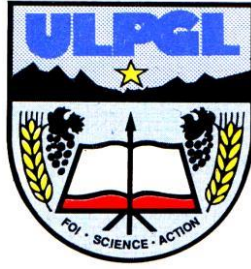


UNIVERSITE LIBRE DES PAYS DES GRANDS LACS



BP. 368 GOMA

www.ulpgl.net

FACULTE DE SCIENCES ET TECHNOLOGIES APPLIQUEES

DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

ETUDE DE L'INFLUENCE DE LA QUALITE DE L'EAU SUR LA PRISE DU CIMENT : CAS DE L'EAU DE PLUIE ET L'EAU DU LAC KIVU

Par : **ABAGWASIKINYE KUSINZA Crispin**

Travail présenté en vue de l'obtention du Diplôme
Bachelor en Sciences de l'ingénieur

Mention : Génie civil

Directeur : Msc Ir. GEMAIN BASHIGE

Encadreur : Ir. BADESIRE CIRHUZA Patern

ANNEE ACADEMIQUE 2022– 2023

**ETUDE DE L'INFLUENCE DE LA QUALITE DE L'EAU SUR LA PRISE DU
CIMENT : CAS DE L'EAU DE PLUIE ET L'EAU DU LAC KIVU**

Epigraphe

« Le sens du travail n'est pas simplement de procurer à l'homme une existence plus commode, plus agréable et plus sûre, mais une existence plus humaine parce que les choses au milieu desquelles il vit auront pris un visage plus humain ».

Joseph de Finance

Dédicaces

*A mes très chers parents **MWIKIZA KUSINZA** et **MAPENDO VENERANDA** et à la grande famille **GUBANJA**.*

ABAGWASIKINYE KUSINZA Crispin

Remerciements

Ma reconnaissance s'adresse à Dieu qui jusqu'ici continue à me secourir. Son attention sur moi m'a permis d'achever pacifiquement ce travail.

Notre gratitude est particulièrement exprimée au Master Ir. GERMAINE BASHIGE ainsi qu'à l'Ir. BADESIRE CIRHUZA Paternelle qui ont accepté de diriger ce travail malgré leurs multiples activités.

Nos remerciements les plus sincères sont adressés aux autorités de l'Université Libre de pays de grand lac (ULPGL), notamment le doyen Professeur BARAKA MUSHAGE Olivier, le vice doyen Professeur Alain AKWIR. Au travers de ces derniers, tout le corps professoral à travers l'œuvre intellectuelle et sage qu'ils plantent en nous.

Nous adressons notre cordial merci à toute notre famille qui contribue à notre croissance.

Spécialement à nos frères ANATOLE GUBANJA, MICHEL GUBANJA ; notre sœur Christelle, belles-sœurs FRANCINE BIDUBULA et NABINTU KISOLE Gracia. Que l'Eternel les comble de ses bienfaits.

Nos sincères remerciements s'adressent à tous nos condisciples de l'Université Libre de Pays de Grand Lac (ULPGL). D'une manière spéciale à DANIEL AGANZE et MUSHAGALUSA ROGER qui se sont donnés corps et âme pour me guider.

Notre gratitude ceux dont les noms ne sont pas cités explicitement, ce silence ne signifie pas que nous vous oublions. Nous vous portons dans notre cœur. Que l'être suprême vous comble de toutes.

ABAGWASIKINYE KUSINZA Crispin

Résumé

Ce travail porte sur l'étude de l'influence de la qualité de l'eau sur la prise du ciment : cas de l'eau de pluie et l'eau du lac Kivu. Cette étude a été faite dans le but de déterminer l'écart que présentent ces deux eaux sur le temps du début de prise du ciment et déterminer si leurs propriétés avoisinent le plus celles préconisées par la norme NF EN 1008 de juillet 2003 pour une eau de gâchage idéale. Pour y arriver, la connaissance des matériels, de mode opératoire nous a été d'une grande utilité. Avec un ciment Hima de résistance 32.5N qui a donné une pâte à consistance normalisée à 36% d'eau de la masse total du ciment qui était évalué à 500g que soit pour l'eau de pluie que pour l'eau du lac. A partir de ce même pourcentage d'eau et la même masse de ciment, il a été réalisé l'essai du temps de début de prise. A l'issue des résultats obtenus, il a été observé qu'avec l'eau de pluie le temps de début de prise était de 5h et d'autre part pour l'eau du lac Kivu son temps du début de prise était de 6h. En essayant de voir l'écart entre les deux eaux, l'eau de lac s'écarte d'une heure de plus avant sa prise. Ce qui représente un retard sur le temps de début de prise d'environ 16.6% pour l'eau du lac par rapport à l'eau de pluie.

L'analyse faite sur l'eau montre que l'eau de pluie a un pH de 8.55 à une pression de 635.3mm Hg et à une température de 21.2°C ; une teneur de 49.39mg/l en sulfate ; de 0.014mg/l en nitrite ; de 0.113mg/l en silice, de 0.067mg/l en phosphate et l'eau du lac Kivu a une teneur de 9.28mg/l en sulfate, de 0.007mg/l en nitrite, de 0.096mg/l en phosphate et de 0.220 en silice et de 9 en pH. Cet écart du temps de début de prise serait justifié par la différence au niveau de la composition chimique observée, la qualité du ciment utilisée mais aussi de la température de la salle lors de l'essai de prise.

Mots clés : Eau, Pluie, Lac.

Abstract

his work focuses on the study of the influence of water quality on the setting of cement: case of rainwater and water from Lake Kivu, with the aim of determining the difference between these two waters during the time the cement begins to set and whose properties are closest to those recommended by standard NF EN 1008 of July 2003 for ideal mixing water. To achieve this, the knowledge of the materials, of the operating mode has been of great use to us. With a Hima cement of 32.5N resistance which gave a paste with a standardized consistency at 36% of water of the total mass of the cement which was evaluated at 500g both for rainwater and for lake water, at from this same percentage of water and the same mass of cement, the test of the set start time. At the end of the results obtained, it was observed that with rainwater the start time of setting was 5 hours and on the other hand for the water of Lake Kivu its start time of setting was 6 hours. and trying to see the difference between the two waters, the lake water deviates an hour more before its socket. This represents a delay in the start of setting time of approximately 16.6% for lake water compared to rainwater. The analysis carried out on the water shows that rainwater has a pH of 8.55. at a pressure of 635.3mm Hg and a temperature of 21.2°C; a sulphate content of 49.39mg/l; from 0.014mg/l in nitrite; of 0.113mg/l in silica, 0.067mg/l in phosphate and the water of Lake Kivu has a content of 9.28mg/l, 0.007mg/l in nitrite, 0.096mg/l in phosphate and 0.220 in silica and 9 in pH. This difference in the start of setting time would be due to one of the elements mentioned above.

TABLE DE MATIERE

Epigraphe	i
Dédicace.....	ii
Remerciements.....	iii
Résumé.....	iv
Table de matière.....	Erreur ! Signet non défini.
Liste des abréviations.....	Erreur ! Signet non défini.
Liste des tableaux	x
Liste des figures	xi
INTRODUCTION GENERALE	1
Chapitre 1 : GENERALITES SUR L'EAU ET SUR LE CIMENT	4
1.1 INTRODUCTION.....	4
1.1.1 L'EAU.....	Erreur ! Signet non défini.
1.1.2 Propriétés chimiques de l'eau [3]	Erreur ! Signet non défini.
1.1.3 Propriétés physiques de l'eau [3].....	6
1.1.4 Importance de l'eau pour le corps humain [3].....	7
1.1.5 Importance de l'eau pour le sol.....	7
1.1.6 Effets néfastes de l'eau	Erreur ! Signet non défini.
1.1.7 Paramètre de l'eau.....	8
1.1.8 Turbidité.....	Erreur ! Signet non défini.
1.1.9 Nitrites.....	8
1.1.10 Nitrates	8
1.1.11 Silice (SiO ₂).....	8
1.1.12 Azote ammoniacal.....	Erreur ! Signet non défini.
1.1.13 L'eau de gâchage	8

1.1.14	Différentes types d'eau de gâchage	9
1.2	Ciment	11
1.2.1	fabrication du ciment	11
•	La cuisson : Le cru est ensuite cuit dans un four rotatif légèrement incliné dont les dimensions sont de l'ordre de 5m de diamètre et de 80 à 100m de longueur.....	12
1.3	LA COMPOSITION DU CIMENT	13
1.3.1	LES DIFFÉRENTS TYPES DE CIMENTS COURANTS.....	13
1.3.2	Autres ciments	Erreur ! Signet non défini.
1.3.3	Le ciment prompt.....	14
1.3.4	Applications utilisant la propriété de prise rapide : ..	Erreur ! Signet non défini.
1.3.5	Les ciments portland CEM I.....	Erreur ! Signet non défini.
1.3.6	Les ciments Portland composés - CEM II	Erreur ! Signet non défini.
1.3.7	Les ciments blancs	Erreur ! Signet non défini.
1.3.8	Les ciments comportant du laitier de haut fourneau (norme NF EN 197 – 1) Erreur ! Signet non défini.	
1.3.9	Les ciments à maçonner MC (- norme NF EN 413 – 1)	Erreur ! Signet non défini.
Chapitre 2 : METHODOLOGIE		17
2.1	INTRODUCTION.....	17
2.2	Nature et origine des constituants	17
2.2.1	Le ciment	17
2.2.2	L'eau de gâchage	17
2.3	Caractérisation des constituants	17
2.3.1	Détermination de la teneur en nitrite.	18
2.3.2	Détermination de la teneur en phosphate.....	19
2.3.3	Détermination de la teneur en silice.....	20
2.3.4	Détermination de la teneur en sulfate.	21
2.4	Le ciment.....	23
2.4.1	Essai de consistance du ciment	23

2.4.2	Détermination du temps de prise du ciment.....	25
2.5	Les exigences de l'eau de gâchage selon la norme NF EN 1400.....	27
2.5.1	Chlorures.....	27
2.5.2	Sulfates.....	28
2.5.3	Alcalins	28
2.5.4	Contamination nocive	28
2.5.5	Temps de prise et résistance	29
Chapitre 3 : PRESENTATION ET ANALYSE DES RESULTATS		30
3.1	INTRODUCTION.....	30
3.2	Résultat de l'analyse chimique de ces deux eaux	30
3.3	Caractéristiques du ciment hima	Erreur ! Signet non défini.
3.3.1	Essai de consistance normalise	Erreur ! Signet non défini.
3.3.2	Détermination du temps de début de prise en utilisant l'eau de pluie	32
3.3.3	Détermination du temps de début de prise en utilisant l'eau du lac Kivu	37
3.4	Conclusion partielle.....	40
CONCLUSION G ENERALE		41
Bibliographie.....		Erreur ! Signet non défini.

Sigles, abréviations et notations

%	: Pourcentage
C	: Dosage en ciment
E	: Dosage en ciment
g	: Gramme
kg	: Kilogramme
mm	: Millimètre
MPa	: Méga pascal
NF	: Norme Française
PCA	: Portland Cement Association
CEMII/A	: ciment portland composé
CNP	: ciment portland composé

Liste des tableaux

Tableau 1 <i>influence de l'ajout de ciment Portland sur le temps de prise du ciment prompt.</i> [4]	15
Tableau 8 <i>Teneur maximale en chlorures des eaux de gâchage.</i>	27
Tableau 9 <i>Prescriptions concernant les substances nocives</i>	28
Tableau 10 <i>Valeurs pour l'essai de consistance normalisée réaliser à partir de l'eau de pluie.</i>	30
Tableau 11 <i>Valeurs pour l'essai de consistance normalisée.</i>	31
Tableau 12 <i>Valeur de l'enfoncement en mm à chaque après 10 minutes</i>	33
Tableau 13 <i>Valeurs pour l'essai de consistance normalisée réalisée à partir de l'eau de pluie.</i>	35
Tableau 14 <i>Valeurs pour l'essai de consistance normalisée réaliser à partir de l'eau de pluie.</i>	36
Tableau 17 <i>valeur de l'enfoncement en mm à chaque après 10 minutes</i>	38

Liste des figures

<i>Figure 1 présente un spectrophotomètre avec quelques échantillons.</i>	<i>19</i>
<i>Figure 2 représente un pH –mètre électronique.</i>	<i>23</i>
<i>Figure 3 L'appareil de Vicat muni d'une sonde.</i>	<i>27</i>
<i>Figure 4 l'évolution de la consistance d'une pâte de ciment en fonction de E/C.....</i>	<i>32</i>
<i>Figure 5 Evolution de la consistance d'une pâte de ciment en fonction de E/C.....</i>	<i>37</i>

INTRODUCTION GENERALE

Dans le domaine de génie civil l'eau est d'une importance capitale dans la formulation du béton et son pourcentage doit être bien défini permettant de confectionner un béton à performance élevée. L'eau joue un rôle déterminant dans la fabrication des mortiers et des bétons à base de liants hydrauliques. Elle agit non seulement pour conduire à la prise de ces matériaux, par réaction entre les constituants anhydres des ciments, mais aussi pour leurs conférer certaines de leurs caractéristiques à l'état frais [1].

Dans le béton, l'eau joue un double rôle dans sa formulation notamment il déclenche l'hydratation du ciment (liant hydraulique) qui conduit à la prise et au durcissement du béton par la formulation de constituants hydratés qui ont des propriétés liantes ; il assure la maniabilité du béton frais pour faciliter sa mise en place [1].

La qualité d'eau peut avoir une influence sur le temps de prise, le développement des résistances du béton et la protection des armatures contre la corrosion.

Le non-respect de l'eau de gâchage appropriée par la norme influencerait le temps du début de prise du ciment et résistance du béton.

D'une manière générale, l'aptitude à l'emploi de l'eau pour la production de béton dépend de son origine. Dans la nature nous retrouvons plusieurs types d'eau, et toutes ces eaux ne sont pas favorables pour la formulation d'un béton et des mortiers de maçonnerie.

La ville de Goma, situé à l'Est de la République Démocratique du Congo, fait face un problème d'accès à l'eau potable, eau recommandée pour la confection du béton. Ainsi, l'eau de gâchage utilisée à Goma provient souvent soit du lac ou bien de la pluie, il convient donc de savoir s'il :

- Existerait une différence du point de vue composition chimique entre l'eau de pluie et l'eau du lac ?
- Existerait une influence de la qualité de l'eau sur le temps de début de prise du ciment ?

A ces questions de recherche s'associe les hypothèses suivantes :

- Il existerait une différence de la composition chimique de l'eau de pluie par rapport à l'eau du lac ;
- L'eau de pluie aurait moins d'effet néfaste sur le temps de début de prise du ciment étant donné que l'eau de la pluie posséderait moins d'éléments agressifs par rapport à l'eau du lac.

Le dosage en eau qui se traduit par le rapport Eau /Ciment (E/C) est un paramètre déterminant vis-à-vis de la porosité, de la résistance et donc de la durabilité du béton [1]. La quantité d'eau nécessaire à l'hydratation du ciment est de l'ordre de 20 à 25% de la quantité de ciment en masse. La connaissance de temps du début de la prise serait d'une grande importance lors de transport du béton à grande distance. Le reste de l'eau permet d'assurer la maniabilité du béton à l'état frais et pour limiter la quantité d'eau dans le béton, il serait préférable d'utiliser les adjuvants tels que les plastifiants et les super plastifiants, les adjuvants permettent d'obtenir une maniabilité adaptée à la mise en œuvre en réduisant la quantité d'eau de gâchage utilisée pour la fabrication du béton.

L'objectif majeur de ce présent travail est d'étudier l'influence de la qualité d'eau sur le temps de début de la prise du ciment tenant compte des différents paramètres de l'eau.

Ce travail pourra aussi jouer un rôle très important dans le choix de l'eau à utiliser dans les formulations des bétons et des mortiers de maçonneries.

Afin d'y parvenir, il sera nécessaire de :

- Effectuer l'analyse chimique de ces deux eaux,
- Déterminer le temps de début de prise du ciment pour les deux cas,
- Comparer les résultats obtenus.

Dans ce présent travail nous nous limiterons à étudier l'influence de la qualité d'eau ayant notamment la teneur en sulfate ; silice ; en pH ; nitrite et en phosphate sur la prise du ciment.

Mise à part cette introduction générale, ce travail comprend trois chapitres et une conclusion générale. Le premier chapitre parlera des généralités sur l'eau et le ciment, le deuxième portera sur l'analyse de l'eau et de sa composition chimique mais aussi l'eau appropriée pour la fabrication

*ETUDE DE L'INFLUENCE DE LA QUALITE DE L'EAU SUR LA PRISE DU CIMENT : CAS DE L'EAU DE PLUIE ET L'EAU DU
LAC KIVU*

du béton selon les différentes normes ; des matériaux constitutifs du béton et la méthodologie de recherche, enfin le troisième chapitre portera sur la présentation et l'analyse des résultats.

Chapitre 1 : GENERALITES SUR L'EAU ET SUR LE CIMENT

1.1 INTRODUCTION

Dans cette section nous présentons quelques généralités sur l'eau et sur le ciment entrant dans la composition du béton mais aussi on parlera de caractéristiques de l'eau et les différentes utilisations du ciment dans la vie quotidienne

1.2 L'eau

L'eau recouvre les $\frac{3}{4}$ de la planète terre et représente un volume total de l'ordre de 1.4 milliard de km^3 . Sous trois formes liquide, solide et vapeur elle est échangée en permanence entre différents réservoirs : ces échanges constituent le cycle de l'eau. L'eau douce indispensable à la plupart des activités humaine ne représente que moins de 3% du stock total d'eau sur la planète. Elle est aussi le constituant terrestre le plus caractéristique. Elle a permis l'apparition de la vie et lui est indispensable. L'eau se présente sous forme de réserves mobiles qui sont à la surface de la terre : les fleuves, les rivières, les lacs, les océans et les ruisseaux mais aussi sous la terre sous forme de nappes aquifères appelées aussi nappes phréatiques.

Le corps humain contient environ 70% d'eau et certains végétaux sont constitués de plus de 90% de cette substance. On peut même affirmer que pour toute matière vivante elle est essentielle et que sans elle c'est la sécheresse et la désolation. Pour le scientifique elle est indispensable. Il s'en sert comme solvant car elle peut former des mélanges homogènes avec d'autres substances. L'eau est le plus universel et le plus utilisé des composants chimiques. Sans l'eau, beaucoup de réactions chimiques sont irréalisables. Sans elle la vie domestique serait impensable et l'industrie ne pourrait survivre. On la rencontre également dans notre planète sous forme de pluie, de neige et de glace. Avec son symbole H_2O .

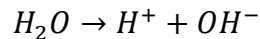
Les points qui suivent nous donnerons plus d'informations sur l'importance de l'eau dans et pour plusieurs domaines, ses propriétés physiques et chimiques et son effet néfaste

1.2.1 Propriétés chimiques de l'eau [2]

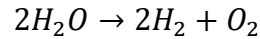
Dans cette section on va parler sur les propriétés chimiques de l'eau.

1.2.2 Décomposition de l'eau

Même si la molécule d'eau pure est essentiellement covalente elle s'ionise à très faible degré.



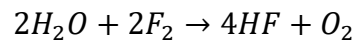
A haute température l'eau se décompose partiellement en ses éléments.



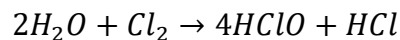
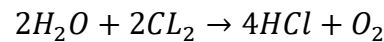
Environ 1% de l'eau se dissocie en ses éléments à 1900 °C et environ 7% à 2500 °C.

Réactions avec les éléments non métalliques :

Le fluor décompose instantanément l'eau avec production d'acide fluorhydrique et dégagement d'oxygène.

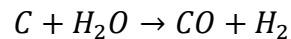


Le chlore réagit avec l'eau à haute température pour donner de l'acide chlorhydrique et de l'oxygène. A basse température le chlore et l'eau forment l'acide hypochloreux.



A froid, le brome ne réagit pas sur l'eau mais à haute température il forme de l'acide bromhydrique et de l'oxygène.

Le carbone chauffé au rouge avec vapeur d'eau pour donner du monoxyde de carbone et de l'hydrogène. Cette réaction donne un rendement à condition d'utiliser un catalyseur.



1.2.3 Sulfate

Un sulfate est un sel de l'acide sulfurique H_2SO_4 . On appelle ion sulfate l'anion SO_4^{2-} . Les sulfates font partie des polluants de l'air et en particulier lors des phénomènes de smog.

L'étude des sulfates alcalins formés dans le clinker a été traitée par plusieurs auteurs. En fonction de la composition du clinker et des conditions du four, différentes formes de sulfates alcalins (simple ou double) ont été citées. Caractérisés par une solubilité élevée, ces sulfates passent rapidement en solution. Ils forment une partie des sulfates nécessaires pour l'hydratation du ciment. Ils peuvent donc jouer le rôle de régulateur de prise. L'influence des sulfates sur le comportement du ciment ne dépend pas uniquement des quantités présentes dans le clinker, mais de la forme des sulfates présents et surtout de la vitesse de passage des ions SO_4^{2-} et Ca^{2+} en solution dans l'eau de gâchage. D'autre part, la quantité d'alcalis provenant des formes de sulfates alcalins influence l'hydratation initiale. La présence d'une quantité élevée d'alcalis dans les sulfates alcalins a un effet négatif sur la fluidité et les résistances à court et à long terme du béton. Le

remplacement des alcalis par du calcium dans les sulfates alcalins améliore la fluidité et les résistances à long terme des bétons. L'effet du calcium est double. Il se présente d'abord par la diminution de la quantité d'alcalis par remplacement de ces derniers, mais aussi par un apport d'ions Ca^{2+} dans la solution ce qui permet de freiner l'hydratation des phases du ciment. L'ajout d'une certaine quantité de gypse est donc nécessaire avec les clinkers riches en arcaniste ou/et en aphtitalite.

L'effet négatif de l'arcaniste et l'aphtitalite sur la fluidité est amplifié par la présence de super plastifiant. Ils sembleraient que l'effet dispersant du super plastifiant accélère la réaction d'hydratation. Une présence importante de sulfates alcalins ou d'hémi hydrate peut provoquer la cristallisation de la syngénite ou du gypse qui pourra diminuer la fluidité de ces ciments. [2]

1.2.4 Chlorure

Un chlorure est un composé qui porte un atome de chlore dans un état d'oxydation formelle. Il correspond donc à l'état d'oxydation le plus bas de cet élément puisqu'il a complété la couche de valence avec huit électrons. Les sels de chlorure d'hydrogène HCl (acide chlorhydrique) sont également appelés chlorures.

1.2.5 Propriétés physiques l'eau [2]

L'eau est formée de deux atomes d'hydrogène et d'un atome d'oxygène. L'atome d'oxygène possède six électrons sur son niveau extérieur et l'hydrogène en possède un seul. Chacun des atomes d'hydrogène accouple son électron à un électron de l'oxygène pour donner un lien covalent.

A la température ordinaire, l'eau est un liquide transparent, incolore inodore et sans saveur, ainsi elle prend facilement le goût des substances qui y sont dissoutes. L'eau a des propriétés physiques assez particulières par rapport aux autres liquides, elle apparaît comme un liquide « structure » et non désordonné comme les autres liquides.

La densité de l'eau varie avec sa température, elle augmente lorsque la température baisse, mais la densité maximale est à 4 °C (0.997g/mol). Elle se rencontre sous trois états solides (glace), liquide et gazeux (vapeur). Son passage d'un état à un autre dépend des conditions de température et de pression.

L'eau coexiste sous les trois formes dans une seule situation. Il s'agit d'une température de 0.01 °C et une pression de 611.2 pascals, c'est le point triple de l'eau on a : Sublimation, évaporation, Fusion, Solidification, Condensation.

L'eau a une chaleur spécifique élevée (1 cal/cg °c) due à ses liaisons d'hydrogènes qui se forment et se brisent constamment. C'est grâce à cette chaleur spécifique que les océans maintiennent une température stable.

La viscosité de l'eau dépend de sa composition isotopique. L'eau lourde est 30% plus visqueuse que l'eau ordinaire, elle permet de déterminer la mobilité. L'eau peut rester liquide au-dessous du point de fusion de la glace.

L'eau est transparente à la lumière visible, ainsi les organismes aquatiques peuvent vivre car la lumière du soleil peut les atteindre. Elle est cependant opaque au rayonnement infrarouge absorbé par l'hydrogène, l'oxygène et leur liaison.

1.2.6 Importance de l'eau pour le corps humain [2]

L'eau est un constituant essentiel pour le corps humain. Un organisme humain adulte est formé de 65% d'eau soit 45 litres d'eau pour un individu d'une masse de 70g. A sa naissance le bébé est constitué de 75% d'eau. Un homme peut résister à un jeûne de plusieurs semaines en revanche il ne survit que quelques jours à une privation totale d'eau. Principal constituant des organismes vivants, l'eau est indispensable à la vie. Elle est en outre nécessaire aux activités humaines qui sont pour la plupart grandes consommatrices d'eau. Cette eau est renouvelée en permanence, les fuites quotidiennes d'eau, urine, sueur, vapeur d'eau respiratoire devant être compensées par un apport équivalent d'aliment et de boisson. La sensation de soif est nette si l'organisme a perdu 2% de son volume d'eau, des troubles graves se manifestent si la perte atteint 10%. Une perte de 15% est mortelle.

Par ailleurs, l'eau est également utilisée par les humains pour nettoyer leur nourriture et bien sûr pour se laver. Elle transporte les globules qui nous défendent des agressions extérieures, intervient dans de nombreuses réactions chimiques et notamment dans la glycolyse nécessaire à la production d'ATP, transporte les déchets jusqu'aux organes d'éliminations. C'est le principal lubrifiant des articulations et des organes du système nerveux. Autant dire que son rôle est vital.

1.2.7 Importance de l'eau pour le sol [2]

L'eau du sol ne représente que 0.064% de l'eau douce, elle constitue le cycle de l'eau qui circule et alimente toute la population par l'intermédiaire de l'évaporation et en entretenant des nappes phréatiques et aquifères. Elle entretient avec les différents matériaux composants les sols des relations particulières qui la rendent plus ou moins durable. L'eau douce est très essentielle pour le sol. L'eau se répartit sous différentes

formes ; de pluie, de neige et d'autres formes. Toute l'eau des précipitations n'éteint le sol ruisselle, s'infiltré et humecte le sol, les racines absorbent cette eau. Les tiges et les feuilles évaporent par transpiration. Le volume d'eau maximale est la capacité au champ qui dépend de la granulométrie près de la surface, le sol n'est pas saturé. A partir d'une certaine profondeur, la teneur en eau n'augmente plus, le sol est saturé. Tous les pores du sol sont remplis d'eau.

1.2.8 Paramètre de l'eau

Le pH d'une eau permet de mettre en évidence les espèces chimiques présentes dans un échantillon. On parle alors de pH acide, de pH neutre ou de pH basique. La mesure du pH est réalisée par une méthode potentiométrique en mesurant la différence de potentiel entre une électrode de verre et une électrode de référence.

1.2.9 Nitrites

Les nitrites proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniaque, soit d'une réduction des nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiant. Une eau qui renferme des nitrites est à considérer comme suspecte. Pour connaître la méthode de détermination

1.2.10 Nitrates

Toutes les formes d'azote sont susceptibles d'être à l'origine des nitrates par un processus d'oxydation biologique.

1.2.11 Silice (SiO₂)

Méthode colorimétrique, l'acide molybdique, en présence d'ions silicates (SiO₃), forme un complexe silico-molybdique de couleur jaune puis est réduit par l'acide ascorbique en un complexe bleu. Le mesurage de l'absorbance du complexe formé est effectué à 650nm.

1.2.12 L'eau de gâchage

L'eau de gâchage c'est la quantité d'eau que l'on utilise pour confectionner un béton. Le gâchage c'est l'opération irréversible qui consiste à ajouter de l'eau au ciment. Cette opération se poursuit par le malaxage.

L'eau de gâchage est nécessaire à l'hydratation du ciment, elle facilite aussi la mise en œuvre du béton (effet lubrifiant). Ainsi on ne néglige pas l'influence de la quantité d'eau sur la résistance et la durabilité du béton, l'eau en excès diminue la résistance et la durabilité du béton.

L'eau doit être propre et ne doit pas contenir d'impuretés nuisibles (matière organique, alcalis).

Il convient de toujours utiliser l'eau potable. Le gâchage à l'eau de mer est à éviter, surtout pour le béton armé. La quantité d'eau varie avec un très grand nombre de facteurs (teneur en ciment, granulats consistance recherchée du béton frais) ; généralement, elle est comprise entre 140 et 210l/m³. Il convient de tenir compte de l'eau apportée par le paramètre essentiel de l'ouvrabilité du béton et de sa qualité : résistance mécanique à la compression, de la durabilité.

La résistance finale d'un béton dépend du rapport E/C (masse d'eau /masse du ciment) du mélange.

Le rapport E/C d'un béton courant varie entre 0.4 (qualité supérieure) et 0.6 (béton de fondation).

1.2.13 Différents types d'eau de gâchage

Dans cette section on va voir les types des eaux qui existent dans la nature.

1.2.13.1 Eaux pures

Le ciment en contact avec les eaux de pluie, de l'eau distillée et d'une façon générale des eaux très pures, doivent être confectionnés avec des ciments ne libérant pas de chaux, d'où l'utilisation de ciment alumineux fondu CA, ainsi que de ciment CLK-CE III/C OU de ciment prompt naturel CNP. Les ciments CHF-CEM III/A ou B et CLV-CEM V/A peuvent également être utilisés. Les travaux de bétons en présence d'eaux très pures nécessitent l'emploi de ciments adaptés, tels ceux à forte teneur en laitier [3].

1.2.13.2 Eaux à haute teneur en sulfates

Les caractéristiques de ciments susceptible d'être utilisés en présence d'eau à haute teneur en sulfates sont spécifiées dans la norme XP P 15-319. Nous pouvons citer les quatre cas qu'on peut trouver en teneur en sulfates :

- Teneur en sulfates < 600mg/l ;
- Teneur en sulfates comprise entre 600 et 1500 mg/l
- Teneur en sulfates comprise entre 1500 et 6000 mg/l
- Teneur en sulfates dépassant 6000 mg/l.

1.2.13.3 Eau de mer

Les caractéristiques des ciments susceptibles d'être utilisés en présence d'eaux de la mer ou d'embruns salins sont spécifiées dans la norme NF P 15-317.

Notons que la tenue du béton dans les zones de marnage nécessite, indépendamment de sa résistance à l'agressivité chimique conditionnée par le choix du ciment. La confection de bétons présentant le maximum de compacité. La porosité du béton provoque la dégradation par éclatement, d'une part pour les bétons armés en raison de la corrosion des aciers qui est d'autant plus rapide que le béton est plus poreux, d'autre part, aussi bien pour les bétons armés que pour les bétons non armés, en raison d'éclatement progressif qui se produit en surface par suite du phénomène d'alternance de séchage et de mouillage qui provoque la cristallisation des sels et par suite l'éclatement du béton. Indépendamment des risques de gel en hiver dont l'action est similaire.

1.2.13.4 Eau efficace

L'eau efficace correspond à la différence entre la quantité d'eau contenue dans le béton frais et la quantité d'eau absorbée par les granulats. C'est en fait l'eau disponible pour hydrater le ciment.

1.2.13.5 Eau totale

L'eau totale correspond à toute l'eau contenue dans le béton, c'est la somme de l'eau contenue à la surface ou dans les granulats (liée à leur porosité), l'eau apportée par les adjuvants et « éventuellement les additions introduites sous forme liquide.

1.2.13.6 Eau d'humidité des granulats

Cette eau provient des eaux pluviales auxquelles ont été exposés les granulats pendant leur stockage ou de l'eau de lavage. Elle doit être prise en compte lors de la fabrication du béton, elle doit être déduite de la quantité totale prévue lors de la formulation.

1.2.13.7 Eau absorbable par les granulats

Elle correspond à l'eau qui peut être absorbée par les granulats du fait de leur porosité. Les granulats peuvent être saturés en eau lors de leur introduction dans le malaxeur, cette eau n'intervient pas dans l'hydratation du ciment. Si les granulats ne sont pas saturés en eau, le calcul de l'eau d'apport devra tenir compte de la quantité d'eau nécessaire pour saturer les granulats.

1.2.13.8 Eau d'apport

L'eau d'apport correspond à l'eau à introduire dans le malaxeur indépendamment de l'eau introduite par les autres constituants.

1.3 Ciment

L'industrie cimentière met aujourd'hui à la disposition de l'utilisateur un grand nombre de ciments qui présentent des caractéristiques précises et adaptées à des domaines d'emploi déterminés. La gamme étendue de compositions, de résistances, de vitesse de prise et de durcissement répond aux usages très divers qui sont faits du béton sur chantier ou en usine, pour la réalisation de bâtiments ou de structures de génie civil. Le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire que mélangé à l'eau il forme une pâte fait prise et durcit (propriétés hydrauliques). Il est utilisé sous forme de poudre pour confectionner du béton ou du mortier [3] Exigences climatiques, résistance à des agents agressifs, autant de paramètres qui impliquent de choisir le ciment le plus approprié. Pour faire ce choix, il importe de connaître les caractéristiques spécifiques des différents types de ciments prévus par la normalisation.

Les ciments peuvent fournir des valeurs de résistance des bétons très différentes. C'est ainsi que l'on peut réaliser des Bétons à Hautes Performances dépassant 100 MPa de résistance à la compression à partir de CEMI 42.5 ou 52.5.

Les ciments courants sont élaborés à partir d'un mélange d'environ 80% de calcaire et 20% d'argile, mélange qui est progressivement chauffé à une température voisine de 1450°C, puis brusquement refroidi. Au cours de ces opérations, s'enchaînent plusieurs réactions chimiques. Il en résulte le clinker qui, mélangé avec du gypse et éventuellement avec d'autres produits, puis finement broyé, donne le ciment

1.3.1 Fabrication du ciment

Dans cette section nous présentons les différentes étapes de la fabrication du ciment, qui sont :

- Extraction : L'extraction consiste pour le calcaire, à abattre la roche à l'explosif, dans des carrières à ciel ouvert, de façon à la fragmenter en blocs qui sont chargés ensuite dans des dumpers pour alimenter des concasseurs. Alors que l'argile, beaucoup plus meuble, est exploitée au moyen d'excavateurs ou de roue-pelle avant d'être transportée par camions.
- Concassage : Les matériaux extraits des carrières (roches calcaires et argile) présentent des granulométries grossières allant jusqu'au m³.

Le concassage, qui est effectué le plus souvent sur les lieux mêmes de l'extraction, a pour but d'en limiter la granulométrie à 50, voire 100 mm au maximum. Les concasseurs utilisés à cette fin peuvent être fixes ou mobiles.

- Préparation de la matière première : La matière première du ciment, qui est un mélange de calcaire et d'argile, est appelée « cru » ou « farine ».
 - Pré homogénéisation : cette phase qui a pour but de réaliser un mélange préliminaire, consiste à déposer les matériaux constitutifs du cru en couches successives, de faible épaisseur, formant le « tas de pré homogénéisation ».
 - Broyage-séchage : repris à l'aide d'une roue-pelle, le mélange précédent est envoyé à la station de broyage afin d'être séché et broyé en une poudre de grains inférieurs à 160 microns.
 - Séparation : cette phase consiste à renvoyer au broyeur les particules insuffisamment broyées et à récupérer les fines contenues dans les gaz.
 - Homogénéisation : c'est au cours de cette phase que grâce à un brassage pneumatique ou mécanique vigoureux, peut être obtenu un produit parfaitement homogène, de caractéristiques chimiques uniformes, apte à être cuit et donner une bonne qualité du ciment.
- La cuisson : Le cru est ensuite cuit dans un four rotatif légèrement incliné dont les dimensions sont de l'ordre de 5m de diamètre et de 80 à 100m de longueur.

Le cru est introduit dans un four pour y être cuit à une température comprise entre 1400 et 1500°C. La cuisson, qui génère des émissions de CO₂, permet la transformation du cru en clinker.

Le cycle du traitement comporte les phases suivantes :

- Le préchauffage : qui s'effectue dans un échangeur de chaleur situé à l'amont du four (tour de préchauffage), les gaz chauds provenant du four y brassant la farine à contre-courant ;
- La décomposition des argiles : qui se situe au-dessus de 500°C ;
- La décarbonatation des calcaires : qui s'effectue à 950°C dans la partie médiane du four dont les températures sont comprises entre 550 et 1000°C ;
- La formation du clinker ou clinkérisation à 1450°C qui s'effectue en partie aval du four près du brûleur (zone de clinkérisation).

A la fin de la cuisson, le clinker se présente sous la forme de granules de la taille d'un poids ou d'une noix.

- Le broyage : le broyage est réalisé en continu dans des broyeurs alimentés à partir des stocks de clinker et des différents constituants et ajouts. Broyage a pour objectif, d'une part de réduire les

granules de clinker en poudre, d'autre part de procéder à l'ajout de gypse (dont le rôle est de réguler la prise), ainsi qu'à celui des éventuels autres constituants (filler calcaire, laitier, cendres...), ce qui permet d'obtenir les différents types de ciments normalisés.

- Stockage, ensachage et expédition : à partir de la sortie du broyeur, le ciment est transporté vers des silos de stockage, pour être soit ensaché (sac de 25 kg ou 35 kg) soit expédié en vrac.

L'ensachage s'effectue dans des sacs en papier kraft à l'aide de machines capables de remplir 2000 à 4000 sacs par heure.

La livraison en vrac est assurée par camions citernes, wagons ou péniches.

1.4 La composition du ciment

Parmi les éléments constitutifs du ciment nous pouvons citer :

- Le clinker Portland : le principal constituant des ciments est le clinker. Il est constitué de silicates de calcium (C3S et C2S) et d'aluminates de calcium (C3A et C4AF).
- Les autres constituants : l'ajout d'autres constituants permet d'obtenir les différents types de ciments. Ce sont essentiellement du laitier de haut fourneau, des cendres volantes, des calcaires, des fumées de silice, des fillers, du sulfate de calcium (gypse).

Lorsque leur teneur en masse excède 5% ce sont des constituants principaux, sinon ils sont appelés constituants secondaires.

1.4.1 Les différents types de ciments courants

Selon que des constituants, autres que le gypse, sont ou non ajoutés au clinker lors des opérations de fabrication, on obtient les différents types de ciments définis par la norme ciment (norme NF EN 197-1).

Voici les différents types de ciments courants utilisables pour le béton armé :

- Le ciment Portland : CEM I Il contient au moins 95% de clinker et au plus 5% de constituants secondaires.
- Le ciment Portland composé : CEM II/A ou B Il contient au moins 65% de clinker et au plus 35% d'autres constituants : laitier de haut fourneau, fumée de silice, pouzzolane, cendres volantes, calcaires, constituants secondaires.
- Le ciment de haut fourneau : CEM III/A ou B : contient entre 36 et 80% de laitier et 20 à 64% de clinker. CEM III/C : contient au moins 81% de laitier et 5 à 19% de clinker.
- Le ciment pouzzolanique : CEM IV/A ou B

Il contient 45 à 89% de clinker et 11 à 55% de pouzzolanes.

- Il n'est pas présent en France.
- Le ciment composé : CEM V/A ou B

Il contient 20 à 64% de clinker, 18 à 49% de laitier et 18 à 49% de cendres volantes ou de pouzzolanes.

1.4.2 Le ciment prompt

Un ciment prise rapide, le ciment prompt, également appelé ciment prompt naturel (symbolisé par les lettres CNP) ou ciment romain, est un ciment multi-usage.

La composition particulière du ciment prompt naturel lui confère un temps de début de prise très court, suivi d'un durcissement immédiat. Ces propriétés de rapidité sont utilisées dans des applications telles que les scellements, les réparations, l'étanchéité, le colmatage de voies d'eau, etc...

1.4.2.1 Présentation du ciment prompt :

Le ciment prompt naturel est un liant hydraulique conforme à la norme NF P 15-314 qui en définit les caractéristiques

Le ciment prompt naturel résulte de la cuisson, à température modérée (entre 800 et 1200°C), d'un calcaire argileux spécifique suivi d'un broyage très fin.

La cuisson à basse température produit, avec peu de phase fondue, de nombreux minéraux de très petites tailles dont certains, mal cristallisés, sont plus réactifs que dans le ciment classique.

Du gisement au produit fini, aucun ajout n'est effectué, d'où son appellation de ciment naturel. Sa couleur est ocre clair et non gris comme les ciments classiques.

1.4.2.2 Propriétés du ciment prompt

La composition minéralogique du ciment prompt naturel lui confère des propriétés particulières de prise rapide, de durcissement rapide, d'imperméabilisation et de résistance aux eaux agressives.

1.4.2.3 Prise rapide et réglable

Le temps de début de prise doit être inférieur à 4 minutes selon la norme NF P 15-314. Sur mortier à 20°, le temps de début de prise est en fait de 2minutes et demie et la fin de prise de 4 minutes.

La prise peut être retardée soit par ajout d'acide citrique, soit par ajout d'un adjuvant retardateur spécifique ou bien encore par l'ajout de ciment Portland classique. Dans le cas d'un mélange ciment (ajout de ciment Portland), les résistances initiales du mélange sont plus faibles que celles obtenues, dans les mêmes conditions, avec le ciment prompt naturel seul. Le ciment prompt naturel est compatible avec tous les ciments Portland classiques.

Tableau 1 Influence de l'ajout de ciment Portland sur le temps de prise du ciment prompt [3]

% de ciment classique ajouté au ciment prompt		0%	20%	40%
Temps de prise réglable par l'ajout de ciment classique Portland CEM I 42,5	Début de prise à 5°C (min)	5	6	14
	Fin de prise à 5°C (min)	6	7	17
	Début de prise à 20°C (min)	1,5	2,5	6
	Fin de prise à 20°C (min)	2	3,5	7

1.4.2.4 Montée en résistance

Le ciment prompt est caractérisé par une montée très rapide de ses résistances mécaniques aux premiers âges, les valeurs minimales garanties de résistance à la compression sur mortier normalisé étant de :

- Après 15 minutes : 4 MPa
- A 1 heure : 6 MPa
- A 3 heures : 8 MPa
- A 1 jour : 10 MPa
- A 7 jours : 14 MPa
- A 28 jours : 19 MPa

La résistance du ciment prompt, qui est généralement voisine de 40 MPa à 90 jours, continue à progresser régulièrement pendant des années jusqu'à environ 50 MPa.

1.4.2.5 Propriétés d'imperméabilisation

Le ciment prompt permet de réaliser des mortiers et des bétons présentant un faible coefficient de perméabilité à l'eau.

En effet on constate que le coefficient de perméabilité des bétons et mortiers réalisés avec du ciment prompt étanche baisse de manière continue pendant les mois qui suivent leur fabrication. Cela provient de la capacité du ciment prompt à former des hydrates sur une longue période (ciment étanche).

1.4.2.6 Résistance au contact de l'eau agressive :

Le mortier de ciment prompt naturel, grâce à sa composition minéralogique et à sa faible porosité, résiste bien aux eaux à haute teneur en sulfates, aux eaux pures, aux eaux acides dont le pH est supérieur à 4 ainsi qu'à l'eau de mer.

Le ciment naturel prompt est donc indiqué pour les usages en eaux agressives. Il est d'ailleurs adapté au milieu marin et est inclus dans la norme NF P 15-317 relative aux ciments pour travaux à la mer.

1.5 Conclusion partielle

Ce chapitre a présenté les généralités sur le ciment et sur l'eau. Il a été question de voir les constituants du ciment et de l'eau ; parler des propriétés du ciment et l'eau ; des différents types de ciments courants et de l'eau.

Chapitre 2: METHODOLOGIE

2.1 INTRODUCTION

L'étude de l'influence de la qualité de l'eau sur la prise du ciment : cas de l'eau de pluie et de l'eau du lac se fera en deux principales étapes : en premier elle va consister à la présentation de la nature et qualité du ciment et l'origine constituants du ciment. La deuxième étape présente d'une part les méthodes ou processus utilisés pour une obtention des résultats.

Dans ce chapitre sont présentés les modes opératoires des différents essais effectués au laboratoire de génie civil de la FSTA de l'ULPGL,

2.2 Nature et origine des constituants

Les constituants utilisés étaient le ciment, l'eau de gâchage. Dans cette section nous présentons respectivement la nature et l'origine du ciment, l'eau de gâchage.

2.2.1 Le ciment

Le ciment employé dans cette étude est un ciment Hima qui est un ciment pouzzolanique (CEM IV/32.5) produit en Ouganda, d'une masse volumique de 2.891g/cm [4] .

2.2.2 L'eau de gâchage

L'eau de gâchage utilisée dans cette étude est une eau fournie par la pluie mais aussi de l'eau du lac collecté à la plage du peuple / Goma.

2.3 Caractérisation des constituants

La caractérisation des constituants a consisté à la détermination des différentes propriétés des éléments chimiques constitutifs d'eau de gâchage notamment l'eau de pluie et l'eau du lac.

D'après l'analyse effectuée au laboratoire de l'Institut Supérieure Pédagogique (ISP) de Bukavu qui portait sur l'analyse chimique de l'eau et où nous avons analysé les paramètres suivants : la teneur en chlorure, teneur en sulfate, teneur en silice, teneur en phosphate, teneur en pH et la teneur nitrite.

Dans cette partie nous allons montrer la démarche que nous avons suivi afin d'atteindre les résultats.

2.3.1 Temps de prise et fin de prise [5].

Le *temps de prise* est la durée nécessaire pour que la pâte (ciment, plâtre, etc.) passe d'un état plastique (malléable) à un état rigide, c'est-à-dire qu'elle commence à durcir. On distingue souvent :

- *début de prise* : moment où le matériau cesse d'être maniable,
- *fin de prise* : moment où il devient suffisamment dur pour résister à une certaine contrainte.

2.3.2 Détermination de la teneur en nitrite [5].

Dans cette section nous présentons respectivement le but de l'essai, le principe de l'essai, le mode opératoire, les matériels utilisés.

2.3.2.1 Objectif de l'essai.

Cet essai nous a permis de déterminer la concentration de la teneur en nitrite contenue dans l'eau de pluie et dans l'eau du lac.

a) Réactif nécessaire

- Pilule Niticol1 1AP109

b) Accessoires nécessaire

Voici la liste des matériels utilisés pendant l'analyse chimiques de l'eau.

- Cuve 10 mm ;
- Pipette graduée 1/10 10ml;
- Poire à pipette ;
- Erlenmeyer 25 ml;
- Agitateur plastique ;

c) Préparation de L'échantillon

Ici sont présentés les différentes étapes pour la préparation de l'échantillon.

- Prélever 10 ml d'eau à analyser et les introduire dans l'erenmeyer ;
- Ajouter 1 pilule nitricol l'écraser puis agiter jusqu'à totale dissolution ;
- Remplir une cuve;
- Attendre 10 min;
- Effectuer la mesure;
- Lire la concentration dans le spectrophotomètre.

La figure 1 illustre l'image d'un spectrophotomètre avec quelques échantillons.



Figure 1 Spectrophotomètre avec quelques échantillons

2.3.3 Détermination de la teneur en phosphate.

Dans cette section nous présentons respectivement le but de l'essai, le principe de l'essai, le mode opératoire, les matériels utilisés.

2.3.3.1 Objectif

Cet essai nous a permis de déterminer la concentration de la teneur en phosphate contenue dans l'eau de pluie et dans l'eau du lac.

a) Réactifs nécessaires

Ici sont cités les réactifs utilisés lors de cette analyse.

- Réactif Phosphate 1 1RP018

- Réactif Phosphate 2 1RP019

b) Accessoires nécessaires

Ici sont cités les accessoires utilisés lors de cette analyse.

- Cuve 10 mm
- Pipette graduée 1/10 10ml
- Poire à pipeter
- Erlenmeyer 25 ml

c) Préparation de L'échantillon

Ici sont présentes les différentes étapes pour la préparation de l'échantillon.

- Temps de préparation: ~ 2.5 min
- Prélever 10 ml d'eau à analyser et les introduire dans l'erenmeyer
- Ajouter 2 gouttes de Réactif Phosphate 1
- Homogénéiser
- Ajouter 2 gouttes de Réactif Phosphate 2
- Homogénéiser
- Remplir une cuve
- Attendre 10 minutes.
- Effectuer la mesure.
- Lire la concentration dans le spectrophotomètre

2.3.4 Détermination de la teneur en silice [5].

Dans cette section nous présentons respectivement le but de l'essai, le principe de l'essai, le mode opératoire, les matériels utilisés.

2.3.4.1 Objectifs

Cet essai nous a permis de déterminer la concentration de la teneur en phosphate contenue dans l'eau de pluie et dans l'eau du lac.

a) Réactifs nécessaires

Ici sont cités les réactifs utilisés lors de cette analyse.

- Ammonium Molybdate 1AM010
- Acide Sulfurique ¼ 1AS013
- Acide Oxalique 10% 1AO000

b) Accessoires nécessaires

Ici sont cités les accessoires utilisés lors de cette analyse.

- Cuve 10 mm
- Pipette graduée 1/10 20ml
- Poire à pipeter
- Erlenmeyer 50 ml

c) Préparation de l'échantillon

Ici sont présentes les différentes étapes pour la préparation de l'échantillon.

- Temps de préparation: ~8 min
- Prélever 20 ml d'eau à analyser et les introduire dans l'erenmeyer
- Ajouter une jauge cuillère rase d'Ammonium Molybdate et agiter jusqu'à dissolution complète
~30 s
- Ajouter 7 gouttes de d'Acide sulfurique ¼ et mélanger.
- Attendre 5 minutes.
- Ajouter 15 gouttes d'Acide Oxalique 10% et mélanger.
- Remplir une cuve
- Effectuer la mesure.
- Lire la concentration dans le spectrophotomètre

2.3.5 Détermination de la teneur en sulfate [5].

Dans cette section nous présentons respectivement le but de l'essai, le principe de l'essai, le mode opératoire, les matériels utilisés.

2.3.5.1 Objectifs

Cet essai nous a permis de déterminer la concentration de la teneur en phosphate contenue dans l'eau de pluie et dans l'eau du lac.

a) Réactifs nécessaires

- Réactif Sulfates n°1 1RS015
- Réactif Sulfates n°2 1RS016

b) Accessoires nécessaires

- Tube
- Pipette graduée 1/10 10ml
- Poire à pipeter

c) Préparation de l'échantillon

Ici sont présentes les différentes étapes pour la préparation de l'échantillon.

- Temps de préparation: ~ 11 min
- Prélever 10 ml d'eau à analyser, les introduire dans le tube
- Ajouter 5 gouttes de Réactif Sulfate n°1, fermer le tube et agiter vigoureusement pendant 15 secondes.
- Ajouter 10 gouttes de réactif Sulfate n°2, fermer le tube et agiter vigoureusement pendant 15 secondes.
- Attendre 10 minutes.
- Effectuer la mesure.
- Lire la concentration dans le spectrophotomètre.

2.3.6 Détermination de la teneur en pH [5]

La teneur en pH par l'appareil appelé le pH –mètre, on le plonge dans l'échantillon et on lit le résultat sur l'écran électronique.

La figure2 montre comment prélever le teneur en pH d'une manière électronique.



Figure 2 pH –mètre électronique

2.4 Le ciment

Dans cette section nous présentons respectivement le but de l'essai, le principe de l'essai, le mode opératoire, les matériels utilisés.

2.4.1 Essai de consistance du ciment

2.4.1.1 Objectif de l'essai

L'objectif de cet essai était de déterminer la teneur en eau nécessaire pouvant donner un Enfoncement de la sonde de consistance de 6 ± 1 mm pour un mortier de ciment pur.

2.4.1.2 Principe de l'essai

Cet essai consiste à malaxer 500g de ciment avec une teneur en eau de 28% au départ, et en déduire une

teneur en eau pour laquelle l'enfoncement de la sonde de consistance est de 6 ± 1 mm pour un mortier en ciment pur.

2.4.1.3 Mode opératoire [6]

Pour effectuer cet essai, on procède comme suit :

- Peser une masse de ciment équivalent à 500g,
- En déduire le volume d'eau en ml correspondant à 28% de la masse du ciment,
- Bien malaxer le mélange ciment eau en ajoutant du ciment progressivement dans le volume de l'eau.
- Remplir le moule tronconique du mélange ainsi obtenu,
- Fixer la sonde de consistance sur l'appareil de Vicat, cette sonde doit affleurer la pâte du ciment dans le moule en son milieu,
- Laisser tomber la sonde sous le seul effet gravitaire et lire l'enfoncement sur la règle se trouvant sur l'appareil de Vicat.

2.4.1.4 Matériels utilisés [6]

Dans cette section sont présentés les matériels à utiliser pour cet essai notamment :

- Salle climatisée : L'essai doit se dérouler dans une salle, dont la température est de $20^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ et dont l'humidité relative est supérieure à 90%. A défaut d'une telle humidité relative,
- L'échantillon testé pourra, entre deux mesures, être entreposé dans de l'eau maintenue à $20^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$,
- Appareil de VICAT (du nom de l'ingénieur français).
- L'appareil est composé d'un moule tronconique ($h=40\text{mm}$ $d_1= 70$ mm et $d_2= 80$ mm) et d'une tige coulissante équipée à son extrémité d'une sonde de $D = 10$ mm,
- Balance précise à 0,1 g près,
- Chronomètre précise à 0,1 s près.
- Un bécher (contenant de l'eau en grande quantité),
- Une éprouvette graduée (servant à mesure la quantité nécessaire d'eau),
- Une petite assiette (pour le malaxage),

- Une cuillère (servant au malaxage),
- Une balance de précision.

2.4.1.5 Préparation de l'échantillon

Nous sommes partis d'une quantité de 500g de ciment et d'une teneur en eau de 28%, qui varie progressivement jusque à 36% qui nous a donné un enfoncement de 6mm.

2.4.2 Détermination du temps de prise du ciment

2.4.2.1 Objectif de l'essai

Cet essai vise à déterminer le temps de prise du ciment.

2.4.2.2 Principe de l'essai

Cet essai consiste à confectionner un mortier en ciment pur, de déterminer le temps de début de prise du ciment et celui de la fin de prise et d'en déduire le temps de prise grâce à l'appareil de Vicat.

2.4.2.3 Mode opératoire [6]

Pour déterminer le temps de prise du ciment on procède comme suit :

- On pèse une masse de ciment équivalent à 300g,
- Ensuite on mesure un volume d'eau équivalent au volume obtenu lors de l'essai de consistance (c'est-à-dire le volume d'eau ayant conduit à un mortier de ciment dont l'enfoncement de la sonde de consistance était de 6 ± 1 mm),
- On malaxe en ajoutant le ciment progressivement dans le volume d'eau pendant au moins 5minutes.
- On remplit le moule tronconique du mortier obtenu après malaxage en s'assurant de bien remplir les vides.
- On fixe l'aiguille de Vicat sur l'appareil de Vicat en s'assurant qu'elle affleure la pate
- Laisser tomber l'aiguille et évaluer son enfoncement ; répéter autant que possible cette action après un intervalle de temps jusqu' à obtenir un enfoncement de 4 ± 1 mm.
- Le temps de début de prise correspond à l'intervalle de temps entre le début de gâchage et le début de prise (temps où on a obtenu cet enfoncement de 4 ± 1 mm).

- Pour déterminer le temps de fin de prise, on renverse le moule tronconique et on évalue l'enfoncement de 4 ± 1 mm comme précédemment.
- Le temps de prise correspond à la différence entre le temps de fin de prise et celui de début de prise.

2.4.2.4 Matériels utilisés [6]

C'est le même appareil qui est utilisé (dans les mêmes conditions) à l'exception de la sonde qui cisaille l'échantillon, le diamètre est beaucoup plus petit ($D = 1.13$ mm).

Les matériels utilisés sont les suivants :

- L'appareil de Vicat (avec l'aiguille de Vicat),
- Un bécher (contenant de l'eau en grande quantité),
- Une éprouvette graduée (servant à mesure la quantité nécessaire d'eau),
- Une petite assiette (pour le malaxage),
- Une cuillère (servant au malaxage),
- Une balance.

La figure3 présente un appareil de Vicat permettant de mesurer l'enfoncement.



Figure 3 Appareil de Vicat muni d'une sonde.

2.4.2.5 Préparation de l'échantillon

Nous avons confectionné un mortier en ciment pur avec une quantité de 500g de ciment et un volume de 180ml d'eau (volume d'eau correspondant au volume obtenu lors de l'essai de consistance).

2.5 Les exigences de l'eau de gâchage selon la norme NF EN 1400

Avant toute utilisation de l'eau dans le domaine du génie civil il est recommandé faire certains essais chimiques permettant de la classifiée.

2.5.1 Chlorures

La teneur en chlorures de l'eau mesurée, exprimée en Cl ne doit pas dépasser les seuils figurant dans le tableau 10.

Tableau 2 Teneur maximale en chlorures des eaux de gâchage

Utilisation finale	Teneur maximale en chlorures mg/l
--------------------	--------------------------------------

Béton précontraint ou coulis	500
Béton armé ou avec insert	1000
Béton non armé et sans insert	4500

La teneur en chlorure supérieure aux seuils donnés par le tableau 8, cette eau est rejetée à moins que le seuil maximal de chlorures autorisé dans le béton ne soit dépassé.

2.5.2 Sulfates

La teneur en sulfates de l'eau, ne doit pas dépasser 2 000 mg/l. Pour toute teneur en sulfates supérieur à 2000mg/l, cette eau est rejetée.

2.5.3 Alcalins

Lorsqu'il est prévu d'utiliser des granulats sensibles aux alcalins Na_2O , ne doit pas normalement dépasser 1 500 mg/l. Si cette limite est dépassée, l'eau ne peut être utilisée que s'il peut être montré que des actions ont été prises pour prévenir des réactions d'alcali-réaction nuisibles.

La teneur en équivalent de Na_2O dépasse 1500mg/l, cette eau est acceptée à moins que des granulats sensibles aux alcalins soient susceptibles d'être utilisés dans le béton.

2.5.4 Contamination nocive

Des essais qualitatifs des sucres, des phosphates, des nitrates, du plomb et du zinc peuvent être effectués. Si les résultats sont positifs, il faut soit déterminer la quantité de la substance en question, soit effectuer des essais de temps de prise et de résistance.

Dans le cas de l'analyse chimique, les résultats doivent être conformes aux valeurs limites figurant au tableau.

Tableau 3 Prescriptions concernant les substances nocives [1]

Substance	Concentration maximale (mg/l)
Sucres	100
Phosphates, exprimés en P_2O_5	100

Nitrates, exprimés en NO_3	500
Plomb, exprimé en Pb^{2+}	100
Zinc, exprimé en Zn^{2+}	100

2.5.5 Temps de prise et résistance

Le temps de début de prise, obtenu sur des éprouvettes fabriquées avec l'eau essayée ne doit pas être inférieur à 1 h et ne doit pas s'écarter de plus de 25 % du temps de début de prise obtenu avec des éprouvettes préparées avec de l'eau distillée ou de l'eau dé-ionisée. Le temps de fin de prise ne doit pas être supérieur à 12 h et ne doit pas s'écarter de plus de 25 % du temps de début de prise obtenu avec des éprouvettes préparées avec de l'eau distillée ou de l'eau d'ionisée.

La résistance moyenne à la compression à 7 jours des éprouvettes de béton ou de mortier préparées avec l'eau essayée, doit atteindre au moins 90 % de la résistance moyenne des éprouvettes correspondantes préparées avec de l'eau distillée ou dé-ionisée [1].

2.6 Conclusion partielle

Le présent chapitre traité sur la méthodologie, il a été question de déterminer nature et origine des constituants, la caractéristique de constituants, tous les essais et analyses effectués sur les différents constituants.

Chapitre 3: PRESENTATION ET ANALYSE DES RESULTATS

3.1 INTRODUCTION

Le présent chapitre présente les résultats des différents essais normalisés, effectués afin d'étudier l'influence de la qualité de l'eau sur la prise du ciment : cas de l'eau du lac Kivu et l'eau de pluie. D'une manière succincte, il reprend les caractéristiques du ciment et de l'eau de gâchage.

3.2 Résultat de l'analyse chimique de ces deux eaux

Dans cette section sont présentés les résultats de l'eau de pluie et l'eau du lac Kivu.

3.2.1 L'eau de pluie

Le Tableau 10 présente les résultats des teneurs en éléments minéraux analysés au laboratoire de chimie de l'ISP/ Bukavu pour l'eau de pluie.

L'eau de pluie est composée principalement d'H₂O, mais elle contient toujours des gaz atmosphériques dissous (CO₂, O₂, N₂), des ions (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻), et parfois des polluants chimiques ou biologiques selon l'environnement.

Tableau 4 Valeurs en teneurs en éléments minéraux analysés l'eau de pluie.

Substance	Concentration maximale (mg/l)
	Eau de pluie
Sulfate	49.39
Nitrite	0.014
Phosphate	0.067
Silice	0.113
pH	8.55 (sans unité)

Après l'analyse l'eau de pluie a un pH de 8.55 à une pression de 635.3mm Hg et à une température de 21.2°C ; une teneur de 49.39mg/l en sulfate ; de 0.014mg/l en nitrite ; de 0.113mg/l en silice, de 0.067mg/l en phosphate. C'est ainsi que si la teneur en sulfates de l'eau, ne doit pas dépasser 2 000 mg/l. Pour toute teneur en sulfates supérieur à 2000mg/l, cette eau est rejetée [1].

3.3 Essai de consistance du ciment

Le tableau 11 présente les résultats de l'essai de consistance du ciment hima réalisée à partir de l'eau de pluie.

Tableau 5 Valeurs pour l'essai de consistance normalisée

Essai n°	Masse du ciment (g)	W (%)	Volume d'eau (ml)	Enfoncement (mm)
1	500	28	140	-
2	500	33	165	34
3	500	38	190	4
4	500	36	180	5
5	500	36,5	182,5	5,4

La pâte sera à consistance normale si $d = 6\text{mm} \pm 1\text{mm}$:

Si $d > 7\text{ mm}$: il n'y a pas assez d'eau,

Si $d < 5\text{ mm}$: il y a trop d'eau.

Dans les 2 cas, jeter la pâte, nettoyer et sécher le matériel et recommencer avec une nouvelle W.

Nous pouvons ainsi observer qu'à W égal à 36 on a un enfoncement égal à 6mm, enfoncement qui répond à l'objectif de l'essai. Nous observons également qu'à W égal à 28 % la pâte est trop sèche et il n'y a pas possibilité qu'on puisse mesurer l'enfoncement. Le tableau 11 a présenté respectivement, les numéros d'essai, les masses du ciment correspondant, les teneurs en eau correspondant, et les enfoncements obtenus.

La figure 4 présente le graphique d'une ligne d'évolution de la consistance en fonction de E/C,

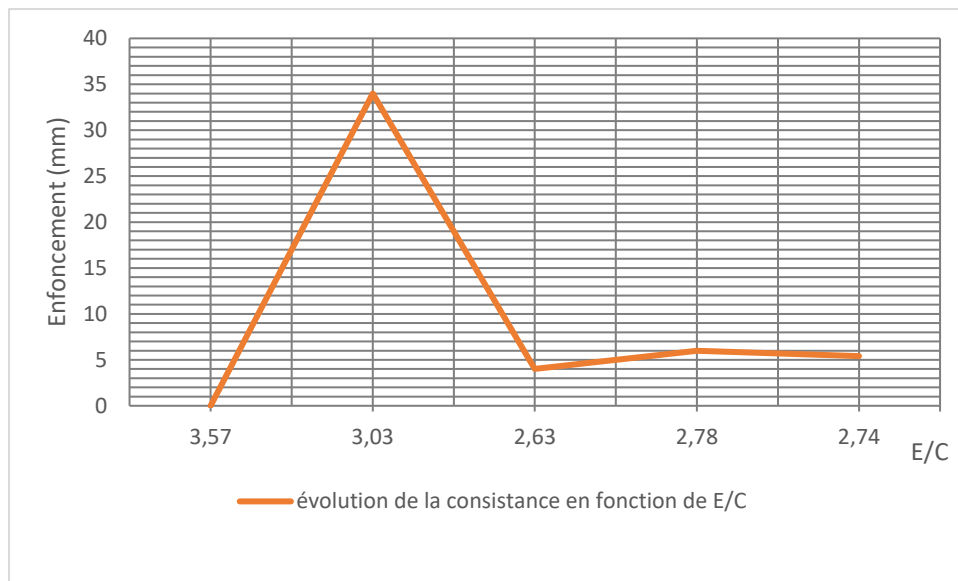


Figure 4 l'évolution de la consistance d'une pâte de ciment en fonction de E/C

Allure des lignes montre l'enfoncement de la sonde dépend beaucoup avec le rapport E/C, plus la quantité d'eau est petite plus avons un enfoncement exorbitant par contre si l'eau est considérable l'enfoncement est nul et cela que soit pour l'eau du lac que pour de pluie.

L'enfoncement obtenu pour le 28% de la masse du ciment comme mentionné dans le tableau 0 était une valeur indéterminée étant donné que le rapport E/C était considérablement petit pour gâcher le ciment. Pour 33% de la masse du ciment l'enfoncement mesurée était de 34mm ; pour 38% de la même l'enfoncement était de 4mm, pour 36% de la même masse toujours l'enfoncement était évalué à 6mm et 36.5% l'enfoncement était de 5.4mm.

3.4 Détermination du temps de début de prise en utilisant l'eau de pluie

Le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.2** présente le résultat du début de prise du ciment Hima gâcher avec l'eau de pluie.

Tableau 6 Valeur de l'enfoncement en mm à chaque après 10 minutes

emps	10h30	10h40	10h50	11h	11h10	11h20	11h30	11h40	11h50
Distance (d)en mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Temps	12h00	12h10	12h20	12h30	12h40	12h50	13h00	13h10	13h20
Distance (d)en mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Temps	13h30	13h40	13h50	14h00	14h10	14h20	14h30	14h40	14h50
Distance (d)en mm	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Temps	15h00	15h10	15h20	15h30	15h40	15h50			
Distance (d)en mm	1.4	2	2	2.6	4	5			

Il ressort du tableau 14 que le temps du début de prise du ciment Hima d'une résistance de 32.5N produit en Ouganda est de 5h10 minutes de temps d'après le résultat trouvé au laboratoire. La prise du ciment contenue jusqu'à ce que la pâte devienne une pierre artificielle.

ETUDE DE L'INFLUENCE DE LA QUALITE DE L'EAU SUR LA PRISE DU CIMENT : CAS DE L'EAU DE PLUIE ET L'EAU DU LAC KIVU

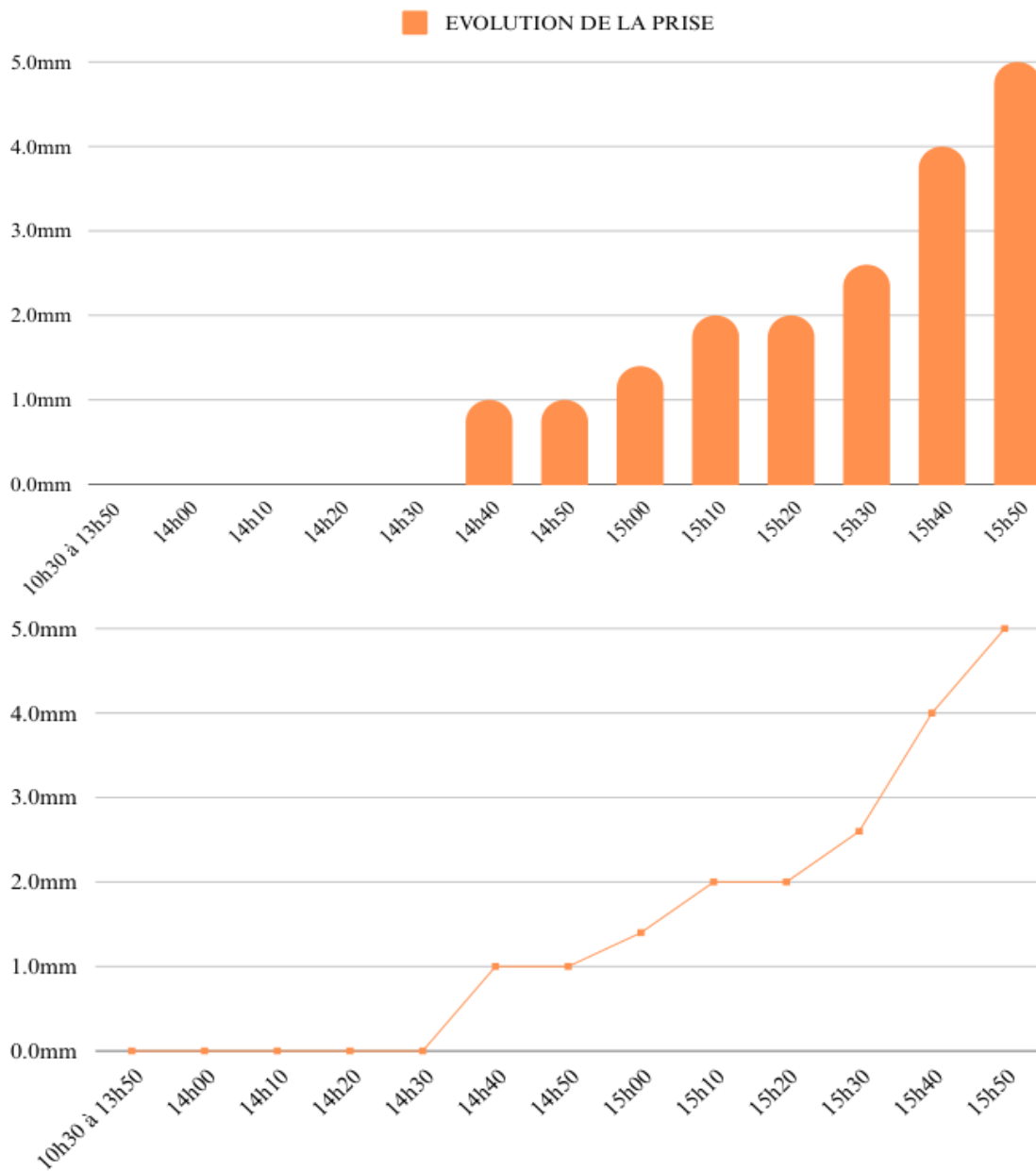


Figure 5 représente le temps début de la prise du ciment à partir de l'eau de pluie.

3.5 L'eau du lac Kivu

L'eau du lac Kivu contient majoritairement H₂O, mais aussi beaucoup de sels minéraux (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, HCO₃⁻, Cl⁻, SO₄²⁻) et, surtout, des gaz dissous en grande quantité (CO₂ et CH₄) dans les profondeurs. Cette composition particulière en fait à la fois une ressource (énergie, pêche) et un danger potentiel.

Le Tableau 13 présente les résultats des teneurs en éléments minéraux analysés au laboratoire de chimie de l'ISP/ Bukavu pour l'eau du lac Kivu.

Tableau 7 Valeurs pour l'essai de consistance normalisée réalisée à partir de l'eau du lac Kivu.

Substance	Concentration maximale (mg/l)
	Eau du lac
Sulfate	9.28
Nitrite	0.007
Phosphate	0.096
Silice	0.220
pH.	9(sans unité)

Il ressort du tableau13 que l'eau du lac Kivu a une teneur de 9.28mg/l, de 0.007mg/l en nitrite, de 0.096mg/l en phosphate et de 0.220 en silice et de 9 en pH. Pour un pH inférieur à 4, une teneur en sulfates supérieure à 2 000 mg/l, une teneur en phosphate supérieure à 100mg/l toute eau située dans cet intervalle est rejetée [1]

3.6 Essai de consistance du ciment

Le tableau14 présente les résultats de l'essai de consistance du ciment hima réalisée à partir de l'eau du lac Kivu

Tableau 8 Valeurs pour l'essai de consistance normalisée réaliser à partir de l'eau de pluie

Essai n°	Masse du ciment (g)	W (%)	Volume d'eau (ml)	Enfoncement (mm)
1	500	28	140	-
2	500	33	165	34
3	500	38	190	4
4	500	36	180	6
5	500	36,5	182,5	5,4

La pâte sera à consistance normale si $d = 6\text{mm} \pm 1\text{mm}$:

Si $d > 7\text{mm}$: il n'y a pas assez d'eau,

Si $d < 5\text{mm}$: il y a trop d'eau.

Dans les 2 cas, jeter la pâte, nettoyer et sécher le matériel et recommencer avec une nouvelle W.

Nous pouvons ainsi observer qu'à W égal à 36 on a un enfoncement égal à 6mm, enfoncement qui répond à l'objectif de l'essai. Nous observons également qu'à W égal à 28 % la pâte est trop sèche et il n'y a pas possibilité qu'on puisse mesurer l'enfoncement. Le tableau 1 a présenté respectivement, les numéros d'essai, les masses du ciment correspondant, les teneurs en eau correspondant, et les enfoncements obtenus.

La figure 5 présente le graphique d'une ligne d'évolution de la consistance en fonction de E/C pour une quantité de ciment mais par utilisation de l'eau du lac Kivu.

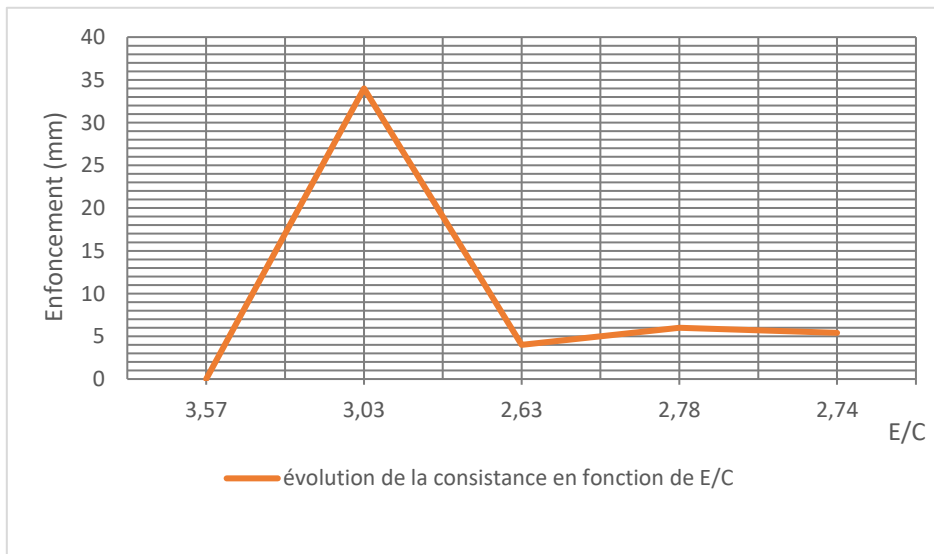


Figure 6 Evolution de la consistance d'une pâte de ciment en fonction E/C

Allure des lignes montre l'enfoncement de la sonde dépend beaucoup avec le rapport E/C, plus la quantité d'eau est petite plus avons un enfoncement exorbitant par contre si l'eau est considérable l'enfoncement est nul et cela que soit pour l'eau du lac que pour de pluie.

L'enfoncement obtenu pour le 28% de la masse du ciment comme mentionné dans le tableau 0 était une valeur indéterminée étant donné que le rapport E/C était considérablement petit pour gâcher le ciment. Pour 33% de la masse du ciment l'enfoncement mesurée était de 34mm ; pour 38% de la même l'enfoncement était de 4mm, pour 36% de la même masse toujours l'enfoncement était évalué à 6mm et 36.5% l'enfoncement était de 5.4mm.

3.7 Détermination du temps de début de prise en utilisant l'eau du lac Kivu

Le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**4 présente le résultat du début de prise du ciment Hima gâcher avec l'eau du lac Kivu.

Tableau 9 valeur de l'enfoncement en mm à chaque après 10 minutes

Temps	11h15	11h25	11h35	11h45	11h55	12h5	12h15	12h25	12h35
Distance (d)en mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Temps	12h45	12h55	13h5	13h15	13h25	13h35	13h45	13h55	14h5
Distance (d)en mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Temps	14h10	14h15	14h25	14h35	14h45	14h55	15h5	15h10	15h25
Distance (d)en mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Temps	15h35	15h45	15h55	16h5	16h15	16h25	16h35	16h45	16h55
Distance (d)en mm	0	0	0	1	1	1	2	2	2.7
Temps	17h5	17h15	17h25						
Distance (d)en mm	3	4	4						

Il ressort du tableau17 que le temps du début de prise du ciment Hima d'une résistance 32.5N produit en Ouganda a pour début de prise 6h de temps et cela pour un ciment gâcher avec l'eau du lac.

ETUDE DE L'INFLUENCE DE LA QUALITE DE L'EAU SUR LA PRISE DU CIMENT : CAS DE L'EAU DE PLUIE ET L'EAU DU LAC KIVU

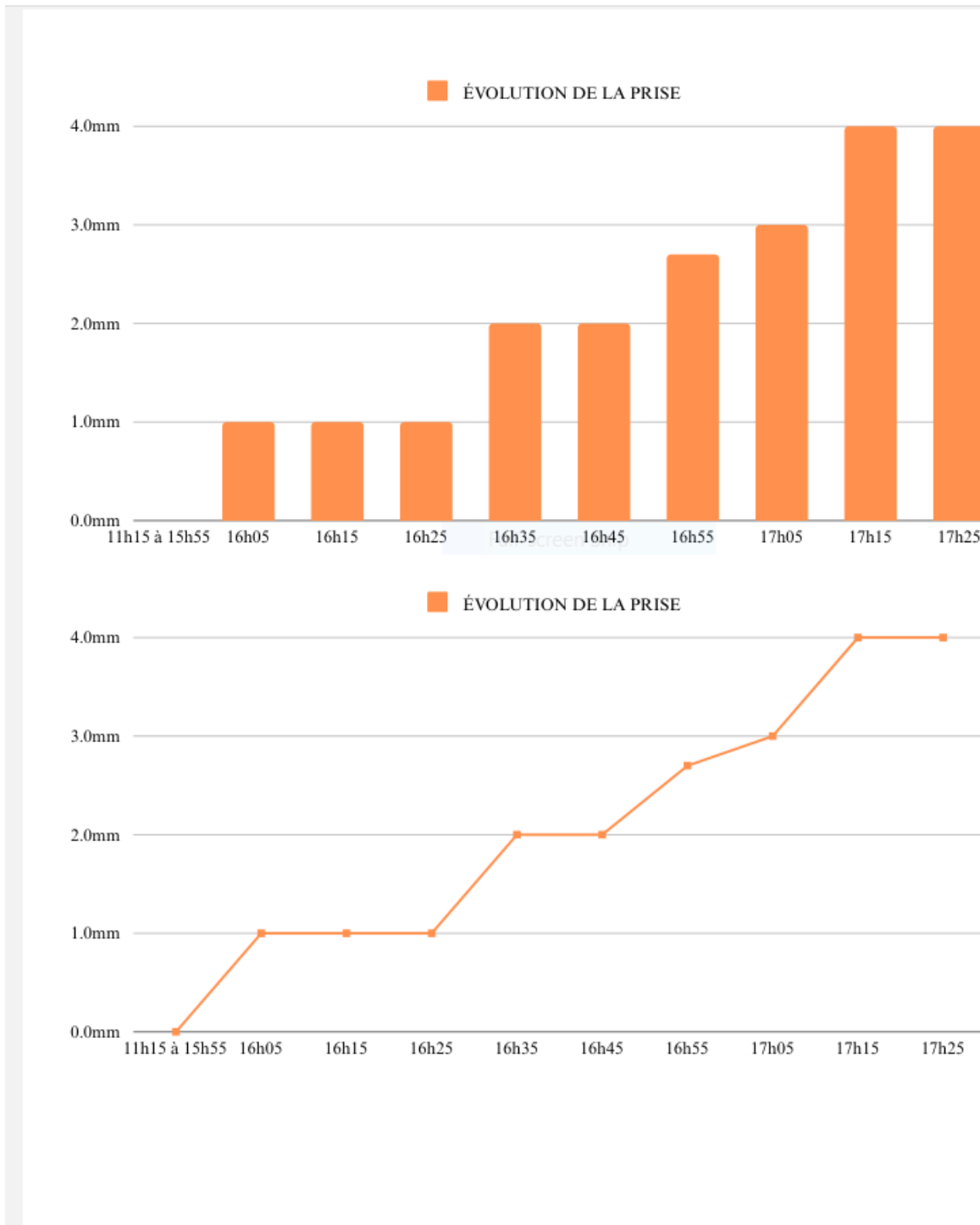


Figure 7 représente le temps début de la prise du ciment à partir de l'eau du lac.

3.8 Conclusion partielle

Dans le présent chapitre sont présentés et analysés les résultats de cette étude. Il a été question de présenter les caractéristiques du matériau utilisé, tous les résultats trouvés sur analyse de l'eau et sur le début de prise du ciment. L'analyse montre que l'eau de pluie a un pH de 8.55 à une pression de 635.3mm Hg et à une température de 21.2°C ; une teneur de 49.39mg/l en sulfate ; une teneur 0.014mg/l en nitrite ; une teneur 0.113mg/l en silice et une teneur de 0.067mg/l en phosphate et l'eau du lac Kivu a une teneur de 9.28mg/l, de 0.007mg/l en nitrite, de 0.096mg/l en phosphate et de 0.220 en silice et de 9 en PH, font respectivement 5h10 et 6h de temps pour le début de prise.

CONCLUSION GENERALE

Ce travail de fin de cycle s'est inscrit dans la problématique visant à étudier l'influence de la qualité de l'eau sur la prise du ciment : cas de l'eau du lac et l'eau de pluie. Cette étude a été faite dans le but de déterminer si les propriétés de ces deux eaux avoisinent le plus celles préconisées par la norme NF EN 1008 de juillet 2003 pour une eau de gâchage idéale et déterminer l'écart présent sur le temps de début de prise du ciment.

Pour y arriver, la connaissance des matériels, le mode opératoire nous a été d'une grande utilité. Avec un ciment Hima de résistance 32.5N qui a donné une pâte à consistance normalisée à 36% d'eau. La masse totale du ciment était évaluée à 500g que soit pour l'eau de pluie que pour l'eau du lac. A partir de ce même pourcentage d'eau et la même masse de ciment, il a été réalisé l'essai du temps de début de prise.

A l'issu des résultats obtenus, il a été observé qu'avec l'eau de pluie le temps de début de prise était de 5h et d'autre part pour l'eau du lac Kivu son temps du début de prise était de 6h. En essayant de voir l'écart entre les deux eaux, l'eau de lac s'écarte d'une heure de plus avant sa prise. Ce qui représente un retard sur le temps de début de prise d'environ 16.6% pour l'eau du lac par rapport à l'eau de pluie. L'analyse faite sur l'eau montre que l'eau de pluie a un pH de 8.55 à une pression de 635.3mm Hg et à une température de 21.2°C ; une teneur de 49.39mg/l en sulfate ; de 0.014mg/l en nitrite ; de 0.113mg/l en silice, de 0.067mg/l en phosphate et l'eau du lac Kivu a une teneur de 9.28mg/l, de 0.007mg/l en nitrite, de 0.096mg/l en phosphate et de 0.220 en silice et de 9 en pH. Cet écart du temps de début de prise serait justifié par la différence au niveau de la composition chimique observée, la qualité du ciment utilisée mais aussi de la température de la salle lors de l'essai de prise.

Ce travail s'est limité à étudier l'influence de la qualité de l'eau sur la prise du ciment en utilisant l'eau de pluie ainsi que celle du lac Kivu, ce qui a donné 16.6% de temps d'écart pour l'eau du lac par rapport à l'eau de pluie. Les études futures pourraient s'articuler sur l'influence de chaque minéral constituant l'eau sur les propriétés du ciment.

Bibliographie

- [1] NF EN 1008, Reglementation d'eau de gachage, juillet 2003.
- [2] https://savoirs.usherbrooke.ca/bitstream/handle/11143/1008/Bouraoui_Slaheddine_MScA_1997.pdf?sequence=3&isAllowed=y.
- [3] G. D. e. J. FESTA, Nouveau guide du béton et de ses constituants, 8e édition, Eyrolles, Novembre 2006.
- [4] C. A. A. NYAMUHANGA, cours de physique et technologie du béton, Goma, 2021-2022.
- [5] Modes opératoires pour Analyses spectrophotométriques.
- [6] I. Grâce, laboratoire de materiaux, GOMA: ulpgl/goma, 2022.