



**Élaboration du guide de
dimensionnement des chaussées pour le
Sénégal : Un bel exemple de partenariat
EGIS-IFSTTAR-SENELABO**

**C.Bourdon (Egis)
Y. Brosseaud (Ifsttar)**



Objectifs

- **Analyse critique des méthodes de dimensionnement actuelles et des structures retenues au Sénégal**
- **Établir un référentiel de dimensionnement des chaussées commun prenant en compte les spécificités du contexte routier Sénégalais**



Objectifs

- **Optimiser l'utilisation des matériaux locaux**
- **Faciliter les prises de décision, minimiser les écarts et risques de surcoût**
- **Gain de temps lors des études futures**
- **Amélioration du niveau de qualité des infrastructures**
- **Codification des techniques**



Enjeux

- **Définir les modalités du dimensionnement des chaussées dans le contexte Sénégalais (trafic, sol, matériaux, climat, politique routière, moyens d'essais)**
- **Établir sur cette base un catalogue de structures de chaussées neuves**



Coopération



- **Ageroute**
- **Egis**
- **Ifsttar**
- **Sénélabo**
- **Comité de suivi**



Déroulement

- **Client : AGEROUTE (Agence de travaux et de gestion des routes)**
- **Financement : PERA (programme d'entretien routier annuel)**
- **Manifestation d'intérêt : 6 Avril 2010 puis novembre 2010**
- **AO restreint (4 candidats short-listés) : le 13/1/11 pour le 3/3/11**
- **Notation : 20% financière + 80% technique (dont 60% CV)**
- **Contrat signé en février 2012**
- **OS le 8 mars 2012**

2010:

Manifestation d'intérêt

2011:

Appel d'offre

2012-2015 :

Élaboration du guide



Déroulement

Réunions avec le comité de pilotage



19 Mars 2012 = Mise en place comité de suivi

23 mai 2012 = Rapport d'orientation

5 juillet 2012 = Programme d'essais

6 Février 2013 = catalogue de structure provisoire

3 juin 2015 + 17 décembre 2015 = catalogue de structure final

Déroulement

2012

- Collecte des données, interviews
- Synthèse bibliographique, création bases de données
- Analyse critique des données
- Validation de la méthode de dimensionnement

2013

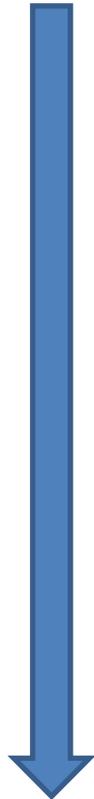
- Essais complémentaires

2014

- Essais complémentaires (avenant)

2015

- Validation des hypothèses de dimensionnement
- Rédaction du guide et du catalogue



Déroulement

Essais complémentaires :

- Détermination de la température équivalente sur la base des sondes mises en place à Dakar et Kaolack
- Etudes d'enrobés (GB, BBSG, EME, BBME, Sand Asphalt)
- Etudes de latérites traitées et banco-coquillage traité
- Essais triaxial sur latérite
- Identification matériaux locaux et sols



Résultat : le catalogue et guide



- Document de 205 pages, illustré, format A4.
- Version définitive datée de 2015
- Format papier avec intercalaires et version informatique PDF indexé.
- 13 rapports indépendants des résultats des essais in situ et en laboratoire



RAPPORT D'IDENTIFICATION DES SILEXITES DE LA CARRIERE DES ICS

Date: 20/06/2014
 Référence AFNOR: 97-01-00-00-00
 Version: 1/0



Rapport de la planche d'essais de déflexions sur l'autoroute AIBO-THEES-MBOUR

Date: 20/06/2014
 Référence AFNOR: 97-01-00-00-00-00
 Version: 1/0



Rapport d'essais

Département Matériaux et Structures

Laboratoire des Matériaux pour les Infrastructures de Transport

Titulaire du rapport: M. B. B. B.

Date de la demande: 20/06/2014

Intitulé de l'ouvrage: 20/06/2014



Rapport d'essais

Département Matériaux et Structures

Laboratoire des Matériaux pour les Infrastructures de Transport

Titulaire du rapport: M. B. B. B.

Date de la demande: 20/06/2014

Intitulé de l'ouvrage: 20/06/2014

Résultats : 18 Tableaux de structures

Structures bitumineuses épaisses :

- BBSG / GB2
- BBSG / GB3
- BBSG / GB2 / GNT1
- BBSG / GB3 / GNT1
- BBSG3 / EME2 ✱

Structures semi-rigides : ✱

- BBSG / GC-T3
- BBSG / SC-T2
- BBSG / GLc2
- BBSG / GLc2 / GL2
- BBSG / GLc1
- BBSG / BQc

Structures souples :

- BBSG / GLa
- Pavés / GNT1
- BBSG / GNT1
- BBSG / GL1
- BBSG / GL2 ou BBSG / GLi

Structures rigides :

- BC5 / BC2
- BC5g / BC2

✱ Nouveau ! Comportement restant à évaluer au Sénégal ...

1. BBSG / GB2

	P11 20 à 50 MPa	P12 50 à 100 MPa	P13a 80 à 120 MPa	P13 120 à 200 MPa	P14 >200 MPa
C1 NE<0.1 10°	8 cm 11 cm 11 cm	8 cm 9 cm 9 cm	8 cm 7 cm 7 cm	8 cm 11 cm 11 cm	8 cm 8 cm 8 cm
C2 NE<0.3 10°	8 cm 13 cm 13 cm	8 cm 10 cm 10 cm	8 cm 9 cm 9 cm	8 cm 14 cm 14 cm	8 cm 11 cm 11 cm
C3 NE<1 10°	8 cm 10 cm 10 cm 10 cm	8 cm 12 cm 13 cm 10 cm	8 cm 11 cm 11 cm 11 cm	8 cm 9 cm 9 cm 9 cm	8 cm 15 cm 15 cm 15 cm
C4 NE<3 10°		8 cm 9 cm 10 cm 10 cm	8 cm 13 cm 13 cm 13 cm	8 cm 11 cm 12 cm 12 cm	8 cm 9 cm 10 cm 10 cm
C5 NE<10 10°				8 cm 10 cm 10 cm 10 cm	8 cm 13 cm 13 cm 13 cm
C6 NE<30 10°				8 cm 11 cm 12 cm 12 cm	8 cm 10 cm 10 cm 11 cm
C7 NE<50 10°				8 cm 12 cm 13 cm 13 cm	8 cm 11 cm 11 cm 12 cm
C8 NE<100 10°				8 cm 14 cm 14 cm 14 cm	8 cm 12 cm 13 cm 13 cm

Résultats : 13 Fiches matériaux

- **Constituants : granulats et liants**
- **Grave latérite crue (GL), litho-stabilisée (GLli), améliorée (GLa) ou traitée au ciment (GLc)**
- **Grave non traitée (GNT)**
- **Grave ciment et sable ciment (GC-T3, SC-T2)**
- **Banco-coquillage traité au ciment (BQc)**
- **Béton de ciment (BC5, BC5g, BC2)**
- **Grave bitume (GB2, GB3)**
- **Enrobés à module élevé (EME2)**
- **Béton bitumineux (BBSG)**
- **Enduit superficiel (ESU)**
- **Sable enrobé**
- **Pavé béton**
- **Couches d'accrochage et d'imprégnation**

- L'utilisation, le domaine d'emploi,
- Les caractéristiques générales, la formulation,
- Les caractéristiques des constituants,
- La fabrication,
- La mise en œuvre,
- Les caractéristiques de dimensionnement,
- Les contrôles.

Résultats : 13 Fiches matériaux

Caractéristiques de dimensionnement de la latérite

Tableau 18 - Caractéristiques de dimensionnement GL, GLI et GLa

Caractéristiques	Notations	GL1	GL2 ou GLI ou GLa
Module de la couche de fondation, MPa	E	2x module de la couche inférieure	2x module de la couche inférieure
Module de la couche de base, MPa		maxi 200 MPa	maxi 400 MPa
		200 MPa	400 MPa
Coefficient de Poisson	ν	0.35	0.35

Plan de contrôle à la mise en œuvre

Tableau 20 - Plan de contrôle mise en œuvre latérite

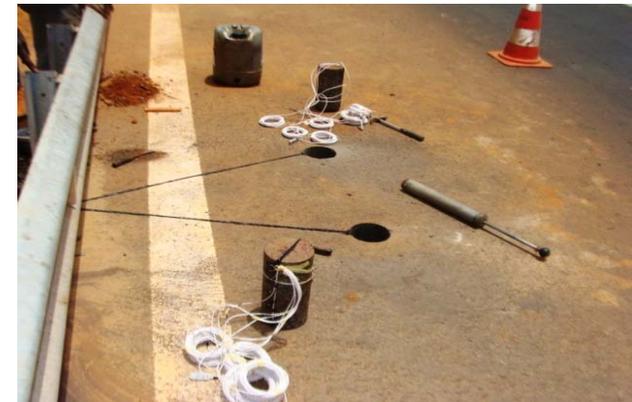
Essai	Norme	Contrôle externe	Spécifications
Densité	Gamma-densimètre NF P 98-241-1 Ou densitomètre à membrane ou cône à sable	20/jour et 1/250 m ² /voie de circulation	Qualité q2
Epaisseur	nivellement NF P 98-115 §7.4 Ou sondages	1/25 m avec 3 points /profil ou 4/sondages / jour	90% des points ±2 cm (base) ou ±3 cm (fondation)
Surfaçage	NF EN 13036-7	En tout point	2 cm en fond et 1 cm en base dans les 2 sens
Nivellement	topographie	1/25 m avec 3 points/profil	± 1 cm pour 95% des points
Profil en travers (pente)	topographie	1/25 m avec 3 points/profil	1 cm/m en base 1.5 cm/m en fond 2 cm/m en accotement pour 95% des points
Largeur	topographie	1/50 m	3 cm par rapport aux bords théoriques de la couche 0 à + 5 cm pour la largeur totale de la couche.
Uni longitudinal (si couche réglage ou assise)	LPC n°46 NF P 98-218-3	1 / voie de circulation	Guide uni CEREMA [157]
Déflexion (éventuelle)	NF P 98-200-1 à 7	1 / voie de circulation	A définir selon le projet

Résultats : ZOOM TEMPERATURE EQUIVALENTE

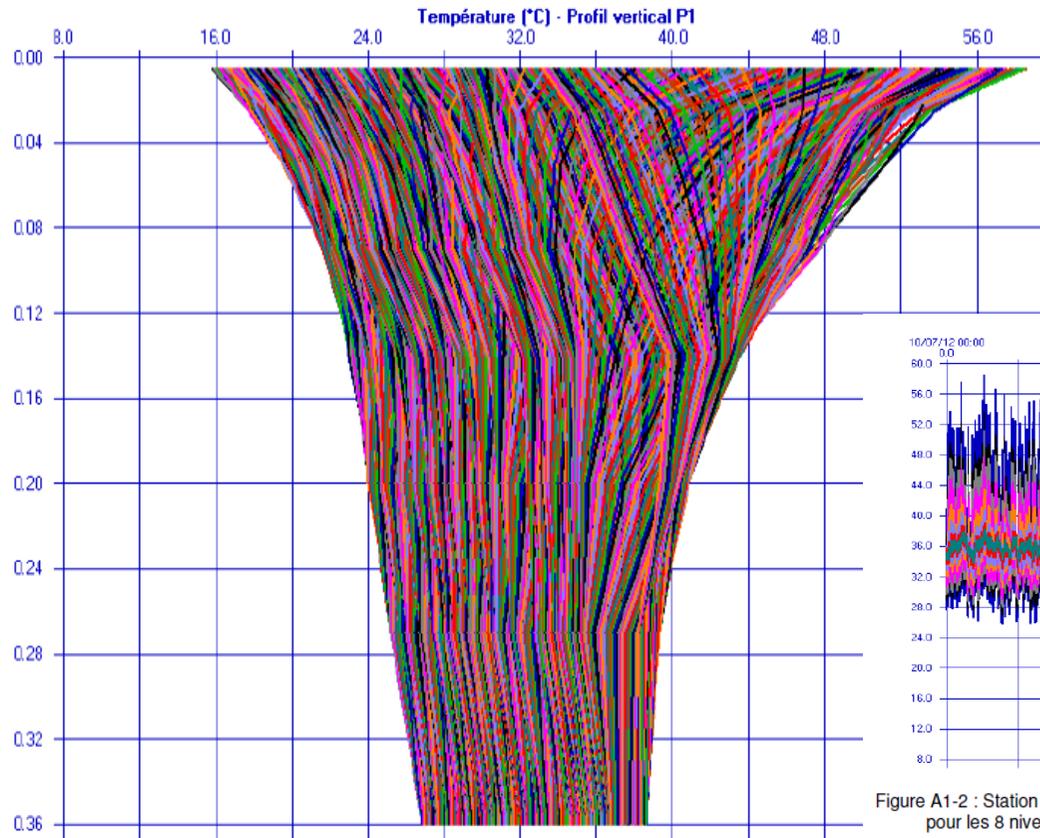
- Prise en compte comportement visco-thermoélastique, voire visco-thermoplastique des enrobés. Calage avec Viscoroute et modèle Huet et Sayegh.
- Instrumentation de 2 profils sur 2 sites, avec une périodicité de 15 minutes :
 - à Dakar (5 cm BBME sur 22 cm de GB4, du 10/07/2012 au 09/07/2013)
 - et Kaolack (5 cm de BBSG sur 14 cm de GB, du 09/09/12 au 08/09/13)
- Calcul avec 2 hypothèses de répartition du trafic horaire, 12 structures (souples et bitumineuses).
- Loi de susceptibilité $E=f(T,F)$ selon base de données de l'Ifsttar, $\epsilon_6 = f(T,F)$ celle de la norme française par défaut.
- Température équivalente = 34°C
- Fréquence des sollicitations = 20 Hz

En raison des fortes températures, la fréquence de réponse des matériaux bitumineux au passage des charges roulantes est supérieure à la fréquence de 10 Hz retenue pour les dimensionnements en France métropolitaine, associée à la température équivalente de 15°C.

- Coefficient de Poisson = 0.45



Résultats : ZOOM TEMPERATURE EQUIVALENTE



Plus de 32 000
enregistrements par
sonde !

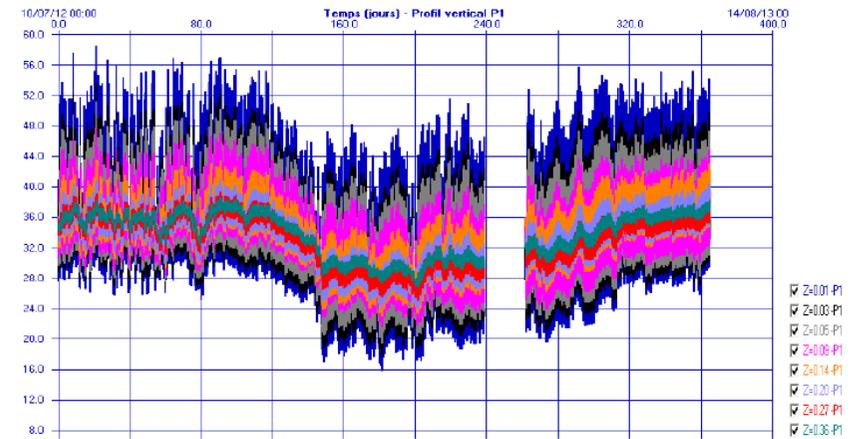


Figure A1-2 : Station de Dakar-autoroute - Courbes d'évolution des températures $T(t)$ en fonction du temps pour les 8 niveaux instrumentés du puits de mesures P1, entre le 10/07/2012 et le 09/07/2013

Figure A1-1 : Station de Dakar-autoroute - Ensemble des profils verticaux de températures $T(z)$ mesurés sur le puits de mesures P1, entre le 10/07/2012 et le 09/07/2013



Caractérisation mécanique des matériaux bitumineux : prise en compte des conditions climatiques Sénégalaises

Résultats : ZOOM TEMPERATURE EQUIVALENTE

Trafic cumulé NE (essieux de référence 130 kN)		0,3x10 ⁶			
Risque de calcul		25%			
Dispersion d'épaisseur GB3 (Sh)		2.5 cm			
Température Teq		15°C	35°C	35°C	35°C
Fréquence F		10Hz	10Hz	20Hz	20Hz
Couche de surface : EB-BBSG2	Coeff. De Poisson	0,35	0,35	0,35	0,45
	Module E (MPa)	7000	1400	1805	1805
	Epaisseur	6 cm			
Couches d'assise : EB-GB3	Coeff. De Poisson	0,35	0,35	0,35	0,45
	Module E(Teq,F) (MPa)	9000	1850	2385	2385
	Déformation admissible (μdef)	142,3	313,8	276,4	276,4
	Epaisseur	11,5 cm	16,5 cm	15,8 cm	14,8 cm

Plate-forme support PF2qs : E= 80 MPa, ν= 0,35, ε_{zadm}= 729,9 μdef

Structure	Modèle Viscoroute ©2.0		Ajustement élastique linéaire Alizé-Lcpc		
	Critère considéré	Valeur	Fréquence F(Hz)	Modules (MPa)	Valeur maxi (μdef)
S1	ε _z	1219	20	Ebbsg2= 1893	1197
S2	ε _z	1516	20	Ebbsg2= 1893	1516
S3	ε _t	398	17	Ebbsg2= 1806 Egb2= 2391	394
	ε _z	1638	10	Ebbsg2= 1541 Egb2= 1804	1576
S4	ε _t	341	23	Ebbsg2= 1971 Egb2= 2777	341
	ε _z	1148	16	Ebbsg2= 1774 Egb2= 2318	1140

Tableau A4-4 : Fréquence F des matériaux bitumineux assurant l'ajustement entre les résultats des modèles Viscoroute ©2.0 et Alizé-Lcpc

Résultats : 7 études d'enrobés

Constituants :

- 0/3 + 3/8 + 8/16 Diack (basalte B III a hors PSV) + bitume pur (35/50, 20/30, 10/20 identification complète) + ajout (dope, chaux, sable calcaire).
- Mise en évidence : pb d'adhésivité passive



- BBSG 0/14 classe 2 (hors duriez yc TL plus forte)
- BBSG 0/14 classe 3 avec 2 % de chaux ou sable mixte (calcaire/basalte) au 35/50
- BBME 0/14 cl3 avec 2% de chaux et 5.4ppc de 20/30
- GB 0/14 classe 2 (hors duriez) au 35/50
- GB 0/14 classe 3 avec 2% de chaux et 4.4ppc de 35/50
- EME 0/14 classe 2 avec 2% de chaux et 10/20 (passer à 5.5ppc de liant pour PCG et fatigue)

Figure 6 - courbe maîtresse du module de la GB 0/14 à 15°C

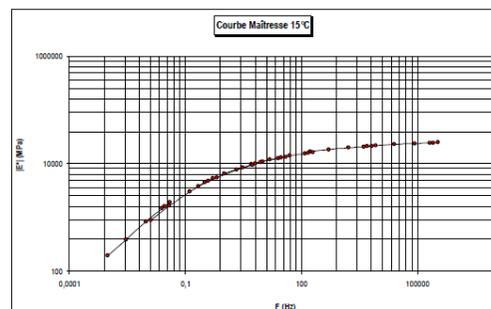
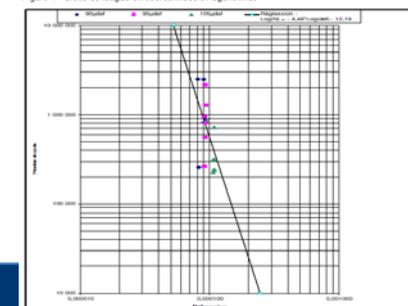


Figure 7 - droite de fatigue en coordonnées bi-logarithmiques

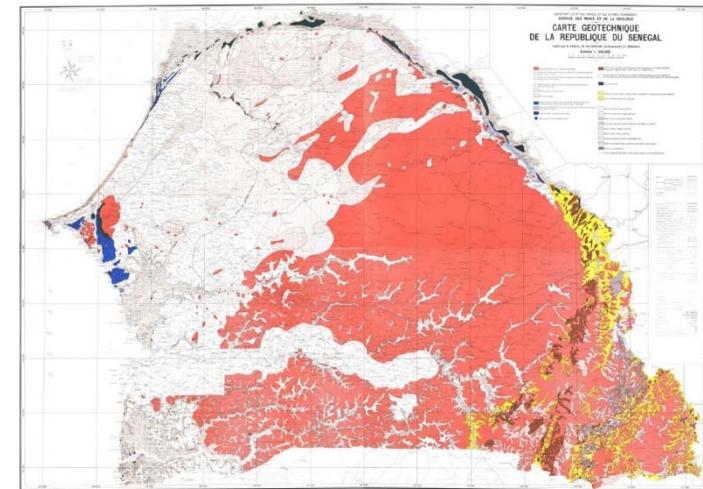


Résultats : ZOOM Triaxial sur latérite



Eprouvette LA 1302 (avant essai)

- 9 essais triaxiaux à chargements répétés sur latérite Sindia, à différents taux de compactage, différentes w , à 0 ou 2% de ciment, à 2 niveaux de contraintes (fort/faible).
- L'évolution des déformations permanentes axiales et radiales de l'éprouvette 16x32 en fonction du nombre de cycles, donne une idée de la résistance à l'orniérage et du module d'élasticité du matériau.
- Matériau élastique non linéaire (le module dépend du niveau de contrainte), anisotrope (module 2x plus fort dans le sens vertical que dans le sens horizontal)
- CBR et module chutent avec excès d'eau et sous compactage.
- Classe C2 à w_{OPM} -2% et 97%dsOPM (E entre 250 et 500 MPa et déformation permanente < $25 \cdot 10^{-4}$).
- Calage des paramètres de dimensionnement ALIZE avec le module CVCR de CESAR LCPC et modèle élastique non linéaire de Boyce

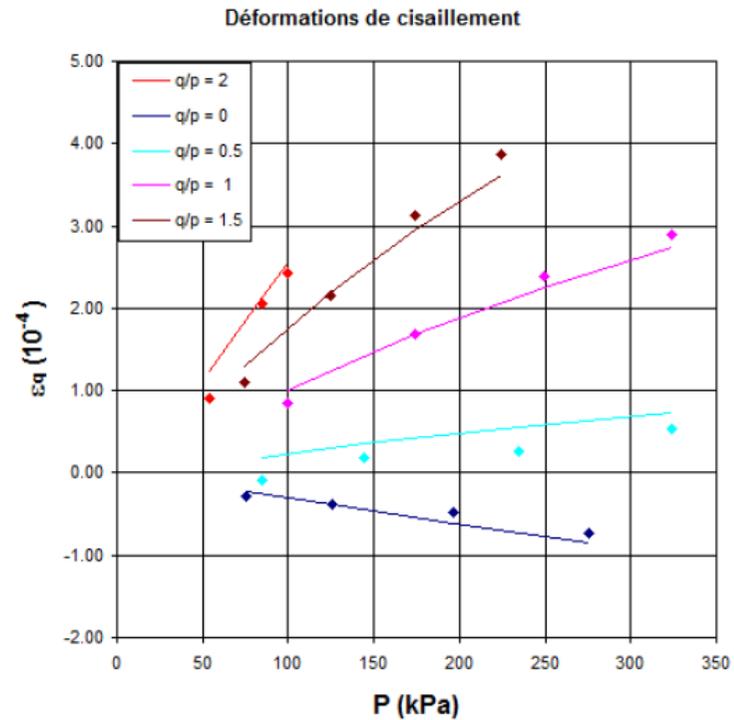
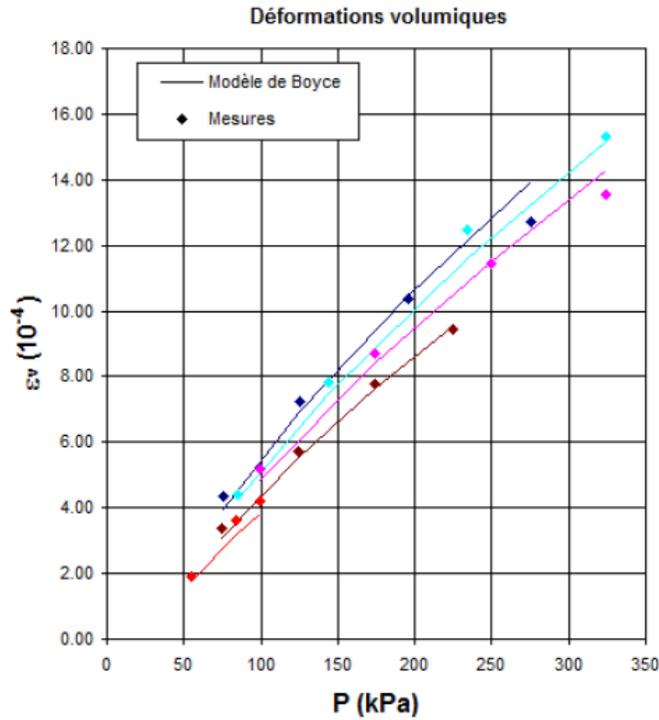


Résultats : ZOOM Triaxial sur latérite



ESSAI	LA1310	w = 12.50%	Mv = 2.008
CALCUL DES PARAMETRES DU MODELE DE BOYCE			

Essais à l'appareil triaxial de révolution	
Date :	15/11/2013
Technicien :	GEFFARD



Paramètres du modèle de Boyce						
K_a (MPa)	G_a (MPa)	n	γ	corrélation	E(250/500)	E(300/600)
104.745	141.702	0.654	0.866	0.875	406	433

Caractéristique final de l'éprouvette	
Teneur en eau :	12.60%
Densité (g/cm3) :	2.007

Conclusion

- **La bonne connaissance du pays de Sénégalabo, l'expertise technique de l'IFSTTAR associées aux compétences d'Egis ont été la clé de la réussite de ce projet.**
- **Collaboration très riche.**
- **Résultats techniques nouveaux.**
- **Client satisfait, publication et approbation du catalogue dans les marchés.**

Merci de votre attention

Camille BOURDON

Egis

40, avenue de la Marne – CS 30087 – 59442 Wasquehal Cedex

06 34 59 64 47 / camille.bourdon@egis.fr

Yves BROSSEAUD

IFSTTAR

Route de Bouaye CS4 - 44344 BOUGUENAIS Cedex

02 40 84 59 28 / yves.brosseaud@ifsttar.fr