Afrique SCIENCE *13(1) (2017) 277 - 286*
ISSN 1813-548X, http://www.afriquescience.info

Étude de l'influence des caractéristiques physico-chimiques de l'eau provenant du Sénégal sur les propriétés mécaniques du béton : cas de Tivaouane Peulh, Thiaroye, Rufisque, Thiès et Léona

Ndèye Seynabou FALL, Dame KEINDE, Ndèye Awa SENE*, Seyni NDOYE et Prince Momar GUEYE

Université Cheikh Anta Diop, Ecole Supérieure Polytechnique, Département Génie Civil, BP 5085, Dakar-Fann, Sénégal

* Correspondance, courriel : *ndsene@gmail.com*

Résumé

La durabilité et la résistance des structures en béton restent des questions préoccupantes dans un pays comme le Sénégal. En effet la plupart des régions au Sénégal utilise l'eau souterraine non traitée pour construire. En se penchant sur la composition intrinsèque du béton, il est possible toutefois de trouver des réponses. L'élément dont il sera question ici est l'eau de gâchage. Cette dernière joue un rôle essentiel dans la maniabilité du béton, le temps de prise, les performances mécaniques ou encore dans la protection des armatures contre la corrosion (dans le cas du béton armé). Afin de mettre en évidence l'influence de l'eau, ce travail est réalisé sur la base d'échantillons d'eau souterraine provenant de cinq localités sénégalaises (Tivaouane Peulh, Thiaroye, Rufisque, Thiès et Léona) ainsi qu'un échantillon témoin d'eau potable. L'étude de l'influence des caractéristiques physico chimique de l'eau provenant du Sénégal sur les propriétés mécaniques du béton a permis de conclure que les eaux polluées de la nappe de Thiaroye ne conviennent pas au gâchage du béton.

Mots-clés : *béton, eau de gâchage, résistance, pollution.*

Abstract

Study of the influence of the physico-chemical characteristics of water from Senegal on the mechanical properties of concrete : Tivaouane Peulh, Thiaroye, Rufisque, Thies and Léona

Sustainability and strength of concrete structures remain each a matter of concern in a country like Senegal. As a matter of fact, most regions in Senegal use unprocessed underground water to build. By focusing on the intrinsic composition of concrete, it is possible to find answers. The element that will be dealt with in this paper is mixing water. This plays an essential role in concrete workability, setting time, mechanical performances or reinforcement protection against corrosion (in the case of reinforced concrete). To reveal the water influence, this work is carried out based on ground water samples taken from five different areas in Senegal (Tivaouane Peulh, Thiaroye, Rufisque, Thies and Leona) and a drinkable water control sample. The study of the influence of the physicochemical characteristics of water from Senegal on the mechanical properties of concrete has made it possible to conclude that Thiaroye's sheet of polluted water is not suitable for mixing concrete.

Keywords : *concrete, mixing water, resistance, pollution.*

1. Introduction

De nos jours, le béton occupe une place primordiale dans la construction car il est le matériau principal utilisé dans la fabrication de divers éléments de structure. En effet, le béton de ciment est, à l'heure actuelle, l'un des matériaux de construction le plus utilisé au monde. C'est aussi le deuxième matériau minéral le plus employé par l'homme après l'eau potable : 1 m^3 par an et par habitant [1]. Son association complémentaire avec l'acier pour donner du béton armé a permis d'ouvrir de nouveaux horizons en matière de génie civil. Depuis sa fabrication, ce mélange de ciment, de sable, de gravier, d'eau et d'adjuvants a fait l'objet de nombreuses recherches pour contribuer à son amélioration [2 - 7]. Des tests spécifiques sont faits sur les différents composants du béton, notamment sur l'eau de gâchage. Dépendamment de la qualité et de la quantité de l'eau de gâchage, le béton peut présenter des défauts de maniabilité ou de consistance. Les principales eaux utilisées pour la fabrication du béton sont : les eaux potables, souterraines ou de surface ; les eaux récupérées des fabrications de l'industrie du béton. Au Sénégal, comme dans la plupart des pays d'Afrique, il n'existe pas de norme réglementant la nature de l'eau de gâchage. Ainsi, il n'est pas rare que l'eau la plus facilement mobilisable soit utilisée pour la mise en œuvre du béton. Cela peut entraîner des conséquences néfastes sur la construction en diminuant la durée de vie du béton. L'objectif de ce travail est de mettre la lumière sur l'effet de la nature de l'eau sur les propriétés mécaniques du béton. En effet, sur la base de l'eau provenant de cinq localités que sont Tivaouane Peulh, Thiaroye, Rufisque, Thiès et Léona, les différences de résistance dans le béton ont été analysées. Cet article présente d'abord le matériel et les méthodes utilisés ensuite l'analyse et l'interprétation des résultats obtenus.

2. Matériel et méthodes

2-1. Matériaux

La formulation du béton est composée de trois classes granulaires : sables, basaltes 0 / 3, 3 / 8 et 8 / 16, d'eau et de ciment CEMII / B classe 42,5. Les sables sont constitués de sable de dune et de sable concassé. Les quantités de matériaux pour un mètre cube de béton et pour la gâchée sont présentées sur les ***Tableaux 1 et 2***.

Tableau 1 : *Masse des matériaux pour un mètre cube de béton*

Matériaux	Masse (kg)
Sable	282
0 / 3	582
3 / 8	304
8 / 16	619
Ciment	350
Eau	207,21
E / C	0,59

Tableau 2 : *Masse des matériaux pour la gâchée*

Matériaux	Masses (kg)
Sable	13,14
0 / 3	27,13
3 / 8	14,17
8 / 16	28,85
Ciment	16,31
Eau	11,78

2-2. Méthodes

Les éprouvettes utilisées sont cylindriques et leurs moules ont des caractéristiques définies par les normes NF P 18-400 ou EN 12390-1. Leurs dimensions sont indiquées dans le ***Tableau 3***.

Tableau 3 : *Dimensions normalisés des moules*

Format	Dimensions (mm)		Section (cm²) par un plan	
	Diamètre d	Hauteur h	Orthogonal	Diamétral
Cylindre 16 x 32	159,6	320	200	511

2-2-1. Essai de consistance

L'ouvrabilité (ou la maniabilité du béton) est mesurée par son affaissement qui évolue dans le temps avant la prise. Ce dernier est calculé par la méthode du cône d'Abrams juste après avoir mélangé les composantes du béton.

2-2-2. Essais de consistance de la pâte de ciment et de mesure du temps de début de prise et de fin de prise

Pour apprécier la consistance de la pâte de ciment l'appareil de Vicat conformément à la norme EN 196-3, muni d'une sonde, est utilisé ***(Figure 1)***. Cet essai permet de définir la consistance de la pâte dite « consistance normalisée ». Pour mesurer le temps de début de prise et de fin de prise, les essais se font à l'aide de l'aiguille de Vicat ***(Figure 2)*** qui donne deux repères pratiques : le début de prise et la fin de prise.

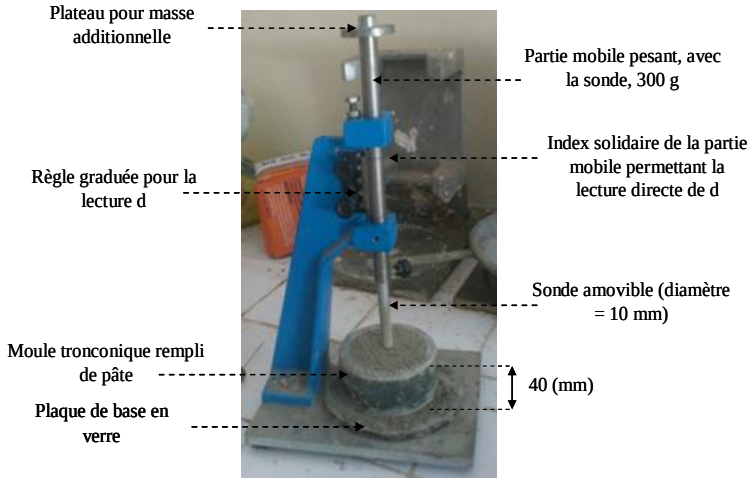

Figure 1 : *Appareil de Vicat muni d'une sonde amovible*

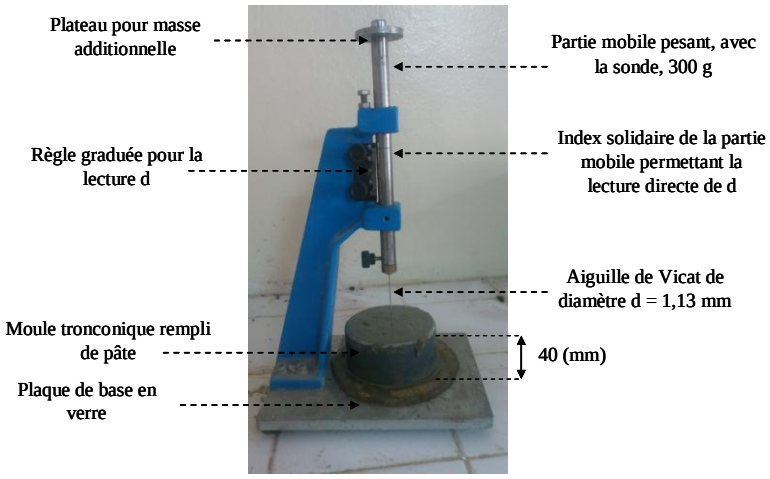

Figure 2 : *Appareil de Vicat muni d'une aiguille*

2-2-3. Essais de compression et de traction par fendage

Les tests de compression sont faits à 3 jours, 7 jours et 28 jours. Les éprouvettes sont pesées puis placées dans la machine de compression ***(Figure 3)***. Une force croissante est appliquée jusqu'à la rupture du béton. Nous avons employé l'essai de fendage brésilien avec le même appareil que pour la compression. Dans notre cas, l'éprouvette est placée dans la machine dans le sens transversal ***(Figure 4)***.

Figure 3 : *Presse utilisée pour les essais de compression*

Figure 4 : *Presse utilisée pour les essais de traction par fendage*

2-2-4. Mesures des paramètres physico-chimiques des eaux échantillonnées

Les missions d'échantillonnage et de mesures in situ de paramètres physico-chimiques ont été réalisées en Mai 2016. Les paramètres d'acidité (pH), de conductivité, de température ont été mesurés simultanément à l'aide d'une sonde multi paramètres de terrain de marque WTWMulti 350i. Les prélèvements ont été faits à l'aide de flacons en polypropylène rincés deux fois avec l'eau déminéralisée puis trois fois avec l'eau à échantillonner pour éviter toute pollution. Du terrain au laboratoire, les prélèvements ont été conservés au frais dans une glacière et à l'abri de la lumière. Dans chaque ouvrage une quantité importante d'eau est aussi échantillonnée pour la formulation des bétons. La ***Figure 5*** montre la localisation des différents points des prélèvements d'échantillons d'eau dans la nappe de Thiaroye (Tivaouane Peulh, Thiaroye et Rufisque), la nappe du Maastrichtien à Thiès et dans la nappe du littoral Nord à Léona. Les analyses chimiques des éléments majeurs ont été réalisées au Laboratoire d'analyse et d'essai de l'école supérieure polytechnique de Dakar.

Figure 5 : *Carte de localisation des différents points d'eau échantillonnés*

3. Résultats et discussion

3-1. Analyse et interprétation des résultats des essais chimiques des différents types d'eau

L'analyse de la composition chimique est accès essentiellement sur les bicarbonates, les chlorures, les nitrates, les sulfates, le sodium, le potassium, le magnésium et le calcium. Les pH sont légèrement basiques et oscillent entre 7,21 et 8,53 sauf à Léona où il est acide avec une valeur de 5,36. La conductivité électrique qui est une mesure permettant d'apprécier simplement et rapidement le degré de minéralisation d'une solution oscillent entre 316 et 4120 µS / cm. L'importance de la minéralisation de ces eaux souterraines trouvent en grande partie son explication dans la nature géologique des terrains, qui influe fortement sur la composition chimique des eaux. D'autres facteurs peuvent être avancés comme les rejets domestiques, les effluents industriels, les pratiques agricoles (épandages d'engrais et de pesticides) et notamment les conditions climatiques. Le ***Tableau 4*** présente les différents résultats des analyses des paramètres physicochimiques. Les échantillons d'eau présentent de grandes différences au niveau des caractéristiques physico-chimiques. La présence en quantité importante de certains minéraux tels que les chlorures, les sulfates et les nitrates est particulièrement problématique car elles peuvent avoir des répercussions sur la qualité du béton. L'analyse des histogrammes ***(Figure 6)*** de concentrations des différents éléments les plus agressifs pour le béton montrent que les eaux de Rufisque et de Thiaroye affichent les concentrations les plus élevées.

Tableau 4 : *Résultats des essais chimiques des différents types d'eau*

ELEMENTS	Thiès	Tivaouane Peulh	Thiaroye	Rufisque	Léona
pH	7,83	7,21	8,53	7,73	5,36
Conductivité (µS / cm)	1042	942	1895	4120	376
Résidu sec (mg / L)	940	757	1401	2868	288
Bicarbonates (mg / L)	39,04	9,76	134,2	292,8	4,88
Chlorures (mg / L)	186,33	143,43	255,04	710,96	98,62
Nitrates (mg / L)	321,2	451,68	336,67	638,84	30,37
Sulfates (mg / L)	54,19	22,82	209,7	681,6	63,58
Sodium (mg / L)	82,49	76,83	205,38	23,13	51,44
Potassium (mg / L)	2,73	9,23	52,62	1,25	5,95
Calcium (mg / L)	96,38	48,29	109,79	10,78	12,19

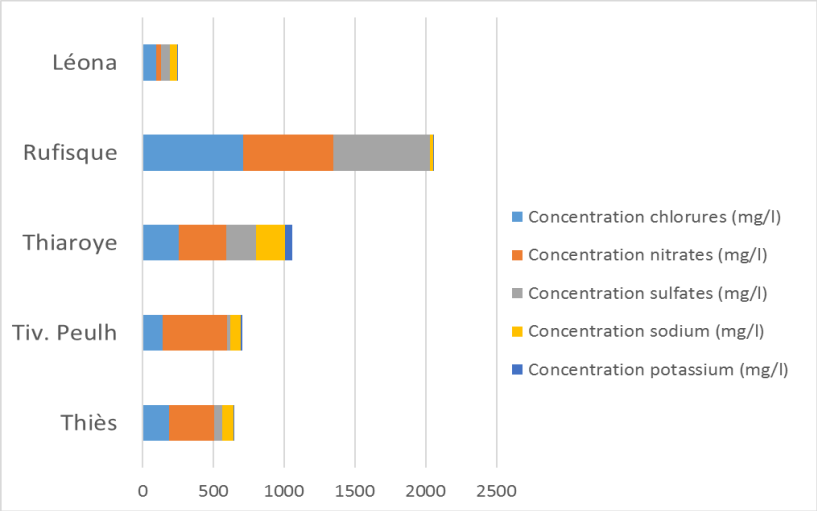

Figure 6 : *Concentration en chlorures des différentes eaux*

Avec l'eau de Rufisque notamment, la limite fixée par la norme NF EN 1008 pour la concentration en nitrate est dépassée. L'eau provenant de Léona semble être la moins polluée. Les eaux de Thiès et de Tivaouane Peulh sont relativement peu polluées également. Ces données sont utilisées dans l'interprétation des résultats obtenus lors de la caractérisation mécanique des bétons. Le béton nécessite une connaissance du comportement mécanique très poussée. Ce savoir est essentiel pour toutes les constructions modernes, il permet de s'assurer que les bâtiments construits en béton seront viables et qu'ils ne s'écrouleront pas, ou encore qu'ils résisteront aux contraintes environnementales. Différents tests ont été réalisés pour déterminer les paramètres mécaniques du béton. Les quantités de matériaux utilisés pour la gâchée sont présentées sur le ***Tableau 2***. L'essai de consistance a été utilisé pour mesurer l'ouvrabilité. Les résultats montrent que le béton obtenu avec les différents types d'eau est de consistance fluide avec un affaissement de 16 à 21 cm et qu'il appartient à la classe S4.

3-2. Analyse et interprétation des résultats des essais de compression

Les essais de compression ont été réalisés avec la presse présentée sur la ***Figure 3***. Les tests ont été effectués à 3, 7 et 28 jours. La ***Figure 7*** montre une nette différence entre les eaux de Thiès, de Léona, de Rufisque et les eaux de Thiaroye et de Tivaouane Peulh.

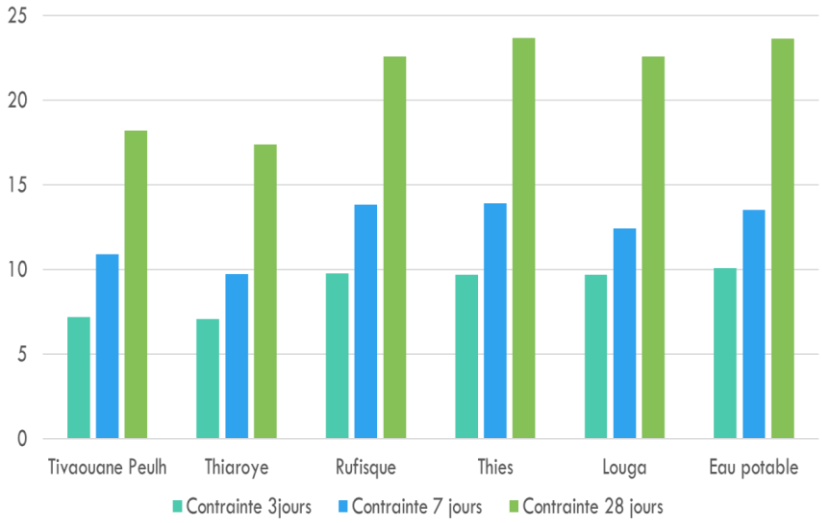

Figure 7 : *Comparaison des contraintes de rupture en compression pour les différents types d'eau à 3, 7 et 28 jours*

Les performances des bétons gâchés avec les eaux de Thiès et de Rufisque sont presque égales. Elles dépassent aussi légèrement de la résistance du béton témoin à 7 jours. Cependant, à 28 jours, la performance la plus élevée est celle de l'échantillon témoin d'eau potable suivi de celle issue de Léona, puis Thiès et Rufisque pratiquement identiques ensuite Tivaouane Peulh et enfin Thiaroye. En moyenne les eaux provenant de Léona produisent un béton dont la résistance est de 5,7 % plus faible que celui de l'eau témoin. Pour les eaux issues de Thiès, les résultats sont très proches de ceux de l'eau potable et sont en moyenne 0,06 % plus élevés. Les résultats obtenus avec l'échantillon de Rufisque sont également similaires à ceux de l'eau potable car ils ne sont que de 2 % plus faibles. Les eaux de Tivaouane Peulh et de Thiaroye donnent les résultats les plus médiocres car les résistances obtenues sont respectivement 30 % et 38 % plus faibles que ceux avec l'eau potable. Nous pouvons également noter les évolutions dans le temps de la résistance en fonction du type d'eau.

Nous obtenons les pourcentages suivants : Tivaouane Peulh : 51,3 % ; Thiaroye : 37,2 % ; Rufisque : 41,9 % ; Thiès : 43,3 % ; Léona : 28,3 % ; Eau potable : 34 %. Les faibles performances des bétons gâchés avec les eaux de Thiaroye et de Tivaouane Peulh peuvent être liées à la mauvaise qualité des eaux de la nappe de Thiaroye. Les essais chimiques ont montré de fortes teneurs en nitrates, sulfates, sodium et calcium pour l'eau issue de Thiaroye. L'eau de Rufisque, bien qu'appartenant à la nappe de Thiaroye a également fourni de bons résultats proches de ceux de l'échantillon témoin. Ce phénomène peut s'expliquer par la forte teneur en chlorures de cette eau (710,96 mg / L) supérieure à celle recommandée par la norme NF EN 1008. En effet ce minéral, bien que pouvant contribuer à la corrosion des aciers, est un accélérateur de prise bien connu qui va, à court terme, augmenter les résistances mécaniques du béton. Les eaux de Thiès et de Léona qui, d'après les essais chimiques étaient les moins polluées ont donné de bons résultats. Nous pouvons dès lors établir un lien entre la pollution de l'eau de gâchage et la faible résistance du béton.

3-3. Analyse et interprétation des résultats des essais de traction

Les tests de traction ont été effectués sur la presse présentée sur la ***Figure 4***. Ils ont été réalisés à 3, 7 et 28 jours.

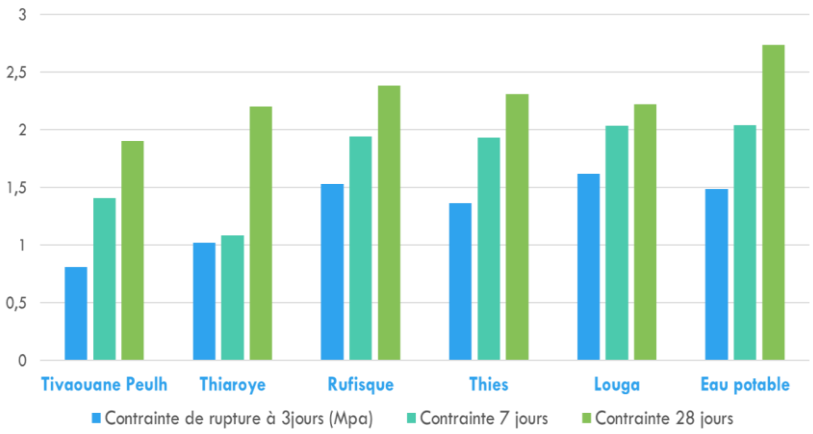

Figure 8 : *Comparaison des temps de début de prise pour les différents types d'eau à 3, 7 et 28 jours*

La ***Figure 8*** montre que l'eau de Léona a donné les meilleurs résultats car ils avoisinent ceux obtenus avec l'eau potable. Elle donne même une contrainte supérieure à celle de l'eau potable à 3 jours. Ensuite viennent les eaux de Rufisque et de Thiès qui affichent des performances similaires. Puis vient l'eau de Tivaouane Peulh qui donne une résistance 45 % plus faible que celle avec l'eau potable à 3 jours et 31 % plus faible à 7 jours. Enfin nous avons l'eau de Thiaroye avec le résultat le plus médiocre qui est plus faible que le résultat obtenu avec l'eau potable. Nous pouvons noter également les évolutions dans le temps de la résistance en fonction du type d'eau. Nous avons les pourcentages suivants : Tivaouane Peulh : 73 % ; Thiaroye : 6 % ; Rufisque : 27 % ; Thiès : 41,8 % ; Louga : 25,8 % ; Eau potable : 37,5 %. De même qu'en compression ces résultats s'expliquent par le niveau de pollution des eaux de la nappe de Thiaroye. En effet, cette eau semble atténuer les performances du béton. Cependant, l'eau de Rufisque, bien qu'appartenant à cette nappe donne des résultats satisfaisants. Mais on peut s'attendre à une perte de résistance sur le long terme surtout si le béton gâché avec cette eau est armé à cause de la forte teneur en chlorures. L'eau de Thiès, provenant du système profond du Maestrichtien, donne ici aussi des résultats satisfaisants car peu polluée. Il en est de même pour l'eau issue de Léona. Toutefois leurs performances restent inférieures à celles de l'eau potable car même une faible proportion de minéraux à une influence sur la qualité du béton produit.

3-4. Analyse et interprétation des résultats des essais de prise

Les essais de consistance de la pâte de ciment et de mesure du temps de début de prise et de fin de prise ont été réalisés avec l'appareil de Vicat ***(Figures 1 et 2)***. Les résultats sont présentés sur la ***Figure 9***.

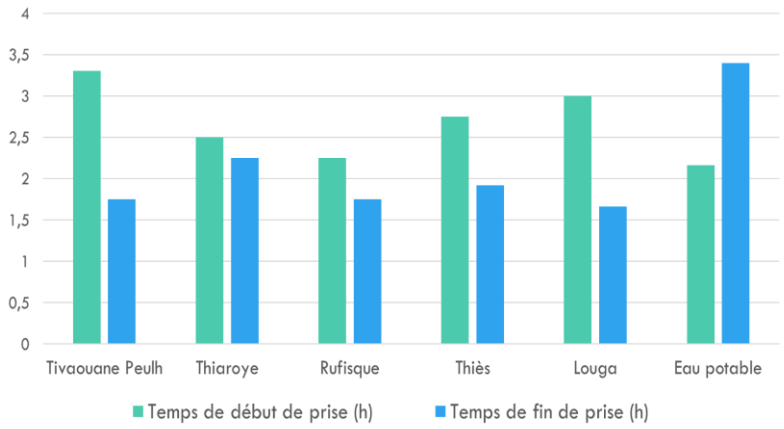

Figure 9 : *Comparaison des temps de début de prise pour les différents types d'eau avec du ciment CEMII / B classe 42,5*

La prise est une réaction chimique qui dépend aussi de la nature de l'eau. Nous remarquons que les résultats diffèrent d'une eau à l'autre. Le temps de prise avec l'eau provenant de Tivaouane Peulh est le plus élevé et celui avec l'eau potable est le plus faible. Elles concordent avec les tests de résistance et les essais chimiques car la forte concentration de chlorures de l'eau de Rufisque a accéléré le temps de prise qui lui est associé. Bien que l'eau potable ait le temps de prise le plus élevé, elle a fourni les meilleurs résultats car elle ne contient pas la même quantité d'agents agressifs sur le long terme que les autres eaux. La comparaison des éprouvettes de béton obtenues avec les différents types d'eau a donc révélé de grandes différences au niveau de la résistance. Pour les eaux ayant donné les résultats les plus médiocres, une mise en œuvre de ce béton en construction aurait des conséquences néfastes. En effet, compte tenu des faibles contraintes de rupture à 3 jours, 7 jours et 28 jours, le béton gâché avec les eaux de Thiaroye ou de Tivaouane Peulh aurait une durée de vie réduite. Cela se manifesterait par l'apparition de fissures qui résulterait, sur le long terme à un affaiblissement des structures porteuses. Ainsi, il est plus judicieux sur le plan économique d'étudier la composition de l'eau avant de s'en servir pour le gâchage. En écartant tout risque de pollution, on s'assure de mettre en place une construction saine et durable.

5. Conclusion

L'eau de gâchage est donc une composante sensible du béton car elle a de nombreuses répercussions sur sa résistance. Ainsi, il était question de montrer les conséquences d'une utilisation hasardeuse d'une eau de puits sur les propriétés mécaniques du béton. Ces recherches ont été axées sur cinq localités sénégalaises : Thiaroye, Tivaouane Peulh, Rufisque, Thiès et Léona appartenant à des systèmes hydrogéologiques différents. Pour obtenir nos résultats, nous avons fait appel à la mécanique mais aussi à l'hydrologie car la recherche se portait essentiellement sur l'eau. Il s'agissait d'abord de confectionner les éprouvettes qui seront soumises à des essais de compression et de traction. Ensuite, nous avons été en mesure d'interpréter les résultats obtenus grâce aux analyses chimiques réalisées sur les différentes eaux. Ce travail montre qu'une eau polluée ne peut, en aucun cas, satisfaire aux exigences de résistance du béton comme en attestent les cas de Thiaroye et de Tivaouane Peulh. En effet, les minéraux tels que les nitrates, les sulfates ou le sodium entraînent manifestement une perte de résistance. Ainsi pour des constructions durables, il doit être vivement déconseillé d'utiliser l'eau la plus facilement mobilisable sans tenir compte de sa composition. Toutefois, en cas de nécessité, il est possible d'utiliser ce type d'eau en se focalisant sur d'autres paramètres. Par exemple la résistance d'un béton aux agents physiques et chimiques dépend avant tout de sa compacité ; en effet un béton compact donc imperméable ne peut être attaqué qu'à la surface par des liquides agressifs. Pour améliorer les résultats obtenus, il serait intéressant d'étudier différentes possibilités : utilisation d'un ciment à durcissement rapide ; utilisation d'un adjuvant et réduction de la quantité d'eau ; correction de la granulométrie et réduction de la quantité d'eau ; augmentation du dosage en ciment ; utilisation d'un autre liant par exemple le calcaire. L'élargissement de cette étude sur d'autres zones permettra d'établir la cartographie complète du Sénégal.

Références

[1] - J. DUEDALL IVER, " Océanographie", Florida Institut of Technology, (2001).

[2] - F.-J. ULM, P. ACKER, M. LEVY, "The *« Chunnel »* fire. II : Analysis of concrete damage", *Journal of Engineering Mechanics*, ASCE, 125 (3) (1999) 283 - 289.

[3] - P. C. AITCIN, "The durability characteristics of high performance concrete : a review Cement and concrete Composites", 25 (2003) 409 - 420.

[4] - L. BASHEER and P. LONG, "Influence of coarse aggregate on the permeation, durability and the microstructure characteristics of ordinary Portland Cement concrete", *Construction and Building Materials*, (2005) 682 - 690.

[5] - N. BOUHAMOU, N. BELAS, H. MESBAH, A. MEBROUKI and A. YAHIA, "Influence des paramètres de composition du béton autoplaçant à l'état frais ", *Afrique Science,* (1) (2008) 1 - 20.

[6] - Z. DENG, F. SHI, S. YIN and R. TULADHAR, "Characterisation of macro polyolefin fibre reinforcement in concrete through round determinate panel test", *Construction and Building Materials*, (121) (2016) 229 - 235.

[7] - F. AGRELA, M. SANCHEZ DE JUAN, J. AYUSO, V. L. GERALDES and J. R. JIMENEZ, "Limiting properties in the characterisation of mixed recycled aggregates for use in the manufacture of concre", Construction and Building Materials, (25) (2011) 3950 - 3955.