

ÉTUDES DES PERFORMANCES DES BÉTONS COURANTS UTILISÉS DANS LES BÂTIMENTS A ABIDJAN

**Ibrahima BAKAYOKO, Conand Honoré KOUAKOU,
Mamery Adama SERIFOU* et Edjikémé EMERUWA**

*Université Félix Houphouët-Boigny, UFR des Sciences de la Terre et des
Ressources Minières, Laboratoire de Géomatériaux et Technologie de
l'Habitat, 01 BP V34 Abidjan 01, Côte d'Ivoire*

* Correspondance, e-mail : smadamsdedjen@yahoo.fr

RÉSUMÉ

L'objectif de cette présente étude est de caractériser les bétons prêts à l'emploi (BPE) de différentes entreprises installées après la crise postélectorale et des bétons produits sur chantier de construction (BC), dans le but de mettre en évidence la qualité de ce matériau pour les consommateurs et les professionnels du BTP en Côte d'Ivoire. La méthodologie a consisté à prélever, conserver dans un bassin humide et hors bassin puis caractériser les bétons de trois entreprises de bétons prêts à l'emploi et trois bétons fabriqués sur chantier. La caractérisation porte sur l'étude des propriétés physiques et mécaniques des différents échantillons de bétons. De façon générale, les bétons caractérisés sont fluides (les bétons contiennent beaucoup d'eau à l'état frais) ce qui pourrait influencer leur performance mécanique et leur durabilité. Aussi, à l'état durci, sur les trois bétons de chantier seul un (1/3) de ceux conservés dans le bassin atteint les 25 MPa (valeur minimum recommandée) contre deux (2/3) pour ceux conservés hors bassin. Contrairement au BC, deux tiers (2/3) des BPE conservés dans le bassin et un tiers (1/3) conservé hors bassin atteignent les 25 MPa. Dans l'ensemble, la moitié des bétons caractérisés ont une résistance à la compression inférieure à 25 MPa, au 28^{ème} jour. Cette valeur de 25 MPa est utilisée généralement comme référence pour les hypothèses de calculs de structure des bâtiments courants par les bureaux d'études. En revanche, au 28^{ème} jour, tous les bétons ont une résistance à la traction par fendage et par flexion supérieure, aux valeurs minimum de référence d'un béton de 25 MPa. Par ailleurs, certains bétons ont des porosités très élevées (allant à 18 % environ) ce qui pourrait être préjudiciable à la durabilité des bétons. Et, l'absorption des bétons varie de 6 % à 9 % environ, pourtant la valeur maximum recommandée est de 6,5 %, afin de ne pas entacher la durabilité du béton. Les densités sont comprises dans l'intervalle de référence

(1,8 à 2,3). Ainsi, les défaillances relevées sur les échantillons de béton, couramment utilisés à Abidjan, ont permis d'établir une corrélation entre la qualité de ceux-ci et les pathologies observées sur les bâtiments, ce qui permettra de faire des propositions pour une constructions durable.

Mots-clés : *béton, béton prêt à l'emploi, béton de chantier, propriété mécanique, propriété physique.*

ABSTRACT

Studies of the performance of current concrete used in buildings in Abidjan

The objective of this study is to characterize ready-mixed concrete (BPE) from different companies installed after the post-election crisis and concretes produced on building site (BC), with the aim of highlighting the quality of this material for consumers and construction professionals in Ivory Coast. The methodology consisted of sampling, conserving in a wet basin and off-basin and then characterizing the concrete of three ready-mix concrete companies and three concretes manufactured on site. The characterization deals with the study of the physical and mechanical properties of the different concrete samples. In general, the concretes characterized are fluid (concretes contain a lot of water in the fresh state) which could influence their mechanical performance and durability. Also, in the hardened state, of the three concrete site only one (1/3) of those conserved in the basin reaches 25 MPa (minimum recommended value) against two (2/3) for those conserved outside the basin. In contrast to BC, two-thirds (2/3) of BPEs retained in the basin and one-third (1/3) conserved outside the basin reach 25 MPa. Overall, half of the concretes that are characterized have a compressive strength of less than 25 MPa at day 28. This value of 25 MPa is generally used as a reference for structural design assumptions of current buildings by engineering firms. On the other hand, on the 28th day, all the concretes have a higher tensile strength by splitting and bending than the minimum reference values of a 25 MPa concrete. In addition, some concretes have very high porosities (going to about 18 %) which could be detrimental to the durability of concretes. And, the absorption of concrete varies from 6 % to 9 %, yet the maximum recommended value is 6.5 %, so as not to taint the durability of concrete. Densities are in the reference range (1.8 to 2.3). Failures observed in concrete samples, which are commonly used in Abidjan, have made it possible to establish a correlation between the quality of these and the pathologies observed on the buildings, which will make it possible to make proposals for a sustainable construction.

Keywords : *concrete, ready-mixed concrete, site concrete, mechanical property, physical property.*

I - INTRODUCTION

Le béton est une composante essentielle du gros œuvre. Il est aussi bien utilisé en infrastructure qu'en structure. Selon [1], c'est le matériau de construction le plus utilisé au monde, que ce soit en bâtiment ou en travaux publics. Pour [2], ce matériau a eu son véritable essor que dans les années 1820-1850. Toutefois, de nos jours, il est omniprésent et incontournable grâce à son adaptabilité architecturale, sa solidité et sa durabilité surtout lorsqu'il est associé à d'autres matières comme l'acier. Ainsi, de ses performances, pourraient dépendre en grande partie la stabilité des bâtiments. Malgré ces caractéristiques reconnues du béton et de l'expansion de l'industrie du béton prêt à l'emploi, après la crise postélectorale de 2010 en Côte d'Ivoire, nous constatons néanmoins, de plus en plus une dégradation accélérée de nos constructions allant parfois jusqu'à la chute de certains bâtiments dont le composant principal structurel est le béton. Afin d'inventorier d'éventuels défaillances du béton pouvant être les facteurs entachant la qualité des bâtiments d'Abidjan, le laboratoire Géomatériaux et Technologie de l'Habitat a collecté six bétons qui ont été caractérisés à l'état frais et à l'état durci. Ainsi, dans cet article les résultats de caractérisation de trois bétons prêts à l'emploi des sociétés désignées, BPE1, BPE2 et BPE3, puis trois bétons fabriqués sur chantier désignés, BC1, BC2 et BC3 seront présentés et discutés. Ces bétons ont été conservés d'une part dans les conditions normales de caractérisation c'est-à-dire dans le bassin humide comme prescrit la norme [3] et également dans les conditions ambiantes des chantiers à savoir hors bassin. A la suite de cette conservation, les propriétés physiques et mécaniques des bétons à l'état frais et à l'état durci ont été déterminées. Pour le béton à l'état frais, l'affaissement au cône d'Abrams a été mesuré. En ce qui concerne l'état durci, la résistance à la compression, résistance à la traction par fendage et par flexion, la porosité, l'absorption et la densité ont été obtenues.

II - MATÉRIEL ET MÉTHODES

II-1. Matériel

Cette étude a porté sur des bétons prêts à l'emploi de trois entreprises ainsi que trois bétons fabriqués sur les chantiers. Ces bétons ont été conservés comme prescrit par la norme [3] et également dans les conditions ambiantes des chantiers à savoir hors bassin. L'étude du béton frais s'est faite avec un cône d'Abrams et une machine à pesée hydrostatique pour le béton durci.

II-2. Méthodes

Afin d'appréhender les facteurs découlant de la qualité et la quantité d'eau de gâchage des bétons prélevés pour notre étude, à l'état frais, nous avons effectué l'essai au cône d'Abrams [4]. L'essai au cône d'Abrams permet d'obtenir la classe d'affaissement du béton. Les propriétés mécaniques (compression, fendage et flexion) ont été obtenues grâce à une presse hydraulique de capacité de 150 KN. Ces essais ont été effectués sur des éprouvettes cylindriques 16x32 pour la compression selon la norme [5]. La traction par fendage a été faite sur les éprouvettes cylindriques 11x22 selon la norme [6]. Aussi, la traction par flexion a été conduite selon la norme [7] sur les éprouvettes prismatique 7x7x28. La **Figure 1** (a, b et c) présente la mesure de la résistance à la compression, au fendage et à la flexion.

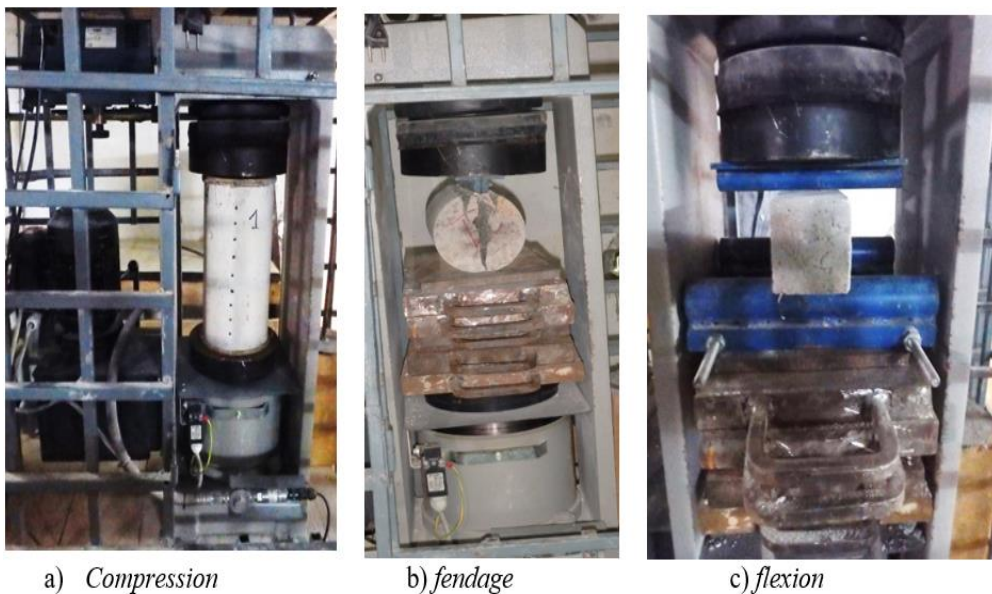


Figure 1 : Mesure de la résistance à la compression, fendage et flexion

La porosité, l'absorption et la masse volumique (densité) sont deux grandeurs physiques importantes des matériaux cimentaires, ils jouent un rôle majeur vis-à-vis de la durabilité des bétons. Pour déterminer la porosité accessible à l'eau et la masse volumique apparente, la porosimétrie à l'eau a été utilisée. Cette méthode permet une estimation de la porosité globale ou la porosité ouverte. Les mesures ont été effectuées avec une machine à pesée hydrostatique selon la norme [8] (**Figure 2**).

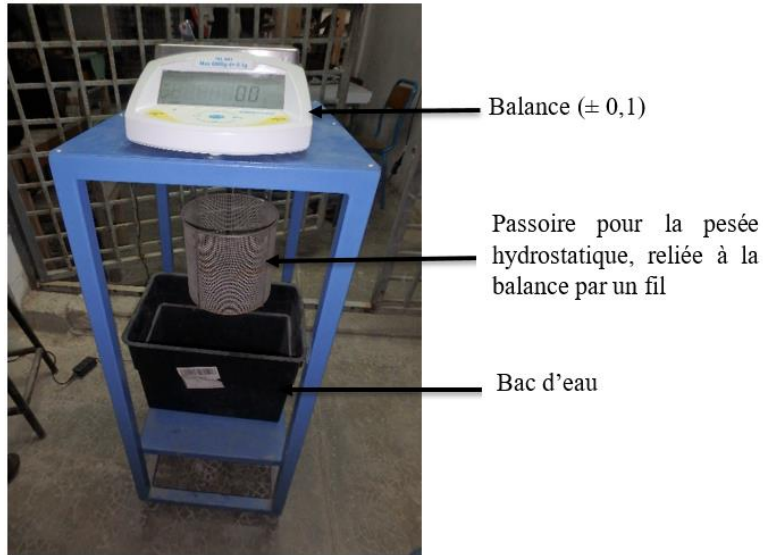


Figure 2 : Machine à pesée hydrostatique

III - RÉSULTATS ET DISCUSSION

III-1. Comportement du béton à l'état frais

Les résultats issus des essais de l'affaissement au cône d'Abrams sont résumés dans *Tableau* ci-dessous.

Tableau 1 : Résultat de l'essai d'affaissement au cône d'Abrams

BETON	Affaissement (cm)	Classe d'affaissement	Type de béton
BC1	16	S4	Béton fluide
BC2	15	S3	Béton très plastique
BC3	17	S4	Béton fluide
BPE1	4	S1	Béton ferme
BPE2	17,5	S4	Béton fluide
BPE3	6,5	S2	Béton plastique
	18,5	S4	Béton fluide

Le *Tableau 1* présente les classes d'affaissement S1, S2, S3 et S4 identifiées pour les bétons caractérisés. Ces bétons sont, soit fermes, plastiques, très plastiques ou fluides. En effet, ces classes ont un impact sur l'ouvrabilité du béton car, l'affaissement est fortement corrélé au seuil de cisaillement : quand le seuil augmente, l'affaissement diminue ; ainsi, un béton de consistance ferme nécessitera plus d'énergie pour sa mise en œuvre qu'un béton autoplaçant [9]. Par ailleurs, sur le chantier du BPE3, deux types de béton ont

été livrés, le premier de classe S2 et le second de classe S4, pour le bétonnage d'un même plancher. Ceci est à proscrire car, engendre généralement des problèmes d'adhérence et de déformation différentielle à l'interface des deux types de béton. Outre ce problème spécifique, pour tout béton, une consistance ou une propriété rhéologique non conforme aux conditions de mise en œuvre, conduira inéluctablement à la présence de vides, de nids de cailloux ou encore de phénomènes de ségrégation [10]. Ceci a pour conséquence la défaillance des propriétés physiques, cause de mauvaise résistance mécanique et de faible durabilité des bétons à l'état durci.

III-2. Propriétés physiques

Les *Figures 3 à 5* présentent respectivement les valeurs de la densité, de la porosité, de l'absorption des différents types de bétons (prêt à l'emploi et confectionné sur chantier) selon le mode de conservation (bassin et hors bassin) et la durée de maturation.

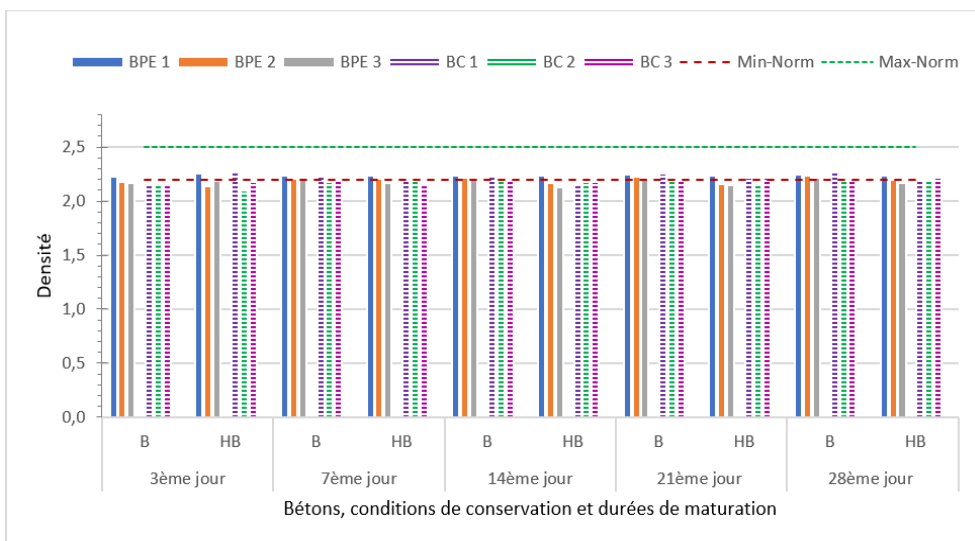


Figure 3 : Densité des bétons

La *Figure 3* montre une légère augmentation des densités des bétons conservés dans le bassin en fonction de la maturation tandis que, l'évolution des échantillons conservés hors bassin est irrégulière. Pour les BPE, les densités varient de 2,22 à 2,24 et 2,17 à 2,24, respectivement pour les bétons dans le bassin et ceux conservés hors bassin au 28^{ème} jour. Quant aux BC, dans le même ordre, ces valeurs se situent entre 2,20 et 2,27, et entre 2,18 et 2,21. L'évolution des densités observées selon les modes de conservation, est due à une constance de la température et de l'humidité dans le bassin et, à une

variation aléatoire des paramètres climatiques comme la température, l'humidité, l'ensoleillement, les précipitations et la vitesse du vent, dans le milieu ambiant (hors bassin). En effet, la température et l'humidité sont les paramètres, qui ont le plus d'impacts sur le béton comme l'ont observé des auteurs comme [11, 12]. Par exemple, sur la période d'étude, les températures extrêmes étaient de 24 à 35 °C, tandis que, l'humidité variait de 63 à 96 %, selon les données de [13, 14]. Ces données sont aussi caractérisées par des variations journalières importantes entre la matinée, la mi-journée, le soir et la nuit. Toutefois, malgré ces variations aléatoires, ces bétons restent dans la catégorie des bétons normaux selon [15], car leurs masses volumiques sont comprises entre 2200 et 2500 kg/m³.

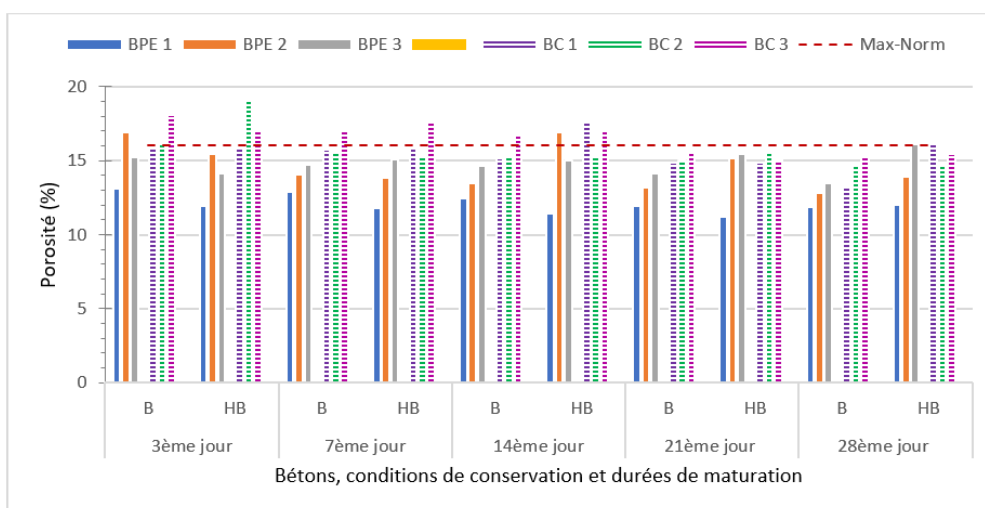


Figure 4 : Porosité des bétons et limite de la norme

De façon générale, la porosité des bétons conservés dans le bassin baisse régulièrement avec la durée de maturation, alors que, celle de ceux conservés hors bassin évolue irrégulièrement, comme l'indique la **Figure 4**. Au 28^{ème} jour, les valeurs de la porosité des BPE sont de 12,84 à 13,46 % pour les bétons du bassin et, 12 à 16,10 % pour les bétons hors bassin. Pour les BC, la porosité est de 13,15 à 15,35 %, et de 14,81 à 16 %, respectivement pour les bétons dans le bassin et ceux conservés hors bassin. En effet, la température et l'humidité constantes qu'offre l'environnement du bassin, permettent cette évolution. Ces conditions favorisent la formation et le développement normal des hydrates au cours de l'hydratation du ciment. Les hydrates qui se développent, comblent les espaces libres intergranulaires initialement occupés par l'eau, au fur et à mesure que l'hydratation se poursuit [16]. Ceci réduit ainsi la porosité accessible à l'eau. En revanche, les échantillons conservés en milieu

ambiant, ont une évolution irrégulière due aux paramètres climatiques instables. Les variations fréquentes de la température et de l'humidité en climat chaud par exemple, soumettent le béton à une énorme évaporation, conduisant à une dessiccation prématurée qui retarde ou stoppe complètement la réaction de l'hydratation du ciment [17]. La porosité des bétons est donc affectée et son évolution dépend des conditions climatiques. Seuls un BPE et un BC, soit 33 % des échantillons conservés hors bassin ont une porosité d'environ 16 %, au 28^{ème} jour, valeur qu'il ne faudrait pas atteindre afin de garantir une durée de vie d'environ 30 ans, selon les indicateurs de durabilité définis par [18]. Ainsi, les bâtiments réalisés avec ces bétons pourront résister efficacement contre la corrosion des armatures pendant une durée de vie de 30 à 50 ans.

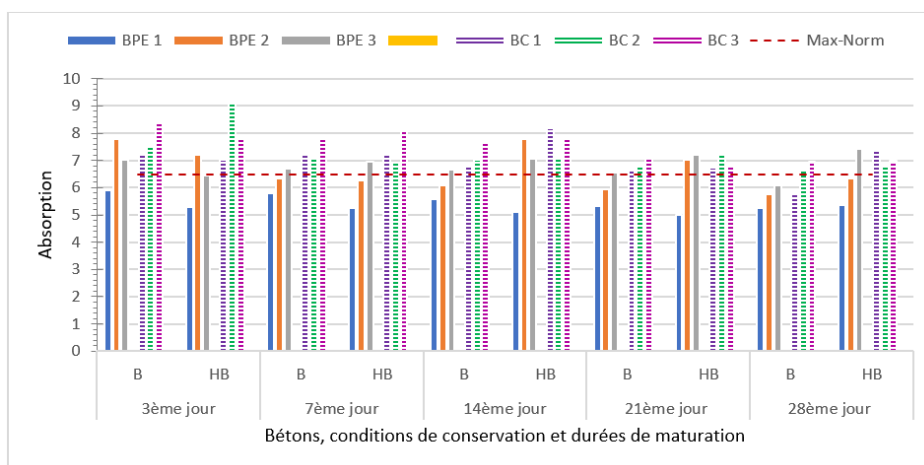


Figure 5 : Absorption des bétons et limite de la norme

Comme le montre la **Figure 5**, l'absorption évolue de façon analogue à la porosité et ce, pour les mêmes raisons. Cependant, au 28^{ème} jour, près de 33 % des bétons du bassin et 66 % de ceux conservés hors bassin ont des absorptions supérieures à la valeur limite de 6,5 % recommandé par [19], conformément aux recommandations du fascicule 65, pour les bétons dont la résistance caractéristique est de 25 MPa. Toutefois, sachant que les bétons après décoffrage, dans le cadre des travaux de finition des bâtiments généralement à Abidjan, reçoivent de l'enduit de maçonnerie au mortier de ciment et de couches de peinture comme protection, cette légère défaillance d'absorption peut être tolérée d'autant que les porosités garantissent une durabilité acceptable.

III-3. Caractéristiques mécaniques

Les **Figures 6 à 8** présentent respectivement les résultats des essais de compression, de traction par flexion et de traction par fendage réalisés sur les différents types de béton selon leur mode de conservation et la période de cure.

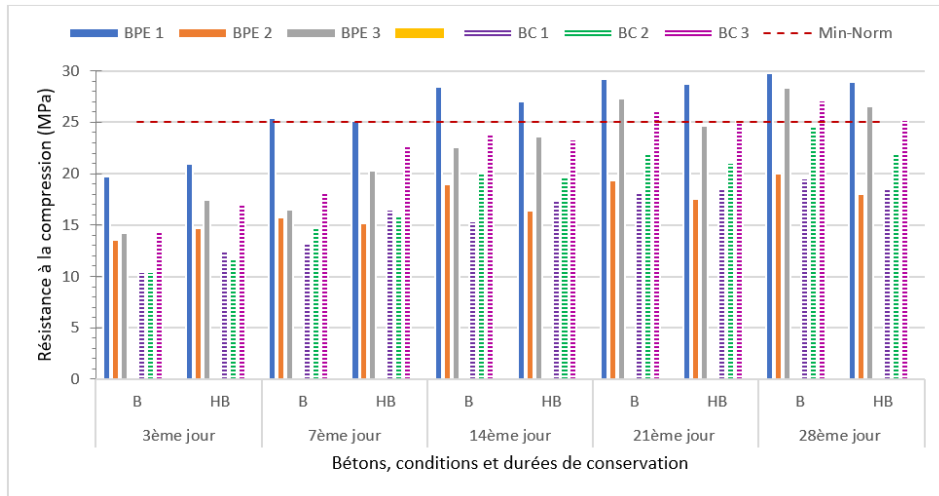


Figure 6 : Résistance à la compression des bétons et limite de la norme

Comme il est observé à la **Figure 6**, quel que soit le mode de conservation et le type de béton, la résistance à la compression augmente avec l'âge. Dans l'ensemble, 33 % des BPE et 67 % des BC, des échantillons conservés aussi bien dans le bassin qu'en milieu ambiant n'atteignent pas, à 28 jours, la résistance caractéristique minimum de 25 MPa prescrite par [20]. Tous les bétons au 21^{ème} jour ont atteint au moins 90 % de leur résistance du 28^{ème} jour. Ainsi, pour des ouvrages beaucoup sollicités à jeune âge, il pourrait être nécessaire, comme recommande la section 3 de [20], de connaître la résistance à la compression avant le décoffrage du béton. En effet, au jeune âge, les bétons conservés hors bassin ont une résistance supérieure à ceux du bassin. Cette tendance s'inverse avec la maturation à partir du 14^{ème} jour. Le béton conservé hors bassin a une cinétique d'hydratation plus élevée et une évaporation plus rapide, qui contribuent à son durcissement précoce ainsi qu'à sa bonne performance mécanique au jeune âge. Ce phénomène est confirmé par [12] qui affirme qu'une élévation de la température provoque aux échéances précoces (1 ou 2 jours), une augmentation de la résistance du béton, et que cela se traduit généralement par une résistance du béton, à 28 jours, moins élevée que celle du même béton qui aurait été conservé à une température plus basse. De même, [17], observent aussi une différence de comportement mécanique entre béton exposé aux conditions climatiques naturelles et béton conservé dans un environnement où les paramètres climatiques sont contrôlés. Il impute cette différence à la qualité des hydrates formés lors de l'hydratation. Ainsi, il existe des bétons de qualité acceptable aussi bien de chantier que prêt à l'emploi tout comme en il en existe de moins bonne qualité pour les deux types de bétons. Cependant, il y a plus de BPE de bonne qualité. Aussi, au 21^{ème} jour et même bien avant dans des cas, certains bétons ont déjà atteint la résistance de 25 MPa alors que d'autres doivent attendre le 28^{ème} jour.

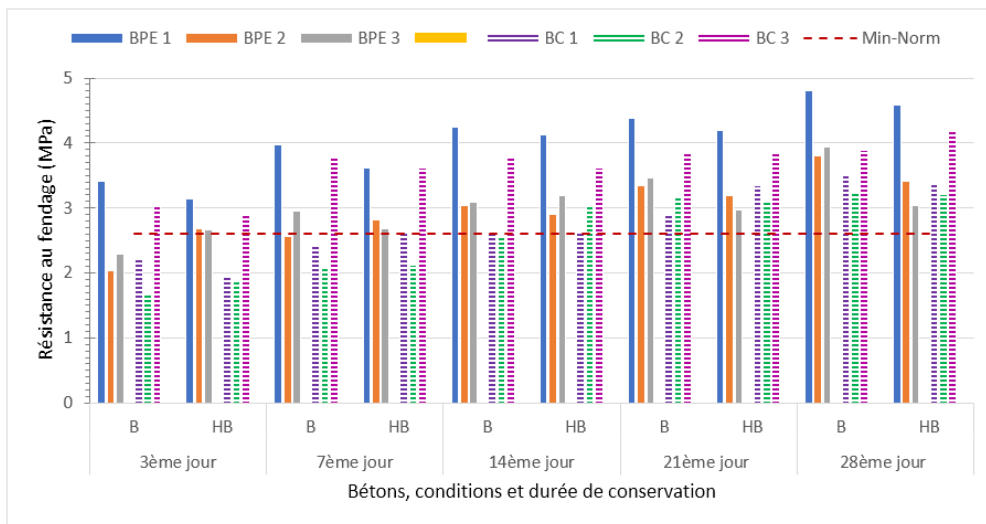


Figure 7 : Résistance à la traction par fendage des bétons et limite de la norme

La résistance à la traction par fendage croît avec l'âge indépendamment du type de béton et du mode de conservation d'après la **Figure 7**. Au 21^{ème} et au 28^{ème} jour, les résistances sont toutes supérieures à la valeur minimale de 2,1 MPa imposée par [20]. Toutefois, les BPE ont des résistances supérieures dans l'ensemble.

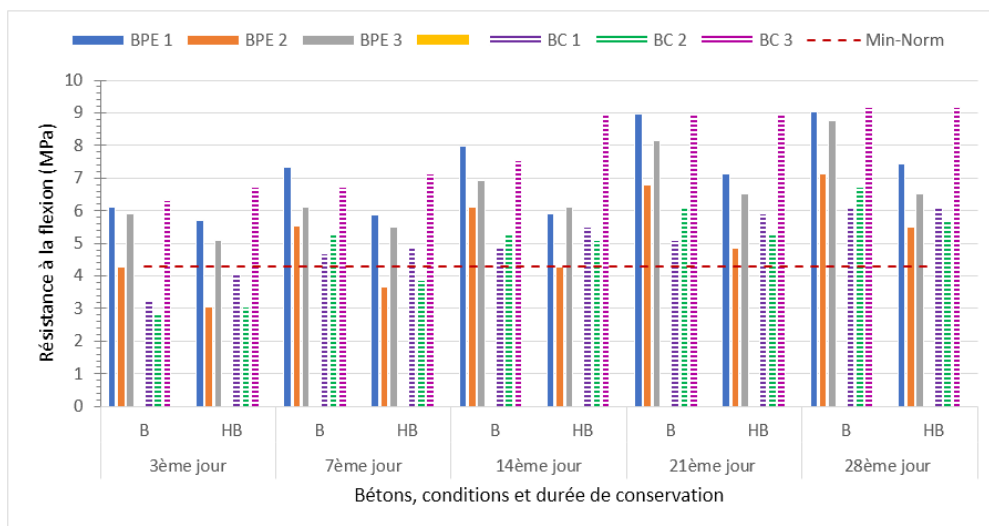


Figure 8 : Résistance à la traction par flexion des bétons et limite de la norme

Tout comme la compression et la traction par fendage, la résistance à la flexion évolue positivement avec l'âge pour tous les types de béton et les modes de conservation comme l'illustre la **Figure 8**. Aussi, les bétons ont tous une résistance supérieure à la valeur de 4,1 MPa prescrite par [20].

III-4. Corrélation entre la performance des bétons et les pathologies observées

Les essais de caractérisation effectués ont indiqué que les bétons testés comportent des faiblesses de plusieurs ordres, à l'état frais comme à l'état durci. Pour le béton à l'état frais, le principal problème constaté est l'utilisation de bétons ayant des classes d'affaissement différentes pour un même élément structurel. Ce fait a été observé sur un chantier où le béton utilisé était un BPE. A cela, s'ajoute le manque d'attention à la consistance du béton frais sur les chantiers courants. Ce qui signifie que, autant pour les BPE que pour les BC, ce manquement de conséquences sérieuses, est récurrent. En effet, des bétons d'affaissements différents auront aussi des comportements différents à l'état durci car, le retrait varie avec le rapport E/C. Or la différence de déformabilité peut conduire à des fissurations [21]. Par ailleurs, sachant que la mise œuvre du béton est fonction de sa consistance, des problèmes pourraient survenir si une même méthode ou une même durée de mise en œuvre est utilisée pour des bétons de consistance différente. Par exemple, [9], recommandent comme méthode de mise en œuvre un compactage léger plus une vibration pour des affaissements de l'ordre de 10 à 50 mm, alors qu'ils préconisent simplement la gravité et une vibration pour des affaissements compris entre 50 et 220 mm. De même, selon [22], le temps de compactage peut varier considérablement en fonction de la consistance et de l'énergie de vibration appliquée. Une mise en œuvre inadaptée à la consistance du béton a des conséquences préjudiciables.

Dans ce contexte, [23], affirme qu'une sous vibration conduit à une hétérogénéité locale au sein du béton, entraînant des voûtes granulaires et/ou des cavités dans le matériau d'où, une augmentation de la porosité. Cette ségrégation dans le béton atténue l'adhérence acier/béton et favorise une diminution de la résistance mécanique. Ce qui peut justifier l'apparition précoce de fissures et voire une diminution de la durabilité. Par ailleurs, il a été relevé que 50 % des bétons étudiés ont des absorptions supérieures à la limite de 6,5 % recommandée. Sachant que des pathologies telles que, les efflorescences sur les parois, la corrosion des armatures initiée aussi bien par la carbonatation que par attaque d'ions chlorure, ne se manifestent qu'en présence d'eau, cette défaillance pourrait donc être une des causes desdites pathologies observées sur les bâtiments. Ceci est corroboré par [24], qui affirme que l'acier ne peut se corroder que s'il est mis simultanément en présence d'eau et d'oxygène. Aussi, [25], soutiennent que pour les matériaux (béton ou mortier) durcis, l'efflorescence est due à un apport d'eau extérieur (pluie par exemple), qui stagne dans les matériaux et dissout l'hydroxyde de calcium formé au cours de l'hydratation. En outre, l'étude a montré que 50 % des bétons caractérisés, n'atteignent pas la résistance caractéristique en compression de 25 MPa exigée au 28^{ème} jour. Ce qui est très inquiétant surtout

que, en règle générale, les éléments de structure en béton armé travaillant en flexion sont décoffrés à 21 jours après le bétonnage. Cette défaillance est véritablement préjudiciable car, les bureaux d'études utilisent cette valeur comme référence pour les calculs de structure des bâtiments courants. Ainsi, la faible résistance des bétons par rapport aux hypothèses servant à établir les plans d'exécution de structure des bâtiments, peut être à l'origine de certaines fissures de murs ou même de rupture d'éléments porteurs. Dans la même veine, [26] soutient que, l'une des sources de la déformation excessive des poutres en béton armé est la mauvaise qualité des bétons. Selon lui, cette déformation engendre des sollicitations inadmissibles sur les maçonneries adjacentes qui finissent par se fissurer. De ce fait, il est indispensable de veiller à l'utilisation des bétons de qualité conforme aux hypothèses de calcul tout en employant des méthodes de mise en œuvre adaptées à la consistance du béton frais. Le manquement de certains BPE montre que quel que soit la provenance du matériau, il faut toujours contrôler ses caractéristiques.

IV - CONCLUSION

Au terme de cette étude, les résultats obtenus permettent d'affirmer que, les désordres observés sur le parc immobilier d'Abidjan conduisant à l'effondrement des bâtiments, sont en partie dus à la qualité des bétons courants. Sur ce matériau qui, renforcé avec des armatures, joue un rôle prépondérant dans la stabilité mécanique et assure également la fonction d'isolation dans les bâtiments, il a été relevé des défaillances majeures de résistance à la compression. En effet, la moitié des échantillons caractérisés ont eu des performances inférieures à la valeur minimale de 25 MPa utilisée par les bureaux d'études en Côte d'Ivoire, dans les hypothèses de calcul des structures en béton armé. Aussi, 50 % des bétons ont présentés des absorptions préjudiciables à leur durabilité face notamment, aux problèmes de corrosion des armatures. Ces mauvaises performances peuvent découler des propriétés des matières premières, des formulations et fabrications des bétons. En ce qui concerne les matières premières, il a été observé dans une étude précédente un retrait inadmissible sur l'un des ciments des trois principaux fabricants à Abidjan. Pour les graviers, un problème de continuité peut subvenir dans un mélange avec les sables alluvionnaires d'Abidjan. L'ensemble de ces défauts, a pour conséquences, la fissuration voire la rupture du béton et la corrosion des armatures. Particulièrement pour le ciment, la variation dimensionnelle importante peut être une des origines des microfissures et faïençages rencontrés sur les maçonneries.

RÉFÉRENCES

- [1] - TP. PLANETE, Formulation et propriétés du béton, consulté sur <http://www.planete-tp.com/formulation-et-proprietes-du-beton-r154.html>, (2017)
- [2] - LAETITIA D'ALOIA-S., P. JEAN-MARC, F. ADELAÏDE et T. MAXIME, Le grand livre des bétons, bétons et développement durable, chapitre 1, (2014) 21 p.
- [3] - NF EN 12390-2, Essais pour béton durci, confection et conservation des éprouvettes pour essais de résistance, Partie 2, (Avril 2012)
- [4] - NF EN 12350-2, Essais pour béton frais, essai d'affaissement, Partie 2, Juin (2019)
- [5] - NF EN 12390-3: Essais pour béton durci, résistance à la compression des éprouvettes, Partie 3, (Avril 2012)
- [6] - NF EN 12390-6: Essais pour béton durci, détermination de la résistance en traction par fendage d'éprouvettes, Partie 6, (Avril 2012)
- [7] - NF P 18-407, Résistance à la flexion, (Décembre 1981)
- [8] - NF P18-459, Béton - Essai pour béton durci - Essai de porosité et de masse volumique, (Mars 2010)
- [9] - F. CUSSIGH, T. SEDRAN et L. IZORET, Propriétés des bétons. - Le grand livre des bétons. Editions le Moniteur, (2014) 227 - 244 p.
- [10] - E. PERIN et C. CARDE, Connaissances fondamentales : les essais sur béton frais. www.potail-beton.fr, (2013) 53 - 54 p.
- [11] - A. BORDY, Influence des conditions thermo-hydriques de conservation sur l'hydratation de matériaux cimentaires à base d'une fine recyclée. Thèse de doctorat – Université de Cergy-Pontoise (France), (2016) 108 - 114 p.
- [12] - CIMBETON, Les bétons : formulation, fabrication et mise en œuvre. Fiche technique, N°2 (2013) 87 - 90 p.
- [13] - historique-météo, <https://www.historique-meteo.net/afrique/cote-d-ivoire/abidjan/>, (2019)
- [14] - weatheronline, <https://www.weatheronline.co.uk/CotedIvoire/Abidjan.htm>, (2019)
- [15] - I. ALLAHYARI, Approche performantielle des bétons : Vers une meilleure caractérisation des indicateurs de durabilité. – Thèse de doctorat, Université Toulouse III Paul Sabatier, (2016) 124 - 128 p.
- [16] - A. NONAT, L'hydratation des ciments – La durabilité des bétons – Presses de l'école nationale des Ponts et Chaussées (ENPC), (2008) 25 - 50 p.
- [17] - K. BENDJILLALI, L. AZZOUZ et S. KENAI, Contribution de la conservation réelle du béton à l'effet de la cure sur sa résistance mécanique. Communication – Séminaire National de Génie Civil, (2003) 7 p.
- [18] - BAROGHEL-BOUNY, Conception des bétons pour une durée de vie donnée des ouvrages. Documents scientifiques et techniques de l'Association Française de Génie Civil (AFGC), (2004) 94 - 98 p.
- [19] - P. DANTEC, Durabilité, approches prescriptive et performantielle – Le grand livres des bétons – Editions le Moniteur, (2014) 59 - 113 p.
- [20] - EUROCODE 2, règles générales et règles pour les bâtiments, calcul des structures en béton, Partie 1-1

- [21] - F. DE LARRARD, Construire en béton - Presses des Ponts et Chaussées, (2002) 50 - 52
- [22] - P. LUNK, C. HOFFMANN, E. RITSCHARD, J-G. HAMMERSCHLAG, K. WASSMANN et T. SCHMIDT, Guide pratique du béton : Concevoir et mettre en œuvre des bétons durables. Holcim (Suisse) SA 6^{ème} édition, (2015) 78 - 124 p.
- [23] - G. GRAMPEIX, Vibration des bétons. Thèse de doctorat - Université Paris-Est, (2013) 26 - 33 p.
- [24] - I. C. PLOYAERT, La corrosion des armatures des bétons armés et précontraints. Bulletin de la Fédération de l'Industrie Cimentière Belge (FEBELCEM), (2008) 16 p.
- [25] - G. BOLTE et W. DIENEMANN, Efflorescence on concrete products – Causes and strategies for avoidance, ZKG International, 57 (9) (2004) 78 - 86 p.
- [26] - P. PHILIPPARIE, La pathologie des façades : Diagnostic, réparations et prévention. Editions CSTB et AQC, (2011) 174 p.