SCIENTIFIC PROJECT REPORT

-

BINDER DESIGN
COMPOSITE HYDROCARBON
ANTI-RUTTING

The purpose of this document is to provide clear and comprehensive documentation of the research carried out by the students. Students are expected to work with this document and complete the information appropriately throughout the research project. The mentor and designated project supervisor will also assist the students in this task. This will help students learn appropriate scientific documentation of research, which is an important skill in itself. In addition, at the end of the research, the research documentation will be in a state that could be suitable for further publication.

Summary

In order to take concrete action in the fight against global warming, this project set out to study a more environmentally-friendly and responsible way of making bituminous concrete (BB), a material widely used in road construction. The stated aim is to recycle non-biodegradable waste (non-opaque, transparent and coloured plastic bottle waste, tyre waste) so that it can be reused in the production of a BB that consumes fewer natural resources (natural rock) and gives polluting plastic waste a useful second life. In addition to its environmental impact, this material is less expensive and more resistant in terms of the Cameroonian environment. It is through a calculated modification of the elements used in the manufacture of BB that this project aims to contribute to the preservation of non-renewable resources, in particular aggregates (gravel and sand), while reducing the presence of polluting waste in the environment.

The plastic waste and tyres collected for the manufacturing process have been shredded and precisely characterised to ensure that :

- ❖ the chemical components of the waste used will react favorably with those of the hydrocarbon binder used
- ❖ the particle size of the shredded waste falls within the reference range for use in the manufacture of bituminous concrete

Overall, we partially substituted bitumen (the main binder used in the application of BB) with fine granules of tyres and plastic waste, more precisely known as polyethylene thiophthalate. The substitution was carried out in increasing percentages of 10%, 20%, 30% and 40%, and mechanical characterisation tests were carried out on each sample to check the behavior and quality of the samples with reference to the standards in force.

It was thus found that for the Marshall and Duriez tests, the increase in the percentage of plastic waste leads to a slight reduction in the initial characteristics of the asphalt concrete, but without this being outside the limit values. In the PCG test, however, the increase in the percentage of plastic waste leads to an increase in compactness, so that at 40% substitution, the asphalt concrete is no longer classified as BBSG (Béton Bitumineux Semi-Grenu), but rather as BBAO (Béton Bitumineux Anti-Orniérant). The same increase in mechanical characteristics as a function of the percentage of substitution was observed in the rutting test.

Table of Content

Summary	**2**
Contents	**3**
Introduction	**4**
Literary magazine	**5**
Methodology	**6**
Results	**7**
Discussion	**8**
Conclusion	**9**
References	**10**
Appendices	**11**

1. Introduction

As part of its contribution to reducing greenhouse gasses (GHGs), Cameroon has drawn up a document entitled Nationally Determined Contribution (NDC), which defines the areas in which it will participate in international efforts to combat global warming. The national objective is to reduce GHG emissions by 32% by 2035, when, according to the 2015 scenario, they will reach 104 $MtCO_2eq$, an increase of 166% compared with 2010. From a sectoral point of view, although transport only accounts for 7% of emissions, its growth is greater than that of national emissions (178%). It is therefore of particular interest that actions aimed at reducing transport-related GHG emissions should be considered. In terms of transport in general, and road transport in particular, vehicles make a significant contribution to global warming, but the construction of infrastructure such as roads is no less important. Road infrastructure requires the use of materials that have a significant environmental impact, but also consumes natural resources that take millions of years to build up.

Economic and development objectives are leading to an increase in travel facilities and means of transport such as roads and motorways. However, asphalt roads are subject to increasingly severe climatic and operational constraints. In order to guarantee the continuity of traffic, it is necessary to use artificial materials such as Bituminous Concrete to withstand the daily constraints of traffic, service and climate. Asphalt concrete is a heterogeneous material made up mainly of natural rock (sand and gravel) and a hydrocarbon (a product of petroleum distillation). Although the latter plays a very important role in the quality of BB, it has a negative environmental impact.

In addition, our cities, which need roads, are faced with an abundance of non-biodegradable waste, such as plastic bottles and tyres, which constitute a major environmental threat. In sub-Saharan African countries such as Cameroon, recycling has not really been implemented, and waste management needs to be improved. As a result, gutters, waterways and public spaces have often become dumping grounds that require substantial funding to restore. It is therefore important to find a simple and practical way of recovering this waste.

Faced with the dual concern of protecting the environment and producing more durable pavements at lower cost, geotechnical engineers have suggested asphalt concretes doped monophasically (with each of these wastes). This separate recovery is often subject to a number of limitations, including cushioning (in the case of asphalt concrete enriched with tyre waste) and skid resistance (in the case of asphalt concrete doped with plastic waste). To resolve the two concerns mentioned above, on the one h a n d , and to guarantee skid resistance by putting an end to cushioning, on the other, we have considered the concomitant use of this waste in bituminous concrete. This way of making non-biodegradable waste profitable is in line with Sustainable Development Objective 11.

Based on the above observations, the project that is the subject of this report was initiated with the main aim of developing a binder that not only meets the technical needs of road construction, but also reduces the environmental cost of BB production while promoting the recycling of plastic waste.

This project, led by the CMR-002 student group in collaboration with the 3E's 4 Africa association, has the following specific objectives:

~Propose a composite binder capable of meeting current road construction needs and current BB classification standards;

~Reduce the amount of waste in our towns and cities by using it in road construction through an efficient and cost-effective recycling method;

~Reduce the use of hydrocarbon binders in the manufacture of BBs, thereby reducing their financial cost and environmental impact.

Achieving the above-mentioned objectives required a work plan that led us in turn to a literature review, a definition of the work methodology, the carrying out of trials and the exploitation of the results, discussions on the basis of the results obtained and finally an overall conclusion on the work carried out.

2. Literature review

Bituminous concrete is a mixture of gravel, sand, fillers and bitumen, used for pavements. Several varieties o f bituminous concrete have been developed to meet the increasingly stringent requirements.

2.1.Asphalt concrete components

Bituminous concrete is made up of aggregates and bitumen in precise proportions, with characteristic properties as specified in the standard. Additives may be added to improve its properties.

2.1.1. Aggregates

This is a mixture of crushed mineral grains made up of sand, gravel and fillers. The aggregates must not be polluted, they must have a satisfactory shape and good adhesion to the bitumen. The requirements for bituminous concrete are set out below.

2.1.1.1. Gravel

Gravels for asphalt mixes are class 4/6, 6/10 or 10/14 aggregates. According to CEBTP 1984, aggregates for asphalt mixes have a number of characteristics, including hardness (resistance to attrition, fragmentation and polishing), surface cleanliness, shape and size, and dosage.

2.1.1.2. Sand

Asphalt sands are 0/2 or 0/4 crushed sands, often with 18% (0/2) or 10% to 14% (0/4) filler. These sands must be clean with an ES (sand equivalent) greater than 40 (CEBTP, 1984).

2.1.1.3. Fillers

Fillers or fines are sands and dusts smaller than $63\mu m$. The fines of a Hydrocarbon mix are generally a mixture of fines in small proportions. The specifications for fillers are defined in standard NF EN 13043.

2.1.2. Bitumen

Bitumen is a natural organic material or one produced by the distillation of crude oil. It is a dark, highly viscous or solid material used in construction and public works, particularly for road surfacing (USIRF, 2011).

2.1.2.1. Obtain

There are two ways of obtaining bitumen: extracting the material in its natural state (NJIMOLUH, 2018) and refining crude oil (Bitume Info, June 2002).

2.1.2.2. Propriétés

The qualities of coating layers are closely linked to the characteristic properties of the binders that make them up.

The physical properties are softening point, flash point, fire point, density, loss of mass on heating and cohesion-ductility (Béghin, 2003).

Mechanical properties include impermeability, consistency, Fraass brittleness point, adhesion to aggregates and viscosity (Béghin, 2003).

The chemical properties are solubility and paraffin content (Béghin, 2003).

2.1.2.3. Typology

After being manufactured in industry by distillation of crude oils, bitumens can be used as they are or not. These new varieties can be obtained by air blowing or rectification, by deasphalting using a selective solvent, or by adding certain additives to improve properties in order to better meet requirements. There are several types of bitumen, including pure bitumens, special bitumens, fluidified bitumens, fluxed bitumens, oxidized bitumen and bitumen emulsions (J.P. Sergent et al. 2005).

2.1.2.4. Areas of use

Bitumen is mainly used in road construction (coating), waterproofing (tunnels, reservoirs, etc.) and industry (protective coatings on pipes and electrical cables).

2.1.3. Additives

Additives in BB are additional components added to improve the properties of the mixture. The list of BB additives is fairly extensive. These include sulfur (J. BROZ et al. 2003), waste plastic powder and rubber or tyre powder (TADJER, 2020).

2.2. Formulation of bituminous concrete

The Marshall method and the Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC) method are the most widely used formulation methods.

Depending on the intended use, the type of asphalt and the stresses, the requirements may be different. This is why, for the LCPC method, the mix design test has been divided into several levels ranging from 1 to 4 (DELORME et al. 2007). Level 0, introduced in the general standard NF P 98-150-1, corresponds to a description of the asphalt concrete formula.

2.3.Manufacture and application of asphalt concrete

The various stages leading to the final product after formulation are the dosing of the constituents and mixing (KEITA, 1992).

Implementation involves spreading, leveling and compacting, while complying with spreading temperatures and compacting specifications (TAPSOBA, 2012).

2.4. Essential characteristics of bituminous concrete

Bituminous concrete is characterised by several parameters linked to their requirements. These include workability, resistance to bleeding, resistance to rutting, resistance to cracking, durability and resistance to stripping (Zadjaoui et al. 2015).

2.5. Types of bituminous concrete

Bitumens are classified according to several criteria such as the manufacturing process, the application temperature (S. Le Bec, 2014; Deffreux et al. 2009), the function (CEBTP, 1984; Deffreux et al. 2009; Bitume info n°29 Spring - Summer 2013; Bitume Québec and EUROVIA, 2006), and other specific characteristics such as texture or structure.

In addition to the above list, there are special asphalts for which the use of reinforcing elements is essential. This category includes studded asphalt concrete, asphalt concrete with vulcanized rubber (promoted by the MTQ - Ministère des Transports du Québec - since 2000), asphalt concrete with glass (Norambuena-Contreras and Gonzalez- Torre, 2015) and bituminous concrete reinforced with plastic waste (Gachi Azeddine and Rahmani Amel, 2017)

3. Methodology

A summary of the research questions:

1. How can the mechanical strength of the wearing course be increased?
2. How can non-biodegradable material (gravel) be preserved or used rationally?
3. How can we protect the environment?
4. How can waste plastic bottles and tyres be recycled simultaneously in asphalt concrete?

A description of the method :

The conventional materials (bitumen and gravel) used and the bituminous concretes are tested in accordance with the standards relating to t h e processing of waste plastic bottles and tyres.

3.1. Tests carried out on aggregates

Aggregate characterisation was carried out in the first quarter (March 2022 - June 2022) of the start-up of this project, which was initially planned for one (01) year, i.e. 12 months.

(a) The parameters of the GA [(granulometric curve of the granular mixture) NF P 94 - 056];
(b) Real density EN 1097 - 6 : 2000/A1 : 2005 ;
(c) The coefficient (LA) NF P 18 - 573;
(d) The coefficient (MDE) NF P 18 - 572;
(e) The coefficient (CA) NF P 18 - 561;
(f) Sand equivalent (ES) NF P 18 - 598;
(g) Cleanliness level NF P 18 - 591.

3.2. Processing waste tyres and plastic bottles

Both types of waste were transformed into powders.

3.3. Test carried out on the modified binder (penetrability test (NF EN 1426)

The penetrability test is used to determine the consistency of hydrocarbon binders.

The principle of the test is to fill the bucket with a fluid binder at a temperature of 25°C and place the bucket under a needle weighing 100 g, then allow the needle to sink under its own weight for 5 seconds.

The result of this test, which is the consistency value, is read off the dial and the average of the three results obtained is taken to the nearest unit.

3.4.Formulation and manufacture of control and modified bituminous concretes

3.4.1. Formulation

It is carried out in accordance with standard NF P 98-150-1 to obtain the fractions of the different granular classes.

3.4.2. Manufacture

It is carried out in accordance with the requirements of standard NF EN 13 108 - 1.

3.4.3. Characterisation

The various bituminous concretes (trial and modified) obtained were characterised using Duriez and Marshall tests (carried out in the first quarter, from March 2022 to June 2022), followed by PCG and penetrability tests (in the second quarter, from September 2022 to November 2022) and, finally, rutting tests (in the third quarter).

(a) Duriez test (NF P 98 251-1)

The aim of this test is to determine the simple compressive strength, the imbibition rate and the degradation coefficient of a bituminous concrete.

The principle of the test is to produce nine (09) test specimens by double-acting static compaction at constant speed for five (05) minutes. Three (03) specimens are used to measure the density by hydrostatic weighing in order to calculate the percentage of voids. The others are crushed after seven (07) days of storage at 18°C in air for the first series of three (03) and in water for the remaining three (03).

The ***essential*** asphalt concrete ***parameters*** to be determined are the simple compressive strength (R), the imbibition rate (I) and the degradation coefficient (d).

The simple compressive strength R is calculated using formula 1.

$R = \frac{F}{S}$ **Formula 1**

Where:

F is the force required to demolish the test piece ;

S is the surface area of the test piece.

The imbibition rate I is calculated by formula 2.

$I = \frac{M_0 - M}{M_0} * 100$ **Formula 2**

Where:

M_0 is the mass of the test piece after 7 days of soaking;

$M$is the mass of the test piece just after demoulding.

The degradation coefficient, d, is calculated using formula 3.

$d = \frac{r}{R}$ **Formula 3**

Where:

r is the resistance of bituminous concrete to simple mechanical compression, after seven years.

(07) days in water at 18°C ;

R is the resistance of bituminous concrete to simple mechanical compression, after seven (07) days of storage in air at 18°C.

(b) Marshall test (NF P 98 251-2)

The purpose of the test is to determine the stability, Marshall creep and compactness of bituminous concrete..

The principle consists of applying fifty (50) blows to each side of the test specimen over a period of five (05) minutes using a 4.5 kg tamper dropped from a height of 40 cm.

Of the seven (07) test specimens made, four (04) were immersed in water at a temperature of 60°C for thirty (30) minutes. They were then subjected to simple compression at a speed of 50 mm/min. The other three (03) are used to measure density by hydrostatic weighing to calculate compactness.

The parameters of interest are stability (formula 4), Marshall creep and compactness (equation 5).

$S = 18.7 * La + 26$

Formula 4

This is the reading on the ring.

$C = 100 * \left(\frac{MVA}{MVR}\right)$ **Formula 5**

MVA **is the apparent density of bituminous concrete ;**

MVR **is the actual density of the bituminous concrete.**

The creep (F) is the arithmetic mean of the settlements of the four (04) specimens.

(c) Gyratory Shear Press Test (NF EN - 12697 - 31)

The purpose of the test is to assess the workability of a hot mix.

The test principle consists of compacting a hot mix in the gyratory shear press by applying a pressure of 600 KPa on a cylindrical specimen inclined by

1.25° and subjected to a speed of 30 gyrations per minute.

The percentage of voids to be assessed in relation to the number of gyrations $\left(N_{g_i}\right)$ esis noted V_i.

(d) Rutting test

The aim is to assess the rutting resistance of hydrocarbon asphalt mixes under conditions comparable to those encountered on the road.

The principle of the test is to measure the depth of the rut in % of the slab thickness, as a function of the number of forward and return cycles.

At a frequency of 1Hz $\pm$ 0.1 Hz, a rolling load of 5000 N $\pm$50 N is applied to 60°C $\pm$ 2°C.

Rut depths are measured at 1 000, 3 000, 10 000 et 30 000 cycles.

Values are given to 10^{-2} approximation.

The context and rationale for choosing your Method

This method was chosen for the following reasons:

(a) Improving the properties of bituminous concrete by adding tyre powder and plastic waste powder;
(b) Rational use of non-renewable materials (aggregates);
(c) Cleaning up and protecting the environment by recycling waste plastic bottles and tyres;
(d) Cost-effective road construction.

An assessment of your choice of method, and a statement of its limitations:

This methodology makes it possible to:

(a) Improving the mechanical properties of asphalt concrete ;
(b) Clean up the environment by significantly reducing plastic bottle waste and tyre waste;
(c) Planning more sustainable roads.

However, the following points were not addressed:

a. The life cycle analysis has not been assessed;
b. Rigidity has not been assessed;
c. The chemical formula has not been determined;
d. Chemical characterisation was not addressed;
e. Young's modulus.

4. Résultats

4.1.Aggregate characteristics

Parameters	0/4	4/6	6/10
Water content W (in %)	3.57	2.51	1.81
CA Flattening Ratio (%)	/	14.8	15.2
Real density (g/cm3)	2.763	2.818	2.830
Los Angeles, LA (in %)	/	29	30
Micro Deval Humide, MDC (in %)	/	17	19
Sand equivalent, ES (in %)	80	/	/
Cleanliness rate (%)	/	94	95

4.2.Results of the MArshall trial

Parameters	Samples			
	1	**2**	**3**	**4**
Stability (in Kg)	997	997	1 030	1 040
Creep (in mm)	2.6	2.7	3.5	3.3

4.3.Results of the Duriez trial

Parameters	Samples			
	1	**2**	**3**	**4**
Compressive strength (in Mpa)	7.9	8.3	9.1	10.4
Average compactness (%)	91	92	93	93

4.4.Results of the Gyratory Shear Press test

Number of revolutions	10	50	80	100
Asphalt concrete with 10% partial bitumen substitution				
Empty spaces (%)	15,1	7,9	5,8	4,2
Asphalt concrete with 20% partial bitumen substitution				
Empty spaces (%)	14,7	7,1	5,1	4
Asphalt concrete with 30% partial bitumen substitution				
Empty spaces (%)	14,2	8,4	5	4
Asphalt concrete with 40% partial bitumen substitution				
Empty spaces (%)	14	7,2	4,6	3,4

4.5.Results of the rutting test)

Asphalt concrete with 10% partial bitumen substitution					
Average value	**1,85**	**3,15**	**5,85**	**6,95**	30 000 cycles
Asphalt concrete with 20% partial bitumen substitution					
Average value	**1,7**	**3,1**	**5,6**	**6,6**	30 000 cycles
Asphalt concrete with 30% partial bitumen substitution					
Average value	**1,6**	**2,58**	**5,15**	**5,91**	30 000 cycles
Asphalt concrete with 40% partial bitumen substitution					
Average value	**1,6**	**1,65**	**4,9**	**5,9**	30 000 cycles

5. Discussion

1. At 100 gyrations, the four (04) modified bituminous concretes have a compactness of practically 96%. This complies with standard NF P 98-252. These compactnesses (2015), which is 94%. As a result, the four (04) modified bituminous concretes have good workability.
2. Only the 30% and 40% modified bituminous concretes each have a strength greater than or equal to that of the reference material (9.1 MPa). This represents an extreme increase of 12.5%, which is similar to the improvement achieved by Ratsifaherndary et al (2022) by adding 15% plastics to the asphalt concrete.
3. The stability of the four (04) modified bituminous concretes complies with standard NF P 98-251-2 and is better than that of the control composite. However, REXOVIA has a stability of 1420 kg, which means it outperforms the neo-composites.
4. The rut depth rates of the four (04) neo-bituminous concretes are lower than that of the reference bituminous concrete (7.02%). The anti-rutting asphalt concrete RUFLEX M, at 5.6%, is fairly close to the 30% and 40% rut depths of modified asphalt concrete.

6. Conclusion

Incorporating waste plastic bottles and tyres into bituminous concrete improves the properties of the material while protecting the environment, since non-biodegradable waste is recycled. It also reduces the quantity of bitumen used, which is the component that makes obtaining bituminous concrete more expensive. However, the lack of information relating to fatigue and stiffness tests means that we are unable to assess its lifespan and the possibility of reducing the thickness of the pavement for rational use of the non-renewable material (gravel and quarry sand). It should also be noted that it is necessary to carry out a chemical analysis and a test bed for a better assessment of the improvement in characteristics on a real scale.

7. Références

1. J.C. Deffreux, K. Charif, P. Claudy; (2009), Enrobés hydrocarbonés et enduits superficiels pour chaussées aéronautiques, France, 78 p.
2. J.P. Planche, S. Cordel, M. Chaverot, D. Perraton; (2005), Polymères et Bitumes Modifiés par des polymères, Montréal, 133 p.
3. Long, N.-T., Environmental Geothechnics,Proceedings of 2nd International Congress on Environmental Geotechnic. 1996, 809-814.
4. Mathieu, Y.; Marchal, J., Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées 1989, 162.
5. plastic-wikipedia
6. Newell, R. Rubber in the environmental age - progress in recycling Technology, R., Ed.; Rapra Technology, U.K: 1996, pp 7.1-7.7.
7. Cedar report on plastic bottle recycling
8. Rapport des politiques Québécoises avec la société RECY-QUEBEC au sujet de la valorisation des déchets de pneumatiques, 2008.
9. Joint Report by Bitume Québec and EUROVIA on Asphalt mixes: formulation, manufacture, placement - Montréal 2006 (For BBPH, EME, ECF, BBTM, BBUM).
10. Pr. MBESSA Michel, Ing. Chercheur MBENKOUE MBIDA Isidore Parfait, FEGEU Pancrace, Rapport d'expertise pour améliorer la qualité des pavés écologiques produits par la Fondation Cœur d' Afrique de Albert Roger MILLA.
11. Report on the development of household plastic packaging recycling in Algeria (July 2012).
12. Houénou KAWANOU, D. Adolphe TCHEHOUALI, Emile A. SANYA* and Antoine K. VIANOU (2014). "Effects of incorporating plastic bag waste melt on bitumen consistency.
13. Catalogue of pavement surface degradations from the Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, March 1998 ;
14. Kapil S., and Punjabi K.K. Improving the Performance of Bituminous Concrete Mix by Waste Plastic. Int. Journal of Engineering Research and Applications. 2013 ; 3(5): 863-868.
15. Ratsifaherandahy Flemond Dolin, Mamiharijaona Ramaroson, Rajaonah Rabevala, Ramorason Jean De Dieu, and Randriamalala Tiana Richard. Improving the mechanical performance of semi-grained asphalt concrete with pure bitumen and waste plastics. American Journal of Innovative Research and Applied Sciences. 2022; 15(4): 123-130.
16. Mohamed Brahim HACHANI, Djihad DAAS and Nabil KEBAILI. Experimental study of a bituminous concrete modified with rubber powder: Influence of the modification mode. Revue ElWahat pour les Recherches et les Etudes Vol.7n°2 (2014) : 33 - 43
17. & Hinislioglu S. & Agar E., 'Use of waste high density polyethylene as bitumen modifier in asphalt concrete mix', Materials Letters, 2004: 267-71.
18. Saoula S. et al, 'Improvement of the stability of modified bituminous binders within EVA', International Journal of Applied Engineering Research, 2008: 575-584.
19. Julienne Berthe Dongmo-Engeland Ing de l'ENTPE, PhD thesis La Caractérisation des Déformations d'Orniérage des Chaussées Bitumineux. Presented at the Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 18/03/2005 266 p.
20. Tatiana Blade ENSCSP engineer, PhD thesis on the synthesis, characterisation and rubber evaluation of new hybrid reinforcing fillers, (31 October 2011) at the University of Bordeaux 1, 174P.
21. Mobilise Your City, Report, Supporting Cameroon and its cities in planning low-carbon urban mobility.

.

8. Annexes

Annexe 8.1. Paramètres PCG

SICAL

- Batiment & Travaux Publics - Commerce Général
- Laboratoire Géotechnique - Evénementiel
- Prestations de services - Import/Export

SIEGE SOCIAL YAOUNDE

Laboratoire Géotechnique de catégorie "B" suivant le PV de ST de la commission d'agrément MINTP du [illegible]
NIU [illegible] ; N° RCCM: RC/YAO/[illegible] – BP [illegible] YAOUNDE
Email : [illegible] – Compte Bancaire N°[illegible], Afriland First Bank
Site web : sical-btp.com ; Tél : 237 690 349 212 / 673 691 670

PV _N°19-09-22

CLIENT: **MBENKOUE MBIDA** Isidore Parfait

OBJET: ETUDE DE FORMULATION D'UN BETON BITUMINEUX EXPERIMENTAL

Procès-verbal essai PCG

Nombre de girations	10	50	80	100	Spécifications
Béton bitumineux à 0% de substitution partielle de bitume (BB_0)					
Compacités (%)	84,3	91,6	94	95,6	
Vides (%)	15,7	8,4	6	4,4	4 – 9
Béton bitumineux à 10% de substitution partielle de bitume (BB_{10})					
Compacités (%)	84,9	92,1	94,2	95,8	
Vides (%)	15,1	7,9	5,8	4,2	4 – 9
Béton bitumineux à 20% de substitution partielle de bitume (BB_{20})					
Compacités (%)	85,3	92,9	94,9	96	
Vides (%)	14,7	7,1	5,1	4	4 – 9
Béton bitumineux à 30% de substitution partielle de bitume (BB_{30})					
Compacités (%)	85,8	91,6	95	96	
Vides (%)	14,2	8,4	5	4	4 – 9
Béton bitumineux à 40% de substitution partielle de bitume (BB_{40})					
Compacités (%)	86	92,8	95,4	96,6	
Vides (%)	14	7,2	4,6	3,4	4 – 9
Spécifications	A 10 girations $V_{min,Ng1} = 10$; $V_{Ng1} = 13,8$ $V_{min,Ng1} \leq V_{Ng1}$; %vides $\geq$ 15%		A 80 girations $V_{min,Ng2} = 6$; $V_{Ng2} = 8,5$; $V_{max,Ng2} = 10$ $V_{min,Ng2} \leq V_{Ng2} \leq V_{max,Ng2}$ 4 $\leq$ % vides $\leq$ 7		

10 SEPT 2022

10 SEPT 2022

Annexe 8.2. Paramètres Duriez

SICAL

ESSAI DURIEZ

Détermination de la résistance à la compression axialle et de la résistance de désenrobage par l'eau. (NF P 98 - 251 - 1)

Laboratoire Géotechnique de catégorie "B" suivant le PV du ST de la commission d'agrément MINTP du 18/03/2022
NIU :M102118447357 / No RCCM: RC/YAO/2021/B/124 – BP.7941 YAOUNDE
Email: [illegible]@gmail.com – Compte Bancaire N°[illegible], Afriland First Bank
Site web : sical-btp.com ; Tél : 237 [illegible]

Provenance :	Date de l'essai :
Nature : Béton bitumineux 0/10	Echantillon : ECHANTILLON 1

N° Eprouvette		1	2	3	4	5	6
Hauteurs de l'éprouvette (cm)	1	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2
	2	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2
	3	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2
	4	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2
	5	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2
	6	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2
Hauteur moyenne H (cm)		9,2	9,20	9,2	9,2	9,2	9,2
Diamètre de l'éprouvette (cm)	1	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
	2	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
	3	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
Diamètre moyen D en (cm)		8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
Section éprouv : $(3.14D^2)/4$		50,2	50,2	50,2	50,2	50,2	50,2
Volume: $HS=(3.14HD^2)/4=B$		462,2	462,3	462,2	462,2	462,2	462,2
Poids de l'éprouvette avant immersion (Kg) = A		995,6	985,3	991,5	987,7	995,4	994,2
Poids de l'éprouvette après immersion (Kg)		1019,7	1004,6	-	-	-	-
Densité apparente (T/m^3): A/B		2,154	2,132	2,145	2,137	2,154	2,151
Conservation		eau	eau	air	air	DH	DH
Charge (Kg) C		2200	2400	2720	2800		
Résistance (bars) C/S		43,8	47,8	54,1	55,7		

Résultats des essais		
	Rc(eau) (bars)	45,8
	Rc(air) (bars)	54,9
	Rc'/Rc	0,83
	Taux d'absorption d'eau (%)	2,19

LABORATOIRE GEOTECHNIQUE SICAL
La Direction
B.P. 7941 YAOUNDE

NEMENACK SIEWE Jean-Calvin
Président Directeur Général

SICAL

DETERMINATION DE LA MASSE VOLUMIQUE APPARENTE DES EPROUVETTES BITUMINEUX PAR MESURES HYDROSTATIQUES

Méthode C : Eprouvette «paraffinées» NF EN 12697 - 6

Eprouvettes DURIEZ

[illegible]

PROJET :			
Date de l'essai :			
Nature : Béton bitumineux 0/10			
Echantillon : ECHANTILLON 1			
N° éprouvette	1	2	3
Poids de l'éprouvette pesée dans l'air (g)	995,4	994,2	-
Poids de l'éprouvette pesée avec paraffine (g)	1025,6	1028,6	-
Poids de la paraffine (g)	30,2	34,4	-
Poids de l'éprouvette paraffinée pesée dans l'eau (g)	526,3	521,3	-
Poids de l'eau déplacé (g)	499,3	507,3	-
Température de l'eau (°C)	25,0	25,0	-
Densité de l'eau (g/cm³)	0,997	0,997	-
Volume de l'éprouvette paraffinée (cm³)	500,802	508,826	-
Volume paraffine (cm³)	33,933	38,652	-
Volume éprouvette (cm³)	466,870	470,175	-
Densité hydrostatique (g/cm³)	2,132	2,115	-
Densité hydrostatique moyenne (g/cm³)	2,123		

LABORATOIRE GEOTECHNIQUE SICAL SARL

MIEMENACK SIEWE Jean-Calvin
Président Directeur Général

SICAL	**ESSAI DURIEZ** **Détermination de la résistance à la compression axialle et de la résistance de désenrobage par l'eau. (NF P 98 - 251 - 1)**

Laboratoire Géotechnique de catégorie "B" suivant le PV du ST de la commission d'agrément MINTP du 18/03/2022
NIU :M102118447457 / No RCCM: RC/YAO/2021/B/124 – BP.7841 YAOUNDE
Email : miemenacksiewe@gmail.com – Compte Bancaire N°06939711001-49, Afriland First Bank
Site web : sical-btp.com ; Tél : 237 690 349 202 / 673 601 670

Provenance :	Date de l'essai :
Nature : Béton bitumineux 0/10	Echantillon : ECHANTILLON 2

N° Eprouvette		1	2	3	4	5	6
Hauteurs de l'éprouvette (cm)	1	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3
	2	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3
	3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3
	4	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3
	5	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3
	6	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3
Hauteur moyenne H (cm)		9,3	9,30	9,3	9,3	9,3	9,3
Diamètre de l'éprouvette (cm)	1	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
	2	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
	3	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
Diamètre moyen D en (cm)		8,0	9,0	8,0	8,0	8,0	8,0
Section éprouv = $(3.14D^2)/4$		50,2	50,2	50,2	50,2	50,2	50,2
Volume: $HS=(3.14HD^2)/4=B$		467,2	467,2	467,2	467,2	467,2	467,2
Poids de l'éprouvette avant immersion (Kg) = A		991,6	981,3	987,5	982,7	991,4	992,2
Poids de l'éprouvette après immersion (Kg)		1019,7	1004,6				
Densité apparente (T/m^3) A/B		2,122	2,100	2,113	2,103	2,122	2,124
Conservation		eau	eau	air	air	DH	DH
Charge (Kg) C		2250	2450	2770	2850		
Résistance (bars) C/S		44,8	48,8	55,1	56,7		
Résultats des essais		r'(eau) (bars)		46,8			
		Rc(air) (bars)		55,9			
		Rc'/Rc		0,84			
		Taux d'absorption d'eau (%)		2,60			

MIEMENACK SIEWE Jean-Calvin
Président Directeur Général

LABORATOIRE GÉOTECHNIQUE SICAL
La Direction
B.P. 7841 YAOUNDE

DETERMINATION DE LA MASSE VOLUMIQUE APPARENTE DES EPROUVETTES BITUMINEUX PAR MESURES HYDROSTATIQUES

Méthode C : Eprouvette sparaffinées NF EN 12697 - 6

Eprouvettes DURIEZ

[illegible]

PROJET :			
Date de l'essai :			
Nature : Béton bitumineux 0/10			
Echantillon : ECHANTILLON 2			
N° éprouvette	1	2	3
Poids de l'éprouvette pesée dans l'air (g)	991,4	992,2	-
Poids de l'éprouvette pesée avec paraffine (g)	1022,6	1026,6	-
Poids de la paraffine (g)	31,2	34,4	-
Poids de l'éprouvette paraffinée pesée dans l'eau (g)	520,0	515,9	-
Poids de l'eau déplacé (g)	502,6	510,7	-
Température de l'eau (°C)	25,0	25,0	-
Densité de l'eau (g/cm³)	0,997	0,997	-
Volume de l'éprouvette paraffinée (cm³)	504,112	512,237	-
Volume paraffine (cm³)	35,056	38,652	-
Volume éprouvette (cm³)	469,056	473,585	-
Densité hydrostatique (g/cm³)	2,114	2,095	-
Densité hydrostatique moyenne (g/cm³)	2,104		

LABORATOIRE GEOTECHNIQUE SICAL

NACK SIEWE Jean-Calvin
Président Directeur Général

SICAL

ESSAI DURIEZ

Détermination de la résistance à la compression axialle et de la résistance de désenrobage par l'eau. (NF P 98 - 251 - 1)

Laboratoire Géotechnique de catégorie "B" suivant le PV du ST de la commission d'agrément MINTP du 18/03/2022
NIU [illegible] / No RCCM: RC/YAO/2021/B/184 – BP.7841 YAOUNDE
Email : [illegible]@gmail.com – Compte Bancaire N°[illegible], Afriland First Bank
Site web : sical-btp.com ; Tel : [illegible]

Provenance :	Date de l'essai :
Nature : Béton bitumineux 0/10	Echantillon : 3

N° Eprouvette		2	3	4	5	8	9
Hauteurs de l'éprouvette (cm)	1	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3
	2	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3
	3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3
	4	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3
	5	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3
	6	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3
Hauteur moyenne H (cm)		9,3	9,30	9,3	9,3	9,3	9,3
Diamètre de l'éprouvette (cm)	1	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
	2	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
	3	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
Diamètre moyen D en (cm)		8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	9,0
Section éprouv : $(3.14D^2)/4$		50,2	50,2	50,2	50,2	50,2	50,2
Volume HS=$(3.14HD^2)/4$=B		467,2	467,2	467,2	467,2	467,2	467,2
Poids de l'éprouvette avant immersion (Kg) = A		995,0	997,4	996,5	994,0	993,2	993,0
Poids de l'éprouvette après immersion (Kg)		1011,9	1015,3	-	-	-	-
Densité apparente (T/m^3): A/B		2,130	2,135	2,133	2,127	2,119	2,125
Conservation		eau	eau	air	air	DH	DH
Charge (Kg) C		2450	2550	2950	3000		
Résistance (bars) C/S		48,8	50,8	58,7	59,7		

Résultats des essais	Rc'(eau) (bars)	49,8
	Rc(air) (bars)	59,2
	Rc'/Rc	0,84
	Taux d'absorption d'eau (%)	1,75

MIEMENACK SIEWE Jean-Claude
Président Directeur Général

LABORATOIRE GEOTECHNIQUE SICAL – La Direction – B.P. 7841 YAOUNDE

SICAL	*DETERMINATION DE LA MASSE VOLUMIQUE APPARENTE DES EPROUVETTES BITUMINEUX PAR MESURES HYDROSTATIQUES*

Méthode C : Eprouvette «paraffinée» NF EN 12697 - 6

Eprouvettes DURIEZ

Laboratoire Géotechnique de catégorie "B" suivant le PV du ST de la commission d'agrément MINTP du [illegible]
NIU : [illegible] / No RCCM: [illegible] – BP.7841 YAOUNDE
Email : [illegible]@gmail.com – Compte Bancaire N°[illegible], Afriland First Bank
Site web : [illegible] ; Tél : [illegible]

PROJET :

Date de l'essai :			
Nature : Béton bitumineux 0/10			
Echantillon : 3			
N° éprouvette	1	2	3
Poids de l'éprouvette pesée dans l'air (g)	990,2	993,0	-
Poids de l'éprouvette pesée avec paraffine (g)	1030,1	1035,4	-
Poids de la paraffine (g)	39,9	42,4	-
Poids de l'éprouvette paraffinée pesée dans l'eau (g)	519,6	525,6	-
Poids de l'eau déplacé (g)	510,5	509,8	-
Température de l'eau (°C)	25,0	25,0	-
Densité de l'eau (g/cm³)	0,997	0,997	-
Volume de l'éprouvette paraffinée (cm³)	512,036	511,334	-
Volume paraffine (cm³)	44,831	47,640	-
Volume éprouvette (cm³)	467,205	463,694	-
Densité hydrostatique (g/cm³)	2,119	2,142	-
Densité hydrostatique moyenne (g/cm³)		2,130	

GEOTECHNIQUE SICAL SARL
YAOUNDE

MIEMENACK SIEWE Jean-Calvin
Président Directeur Général

SICAL	ESSAI DURIEZ Détermination de la résistance à la compression axialle et de la résistance de désenrobage par l'eau. (NF P 98 - 251 - 1)

Laboratoire Géotechnique de catégorie "B" suivant le PV du ST de la commission d'agrément MINTP du 18/03/2022
NIU :M012100344TA9 / No RCCM: RC/YAO/2021/B/124 – BP.7941 YAOUNDE
Email : [illegible]@gmail.com – Compte Bancaire N°[illegible], Afriland First Bank
Site web : [illegible] ; Tel : 237 699 349 212 / 673 001 670

Provenance :	Date de l'essai :
Nature : Béton bitumineux 0/10	Echantillon : 4

N° Eprouvette		1	2	3	4	5	6
Hauteurs de l'éprouvette (cm)	1	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3
	2	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3
	3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3
	4	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3
	5	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3
	6	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3
Hauteur moyenne H (cm)		9,3	9,30	9,3	9,3	9,3	9,3
Diamètre de l'éprouvette (cm)	1	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
	2	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
	3	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
Diamètre moyen D cm (cm)		8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
Section éprouv : $(3.14D^2)/4$		50,2	50,2	50,2	50,3	50,2	50,2
Volume HS=$(3.14HD^2)/4$=B		467,2	467,2	467,2	467,2	467,2	467,2
Poids de l'éprouvette avant immersion (Kg) = A		983,8	994,9	989,3	1001,2	996,6	993,8
Poids de l'éprouvette après immersion (Kg)		998,8	1009,3	-	-	-	-
Densité apparente (T/m³): A/B		2,106	2,129	2,117	2,143	2,133	2,127
Conservation		eau	eau	air	air	DH	DH
Charge (Kg) C		2545	2620	3010	3100		
Résistance (bars) C/S		50,7	52,1	59,9	61,7		
Résultats des essais	Re'(eau) (bars)	51,4					
	Re(air) (bars)	60,8					
	Re'/Re	0,85					
	Taux d'absorption d'eau (%)	1,49					

MIEMENACK SIEWE Jean-Calvin
Président Directeur Général

LABORATOIRE GEOTECHNIQUE SICAL
La Direction
BP 7941 YAOUNDE

SICAL	DETERMINATION DE LA MASSE VOLUMIQUE APPARENTE DES EPROUVETTES BITUMINEUX PAR MESURES HYDROSTATIQUES

Méthode C : Eprouvette «paraffinées» NF EN 12697 - 6

Eprouvettes DURIEZ

Laboratoire Géotechnique de catégorie "B" suivant le PV du ST de la commission d'agrément MINTP du 18/03/2022
NIU : [illegible] / No RCCM : [illegible] – BP.7891 YAOUNDE
Email : [illegible]@gmail.com – Compte Bancaire [illegible], Afriland First Bank
Site web : sical-btp.com ; Tel : [illegible]

PROJET :			
Date de l'essai :			
Nature : Béton bitumineux 0/10			
Echantillon : 4			
N° éprouvette	1	2	3
Poids de l'éprouvette pesée dans l'air (g)	996,6	993,8	-
Poids de l'éprouvette pesée avec paraffine (g)	1011,2	1020,4	-
Poids de la paraffine (g)	14,6	26,6	-
Poids de l'éprouvette paraffinée pesée dans l'eau (g)	523,3	535,4	-
Poids de l'eau déplacé (g)	488,0	485,0	-
Température de l'eau (°C)	25,0	25,0	-
Densité de l'eau (g/cm³)	0,997	0,997	-
Volume de l'éprouvette paraffinée (cm³)	489,468	486,459	-
Volume paraffine (cm³)	16,404	29,838	-
Volume éprouvette (cm³)	473,064	456,572	-
Densité hydrostatique (g/cm³)	2,107	2,177	-
Densité hydrostatique moyenne (g/cm³)		2,142	

LABORATOIRE GEOTECHNIQUE SICAL
La Direction

MIEMENACK SIEWE Jean-Calvin
Président Directeur Général

Annexe 8.3. Paramètres Marshall

SICAL

ESSAI MARSHALL (NF P 98 - 251-2)

: de catégorie "B" suivant le PV du ST de la commission d'agrément MINTP du 15/03/2022

NIU : M012018007367 / No RCCM : RC/YAO/2021/B/121 – BP 7841 YAOUNDE

Email : ...@gmail.com – Compte Bancaire N°...-48, Afriland First Bank

Site web : sical-btp.com ; Tél : 237 690 349 202 / 673 ...

Provenance :	**Date de l'essai :**
Nature : Béton bitumineux 0/10	**Echantillon:** ECHANTILLON 1

		1	2	3	4	5	6
Poids du Matériau utilisé (g)		1200,0	1200,0	1200,0	1200,0	1200,0	1200,0
Pourcentage du liant (%)		-	-	-	-	-	-
Hauteur de l'éprouvette (cm)	H1	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
	H2	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
	H3	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
	H4	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
	H5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
	H6	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
Hauteur moy. H (cm)		**6,5**	**6,5**	**6,5**	**6,5**	**6,5**	**6,5**
Diamètre de l'éprouvette (cm)	D1	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2
	D2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2
	D3	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2
Diamètre moy.D (cm)		**10,2**	**10,2**	**10,2**	**10,2**	**10,2**	**10,2**
Volume (cm^3): HS = H.(π.D^2)/ 4 =B		530,9	530,9	530,9	530,9	530,9	530,9
Poids de l'éprouvette (Kg) : A		1 193,8	1 198,2	1 191,7	1198,3	1 193,4	1197,2
Densité apparente : (en T/m^3) D.A. = A/B		2,249	2,257	2,245	2,257	2,248	2,255
Lect. à l'anneau (Kg)		920	967	935	980	970	935
Coef. de correction		1,04	1,09	1,04	1,04	1,04	1,04
Stabilité à 60°c (Kg)		957	1 054	972	1019,2	1008,8	972
Moyenne (Kg)		997					
Déformation en 1/10mm		25	25	30	30	25	25
Moyenne (1/10mm)		26					

MIEMENACK SIEWE Jean-Calvin
Président Directeur Général

LABORATOIRE GÉOTECHNIQUE SICAL SARL
La Direction
B.P. 7841 YAOUNDE

SICAL

ESSAI MARSHALL (NF P 98 - 251-2)

NIU: [illegible] / N° RCCM: RC/YAO/2021/B/124 – BP 7841 YAOUNDE
Site web : sical-btp.com ; Tél : [illegible]

Provenance :	Date de l'essai :
Nature : Béton bitumineux 0/10	**Echantillon:** ECHANTILLON 2

		1	2	3	4	5	6
Poids du Matériau utilisé (g)		1200,0	1200,0	1200,0	1200,0	1200,0	1200,0
Pourcentage du liant (%)		-	-	-	-	-	-
Hauteur de l'éprouvette (cm)	H1	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
	H2	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
	H3	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
	H4	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
	H5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
	H6	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
Hauteur moy. H (cm)		**6,5**	**6,5**	**6,5**	**6,5**	**6,5**	**6,5**
Diamètre de l'éprouvette (cm)	D1	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2
	D2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2
	D3	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2
Diamètre moy. D (cm)		**10,2**	**10,2**	**10,2**	**10,2**	**10,2**	**10,2**
Volume (cm^3): HS = H.(π.D^2)/ 4 = B		530,9	530,9	530,9	530,9	530,9	530,9
Poids de l'éprouvette (Kg) : A		1 190,2	1 189,8	1 191,7	1198,3	1 194,3	1198,2
Densité apparente : (en T/m^3) D.A. = A/B		2,242	2,241	2,245	2,257	2,250	2,257
Lect. à l'anneau (Kg)		920	967	935	980	970	935
Coef. de correction		1,04	1,09	1,04	1,04	1,04	1,04
Stabilité à 60°c (Kg)		957	1 054	972	1019,2	1008,8	972
Moyenne (Kg)		997					
Deformation en 1/10mm		25	25	30	30	28	28
Moyenne (1/10mm)		27					

MIEMENACK SIEWE Jean-Calvin
Président Directeur Général

LABORATOIRE GEOTECHNIQUE SICAL SARL
La Direction
B.P. 7841 YAOUNDE

SICAL

ESSAI MARSHALL (NF P 98 - 251-2)

[illegible]

Provenance :				**Date de l'essai :**			
Nature : Béton bitumineux 0/10				**Echantillon:** ECHANTILLON 3			

		1	2	3	4	5	6
Poids du Matériau utilisé (g)		1200,0	1200,0	1200,0	1200,0	1200,0	1200,0
Pourcentage du liant (%)		-	-	-	-	-	-
Hauteur de l'éprouvette (cm)	H1	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
	H2	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
	H3	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
	H4	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
	H5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
	H6	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
Hauteur moy. H (cm)		**6,5**	**6,5**	**6,5**	**6,5**	**6,5**	**6,5**
Diamètre de l'éprouvette (cm)	D1	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2
	D2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2
	D3	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2
Diamètre moy.D (cm)		**10,2**	**10,2**	**10,2**	**10,2**	**10,2**	**10,2**
Volume (cm^3): HS = H.(π.D^2)/ 4 =B		530,9	530,9	530,9	530,9	530,9	530,9
Poids de l'éprouvette (Kg) : A		1 185,4	1 182,4	1 182,7	1184,6	1 191,5	1186,4
Densité apparente : (en T/m^3) D.A. = A/B		2,233	2,227	2,228	2,231	2,244	2,235
Lect. à l'anneau (Kg)		1 000	990	980	975	995	955
Coef. de correction		1,04	1,09	1,04	1,04	1,04	1,04
Stabilité à 60°c (Kg)		1 040	1 079	1 019	1014	1034,8	993
Moyenne (Kg)		**1 030**					
Deformation en 1/10mm		36	36	35	35	33	35
Moyenne (1/10mm)		**35**					

MIEMENACK SIEWE Jean-Calvin
Président Directeur Général

LABORATOIRE GEOTECHNIQUE SICAL SARL
La Direction
YAOUNDE

ESSAI MARSHALL (NF P 98 - 251-2)

SICAL

Laboratoire Géotechnique de catégorie "B" suivant le PV du ST de la commission d'agrément MINTP du 18/05/2022
[illegible]
Email : [illegible]@gmail.com – Compte Bancaire N°[illegible], Afriland First Bank
Site web : sical-btp.com / Tél : [illegible]

Provenance :	**Date de l'essai :**	
Nature : Béton bitumineux 0/10	**Echantillon :**	ECHANTILLON 4

		1	2	3	4	5	6
Poids du Matériau utilisé (g)		1200,0	1200,0	1200,0	1200,0	1200,0	1200,0
Pourcentage du liant (%)		-	-	-	-	-	-
Hauteur de l'éprouvette (cm)	H1	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6
	H2	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6
	H3	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6
	H4	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6
	H5	6,6	6,6	6,5	6,6	6,6	6,5
	H6	6,6	6,6	6,5	6,6	6,6	6,5
Hauteur moy. H (cm)		**6,6**	**6,6**	**6,6**	**6,6**	**6,6**	**6,6**
Diamètre de l'éprouvette (cm)	D1	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2
	D2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2
	D3	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2
Diamètre moy. D (cm)		**10,2**	**10,2**	**10,2**	**10,2**	**10,2**	**10,2**
Volume (cm^3): HS = $H.(\pi.D^2)/4 = B$		539,0	539,0	539,0	539,0	539,0	539,0
Poids de l'éprouvette (Kg) : A		1 194,4	1 192,2	1 192,7	1189,6	1 195,1	1194,6
Densité apparente (en T/m^3) D.A. = A/B		2,216	2,212	2,213	2,207	2,217	2,216
Lect. à l'anneau (Kg)		1 005	995	1 005	1 000	995	955
Coef. de correction		1,04	1,09	1,04	1,04	1,04	1,04
Stabilité à 60°c (Kg)		1 045	1 085	1 045	1040	1034,8	993
Moyenne (Kg)		**1 040**					
Déformation en 1/10mm		35	30	35	35	30	35
Moyenne (1/10mm)		33					

MIEMENACK SIEWE Jean-Calvin
Président Directeur Général

LABORATOIRE GEOTECHNIQUE SICAL SARL
La Direction
B.P. 7841 YAOUNDÉ

Annexe 8.4. Paramètres Orniérage

SICAL

- Batiment & Travaux Publics
- Laboratoire Géotechnique
- Prestations de services
- Commerce Général
- Evènementiel
- Import/Export

SIEGE SOCIAL YAOUNDE

Laboratoire Géotechnique de catégorie "B" suivant le PV du ST de la commission d'agrément MINTP du 18/01/2022

NIU :M012118447357 / No RCCM: RC/YAO/2021/B/124 – BP.7841 YAOUNDE

Email : micmenucksic@gmail.com – Compte Bancaire N°06939711001-49, Afriland First Bank

Site web : sical-btp.com ; Tél : 237 690 349 212 / 673 601 670

PV_N°20-09-22

CLIENT: **MBENKOUE MBIDA Isidore Parfait**

OBJET: ETUDE DE FORMULATION D'UN BETON BITUMINEUX EXPERIMENTAL

26 DEC 2022

Procès-verbal essai d'ORNIERAGE

Béton bitumineux à 0% de substitution partielle de bitume (BB_0)					
Roue droite					Spécifications
Nombres de cycles	1000	3000	10 000	30 000	Vides (%)
Ornière (%)	1,6	3,0	5,7	6,9	5 – 10
Route gauche					Spécifications
Nombres de cycles	1000	3000	10 000	30 000	Vides (%)
Ornière (%)	2,4	4,5	6,5	7,14	5 – 10
Valeur moyenne	**2,0**	**3,7**	**6,1**	**7,02**	≤ 7,5% à 30 000 cycles
Béton bitumineux à 10% de substitution partielle de bitume (BB_{10})					
Roue droite					Spécifications
Nombres de cycles	1000	3000	10 000	30 000	Vides (%)
Ornière (%)	1,7	2,8	6,0	6,5	5 – 10
Route gauche					Spécifications
Nombres de cycles	1000	3000	10 000	30 000	Vides (%)
Ornière (%)	2	3,5	5,7	7,4	5 – 10
Valeur moyenne	**1,85**	**3,15**	**5,85**	**6,95**	≤ 7,5% à 30 000 cycles
Béton bitumineux à 20% de substitution partielle de bitume (BB_{20})					
Roue droite					Spécifications
Nombres de cycles	1000	3000	10 000	30 000	Vides (%)
Ornière (%)	1,8	3	5,8	6,2	5 – 10
Route gauche					
Nombres de cycles	1000	3000	10 000	30 000	Vides (%)
Ornière (%)	1,6	3,2	5,4	7,0	5 – 10
Valeur moyenne	**1,7**	**3,1**	**5,6**	**6,6**	≤ 7,5% à 30 000 cycles

LABORATOIRE GEOTECHNIQUE SICAL
La Direction
B.P: 7841 YAOUNDE

26 DEC 2022

SICAL

- Batiment & Travaux Publics
- Laboratoire Géotechnique
- Prestations de services
- Commerce Général
- Evénementiel
- Import/Export

SIEGE SOCIAL YAOUNDE

Laboratoire Géotechnique de catégorie "B" suivant le PV du ST de la commission d'agrément MINTP du 18/03/2022
NIU :M012118447357 / No RCCM: RC/YAO/2021/B/124 – BP.7841 YAOUNDE
Email : miemenacksical@gmail.com – Compte Bancaire N°06949711001-49, Afriland First Bank
Site web : sical-btp.com ; Tél : 237 690 349 212 / 673 601 670

Béton bitumineux à 30% de substitution partielle de bitume (BB_{30})					
Roue droite					Spécifications
Nombres de cycles	1000	3000	10 000	30 000	Vides (%)
Ornière (%)	1,8	3	5,2	6,0	5 – 10
Roue gauche					
Nombres de cycles	1000	3000	10 000	30 000	Vides (%)
Ornière (%)	1,4	2,7	5,1	5,82	5 – 10
Valeur moyenne	**1,6**	**2,58**	**5,15**	**5,91**	≤ 7,5% à 30 000 cycles
Béton bitumineux à 40% de substitution partielle de bitume (BB_{40})					
Roue droite					Spécifications
Nombres de cycles	1000	3000	10 000	30 000	Vides (%)
Ornière (%)	1,9	2,5	4,8	6,0	5 – 10
Roue gauche					
Nombres de cycles	1000	3000	10 000	30 000	Vides (%)
Ornière (%)	1,3	2,8	5,0	5,8	5 – 10
Valeur moyenne	**1,6**	**1,65**	**4,9**	**5,9**	≤ 7,5% à 30 000 cycles

LABORATOIRE GEOTECHNIQUE
La Direction
B.P: 7841

Sciences Géotechniques
Etude des Sols de Fondation

6 DEC 2022

Annexe 8.5.. Recueil de quelques factures

SICAL

- Batiment & Travaux Publics
- Laboratoire Géotechnique
- Prestations de services
- Commerce Général
- Evénementiel
- Import/Export

SIEGE SOCIAL YAOUNDE

Laboratoire Géotechnique de catégorie "B" suivant le PV du ST de la commission d'agrément MINTP du 18/03/2022
NIU M012118447357 / No RCCM: RC/YAO/2021/B/124 – BP.7841 YAOUNDE
Email : miemenacksie@gmail.com – Compte Bancaire N°06939711001-49, Afriland First Bank
Site web : sical-btp.com ; Tél : 237 690 349 212 / 673 601 670

Yaoundé, le

FACTURE _N°09-05-22

CLIENT : **MBENKOUE MBIDA Isidore Parfait**

OBJET : ETUDE DE FORMULATION D'UN BETON BITUMINEUX EXPERIMENTAL

ITEMS	DESIGNATION	Unité	Qté	P.U.	P.T.
1	Essai DURIEZ	u	4	285 000	1 140 000
2	Essai MARSHALL	u	4	400 000	1 600 000
3	Procès-verbal des essais	FFt	1	300 000	300 000
TOTAL HORS TVA (FCFA)			**3 040 000**		

ARRETE LA PRESENTE FACTURE A LA SOMME trois millions quarante mille FCFA hors TVA.

LABORATOIRE GÉOTECHNIQUE
La Direction
B.P: 7841 YAOUNDE
TUTCHAMO

SICAL

- Batiment & Travaux Publics
- Laboratoire Géotechnique
- Prestations de services
- Commerce Général
- Evénementiel
- Import/Export

SIEGE SOCIAL YAOUNDE

Laboratoire Géotechnique de catégorie "B" suivant le PV du ST de la commission d'agrément MINTP du 18/03/2022
NIU :M012118447357 / No RCCM: RC/YAO/2021/B/124 – BP.7841 YAOUNDE
Email : micmcnacksic@gmail.com – Compte Bancaire N°06939711001-49, Afriland First Bank
Site web : sical-btp.com ; Tél : 237 690 349 212 / 673 605 670

Yaoundé, le 10 SEPT 2022

FACTURE _N°19-09-22

CLIENT : **MBENKOUE MBIDA Isidore Parfait**

OBJET : ETUDE DE FORMULATION D'UN BETON BITUMINEUX EXPERIMENTAL

ITEMS	DESIGNATION	Unité	Qté	P.U.	P.T.
1	Essai PCG (Presse à compactage Giragtoire)	u	4	300 000	1 200 000
2	Procès-verbal des essais	FFt	1	100 000	100 000
TOTAL HORS TVA (FCFA)				**1 300 000**	
Remise exceptionnelle(FCFA)				**-100 000**	
NOUVEAU TOTAL HORS TVA(FCFA)				**1 200 000**	

ARRETE LA PRESENTE FACTURE A LA SOMME DE : UN MILLION DEUX CENT MILLE FCFA HORS TVA.

LABORATOIRE GEOTECHNIQUE SICAL
La Direction
B.P: 7841 YAOUNDE

DJOUMBO TOTCHAMO Joële Pascal
Doctorante en Sciences Géotechniques
Consultante / Enseignante en Etude des Sols de Fondation

SICAL

- Batiment & Travaux Publics
- Laboratoire Géotechnique
- Prestations de services
- Commerce Général
- Evénementiel
- Import/Expoft

SIEGE SOCIAL YAOUNDE

Laboratoire Géotechnique de catégorie "B" suivant le PV du ST de la commission d'agrément MINTP du 18/03/2022
NIU :M012118447357 / No RCCM: RC/YAO/2021/B/124 – BP.7841 YAOUNDE
Email : mjemenacksie@gmail.com – Compte Bancaire N°06939711001-49, Afriland First Bank
Site web : sical-btp.com ; Tél : 237 690 349 212 / 673 601 670

Yaoundé, le 26 DEC 2022

FACTURE _N°20-09-22

CLIENT : **MBENKOUE MBIDA Isidore Parfait**

OBJET : ETUDE DE FORMULATION D'UN BETON BITUMINEUX EXPERIMENTAL

ITEMS	DESIGNATION	Unité	Qté	P.U.	P.T.
1	Essai d'orniérage	u	4	500 000	2 000 000
2	Procès-verbal des essais	FFt	1	100 000	100 000
TOTAL HORS TVA (FCFA)				**2 100 000**	
Remise exceptionnelle(FCFA)				**-100 000**	
NOUVEAU TOTAL HORS TVA(FCFA)				**2 000 000**	

ARRETE LA PRESENTE FACTURE A LA SOMME DE : DEUX MILLION FCFA HORS TVA.

LABORATOIRE GEOTECHNIQUE SICAL
La Direction
B.P: 7841 YAOUNDE