

# Etude des matériaux de construction dans l'aire métropolitaine de Port-au-Prince (Haïti)



Jean B.J.

*Laboratoire National du Bâtiment et des Travaux Publics – Port-au-Prince, Haïti  
URGéo – Faculté des Sciences – Université d'Etat d'Haïti, Port-au-Prince, Haïti*

Joseph Y.-F.

*Laboratoire National du Bâtiment et des Travaux Publics – Port-au-Prince, Haïti*

## RÉSUMÉ

Cet article présente de manière exhaustive l'étude des caractéristiques minéralogiques, chimiques, physiques et mécaniques des matériaux granulés de construction (carrières, matériaux alluvionnaires) dans l'aire métropolitaine de Port-au-Prince. L'étude technique s'est limitée à neuf sites d'approvisionnement de ces matériaux autour de la région de Port-au-Prince. Sur chaque site, six sacs (environ 2 m<sup>3</sup>) de matériaux ont été prélevés pour les analyses minéralogiques, chimiques, physiques et mécaniques. Ces analyses ont été conduites dans les laboratoires du LNBTP, du BME et de la FDS. Les résultats de ces analyses ont montré que les matériaux de carrières contiennent un pourcentage élevé de calcaire (> 97%) de très bonne qualité et qu'ils sont parfois susceptibles d'être utilisés dans la fabrication de béton de qualité courante et surtout dans les travaux de maçonnerie. En revanche, les matériaux alluvionnaires contiennent un faible pourcentage de calcaire (< 20%) et sont riches en silex allant de brunâtre à claire, ils présentent des caractéristiques totalement adaptées pour la fabrication de béton de qualité courante. Cette étude fournit également les résistances moyennes à 28 jours des éprouvettes-témoins de bétons avec ces matériaux. La résistance des bétons de carrières varie de 23 à 26.4 MPa et celle des bétons d'alluvion varie de 22.1 à 25.3 MPa.

## ABSTRACT

This paper presents a comprehensive study of mineralogical, chemical, physical and mechanical characteristics of construction materials (quarries, alluvial materials) in the metropolitan area of Port-au-Prince. The technical study was limited to nine material supply sites in the Port-au-Prince area. At each site, six bags (approximately 2 m<sup>3</sup>) of material were collected for mineralogical, chemical, physical and mechanical analysis. These analyzes were conducted in the laboratories of LNBTP, BME and FDS. The results of these analyzes showed that the quarry materials contain a high percentage of limestone (> 97%) of very good quality and they are sometimes likely to be used in the manufacture of ordinary concrete and work masonry. However, alluvial materials contain a small percentage of limestone (< 20%) and are flint rich, they have features fully adapted for the manufacture of ordinary concrete. This study also provides 28 days mean resistance of test-control concrete made with these materials. The resistance of concrete made of quarry materials ranges from 23 to 26.4 MPa and that of alluvial materials varies from 22.1 to 25.3 MPa.

## 1 INTRODUCTION

Dans le cadre du projet d'étude des caractéristiques des débris de décombres dans l'aire métropolitaine de Port-au-Prince, financé partiellement par le Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD), le Laboratoire National du Bâtiment et des Travaux Publics (LNBTP) a effectué une importante campagne de prélèvement d'échantillons provenant des sites de carrières et de rivières. Cette campagne visait à caractériser par des études techniques (études géotechniques, chimiques, minéralogiques, mécaniques, etc.) au laboratoire les matériaux granulés provenant desdits sites et à contrôler leur qualité afin d'en proposer une utilisation équilibrée de ces matériaux.

Cet article sert de référence technique pour l'utilisation des matériaux de construction de ce type à Port-au-Prince. Il représente le fruit de plusieurs laboratoires étatiques de recherches (Laboratoire National du Bâtiment et des Travaux Publics, Bureau des Mines et de l'Energie et Faculté des Sciences) sur les matériaux de construction pendant environ quatre mois.

## 2 RÉALISATION DES PRÉLÈVEMENTS

Les prises d'échantillons ont été réalisées par l'équipe de terrain sur les sites de carrières, exploités à ciel ouvert, (Carrefour Dufort, Découverte, Fonds-Parisien, Laboule 12, Madan Gano, Morne à Cabri et Sanatorium) et sur ceux de rivières, exploités dans les lits, (Rivière Froide et Rivière Momance) à raison de six sacs environ de matériaux par site (Figure 1). Ces prises d'échantillons ont été effectuées avec soin (puits manuels, pelles mécaniques équipées de drageline, sacs et sachets pour transport, etc.) pour la validité des essais au laboratoire. Les échantillons collectés sur ces sites d'approvisionnements ont été apportés et stockés au LNBTP où ils ont fait l'objet de nombreux essais techniques en laboratoire. Les échantillons prélevés sont considérés dans le cadre de cette étude comme représentatifs des sites concernés.

Il est important de souligner que les carrières (dépôts de calcaires broyés originellement massifs) et rivières (matériaux alluvionnaires) choisies dans cette étude représentent les sources principales d'approvisionnement

en granulats pour les constructions dans l'aire métropolitaine de Port-au-Prince.

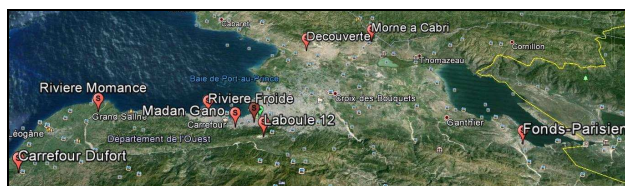


Figure 1. Positionnement des sites d'approvisionnement dans le département de l'Ouest

Tableau 1. Résultats des analyses minéralogiques, BME

Échantillons	Refus	Passés
Carrefour Dufort	<ul style="list-style-type: none"> <li>- matériaux contenant des morceaux de calcarénites blanchâtres très résistantes et des orbulines</li> <li>- matériaux contenant de petits morceaux de calcites</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- matériaux renfermant de petits morceaux de calcaires enrobés dans des argilites jaunâtres</li> </ul>
Découverte	<ul style="list-style-type: none"> <li>- matériaux renfermant des grains de calcaires</li> <li>- matériaux contenant des traces d'orbulines et quelques petits grains de calcite</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- le passé est constitué d'argilite de couleur jaunâtre et des grains de calcite</li> </ul>
Fonds- Parisien	<ul style="list-style-type: none"> <li>- matériaux renfermant des grains de carbonate très résistants</li> <li>- matériaux contenant de rares grains de calcite</li> <li>- matériaux contenant des morceaux de globigérines</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- matériaux renfermant quelques grains de calcite</li> <li>- il existe des traces de charbons naturels et d'oxyde de fer</li> </ul>
Laboule 12	<ul style="list-style-type: none"> <li>- matériaux constituant des grains de roches détritiques blanchâtres</li> <li>- rares traces de calcite et de lépidocycline</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- quelques petits grains enrobés dans des grains de sable, traces d'orbulines</li> </ul>
Madan Gano	<ul style="list-style-type: none"> <li>- matériaux contenant quelques grains de roches détritiques blanchâtres</li> <li>- matériaux renfermant des grains de calcite blanchâtre et des rares traces d'orbulines</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- matériaux contenant des lutites</li> <li>- matériaux renfermant de petits grains de carbonate et d'oxyde de fer</li> </ul>
Morne à Cabri	<ul style="list-style-type: none"> <li>- matériaux renfermant des grains de calcite</li> <li>- il y a rares traces d'oxydes de fer</li> <li>- les 70% des grains calcaireux sont très résistants</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- la mésostase est constituée des traces noires dues à l'oxydation du carbone des plantes</li> <li>- le passé est constitué de 30 à 40% de grains de calcite</li> </ul>
Sanatorium	<ul style="list-style-type: none"> <li>- matériaux contenant des grains de calcaires très résistants</li> <li>- rares traces de foraminifères</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- il est constitué de quelques grains d'oxyde de fer et de calcite</li> </ul>
Rivière Froide	<ul style="list-style-type: none"> <li>- matériaux contenant quelques grains de carbonate très résistants enrobés dans des grains de sables jaunâtres</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- il est constitué de grains de calcarénites enrobés dans des grains de sable et des traces de miliolites</li> </ul>
Rivière Momance	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 70% de grains volcaniques noirâtres très résistants</li> <li>- matériaux renfermant de grains calcaires</li> <li>- contenant rares morceaux de silex brunâtre</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- la mésostase est formée de 80% des grains d'argile jaunâtre</li> <li>- matériaux contenant de rares grains de silex et de petits grains blancs</li> </ul>

### 3 CARACTÉRISATION MINÉRALOGIQUE DES MATÉRIAUX

L'étude minéralogique des matériaux a été réalisée au laboratoire de géologie du BME à partir des analyses faites à la loupe binoculaire. Les résultats de cette analyse minéralogique sont consignés au Tableau 1. Cette analyse montre les différents minéraux qui composent les matériaux prélevés sur les neuf sites examinés. La présence de certains minéraux (silice – SiO<sub>2</sub>, minéraux des sulfures et des chlorures) dans ces matériaux pourrait constituer des nuisances dans un béton.

### 4 CARACTÉRISATION CHIMIQUE DES MATÉRIAUX

L'étude chimique peut aider à l'identification des éléments chimiquement réactifs. Cette étude chimique repose sur les essais techniques réalisés aux laboratoires du BME et de l'URE (Unité de Recherche en Environnement) de la FDS. Ces essais ont été déterminés à l'aide des analyses en pourcentages de carbonate de calcium (CaCO<sub>3</sub>), de chaux vive (CaO), de carbonate de magnésium (MgCO<sub>3</sub>), d'oxyde de magnésium (MgO), de chlorures dissous, de

teneur en soufre total, de sulfate dissous et de réaction alcali-silice.

#### 4.1 Analyses en pourcentages de CaCO<sub>3</sub>, MgCO<sub>3</sub>, CaO et MgO

Le Tableau 2 présente les pourcentages en CaCO<sub>3</sub>, MgCO<sub>3</sub>, CaO et MgO pour chacun des matériaux analysés. Parmi les éléments en traces, soulignons la présence de CaCO<sub>3</sub> à des pourcentages très élevés dans

les matériaux de carrières de calcaires broyés (> 97%, calcaires de très bonne qualité) et pourcentages faibles dans les matériaux alluvionnaires (< 20%).

Tableau 2. Résultats des analyses chimiques en CaCO<sub>3</sub>, MgCO<sub>3</sub>, CaO et MgO sur les matériaux

Échantillons	CaCO <sub>3</sub> (%)	MgCO <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)
Carrefour Dufort	97.81	1.05	54.95	0.50
La Découverte	97.73	0.84	54.90	0.40
Fonds-Parisien	97.77	0.42	54.93	0.20
Laboule 12	98.52	0.52	55.35	0.25
Madan Gano	97.75	1.05	54.91	0.50
Morne à Cabri	98.78	0.42	55.50	0.20
Sanatorium	98.56	0.52	55.37	0.25
Rivière Froide	86.27	1.57	48.46	0.75
Rivière Momance	18.09	6.14	10.16	2.94

#### 4.2 Analyses des chlorures dissous

L'analyse des chlorures dissous permet de déterminer les chlorures solubles contenus dans les matériaux. Le Tableau 3 présente les valeurs de teneur en chlore pour les matériaux analysés. Ces matériaux révèlent des teneurs en chlore très faibles, largement inférieures à 20000 ppm. Donc, ces matériaux contribueront très peu à des réactions corrosives en présence d'autres ingrédients de malaxage du béton (eau de gâchage, adjuvant et matériaux cimentaires) ou à l'exposition à l'eau de mer ou à un air salin en région côtière.

Tableau 3. Teneurs en chlore des matériaux, détermination du soufre total et détermination du sulfate dissous

Échantillons	Teneur en chlore (PPM)	Observation (Soufre total)	Observation (Sulfate dissous)
Carrefour Dufort	295.8	absent	absent
Découverte	244.1	absent	absent
Fonds-Parisien	199.7	absent	absent
Laboule 12	355.0	absent	absent
Madan Gano	221.9	absent	absent
Morne à Cabri	266.3	absent	absent
Sanatorium	177.7	absent	absent
Rivière Froide	266.3	absent	absent
Rivière Momance	221.9	absent	absent

#### 4.3 Analyses du soufre total et sulfate dissous

Les résultats des analyses en soufre total et sulfate dissous réalisées sur les matériaux sont listés également au Tableau 3. Ces résultats mettent en évidence l'absence des ions de sulfures qui indiquent l'absence de matériaux sulfureux (pyrite) et l'absence d'ions de sulfates. Ces granulats ne peuvent pas provoquer des réactions sulfatiques internes dans un béton.

#### 4.4 Analyses de la réactivité alcali-silice

Les analyses de réduction en alcalinité effectuées sur les matériaux sont rassemblées dans le Tableau 4. La réaction de certains granulats avec les alcalis du ciment peut se traduire, sur une longue période, par une expansion et une fissuration. La distinction des granulats dépendamment des réactions alcali-silice dépend de la réduction en alcalinité et de la quantité de silice dissoute.

La Figure 2 donne une représentativité des neuf matériaux sur la courbe de réaction alcali-silice. Mais, cette représentation est semi-paramétrique dans la mesure où seul l'essai "réduction en alcalinité" a été réalisé sur ces matériaux. L'essai de détermination de silice dissoute n'étant pas effectué sur ces matériaux (non disponible en Haïti), on a cherché à déterminer les limites (seuil de silice dissoute à partir duquel les matériaux seront réactifs) sur cette courbe alcali-silice pour que ces matériaux soient capables de provoquer des réactions alcalines ou soient potentiellement nuisibles. Mais dans la réalité, ces points ne se disposeront pas tous exactement sur la courbe 1. Ils peuvent être probablement à gauche de la courbe 1 (considérés comme des matériaux inoffensifs), en dessous de la courbe 2 (capables de provoquer des fissures et expansions considérables par la réaction entre les granulats et les alcalis du ciment - situation impossible vu les valeurs de "réduction en alcalinité") ou à droite de la courbe 1 et au-dessus de la courbe 2 (potentiellement nuisibles). Donc, cette singularité étonnante des neuf points observée sur cette Figure 2 est fort improbable. Il restera alors à mesurer la quantité de silice dissoute pour positionner exactement les neuf matériaux sur cette courbe de réaction alcali-silice.

Tableau 4. Réduction en alcalinité

Échantillons	Volume HCl 0.05N ou 0.05 mol/l	Réduction en alcalinité (mmol/l)	Concentration minimale en silice pour que le matériau soit capable de donner des réactions alcalines considérables (mmol/l)
Carrefour Dufort	16.35	182.5	150 -200
Découverte	14.7	265	275 - 300
Fonds-Parisien	14.3	285	275 - 300
Laboule 12	13.7	315	275 - 300
Madan Gano	15.75	212.5	250
Morne à Cabri	12.6	370	300
Sanatorium	13.05	347.5	300 -350
Rivière Froide	8	600	475 - 500
Rivière Momance	9.75	512.5	350 - 400

Cependant, si ces matériaux pris isolément affichent un comportement d'inertes relativement à l'alcali-réaction, mélangés à des gravillons provenant de ballastières de rivière semi concassés, le phénomène peut se produire de manière spectaculaire.

Le cas classique étudié au LNBTP est celui d'un béton de parquet coulé depuis environ trois mois à la surface duquel des fissures apparaissent remplies de gel de silicate, LNBTP (2009). Les analyses de laboratoire ont permis d'identifier le silicate de calcium.

Le béton était composé :

- d'un gravillon 6/25 semi concassé dans lequel des morceaux de silice (radiolarité de couleur brune), présentant une cassure conchoïdale, pouvaient se différencier dans un ensemble calcaire et basaltique ;
- d'un sable calcaire de carrière des montagnes concassé pour atteindre une granularité de 0/6.
- d'un ciment portland artificiel (CPA) tous usages de type ASTM C1157.

Il apparait que le mélange sable de carrière / gravillons semi concassés de ballastière avec le ciment portland artificiel (CPA) réunit les conditions susceptibles de provoquer l'alcali-réaction.

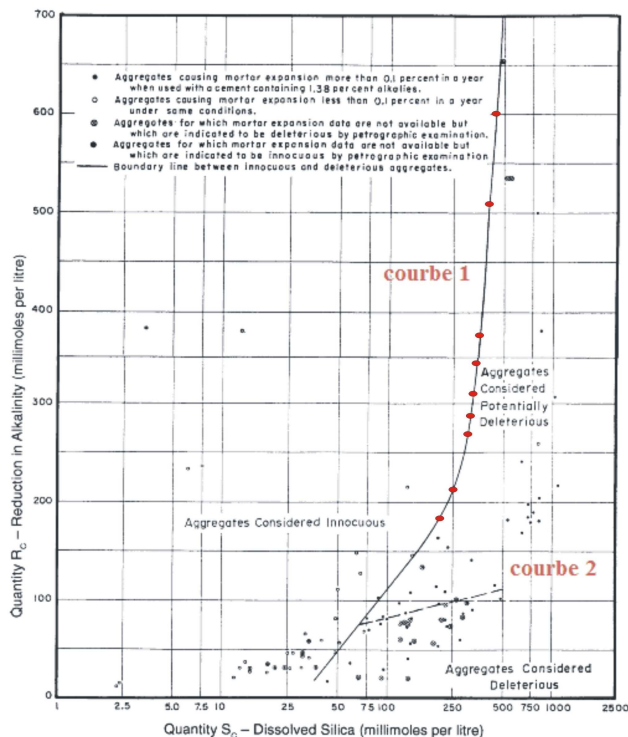


Figure 2. Courbe de réaction alcali-silice, ASTM C 289-03

Tableau 5. Caractéristiques physiques des sables

Granulats	Équivalent de sable		Poids Vol. ( $\text{kN/m}^3$ )		Los Angeles	Micro Deval	Module de finesse	Propreté (%)
	ESV	ESP	App.	Grains solides				
Sable Carrefour Dufort	63	61	14.52	26.49	—	—	2.29	—
Sable Découverte	73	69	13.44	26.58	—	—	3.44	—
Sable Fonds-Parisien	75	68	15.30	26.49	—	—	2.69	—
Sable Laboule 12	78	74	15.40	26.68	—	—	3.09	—
Sable Madan Gano	47	45	15.01	26.39	—	—	2.10	—
Sable Morne à Cabri	77	75	15.30	26.88	—	—	3.49	—
Sable Sanatorium	80	77	14.62	26.49	—	—	3.35	—
Sable Rivière Froide	60	57	15.99	26.29	—	—	2.84	—
Sable Rivière Momance	90	77	16.09	26.98	—	—	2.27	—

## 5 ANALYSE DES CONSTITUANTS DES BÉTONS

### 5.1 Granulats

Les matériaux utilisés dans les formulations des bétons binaires sont des matériaux provenant des neuf sites distincts d'approvisionnement en granulats pour les constructions dans l'aire métropolitaine de Port-au-Prince : Carrefour Dufort, Découverte, Fonds-Parisien, Laboule 12, Madan Gano, Morne à Cabri, Sanatorium, Rivière Froide et Rivière Momance. Ces matériaux ont été écrêtés sur les tamis de 6.3 mm et de 31.5 mm afin de séparer le sable du gravier. De ce fait, le sable est de granularité 0/6.3 et le gravier de granularité 6.3/31.5.

Les granulats des bétons binaires sont surtout les sables et les graviers. Ces granulats ont été essentiellement soumis aux essais de laboratoire suivants :

- Analyse granulométrique,
- Poids volumique apparent,
- Poids spécifique des grains solides,
- Équivalent de sable,
- Los Angeles,
- Micro Deval,
- Essai de propreté.

Les résultats de ces différents essais réalisés et les principaux critères d'identification définis (module de finesse, propreté) sur ces granulats sont listés aux Tableaux 5 et 6.

### 5.2 Eau et ciment

L'eau propre du robinet est utilisée dans la préparation des mélanges (hydratation du liant, mouillage des granulats, malaxage et mise en œuvre) en laboratoire. Elle est réputée ne contenir aucun agent nocif susceptible d'altérer la qualité du béton. Toutefois, elle n'a fait l'objet d'aucune analyse chimique au LNBTP.

Le ciment utilisé provient de la Centrale Varreux (CIVA – Ciment Varreux). Il s'agit d'un ciment tous usages de type ASTM C1157 GU (General Use).

Tableau 6. Caractéristiques physiques des graviers

Granulats	Équivalent de sable		Poids Vol. (kN/m <sup>3</sup> )		Los Angeles	Micro Deval	Abs. d'eau (%)	Module de finesse	Propreté (%)
	ESV	ESP	App.	Grains solides					
Gravier Carrefour Dufort	–	–	12.64	22.17	48	77	5.82	–	0.80
Gravier Découverte	–	–	12.36	22.96	27	47	3.75	–	1.74
Gravier Fonds- Parisien	–	–	12.85	23.05	30	57	0.82	–	1.00
Gravier Laboule 12	–	–	13.73	25.41	22	22	1.38	–	0.61
Gravier Madan Gano	–	–	13.24	23.05	32	60	4.13	–	1.00
Gravier Morne à Cabri	–	–	12.85	22.66	34	58	5.02	–	3.00
Gravier Sanatorium	–	–	12.85	23.45	28	45	3.55	–	1.00
Gravier Rivière Froide	–	–	12.48	23.64	18	29	3.17	–	1.49
Gravier Rivière Momance	–	–	14.52	26.09	14	20	1.48	–	0.02

## 6 MISE AU POINT DES FORMULATIONS DU BÉTON HYDRAULIQUE

### 6.1 Méthode utilisée

La méthode utilisée pour les formulations du béton est la méthode pratique simplifiée de « Dreux-Gorisse », dont les paramètres de base sont :

- La plasticité désirée,
- Le rapport ciment /eau.

Rappelons que cette méthode a pour seul but de permettre de définir d'une façon simple et rapide une formule de composition à peu près adaptée au béton étudiée, mais que seules quelques gâchées d'essai et la confection d'éprouvettes permettront d'ajuster au mieux la composition à adopter définitivement en fonction des qualités souhaitées et des matériaux effectivement utilisés, Dreux et Festa (2006).

A partir des résultats des essais réalisés en laboratoire sur les matériaux granulés, nous avons déterminé les proportions optimales des différents constituants des mélanges afin de garantir des résistances à la compression simple à 28 jours satisfaisants. Le dosage de 350 kg de ciment par mètre cube (350 kg/m<sup>3</sup>) de béton a été adopté.

### 6.2 Dosage

L'étude a été menée en visant une plasticité normale, correspondant à un affaissement au cône d'Abrams de 7 cm (6 – 9cm : Béton plastique, mise en œuvre B.A. – vibration courante, Prepetit, 2009).

L'abaque, préconisé par la méthode de Dreux-Gorisse, liant le rapport C/E à l'ouvrabilité désirée, permet d'obtenir pour un dosage en ciment de 350 kg/m<sup>3</sup> de béton, un rapport C/E de l'ordre de 1.74. Cette valeur est susceptible d'être modifiée en fonction de l'état d'humidité des granulats et de la quantité de fines contenues dans le squelette granulaire.

### 6.3 Mélanges théoriques

Les squelettes optimaux des mélanges binaires réalisés à partir des courbes granulaires de référence et des lignes de partage sont obtenus à partir des mélanges des constituants granulaires dans les proportions indiquées dans le Tableau 7.

En fonction des caractéristiques des constituants et des différentes corrections, le LNBTP propose, dans le Tableau 8, les dosages équivalents pour l'obtention d'un mètre cube de béton (1m<sup>3</sup> de béton).

Tableau 7. Pourcentage optimal des granulats dans les mélanges

Béton étudié (Q <sub>350</sub> )	Sable (%)	Gravier (%)
Carrefour Dufort	35.83	64.17
Découverte	42.41	57.59
Fonds-Parisien	37.94	62.06
Laboule 12	39.98	60.02
Madan Gano	36.79	63.21
Morne à Cabri	37.95	62.05
Sanatorium	41.60	58.40
Rivière Froide	39.37	60.63
Rivière Momance	36.04	63.96

## 7 RÉSISTANCE MÉCANIQUE DES BÉTONS ÉTUDIÉS

### 7.1 Confection des éprouvettes

A partir des mélanges réalisés avec les dosages pondéraux indiqués ci-dessus, des séries de neuf éprouvettes cylindriques de 6 pouces de diamètre et de 12 pouces de hauteur (rapport h/d = 2 ou élanement de 2 imposés pour tous les échantillons cylindriques analysés afin d'éviter une forte atténuation) ont été confectionnées et immergées dans l'eau, après démoulage au lendemain de leur confection.

### 7.2 Essais de compression simple

Les essais de compression simples (essais destructifs) sont prévus à 3, 7 et 28 jours sur les éprouvettes cylindriques conservées dans l'eau. Ils sont réalisés sous

une presse automatique de type 101/3000 E de la marque Form-Test Seidner pouvant atteindre une charge de rupture de 3000 kN.

Les résistances moyennes obtenues à 3, 7 et 28 jours des séries d'éprouvettes cylindriques fabriquées sont résumées dans le Tableau 9 et aux Figures 3 et 4.

Tableau 8. Dosage ( $Q_{350}$ ) du béton des matériaux

Site	Constituants	Dosage pondéral (masse en kg)		Dosage volumique (volume en litre)	
		Pour 1m <sup>3</sup>	Pour 1m <sup>3</sup>	Pour 1m <sup>3</sup>	Pour 1 sac de ciment de 42.5 kg
Carrefour Dufort	Gravier	893.69	669.36	81.28	
	Sable	595.16	355.32	43.15	
	Ciment	350.00	318.18	38.64	
	Eau	201.15	201.15	24.43	
	Densité réelle du béton frais : 2.04				
Découverte	Gravier	886.13	690.89	83.89	
	Sable	762.72	544.80	66.15	
	Ciment	350.00	318.18	38.64	
	Eau	201.15	201.15	24.43	
	Densité réelle du béton frais : 2.20				
Fonds-Parisien	Gravier	990.24	747.93	90.32	
	Sable	698.61	440.43	53.48	
	Ciment	350.00	318.18	38.64	
	Eau	201.15	201.15	24.43	
	Densité réelle du béton frais : 2.24				
Laboule 12	Gravier	1056.96	733.57	89.08	
	Sable	741.89	454.43	55.18	
	Ciment	350.00	318.18	38.64	
	Eau	201.15	201.15	24.43	
	Densité réelle du béton frais : 2.35				
Madan Gano	Gravier	882.24	611.47	74.25	
	Sable	606.24	363.78	44.17	
	Ciment	350.00	318.18	38.64	
	Eau	201.15	201.15	24.43	
	Densité réelle du béton frais : 2.04				
Morne à Cabri	Gravier	976.84	738.70	89.70	
	Sable	712.01	449.94	54.64	
	Ciment	350.00	318.18	38.64	
	Eau	201.15	201.15	24.43	
	Densité réelle du béton frais : 2.24				
Sanatorium	Gravier	933.11	699.89	84.99	
	Sable	755.74	494.93	60.10	
	Ciment	350.00	318.18	38.64	
	Eau	201.15	201.15	24.43	
	Densité réelle du béton frais : 2.24				
Rivière Froide	Gravier	1002.69	668.08	81.12	
	Sable	726.16	438.21	53.21	
	Ciment	350.00	318.18	38.64	
	Eau	201.15	201.15	24.43	
	Densité réelle du béton frais : 2.28				
Rivière Momance	Gravier	1205.59	729.81	88.62	
	Sable	703.26	417.79	50.73	
	Ciment	350.00	318.18	38.64	
	Eau	201.15	201.15	24.43	
	Densité réelle du béton frais : 2.46				

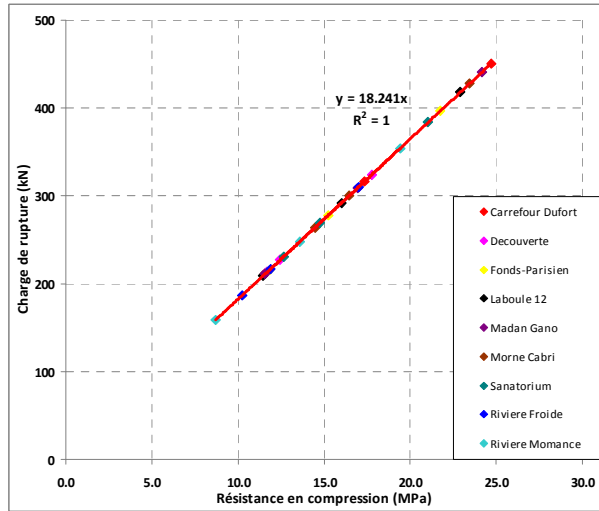


Figure 3. Résistances en compression obtenues à 3, 7 et 28 jours

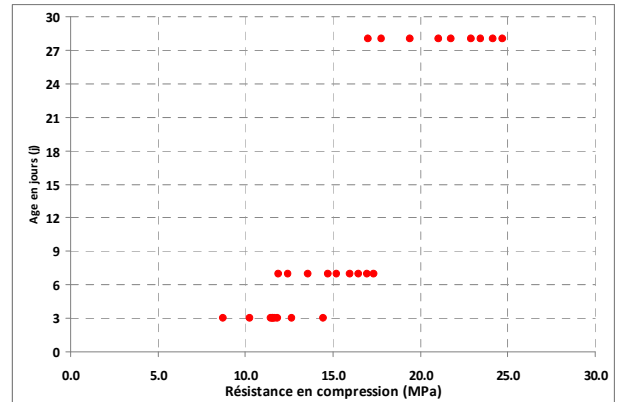


Figure 4. Résistances en compression des matériaux en fonction des âges (3, 7 et 28 jours)

Tableau 9. Résultats des essais de compression

Site	Dosage	Age en jours	Charge moyenne de rupture	Resistance moyenne obtenue		Écart-type	
			en kN	en psi	en MPa	en psi	en MPa
Carrefour Dufort	Q <sub>350</sub>	3	211	1681	11.6	80	0.55
		7	316	2521	17.4	84	0.58
		28	451	3393	23.4	103	0.71
Decouverte	Q <sub>350</sub>	3	213	1702	11.7	49	0.29
		7	227	1808	12.5	18	0.1
		28	324	3829	17.8	160	1.1
Fonds-Parisien	Q <sub>350</sub>	3	216	1723	11.9	32	0.22
		7	278	2220	15.3	299	1.35
		28	397	3744	21.8	80	0.55
Laboule 12	Q <sub>350</sub>	3	209	1670	11.5	66	0.4
		7	292	2340	16.1	49	0.21
		28	418	3340	23.0	18	0.13
Madan Gano	Q <sub>350</sub>	3	211	1681	11.6	80	0.55
		7	309	2468	17.0	80	0.55
		28	441	3744	24.0	80	0.55
Morne à Cabri	Q <sub>350</sub>	3	264	2106	14.5	55	0.38
		7	300	2393	16.5	160	1.1
		28	428	3818	23.0	144	0.99
Sanatorium	Q <sub>350</sub>	3	231	1840	12.7	88	0.55
		7	269	2148	14.8	80	0.55
		28	384	3340	21.1	18	0.13
Rivière Froide	Q <sub>350</sub>	3	187	1489	10.3	92	0.62
		7	217	1734	12.0	12	0.13
		28	310	3669	17.0	160	1.1
Rivière Momance	Q <sub>350</sub>	3	159	1266	8.7	49	0.39
		7	248	1978	13.6	64	0.32
		28	354	3201	19.4	49	0.34



## 8 CONCLUSIONS

### 8.1 Matériaux des carrières de montagnes

Les sables en provenance des sites Découverte, Laboule 12, Sanatorium et Fond-Parisien sont propres (ESP = 69 à 77). Ils contiennent 9 à 16% de fines, leur module de finesse varie de 2.69 à 3.44, ils sont grossiers. Une moins bonne ouvrabilité et des risques de ségrégation du béton sont à craindre si des dispositions, telles une vibration puissante de ce dernier, ne sont pas prises.

Les graviers en provenance des sites Découverte, Laboule 12, Sanatorium et Fond-Parisien, sont propres. Leur pourcentage d'impuretés varie de 0.61% à 1.00. Pour le site Découverte, le gravier est impropre (1.74% impureté). Le coefficient « Los Angeles » des sites cités ci-dessus varie de 22 à 30. Leur coefficient « Micro-Deval » varie de 22 à 57. Ces matériaux pourraient être utilisés dans la fabrication de béton de qualité courante.

Les sables prélevés des sites Madan Gano, Carrefour Dufort sont impropres (ESP = 45 à 61), celui du site Morne à Cabri est propre (ESP = 75). Ils contiennent respectivement 32, 24, 13% de fines. Leur module de finesse est respectivement égal à 2.10, 2.29 et 3.49. Ces sables pourraient être utilisés dans la fabrication de béton de qualité courante. Dans le cas des sites Madan Gano et Carrefour Dufort, leur sable doit être lavé avant toute utilisation.

Les graviers en provenance des sites : Madan Gano et Carrefour Dufort, sont propres, leur pourcentage d'impuretés varie de 0.80% à 1.00% et celui du site Morne à Cabri est impropre. Leur pourcentage d'impureté est égal à 3.00%. Leur coefficient « Los Angeles » varie de 32 à 48. Leur coefficient « Micro-Deval » varie de 58 à 77. Ces graviers ne sont pas aptes à être utilisés dans la fabrication de béton de qualité courante.

Ces granulats de carrières contiennent un fort pourcentage de carbonate de calcium pouvant donner lieu à la carbonation du béton due à l'action de l'acide carbonique se trouvant dans l'atmosphère sur la chaux libérée par l'hydratation du carbonate de calcium. Cette carbonation peut faire baisser le pH, neutralisant ainsi progressivement l'alcalinité du béton et son rôle passivant sur les armatures qui, n'étant plus protégées, se corrodent, Jean (2013).

Si l'utilisation de ces matériaux de carrières des montagnes dans un béton ne risque pas de provoquer le phénomène de l'alcali-réaction, le mélange avec des gravillons semi concassés de ballastière peut donner lieu à ce type réaction interne en présence d'un ciment portland artificiel (CPA).

### 8.2 Matériaux alluvionnaires des rivières

Le sable en provenance de la rivière Momance est propre (ESP = 77). Il contient 5% de fines, son module de finesse égal à 2.27 (MF = 2.27) est conforme. Les granulats extraits de ces matériaux peuvent être utilisés dans la fabrication de béton de qualité courante.

Le gravier en provenance de la rivière Momance est propre (0.02% d'impuretés). Son coefficient « Los Angeles » égal à 14, reste inférieur au maximum de 30

exigé pour un béton de qualité courante. Son coefficient « Micro-Deval » est égal à 20. Ce matériau peut être utilisé dans la fabrication de béton de qualité courante.

Le sable en provenance de la rivière Froide est impropre (ESP = 57). Il contient 15% de fines, son module de finesse égal 2.84 (MF = 2.84) est conforme. Il doit être lavé avant toute utilisation dans la fabrication de béton de qualité courante.

Le gravier en provenance de la rivière Froide est propre (1.49% d'impuretés). Son coefficient « Los Angeles » égal à 18 reste inférieur au maximum de 30 exigé pour un béton de qualité courante. Son coefficient « Micro-Deval » est égal à 29. Les granulats extraits de ces matériaux, pour être utilisés dans la fabrication de béton de qualité courante, doivent être lavés.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à souligner la contribution d'autres collègues dans cet article, spécialement Charles J.-N. (LNBTP), Saint-Victor S. (LNBTP), Casimir J. (FDS), D'Meza S. (BME), Boisson D. (FDS), Thimus J.-F. (UCL), Schroeder C. (ULB). Ils remercient la Faculté des Sciences (FDS) de l'Université d'État d'Haïti (UEH), le Bureau des Mines et de l'Energie (BME), le Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD) pour le financement partiel du projet de recherche "Gestion des débris dans l'aire métropolitaine de Port-au-Prince" et particulièrement le Laboratoire National du Bâtiment et des Travaux Publics (LNBTP) d'Haïti pour avoir mené à bien ce projet.

## RÉFÉRENCES

- ASTM C 289-03. 2004. Standard Test Method for Potential Alkali-Silica Reactivity of Aggregates (Chemical Method).
- ASTM C 1157. 1995. Standard Performance Specification for Blended Hydraulic Cement.
- Dreux, G. et Festa, J. 2006. Nouveau guide du béton et de ses constituants. Huitième édition 1998. Troisième tirage 2007. Editions Eyrolles.
- Jean, B. J. 2013. Caractéristiques des débris de décombres dans l'aire métropolitaine de Port-au-Prince. Projet Gestion des débris. Rapport d'études – Laboratoire National du Bâtiment et des Travaux Publics (LNBTP) – Ministère des Travaux Publics, Transports et Communications (MTPTC) – Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD).
- LNBTP. 2009. Expertise de deux entrepôts situés à Tabarre : Diagnostic de dégradations observées dans le béton des parquets. Rapport d'études – Laboratoire National du Bâtiment et des Travaux Publics (LNBTP).
- Prepetit, C. 2009. Introduction à l'étude des matériaux de construction d'Haïti. Editions de l'Université d'Etat d'Haïti.