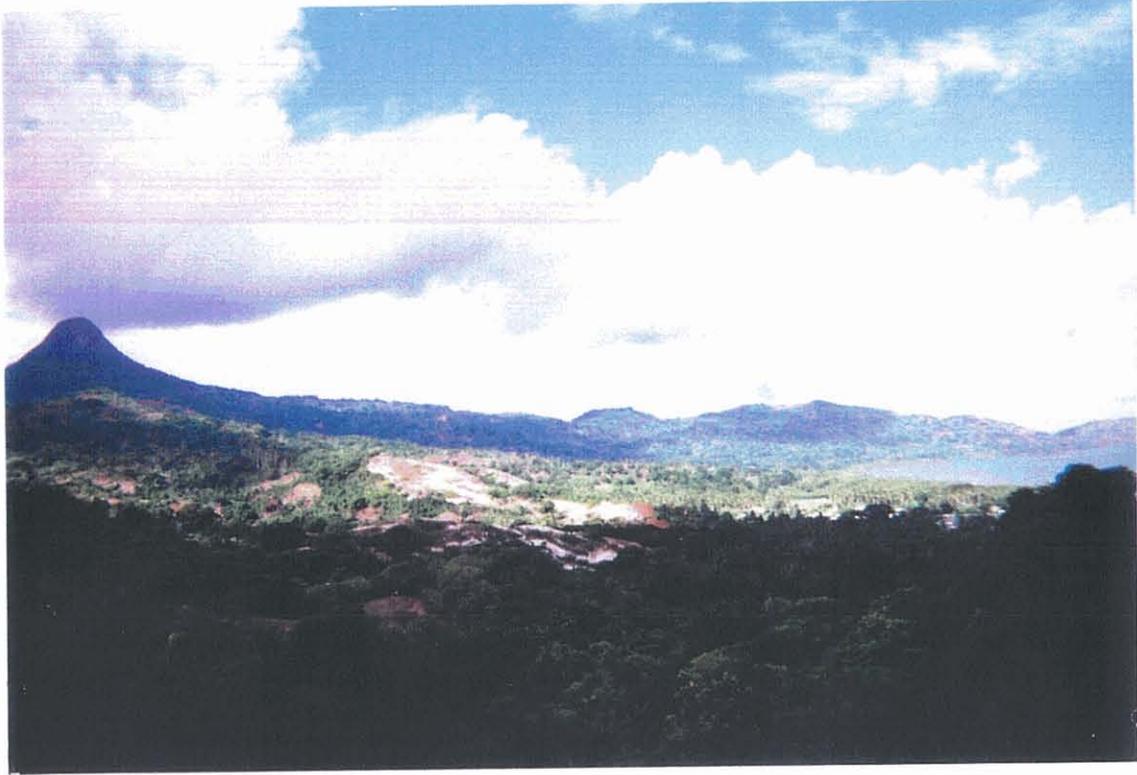
**Photo 15 : Unité de production de BTC à proximité de la carrière de tufs pouzzolaniques de Kaouéni**



**Photo 16 : Presse utilisée par l'unité de production de BTC de Kaouéni**



**Photo 17 : Exemples de briques de terre compressée produites dans l'unité de Kaouéni**



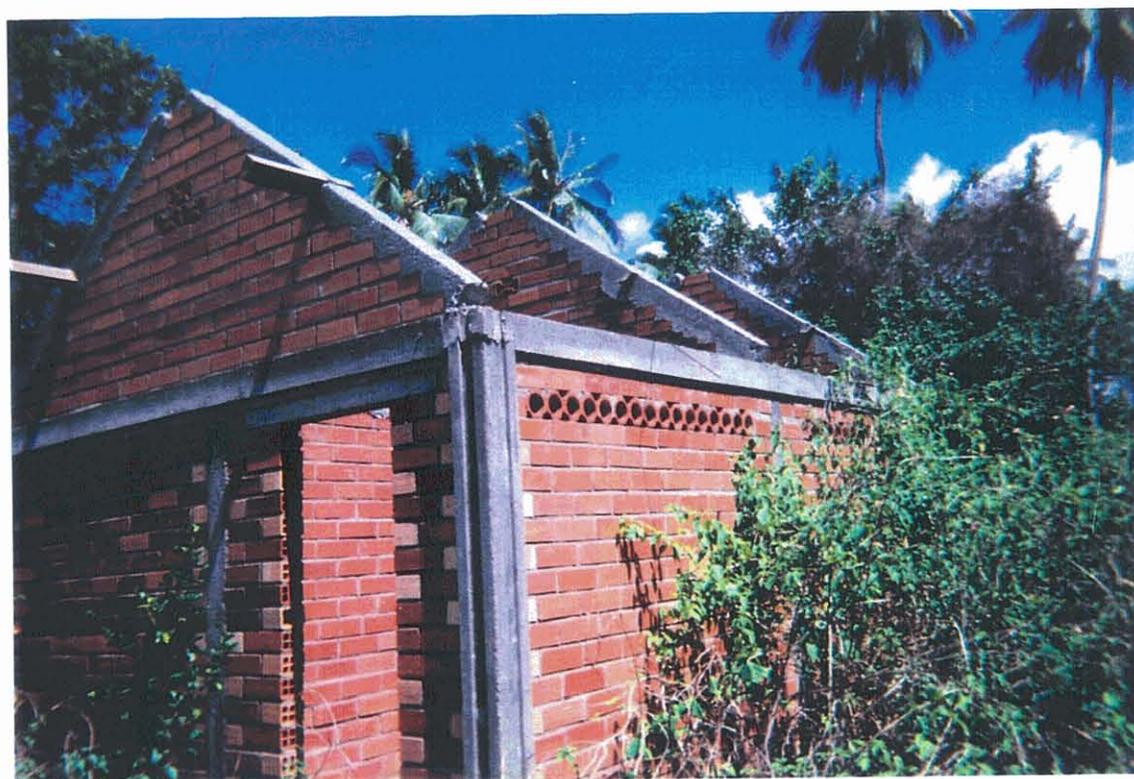
**Photo 18 : Gisement d'argile kaolinique de Chirongui. Vue d'ensemble (site n° 34)**



**Photo 19 : Gisement d'argile kaolinique de Chirongui. Ancienne exploitation avec traces de godets encore visibles (site n° 34)**



**Photo 20 : Vue d'ensemble de l'ancienne briqueterie de Tsimkoura**



**Photo 21 : Bureaux de l'ancienne briqueterie de Tsimkoura réalisés avec des briques fabriquées sur place (noter les 2 couleurs de brique correspondant à des mélanges de matières premières différentes)**



**Photo 22 : Détail de la construction de la briqueterie de Tsimkoura, mettant en évidence une trop grande largeur des joints**



**Photo 23 : Four utilisé par les potiers de Sohoa**



**Photo 24 : Site d'extraction d'argile pour la fabrication des poteries de Sohoa (site n° 28)**



**Photo 25 : Table d'orientation sur le chemin d'accès au Mlima Combani (réalisée par Mayotte Carrelage à partir de biscuits importés d'Espagne)**



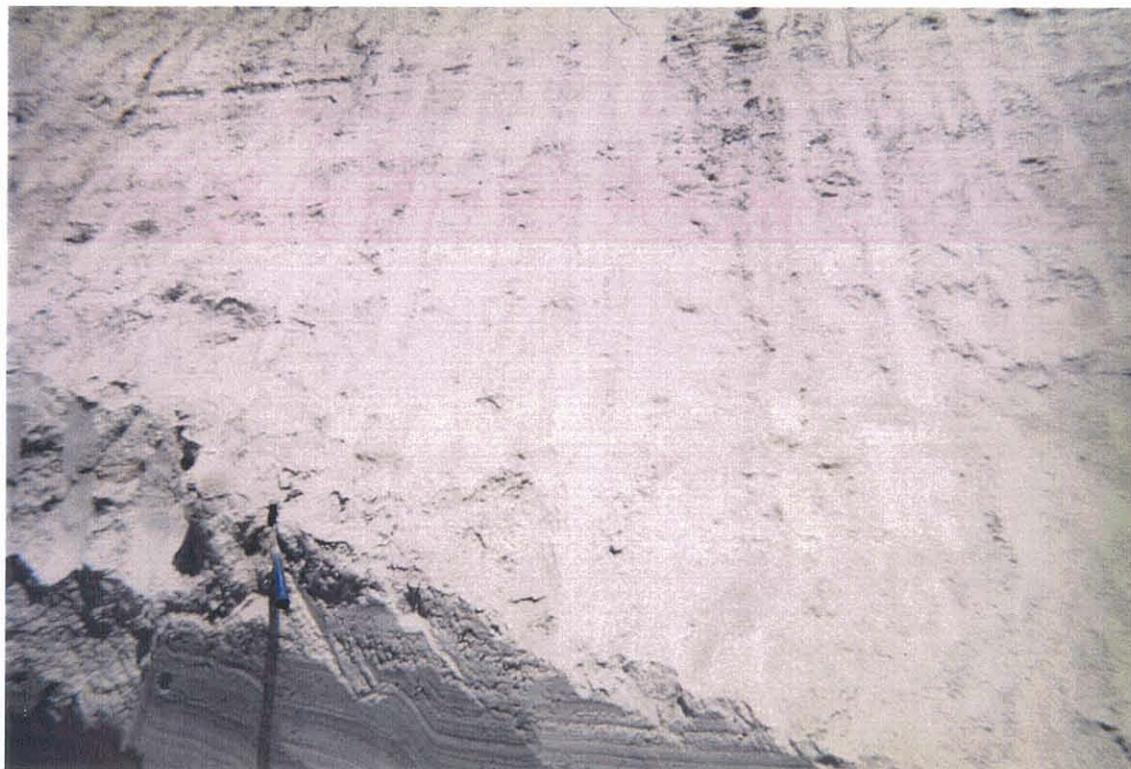
**Photo 26 : Tufs pyroclastiques lités, exploités dans la carrière de Kaouéni (site n° 16)**



**Photo 27 : Criblage des matériaux de la carrière de Kaouéni (site n° 16)**



**Photo 28 : Affleurement de tufs cendro-ponceux sur Petite Terre (noter la présence de lits à éléments grossiers : lapilli et petits blocs - (site n° 40)**



**Photo 29 : Tufs cendro-ponceux observés dans les fouilles du nouveau collège de Petite Terre (noter l'absence de lits graveleux) – (site n° 41)**



**Photo 30 : Prélèvement de tout-venant à partir de tufs cendreux en bordure de la RN1, entre Longoni et Bonyouni (site n° 26)**



**Photo 31 : Affleurement de cendres indurées en bordure de la RN1, entre Bouyouni et Dzoumonyé (site n° 27)**



**Photo 32 : Affleurement de ponces et laves scoriacées le long de la RN3 (site n° 36)**



**Photo 33 : Ancienne carrière de matériaux ponceux sur Petite Terre (éboulis en cours d'exploitation clandestine) – (site n° 43)**



**Photo 34 : Vue de détail des matériaux ponceux d'une ancienne carrière de Petite Terre (site n° 43)**



Faint, illegible text lines scattered across the middle of the page.

Faint, illegible text centered in the lower middle section.



**Service géologique régional océan Indien**  
5 rue Sainte-Anne - B.P. 906 - 97478 Saint-Denis Cedex - Tél. : 21 22 14 - Fax : 21 86 96

MORP