

ESSAIS D'UTILISATION DE CERTAINES EAUX DE SOURCE MINERALE D'ANTSIRABE DANS LE GÂCHAGE DE MORTIER NORMAL.

Riantsoa Rakotolahy, Gabriely Ranaivoniarivo,

Université d'Antananarivo, École Supérieure Polytechnique, Département Science et Ingénierie des Matériaux, B.P
1500 Antananarivo 101, Madagascar,
armelpoly@gmail.com

Résumé

Les sources minérales constituent un important approvisionnement en eau à Madagascar. Ce travail concerne les essais d'utilisation de certaines eaux de source minérale d'Antsirabe dans le gâchage de mortier normal. Il s'agit de quatre eaux de source : source de piscine Ranomafana, source du Lac, source du Parc et source de piscine Rano Visy.

Cette étude vise à substituer l'eau de gâchage des bétons par certaines de ces eaux minérales afin d'alléger le coût de production tout en obtenant des bonnes performances mécaniques. Des analyses en laboratoire ont été réalisées afin d'apprécier les paramètres physico-chimiques et microbiologiques de ces eaux minérales. Ensuite des éprouvettes de mortier normal ont été confectionnées en substituant toute ou une partie de l'eau de gâchage par ces eaux minérales.

Sur tous les écrasements effectués, les mortiers normaux gâchés avec la source du Lac présentaient les meilleurs résultats de résistances à la compression à 28 jours d'âge, en surpassant ceux gâchés avec l'eau de robinet et les trois autres sources minérales.

Mots-clés: Eau minérale, Antsirabe, eau de gâchage, caractérisation, normal, performances mécaniques, résistance en compression

Abstract

Mineral springs are an important source of water in Madagascar. This work concerns the tests of use of certain waters of Antsirabe mineral spring in the mixing of normal mortar. There are four spring waters: Ranomafana pool source, Lake source, Park source and Rano Visy pool source.

This study aims to replace concrete mixing water by some of these mineral waters in order to reduce the cost of production while obtaining good mechanical performance. Laboratory analyzes were conducted to assess the physicochemical and microbiological parameters of these mineral waters. Then normal mortar samples were made by substituting all or part of the mixing water with these mineral waters.

On all the crashes carried out, normal mortars bungled with the source of the Lake had the best results of compressive strengths at 28 days of age, surpassing those wasted with tap water and the other three mineral springs.

Keys words: Mineral Water, Antsirabe, Mixing Water, Characterization, Mechanical Performance, Compressive Strengths

1. INTRODUCTION

La plupart des utilisateurs de béton utilisent l'eau de robinet comme eau de gâchage. Actuellement le prix d'un mètre cube d'eau de robinet pour les catégories usages spéciaux comme les chantiers de construction, est de 3.940Ar/m³ à Madagascar (<http://www.jirama.mg>), ce qui rend intéressant son remplacement par d'autres types d'eaux moins chers et même gratuits.

Les quatre sources minérales étudiées se trouvent dans le District d'Antsirabe I. Elles étaient soumises à des analyses, avant d'être utilisées dans la fabrication des éprouvettes de mortier normal. Pour que l'étude suive les normes, les analyses des eaux ont été effectuées au laboratoire de la Jirama à Mandrozeza avec leurs matériels, tandis que la fabrication et les essais de caractérisation des éprouvettes de mortier normal ont été faits au Laboratoire National des Travaux Publics et du Bâtiment (LNTPB) à Alarobia.

2. MATERIELS ET METHODES

Il s'agit des méthodes ainsi que des matériels de caractérisation standards utilisées pour une analyse d'eau. Il en est de même pour les essais de détermination des performances mécaniques des mortiers normaux.

2-1 Analyse physico-chimique

L'analyse physico-chimique comporte la détermination des paramètres physiques et chimiques tels que : la turbidité, la conductivité, la minéralisation, la température, le potentiel d'hydrogène pH, le titre hydrotimétrique TH et le titre hydrotimétrique calcique TH Ca, l'alcalinité ainsi que les dosages des chlorures, sulfates, ammoniums, nitrites, nitrates, fer total, matières organiques et les matières en suspension.

2-1-1 Turbidité

La turbidité est la mesure de la clarté relative d'un échantillon et non de sa couleur. Sa détermination consiste à mesurer l'intensité de la lumière diffractée par les particules en suspension dans l'eau. On mesure la turbidité à l'aide d'un turbidimètre au laboratoire (Figure 1).



Figure 1 : Le turbidimètre qu'on a utilisé

2-1-2 Conductivité, minéralisation et température

La conductivité est la capacité d'une solution, d'un métal ou d'un gaz, autrement dit de tous les matériaux à faire passer le courant électrique. Elle est mesurée avec un conductimètre (Figure 2).



Figure 2 : Le conductimètre qu'on a utilisé

On mesure également la minéralisation et la température avec ce même appareil de mesure. Les résultats s'obtiennent par lecture directe sur l'appareil.

2-1-3 pH

Le pH (potentiel d'hydrogène) est la grandeur qui mesure la concentration des ions hydrogènes dans une solution. Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14. On a utilisé un appareil pH-mètre électronique (Figure 3) pour mesurer les pH de nos échantillons d'eau minérale.



Figure 3 : Mesure du pH avec un pH-mètre

2-1-4 Titre hydrotimétrique TH

Le titre hydrotimétrique TH ou dureté TH exprime la douceur de l'eau. Elle indique généralement la teneur en sels de calcium et magnésium. Le principe pour sa détermination est d'amener les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} à former un complexe par le sel disodique de l'E.D.T.A. (ou Acide Ethylène Diamine Tétraacétique). La disparition des dernières traces d'éléments libres à doser est décelée par le virage d'un indicateur spécifique de la dureté totale : le noir d'ériochrome T. La méthode permet de doser la somme des ions calcium et magnésium.

Les matériels utilisés sont : burette, bécher et fiole jaugée 100 ml.

Les modes opératoires sont : prélever 100ml d'eau à analyser ; ajouter 2ml de tampon TH ; ajouter 2 à 3 gouttes de NET ; doser avec la solution de complexon III (EDTA) jusqu'au virage du rouge vineux au bleu-vert (Figure 4). Vérifier qu'une goutte de complexons ne produit plus de tache bleu-vert.

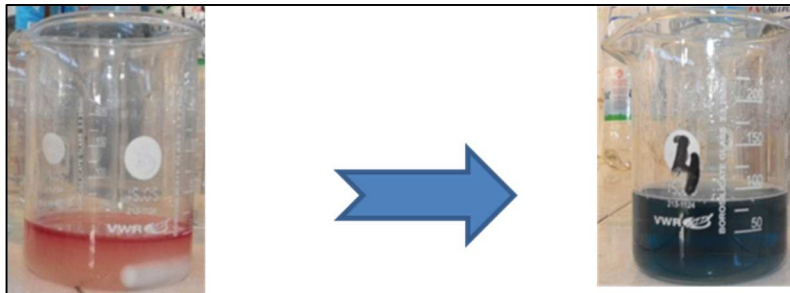


Figure 4 : Mesure du pH avec un pH-mètre

Si V est le volume de l'E.D.T.A. versé pour une prise d'essai de 100 ml :

$$\text{TH (en } ^\circ\text{F)} = V_{\text{EDTA versé}} \text{ (ml)}$$

2-1-5 Titre hydrotimétrique calcique TH Ca

Le titre hydrotimétrique calcique indique généralement la teneur en sels de calcium. Les sels de calcium sont complexés par l'EDTA.

Les modes opératoires sont : prélever 100ml d'eau à analyser, ajouter 2ml de NaOH 3N, ajouter quelques cristaux de Patton et Reeder, doser avec la solution de complexon III jusqu'au virage du rouge vineux au bleu-vert. Vérifier qu'une goutte de complexon III ne produit plus de tache bleu-vert.

Si V est le volume de l'E.D.T.A. versé pour une prise d'essai de 100 ml,

$$\text{TH Ca(en } ^\circ\text{F)} = V_{\text{EDTA versé}} \text{ (ml)}$$

- Concentration de Ca en mg/l = $(\text{TH}_{\text{Ca}}/5) \times 20$
- Concentration de Mg en mg/l = $(\text{TH}_{\text{Mg}}/5) \times 12,15$

avec $\text{TH}_{\text{Mg}} = \text{TH} - \text{TH}_{\text{Ca}}$

2-1-6 Alcalinité

Dans les eaux naturelles, l'alcalinité résulte le plus généralement de la présence d'hydrogencarbonates, de carbonates et d'hydroxydes. On distingue deux titres qui sont le titre alcalimétrique simple (TA) et le titre alcalimétrique complet (TAC). Ces déterminations sont basées sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral dilué, en présence d'indicateur coloré.

Le titre alcalimétrique simple TA correspond donc à la somme des concentrations des ions carbonates (CO_3^{2-}) et des ions hydroxydes (OH^-).

Les matériels pour la détermination du TA sont : burette, bécher et fiole jaugée 100 ml. Les modes opératoires sont : prélever 100ml d'eau à analyser ; ajouter 2 à 3 gouttes de phénolphtaléine : apparition d'une coloration rose (Photo 5) ; dans le cas contraire le TA est nul ($\text{pH} < 8,3$); titrer avec $\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ N}/50$ en agitant constamment jusqu'à la décoloration complète de la solution (Figure 5).

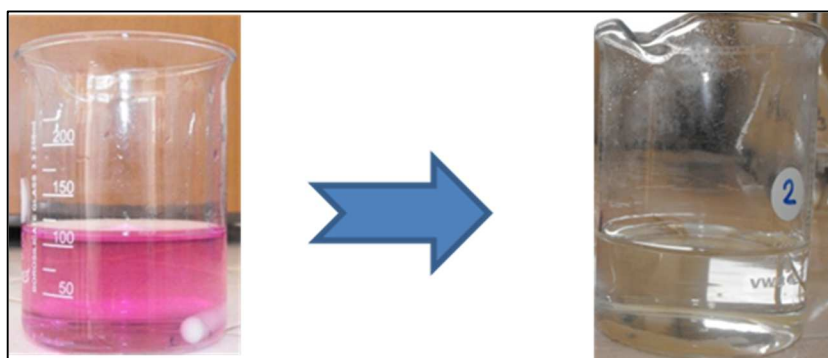


Figure 5 : Virage de coloration lors de la détermination de TA

Soit V_1 le volume du H_2SO_4 versé ;

$$\text{TA (}^\circ\text{F)} = V_1 \text{ (en ml)}$$

Pour la détermination du TAC, on procède comme suit : utiliser l'échantillon traité précédemment ou le prélèvement primitif s'il n'y a pas eu de coloration ; ajouter 2 à 3 gouttes d'hélianthine: apparition d'une coloration jaune (Figure 6); titrer avec $\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ N}/50$ en agitant constamment jusqu'à l'obtention du virage jaune à Orange.

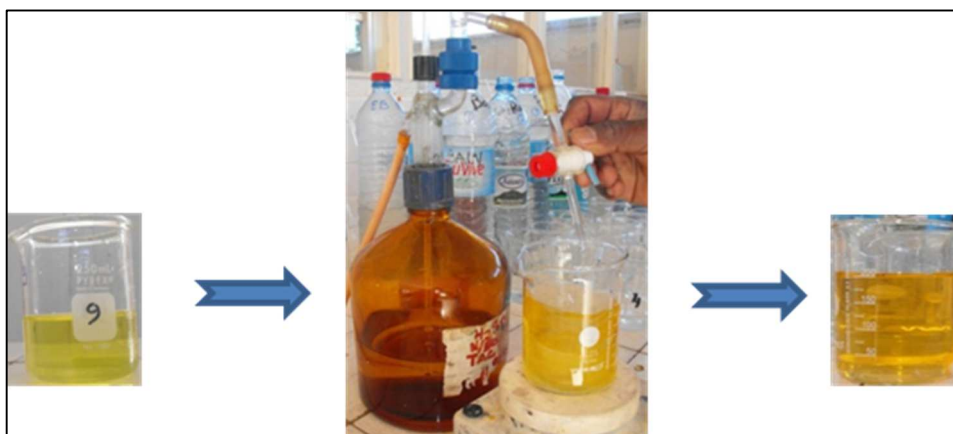


Figure 6 : Virage de coloration lors de la détermination de TAC

Soit V_2 le volume du H_2SO_4 versé, donc :

$$\text{TAC (}^\circ\text{F)} = V_1 + V_2 \text{ (en ml).}$$

2-1-7 Dosage des chlorures

Le nitrate d'argent précipite les ions chlorures sous forme d' AgCl_2 . La fin de la réaction est repérée par l'apparition de la teinte rouge brique du chromate d'argent (début du virage).

Les matériels utilisés sont : burette, bécher, fiole jaugée 100 ml et pipette.

Les modes opératoires sont : prélever 100ml d'eau à analyser ; ajouter 3 à 5gouttes de K_2CrO_4 ; titrer avec $AgNO_3$ N/10 jusqu'au virage au rouge brique (Figure 7).

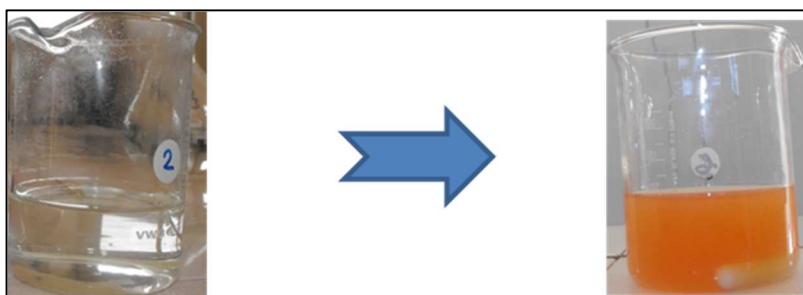


Figure 7 : Virage de coloration lors de la détermination de la teneur en chlorures

Soit V le volume d' $AgNO_3$ versé :

$$Cl^- \text{ (en mg/l)} = V \text{ (ml)} \times 35,5 \text{ (pour } AgNO_3 \text{ N/10)}$$

2-1-8 Dosage des sulfates

Les ions sulfates sont précipités en milieu chlorhydrique à l'état de sulfate de baryum. Le précipité ainsi obtenu est stabilisé à l'aide d'une solution de « Tween 20 » ou de polyvinyl-pyrrolidone ; des suspensions homogènes sont mesurées au spectromètre.

Les matériels utilisés sont : bécher, fiole jaugée 100ml, pipette et spectrophotomètre à Absorption Moléculaire.

Les modes opératoires sont : prélever 20 ml d'eau à analyser ; ajouter 0,5 ml d' HCl 10% ; ajouter 2,5 ml de $BaCl_2$; agiter énergiquement et laisser reposer 15mn ; lire sur le Spectrophotomètre à Absorption Moléculaire (Figure 8).



Figure 8 : Mesure de la teneur en sulfate à l'aide d'un spectrophotomètre

Une lecture à la longueur d'onde de 650nm donne directement la concentration C en SO_4^{2-} en mg/l.

2-1-9 Dosage des ammoniums

En milieu alcalin et en présence de nitroprussiate, qui agit comme un catalyseur, les ions ammoniums traités par une solution d'hypochlorite de sodium et de phénol donnent du bleu d'indophénol susceptible d'un dosage colorimétrique.

Les matériels utilisés sont : bécher, fiole jaugée 100ml, pipette et spectrophotomètre à Absorption Moléculaire.

Les modes opératoires sont : prélever 25 ml d'eau à analyser ; préparer une solution (10 ml Solution de trisodium citrate + 2.5 ml Solution d'hypochlorite de sodium $NaClO$) puis enlever 2.5 ml de la solution préparée puis verser dans 25 ml d'échantillon à analyser ; ajouter 1ml de nitroprussiate dans l'eau à analyser ; ajouter 1ml de phénol dans l'eau à analyser ; préparer dans les mêmes conditions un témoin en remplaçant l'eau à analyser par de l'eau distillée : on le nomme blanc réactif ; agiter énergiquement et laisser reposer 1heure puis porter au spectrophotomètre.

Une lecture à la longueur d'onde de 650nm donne directement la concentration en ions NH_4^+ .

2-1-10 Dosage des nitrites

En milieu acide (pH : 1,9) la diazotation de l' amino-4 benzène sulfonamide par les nitrites en présence du déchlorhydrate de N – (naphtyl 1) diamino-1,2 éthane donne un complexe rose susceptible d'un dosage colorimétrique à $\lambda = 540\text{nm}$.

Les matériels utilisés sont : bécher, fiole jaugée 100ml, pipette et spectrophotomètre à Absorption Moléculaire.

Les modes opératoires sont : prélever 50 ml d'eau à analyser ; ajouter une goutte de solution tampon acide phosphorique H_3PO_4 à pH= 1,9 ; ajouter 1ml du réactif coloré ; préparer dans les mêmes conditions un témoin en remplaçant l'eau à analyser par de l'eau distillée : on le nomme blanc réactif ; laisser reposer 15mn.

Une lecture à la longueur d'onde de 540nm donne la concentration $C' = \text{N NO}_2^-$.

Et :

$$[\text{NO}_2^-] \text{ en mg/l} = \text{N NO}_2^- \times 3,29$$

2-1-11 Dosages des nitrates

Les nitrates sont réduits en nitrites par du cadmium traité au sulfate de cuivre. Les nitrites produits, donnent avec l' amino-4 benzène sulfonamide un composé diazoïque qui couplé avec N-(Naphtyl-1) diamine 1,2 éthane donne un complexe rose susceptible d'un dosage colorimétrique à $\lambda = 540\text{nm}$.

Les matériels utilisés sont : bécher, fiole jaugée 100ml, pipette, colonne cadmium et spectrophotomètre à Absorption Moléculaire.

Les modes opératoires sont : prélever 50 ml d'eau à analyser ; ajouter 1,25 ml de solution tampon concentré ; ajouter 2 gouttes de solution de soude NaOH 3N ; percoler l'échantillon à travers la colonne à Cd à un débit de 7 à 10ml/min. Jeter les 25 premiers ml de l'échantillon, récupérer le reste puis ajouter 1 ml de réactif coloré ; préparer dans les mêmes conditions un témoin en remplaçant l'eau à analyser par de l'eau distillée on le nomme Blanc Réactif (Figure 9); laisser reposer 15mn.

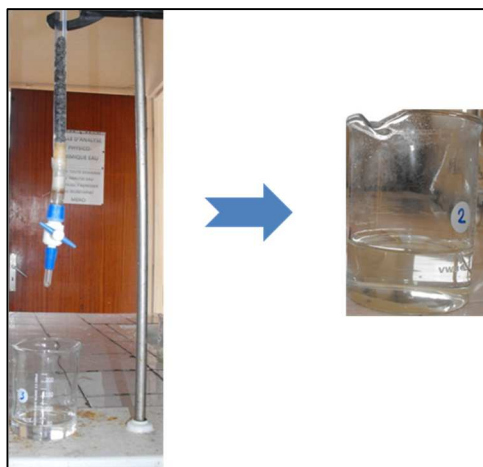


Figure 9 : Colonne à cadmium pour le dosage des nitrates

2-1-12 Dosage du fer total

En milieu ammoniacal, le diméthylglyoxime donne en présence du fer Fe^{2+} , un complexe de coloration rose (Figure 10) dont l'intensité est fonction croissante de la concentration.

Les matériels utilisés sont : bécher ; fiole jaugée 100 ml, pipette ; comparateur standard cuvette graduée A / B ; plaquette « fer 0,06 à 1 mg /l » et « fer 0,3 à 5 mg /l ».

Les modes opératoires sont : prélever 100ml d'eau à analyser ; ajouter une pincée de dithionite de sodium suivi d'une agitation jusqu'à dissolution du réactif ; ajouter 2ml de diméthylglyoxime ; agiter et attendre 2 mn ; ajouter encore 2ml d'ammoniaque 10%, agiter et attendre 2 mn.

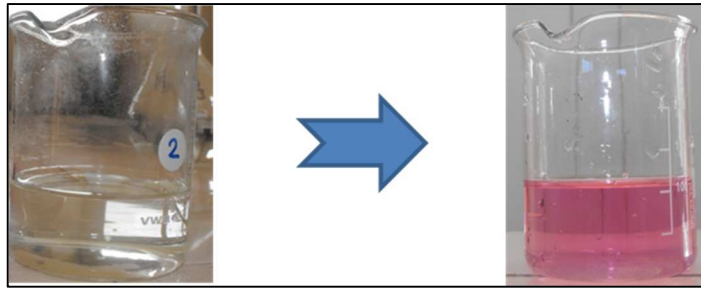


Figure 10 : Virage de coloration lors du dosage du fer

Comparer la couleur de cette solution avec celle des plaquettes étalons. Lire la teneur en fer correspondante en mg/l (Figure 11).



Figure 11 : Lecture du dosage du fer sur le comparateur gradué

2-1-13 Dosage des matières organiques

Elles proviennent pour l'essentiel de la dégradation de la matière organique présente dans le milieu naturel ou dans les sols lessivés par les pluies, mais aussi des composés de l'activité humaine.

L'opération consiste à mesurer en milieu alcalin, la quantité d'oxygène enlevée au permanganate par les matières organiques d'origine animale ou végétale contenues dans une eau.

Les matériels utilisés sont : bécher ; fiole jaugée 100 ml, pipette ; burette et réchaud.

Les modes opératoires sont : prélever 100 ml d'eau à analyser ; ajouter 5 ml de NaHCO_3 saturé ; faire bouillir pendant 10 mn, et laisser refroidir ; ajouter 10 ml de KMnO_4 N/80 ; faire bouillir pendant 10 mn et laisser refroidir ; ajouter 5 ml d' H_2SO_4 50% et 10 ml de Sel de Mohr 5 g / l ; titrer avec du KMnO_4 N/80 jusqu'à l'apparition d'une coloration rose persistante (Figure 12); soit V_1 le volume de KMnO_4 versé pour ce dosage ; recommencer les mêmes opérations avec de l'eau distillée.



Figure 12 : Ebullition des solutions et virage de coloration lors de la mesure du dosage en M.O.

Soit V_2 le volume final versé avec de l'eau distillée.

L'oxydabilité des matières organiques au permanganate, exprimée en mg/l d'oxygène, est égale à $V_1 - V_2$.

2-1-14 Les matières en suspension.

Les matières en suspension (MES) sont définies comme étant l'ensemble de tous les éléments en suspension dans l'eau.

L'opération consiste à mesurer la quantité des matières en suspension contenues dans une eau. Elles sont retenues sur un filtre de porosité donnée qui sera pesé avant et après la filtration.

Les modes opératoires sont : prendre une membrane filtrante ; étuver à 100°C pendant 20mn ; peser ; filtrer 50 ou 100ml d'eau à analyser ; peser et calculer.

Le résultat est la différence de masses de la membrane avant et après filtration. Il est exprimé en mg/l.

2-2 Analyse microbiologique

L'analyse bactériologique de l'eau est faite surtout dans le but de déterminer sa potabilité. Selon l'organisation mondiale de la santé, quatre microbes sont susceptibles d'être présent dans l'eau de contamination. La présence d'une de ces microbes qualifie l'eau non potable : les coliformes totaux ; les coliformes fécaux ou Escherichia Coli ; les streptocoques fécaux et les Clostridium Sulfito-Reducteur(C.S.R).

2-2-1 Matériels utilisés

Les principaux matériels utilisés en bactériologie sont : autoclave; incubateur biologique; incubateur de stérilisation et de séchage; balance; distillateur; bain-marie; compteur de colonies; anse de platine avec câble; tube Durhan; tube à essai; milieux de culture; coton; flacons de collecte; pipettes graduées; pipeteur; papier aluminium; lampe à alcool ou bec Bunsen; boîtes de Pétri; pincettes en acier inoxydable; filtres à membrane; porte-filtres en verre ou en acier inoxydable; lampe à ultra-violet.

2-2-2 Méthodes

Les méthodes utilisées pour l'identification des micro-organismes sont : dénombrement des Coliformes Totaux et Escherichia Coli, dénombrement des Streptocoques fécaux, et recherche des Clostridium Sulfito-Reducteur(C.S.R).

En général le principe de dénombrement est : après filtration de l'eau à étudier, la membrane (Figure 13) est déposée sur un milieu gélosé approprié. Ceci permet aux colonies de coliformes de se développer préférentiellement au cours d'une incubation et sous un aspect suffisamment caractéristique pour autoriser un diagnostic présomptif.

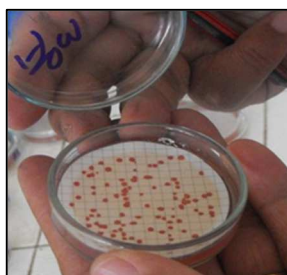


Figure 13 : Membrane filtrante en présence d'Escherichia coli

2-3 Confection des éprouvettes

Le but de cet essai consiste à déterminer la résistance à la compression et à la flexion des éprouvettes de mortier normal. On essayera de déterminer la quantité optimale de mélange d'eau de source minérale et de l'eau de robinet pour le gâchage des mortiers. Nous prendrons comme témoin une éprouvette de mortier normal gâchée avec 100% d'eau de robinet.

Les paramètres variables dans nos expériences sont les types d'eau et leurs proportions.

Les étapes ci-dessous sont de la norme NF EN 196-1 et valables pour la recherche de la résistance à la compression à 2, 7 et 28 jours.

Les matériels utilisés sont : malaxeur ; appareil à choc ; moule de dimension 4*4*16[cm] ; presse hydraulique ; chronomètre, balance, règle plate, spatule

Le procédé de fabrication des échantillons des éprouvettes de mortier normal est présenté sur la figure 14 :

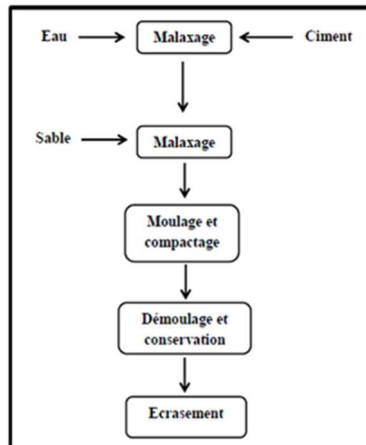


Figure 14 : Procédé de fabrication des éprouvettes (Source auteurs)

2-3-1 Malaxage

Réaliser le malaxage en procédant comme suit : peser 225g d'eau et verser dans le récipient du malaxeur ; peser 450g de ciment et introduire dans le récipient du malaxeur ; mettre le malaxeur en marche à petite vitesse pendant 30s ; introduire régulièrement tout le sable pendant les 30s suivantes ; mettre le malaxeur (Figure 15) à sa vitesse la plus grande et continuer à malaxer pendant 30s supplémentaires ; arrêter le malaxeur pendant 90s temps durant lequel on baisse le bol et racle au moyen d'une spatule en caoutchouc tout le mortier adhérant aux parois et au fond du bol ; remonter le bol et reprendre le malaxage à grande vitesse pendant 60s. On obtient un mortier que l'on porte dans le moule 4*4*16 sur l'appareil à choc.



Figure 15 : Malaxeur de laboratoire

2-3-2 Moulage et compactage

Le moulage et le compactage des éprouvettes sont effectués selon la procédure suivante : introduire la 1ère couche de mortier dans chacune des 3 alvéoles, au moyen de la grande raclette en prenant appuis sur le bord supérieur de la hausse, tirer une fois en avant et une fois en arrière pour retirer le surplus du mortier ; mettre la table à chocs en marche pour 60 coups. ; introduire la 2^{ème} couche et remettre la table à chocs (Figure 16) en marche pour 60coups. ; démonter. Enlever ensuite l'excès de mortiers avec la règle en faisant attention de ne pas faire pivoter le moule ; lisser la surface des éprouvettes en utilisant la même règle, puis nettoyer le bord du moule (Figure 17).



Figure 16 : Table de chocs

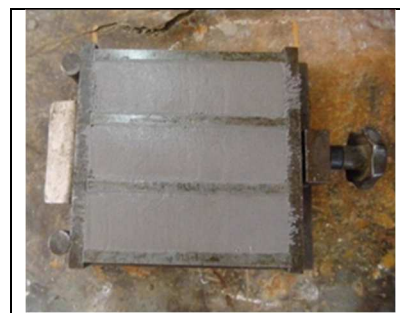


Figure 17 : Moule 4*4*16 cm

2-3-3 Démoulage et conservation

Placer le moule dans une « chambre froide » sous une température de 20°C durant 24h ; démouler et immerger les éprouvettes verticalement dans l'eau à une température de 20°C ; conserver les éprouvettes (Figure 18) dans la « chambre froide » selon l'âge de l'essai à effectuer, c'est-à-dire de 48 heures, 07 jours et 28 jours.



(Figure 18): Conservation des éprouvettes

2-3-4 Ecrasement

Sortir les éprouvettes (après le temps voulu) et laisser sécher pendant un certain moment (quelques heures) ; effectuer l'essai de rupture sur l'appareil de mesure de flexion en sectionnant l'éprouvette en deux ; la charge de rupture en [N] est lue directement sur l'appareil. Multiplier cette valeur par $2,5 \cdot 10^{-4}$ et on obtient la résistance à la traction par flexion en [MPa] ;

Ecraser chaque demi-éprouvette sur l'appareil de mesure de la résistance à la compression (Figure 19). Lire directement la résistance à la compression en [MPa], et prendre la moyenne sur les résultats de deux demi-éprouvettes.



(Figure 19) : Mesure de la résistance à la compression

3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

3-1 Analyses physico-chimiques

Le tableau 1 présente les résultats des analyses physico-chimiques de nos sources minérales.

Tableau 1 : Résultats des analyses physico-chimiques des quatre sources minérales.

Paramètres	Unité	Piscine Ranomafana	Source du Lac	Source du Parc	Piscine Rano Visy	Valeur Maximale Admissible
Aspect		Claire	Claire	Claire	Claire	
Couleur		Incolore	Incolore	Incolore	Incolore	
Température à l'émergence	°C	50	37	27	42,5	25
Turbidité	NTU	3,56	13,5	7,97	7,72	5
pH		7,34	6,98	6,89	7,14	6,5 - 9
Conductivité	µS/cm	5 800	5 060	4 830	5 840	3 000
Minéralisation	mg/l	5 371	4 686	4 472	5 408	-
Dureté Totale	°F	64,2	55	60	68	50

TH Ca	°F	28,4	27	33	34,4	-
TA	°F	0	0	0	0	-
TAC	°F	317	246	240	194	-
Calcium Ca ²⁺	mg/l	113,6	108	132	137,6	200
Magnésium Mg ²⁺	mg/l	86,99	68,04	65,61	81,65	50
Carbonate CO ₃ ²⁻	mg/l	0	0	0	0	-
Bicarbonate HCO ₃ ⁻	mg/l	3 867,4	3 001,2	2 928	2 366,8	-
M.O	mg/l	0,6	0,2	0,3	0,6	5
Ammonium	mg/l	0,01	0,07	0,05	0,02	0,5
Fer total	mg/l	0,1	0,45	0,2	0,15	0,5
Chlorure	mg/l	485,64	431,68	416,06	474,28	250
Sulfate	mg/l	119,75	106,04	103,75	121,46	250
Nitrite	mg/l	0	0	0	0	0,1
Nitrate	mg/l	0	0	0	0	50
Sodium	mg/l	1 514,06	1 187,75	1 126,26	924,17	-

Source auteurs

A l'émergence, les quatre sources ont toutes des températures supérieures à 25°C, des pH comprises dans la norme de potabilité (6,5 à 9) mais des conductivités au-delà de la valeur maximale admissible qui est de 3000 µS/cm.

Les quatre sources minérales présentent toutes des valeurs au-dessus de celles indiquées par la norme de potabilité malgache pour certains paramètres chimiques; comme la dureté totale, le magnésium et le chlorure. Mais cela ne nous permettent pas d'affirmer qu'elles ne sont pas potable pour autant car les sources minérales sont différentes des eaux douces du point de vue réglementation.

3-2 Analyses microbiologiques

Le tableau 2 présente les résultats des analyses microbiologiques de nos sources minérales.

Tableau 2: *Résultats des analyses microbiologiques de nos sources minérales.*

Nature	Piscine Ranomafana	Source du Lac	Piscine Rano Visy	Source du Parc
Coliforme totaux	< 1	< 1	< 1	< 1
Escherichia coli	< 1	< 1	< 1	< 1
Streptocoques fécaux	< 1	3	< 1	< 1
A. Sulfito-réducteur	< 1	< 1	< 1	< 1
Potabilité	Oui	Non	Oui	Oui

La source Rano Visy alimente une piscine et également captée par une société privée qui la met en bouteille et la vend sur le commerce sous ce même nom Rano Visy.

La source du Parc est aussi destinée pour la consommation et distribuée sur place à son point de captage même. Elle se présente comme une borne fontaine, et les gens en boivent moyennant une participation de 100 Ar/bouteille.

D'après nos résultats, ces deux sources piscine Rano Visy et source du Parc ne contiennent aucune des quatre espèces micro-organismes, donc elles satisfont la norme de potabilité.

De même, bien qu'elle ne soit pas destinée pour la consommation humaine, la source piscine Ranomafana ne présente pas également de contaminations fécales à son émergence.

Pour la source du Lac, elle est destinée aux douches et pédiluves. Elle est imbuvable à cause de sa contenance de 03 colonies de streptocoques fécaux dans 50ml d'échantillon.

3-3 Résistances à la compression des éprouvettes de mortiers normaux

Le tableau 3 présente les résistances à la compression des éprouvettes de mortiers normaux conçus.

Tableau 3 : Résultats des résistances à la compression des éprouvettes à 28 jours d'âge.

Proportion [%]	Rc à 28 jours [MPa]				
	0%	25%	50%	75%	100%
Piscine Ranomafana	34,3	40,7	35,5	35,1	36,7
Source du Lac	34,3	43,1	41,4	39,1	38,2
Piscine Rano Visy	34,3	32,3	30,9	29,5	29,1
Source du Parc	34,3	34,4	32	31	30,3
Témoin (Eau de robinet)	34,3	34,3	34,3	34,3	34,3

La figure 2 montre, pour chaque type d'eau minérale, l'évolution de la résistance en compression en fonction du taux d'eau minérale dans l'eau de gâchage.

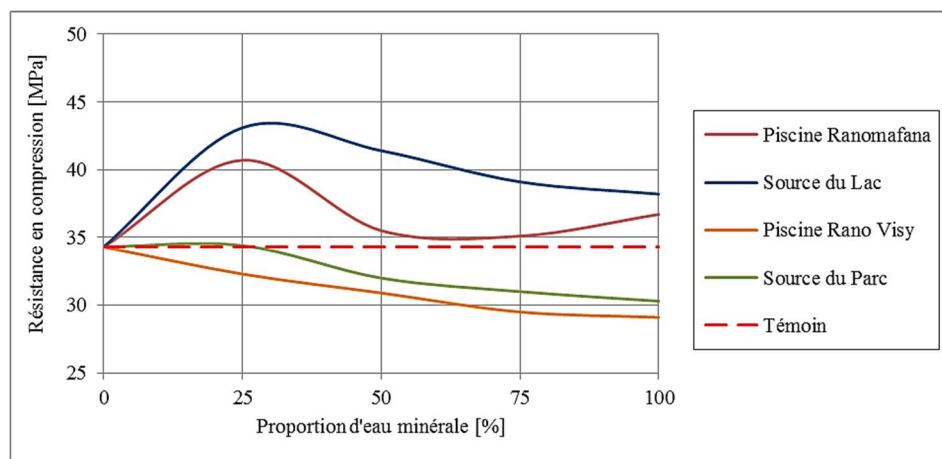


Figure 2 : Evolution de la résistance en compression en fonction du taux d'eau minérale

Pour les deux sources minérales piscine Ranomafana et source du Lac, on constate à 28 jours d'âge, que leur ajout dans l'eau de gâchage améliore la résistance à la compression des mortiers. Leurs R_{c28} sont supérieures à celles du témoin pour toutes les proportions et présentent des maximums à 25% de substitution.

Pour l'ensemble de tous les essais, nous obtenons le meilleur résultat avec la source du Lac pour une proportion de 25% dans l'eau de gâchage et à 28 jours d'âge on obtient une résistance à la compression de 43,1 MPa.

Par contre, les R_{c28} des éprouvettes conçues avec la source du Parc et la source Rano Visy sont inférieures à celles du témoin pour toutes les proportions. Ce qui montre que l'utilisation de ces deux sources comme eau de gâchage de mortier normal n'est pas intéressante du point de vue résistance à la compression.

4. CONCLUSION

Ce travail concerne les essais d'utilisation de certaines eaux de source minérale d'Antsirabe dans le gâchage de mortier normal. Pour tous les essais effectués, l'utilisation de la source du Lac dans le gâchage donne les meilleurs résultats sur la résistance à la compression à 28ème jour des mortiers normaux. Ces résultats surpassent celles des mortiers normaux conçus avec de l'eau de robinet et des autres sources utilisées : source Ranomafana, source du Parc et source Rano Visy.

L'eau de la source du Parc pourrait donc être utilisée dans la substitution de l'eau de robinet dans le gâchage et diminuerait le coût des constructions en béton puisqu'elle jaillit naturellement de la terre et ne nécessite l'utilisation d'aucune source d'énergie.

BIBLIOGRAPHIE

Lenoble, A., 1946. Le bassin thermominéral d'Antsirabe, Bulletin Académique Malgache, Tome XXVII.

Rodier, J., Legube, B., Merlet, N., et coll., 2009. L'Analyse de l'eau. Dunod Paris. 9^{ème} édition, entièrement mise à jour.

Norme de potabilité malgache. Décret n° 2004-635 du 15/16/04.

Société Degremont, 1972. Memento Technique de l'eau. 8^{ème} édition.

Delarras, Microbiologie de l'environnement avec législation ; Travaux pratiques commentés ; Europe, Gaëtan Morin éditeur, 2^é Trimestre 2000.

Manuel pratique de l'analyse de l'eau ; 4^{ème} édition. Fondation Nationale de la Santé.

Rakotsoana R., Rakotolahy, R.N., Ramaroson J.D., Randrianarivelo F., Ranaivoniarivo G., 2015. Conception et réalisation d'une presse vibrante de laboratoire. MADA-HARY, ISSN 2410-0315, VOL. 3, 2015.

Ravelomanantsoa, S., 2014. Caractérisation physico-chimique de l'eau potable dans les zones rurales. Mémoire d'ingénieur, Département Génie Chimique, Ecole Supérieure Polytechnique, Université d'Antananarivo, Madagascar.

Ranaivoniarivo V.G., 2005. Contribution à l'étude d'élaboration de ciments à haute résistance à Madagascar : actions sur le mélange cru. Thèse de doctorat d'Etat ès – Sciences Physiques, Option Science des Matériaux, Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, Université d'Antananarivo, Madagascar.

Randriamalala T.R., 2011. Contribution au développement de l'industrie minière extractive par caractérisation physico-chimique approfondie des gisements des minéraux de sable de Madagascar par : spectrométrie de fluorescence X, spectrométrie de diffraction aux RX, analyse granulométrique et détermination des paramètres géotechniques pour substituant du sable normalisé en vue de l'industrie des liants hydrauliques (CIMENT CPA...). Thèse de doctorat en Chimie, Option Chimie Minérale, Département de Chimie Minérale et de Chimie Physique, Faculté des Sciences, Université d'Antananarivo, Madagascar.

Ramiandravola M., 2016. Ecologie Industrielle de l'Industrie Cimentière par Bouclage de Flux de Matières. Elaboration de mortier normal et mortier enduit en substituant partiellement le ciment par des déchets et d'autres ressources naturelles. Mémoire de Master II, Mention Procédé et Ecologie Industrielle, Parcours Physico-chimie des Mélanges Complexes, Faculté des Sciences, Université d'Antananarivo, Madagascar.