



Analyse de la qualité de l'acier pour les ouvrages en béton armé au Burkina Faso

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR 2iE AVEC GRADE DE
MASTER

SPECIALITE : Génie Civil – Bâtiment et Travaux Publics

Présenté et soutenu publiquement le 22 juillet 2024 par

Arianne Samuela KAMGUIA KEMEGNE
[20210494]

Directeur de mémoire : Pr Adamah MESSAN, Professeur Titulaire, Enseignant-chercheur,
Département Génie civil, Institut 2iE

Encadrant : Dr Decroly DJOUBISSIÉ DENOUWÉ, Maître-Assistant (CAMES), Enseignant-chercheur,
Département Génie civil, Institut 2iE

Maître de stage : Dr Philbert NSHIMIYIMANA, Maître-Assistant (CAMES), Enseignant-chercheur,
Département Génie civil, Institut 2iE

Dr Seick Omar SORE, Maître-Assistant (CAMES), Enseignant-chercheur,
Département Génie civil, Institut Universitaire de Technologie, Université
Nazi Boni.

Structure d'accueil : Laboratoire Eco-Matériaux et Habitats Durables (LEMHaD), Institut 2iE

Jury d'évaluation du stage :

Président : Dr Yohan RICHARDSON

Membres et correcteurs : Dr Césaire HEMA
M. Hassane SEINI MOUSSA

Promotion 2023/2024

EPIGRAPHE

« Celui qui relâche dans son travail est frère de celui qui détruit »

Salomon

DEDICACE

A

Ma Famille

REMERCIEMENTS

Je ne saurais commencer mes propos sans remercier le DIEU TOUT PUISSANT pour tous ses bienfaits, l'intelligence, la sagesse, la force dont il me comble chaque jour ; lui qui rend toute chose possible.

Ce travail a été effectué au laboratoire Eco-Matériaux et Habitats Durables (LEMHaD) de l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE) au Burkina Faso. Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à l'ensemble des responsables pour l'accompagnement bienveillant et le soutien dont j'ai bénéficié tout au long de ce mémoire.

Je remercie l'Institut Internationale d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE) pour la formation de qualité et l'encadrement reçu.

Je remercie chaleureusement mon directeur de mémoire Professeur Adamah MESSAN pour sa disponibilité, ses précieux conseils, ses directives et même ses critiques constructives qui ont permis de mener à bien ce mémoire.

Je tiens exprimer ma profonde reconnaissance à mon encadrant principal Docteur Decroly DJOUBISSIÉ DENOUEWÉ pour son implication inestimable dans la réalisation de ce mémoire ; Sa présence bienveillante, son soutien, son enthousiasme contagieux, ses encouragements qui m'ont permis de m'épanouir intellectuellement et repousser mes limites.

Je remercie vraiment toute l'équipe d'encadrement notamment Docteur Philbert NSHIMIYIMANA, Docteur Seick Omar SORE pour leur accompagnement, conseils et nombreuses remarques.

Je remercie les membres du jury qui ont bien voulu évaluer ce travail.

Je remercie les doctorants du LEMHaD pour l'atmosphère conviviale et les encouragements.

Je remercie mes camarades Annicette KOUSPARE, Yvana TOUKAM, Kassoum KANAZOE, Souleymane OUEDRAOGO pour la sympathie, la bonne ambiance qui a primé lors de ce stage.

Je remercie de tout cœur madame Sonia YMELE, monsieur Succès KUTANGILA et Docteur K. Hector Seth TETE pour leur bienveillance, encouragement, soutien et suivi inexplicable lors de ce mémoire.

Je remercie profondément ma très chère famille, mes parents (Mr et Mme KEMEGNE), mes frères et sœurs (Gilles, Loïc et Ange), tantes et oncles, cousins et cousines, neveux et nièces qui malgré la distance n'ont cessé de m'apporter leur soutien multiforme.

Je remercie tous mes amis et la cellule « El Victoire » pour leur soutien.

Je remercie toutes ces personnes qui ont participé à la réalisation de ce mémoire.

RESUME

L'effondrement des bâtiments est devenu un phénomène assez récurrent au Burkina Faso ; il pourrait être causé par divers facteurs tels que les conceptions inadéquates, les défaillances structurelles ou la qualité des matériaux. Cette dernière cause revêt une importance capitale pour assurer la durabilité et la sécurité de l'ouvrage. La présente étude a été menée pour analyser la qualité des matériaux notamment celui des aciers. Des échantillons d'acier de 8, 10, 12 et 14 mm de diamètre prélevés auprès des six (6) fournisseurs du marché burkinabé ont été soumis à des tests physiques et mécaniques pour déterminer leurs performances. Une comparaison de ces résultats avec les normes française et burkinabé a permis de juger de la qualité de ces aciers par rapport à ces normes. Trois barres par diamètre ont été prélevés, et chaque barre a été découpé en six (06) échantillons de 50 cm chacun. Ensuite les échantillons ont été pesés à l'aide d'une balance de précision, puis la longueur a été remesurée afin de calculer la masse linéique. Le diamètre, les espacements et hauteurs des verrous ont été également mesurés à l'aide d'un pied à coulisse et les échantillons ont enfin été soumis à des essais de traction dans une machine à traction notamment la presse électromécanique 3R pour déterminer les propriétés mécaniques que sont la limite d'élasticité (R_{eH}), la résistance maximale (R_m), le module d'élasticité (E) et l'allongement. Au total 310 échantillons ont été analysés. Il en ressort que pour les fournisseurs B, D, F et les HA12 du fournisseur A les aciers sont des FeE400, ils ont une bonne ductilité et présentent le comportement des aciers naturels doux. Pour les fournisseurs C, E et les autres diamètres du fournisseur A les aciers sont des FeE500 et sont très écrouis. De plus, concernant le diamètre, 85,1% des aciers analysés sont non-conformes vis-à-vis de la norme française ; et concernant la masse linéique, 52,14% sont non-conformes vis-à-vis de la norme burkinabé et 73,4% des aciers sont non-conformes vis-à-vis de la norme française. De façon générale, aucun acier testé des différents fournisseurs n'est totalement conforme à la norme française et 47,37% des aciers testés sont totalement conformes vis-à-vis de la norme burkinabé.

Mots clés : *Acier, haute adhérence, béton armé, ductilité, essai de traction, propriétés mécaniques*

ABSTRACT

The collapse of buildings has become a fairly recurring phenomenon in Burkina Faso; it could be caused by various factors such as inadequate designs, structural failures or quality of materials. This last cause is of capital importance to ensure the durability and safety of the structure. This study was carried out to analyze the quality of materials, particularly that steel. Steel samples of 8, 10, 12 and 14 mm diameters taken from the six (6) suppliers of the Burkinabe market were subjected to physical and mechanical tests to determine their performance. A comparison of these results with French and Burkinabe standards made it possible to analyze the quality of these steels in relation to these standards. Three bars per diameter were taken, and each bar was cut into six (06) samples of 50 cm each. Then the samples were weighed using a precision balance, then the length was remeasured in order to calculate the linear mass. The diameter, spacings and heights of the locks were also measured using a caliper and the samples were finally subjected to tensile tests in a tensile machine to determine the mechanical properties. A total of 310 samples were analyzed. It appears that for suppliers B, D, F and the HA12 of supplier A the steels are FeE400, they have good ductility and exhibit the behavior of mild natural steels. For suppliers C, E and the other diameters of supplier A the steels are FeE500 and are very work hardened. Furthermore, regarding the diameter, 85.1% of the steels analyzed do not comply with the French standard; and regarding the linear mass, 52.14% do not comply with the Burkinabe standard and 73.4% of the steels do not comply with the French standard. Generally speaking, no steel tested from the different suppliers fully complies with the French standard and 47.37% of the steels tested fully comply with the Burkinabe standard.

Keywords: *Steel, high adhesion, reinforced concrete, ductility, tensile test, mechanical properties*

LISTE DES ABREVIATIONS

2iE : Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement

Agt : Allongement à la charge maximale

At : Allongement total

Ceq : Carbone équivalent

CoV : Coefficient de Variation

E : Module d'élasticité

g : grammes

GPa : Giga Pascal

HA : Haute Adhérence

kN : Kilo Newton

L_0 : Longueur initiale entre repère

m : mètres

mm : millimètres

MPa : Méga Pascal

NBF : Norme burkinabé

NF : Norme française

ReH : Limite d'élasticité

Rm : Résistance en traction

TABLE DE MATIERES

EPIGRAPHE.....	i
DEDICACE.....	ii
REMERCIEMENTS	iii
RESUME.....	v
ABSTRACT	vi
LISTE DES ABREVIATIONS.....	vii
TABLE DE MATIERE.....	viii
LISTE DES TABLEAUX.....	x
LISTE DES FIGURES	xi
INTRODUCTION GENERALE.....	1
Chapitre I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE.....	3
I.1 Introduction	3
I.2 Généralités.....	3
I.2.1 Définition et classification	3
I.2.2 Fabrication de l'acier	4
I.2.3 Aciéries au Burkina Faso.....	6
I.3 Propriétés de l'acier et normes relatives à sa qualité.....	8
I.3.1 Propriétés mécaniques et exigences des normes	8
I.3.2 Propriétés chimiques et exigences des normes	10
I.3.3 Caractéristiques géométriques de l'acier et masse linéique	12
I.3.4 Caractéristiques de forme de l'acier	14
I.3.5 Caractéristiques technologiques de l'acier	15
I.4 Méthodes d'analyses de l'acier	15
I.4.1 Essai mécanique.....	15
I.4.2 Analyse chimique	17

I.4.3	<i>Analyse métallographique</i>	17
I.5	Facteurs influençant la qualité de l'acier.....	18
I.6	Conclusion partielle.....	18
CHAPITRE II. MATERIELS ET METHODES		19
II.1	Introduction	19
II.2	Matériaux	19
II.3	Matériels.....	21
II.4	Méthode.....	22
II.4.1	<i>Caractérisation visuelle</i>	22
II.4.2	<i>Caractérisation de forme</i>	22
II.4.3	<i>Caractérisation physique et mécaniques</i>	23
CHAPITRE III. RESULTATS ET DISCUSSION		27
III.1	Introduction	27
III.2	Résultats	27
III.2.1	<i>Évaluation visuelle</i>	27
III.2.2	<i>Caractéristiques de forme</i>	27
III.2.3	<i>Caractéristiques physiques et mécaniques</i>	28
III.3	Analyse et discussion des résultats.....	36
III.3.1	<i>Caractéristique de forme</i>	37
III.3.2	<i>Masse linéique et Diamètre</i>	37
III.3.3	<i>Résistance en traction et module d'élasticité</i>	43
III.3.4	<i>Allongement</i>	47
III.3.5	<i>Analyse de la conformité des aciers</i>	50
CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS		53
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES		54
ANNEXES		I

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Caractéristiques mécaniques de traction et normes.....	10
Tableau 2: Classe de ductilité (source : BA-CORTEX : paramètres caractéristiques et loi de calcul de l'acier)	10
Tableau 3: Éléments chimiques et leur Influence sur les propriétés des aciers (Prabir,2004). 11	
Tableau 4: Composition chimique (%massique) et Norme	12
Tableau 5: Diamètres nominaux, sections et masses linéiques nominales.....	12
Tableau 6: Diamètres nominaux, sections et masses linéiques nominales.....	13
Tableau 7 : Intervalle pour les paramètres relatifs aux verrous	14
Tableau 8: Hauteur et écartement des verrous	14
Tableau 9: Analyse comparative des différentes méthodes	17
Tableau 10 : Résultats caractéristiques de forme	28
Tableau 11 : Résultats des essais du fournisseur A.....	29
Tableau 12 : Résultats des essais du fournisseur B	31
Tableau 13 : Résultats des essais du fournisseur C	32
Tableau 14 : Résultats des essais du fournisseur D.....	34
Tableau 15 : Résultats des essais du fournisseur E	35
Tableau 16 : Résultats des essais du fournisseur F	36
Tableau 17: Conformité des résultats obtenus pour les paramètres d'analyse avec les spécifications de la norme française.....	51
Tableau 18 : Conformité des résultats obtenus pour les paramètres d'analyse avec les spécifications de la norme burkinabé	52

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Consommation mondiale de l'acier.....	3
Figure 2: Schéma de fabrication de l'acier	6
Figure 3: Quelques aciéries au Burkina Faso.....	8
Figure 4: Courbe de traction (contrainte - déformation)	9
Figure 5 : Aciers soumis à l'analyse	20
Figure 6: Aciers des fournisseurs E et F	20
Figure 7 : Machine à traction (presse universelle électromécanique 3R)	22
Figure 8 : Caractéristiques de forme-aciers à deux verrous	23
Figure 9: Caractérisation physique des aciers	24
Figure 10: Échantillons avant l'essai	24
Figure 11: Échantillons après essai	26
Figure 12 : Courbe de traction des aciers du fournisseur A	29
Figure 13: Courbe de traction des aciers du fournisseur B	30
Figure 14: Courbe de traction des aciers du fournisseur C	32
Figure 15: Courbe de traction des aciers du fournisseur D	34
Figure 16: Courbe de traction des aciers du fournisseur E	35
Figure 17: Courbe de traction des aciers du fournisseur F.....	36
Figure 18: Masse linéique et diamètre des HA8	38
Figure 19: Masse linéique et diamètre des HA10	40
Figure 20: Masse linéique et diamètre des HA12	41
Figure 21 : Masse linéique et diamètre des HA14	42
Figure 22: Résistance en traction et module d'élasticité des HA8.....	43
Figure 23 : Résistance en traction et module d'élasticité des HA10.....	45
Figure 24 : Résistance en traction et module d'élasticité des HA12.....	46
Figure 25 : Résistance en traction et module d'élasticité des HA14.....	47
Figure 26 : Allongement des HA8	48
Figure 27 : Allongement des HA10	49
Figure 28 : Allongement des HA12	50
Figure 29 : Allongement des HA14	50

INTRODUCTION GENERALE

Le béton armé est la combinaison de béton et d'armatures d'acier. Leur agencement est conçu de manière à exploiter au mieux les caractéristiques de résistance de chacun, dans le but d'optimiser à la fois l'efficacité et la rentabilité de la structure (Biney et al. 2024).

Le béton, un matériau important pour les structures en béton armé, est un composite largement influencé par les matériaux constitutifs (Bamigboye et al, 2016), il a une bonne résistance à la compression et une faible résistance à la traction (sa résistance à la traction est environ égale à 10% de sa résistance à la compression (Neville, 1993)). Les efforts récents visant à rendre le béton plus durable ont conduit à une multitude de substitutions de matériaux constitutifs (Ede et al. 2019). Toutefois, l'inclusion particulière de matériaux qui a donné au béton la ténacité est celle des barres d'acier car ils ont une très bonne résistance à la traction.

Les barres d'acier sont placées de manière adéquate pour absorber les forces de traction et éventuellement de compression (Sy et al, 2023). Elles sont ductiles garantissant une prévention suffisante avant que l'effondrement ne se produise et elles jouent donc un rôle important, c'est pourquoi leurs propriétés doivent être connues par les utilisateurs avant leurs utilisations (S. P et al, 2012). De plus les barres d'acier présentent des avantages (Tefera, 2023) provenant de la relative facilité de leur processus de fabrication et de l'abondance de leurs éléments constitutifs dans la croûte terrestre (Fente, 2024).

Malgré les avantages que procurent le béton armé aux structures, le Burkina Faso, au cours des dernières années, les immeubles en béton armé se sont effondrés causant d'énormes préjudices. Ces effondrements peuvent résulter de divers facteurs, notamment une conception inadéquate, des erreurs de construction, des défaillances structurelles, des surcharges accidentelles ou encore la qualité des matériaux utilisés. Ce dernier facteur revêt une importance capitale pour assurer la durabilité et la sécurité des ouvrages en béton armé (Diallo et al. 2024). L'utilisation de matériaux de piètre qualité peut fragiliser la structure et entraîner sa ruine notamment en cas de béton médiocre et d'acier mal fabriqué. L'utilisation de l'acier d'armature de qualité inférieure est l'une des causes les plus importantes des effondrements et de la ruine des structures (Taghried et al. 2017).

La connaissance des propriétés des barres d'acier est vitale pour éviter les effondrements. Les caractéristiques requises des armatures doivent respecter les normes spécifiques qui détaillent des exigences particulières.

Ce travail consiste donc à analyser l'état actuel de l'acier à béton disponible au Burkina Faso (les aciers les plus utilisés), examiner sa qualité à travers sa conformité aux normes française et burkinabé. Il s'agira spécifiquement de réaliser des essais physiques et mécaniques sur les aciers et comparer les résultats aux spécifications données par les normes française et burkinabé.

Pour l'organiser de manière efficace, le présent document est divisé en trois chapitres distincts décrit comme suit :

Le premier chapitre présente la revue bibliographique avec pour objectif de donner les généralités sur l'acier au Burkina Faso notamment les propriétés générales demandées à l'acier selon les normes française et burkinabé, sur sa fabrication et sur les aciéries au Burkina Faso.

Le deuxième chapitre présente les matériaux, matériels et méthodes utilisées pour faire l'analyse ; il présente également l'essai utilisé pour déterminer les différentes propriétés recherchées de l'acier.

Le troisième chapitre présente les résultats obtenus et leurs interprétations.

La dernière partie du document est réservée à la conclusion générale où les points les plus importants retenus de l'analyse seront présentés, suivi des recommandations avec des perspectives sur le travail.

Chapitre I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1 Introduction

La qualité de l'acier est un critère très important à considérer pour assurer la sécurité des ouvrages (Trejo et al. 2005) . Ce chapitre vise à explorer les différents aspects de l'analyse de cette qualité en examinant la littérature existante. Les généralités sur l'acier, les propriétés fondamentales de l'acier ainsi que les exigences des normes française [(NF-EN-10080 2005) ; (NF A35-016 2005)] et burkinabés [(NBF 02-009 2009) ; (NBF 02-011 2009)], les méthodes utilisées pour évaluer la qualité et les facteurs qui influencent la qualité de l'acier seront présentés.

I.2 Généralités

I.2.1 Définition et classification

I.2.1.1 Définition

L'acier est un matériau d'ingénierie et de construction très important. De nos jours, il a un grand intérêt en raison de sa large gamme d'emploi. Il est utilisé dans plusieurs domaines : dans les voitures et les produits de construction, les réfrigérateurs et les machines à laver, les cargos, etc. (Hennous, 2021). Selon les données de l'Association Mondiale de l'Acier en 2012, la production mondiale totale d'acier brut s'élevait à 1 547,8 millions de tonnes métriques (Cabrera et al, 2014). Près de la moitié de l'acier produit dans le monde est destiné au secteur de la construction, comme en témoigne la Figure 1.

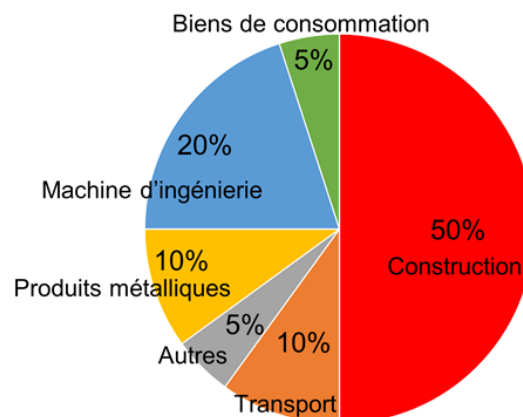


Figure 1: Consommation mondiale de l'acier

source:<http://www.slideshare.net/steelBusinessBriefing/steelconstruction>

L'acier est un alliage de fer en majorité, de carbone et des éléments additifs (manganèse, nickel, phosphore, cuivre)

1.2.1.2 Classification

Les aciers sont classés en quatre (04) catégories suivant leur composition et surtout leur teneur en carbone. On distingue : les **aciers non alliés** dont la fourchette de teneur en carbone est comprise entre 0,12 % et 2 %. Les **aciers alliés** : ils contiennent plus de carbone, leur teneur en carbone peut atteindre 50 % en poids. Les **aciers inoxydables** avec une teneur en carbone d'au plus 1,2% et contenant au moins 10,50 % de chrome. Et enfin les **aciers pour outils** qui sont une variété d'aciers non alliés et alliés, leur teneur en carbone varie entre 0,7% et 1,5%, ils contiennent en outre du tungstène, du molybdène, du cobalt et du vanadium en quantités variables pour augmenter la résistance à la chaleur et la durabilité (Cabrera et al, 2014).

Dans la construction, plus précisément dans les ouvrages en béton armé les aciers utilisés sont les aciers non alliés ; notamment les aciers ronds lisses et les aciers à haute adhérence. Ils ont plusieurs avantages comme la résistance, la versatilité (utilisés dans une grande variété de structure) et la recyclabilité.

L'acier à haute adhérence (HA) fera l'objet de cette étude, il présente des aspérités sur sa surface qui permettent d'améliorer l'adhérence acier-béton. Parmi les HA, on distingue les barres d'acier « naturel » obtenues par laminage à chaud d'un acier dit naturel et les barres d'aciers « écrouis » obtenues par laminage à chaud suivi d'un écrouissage¹ par torsion à froid sans réduction de section (Djoubissié, 2018 ; Renaud et Letertre 2003).

1.2.2 Fabrication de l'acier

La formation de la microstructure et des propriétés mécaniques commence par la production (fabrication) de l'acier et influencent la qualité de celui-ci (Singh et al, 2002).

On distingue deux façons de fabriquer l'acier (Ordener, 2023) :

- L'acier des hauts-fourneaux²
- L'acier de la filière électrique

¹ Écrouissage : Processus appliqué sur l'acier pour renforcer sa résistance et sa durabilité, annule sa ductilité ; il consiste à appliquer une contrainte très élevée entraînant un changement de sa structure cristalline

² Haut fourneau : four à combustion qui permet la production de la fonte liquide à partir du fer

1.2.2.1 Acier des hauts fourneaux

Il est produit à partir des hauts fourneaux et de la fonte liquide à 1400°C dans des usines intégrées. La fonte est un alliage obtenu à partir de minerai de fer fondu et traité, et de coke (type de carbone pratiquement pur conçu dans une cokerie³ à partir du charbon). Plusieurs étapes sont nécessaires pour transformer le minerai de fer en acier (Figure 2) :

La préparation du minerai de fer : le minerai de fer est trié, broyé et calibré en grains avant de le faire cuire à 1300°C ; il est ensuite envoyé vers les hauts fourneaux.

Transformation du charbon en coke : le charbon est transformé en coke à la cokerie par cuisson à 1100°C, suivi du concassage et du tamisage pour obtenir la granulométrie appropriée.

Combinaison du minerai de fer et du coke : le haut fourneau combine le minerai de fer et le coke, suivi d'une combustion à haute température pour produire la fonte liquide.

Désulfuration de la fonte : Elle est faite à l'aciérie en injectant des carbures de calcium pour former du laitier qui est ensuite éliminé.

Affinage de la fonte et ajouts d'alliages : la fonte est placée dans un convertisseur à oxygène où l'on insuffle de l'oxygène pour éliminer les impuretés et obtenir de l'acier. Selon la qualité d'acier désirée, des alliages tels que le chrome, le nickel, le manganèse, etc. qui permettent d'améliorer les propriétés de l'acier.

Étape de coulée : l'acier liquide est recueilli dans une poche de coulée, puis versé dans des moules de lingotières et refroidi pour pouvoir se solidifier. Il existe trois types de coulée : la coulée continue, coulée en lingots et coulée en source. Toutefois la majorité des aciers est produite en coulée continue.

Laminage⁴ et finition : Une fois l'acier solidifié sous forme de barres, il passe à travers une série de laminaires pour lui donner la forme et la taille souhaitées. Cela inclut le laminage à chaud pour les produits finis ou le laminage à froid pour des produits plus précis. Une fois laminé, l'acier est soumis à un processus de finition qui peut inclure le polissage, le revêtement, la galvanisation.

³ Cokerie : usine où est fabriqué le coke

⁴ Laminage : il consiste à aplatir le métal en le passant entre les rouleaux afin d'obtenir la géométrie souhaitée du produit final

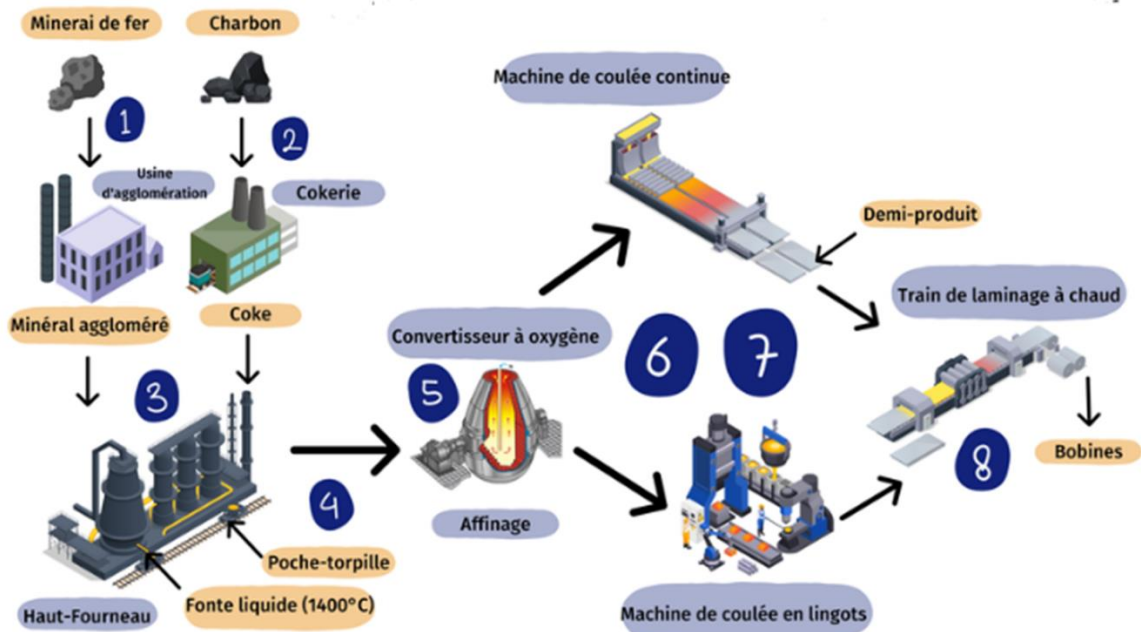


Figure 2: Schéma de fabrication de l'acier

I.2.2.2 Acier de la filière électrique

L'acier de la filière électrique est produit à partir des ferrailles recyclées.

Après avoir collecté les ferrailles recyclées, celles-ci sont introduites dans un four électrique à 1600°C pour faire fondre, ensuite le carbone et de l'oxygène sont injectés pour accélérer la fusion avec le fer. Un acier liquide est obtenu, il va subir au niveau des hauts fourneaux, un affinage pour obtenir les qualités attendues. La suite du processus est identique à celui de l'acier haut fourneau.

I.2.3 Aciéries au Burkina Faso

Il existe plus d'une quinzaine d'industries métallurgiques au Burkina Faso, quelques-unes notamment les plus connues ayant les aciers répandus sur le territoire seront présentées.

I.2.3.1 CIM METAL

Créée depuis 2014 au Burkina Faso avec pour fondateur Inoussa KANAZOE, CIM METAL est spécialisée dans la métallurgie et produit des armatures en acier de haute qualité. Tous ses produits sont empreints de la marque « CM » ou « CMT » ou « CIM METAL TMT ». Elle met à la disposition de ses clients des produits tels que les fers à béton de diamètre 6 à 32 mm, les fils de fer recuit, les fers d'attache et des autres aciers pour satisfaire les demandes spécifiques des clients.

1.2.3.2 HAGE INDUSTRIE

Monsieur Joseph HAGE opérateur économique libanais s'installe au Burkina Faso en 1968 en qualité de commerçant, puis crée son entreprise. En 2002 il entreprit la fusion-réunion des sociétés Hage Métal, EMETAL et IBPC tous basées au Burkina Faso pour donner naissance à une grande entreprise multidimensionnelle nommée HAGE INDUSTRIE. Elle met à la disposition des clients des fers à béton, des tôles, tréfilage, profilage, clouterie, grillage, peinture etc.

1.2.3.3 SITAB (Société Industrielle de Transformation de l'Acier au Burkina Faso)

Filiale du Groupe Batimat, SITAB fait dans l'importation et la transformation d'acier au Burkina Faso. Grâce à ses nombreuses lignes de production directement basées à Ouagadougou et à sa main d'œuvre qualifiée, SITAB adapte sa production en temps réel pour répondre aux besoins des marchés burkinabé et nigérien. Elle met à la disposition de ses clients les produits tels que les tôles en acier noir, tôles anti abrasion, fers à béton, fers en T, cornières, poutrelles métalliques, tubes (ronds, carrés, rectangulaires), couvertures.

1.2.3.4 SITACI

SITACI appartient à un groupe privé (familiale), établi et reconnu au Burkina Faso depuis plusieurs décennies, elle a pour PDG monsieur Chawki ATIE et DG monsieur Ziad ATIE. Elle est une société spécialisée dans la transformation de l'acier et le commerce de produits métalliques (fers à béton, fers marchands, tubes, tôles, poutrelles, profilés, etc...).

1.2.3.5 ZIDNABA INDUSTRIE

Basée à Ouagadougou précisément dans la zone de Saaba avec à sa tête Abdoul Samad ZIDNABA, l'entreprise fabrique et vend des tôles ondulées-tôles bac et des fers à béton.

La Figure 3 présente quelques aciéries au Burkina Faso où les visites ont été faites.



CIM METAL (fil.CIMFASO)



HAGE INDUSTRIE



SITAB



SITACI

Figure 3: Quelques aciéries au Burkina Faso

I.3 Propriétés de l'acier et normes relatives à sa qualité

Les propriétés de l'acier sont déterminantes pour assurer la solidité et la longévité des structures. C'est pourquoi comprendre ces propriétés et respecter les normes relatives à l'acier, établissant des critères de qualité sont indispensables pour concevoir des structures sûres et durables. Dans notre cas de figure les normes qui permettront l'analyse sont les normes française et burkinabé.

I.3.1 Propriétés mécaniques et exigences des normes

Les caractéristiques mécaniques sont fondamentales pour évaluer le critère qualité dans les aciers (Luecke et al. 2005), elles sont déterminées en faisant un **essai de traction**. Cet essai consiste à réaliser une contrainte uni-axiale et uniforme de traction dans un échantillon (barre d'acier) et à enregistrer son comportement.

La caractéristique principale de l'acier est la limite d'élasticité conventionnelle ($R_{P0,2}$) déterminée à 0,2% d'allongement (noté ReH) ; car c'est elle qui est prise en considération dans

les calculs de dimensionnement, et elle est la valeur qui détermine la classe/type d'appartenance de l'acier. De plus, les normes déterminent la valeur de la contrainte de rupture ou résistance maximale R_m et définissent le rapport R_m/R_{eH} . Ce rapport caractérise la sécurité de l'armature dans la construction. Les propriétés plastiques notamment l'allongement sous la contrainte maximale est mesuré sur la courbe contrainte – déformation. Le module d'élasticité quant à lui est une caractéristique très importante qui mesure la capacité à résister aux déformations sous l'effet d'une contrainte ; il est donné par $E = \frac{R_{eH}}{\Delta l_{eH}}$ et sa valeur est de 200 GPa pour les aciers à béton. Ces différentes caractéristiques sont données sur la Figure 4 (courbe de traction contrainte déplacement) ci-dessous.

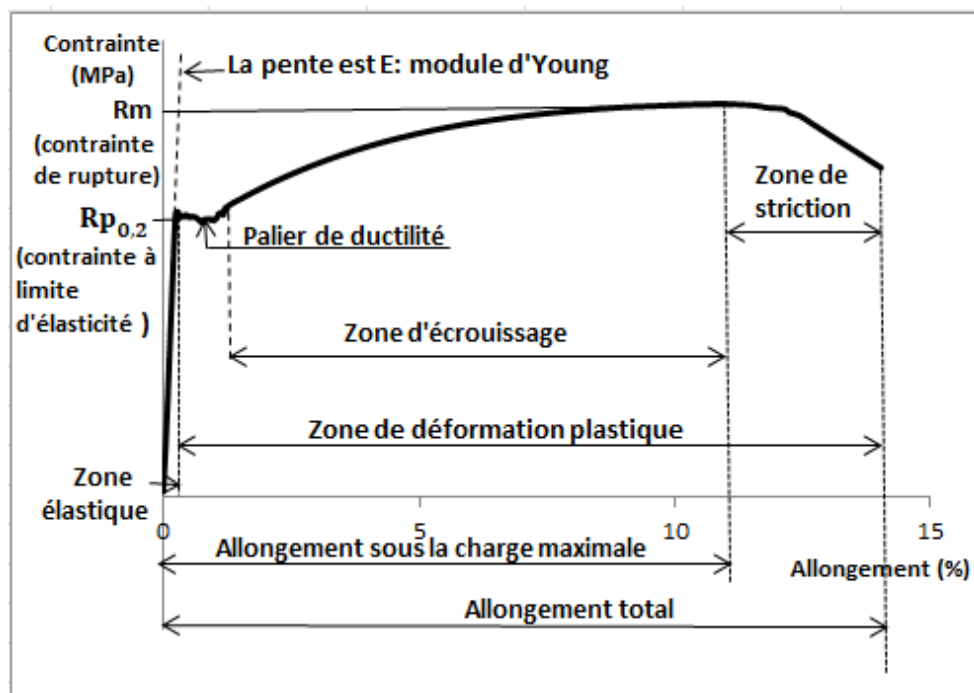


Figure 4: Courbe de traction (contrainte - déformation)

Le Tableau 1 présente les caractéristiques mécaniques des aciers suivants les normes française et burkinabé.

Tableau 1: Caractéristiques mécaniques de traction et normes

Normes	Nuance	ReH [MPa]	Rm/ReH	Agt [%]	At [%]
NF A35-016-1	FeE400	400	-	-	14
	FeE500	500	-	-	12
NBF 02-011	FeE400	[380 ; 400[[1,03 ; 1,05[[2 ; 2,5[-
	FeE500-1	[475 ; 500[[1,03 ; 1,05[[4 ; 5[-
(NBF 02-009 2009)	FeE500-2	[475 ; 500[[1,01 ; 1,03[[2 ; 2,5[-
	FeE500-3	[475 ; 500[[1,05 ; 1,08[[4 ; 5[-

La ductilité est la capacité de l'acier à se déformer de manière plastique sans se rompre. Elle est évaluée par le rapport résistance à la traction sur la limite d'élasticité (Rm/ReH), et par l'allongement (CEB, 1990).

Le Tableau 2 présente les trois classes de ductilité et leurs exigences. La classe A correspond aux petits diamètres utilisés pour les cadres, les aciers transversaux et treillis. La classe B est la plus utilisée dans les constructions et la classe C est utilisé pour les constructions en zone sismique.

Tableau 2: Classe de ductilité (source : BA-CORTEX : paramètres caractéristiques et loi de calcul de l'acier)

Classe	A	B	C
Ratio Rm/ReH	$\geq 1,05$	$\geq 1,08$	$\geq 1,15$ et $< 1,35$
Allongement sous la charge maximale (Agt)	$\geq 2,25\%$	$\geq 4,5\%$	$\geq 6,75\%$
Allongement total (At)	$\geq 2,5\%$	$\geq 5,0\%$	$\geq 7,5\%$

1.3.2 Propriétés chimiques et exigences des normes

La composition chimique des aciers est un facteur très critique qui détermine sa résistance. Plusieurs éléments constituent l'acier (hors mis le fer qui est l'élément fondamental dans la production de l'acier) et chacun joue un rôle très important (Sy et al, 2023).

Les **Tableau 3** et **Tableau 4** présentent respectivement les constituants du point de vue chimique et les recommandations des normes quant à leurs quantités dans les aciers.

Tableau 3: Éléments chimiques et leur Influence sur les propriétés des aciers (Prabir,2004)

Éléments constitutifs	Propriétés	Influence sur l'acier
Carbone (C)	Dureté, résistance, soudabilité et fragilité	Une teneur plus élevée en carbone contribue à la résistance à la traction de l'acier, c'est-à-dire à une capacité portante plus élevée. Sa teneur est limitée à moins de 2,1 %. Toutefois une teneur en carbone plus élevée rend la barre d'acier non soudable et cassante.
Souffre (S)	Fragilité.	C'est une impureté de l'acier qui augmente la fragilité de l'acier. La présence d'une teneur plus élevée en soufre rend la barre cassante lors de la torsion. C'est pourquoi il doit être limité.
Phosphore (P)	Fragilité et résistance à la corrosion	Une teneur plus élevée en phosphore contribue à l'augmentation des propriétés de résistance et de résistance à la corrosion, mais apporte une fragilité.
Nickel	La trempabilité	Il confère aux aciers une meilleure adaptabilité aux variations des conditions de traitement thermique.
Cuivre (Cu)	Résistance et résistance à la corrosion	Il augmente la résistance et la résistance à la corrosion.
Carbone équivalent (Ceq)	Dureté, résistance à la traction et soudabilité	Cette propriété est nécessaire pour définir les paramètres de refroidissement dans le procédé TMT (traité thermo mécanique) et une légère variation de l'équivalent carbone peut altérer les propriétés physiques.

NB : Ces éléments doivent être de très petites quantités.

Tableau 4: Composition chimique (%massique) et Norme

Normes	Type d'analyse	Composition chimique					
		% max (m/m)					
		C	S	P	N	Cu	CEV
NF 10080	Analyse sur coulée	0,22	0,050	0,050	0,012	0,80	0,50
	Analyse sur produit	0,24	0,055	0,055	0,014	0,85	0,52
NBF02-009	Analyse sur coulée	0,22	0,050	0,050	0,012	-	0,50
	Analyse sur produit	0,24	0,055	0,055	0,014	-	0,52

I.3.3 Caractéristiques géométriques de l'acier et masse linéique

Les caractéristiques géométriques de l'acier sont des propriétés intrinsèques ou mesurables faisant référence à ses dimensions. Elles déterminent le comportement de l'acier dans différentes situations et applications. On distingue : le diamètre, exprimé en mm ; la section exprimée en mm² et la masse linéique qui est une mesure de la masse par unité de longueur (le long de la barre) exprimée en Kg/m. La cohérence du diamètre est essentielle pour la conception sûre et fiable de toute structure car l'ingénieur en structure a besoin d'informations précises sur le diamètre lors de la sélection des tailles de barres lors de la conception d'une structure (Assiamah et al. 2023).

Les *Tableau 5* et

Tableau 6 présentent les exigences requises par les normes française et burkinabé pour différents diamètres d'aciers (6 à 16 mm²) en termes de section et de masse linéique nominale.

- Exigences de la norme française (NF-EN-10080 2005)

Tableau 5: Diamètres nominaux, sections et masses linéiques nominales

Diamètre nominale (mm)	Section nominale (mm ²)	Masse linéique nominale (Kg/m)
6	28,3	0,222
8	50,3	0,395
10	78,5	0,617
12	113	0,888
14	154	1,21
16	201	1,58

- Exigences de la norme burkinabè (NBF 02-009 2009; NBF 02-011_2009 2009)

Tableau 6: Diamètres nominaux, sections et masses linéiques nominales

Diamètre nominale (mm)	Section nominale (mm ²)	Masse linéique nominale (Kg/m)
5⁵	19,6	0,154
6	28,3	0,222
7⁶	38,5	0,302
8	50,3	0,395
9⁷	63,6	0,499
10	78,5	0,617
12	113	0,887
14	154	1,21
16	201	1,58

D'après l'Eurocode 2, l'écart admissible de diamètre est de $\pm 6\%$ pour les aciers de diamètre inférieur ou égale à 8 mm et de $\pm 4,5\%$ pour les aciers de diamètre supérieur à 8 mm.

- Masse linéique

La norme française (NF-EN-10080 2005) exige pour les aciers de diamètre inférieur ou égale 8mm, un écart relatif de $\pm 6\%$ et pour les autres diamètres un écart admissible de $\pm 4,5\%$.

D'après la norme burkinabè (NBF 02-009 2009; NBF 02-011_2009 2009), l'écart admissible par rapport à la masse linéique nominale dépend de la nuance. Pour les FeE400 et FeE500-1 il est de $\pm 7\%$ pour les aciers de diamètre 6mm à 10mm ; de $\pm 6\%$ pour les aciers de diamètre 12mm à 16mm et de $\pm 5\%$ pour les aciers de diamètre 20mm à 40mm. Pour les FeE500-2 et FeE500-3, l'écart admissible est de $\pm 4,5\%$ pour tous les diamètres.

⁵ Diamètre uniquement disponible pour les FeE500-2

⁶ Diamètre uniquement disponible pour les FeE500-2 et FeE500-3

1.3.4 Caractéristiques de forme de l'acier

Elles font référence à la configuration de la surface des aciers ou à des caractéristiques spécifiques qui peuvent affecter son comportement ou son utilisation dans les structures en béton armé. Il existe deux (02) types de formes : les surfaces lisses et les surfaces nervurées. Les aciers à haute adhérence ont des surfaces nervurées et doivent présenter au moins deux chants de verrous avec un espacement uniforme.

La géométrie des barres joue un rôle crucial dans l'établissement de la liaison souhaitée entre une barre d'armatures et le béton. Les barres nervurées atteignent une résistance 2 à 10 fois supérieure en raison du mécanisme d'emboîtement offert par les nervures, ce qui améliore l'interaction de liaison. L'ancrage mécanique et le frottement entre les barres d'aciers nervurés et le béton contribuent à l'augmentation de la force d'adhérence (Wang et al. 2018). Il est donc important de respecter les normes relatives à la forme des aciers à béton (Biney et al. 2024).

Les *Tableau 7* et *Tableau 8* présentent les standards requis par les normes française et burkinabè pour les paramètres relatifs aux verrous (espacements et hauteurs des verrous).

- Prescriptions relatives à la hauteur et espacement des verrous d'après la norme française

Tableau 7 : Intervalle pour les paramètres relatifs aux verrous

Hauteur des verrous h	Espacement des verrous c	Inclinaison des verrous β
0,03d à 0,15d	0,4d à 1,2d	35° à 75°
d : diamètre nominal		

- Prescriptions relatives à la hauteur et espacement des verrous d'après la norme burkinabè

Tableau 8: Hauteur et écartement des verrous

Diamètre nominal	Hauteur des verrous		Écartement entre verrous	
	min	max	min	max
8	0,52	1,20	5,0	7,0
10	0,65	1,50	5,5	7,5
12	0,78	1,80	6,1	8,3
14	0,91	1,90	7,1	9,7

I.3.5 Caractéristiques technologiques de l'acier

Elles font référence à des propriétés qui influencent la transformation et l'utilisation de l'acier. Elles sont entre autres la soudabilité, la résistance à la corrosion, la résistance à la fatigue, la trempabilité, la résilience etc.

I.4 Méthodes d'analyses de l'acier

I.4.1 Essai mécanique

L'essai mécanique est essentiel pour garantir la qualité de l'acier et sa conformité aux normes. Les principaux essais mécaniques effectués sur les aciers sont entre autres l'essai de traction, l'essai de flexion, l'essai de torsion, l'essai de dureté etc.

L'essai de traction permet de déterminer la limite d'élasticité, la résistance à la traction, le module d'élasticité et allongement de l'acier. Il est le plus utilisé pour analyser la qualité de l'acier car il donne les caractéristiques mécaniques de celui-ci. La machine de traction est l'appareil qui permet de réaliser cet essai et elle est disponible dans différentes configurations.

Anthony Ede a mené des études sur la conformité des barres d'armatures en acier utilisées pour le béton armé au Nigéria par rapport aux normes britanniques (Ede et al. 2019). Des essais de traction ont été réalisés sur des barres d'acier de nuance 460 de diamètre 12 mm, 16 mm et 20 mm (trois échantillons de chaque diamètre) provenant d'une entreprise sidérurgique d'Ikéja. Les résultats montrent que les propriétés mécaniques ont de bonnes caractéristiques conformes aux normes britanniques ; la limite d'élasticité moyenne a donné une valeur supérieure aux normes de conception, l'allongement moyen et la résistance à la traction moyenne sont aussi supérieurs aux spécifications de la norme. Ensuite l'essai a été réalisé sur des barres d'acier de diamètre 16 mm provenant de 106 chantiers dans divers lieux de Lagos. Un écart très élevé par rapport à la norme est remarqué, 36% de non-conformité de limite élastique, l'allongement dépasse la norme de 14% ; cela montre que les aciers utilisés dans les constructions ne sont pas de bonne qualité.

Shuaib-Babata et al ont également mené des études au Nigéria pour évaluer la qualité des aciers dans le commerce sur quelques marchés conformément aux normes nigériane, américaine et britannique (Shuaib-Babata et al. 2019). Des échantillons de barres d'acier ont été obtenus sur les principaux marchés de l'acier (04 marchés) de diamètre 10 mm, 12 mm et 16 mm car ils font partis des barres les plus utilisées pour le renforcement local du béton dans la localité ; ils sont soumis à un essai de traction en utilisant une machine d'essai des matériaux testométriques

Il en ressort que les propriétés mécaniques n'étaient quasiment pas uniformes aux normes (par exemple, pour les diamètres de 10 mm la limite d'élasticité des barres 75% avaient des valeurs inférieures à la valeur caractéristique donnée par les normes, le pourcentage d'allongement était de 25% inférieur aux normes ainsi que la résistance à la traction).

Taghried et al ont analysé la qualité des barres d'armatures au Soudan en soumettant des échantillons de barres d'armatures de diamètre 12 mm et 16 mm provenant de 07 usines sidérurgiques à des essais de traction pour déterminer leur résistance à la traction et leur allongement puis comparer les résultats aux normes britanniques, américaines et soudanaises (Taghried et al. 2017). Les échantillons ont été mesurés, pondérés puis testés et le pourcentage d'allongement calculé manuellement. Il en ressort que les échantillons testés pour les sept usines ont un diamètre effectif dans la plage autorisée fournie par les spécifications des normes britannique, américaine et soudanaise, à l'exception de 02 usines qui disposaient d'une réduction de près de 10% du nominal diamètre. Seuls les échantillons provenant de 2 usines respectent la masse standard. Enfin la limite d'élasticité et le pourcentage d'allongement spécifiés par les trois spécifications sont respectés par les sept usines pour les échantillons testés.

Dhoska et al ont mené des études en Albanie sur les aciers FeE400 de diamètre 8mm ; 10 mm, 12 mm, 14 mm et 16 mm, ces aciers ont été soumis à un essai de traction et les résultats ont été comparé aux exigences de la norme EN ISO 6892-1(Dhoska 2019). Deux échantillons par diamètre sont pris dans deux endroits différents de la zone d'étude et les résultats montrent que tous les échantillons sont conformes à la norme.

Patrick Che Bame et al ont mené une investigation sur la qualité des barres d'acier armé utilisées dans les chantiers de construction au Cameroun (Bame et al, 2023). En collectant des échantillons de diamètre 10, 12 et 14 mm sur divers sites et en les soumettant à des essais de traction et de flexion à l'aide d'une machine d'essai universelle, les auteurs ont évalué les écarts de qualité et vérifié la conformité aux propriétés mécaniques requises par l'annexe nationale camerounaise de l'Eurocode 2. Leurs résultats ont révélé que les barres d'armature sans marquage ne respectaient pas les exigences minimales, ce qui les a conduits à recommander l'emploi exclusif de barres d'acier marquées dans les constructions camerounaises

Ces expériences montrent que l'essai de traction offre une base standardisée pour comparer les propriétés mécaniques des aciers provenant de différents fournisseurs ou de différents lots de

production. Cela permet un contrôle de qualité efficace et garantit la cohérence des matériaux utilisés.

1.4.2 Analyse chimique

L'analyse chimique est un processus important pour garantir la qualité et la fiabilité des aciers. Elle permet de déterminer la composition exacte des éléments présents dans ceux-ci. Elle peut se faire par combustion (elle consiste à brûler l'échantillon et analyser les gaz produits), par spectrométrie de masse (consiste à utiliser un champ magnétique pour séparer les ions en fonction de leur masse et quantifier les éléments présents), par spectrométrie d'émission optique (consiste à utiliser la lumière pour exciter les atomes de l'acier et analyser la lumière émise pour quantifier les éléments présents).

Alabi et Onyeji ont travaillé sur l'étude comparative des barres d'acier produites localement (au Nigéria) avec les barres importées, et ont constaté à l'aide d'un spectromètre d'émission optique que les échantillons ont une teneur en carbone plus élevée que les normes britanniques. Sur la base de leurs résultats, les barres ont été recommandées à des fins de construction. De même, Tanimowo a examiné des barres d'acier de 12 mm utilisées à des fins de construction et a constaté que la teneur en carbone des tiges est supérieure aux normes BS4449, ASTM, AISI et IS. Les barres présentaient également une limite d'élasticité, une résistance à la traction et un pourcentage d'allongement élevés. Par conséquent, ces barres ont été recommandées à des fins de construction puisque les caractéristiques chimiques et mécaniques sont conformes aux normes. (Adeleke et Odusote 2013)

1.4.3 Analyse métallographique

C'est une technique qui permet d'examiner la microstructure interne des alliages. Cela permet d'observer la taille, la forme et la distribution des grains ainsi que la présence des défauts et d'autres caractéristiques microstructurales, permet d'examiner les surfaces de rupture et d'identifier les mécanismes de ruptures des aciers. Elle donne des informations essentielles pour comprendre les propriétés mécaniques et le comportement des aciers et se fait à l'aide d'un microscope électronique ou optique. (Tabalaiev, 2011 ; Ndiaye et al. 2008)

Chacune de ces méthodes contribue à analyser la qualité de l'acier et sont complémentaires (Balogun et al. 2009), toutefois elles ont des avantages et inconvénients.

Le Tableau 9 nous les présente.

Tableau 9: Analyse comparative des différentes méthodes

Méthode	Avantages	Inconvénients
Essais mécaniques	-Simples, rapides et peu coûteux, -Fournissent informations directes sur les propriétés mécaniques	-Destruction des échantillons, -Pas d'identification des défauts internes
Analyses chimiques	-Détermination précise de la composition chimique de l'acier, -Analyse possible sans destructions des échantillons	-Pas d'informations sur les propriétés mécaniques, -Plus coûteuses
Analyses métallographiques	-Informations précises sur la microstructure, -Identification des défauts internes, -Fournissent des informations précieuses sur les propriétés mécaniques et la résistance à la corrosion.	-Nécessité d'un équipement spécialisé et un personnel qualifié, -Procédure longue et coûteuse

I.5 Facteurs influençant la qualité de l'acier

Les facteurs qui influencent la qualité et les propriétés mécaniques des aciers sont non exhaustifs. Il y a entre autres la composition chimique des aciers, le chauffage et le refroidissement dans le processus de vitesse de laminage, l'analyse des essais de traction uni axiale de l'acier/ la tension uni axiale de l'essai de traction de l'acier, les erreurs artificielles et le traitement de surface.

I.6 Conclusion partielle

L'acier est un élément important dans la construction et analyser sa qualité est essentiel pour garantir la performance, la sécurité et la durabilité des structures en béton armé. Cette revue de littérature a permis de mettre en lumière les techniques d'analyse, les normes (celle qui seront utilisées dans ce travail) qui permettent de caractériser et contrôler les propriétés de l'acier, et enfin les facteurs influençant sa qualité. Un contrôle rigoureux de la qualité de l'acier est indispensable pour assurer la longévité des structures.

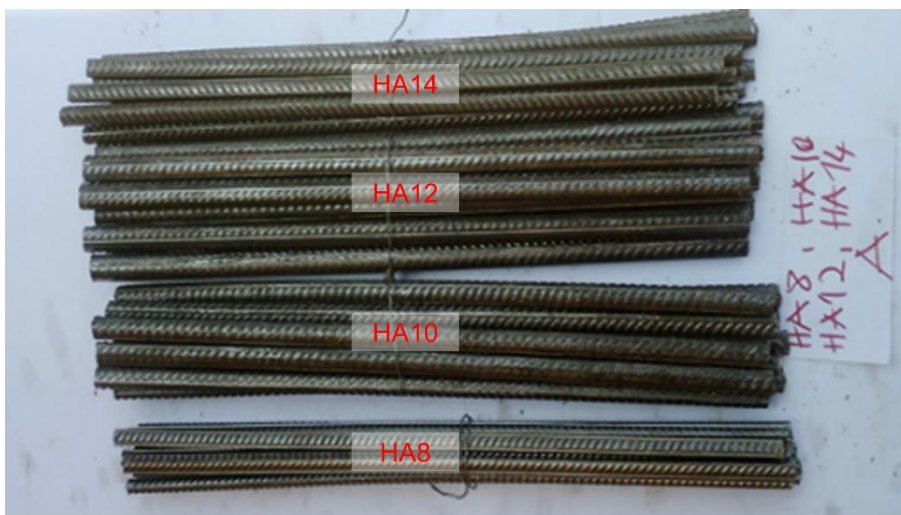
CHAPITRE II. MATERIELS ET METHODES

II.1 Introduction

Ce chapitre présente les matériaux, matériels et méthodes utilisées dans cette étude pour analyser la qualité des barres d'armature en acier les plus utilisées au Burkina Faso. Il illustre l'approche de la recherche en donnant une procédure étape par étape du travail impliqué depuis la sélection des échantillons jusqu'au test en passant par la préparation des échantillons.

II.2 Matériaux

Les matériaux soumis à ce travail sont des barres d'aciers de diamètre 8 mm, 10 mm, 12 mm et 14 mm pris chez 06 différents fournisseurs dont les aciers sont les plus utilisés au Burkina Faso. Les échantillons sont présentés sur la Figure 5. Trois barres de 12m par diamètre ont été utilisées pour faire l'analyse.



Fournisseur A



Fournisseur B



Fournisseur C



Fournisseur D

Figure 5 : Aciers soumis à l'analyse

Les aciers de diamètre 10 mm et 12 mm ont été pris sur le marché car ils sont d'après les commerçants très utilisés. Ils sont présentés sur la Figure 6.



Figure 6: Aciers des fournisseurs E et F

06 échantillons de 50 cm ont été prélevés par barre pour être testés. Au total 310 échantillons ont été analysés.

II.3 Matériels

Le matériel principal de l'étude est la machine qui permet de faire les essais de traction. Elle est appelée **machine à traction**. Celle utilisée dans notre cas de figure pour les tests est **la presse électromécanique 3R** (voir Figure 7). Elle est utilisée pour mesurer les propriétés mécaniques des matériaux métalliques tels que la résistance à la traction, la limite d'élasticité, l'allongement, la dureté.

La machine est composée de plusieurs parties :

Le cadre : c'est la structure de base de la machine, qui soutient toutes les autres parties.

Les mâchoires de serrage : ce sont des éléments qui maintiennent fermement les deux extrémités de l'échantillon d'acier pour empêcher tout mouvement pendant le test. Les mâchoires sont conçues pour s'adapter à différentes tailles et formes d'échantillons.

Les capteurs de force ayant une charge de 300 kN : ils mesurent la force appliquée à l'échantillon.

Les capteurs de déplacement : ils mesurent l'allongement de l'échantillon pendant le test. Ces capteurs sont des traverses.

L'unité de contrôle et d'affichage : c'est la partie de la machine qui permet de régler les paramètres de test tels que la vitesse de déplacement, la limite de chargement. Elle affiche également les résultats du test en temps réel, tels que la force appliquée, le déplacement, etc.

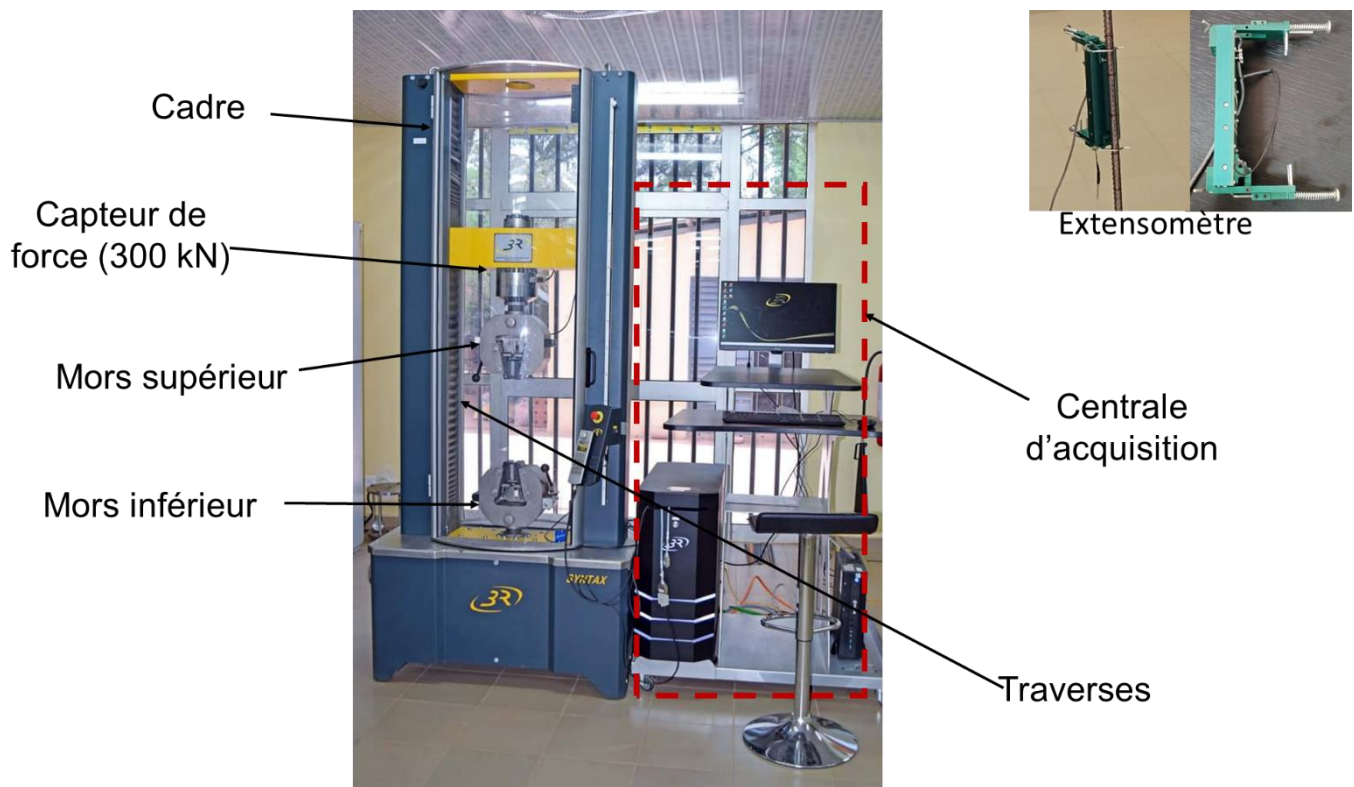


Figure 7 : Machine à traction (presse universelle électromécanique 3R)

II.4 Méthode

II.4.1 Caractérisation visuelle

Chaque barre d'acier a été inspectée visuellement, afin d'évaluer plusieurs paramètres. Comme indiqué dans les normes (NBF et NF), Les paramètres incluent la marque ou identifiant l'usine, la désignation du produit (dimensions nominales, désignation de l'acier FeE500 ou FeE400, la référence de la norme, la description de la forme du produit), la référence ou moyen d'identification du lot. Ainsi que le nombre de chant de verrous et la disposition des verrous.

II.4.2 Caractérisation de forme

Il s'agit principalement des espacements entre les verrous et la hauteur des verrous.

L'espacement et la hauteur des verrous des barres échantillonnées ont été mesurés du centre à l'autre de certaines côtes sélectionnées à l'aide d'un pied à coulisse. Pour chaque éprouvette, l'espacement et la hauteur des verrous ont été mesurés à trois endroits différents. Et la moyenne des mesures recueillies a été considérée pour l'analyse.

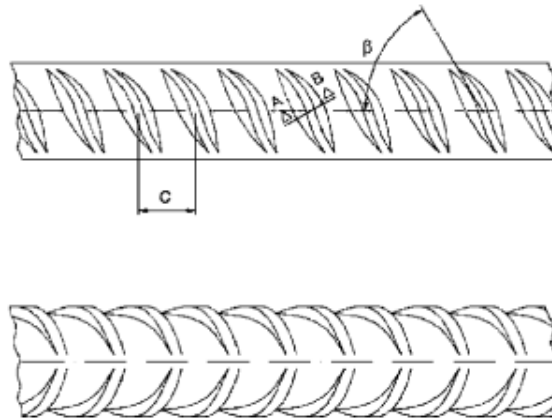


Figure 8 : Caractéristiques de forme-aciers à deux verrous

II.4.3 Caractérisation physique et mécaniques

Les caractéristiques physiques sont la masse linéique et le diamètre ; les caractéristiques mécaniques sont la limite d'élasticité, le module d'élasticité, la résistance de traction maximale et l'allongement.

II.4.3.1 Caractérisation physique

Avant l'essai de traction, chaque échantillon est pesé à l'aide d'une balance à précision, puis sa longueur est mesurée avec une règle graduée de 50 cm. Avec ces deux paramètres la masse linéique est obtenue en faisant le rapport de la masse sur la longueur. Ensuite le diamètre est mesuré 03 fois tout le long de la barre et la moyenne obtenue est considérée comme diamètre réel.



(a)

L'échantillon pesé



(b)

Mesure de la longueur



(c)

Mésure du diamètre

Figure 9: Caractérisation physique des aciers

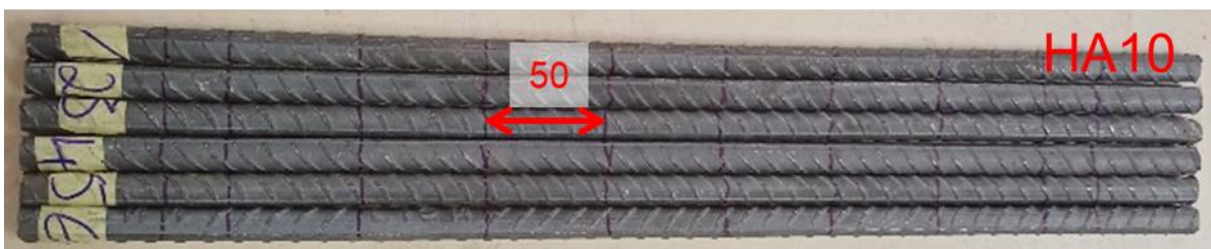
La masse linéique est donnée par la formule $m_L = \frac{\text{masse}}{\text{longueur}}$ (1)

II.4.3.2 Caractérisation mécanique

Après avoir déterminé les caractéristiques physiques et placé l'identifiant de chaque échantillon de l'acier, il faut placer les repères L_0 sur chacun (voir **Figure 10**). L_0 est une longueur entre les marques de la longueur totale de l'échantillon. Cette longueur est obtenue par la formule :

$$L_0 = 5,65 \sqrt{S_0} \quad (2)$$

Avec S_0 : la section initiale de l'échantillon.

**Figure 10: Échantillons avant l'essai**

L'essai de traction consiste à soumettre une éprouvette à une déformation due à une force de traction, généralement jusqu'à sa rupture, pour déterminer plusieurs des caractéristiques mécaniques qui sont la limite d'élasticité, la charge de rupture, l'allongement à la rupture, le module d'élasticité.

Trois conditions préalables sont importantes pour réaliser l'essai. Premièrement le système de mesure de force doit être réglé à zéro. Une fois que le zéro en force a été réglé, le système de mesure de force ne peut être modifié d'aucune façon pendant l'essai ; Ensuite les échantillons doivent être maintenus dans les mors de la machine ; Et enfin la vitesse d'essai doit être vérifiée. La vitesse d'essai est un paramètre très important car elle peut influencer les résultats de l'essai, notamment la résistance à la traction et l'allongement à la rupture du matériau testé. Il existe la méthode A (A1, A2) fondée sur le contrôle de la vitesse de déformation de l'acier et la méthode B fondée sur la vitesse de mise en charge ; les vitesses d'essai sont aux choix du laboratoire d'essai. La presse soumise aux analyses a été programmée avec la méthode A2 car elle est destinée à minimiser les variations de vitesse au moment où les paramètres sensibles sont déterminés lors de l'essai ainsi donne les résultats avec plus de précision. Cette méthode sera détaillée en annexe I (ISO 6892-1 2019). Un logiciel permettant d'extraire automatiquement les données d'essai de traction et les analyser est utilisé lors des essais.

Pendant l'essai, l'échantillon est soigneusement installé dans la machine d'essai, en veillant à ce qu'il soit correctement aligné et bien serré.

L'essai commence en appliquant une pré-charge de 10 MPa à l'échantillon avec une vitesse de 0,0067s. ; Après la pré-charge l'extensomètre est placé pour mesurer la déformation élastique de l'échantillon. À la fin de la phase élastique, la machine va signaler qu'il faut enlever l'extensomètre. Lorsqu'il est enlevé l'essai continu, la charge appliquée à l'éprouvette continue de croître jusqu'à ce qu'il y ait rupture. Extraire l'éprouvette rompue de la machine, mesurer sa longueur et rentrer sa valeur dans la machine.

Après l'essai les données sont enregistrées automatiquement et doivent être analysés conformément aux spécifications de la norme pour déterminer les propriétés mécaniques de l'échantillon. La Figure 11 donne une illustration des barres après réalisation des différents essais annoncés.



Figure 11: Échantillons après essai

CHAPITRE III. RESULTATS ET DISCUSSION

III.1 Introduction

Les essais menés lors de cette étude ont permis d'obtenir des résultats qui seront exposés en détail dans ce chapitre. Une fois présentés, ces résultats feront l'objet d'une analyse approfondie et d'une discussion afin d'évaluer la qualité des aciers étudiés.

III.2 Résultats

III.2.1 Évaluation visuelle

De façon générale, sur tous les aciers sont marqués les dimensions nominales et la marque de l'usine excepté un diamètre de 10 mm qui est sans identifiant ; Cependant tous les autres paramètres ne figurent pas sur les différents aciers prélevés. Pas de nuance marquée sur les barres d'aciers de tous les fournisseurs.

Une différence est marquée au niveau de la couleur des aciers des différents fournisseurs. On retrouve des aciers ayant une couleur grise claire brillante (fournisseur A), couleur grise pas brillante (fournisseur C et E) couleur gris foncée (fournisseur B) et couleur grise très foncée tendant au noir (fournisseur D et F).

La norme burkinabé apporte plus d'informations afin de déterminer visuellement la nuance de l'acier à travers la disposition des verrous. L'annexe II donne les nuances de l'acier. Dans la suite, l'essai de traction donnera la nuance exacte de chaque barre.

L'observation de la rupture de l'échantillon après l'essai de traction fournit des informations sur ses propriétés mécaniques et son comportement. L'évaluation visuelle de la surface de rupture permet d'identifier le type de rupture ainsi donne une idée sur la ductilité de l'échantillon (annexe III).

III.2.2 Caractéristiques de forme

Le Tableau 10 présente les résultats des caractéristiques de forme des 04 diamètres (HA8, HA10, HA12 et HA14) des différents fournisseurs.

Tableau 10 : Résultats caractéristiques de forme

Fournisseur		A		B		C		D	
		Espace ment entre verrous [mm]	Hauteur des verrous [mm]	Espace ment entre verrous [mm]	Hauteur des verrous [mm]	Espace entre verrous [mm]	Hauteur des verrous [mm]	Espace entre verrous [mm]	Hauteur des verrous [mm]
HA8	Barre 1	3,00	1,09	3,95	1,04	2,27	0,90	4,49	0,93
	Barre 2	2,67	1,02	3,97	0,98	2,90	0,86	4,37	0,92
	Barre 3	2,75	0,88	4,12	1,18	2,75	0,91	4,30	0,95
	Moyenne	2,80	1,00	4,01	1,07	2,64	0,89	4,39	0,93
HA10	Barre 1	3,46	0,92	4,49	1,05	3,48	1,03	3,99	1,22
	Barre 2	3,73	0,98	4,53	1,26	3,20	0,99	4,08	1,47
	Barre 3	2,93	0,91	4,42	1,24	2,32	0,87	4,39	1,50
	Moyenne	3,37	0,93	4,48	1,18	3,00	0,96	4,15	1,40
HA12	Barre 1	2,69	1,14	5,19	1,44	4,24	1,19	8,18	1,94
	Barre 2	3,36	1,31	5,45	1,31	4,08	1,27	8,06	1,96
	Barre 3	3,37	1,24	4,50	1,30	3,91	1,17	8,06	1,34
	Moyenne	3,14	1,23	5,05	1,35	4,08	1,21	8,10	1,75
HA14	Barre 1	3,53	1,11	8,30	1,65	4,93	1,27	8,43	1,86
	Barre 2	4,38	1,27	8,30	1,76	4,74	1,16	8,15	1,78
	Barre 3	4,73	1,12	5,98	2,16	5,24	1,43	8,22	1,70
	Moyenne	4,21	1,17	7,53	1,85	4,97	1,29	8,27	1,78

III.2.3 Caractéristiques physiques et mécaniques

Pour chaque diamètre 06 échantillons ont été testés par barre et la valeur représentée est la moyenne des 06 essais.

III.2.3.1 Fournisseur A

La Figure 12 présente les courbes de traction respectives des diamètres du fournisseur A.

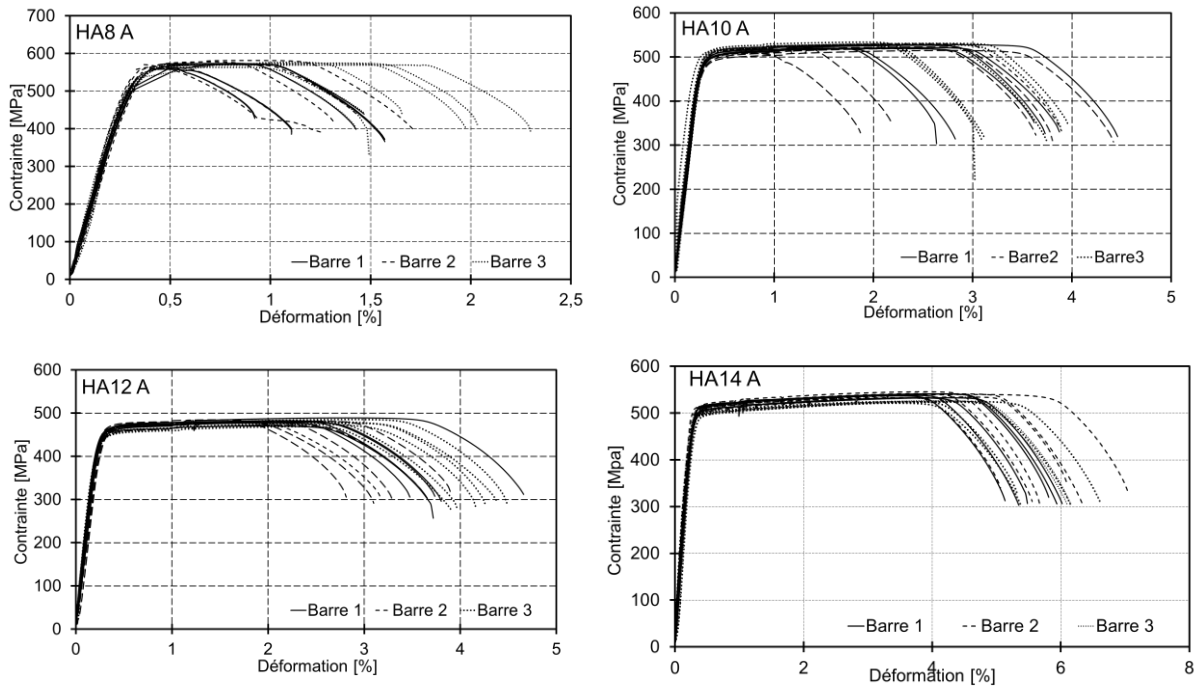


Figure 12 : Courbe de traction des aciers du fournisseur A

Le Tableau 11 résume les résultats des essais, incluant, les caractéristiques géométriques, la limite d'élasticité, la résistance maximale le ratio R_m/R_{Eh} et l'allongement.

Tableau 11 : Résultats des essais du fournisseur A

		Paramètres géométriques		Paramètres mécaniques					
		Masse linéaire [kg/m]	Diamètre mesuré [mm]	R_{eh} [Mpa]	R_m [Mpa]	Ratio R_m/R_{eh}	Module de Young [Gpa]	A_{gt} [%]	A_t [%]
HA8	Barre 1	0,366	7,55	563	571	1,01	190	0,6	1,3
	Barre 2	0,365	7,39	566	573	1,01	195	0,6	1,3
	Barre 3	0,373	7,43	563	570	1,01	207	1,3	2,0
	Moyenne	0,368	7,45	564	571	1,01	197	0,9	1,5
	Écart type	0,004	0,07	1,36	1,38	0,00	7,11	0,33	0,33
	CoV [%]	1,02	0,90	0,24	0,24	0,06	3,60	38,34	22,15
HA10	Barre 1	0,584	9,57	505	522	1,03	189	2,2	3,5
	Barre 2	0,584	9,76	504	520	1,03	196	2,0	3,3
	Barre 3	0,581	9,56	516	529	1,03	201	2,2	3,5
	Moyenne	0,583	9,63	508	524	1,03	195	2,1	3,4

	Écart type	0,001	0,09	5,60	3,85	0,00	4,85	0,08	0,09
	CoV [%]	0,23	0,98	1,10	0,73	0,39	2,49	3,96	2,72
HA12	Barre 1	0,838	11,24	466	480	1,03	195	2,2	4,7
	Barre 2	0,839	11,53	467	479	1,03	190	1,9	3,3
	Barre 3	0,854	11,37	461	478	1,04	196	2,5	4,2
	Moyenne	0,844	11,38	465	479	1,03	194	2,2	4,1
	Écart type	0,01	0,12	2,71	0,90	0,00	2,26	0,27	0,56
	CoV [%]	0,88	1,07	0,58	0,19	0,47	1,17	12,26	13,74
HA14	Barre 1	1,152	13,23	511	537	1,05	184	3,8	5,6
	Barre 2	1,150	13,48	512	539	1,05	199	4,1	6,0
	Barre 3	1,154	13,34	498	525	1,05	203	4,0	6,0
	Moyenne	1,152	13,35	507	534	1,05	195	4,0	5,9
	Écart type	0,002	0,10	6,56	6,53	0,00	8,14	0,10	0,16
	CoV [%]	0,14	0,78	1,29	1,22	0,13	4,17	2,49	2,82

De prime abord le constat fait est que les aciers du fournisseur A sont des FeE500 et ses courbes sont semblables à ceux des aciers écrouis.

III.2.3.2 Fournisseur B

La Figure 13 montre les courbes de traction respectives des diamètres du fournisseur B.

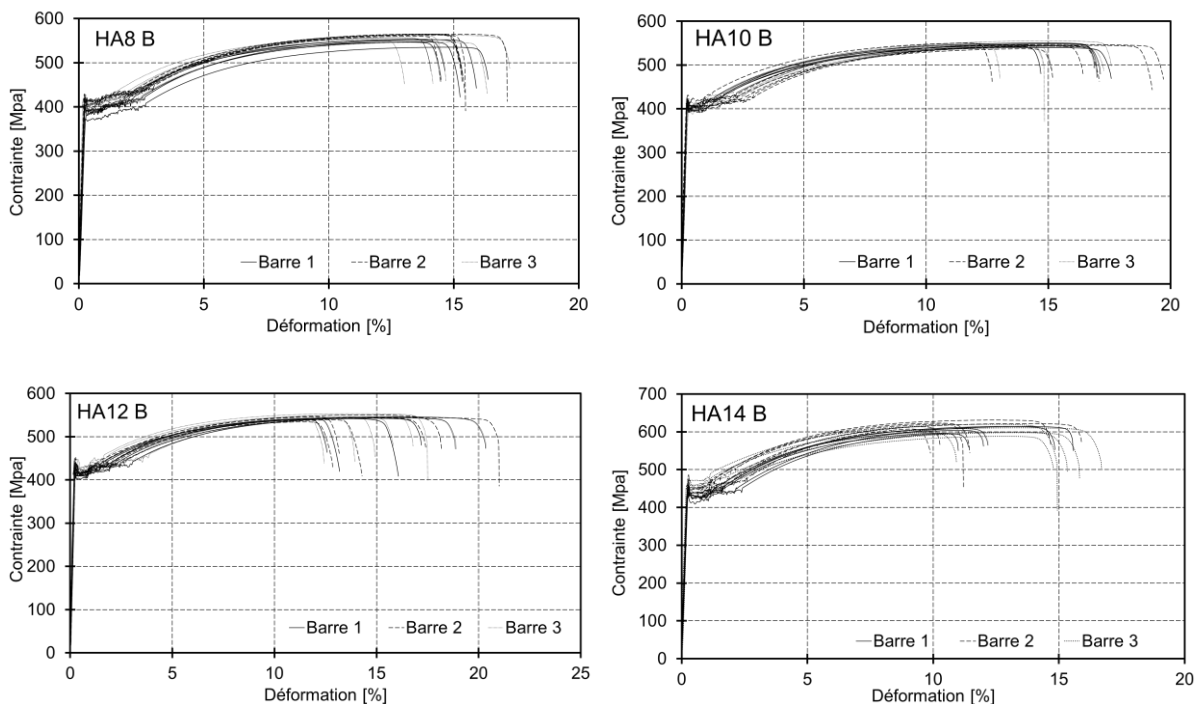


Figure 13: Courbe de traction des aciers du fournisseur B

Le Tableau 12 présente les données obtenues lors des essais notamment la masse linéique, le diamètre, la limite d'élasticité, la résistance maximale, le ratio R_m/R_{Eh} , le module d'élasticité et l'allongement.

Tableau 12 : Résultats des essais du fournisseur B

		Paramètres physiques		Paramètres mécaniques					
		Masse linéaire [kg/m]	Diamètre mesuré [mm]	Reh [MPa]	Rm [MPa]	Ratio R_m/R_{Eh}	Module de Young [GPa]	Agt [%]	At [%]
HA8	Barre 1	0,366	7,34	386	548	1,42	186	13,7	15,3
	Barre 2	0,370	7,32	414	564	1,36	182	13,8	15,5
	Barre 3	0,367	7,33	403	556	1,38	191	13,0	14,9
	Moyenne	0,367	7,33	401	556	1,39	186	13,5	15,3
	Écart type	0,00	0,01	11,15	6,53	0,02	3,91	0,35	0,25
	CoV [%]	0,46	0,09	2,78	1,17	1,63	2,10	2,56	1,64
HA10	Barre 1	0,579	9,26	405	546	1,35	199	14,5	16,6
	Barre 2	0,580	9,28	401	544	1,36	199	14,6	16,7
	Barre 3	0,582	9,22	404	548	1,36	192	13,6	15,5
	Moyenne	0,580	9,25	403	546	1,35	197	14,3	16,3
	Écart type	0,001	0,03	1,59	1,55	0,00	3,37	0,44	0,58
	CoV [%]	0,24	0,27	0,40	0,28	0,37	1,71	3,06	3,54
HA12	Barre 1	0,857	11,16	411	543	1,32	207	13,8	16,4
	Barre 2	0,847	11,05	416	543	1,31	193	13,5	16,1
	Barre 3	0,850	11,05	424	547	1,29	200	13,3	15,2
	Moyenne	0,851	11,09	417	544	1,31	200	13,5	15,9
	Écart type	0,004	0,05	5,17	2,04	0,01	5,57	0,19	0,50
	CoV [%]	0,46	0,46	1,24	0,37	0,91	2,79	1,43	3,11
HA14	Barre 1	1,165	13,26	426	605	1,42	186	11,5	12,8
	Barre 2	1,173	13,25	443	620	1,40	197	10,9	12,2
	Barre 3	1,191	13,19	453	602	1,33	203	12,4	14,7
	Moyenne	1,176	13,23	441	609	1,38	195	11,6	13,3
	Écart type	0,01	0,03	10,91	7,47	0,04	7,08	0,62	1,07

CoV [%]	0,91	0,22	2,48	1,23	2,76	3,63	5,35	8,07
---------	------	------	------	------	------	------	------	------

De prime abord le constat fait est que les aciers du fournisseur B sont des FeE400 et ses courbes présentent un plateau plastique ; ses aciers peuvent être considérés comme étant naturel et doux.

III.2.3.3 Fournisseur C

Les courbes de traction respectives sont les suivantes (voir Figure 14)

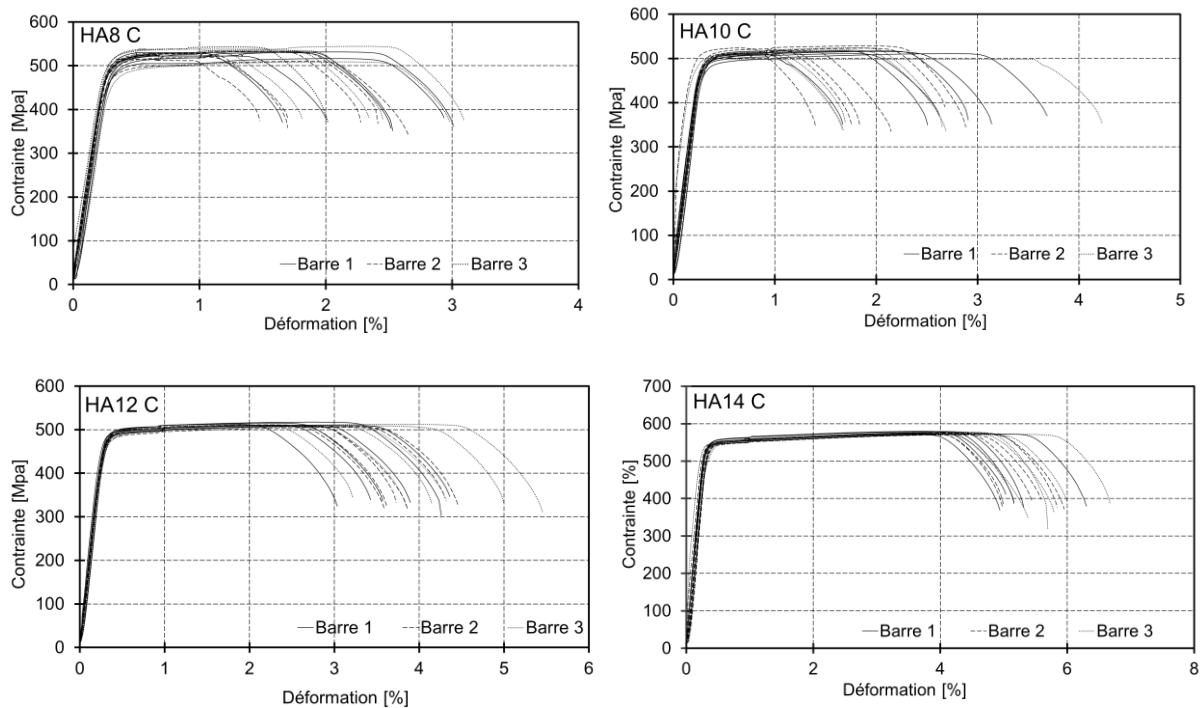


Figure 14: Courbe de traction des aciers du fournisseur C

Le Tableau 13 résume les résultats des essais du fournisseur C

Tableau 13 : Résultats des essais du fournisseur C

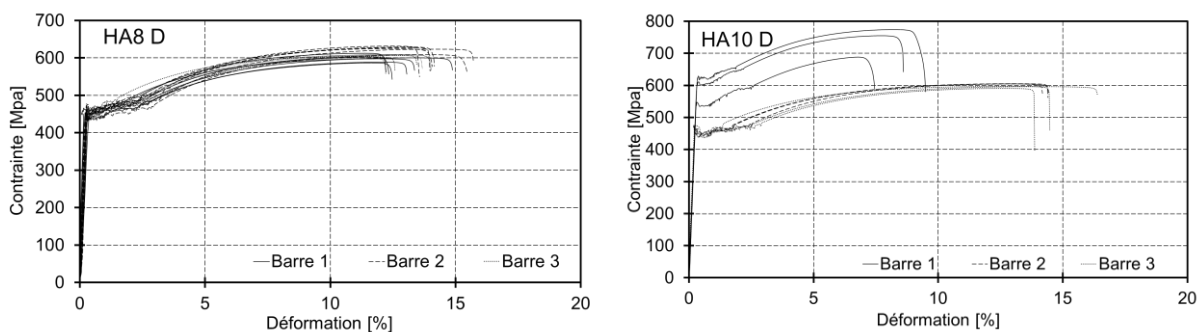
		Paramètres physiques		Paramètres mécaniques					
		Masse linéaire [kg/m]	Diamètre mesuré [mm]	ReH [MPa]	Rm [MPa]	Ratio Rm/Reh	Module de Young [GPa]	Agt [%]	At [%]
HA8	Barre 1	0,370	7,46	515	527	1,02	193	1,2	2,0
	Barre 2	0,371	7,46	514	523	1,02	191	1,2	2,0
	Barre 3	0,370	7,48	520	531	1,02	189	1,5	2,2
	Moyenne	0,371	7,47	517	527	1,02	191	1,3	2,1

	Écart type	0,000	0,01	2,77	3,25	0,002	1,53	0,15	0,10
	CoV [%]	0,11	0,13	0,54	0,62	0,23	0,80	11,36	4,86
HA10	Barre 1	0,580	9,27	499	514	1,03	191	1,8	2,75
	Barre 2	0,570	9,26	511	522	1,02	189	1,3	2,12
	Barre 3	0,570	9,25	508	515	1,01	189	1,1	1,93
	Moyenne	0,573	9,26	506	517	1,02	190	1,4	2,27
	Écart type	0,004	0,01	4,97	3,52	0,01	0,85	0,31	0,35
	CoV [%]	0,78	0,10	0,98	0,68	0,65	0,45	21,85	15,50
HA12	Barre 1	0,822	11,29	497	513	1,03	187	2,5	3,76
	Barre 2	0,823	11,33	492	509	1,03	190	2,6	3,93
	Barre 3	0,822	11,33	492	510	1,04	191	2,8	4,33
	Moyenne	0,822	11,32	493	510	1,03	189	2,6	4,00
	Écart type	0,000	0,02	2,46	1,50	0,002	1,86	0,15	0,24
	CoV [%]	0,06	0,18	0,50	0,29	0,24	0,98	5,56	5,99
HA14	Barre 1	1,153	13,54	552	577	1,04	198	4,0	5,35
	Barre 2	1,152	13,50	548	574	1,05	205	4,0	5,47
	Barre 3	1,151	13,49	547	574	1,05	193	4,3	5,78
	Moyenne	1,152	13,51	549	575	1,05	199	4,1	5,53
	Écart type	0,001	0,02	2,22	1,46	0,002	4,99	0,12	0,18
	CoV [%]	0,05	0,15	0,41	0,25	0,17	2,51	2,92	3,31

Les aciers du fournisseur C sont des FeE500 et ses courbes sont semblables à ceux des aciers écrouis.

III.2.3.4 Fournisseur D

Les courbes du fournisseur D sont présentées dans la Figure 15.



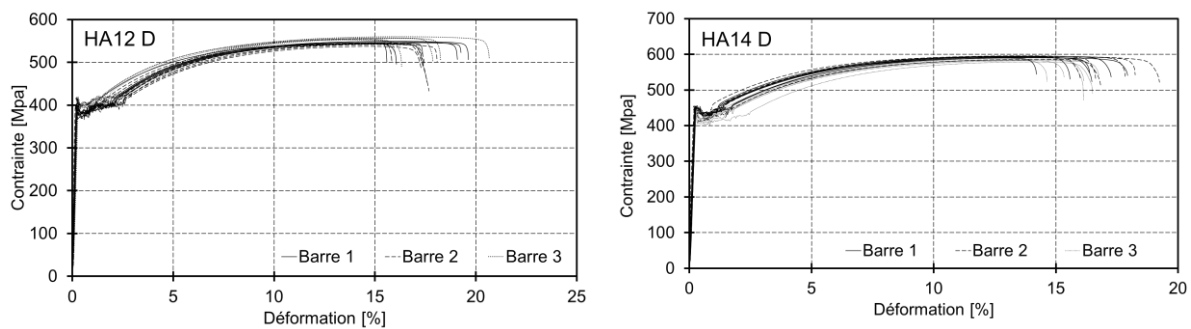


Figure 15: Courbe de traction des aciers du fournisseur D

Le Tableau 14 résume les résultats des essais du fournisseur D

Tableau 14 : Résultats des essais du fournisseur D

	Paramètres physiques		Paramètres Mécaniques						
	Masse linéaire [kg/m]	Diamètre mesuré [mm]	Reh [MPa]	Rm [MPa]	Ratio Rm/Reh	Module de Young [GPa]	Agt [%]	At [%]	
HA8	Barre 1	0,365	7,55	449	598	1,33	193	11,9	13,1
	Barre 2	0,386	7,59	454	624	1,38	191	13,1	14,5
	Barre 3	0,365	7,50	459	606	1,32	196	12,1	13,3
	Moyenne	0,372	7,54	454	610	1,34	193	12,4	13,6
	Écart type	0,01	0,04	3,89	10,91	0,02	2,29	0,54	0,62
	CoV [%]	2,75	0,51	0,86	1,79	1,75	1,19	4,35	4,57
HA10	Barre 1	0,601	9,08	587	739	1,26	193	7,6	8,5
	Barre 2	0,576	8,96	448	605	1,35	198	12,9	14,3
	Barre 3	0,576	8,97	449	595	1,32	202	13,0	14,9
	Moyenne	0,584	9,00	495	646	1,31	198	11,1	12,6
	Écart type	0,01	0,05	65,17	65,85	0,04	3,62	2,52	2,89
	CoV [%]	2,02	0,58	13,18	10,19	2,89	1,83	22,58	22,94
HA12	Barre 1	0,836	11,40	379	547	1,44	205	15,2	17,8
	Barre 2	0,824	11,33	380	543	1,43	204	15,0	17,3
	Barre 3	0,834	11,39	400	556	1,39	197	14,9	17,5
	Moyenne	0,831	11,37	387	548	1,42	202	15,0	17,6
	Écart type	0,01	0,03	9,57	5,49	0,02	3,56	0,12	0,21

	CoV [%]	0,61	0,26	2,47	1,00	1,56	1,76	0,81	1,19
HA14	Barre 1	1,142	13,44	437	593	1,36	203	13,8	17,5
	Barre 2	1,150	13,44	437	593	1,36	203	13,8	17,5
	Barre 3	1,152	13,50	418	584	1,40	194	13,7	15,9
	Moyenne	1,148	13,46	431	590	1,37	200	13,8	16,9
	Écart type	0,004	0,03	9,16	4,35	0,02	4,23	0,03	0,73
	CoV [%]	0,37	0,22	2,13	0,74	1,39	2,12	0,20	4,30

Les aciers du fournisseur D sont des FeE400 et ses courbes présentent un plateau plastique ; ses aciers peuvent être considérés comme étant naturel et doux.

III.2.3.5 Fournisseur E

Une seule barre segmentée en six échantillons de diamètre 10 et 12mm a été testé. Les résultats obtenus sont contenus dans le tableau. Les valeurs dans le Tableau 15 sont la moyenne des échantillons pris par barre.

Les courbes de traction des deux diamètres sont les suivantes (Figure 16) :

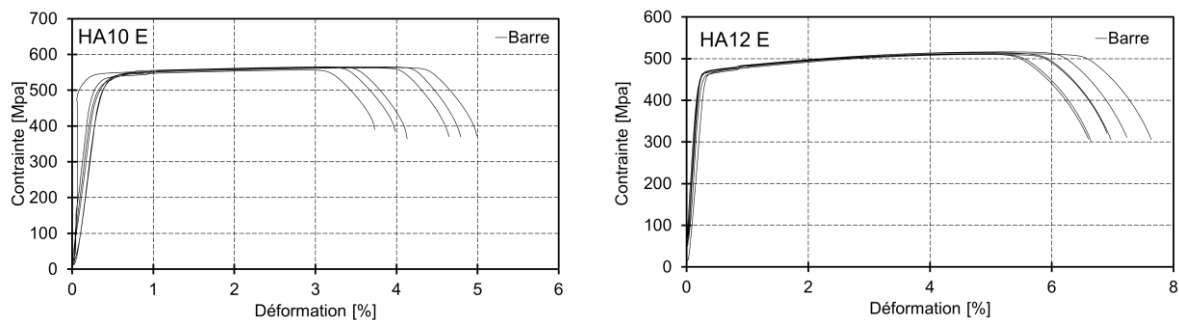


Figure 16: Courbe de traction des aciers du fournisseur E

Le Tableau 15 présente les résultats obtenus à travers les courbes ci-dessus.

Tableau 15 : Résultats des essais du fournisseur E

	Paramètres géométriques		Paramètres mécaniques					
	Masse linéaire [kg/m]	Diamètre mesuré [mm]	ReH [MPa]	Rm [MPa]	Ratio Rm/Reh	Module de Young [GPa]	Agt [%]	At [%]
HA10	0,539	9,24	538	563	1,05	179	3,3	4,4
HA12	0,846	11,23	469	513	1,09	236	4,9	7,0

Les aciers du fournisseur E sont des FeE500 et ses courbes sont semblables à ceux des aciers écrouis.

III.2.3.6 Fournisseur F

Seuls des aciers de diamètre 10 mm ont été testé. Les résultats et les courbes de traction des aciers du fournisseur F sont dans le Tableau 16 et la Figure 17 .

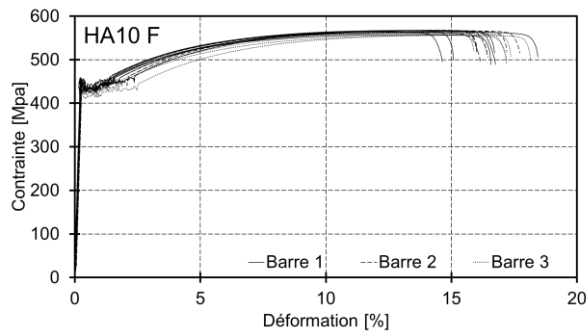


Figure 17: Courbe de traction des aciers du fournisseur F

Tableau 16 : Résultats des essais du fournisseur F

HA10	Paramètres physiques		Paramètres mécaniques					
	Masse linéique [kg/m]	Diamètre mesuré [mm]	ReH [MPa]	Rm [MPa]	Ratio Rm/Reh	Module de Young [GPa]	Agt [%]	At [%]
Barre 1	0,593	9,29	434	564	1,30	211	13,4	16,4
Barre 2	0,598	9,29	436	567	1,30	199	13,8	16,6
Barre 3	0,595	9,21	425	560	1,31	198	14,3	17,0
Moyenne	0,595	9,26	432	564	1,30	203	13,8	16,7
Écart type	0,002	0,04	4,75	2,69	0,01	5,66	0,36	0,28
CoV [%]	0,35	0,41	1,10	0,48	0,64	2,79	2,60	1,66

Les aciers du fournisseur F sont des FeE400 et ses courbes sont semblables à ceux des aciers naturels doux.

III.3 Analyse et discussion des résultats

D'après la norme NF EN 10080-2005, l'analyse des aciers doit se faire par diamètre nominale.

III.3.1 Caractéristique de forme

Les critères de hauteur et d'espacement des nervures/verrous sont analysés conformément aux normes française et burkinabé (NF-EN-10080 2005; NBF 02-009_2009 2009; NBF 02-011_2009 2009) pour toutes les barres d'acier d'armature des fournisseurs soumis à cette étude. Les Tableau 7 et Tableau 8 présentent les exigences des deux normes concernant ces caractéristiques (l'espacement des verrous variant de $0,4d$ à $1,2d$ et la hauteur des verrous de $0,03d$ à $0,15d$; d étant le diamètre de la barre d'acier).

Les aciers de diamètre 8 mm de tous les fournisseurs ont des hauteurs de verrous conformes aux deux normes. Tandis qu'aucun espacement des différents fournisseurs ne respecte la norme burkinabé ; et les espacements des fournisseurs B et D sont conformes à la norme française.

Les hauteurs de verrous des aciers de 10 mm de tous les fournisseurs sont conformes aux exigences des deux normes (hauteur compris entre 0,3mm et 1,5mm). En revanche, les espacements ne satisfont pas à la norme burkinabé (espacement compris entre 5,5 mm et 7,5 mm), tandis que les fournisseurs B et D respectent celui de la norme française (compris entre 4 mm et 12 mm).

Les aciers de 12 mm présentent des hauteurs de verrous conformes aux deux normes pour tous les fournisseurs. Seuls les espacements du fournisseur D (8,10 mm) satisfont à la norme burkinabé, tandis que les fournisseurs B et D respectent les exigences de la norme française en matière d'espacement (compris entre 4,8 mm et 14,4 mm).

En ce qui concerne les HA14, les hauteurs des verrous satisfont aux exigences des deux normes pour tous les fournisseurs. Cependant, seuls les fournisseurs B et D présentent des espacements conformes aux deux normes.

En somme toutes les barres d'aciers testés ont des hauteurs des verrous conformes aux deux normes. Les espacements quant à eux ne sont pas respectés de façon générale ; seuls les fournisseurs B et D sont des aciers conformes à la norme française. L'espacement entre les nervures des aciers HA est un facteur crucial pour garantir l'adhérence, la durabilité et la performance des structures en béton armé.

III.3.2 Masse linéique et Diamètre

Dans la norme française NF EN 10080-2005, l'écart de diamètre n'est pas spécifiée mais l'Eurocode 2 (FEBELCEM. 2017) et plusieurs articles [(Bame et al. 2023) ; (Kouakou et al.

2020)] montrent que le diamètre a un écart admissible qui est de $\pm 6\%$ pour les HA8 et de $\pm 4,5\%$ pour les autres diamètres.

III.3.2.1 Les barres d'acier HA8

La Figure 18 présente les valeurs de masse linéique et de diamètre mesurées pour chaque barre de 8 mm, ainsi que les moyennes calculées pour les trois barres de chaque fournisseur.

La valeur inférieure admissible de diamètre pour les HA8 est de **7,52 mm**.

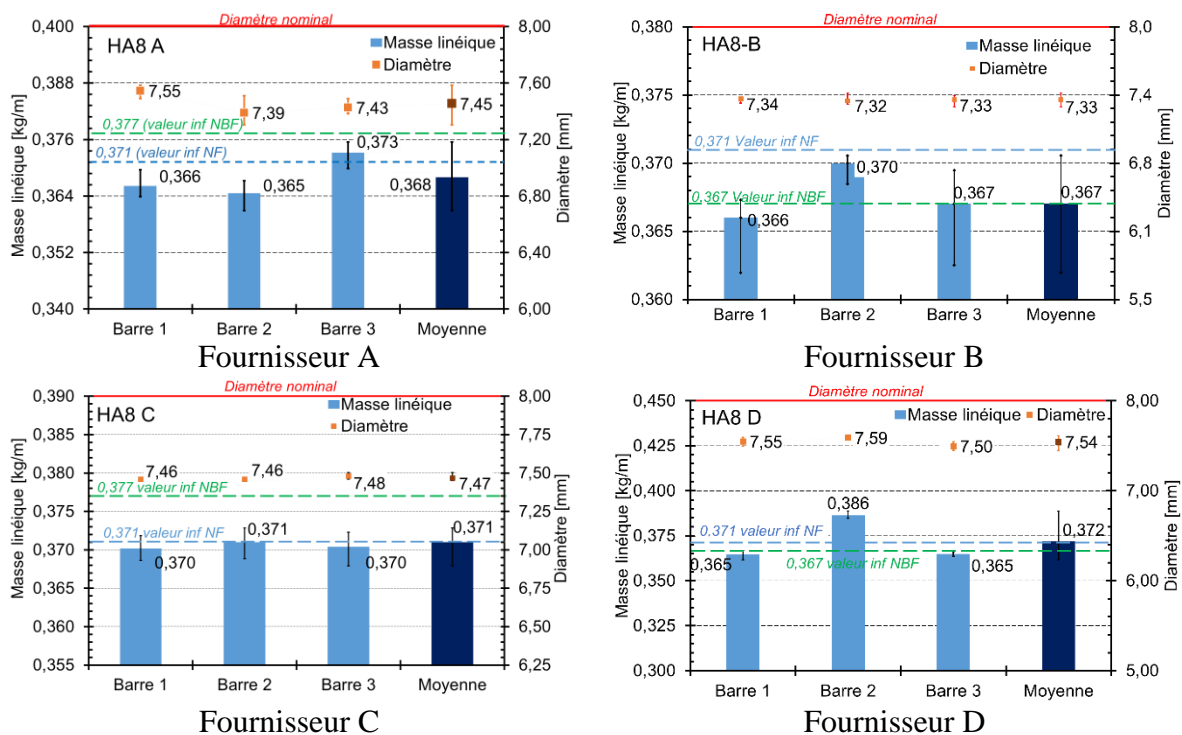


Figure 18: Masse linéique et diamètre des HA8

Les HA8 du **fournisseur D** ont un diamètre moyen de 7,54 mm, ils sont **conformes**. Tandis que les diamètres des autres fournisseurs (A, B et C) ne sont pas conformes car ils sont inférieurs à 7,52 mm. Le **pourcentage de conformité** de diamètre des HA8 est de **25%**.

D'après la norme française, l'écart de masse linéique est de $\pm 6\%$ pour les HA8 donc sa limite inférieure admissible est de 0,371 kg/m. Les masses linéiques des HA8 des **fournisseurs A et B** n'atteignent pas cette valeur, sont donc **non conformes**. Les HA8 des **fournisseurs C et D** sont considérés **conformes**, malgré que leurs masses linéiques (0,371 kg/m pour C et 0,372 kg/m pour D) soient très limite.

La norme burkinabé définit les écarts de masse linéique en fonction de la nuance de l'acier ; comme présenté dans les résultats ci-dessus les aciers des fournisseurs A et C sont des FeE500

donc l'écart de masse est de $\pm 4,5\%$ soit la valeur inférieure de 0,377 kg/m. Les aciers des fournisseurs B et D sont des FeE400 donc l'écart de masse est de $\pm 7\%$ soit la valeur inférieure égale à 0,367 kg/m. Il en ressort que les HA8 du **fournisseur A et C ne sont pas conformes à la norme burkinabé** tandis que les HA8 des **fournisseurs B et D sont bien conformes**.

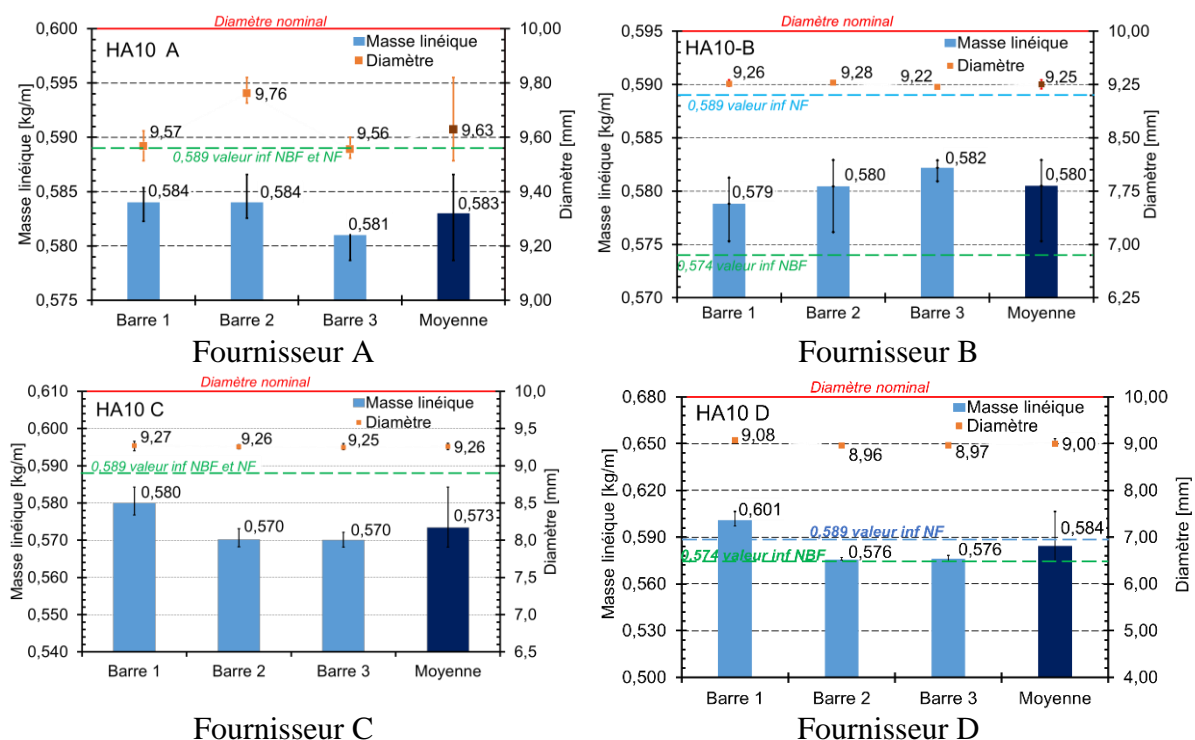
Parmi les barres des fournisseurs A et D, une seule barre a une masse linéique supérieure aux autres ceci est dû au fait qu'elle n'appartient pas au même lot que les autres barres. Une hétérogénéité entre les barres est observée. L'analyse de la qualité des aciers de ces fournisseurs a été faite en considérant la moyenne des trois barres malgré la différence de lot.

Seulement 25% des HA8 soumis à l'analyse respectent la norme française et la norme burkinabé pour la masse linéique. Les aciers analysés sont une représentation des aciers sur le territoire burkinabé, par ricochet il est possible d'affirmer que **seulement 25% des HA8** utilisés au Burkina Faso **respectent** la norme française et burkinabé pour la masse linéique.

III.3.2.2 Les barres d'acier HA10

La Figure 19 illustre les valeurs de masse linéique et de diamètre mesurées pour chaque barre de 10 mm testée, ainsi que les moyennes calculées pour les trois barres de chaque fournisseur.

L'écart de diamètre est égal à $\pm 4,5\%$ pour les HA10 soit la valeur inférieure admissible de **9,55 mm**.



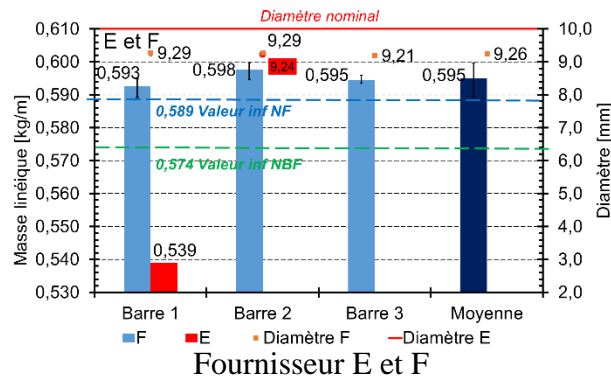


Figure 19: Masse linéique et diamètre des HA10

Les HA10 du **fournisseur A** respectent la norme avec un diamètre moyen de 9,63 mm. En revanche les HA10 des autres fournisseurs (B, C, D, E et F) ne sont pas conformes car leur diamètre est inférieur au minimum requis de 9,55 mm. La conformité des HA10 à la norme pour le diamètre est de **18,75%**.

La norme française impose un écart de masse linéique de $\pm 4,5\%$ pour les HA10, ce qui signifie que la masse minimale admissible est de 0,589 kg/m. Seuls les HA10 du **fournisseur F** sont **conformes** à la norme française avec une masse linéique de 0,595 kg/m. Par contre les HA10 des autres fournisseurs ne sont pas conformes (A, B, C, D et E) car leurs masses linéiques sont inférieures à la masse minimale donnée par la norme.

La norme burkinabé établit les écarts de masse linéique distincts pour les aciers FeE400 et FeE500. Comme présenté dans les résultats, les aciers des fournisseurs A, C et E sont des FeE500 donc l'écart de masse est de $\pm 4,5\%$ soit la valeur inférieure est de 0,589 kg/m. Les aciers des fournisseurs B, D et F sont des FeE400 donc l'écart de masse est de $\pm 7\%$ soit la valeur inférieure égale à 0,574 kg/m. Les **fournisseurs B, D et F répondent aux exigences** de la norme avec leur moyenne respective de 0,580 kg/m ; 0,584 kg/m et 0,595 kg/m. Tandis que les HA10 **des fournisseurs A, C et E ne sont pas conformes**.

La conformité des HA10 à la norme française est de 25% et à la norme burkinabé de 56,25% pour la masse linéique.

III.3.2.3 Les barres d'acier HA12

La Figure 20 présente les valeurs de masse linéique et de diamètre mesurées pour chaque barre de 12 mm. Pour chaque fournisseur, les moyennes calculées pour les trois barres sont présentées ainsi que les exigences des deux normes utilisées concernant ces paramètres.

L'écart de diamètre est égal à $\pm 4,5\%$ pour les HA12 soit la valeur inférieure admissible de **11,46 mm**.

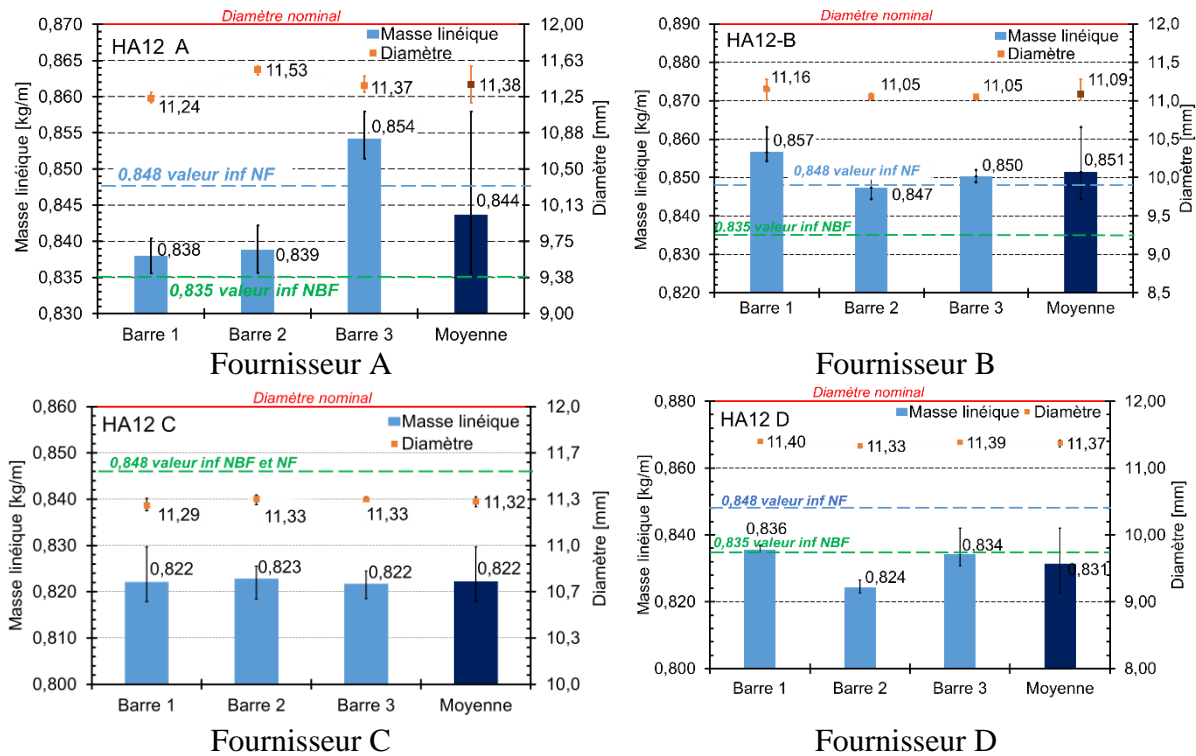


Figure 20: Masse linéique et diamètre des HA12

La seule barre de diamètre 12 du fournisseur E testé a une masse linéique de 0,846 kg/m et un diamètre de 11,23 mm.

Les HA12 de **tous les fournisseurs ne sont pas conformes**. Tous les diamètres moyens sont inférieurs à 11,46 mm. Une seule barre du fournisseur A a un diamètre supérieur à 11,46 mm mais la moyenne du diamètre des aciers du fournisseur n'atteint pas la limite inférieure donc sont non conformes. Le pourcentage de conformité des HA12 en termes de diamètre est de **7,7%**.

La norme française exige une masse linéique minimale de 0,848 kg/m pour les HA12, correspondant à un écart de $\pm 4,5\%$. Seul le **fournisseur B respecte la norme** avec une masse linéique de 0,851 kg/m. Les HA12 des autres fournisseurs (A, C, D et E) ne sont pas conformes car leurs masses linéiques sont inférieures à la limite autorisée.

La norme burkinabé fixe les écarts de masse linéique en fonction de la nuance de l'acier ; d'après les résultats, les aciers des fournisseurs C et E sont des FeE500 donc l'écart de masse est de $\pm 4,5\%$ soit la valeur inférieure est de 0,848 kg/m. Les aciers des fournisseurs A, B et D sont des FeE400 donc l'écart de masse est de $\pm 6\%$ soit la valeur inférieure égale à 0,835 kg/m.

Il en ressort que seul les HA12 des **fournisseurs A et B respectent la norme** avec une masse linéique de 0,844 kg/m et 0,851 kg/m. Les HA12 des autres fournisseurs (C, D et E) ne sont pas conformes à la norme burkinabé car leur masse linéique est inférieure au minimum requis.

La conformité des HA12 à la norme française est de 23,08% et à la norme burkinabé de 53,85% pour la masse linéique.

III.3.2.4 Les barres d'acier HA14

La Figure 21 illustre les valeurs de masse linéique et de diamètre mesurés pour chaque barre de 14 mm provenant des différents fournisseurs. Les moyennes calculées pour les trois barres de chaque fournisseur sont présentées. L'écart de diamètre est égal à $\pm 4,5\%$ pour les HA14 soit la valeur inférieure admissible est de **13,37 mm**.

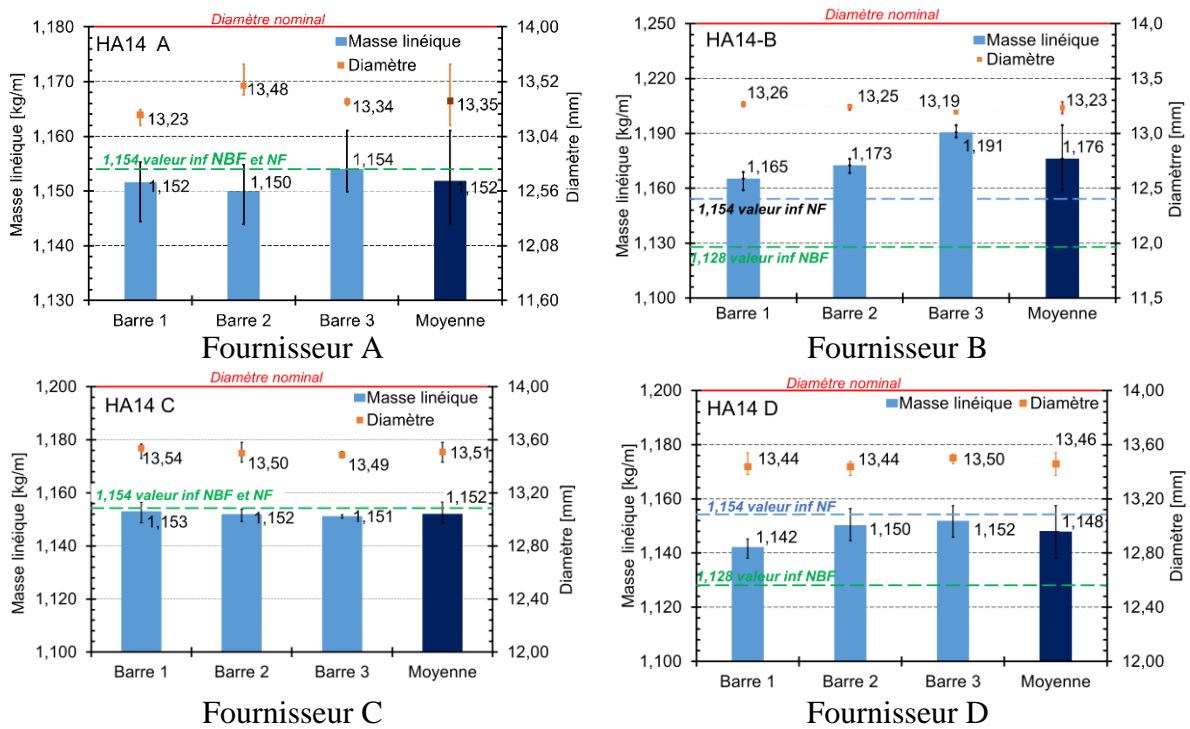


Figure 21 : Masse linéique et diamètre des HA14

Les HA14 du **fournisseur C et D** ont un diamètre moyen de 13,51 mm et 13,46mm, ils sont **conformes**. Tandis que les diamètres des autres fournisseurs A et B ne sont pas conformes car ils sont inférieurs à 13,37 mm. Le **pourcentage de conformité** de diamètre des HA14 est de **58,33%**.

La norme française impose écart relatif de $\pm 4,5\%$ sur la masse linéique des HA14, la masse minimale est de 1,154 kg/m. Seuls les HA14 du **fournisseur B respectent la norme** avec une

valeur moyenne de 1,176 kg/. Les autres fournisseurs A, C et D sont non conformes car ils présentent des masses linéiques inférieures au minimum requis.

La norme burkinabé établit des écarts de masse linéique distincts pour les aciers FeE500 et FeE400. Les aciers FeE500 (fournisseurs A et C) tolèrent un écart de $\pm 4,5\%$ (valeur minimale : 1,154 kg/m), tandis que les aciers FeE400 (fournisseurs B et D) admettent un écart de $\pm 6\%$ (valeur minimale : 1,128 kg/m). Il en ressort que les HA14 des fournisseurs B et D sont **conformes** contrairement à ceux des fournisseurs A et C qui ne le sont pas.

La conformité des HA14 à la norme française est de 33,3% et à la norme burkinabé de 58,33% pour la masse linéique.

III.3.3 Résistance en traction et module d'élasticité

III.3.3.1 Les barres d'acier HA8

La Figure 22 présente la résistance à la limite d'élasticité et à la charge maximale de chaque barre de diamètre 8 mm ainsi que leur module d'élasticité respectif.

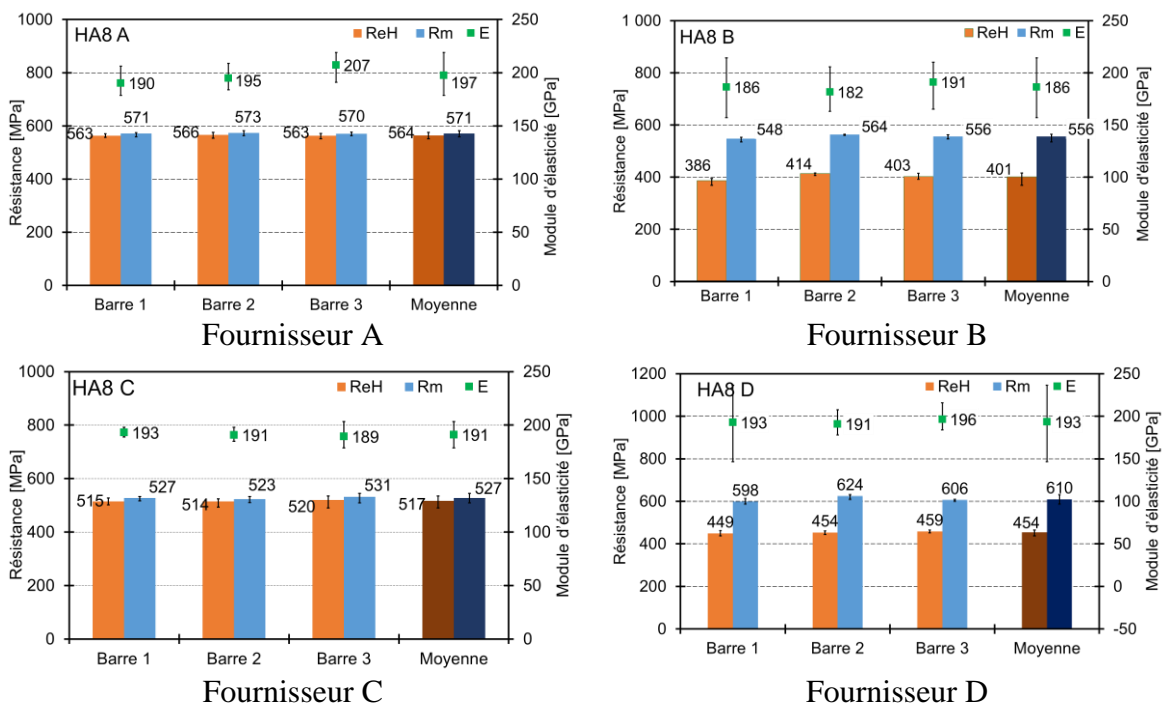


Figure 22: Résistance en traction et module d'élasticité des HA8

Les aciers de diamètre 8mm des fournisseurs A et C sont des FeE500 et les fournisseurs B et D sont des FeE400. Une barre du fournisseur D a une limite d'élasticité égale à 386 MPa. D'après la norme française elle n'appartient pas aux aciers de nuance 400 MPa ; mais pour la norme burkinabé elle est conforme car sa limite d'élasticité est supérieure à 380 MPa. Toutefois les

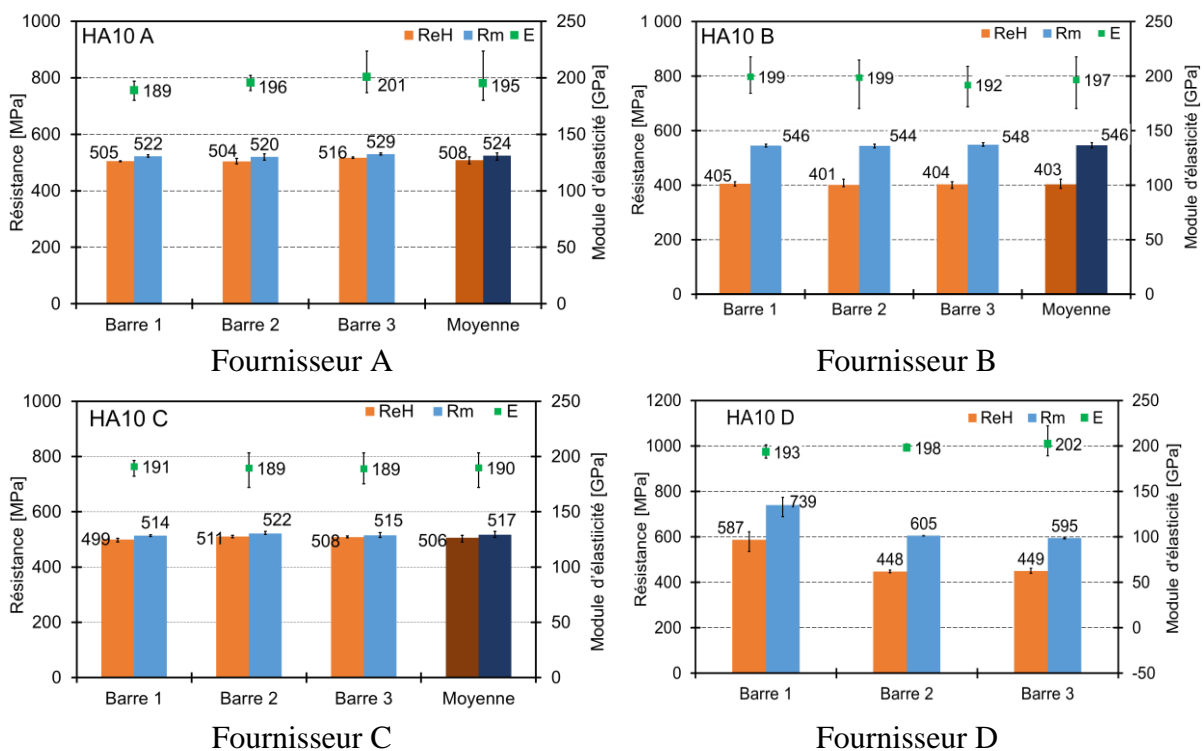
aciers du fournisseur B sont des FeE400, comme la moyenne des trois barres est égale à 401 MPa.

La norme burkinabé catégorise les aciers de nuance 500 MPa par rapport au ratio R_m/ReH et à l’allongement à la charge maximale. Le ratio des HA8 des **fournisseurs A et C** est de 1,02 ; ils sont donc des **FeE500-2**. Cependant ils n’appartiennent pas à une classe de ductilité car le rapport est inférieur à la valeur admissible de la plus petite classe (classe A) qui est de 1,05(Comité Euro-International 1990). Quant aux **fournisseurs B et D** ils sont des **FeE400**, leur ratio est égal respectivement à 1,39 et 1,34 ; leurs HA8 présentent une grande ductilité à cause de ce ratio élevé et sont de **classe C**.

La variation du module d’élasticité des HA8 est inférieure à 10%. Toutefois les aciers du fournisseur A présentent le meilleur module (197 GPa).

III.3.3.2 Les barres d’acier HA10

La Figure 23 illustre les valeurs de la résistance à la limite d’élasticité et à la charge maximale de chaque barre de 10 mm testés, ainsi que leur module d’élasticité.



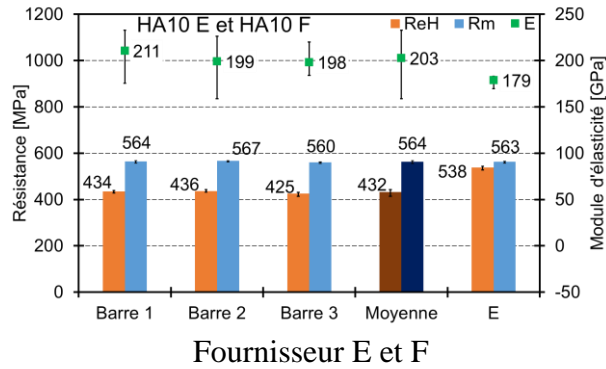


Figure 23 : Résistance en traction et module d'élasticité des HA10

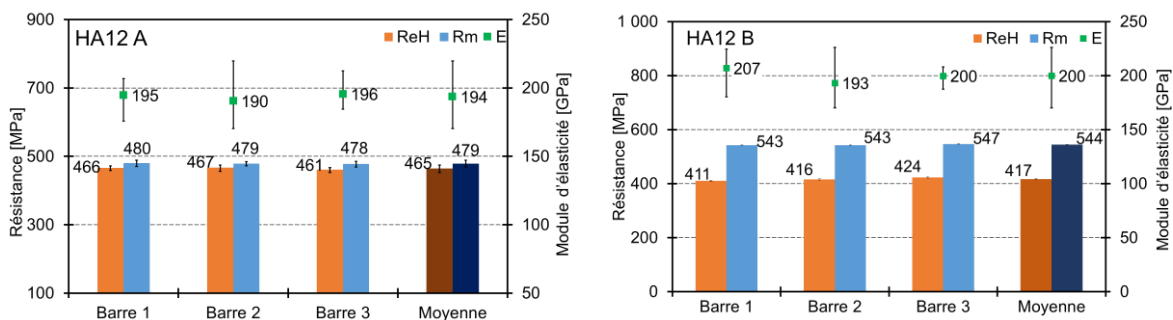
Les HA10 des fournisseurs A, C et E sont des FeE500-2 ou FeE500-3 car le ratio est compris entre 1,02 et 1,05 ; l'allongement moyen des différents aciers permettra de les classer avec exactitude. Les HA10 du **fournisseur E** sont de **classe A** car son ratio est égal à 1,05 par contre ceux du fournisseur A et C ne peuvent être classés (leur ratio est très faible).

Les HA10 des fournisseurs **B et F** sont des **FeE400** ; ils présentent une grande ductilité à cause de leur ratio élevé (1,35 ; 1,31 et 1,31) et sont de **classe C**. La première barre du fournisseur D a une limite d'élasticité de 587 MPa pourtant les autres sont 448 MPa et 449 MPa. Cette barre est prise dans un autre lot ; il est à noter que les HA10 du fournisseur D avaient été pris dans un chantier. Il est donc probable que cette barre fasse partie d'une commande spéciale ; Une autre explication serait que le fournisseur D fabrique des HA10 de nuance 500. Étant donné que deux barres sur trois ont une limite d'élasticité de 449 MPa alors les aciers du fournisseur D seront classés dans les FeE400.

Le module d'élasticité des HA10 de tous les fournisseurs varie de moins de 5% et se rapproche de la norme qui est de 200 GPa ; Excepté celui du fournisseur E qui est de 179 GPa.

III.3.3.3 Les barres d'acier HA12

La Figure 24 présente la résistance à la limite d'élasticité et à la charge maximale de chaque barre de diamètre 12 mm ainsi que leur module d'élasticité respectif.



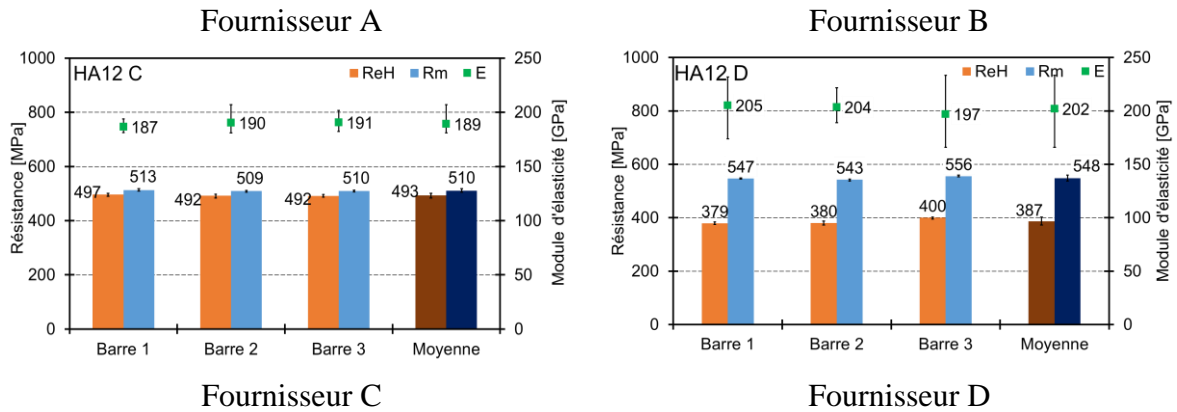


Figure 24 : Résistance en traction et module d'élasticité des HA12

La seule barre de diamètre 12 mm du fournisseur testé a une limite d'élasticité de 469 MPa, la résistance en traction 513 MPa et un module d'élasticité de 236GPa.

Tous les HA12 sont des FeE400 excepté ceux du fournisseur D qui sont inférieurs (sa limite d'élasticité est inférieure à 400 MPa). D'après la norme française tous les fournisseurs A, B, C et E fabriquent des HA12 de nuance 400 MPa ; tandis que les HA12 du fournisseur D ne sont pas conformes.

D'après la norme burkinabé ; si la limite d'élasticité d'un échantillon est entre 475MPa et 600 MPa alors il appartient au FeE500. Donc les HA12 du fournisseur C sont des FeE500. De même si la limite d'un échantillon est entre 380 MPa et 475 MPa alors il appartient au FeE400 ; donc les HA12 des fournisseurs A, B, D et E sont des FeE500 avec les limites d'élasticités égales respectivement à 465 MPa, 417 MPa, 387 MPa et 469 MPa.

De façon générale, les HA12 de tous les fournisseurs ont des limites d'élasticités inférieur aux autres diamètres, ils ont du mal à atteindre la nuance réglementée pourtant ce diamètre est plus utilisé pour les constructions au Burkina Faso. Concernant le fournisseur A tous ses aciers sont des FeE500 mais seuls ceux du diamètre 12 ont une nuance de 400 MPa. La résistance souhaitée n'aurait donc pas été atteint (ce qui est très probable vu que la résistance moyenne est de 466 MPa, une valeur se rapprochant fortement de 500 MPa) ; l'autre explication serait que fournisseur A fabrique les HA12 de nuance 400 MPa.

III.3.3.4 Les barres d'acier HA14

La

Figure 25 présente la résistance à la limite d'élasticité et à la charge maximale de chaque barre de diamètre 14 mm ainsi que leur module d'élasticité respectif.

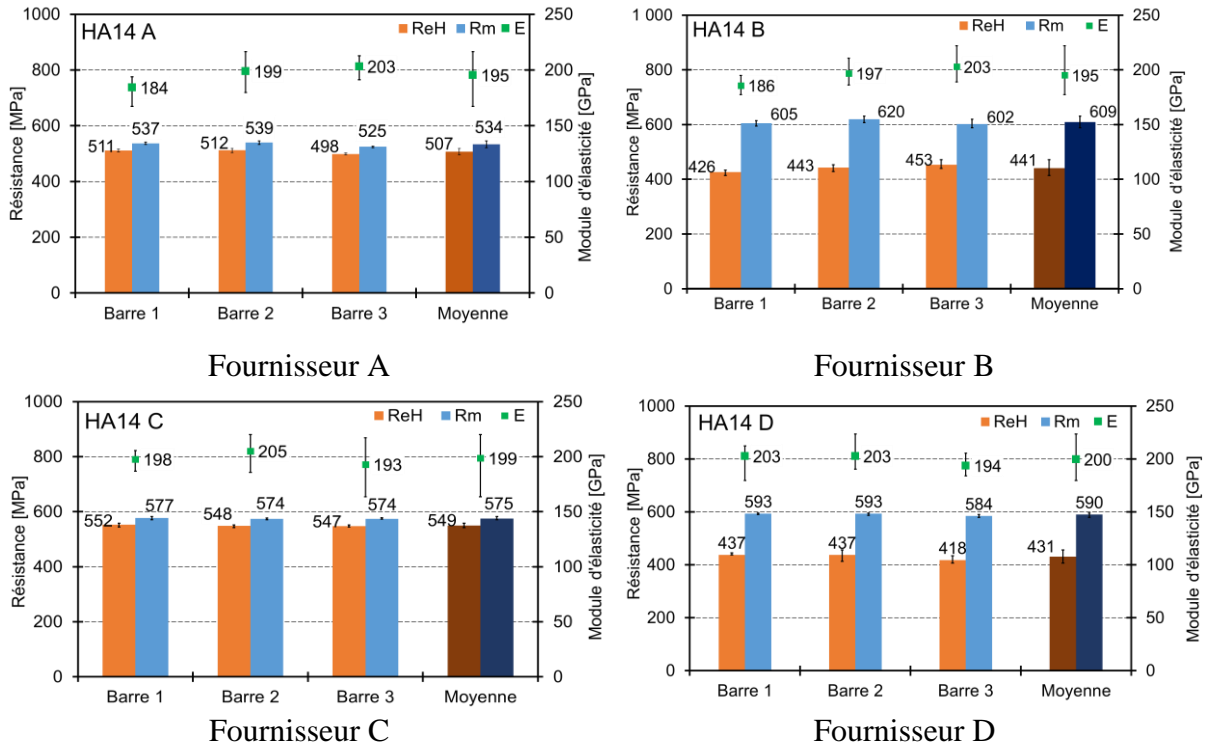


Figure 25 : Résistance en traction et module d'élasticité des HA14

Les HA14 des fournisseurs A et C ne peuvent être classés avec certitude comme FeE500-2 ou FeE500-3 car leur ratio R_m/ReH est de 1,05 et se situe à la limite entre ces deux catégories. L'allongement moyen des aciers est nécessaire pour une classification précise. De plus, leur placement dans la famille des aciers de classe A est incompatible avec leur utilisation au Burkina Faso (pour la construction de cadres), donc exclut leur appartenance à cette classe.

Les HA14 des fournisseurs B et D quant à eux sont des Fe400 ; ils présentent une grande ductilité à cause de leur ratio élevé (1,38 et 1,37) et sont de classe C.

Pour tous les fournisseurs (A, B, C et D), les HA14 présentent un module d'élasticité proche de la norme qui est de 200 GPa, avec des variations inférieures à 3%.

III.3.4 Allongement

III.3.4.1 Les barres d'acier HA8

La Figure 26 présente l'allongement à la charge maximale et l'allongement de chaque barre de diamètre 8 mm.

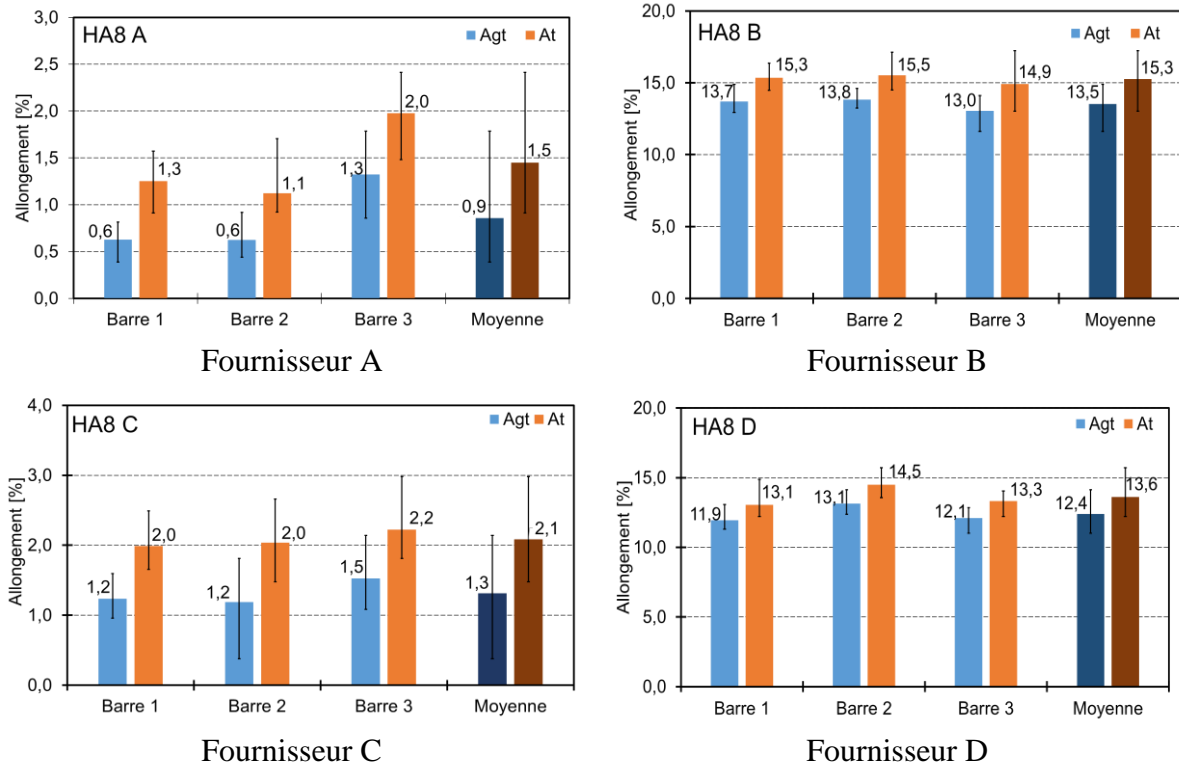


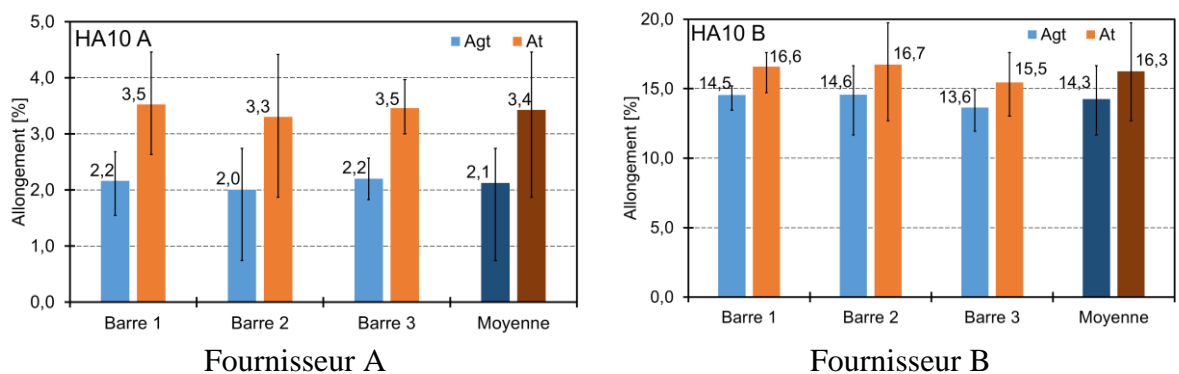
Figure 26 : Allongement des HA8

Les allongements à la charge maximale des fournisseurs **B et D** sont supérieurs à 2% donc **sont conformes** à la norme burkinabé. Quant aux autres fournisseurs (**A et C**), ils ne sont pas **conformes** à cette norme.

Seuls les HA8 du **fournisseur B** sont **conformes à la norme française** car leur allongement total est supérieur à 14%. Et les autres ne sont pas conformes.

III.3.4.2 Les barres d'acier HA10

La Figure 27 illustre l'allongement à la charge maximale et l'allongement total de chaque barre de diamètre 10 mm.



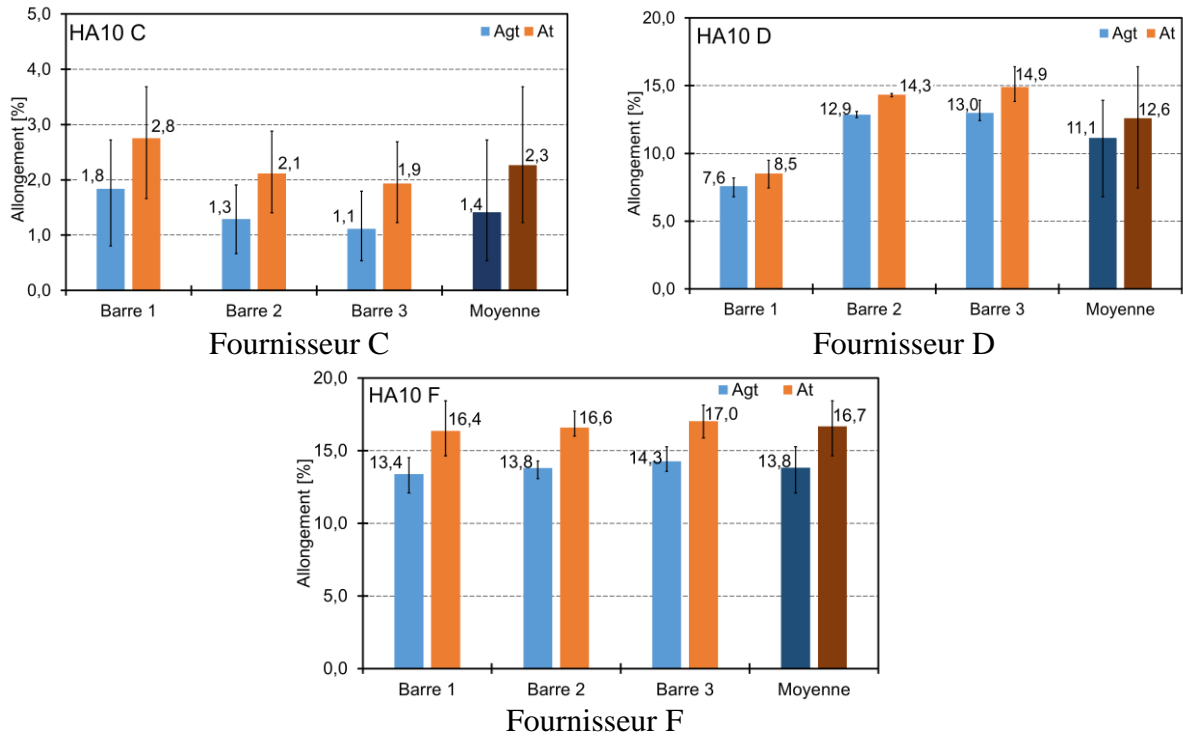


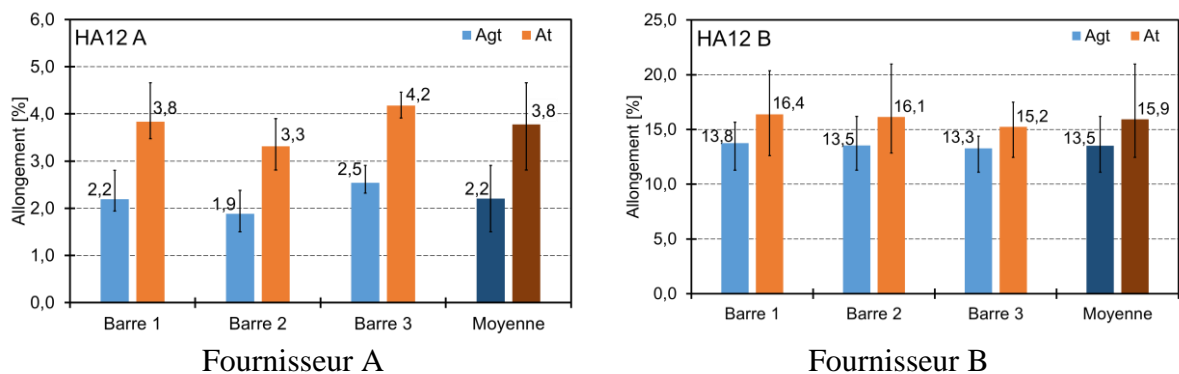
Figure 27 : Allongement des HA10

Les allongements à la charge maximale de **tous les fournisseurs** sont supérieurs à 2% **excepté** ceux du fournisseur **C** donc **sont conformes** à la norme burkinabé.

Seul les HA10 des **fournisseurs B et D** sont **conformes à la norme française** car leur allongement total dépasse 14%. Et les autres ne sont pas conformes.

III.3.4.3 Les barres d'acier HA12

La Figure 28 présente l'allongement à la charge maximale et l'allongement total de chaque barre de diamètre 12 mm.



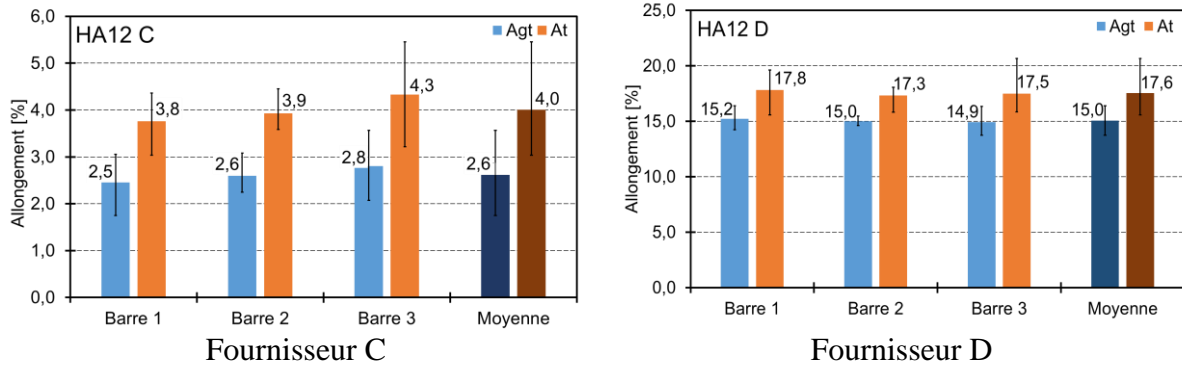


Figure 28 : Allongement des HA12

Tous les allongements des HA12 sont conformes à la norme burkinabé car leurs allongements sont supérieurs à 2%. Quant à la norme française, seul les HA12 des fournisseurs B et D sont conformes.

III.3.4.4 Les barres d'acier HA14

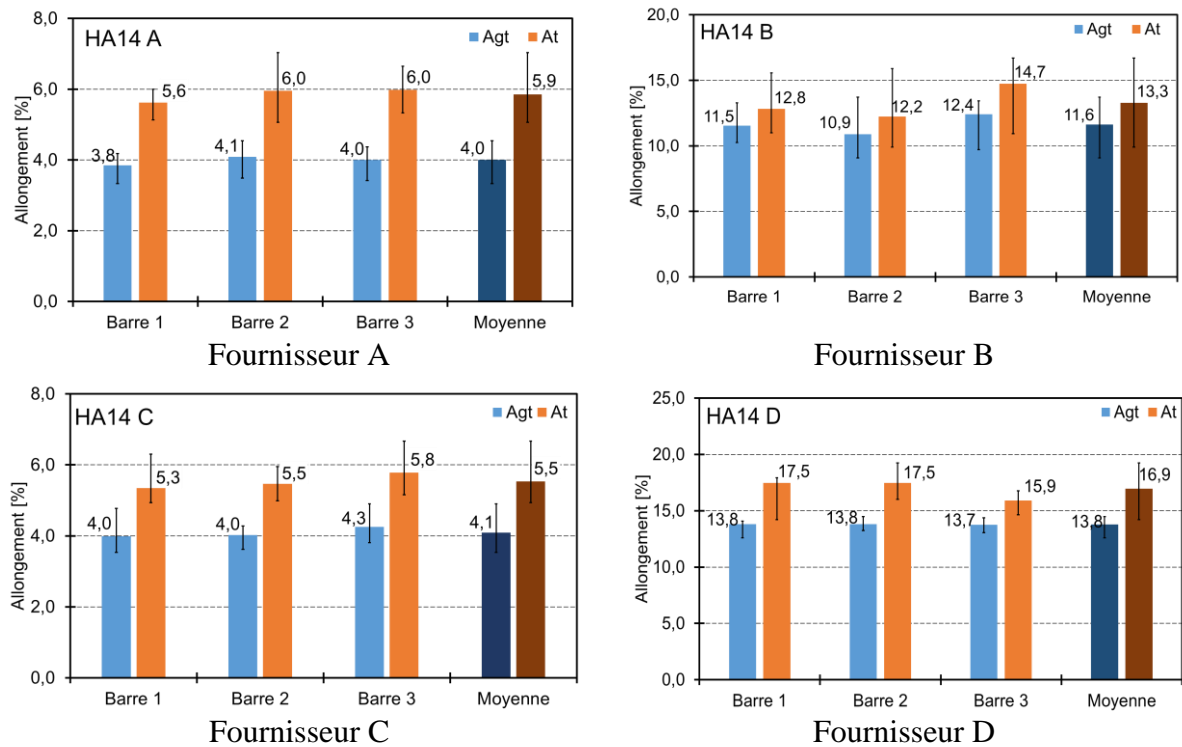


Figure 29 : Allongement des HA14

En ce qui concerne l'allongement des HA14 (Figure 29), tous respectent la norme burkinabé qui exige une valeur minimale de 2%. Cependant, seuls les HA14 du fournisseur D satisfont à la norme française.

III.3.5 Analyse de la conformité des aciers

Au cours de cette analyse, C désignera que la conformité et NC la non-conformité.

III.3.5.1 Analyse par rapport à la norme française

Le Tableau 17 présente l'analyse de la conformité des aciers des différents fournisseurs par rapport à la norme française, il en ressort qu'aucun fournisseur n'a les aciers totalement conformes à cette norme.

Tableau 17: Conformité des résultats obtenus pour les paramètres d'analyse avec les spécifications de la norme française

		Masse linéique	Diamètre	Reh	Allongement	Finalité
A	HA8	NC	NC	FeE500	NC	NC
	HA10	NC	C	FeE500	NC	NC
	HA12	NC	NC	FeE400	NC	NC
	HA14	NC	NC	FeE500	NC	NC
B	HA8	NC	NC	FeE400	C	NC
	HA10	NC	NC	FeE400	C	NC
	HA12	C	NC	FeE400	C	NC
	HA14	C	NC	FeE400	NC	NC
C	HA8	C	NC	FeE500	NC	NC
	HA10	NC	NC	FeE500	NC	NC
	HA12	NC	NC	FeE400	NC	NC
	HA14	NC	C	FeE500	NC	NC
D	HA8	C	C	FeE400	NC	NC
	HA10	NC	NC	FeE400	NC	NC
	HA12	NC	NC	FeE400	C	NC
	HA14	NC	C	FeE400	C	NC
E	HA10	NC	NC	FeE500	NC	NC
	HA12	NC	NC	FeE500	NC	NC
F	HA10	C	NC	FeE400	C	NC

III.3.5.2 Analyse par rapport à la norme burkinabé

Le Tableau 18 présente l'analyse de la conformité des aciers des différents fournisseurs par rapport à la norme burkinabé, il en ressort que 47,37% des aciers testés sont totalement conformes à la norme burkinabé.

Tableau 18 : Conformité des résultats obtenus pour les paramètres d'analyse avec les spécifications de la norme burkinabé

		Masse linéique	Reh	Ratio	Allongement	Finalité
A	HA8	NC	FeE500-2	C	NC	NC
	HA10	NC	FeE500-2	C	C	NC
	HA12	C	FeE400	C	C	C
	HA14	NC	FeE500-2	C	C	NC
B	HA8	C	FeE400	C	C	C
	HA10	C	FeE400	C	C	C
	HA12	C	FeE400	C	C	C
	HA14	C	FeE400	C	C	C
C	HA8	NC	FeE500-2	C	NC	NC
	HA10	NC	FeE500-2	C	NC	NC
	HA12	NC	FeE500-2	C	C	NC
	HA14	NC	FeE500-2	C	C	NC
D	HA8	C	FeE500-2	C	C	C
	HA10	C	FeE500-2	C	C	C
	HA12	NC	FeE400	C	C	NC
	HA14	C	FeE500-2	C	C	C
E	HA10	NC	FeE500-2	C	C	NC
	HA12	NC	FeE500-2	C	C	NC
F	HA10	C	FeE400	C	C	C

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

L'analyse de la qualité des aciers à béton est d'une importance capitale pour la sécurité et la durabilité des structures en béton armé. Cette étude ayant pour objectif l'analyse de la qualité de l'acier à béton disponible au Burkina Faso ; il était question d'examiner spécifiquement les caractéristiques physiques et propriétés mécaniques des aciers et juger de leur qualité par leur conformité aux normes française et burkinabé. Pour bien mener cette étude, les aciers de diamètre 8mm, 10mm, 12mm et 14mm provenant des 06 fournisseurs ont été contrôlés afin de s'assurer qu'ils respectent les caractéristiques de forme, de dimensions et de masse spécifiées par les normes. Les aciers ont ensuite été soumis à des essais de traction pour déterminer leur module d'élasticité, leur limite d'élasticité, leur limite à la rupture et leur ductilité. Il en ressort que toutes les barres d'aciers testés ont des hauteurs des verrous conformes aux deux normes mais les espacements quant à eux ne sont respectés de façon générale. Les diamètres nominaux des barres ne sont pas atteints, de même que les diamètres admissibles donnés par l'Eurocode 2 ; soit 85,1% de non-conformité de diamètre. Parmi les aciers testés, 26,6% sont conformes à la norme française et 47,86% sont conformes à la norme burkinabé concernant la masse linéique. Les aciers testés sont des FeE400 (fournisseur B, D, F et les HA12 du fournisseur A) ayant une bonne ductilité et présentant le comportement des aciers naturels doux ; et des FeE500 (fournisseur A excepté ses HA12, C et E) étant très écrouis. Toutefois les aciers des fournisseurs B, D et F sont plus ductiles que tout le reste et ont plus de propriétés conformes aux normes (caractéristiques de forme) et sont probablement les plus recommandés. En somme, les aciers testés ne respectent pas toutes les propriétés prescrites par les normes pour attester de leur qualité. Plus précisément aucun acier des fournisseurs testés n'est totalement conforme à la norme française et 47,37% sont totalement conformes à la norme burkinabé.

S'appuyer cependant sur les résultats des essais de traction, la masse linéique pour analyser la qualité de l'acier est limitée. Ces méthodes fournissent des indications et peuvent ne pas capturer tous les aspects de l'homogénéité. Pour une évaluation plus précise, des tests supplémentaires sont recommandés, tels que l'analyse chimique et l'évaluation microstructurale pour observer la taille des grains, leur répartition et la présence ou non de tous les défauts.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abdel-Magid, Taghried, Rabab Hamdan, Israa Ali, Imad Hassan, Mahmoud Ali, et Eltahir Elshaikh. 2017. « Quality Evaluation Of Steel Reinforcement Bars In Khartoum State », mars, 1858-7658.
- Adeleke, A. A., et J. K. Odusote. 2013. « Evaluation of the Mechanical Properties of Reinforcing Steel Bars from Collapsed Building Sites ». *Journal of Failure Analysis and Prevention* 13 (6): 737-43. <https://doi.org/10.1007/s11668-013-9739-5>.
- Assiamah, Sampson, Charles K Kankam, Emmanuel K Banini, et Kwadwo Adinkrah Appiah. 2023. « Physical and Geometrical Characteristics of Reinforcing Steel Bars in the Construction Industry of Ghana ». *Journal of Materials Science Research and Reviews* 11 (1): Page 40-53,.
- Balogun, Sanmbo, David Esezobor, Samson Adeosun, et Olatunde Sekunowo. 2009. « Challenges of Producing Quality Construction Steel Bars in West Africa:Case Study of Nigeria Steel Industry ». *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering* 08 (04): 283-92. <https://doi.org/10.4236/jmmce.2009.84025>.
- Bame, Patrick Che, Bell Emmanuel Yamb, et Billong Ndigui. 2023. « Assessment of Deviation in Quality of Steel Reinforcing Bars Used in Some Building Sites in Cameroon ». *World Journal of Engineering and Technology* 11 (04): 917-31. <https://doi.org/10.4236/wjet.2023.114061>.
- Biney, Evans, Charles K Kankam, Vincent K Akortia, Peter Adzakey, John K Quarm Junior, et Enock Tongyem. 2024. « Examining the Geometrical Properties, Chemical Composition, and Mechanical Properties of Local Reinforcing Bars in Ghana ». *Journal of Engineering Research and Reports* 26 (6): Page 223-240,. <https://doi.org/Article no.JERR.116905>.
- Cabrera, Carolina, Carlos Moron, et Alfonso Garcia. 2014a. « Learning Process of the Steel Use in Building Engineering Students ». *American Journal of Educational Research* 2 (6): 366-71. <https://doi.org/10.12691/education-2-6-6>.
- . 2014b. « Learning Process of the Steel Use in Building Engineering Students ». *American Journal of Educational Research* 2 (6): 366-71. <https://doi.org/10.12691/education-2-6-6>.
- Comité Euro-International du, Comité Euro-International du. 1990. *CEB-FIP Model Code 1990*.

- Dhoska, Klodian. 2019. « Tensile Testing Analysis of the HRB400 Steel Reinforcement Bar ». *International Journal of Innovative Technology and Interdisciplinary Sciences* 2 (3): 253-58. <https://doi.org/10.15157/IJITIS.2019.2.3.253-258>.
- Diallo, Alpha Issa, Jean Ahmed Kourouma, Adama Moussa Sakho, et Alexandre Lucien Richard. 2024. « Analysis of the Characteristics of Materials Obtained by Recycling Scrap Metal in Guinea ». *Journal of Materials Science and Engineering A* 14 (1). <https://doi.org/10.17265/2161-6213/2024.1-3.001>.
- Djoubissie Denouwé Décroly. 2018. Thèse de doctorat « Étude des performances mécaniques des poutres et planchers mixtes bois-béton – Influence du mode de connexion – » Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (Institut 2Ie).
- Ede, Anthony, Oluwarotimi Olofinnade, Solomon Oyebisi, Akpabot Akpabot, John Oluwafemi, et Kehinde Oyeyemi. 2019. « Conformity of steel rebar used for reinforced concrete in Nigeria to the British Standards' Benchmarks », décembre.
- FEBELCEM. 2017. « CONDENSÉ DE L'EUROCODE 2 ». <http://www.febelcem.be>.
- Fente, Tefera Eniyew. 2024. « Investigating the Quality of Ethiopian Steel Reinforcing Bars through Comprehensive Analysis ».
- Gideon Bamigboye*, Anthony N. Ede, Ayinde A. Raheem, Oluwarotimi Michael Olofinnade, Uche Okorie. 2016. « Economic Exploitation of Gravel in Place of Granite in Concrete Production | Scientific.Net ». 2016. <https://www.scientific.net/MSF.866.73>.
- Hennous, Rafik. 2021. « Elaboration et étude des propriétés de l'acier de l'entreprise (AQS) ». Université Mohamed Seddik Ben Yahia-JIJEL en Algérie , Mémoire de master en chimie.
- ISO 6892-1. 2019. « ISO 6892-1:2019 ». ISO. 2019. <https://www.iso.org/fr/standard/78322.html>.
- Kouakou, Conand Honoré, Ibrahima Bakayoko, Mamery Adama Serifou, et Edjikémé Emeruwa. 2020. « Mechanical Characteristics Test of Concrete Steel Bars Available in CôTe d'Ivoire ». *Journal of Materials Science and Chemical Engineering* 08 (09): 1-13. <https://doi.org/10.4236/msce.2020.89001>.
- Luecke, William E, J David McColskey, Christopher N McCowan, Stephen W Banovic, Richard J Fields, Timothy Foecke, Thomas A Siewert, et Frank W Gayle. 2005. « Mechanical Properties of Structural Steels ».
- NBF 02-009. 2009. « NBF 02-009_2009 Armatures pour béton armé - Barres et couronnes soudables à verrous de nuance FeE 500 ».

- NBF 02-009_2009. 2009. « NBF 02-009_2009 Armatures pour béton armé - Barres et couronnes soudables à verrous de nuance FeE 500 ».
- NBF 02-011_2009. 2009. « NBF 02-011_2009 Armatures pour béton armé - Barres et fils de machine non soudable à verrous.pdf ».
- Ndiaye, Mamadou Babacar, Sandrine Bec, Bernard Coquillet, et Ibrahima Khalil Cissé. 2008. « Evaluation and improvement of the quality of Senegalese reinforcing steel bars produced from scrap metals ».
- Neville, A M, et Brooks, J.J. 1993. « Concrete Technology ». England: Longman Scientific and Technical.
- NF-EN-10080. 2005. « NF-EN-10080-aciers-soudables-beton-arme-pdf-free.pdf ».
- Renaud, Henri-Paul-Joseph, et F. Letertre. 2003. *Ouvrages en béton armé*. Paris: Foucher.
- S. P, Ejeh, JIBRIN, et M. U. 2012. « Tensile Tests on Reinforcing Steel Bars in the Nigerian Construction Industry ». *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering* 4 (2): 06-12. <https://doi.org/10.9790/1684-0420612>.
- Shuaib-Babata, Yusuf, Reuben Adewuyi, Ajao Kabiru Suleiman, Ibrahim Ambali, N Aremu, Hassan Ibrahim, et Jimoh Mohammed. 2019. « Quality evaluation of commercially available steels in some selected Nigerian markets ». *International Journal of Engineering and Technology*, juillet.
- Singh, Bhupinder, et S K Kaushik. 2002. « Influence of Steel-Making Processes on the Quality of Reinforcement ».
- Sy, El Hadji Amadou Fall, Dame Keinde, et Malang Bodian. 2023. « Comparative Evaluation of the Chemical Composition and Physical Properties of Reinforced Concrete Steel Bars Used in Construction in Senegal ». *Open Journal of Civil Engineering* 13 (2): 292-302. <https://doi.org/10.4236/ojce.2023.132022>.
- Tabalaiev, Kostiantyn. 2011. « Etude de la structure et des propriétés de l'acier à béton après déformations à froid ».
- Taghried, Abdel-Magid, Eltahir Abu-Elgasim, Mohammed Hamdan, Israa Ali Mohammed Abdelgadir, Imad Hassan Bakri, et Mahmoud Ali Tamim Aldar. 2017. « Quality Evaluation Of Steel Reinforcement Bars In Khartoum State ». *Red Sea University Journal of Basic and Applied Science* 2. <https://www.researchgate.net/publication/327423696>.
- Tefera, Eniyew, Asmare Assefa , et Wim Dewulf. 2023. « Yield_strength_and_ductility_analysis_on_steel.pdf ». Conference: International

Conference on Advancement of Science and Technology At: Bahir Dar Institute of Technology, Bahir Dar University, Bahir Dar, Ethiopia.
<https://www.researchgate.net/publication/376833585>.

Trejo, David, Francisco Aguiñiga, Ray W James, et Peter B Keating. 2005. « Preliminary Quality Control/Quality Assurance Standards (Criteria) for Inspection and Testing of FRP Bars ». *Project Performed in Cooperation with the Texas Department of Transportation and the Federal Highway Administration. Project Title: FRP Reinforcing Bars in Bridge Decks*, 24 pages.

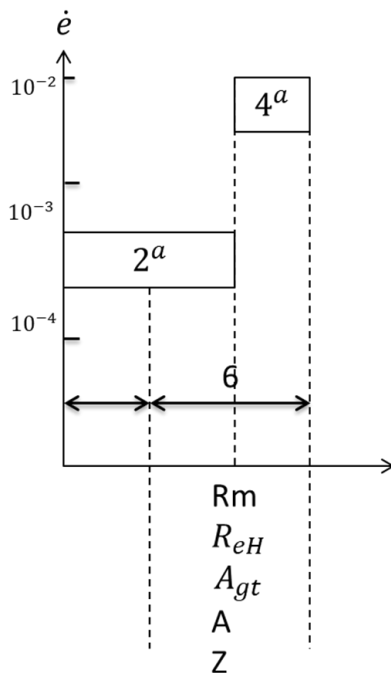
Wang, Fengchi, Xingming Wu, Chao Guo, et Wen Song. 2018. « Experimental Study on Bond Strength of Deformed Steel Bars in Recycled Glass Aggregate Concrete ». *KSCE Journal of Civil Engineering* 22 (9): 3409-18. <https://doi.org/10.1007/s12205-018-0051-5>.

ANNEXES

Annexe I : Méthode A2 (Vitesse d'essai)

La méthode A est basée sur des vitesses de déformation (y compris la vitesse de séparation des traverses) et est destinée à minimiser la variation des vitesses d'essai au cours de la période où les paramètres influencés par la vitesse de déformation sont déterminés et à minimiser l'incertitude de mesurage des résultats d'essai.

Ses avantages sont : le contrôle de la déformation appliquée à l'acier, ce qui est important car les déformations contrôlées sont plus pertinentes que les contraintes pour les aciers, l'évaluation du comportement du matériau à des déformations spécifiques, Fournit des données plus précises sur la ductilité et la résilience de l'acier.



$\dot{\epsilon}$: vitesse de déformation (s^{-1})

t: temps

Intervalle 2: $\dot{\epsilon} = 0,00025 s^{-1}$

Intervalle 4: $\dot{\epsilon} = 0,0067 s^{-1}$

6: mode de pilotage des traverses
(méthode A2)

a: recommandé

Méthode A2

Annexe II

Deux types de fracture sont observés lors des essais :

- La fracture ductile : qui est observée à travers la surface plane et presque lisse.



- La fracture fragile : qui est observé par une réduction de section localisée et la surface est rugueuse presque fibreuse avec des stries allongées



Annexe III : RESULTATS DE CHAQUE ECHANTILLON
 **Fournisseur A**

• HA8

ESSAI DES HA8 A													
	Paramètres Physiques						Paramètres Mécaniques						
	Masse (g)	Long (cm)	Masse linéaire (kg/m)	d1	d2	d3	Diamètre réel (mm)	Reh (Mpa)	Rm (Mpa)	E(Gpa)	Agt (%)	At (%)	Ratio Rm/Reh
DIAMETRE I													
HA8-A1-1	180,69	49,4	0,366	7,52	7,54	7,55	7,54	560,6	572,5	192,2	0,82	1,57	1,02
HA8-A1-2	181,1	49	0,370	7,59	7,57	7,57	7,58	562,3	573,4	184,5	0,74	1,45	1,02
HA8-A1-3	180,77	49,3	0,367	7,52	7,65	7,58	7,58	570,5	573,8	195,0	0,78	1,42	1,01
HA8-A1-4	179,74	49,4	0,364	7,6	7,56	7,52	7,56	557,0	558,6	178,6	0,41	1,09	1,00
HA8-A1-5	181,37	49,5	0,366	7,5	7,55	7,54	7,53	558,9	572,8	185,5	0,39	0,91	1,02
HA8-A1-6	180,9	49,6	0,365	7,37	7,57	7,53	7,49	569,2	574,0	206,1	—	1,06	1,01
Moy I	180,762	49,4	0,366				7,55	563,1	570,9	190,3	0,63	1,25	1,01
Ecart type	0,51	0,19	0,002				0,03	5,06	5,49	8,84	0,19	0,24	0,01
CoV[%]	0,28	0,38	0,49				0,42	0,90	0,96	4,65	29,87	19,20	0,83
DIAMETRE II													
HA8-A2-1	180,54	49,5	0,365	7,16	7,38	7,37	7,30	572,3	575,4	195,5	0,45	1,35	1,01
HA8-A2-2	181,42	49,7	0,365	7,3	7,36	7,35	7,34	553,7	570,5	208,7	0,80	1,41	1,03
HA8-A2-3	178,3	49,4	0,361	7,56	7,47	7,5	7,51	575,0	577,6	199,7	0,67	1,29	1,00
HA8-A2-4	180,61	49,4	0,366	7,38	7,32	7,38	7,36	575,2	581,4	184,0	0,92	1,71	1,01
HA8-A2-5	181,27	49,8	0,364	7,36	7,34	7,44	7,38	561,5	562,9	190,0	0,44	1,06	1,00
HA8-A2-6	181,8	49,5	0,367	7,51	7,44	7,4	7,45	557,6	571,5	191,9	0,47	0,92	1,02
Moy II	180,657	49,6	0,365				7,39	565,9	573,2	195,0	0,62	1,29	1,01
Ecart type	1,14	0,15	0,00				0,07	8,62	5,89	7,81	0,19	0,25	0,01
CoV[%]	0,63	0,30	0,53				0,95	1,52	1,03	4,00	29,80	19,51	1,05
DIAMETRE III													
HA8-A3-1	186,88	49,9	0,375	7,52	7,54	7,41	7,49	571,2	576,5	191,1	1,09	1,66	1,0091
HA8-A3-2	185,14	49,7	0,373	7,41	7,44	7,3	7,38	563,5	573,6	219,1	1,20	1,97	1,018
HA8-A3-3	185,77	49,7	0,374	7,33	7,4	7,44	7,39	566,1	574,4	196,0	1,33	2,03	1,0146
HA8-A3-4	184,9	50	0,370	7,35	7,3	7,64	7,43	551,0	562,6	219,0	1,79	2,42	1,0209
HA8-A3-5	187,73	50	0,375	7,45	7,54	7,36	7,45	566,0	569,4	217,8	1,68	2,30	1,0061
HA8-A3-6	186,6	50	0,373	7,38	7,3	7,56	7,41	559,8	563,3	200,0	0,86	1,48	1,0062
Moy III	186,170	49,9	0,4				7,43	562,9	569,9	207,2	1,32	1,98	1,01
Ecart type	1,00	0,13	0,002				0,04	6,32	5,40	11,76	0,32	0,33	0,01
CoV[%]	0,54	0,27	0,48				0,49	1,12	0,95	5,68	24,45	16,59	0,57

• HA10

ESSAI DES HA10 A													
	Paramètres Physiques						Paramètres Mécaniques						
	Masse (g)	Long (cm)	Masse linéaire (kg/m)	d1	d2	d3	Diamètre réel (mm)	ReH (Mpa)	Rm (Mpa)	E (Gpa)	Agt (%)	At (%)	Ratio Rm/Reh
DIAMETRE I													
A1-1	291,28	50	0,583	9,48	9,61	9,58	9,56	506,0	520,2	193,8	1,55	2,64	1,03
A1-2	292,24	50	0,584	9,66	9,53	9,5	9,56	505,2	519,3	185,0	1,64	2,82	1,03
A1-3	288,81	49,6	0,582	9,57	9,5	9,59	9,55	503,2	521,2	180,0	2,39	3,87	1,04
A1-4	293,68	50,3	0,584	9,5	9,46	9,58	9,51	506,0	527,9	195,8	2,68	4,46	1,04
A1-5	292,29	50	0,585	9,62	9,5	9,75	9,62	503,2	519,3	196,9	2,26	3,62	1,03
A1-6	291,51	49,8	0,585	9,51	9,62	9,65	9,59	505,9	526,5	181,5	2,47	3,73	1,04
Moy I	291,64	50	0,584				9,57	504,9	522,4	188,8	2,16	3,52	1,03
Ecart type	1,48	0,21	0,001				0,03	1,25	3,48	6,89	0,42	0,62	0,01
CoV[%]	0,51	0,43	0,19				0,36	0,25	0,67	3,65	19,55	17,68	0,57
DIAMETRE II													
A2-1	293	50,1	0,585	9,73	9,82	9,77	9,77	510,4	530,3	198,6	2,60	3,89	1,04
A2-2	289,55	49,5	0,585	9,86	9,8	9,8	9,82	500,2	518,9	188,7	2,28	3,64	1,04
A2-3	294,19	50,5	0,583	9,72	9,63	9,83	9,73	500,6	508,5	196,1	0,74	1,87	1,02
A2-4	292,7	49,9	0,587	9,68	9,75	9,81	9,75	514,6	525,6	199,1	1,16	2,19	1,02
A2-5	289,37	49,5	0,585	9,72	9,8	9,75	9,76	502,6	522,7	202,0	2,52	3,80	1,04
A2-6	290,92	49,9	0,583	9,76	9,7	9,78	9,75	495,1	514,8	189,0	2,74	4,42	1,04
Moy II	291,622	49,9	0,584				9,76	503,9	520,2	195,6	2,01	3,30	1,03
Ecart type	1,80	0,35	0,001				0,03	6,56	7,14	5,06	0,77	0,94	0,01
CoV[%]	0,62	0,69	0,23				0,30	1,30	1,37	2,59	38,28	28,33	0,95
DIAMETRE III													
A3-1	289,89	49,8	0,582	9,57	9,66	9,53	9,59	514,3	528,3	200,6	2,51	3,83	1,03
A3-2	290,94	50	0,582	9,65	9,43	9,54	9,54	517,7	530,9	186,8	2,57	3,97	1,03
A3-3	290,32	49,9	0,582	9,65	9,42	9,53	9,53	516,1	526,0	191,9	1,83	3,00	1,02
A3-4	290,82	49,9	0,583	9,62	9,57	9,61	9,60	520,1	533,7	208,5	1,90	3,09	1,03
A3-5	289,33	49,8	0,581	9,55	9,5	9,6	9,55	514,4	528,7	223,5	1,97	3,11	1,03
A3-6	289,34	50	0,579	9,49	9,53	9,55	9,52	514,9	527,7	192,8	2,42	3,75	1,02
Moy II	290,107	49,9	0,581				9,56	516,3	529,2	200,7	2,20	3,46	1,03
Ecart type	0,64	0,08	0,001				0,03	2,07	2,48	12,34	0,31	0,40	0,00
CoV[%]	0,22	0,16	0,23				0,29	0,40	0,47	6,15	13,91	11,49	0,28

• HA12

ESSAI DES HA12 A													
	Paramètres Physiques						Paramètres Mécaniques						
	Masse (g)	Long (cm)	Masse linéaire (kg/m)	d1	d2	d3	Diamètre réel (mm)	Reh (Mpa)	Rm (Mpa)	E (Gpa)	Agt (%)	At (%)	Ratio Rm/Reh
DIAMETRE I													
A1-1	416,53	49,7	0,838	11,1	11,34	11,12	11,19	459,0	470,2	175,8	1,94	3,72	1,02
A1-2	412,76	49,4	0,836	11,5	10,88	11,2	11,19	465,6	479,1	201,0	2,23	3,78	1,03
A1-3	420,91	50,2	0,838	11,1	11,42	11,15	11,22	462,2	477,4	206,8	2,07	3,48	1,03
A1-4	412,77	49,3	0,837	11,3	11,32	11,24	11,28	469,5	482,6	193,9	2,08	3,74	1,03
A1-5	417,68	49,7	0,840	11,3	11,28	11,32	11,29	469,6	481,9	187,3	2,01	3,66	1,03
A1-6	417,33	49,8	0,838	11,2	11,31	11,21	11,24	471,7	488,9	204,1	2,81	4,66	1,04
Moy I	416,330	49,7	0,838				11,24	466,2	480,0	194,8	2,19	3,84	1,03
Ecart type	2,87	0,29	0,001				0,04	4,49	5,69	10,70	0,29	0,38	0,004
CoV[%]	0,69	0,59	0,17				0,37	0,96	1,19	5,49	13,23	9,91	0,40
DIAMETRE II													
A2-1	412,66	49,2	0,839	11,5	11,52	11,61	11,56	466,6	477,3	183,3	1,74	3,17	1,02
A2-2	417,78	49,9	0,838	11,6	11,5	11,57	11,54	466,7	477,5	182,6	1,70	3,08	1,02
A2-3	418,66	50,1	0,836	11,5	11,42	11,51	11,48	455,8	471,6	190,9	2,22	3,64	1,03
A2-4	412,24	49,2	0,838	11,6	11,5	11,52	11,53	468,2	481,5	195,9	2,38	3,90	1,03
A2-5	423,61	50,3	0,842	11,6	11,55	11,56	11,57	474,2	484,5	219,8	1,51	2,81	1,02
A2-6	421,94	50,2	0,841	11,6	11,57	11,43	11,52	469,3	478,8	170,4	1,73	3,28	1,02
Moy II	417,815	49,8	0,839				11,53	466,8	478,6	190,5	1,88	3,31	1,03
Ecart type	4,26	0,45	0,002				0,03	5,53	3,99	15,31	0,31	0,36	0,00
CoV[%]	1,02	0,91	0,25				0,26	1,19	0,83	8,04	16,61	10,86	0,48
DIAMETRE III													
A3-1	432,27	50,6	0,854	11,5	11,42	11,5	11,46	452,7	468,8	186,7	2,32	3,91	1,04
A3-2	431,55	50,3	0,858	11,4	11,42	11,43	11,43	465,8	482,1	193,5	2,38	3,94	1,04
A3-3	428,78	50,2	0,854	11,3	11,2	11,37	11,30	457,8	476,7	212,4	2,79	4,38	1,04
A3-4	426,34	50	0,853	11,4	11,38	11,31	11,38	465,4	480,7	185,9	2,40	4,24	1,03
A3-5	426,58	50,1	0,851	11,4	11,47	11,17	11,33	455,8	473,6	184,6	2,45	4,14	1,04
A3-6	427,3	50	0,855	11,3	11,4	11,23	11,30	467,3	485,2	210,7	2,91	4,46	1,04
Moy III	428,803	50,20	0,854				11,37	460,8	477,9	195,6	2,54	4,18	1,04
Ecart type	2,34	0,21	0,002				0,06	5,62	5,52	11,61	0,22	0,20	0,00
CoV[%]	0,55	0,41	0,23				0,55	1,22	1,15	5,94	8,79	4,88	0,27

• HA14

ESSAI DES HA14 A													
	Paramètres Physiques						Paramètres Mécaniques						
	Masse (g)	Long (cm)	Masse linéaire (kg/m)	d1	d2	d3	Diamètre réel (mm)	Reh (Mpa)	Rm (Mpa)	E (Gpa)	Agt (%)	At (%)	Ratio Rm/Reh
DIAMETRE I													
A1-1	581,5	50,4	1,154	13,18	13,28	13,25	13,24	515,3	541,3	185,9	4,08	5,81	1,05
A1-2	582,85	50,5	1,155	13,18	13,22	13,38	13,26	510,5	540,8	190,3	4,10	5,94	1,06
A1-3	575,95	50,2	1,147	13	13,1	13,3	13,13	507,2	532,9	186,4	4,18	5,99	1,05
A1-4	567,6	49,6	1,144	13,25	13,15	13,22	13,21	516,9	536,9	181,5	3,33	5,13	1,04
A1-5	582,45	50,5	1,155	13,1	13,22	13,5	13,27	513,0	538,0	193,9	3,70	5,35	1,05
A1-6	579,47	50,2	1,154	13,38	13,03	13,37	13,26	505,4	532,8	167,3	3,69	5,48	1,05
Moy I	578,3	50,2	1,152				13,23	511,4	537,1	184,2	3,85	5,62	1,05
Ecart type	5,32	0,30	0,004				0,05	4,15	3,38	8,48	0,30	0,32	0,01
CoV[%]	0,92	0,59	0,36				0,36	0,81	0,63	4,61	7,86	5,68	0,60
DIAMETRE II													
A2-1	575,88	50,1	1,149	13,5	13,29	13,44	13,41	510,2	539,9	189,3	4,54	7,04	1,06
A2-2	583,17	50,5	1,155	13,53	13,54	13,47	13,51	515,7	541,3	216,3	4,30	6,33	1,05
A2-3	578	50,3	1,150	13,39	13,46	13,57	13,47	510,9	533,0	210,8	3,48	5,06	1,04
A2-4	571,99	50	1,144	13,44	13,45	13,32	13,40	503,3	534,5	179,7	4,51	6,09	1,06
A2-5	573,25	49,7	1,153	13,67	13,75	13,6	13,67	515,0	541,8	187,6	3,82	5,56	1,05
A2-6	578,99	50,5	1,148	13,4	13,53	13,36	13,43	518,7	545,6	209,6	3,88	5,67	1,05
Moy II	576,88	50,2	1,150				13,48	512,3	539,4	198,9	4,09	5,96	1,053
Ecart type	3,73	0,27	0,004				0,09	4,97	4,33	13,83	0,39	0,63	0,01
CoV[%]	0,65	0,54	0,31				0,69	0,97	0,80	6,95	9,54	10,54	0,57
DIAMETRE III													
A3-1	579,37	50,3	1,152	13,39	13,3	13,38	13,36	498,2	525,8	198,5	4,26	6,19	1,06
A3-2	574,95	50	1,150	13,46	13,34	13,3	13,37	502,5	524,7	212,7	3,57	5,33	1,04
A3-3	577,39	50	1,155	13,32	13,3	13,31	13,31	498,2	526,6	198,1	4,08	6,13	1,06
A3-4	575,9	49,6	1,161	13,28	13,45	13,38	13,37	494,9	523,7	211,0	4,21	6,16	1,06
A3-5	577,6	50	1,155	13,36	13,31	13,27	13,31	495,0	525,0	208,1	4,37	6,64	1,06
A3-6	570,91	49,6	1,151	13,27	13,36	13,41	13,35	499,0	521,3	191,1	3,42	5,40	1,04
Moy II	576,020	49,9	1,154				13,34	498,0	524,5	203,3	3,98	5,98	1,05
Ecart type	2,67	0,25	0,004				0,02	2,57	1,70	7,85	0,36	0,46	0,01
CoV[%]	0,46	0,50	0,32				0,18	0,52	0,32	3,86	8,97	7,77	0,61

FOURNISSEUR B

- HA8

ESSAI DES HA8 B													
	Masse (g)	Long (cm)	Paramètres Physiques					Paramètres Mécaniques					
			Masse linéaire (kg/m)	d1	d2	d3	Diamètre réel (mm)	Reh (Mpa)	Rm (Mpa)	E (Gpa)	Agt (%)	At (%)	Ratio Rm/Reh
DIAMETRE I													
HA8-B1-1	183,160	50,0	0,366	7,38	7,34	7,32	7,35	387,1	552,2	160,4	14,27	15,93	1,43
HA8-B1-2	182,400	49,9	0,366	7,39	7,30	7,33	7,34	383,3	547,5	157,2	13,64	15,25	1,43
HA8-B1-3	182,720	49,8	0,367	7,38	7,29	7,40	7,36	394,7	552,9	208,8	13,50	15,38	1,40
HA8-B1-4	180,980	50,0	0,362	7,30	7,32	7,40	7,34	369,3	535,1	214,5	14,89	16,37	1,45
HA8-B1-5	182,500	49,9	0,366	7,30	7,33	7,27	7,30	390,9	546,8	194,2	12,93	14,49	1,40
HA8-B1-6	182,180	49,6	0,367	7,35	7,40	7,29	7,35	393,5	552,0	183,7	12,98	14,67	1,40
Moy I	182,323	49,9	0,366				7,34	386,5	547,7	186,5	13,70	15,35	1,42
Ecart type	0,67	0,14	0,002				0,02	8,56	6,12	21,94	0,69	0,66	0,02
CoV (%)	0,37	0,28	0,48				0,25	2,22	1,12	11,77	5,06	4,28	1,29
DIAMETRE II													
HA8-B2-1	183,490	49,7	0,369	7,35	7,30	7,29	7,31	415,9	565,0	205,8	13,81	15,36	1,36
HA8-B2-2	184,130	49,8	0,370	7,36	7,39	7,43	7,39	406,5	560,4	163,2	13,25	14,51	1,38
HA8-B2-3	184,660	49,9	0,370	7,30	7,32	7,33	7,32	415,4	563,5	175,5	13,61	15,22	1,36
HA8-B2-4	183,500	49,8	0,368	7,29	7,30	7,27	7,29	414,7	563,4	198,6	14,08	15,47	1,36
HA8-B2-5	184,900	49,9	0,371	7,38	7,24	7,30	7,31	416,2	564,9	178,2	13,67	15,44	1,36
HA8-B2-6	184,420	49,9	0,370	7,37	7,30	7,27	7,31	412,8	565,0	168,7	14,62	17,14	1,37
Moy II	184,183	49,8	0,370				7,32	413,6	563,7	181,7	13,84	15,52	1,36
Ecart type	0,54	0,07	0,001				0,03	3,36	1,63	15,43	0,43	0,79	0,01
CoV (%)	0,29	0,15	0,18				0,46	0,81	0,29	8,49	3,09	5,11	0,59
DIAMETRE III													
HA8-B3-1	183,580	50,0	0,367	7,31	7,33	7,40	7,35	415,2	562,0	191,8	13,24	14,69	1,35
HA8-B3-2	182,870	49,9	0,366	7,23	7,34	7,38	7,32	403,7	556,7	165,3	12,51	14,07	1,38
HA8-B3-3	182,430	49,8	0,366	7,41	7,39	7,31	7,37	405,4	556,5	210,3	12,77	14,17	1,37
HA8-B3-4	180,890	49,9	0,363	7,38	7,16	7,26	7,27	391,6	546,6	200,1	14,01	16,36	1,40
HA8-B3-5	182,890	49,5	0,369	7,32	7,32	7,29	7,31	397,9	552,7	191,7	11,63	13,02	1,39
HA8-B3-6	182,670	49,6	0,368	7,36	7,34	7,38	7,36	403,1	562,5	188,3	14,11	17,24	1,40
Moy III	182,555	49,8	0,367				7,33	402,8	556,2	191,3	13,04	14,92	1,38
Ecart type	0,82	0,18	0,002				0,04	7,21	5,44	13,69	0,86	1,44	0,01
CoV (%)	0,45	0,36	0,59				0,48	1,79	0,98	7,16	6,61	9,64	1,08

• HA10

ESSAI DES HA10 B													
	Paramètres Physiques							Paramètres Mécaniques					Ratio Rm/Re h
	Masse (g)	Long (cm)	Masse linéaire (kg/m)	d1	d2	d3	Diamètre réel (mm)	Reh (Mpa)	Rm (Mpa)	E (Gpa)	Agt (%)	At (%)	
DIAMETRE I													
HA10-B1-1	289,750	49,85	0,581	9,25	9,33	9,25	9,28	407,27	548,41	207,40	15,20	16,99	1,35
HA10-B1-2	288,570	50,00	0,577	9,2	9,33	9,17	9,23	397,08	540,09	185,40	14,44	17,60	1,36
HA10-B1-3	289,050	49,75	0,581	9,21	9,32	9,19	9,24	404,41	544,81	185,60	14,50	17,13	1,35
HA10-B1-4	286,220	49,75	0,575	9,33	9,3	9,32	9,32	402,60	541,72	217,70	13,46	14,72	1,35
HA10-B1-5	289,450	49,80	0,581	9,24	9,25	9,32	9,27	406,54	550,48	184,40	14,77	16,89	1,35
HA10-B1-6	288,530	50,00	0,577	9,17	9,23	9,28	9,23	412,91	548,27	216,10	14,89	16,26	1,33
Moy I	288,595	49,86	0,579				9,26	405,14	545,63	199,43	14,54	16,60	1,35
Ecart type	1,15	0,11	0,002				0,03	4,81	3,76	14,66	0,55	0,93	0,01
CoV (%)	0,40	0,21	0,42				0,34	1,19	0,69	7,35	3,75	5,59	0,74
DIAMETRE II													
HA10-B2-1	288,050	49,8	0,579	9,36	9,37	9,2	9,31	398,61	543,17	213,70	14,89	16,42	1,36
HA10-B2-2	289,960	49,9	0,581	9,25	9,17	9,42	9,28	401,28	547,28	214,80	15,40	19,74	1,36
HA10-B2-3	286,350	49,7	0,576	9,21	9,26	9,34	9,27	396,21	537,25	205,00	13,81	15,17	1,36
HA10-B2-4	288,400	49,7	0,581	9,24	9,2	9,29	9,24	395,28	543,00	194,10	15,03	17,09	1,37
HA10-B2-5	289,710	49,7	0,583	9,27	9,38	9,28	9,31	421,62	550,46	194,10	11,66	12,70	1,31
HA10-B2-6	289,620	49,7	0,583	9,21	9,32	9,22	9,25	394,58	545,19	170,30	16,65	19,28	1,38
Moy II	288,682	49,7	0,580				9,28	401,26	544,39	198,67	14,57	16,73	1,36
Ecart type	1,26	0,08	0,002				0,03	9,38	4,09	15,13	1,55	2,40	0,02
CoV (%)	0,44	0,16	0,40				0,28	2,34	0,75	7,61	10,63	14,31	1,81
DIAMETRE III													
HA10-B3-1	288,720	49,7	0,581	9,12	9,25	9,2	9,19	388,79	543,17	197,30	14,73	17,30	1,40
HA10-B3-2	289,850	49,8	0,582	9,26	9,13	9,24	9,21	400,60	546,18	203,60	13,58	15,11	1,36
HA10-B3-3	290,050	49,8	0,582	9,24	9,23	9,25	9,24	405,05	546,92	171,90	13,40	14,85	1,35
HA10-B3-4	289,550	49,7	0,583	9,18	9,24	9,23	9,22	413,11	555,41	178,20	14,93	17,61	1,34
HA10-B3-5	289,400	49,7	0,582	9,18	9,28	9,24	9,23	406,65	550,10	208,90	11,93	13,03	1,35
HA10-B3-6	289,980	49,8	0,583	9,2	9,25	9,19	9,21	407,61	546,87	191,70	13,23	14,81	1,34
Moy III	289,592	49,7	0,582				9,22	403,64	548,11	191,93	13,63	15,45	1,36
Ecart type	0,45	0,04	0,001				0,02	7,60	3,84	13,18	1,00	1,57	0,02
CoV (%)	0,16	0,09	0,11				0,18	1,88	0,70	6,87	7,33	10,18	1,38

• HA12

ESSAI DES HA12 B													
	Paramètres Physiques						Paramètres Mécaniques						
	Masse (g)	Long (cm)	Masse linéaire (kg/m)	d1	d2	d3	Diamètre réel (mm)	Reh (Mpa)	Rm (Mpa)	E (Gpa)	Agt (%)	At (%)	Ratio Rm/Reh
DIAMETRE I													
HA12-B1-1	423,030	49,5	0,855	11,2	11,3	11,3	11,25	410,01	541,87	219,2	13,74	16,07	1,32
HA12-B1-2	429,820	49,8	0,863	11,2	11,4	11,2	11,25	403,95	543,95	198,7	15,65	18,87	1,35
HA12-B1-3	426,420	49,8	0,856	11,2	11,3	11,3	11,28	417,19	540,38	222,8	11,29	12,60	1,30
HA12-B1-4	425,450	49,8	0,854	11,2	11	10,9	11,00	416,06	542,08	195,9	11,77	13,22	1,30
HA12-B1-5	424,620	49,7	0,854	11,1	11,1	10,9	11,04	409,29	542,72	180,4	14,49	17,22	1,33
HA12-B1-6	426,100	49,7	0,857	11,2	11,2	10,9	11,11	409,62	545,94	224,5	15,59	20,36	1,33
Moy I	425,907	49,7	0,857				11,16	411,02	542,82	206,92	13,75	16,39	1,32
Ecart type	2,07	0,11	0,003				0,11	4,46	1,75	16,35	1,71	2,80	0,02
CoV (%)	0,49	0,21	0,36				0,98	1,09	0,32	7,90	12,42	17,09	1,31
DIAMETRE II													
HA12-B2-1	418,000	49,5	0,844	11,2	11,2	10,8	11,04	416,87	534,37	174,30	11,51	12,85	1,28
HA12-B2-2	421,440	49,8	0,847	11,1	11,1	10,9	11,04	414,93	543,83	200,00	14,54	17,41	1,31
HA12-B2-3	425,780	50,1	0,850	11,2	11	10,9	11,01	419,63	543,83	184,20	11,86	13,17	1,30
HA12-B2-4	420,400	49,5	0,849	11,2	11,1	10,9	11,05	412,97	544,72	226,10	16,18	20,98	1,32
HA12-B2-5	422,630	49,8	0,849	10,9	11	11,2	11,05	417,09	550,41	170,20	14,37	18,18	1,32
HA12-B2-6	421,020	49,9	0,845	10,9	11,2	11,2	11,10	411,87	539,05	204,80	12,74	14,29	1,31
Moy II	421,545	49,8	0,847				11,05	415,56	542,70	193,27	13,53	16,15	1,31
Ecart type	2,36	0,21	0,002				0,03	2,62	4,98	19,28	1,64	2,95	0,01
CoV (%)	0,56	0,42	0,25				0,25	0,63	0,92	9,98	12,15	18,26	1,02
DIAMETRE III													
HA12-B3-1	425,120	49,9	0,852	10,8	11,3	11	11,02	429,75	553,44	203,5	13,70	17,50	1,29
HA12-B3-2	421,270	49,5	0,851	11,1	11,1	10,8	11,01	414,86	543,25	201,9	12,74	13,95	1,31
HA12-B3-3	425,260	50,1	0,849	11,2	11,2	10,9	11,08	433,06	545,17	187,4	11,10	12,44	1,26
HA12-B3-4	423,730	49,9	0,849	10,8	11,2	11,1	11,05	418,18	544,2	197,4	14,33	15,83	1,30
HA12-B3-5	422,180	49,6	0,851	11	11,2	11,1	11,07	425,59	550,25	208,1	14,38	16,79	1,29
HA12-B3-6	421,600	49,6	0,850	11,1	11	11,2	11,07	419,78	546,21	200,5	13,44	14,92	1,30
Moy III	423,193	49,8	0,850				11,05	423,54	547,09	199,80	13,28	15,24	1,29
Ecart type	1,61	0,21	0,001				0,03	6,48	3,60	6,42	1,12	1,71	0,02
CoV (%)	0,38	0,43	0,13				0,24	1,53	0,66	3,21	8,44	11,20	1,26

• HA14

ESSAI DES HA14 B													
	Masse (g)	Long (cm)	Paramètres Physiques					Paramètres Mécaniques					
			Masse linéaire (kg/m)	d1	d2	d3	Diamètre réel (mm)	Reh (Mpa)	Rm (Mpa)	E (Gpa)	Agt (%)	lAt (%)	Ratio Rm/Reh
DIAMETRE I													
HA14-B1-1	578,41	49,9	1,159	13,24	13,25	13,26	13,25	413,9	594,9	179,8	10,65	11,43	1,44
HA14-B1-2	582,04	49,8	1,169	13,16	13,29	13,28	13,24	432,5	614,5	184,5	13,07	15,56	1,42
HA14-B1-3	576,69	49,5	1,165	13,37	13,15	13,34	13,29	433,2	604,0	194,9	11,01	12,00	1,39
HA14-B1-4	580,01	49,7	1,167	13,3	13,15	13,32	13,26	422,5	613,8	184,5	13,28	14,84	1,45
HA14-B1-5	578,54	49,55	1,168	13,3	13,35	13,21	13,29	423,8	596,6	177,3	10,25	11,00	1,41
HA14-B1-6	578,64	49,7	1,164	13,2	13,4	13,18	13,26	432,0	608,6	193,2	11,03	12,18	1,41
Moy I	579,055	49,7	1,165				13,26	426,3	605,4	185,7	11,55	12,83	1,42
Ecart type	1,65	0,14	0,003				0,02	7,00	7,67	6,44	1,18	1,73	0,02
CoV (%)	0,28	0,28	0,27				0,13	1,64	1,27	3,47	10,24	13,48	1,38
DIAMETRE II													
HA14-B2-1	581,91	49,7	1,171	13,23	13,27	13,22	13,24	453,0	623,0	200,6	10,09	11,46	1,38
HA14-B2-2	582,61	49,6	1,175	13,27	13,23	13,26	13,25	438,3	621,8	189,4	13,73	15,90	1,42
HA14-B2-3	583,07	49,9	1,168	13,14	13,21	13,29	13,21	452,3	631,2	186,1	12,59	14,68	1,40
HA14-B2-4	582,14	49,5	1,176	13,31	13,28	13,19	13,26	438,6	613,6	192,5	9,55	10,27	1,40
HA14-B2-5	579,6	49,4	1,173	13,31	13,23	13,25	13,26	427,9	607,4	210,7	9,09	9,92	1,42
HA14-B2-6	582,48	49,7	1,172	13,14	13,26	13,32	13,24	447,5	620,2	201,1	10,32	11,20	1,39
Moy II	581,968	49,6	1,173				13,25	442,9	619,5	196,7	10,89	12,24	1,40
Ecart type	1,12	0,16	0,002				0,02	8,91	7,50	8,31	1,68	2,25	0,02
CoV(%)	0,19	0,32	0,21				0,13	2,01	1,21	4,22	15,44	18,37	1,15
DIAMETRE III													
HA14-B3-1	590,34	49,6	1,190	13,18	13,26	13,19	13,21	472,1	620,0	197,3	12,26	14,94	1,31
HA14-B3-2	592,25	49,8	1,189	13,23	13,18	13,18	13,20	441,8	598,0	202,8	13,14	15,82	1,35
HA14-B3-3	594,34	49,8	1,193	13,22	13,2	13,15	13,19	446,9	599,6	205,6	13,14	15,34	1,34
HA14-B3-4	590,65	49,7	1,188	13,18	13,24	13,18	13,20	439,4	588,3	200,2	12,79	14,77	1,34
HA14-B3-5	592,42	49,6	1,194	13,16	13,18	13,2	13,18	459,9	610,7	188,9	13,42	16,69	1,33
HA14-B3-6	589,8	49,65	1,188	13,16	13,22	13,18	13,19	456,4	598,0	222,0	9,72	10,92	1,31
Moy III	591,633	49,7	1,191				13,19	452,8	602,4	202,8	12,41	14,75	1,33
Ecart type	1,55	0,08	0,002				0,01	11,34	10,19	10,05	1,26	1,82	0,02
CoV (%)	0,26	0,17	0,21				0,07	2,50	1,69	4,95	10,15	12,37	1,16

FOURNISSEUR C

- HA8

ESSAI DES HA8 C													
	Paramètres Physiques						Paramètres Mécaniques						
	Masse (g)	Long (cm)	Masse linéaire (kg/m)	d1	d2	d3	Diamètre réel (mm)	Reh (Mpa)	Rm (Mpa)	E (Gpa)	Agt (%)	At (%)	Ratio Rm/Reh
DIAMETRE I													
HA 8-C1-1	185,97	50,1	0,371	7,46	7,42	7,5	7,46	518,4	532,5	188,9	1,59	2,49	1,03
HA 8-C1-2	183,84	49,8	0,369	7,49	7,44	7,4	7,46	516,6	530,3	190,9	1,16	1,82	1,03
HA 8-C1-3	186,66	50,2	0,372	7,41	7,45	7,5	7,45	527,9	530,29	198,1	0,96	1,656	1,00
HA 8-C1-4	184,29	49,9	0,369	7,49	7,47	7,5	7,47	516,43	531,6	197,2	–	–	1,03
HA 8-C1-5	185,42	50	0,371	7,42	7,47	7,5	7,46	501,55	516,43	188,9	–	–	1,03
HA 8-C1-6	184,31	50	0,369	7,42	7,47	7,5	7,46	509,38	522,3	194,5	1,23	1,99	1,03
Moy I	185,08	50	0,370				7,46	515,04	527,24	193,08	1,24	1,99	1,02
Ecart type	1,11	0,14	0,001				0,01	8,89	6,43	4,10	0,26	0,36	0,01
CoV (%)	0,60	0,28	0,351				0,10	1,73	1,22	2,12	21,40	18,14	0,94
DIAMETRE II													
HA8-C2-1	184,7	49,8	0,3709	7,48	7,4	7,5	7,46	521,33	532,95	187,5	1,47	2,41	1,02
HA8-C2-2	184,8	49,7	0,3718	7,43	7,44	7,5	7,45	524,3	528,7	193	0,94	1,7	1,01
HA8-C2-3	186,43	50	0,3729	7,46	7,49	7,4	7,46	515	515,6	191,6	0,378	1,478	1,00
HA8-C2-4	184,28	49,7	0,3708	7,43	7,49	7,5	7,47	519,9	532,8	190,2	1,46	2,27	1,02
HA8-C2-5	185,47	49,9	0,3717	7,44	7,47	7,5	7,47	510,8	520,2	198,1	1,056	1,69	1,02
HA8-C2-6	184,42	50	0,3688	7,42	7,44	7,5	7,45	493,7	510,1	184,8	1,81	2,66	1,03
Moy II	185,02	49,85	0,3711				7,46	514,17	523,39	190,87	1,19	2,03	1,02
Ecart type	0,74	0,13	0,00				0,01	10,15	8,71	4,20	0,46	0,43	0,01
CoV (%)	0,40	0,25	0,33				0,11	1,97	1,66	2,20	38,89	21,31	1,04
DIAMETRE III													
HA8-C3-1	182,86	49,7	0,3679	7,48	7,5	7,5	7,50	532,1	534,1	178,8	1,286	2,01	1,00
HA8-C3-2	185,97	50,1	0,3712	7,44	7,46	7,5	7,46	522,56	534,54	190,6	1,577	1,97	1,02
HA8-C3-3	184,75	50	0,3695	7,45	7,47	7,5	7,47	535	544,5	203,4	–	–	1,02
HA8-C3-4	186,15	50	0,3723	7,49	7,5	7,5	7,49	520,93	530,38	185,8	1,082	1,812	1,02
HA8-C3-5	184,92	50	0,3698	7,49	7,49	7,5	7,49	490,05	508,92	186,2	2,143	2,982	1,04
HA8-C3-6	186,15	50,1	0,3716	7,44	7,5	7,5	7,47	521,96	535,67	191,3	1,536	2,342	1,03
Moy III	185,13	50,0	0,3704				7,48	520,43	531,35	189,35	1,52	2,22	1,02
Ecart type	1,16	0,13	0,001				0,02	14,60	10,90	7,49	0,36	0,42	0,01
CoV (%)	0,63	0,27	0,39				0,20	2,80	2,05	3,96	23,41	18,75	1,02

• HA10

ESSAI DES HA10 C													
	Paramètres Physiques							Paramètres Mécaniques					
	Masse (g)	Long (cm)	Masse linéaire (kg/m)	d1	d2	d3	Diamètre réel (mm)	Reh (Mpa)	Rm (Mpa)	E (Gpa)	Agt (%)	At (%)	Ratio Rm/Reh
DIAMETRE II													
HA10-C1-1	292,46	50,3	0,581	9,12	9,33	9,3	9,26	500,6	516,05	196,4	2,035	3,139	1,03
HA10-C1-2	293,32	50,2	0,584	9,17	9,21	9,5	9,28	504,11	510,44	182,3	0,805	1,66	1,01
HA10-C1-3	288,52	49,9	0,578	9,38	9,3	9,2	9,30	500,87	517,17	191,6	2,056	2,907	1,03
HA10-C1-4	289,55	50,2	0,577	9,24	9,15	9,2	9,20	497,02	511,14	196,5	1,766	2,624	1,03
HA10-C1-5	292,02	50,35	0,580	9,25	9,28	9,3	9,26	501,03	517,32	188,7	1,65	2,508	1,03
HA10-C1-6	288,5	50	0,577	9,2	9,39	9,4	9,33	491	511,27	190,2	2,718	3,685	1,04
Moy I	290,73	50,2	0,580				9,27	499,11	513,90	190,95	1,84	2,75	1,03
Ecart type	1,94	0,16	0,003				0,04	4,17	2,99	4,85	0,57	0,62	0,01
CoV (%)	0,67	0,32	0,46				0,43	0,83	0,58	2,54	31,17	22,55	0,84
DIAMETRE II													
HA10-C2-1	282,49	49,5	0,571	9,24	9,29	9,3	9,28	514,72	528,72	203,4	1,887	2,883	1,0272
HA10-C2-2	284,1	50	0,568	9,26	9,29	9,3	9,27	506,2	523,42	185,4	1,907	2,678	1,034
HA10-C2-3	285,04	50	0,570	9,25	9,22	9,2	9,23	514,26	524	—	0,665	1,401	1,0189
HA10-C2-4	284,91	50	0,570	9,18	9,25	9,3	9,24	511,18	519,48	172	1,003	1,754	1,0162
HA10-C2-5	287,13	50,1	0,573	9,28	9,32	9,2	9,27	506,98	517,58	197,4	1,258	2,148	1,0209
HA10-C2-6	282,79	49,7	0,569	9,31	9,21	9,2	9,25	510,85	517,78	189,1	1,018	1,837	1,0136
Moy II	284,41	49,9	0,570				9,26	510,70	521,83	189,46	1,29	2,12	1,02
Ecart type	1,55	0,21	0,002				0,02	3,24	3,97	10,76	0,46	0,52	0,01
CoV (%)	0,55	0,42	0,27				0,23	0,64	0,76	5,68	35,88	24,59	0,68
DIAMETRE III													
HA10-C3-1	283,52	49,9	0,568	9,2	9,29	9,2	9,24	507,72	513,9	181,2	0,98	1,695	1,0122
HA10-C3-2	286,65	50,1	0,572	9,22	9,24	9,3	9,24	505,65	519,31	191,5	1,701	2,688	1,027
HA10-C3-3	286,36	50,1	0,572	9,25	9,27	9,2	9,25	512,15	506,73	175,4	0,78	1,661	0,9894
HA10-C3-4	284,4	50	0,569	9,32	9,28	9,3	9,30	509,5	511,09	191,1	0,539	1,227	1,0031
HA10-C3-5	282,22	49,5	0,570	9,2	9,29	9,2	9,24	508,25	524,25	203,3	1,793	2,651	1,0315
HA10-C3-6	284,97	50,05	0,569	9,22	9,25	9,2	9,22	505,58	514,3	191,1	0,883	1,677	1,0172
Moy III	284,69	49,9	0,570				9,25	508,14	514,93	188,93	1,11	1,93	1,01
Ecart type	1,54	0,21	0,0014				0,02	2,27	5,62	8,81	0,47	0,54	0,01
CoV (%)	0,54	0,42	0,25				0,26	0,45	1,09	4,66	42,12	28,17	1,40

• HA12

ESSAI DES HA12 C													
	Paramètres Physiques							Paramètres Mécaniques					
	Masse (g)	Long (cm)	Masse linéaire (kg/m)	d1	d2	d3	Diamètre réel (mm)	Reh (Mpa)	Rm (Mpa)	E (Gpa)	Agt (%)	At (%)	Ratio Rm/Reh
DIAMETRE I													
HA12-C1-1	404,85	49,5	0,8179	11,2	11,3	11,3	11,25	495,46	509,66	193,8	2,25	3,428	1,03
HA12-C1-2	412,53	50,1	0,8234	11,2	11,3	11,3	11,27	499,07	517,49	181,3	2,807	4,259	1,04
HA12-C1-3	407,51	49,7	0,8199	11,3	11,3	11,3	11,29	490,51	509,64	185,5	3,057	4,362	1,04
HA12-C1-4	410,22	50	0,8204	11,3	11,3	11,4	11,29	495,05	510,28	181,7	2,604	3,895	1,03
HA12-C1-5	408,97	49,8	0,8212	11,4	11,3	11,3	11,34	501,25	515,3	193,1	2,242	3,57	1,03
HA12-C1-6	416,52	50,2	0,8297	11,3	11,4	11,3	11,29	500,4	512,75	184,1	1,746	3,035	1,02
Moye I	410,10	49,9	0,8221				11,29	496,96	512,52	186,58	2,45	3,76	1,03
Ecart type	3,71	0,24	0,004				0,03	3,70	3,00	5,06	0,43	0,47	0,01
CoV (%)	0,91	0,48	0,46				0,24	0,74	0,59	2,71	17,45	12,39	0,49
DIAMETRE II													
HA12-C2-1	412,06	50,1	0,8225	11,3	11,3	11	11,31	493,87	509,81	181	2,445	3,863	1,03
HA12-C2-2	415,25	50,3	0,8255	11,4	11,3	11	11,33	483,71	505,61	207,1	3,08	4,455	1,05
HA12-C2-3	414,38	50,2	0,8255	11,4	11,3	11	11,35	498,15	511,32	188,6	2,248	3,588	1,03
HA12-C2-4	401,83	49	0,8201	11,3	11,4	11	11,36	490,92	508,79	194,6	2,937	4,305	1,04
HA12-C2-5	405,96	49,6	0,8185	11,4	11,4	11	11,36	490,7	507,74	189,6	2,597	3,729	1,03
HA12-C2-6	412,45	50	0,8249	11,3	11,3	11	11,29	494,05	510,63	181,4	2,272	3,615	1,03
Moy II	410,32	49,9	0,8228				11,33	491,90	508,98	190,38	2,60	3,93	1,03
Ecart type	4,82	0,45	0,003				0,03	4,42	1,91	8,85	0,32	0,34	0,01
CoV (%)	1,17	0,89	0,33				0,23	0,90	0,37	4,65	12,18	8,56	0,54
DIAMETRE III													
HA12-C3-1	411,08	50	0,8222	11,3	11,3	11	11,29	491,59	509,47	192,8	3,144	4,997	1,04
HA12-C3-2	406,8	49,7	0,8185	11,3	11,3	11	11,33	487,61	506,6	182,3	2,834	4,327	1,04
HA12-C3-3	411,42	49,9	0,8245	11,3	11,4	11	11,34	496,79	510,57	183	2,364	3,84	1,03
HA12-C3-4	411,48	50	0,8230	11,4	11,3	11	11,35	489,39	509,46	201,7	2,855	4,148	1,04
HA12-C3-5	408,66	49,8	0,8206	11,3	11,4	11	11,34	487,05	512,35	192,01	3,568	5,452	1,05
HA12-C3-6	409,14	49,8	0,8216	11,3	11,3	11	11,32	497	510,82	192,2	2,069	3,214	1,03
Moy III	409,76	49,9	0,8217				11,33	491,57	509,88	190,67	2,81	4,33	1,04
Ecart type	1,72	0,11	0,002				0,02	4,03	1,76	6,57	0,49	0,73	0,01
CoV (%)	0,42	0,22	0,23				0,17	0,82	0,34	3,45	17,43	16,93	0,80

• HA14

ESSAI DES HA14 C													
	Paramètres Géométriques							Paramètres Mécaniques					
	Masse (g)	Long (cm)	Masse linéaire (kg/m)	Diamètre			Diamètre réel (mm)	Reh (Mpa)	Rm (Mpa)	E (Gpa)	Agt (%)	At (%)	Ratio Rm/Reh
DIAMETRE I													
HA14-C1-1	572,75	49,8	1,1501	13,6	13,6	13,6	13,56	544,7	572,8	198,8	4,774	6,302	1,05
HA14-C1-2	581,7	50,3	1,1565	13,5	13,6	13,6	13,55	555,95	579,35	186,7	3,893	5,315	1,04
HA14-C1-3	576,66	50	1,1533	13,5	13,6	13,5	13,55	556,98	582,37	191	4,052	5,333	1,05
HA14-C1-4	573,23	49,9	1,1488	13,5	13,4	13,5	13,46	546,95	570,94	205,4	3,539	4,938	1,04
HA14-C1-5	572,23	49,7	1,1514	13,6	13,5	13,6	13,57	551,37	576,92	203,9	3,969	5,162	1,05
HA14-C1-6	580,32	50,2	1,156	13,5	13,5	13,5	13,53	557,69	579,87	200	3,69	5,033	1,04
Moy I	576,15	50,0	1,1527				13,54	552,27	577,04	197,63	3,99	5,35	1,04
Ecart type	3,74	0,21	0,003				0,04	5,03	4,02	6,71	0,39	0,45	0,004
CoV (%)	0,65	0,42	0,25				0,27	0,91	0,70	3,39	9,83	8,41	0,35
DIAMETRE II													
HA14-C2-1	573,49	49,8	1,1516	13,6	13,6	13,5	13,58	552,03	576,6	217,3	4,211	5,844	1,04
HA14-C2-2	573,65	49,8	1,1519	13,5	13,5	13,6	13,55	550,9	575,8	185,8	4,136	5,952	1,05
HA14-C2-3	573,52	49,8	1,1516	13,4	13,5	13,5	13,48	547,03	573,31	203,7	4,136	5,441	1,05
HA14-C2-4	572,27	49,6	1,1538	13,6	13,5	13,4	13,49	547,68	573,04	220,1	3,737	4,985	1,05
HA14-C2-5	575,53	49,9	1,1534	13,4	13,5	13,5	13,46	550,51	574,42	195,4	3,624	4,992	1,04
HA14-C2-6	571,2	49,7	1,1493	13,5	13,5	13,4	13,43	541,72	570,65	208,1	4,279	5,591	1,05
Moy II	573,28	49,8	1,1519				13,50	548,31	573,97	205,07	4,02	5,47	1,05
Ecart type	1,33	0,09	0,001				0,05	3,44	1,95	11,91	0,25	0,38	0,00
CoV (%)	0,23	0,19	0,13				0,38	0,63	0,34	5,81	6,16	6,89	0,31
DIAMETRE III													
HA14-C3-1	574,24	49,9	1,1508	13,5	13,5	13,5	13,48	545,72	572,41	264,1	4,23	5,998	1,05
HA14-C3-2	574,17	49,9	1,1506	13,6	13,5	13,5	13,51	544,76	573,29	191,9	4,293	5,793	1,05
HA14-C3-3	572,94	49,8	1,1505	13,4	13,5	13,5	13,46	549,9	572,55	191,3	3,812	5,387	1,04
HA14-C3-4	573,93	49,85	1,1513	13,4	13,5	13,6	13,48	551,21	577,89	215,7	4,223	5,693	1,05
HA14-C3-5	575,77	50	1,1515	13,5	13,5	13,4	13,50	547	576,66	163,6	4,403	5,77	1,05
HA14-C3-6	573,52	49,8	1,1516	13,5	13,5	13,5	13,51	546,06	572,49	178	3,921	5,16	1,05
HA14-C3-7	574,75	49,9	1,1518	13,5	13,5	13,4	13,47	544,71	572,28	217,2	4,903	6,672	1,05
Moy III	574,19	49,9	1,1512				13,49	547,05	573,94	192,95	4,25	5,78	1,05
Ecart type	0,836	0,065	0,0005				0,017	2,357	2,157	19,124	0,328	0,446	0,004
CoV (%)	0,15	0,13	0,04				0,13	0,43	0,38	9,91	7,71	7,71	0,37

Fournisseur D

- HA8

ESSAI DES HA8 D													
	Masse (g)	Long (cm)	Paramètres physiques					Paramètres Mécaniques					
			Masse linéaire (kg/m)	d1	d2	d3	Diamètre réel (mm)	Reh (Mpa)	Rm (Mpa)	E (Gpa)	Agt (%)	At (%)	Ratio Rm/Reh
DIAMETRE I													
HA8-D1-1	183,490	50,1	0,367	7,42	7,54	7,62	7,53	461,7	612,8	146,6	11,31	12,22	1,33
HA8-D1-2	182,220	49,9	0,365	7,59	7,55	7,41	7,52	450,6	600,4	236,4	13,08	14,88	1,33
HA8-D1-3	183,440	50,0	0,367	7,49	7,41	7,59	7,50	449,8	602,9	170,3	11,37	12,33	1,34
HA8-D1-4	180,790	50,0	0,362	7,56	7,55	7,56	7,56	443,9	586,9	168,0	11,61	12,47	1,32
HA8-D1-5	182,250	50,0	0,365	7,59	7,61	7,58	7,59	451,5	597,9		12,16	13,36	1,32
HA8-D1-6	180,460	49,8	0,362	7,58	7,61	7,59	7,59	437,1	588,9	175,3	12,09	13,05	1,35
Moy I	182,108	50,0	0,365				7,5	449,1	598,3	179,3	11,94	13,05	1,332
Ecart type	1,167	0,084	0,002				0,037	7,509	8,699	30,181	0,606	0,911	0,009
CoV [%]	0,641	0,168	0,545				0,491	1,672	1,454	16,831	5,077	6,976	0,674
DIAMETRE II													
HA8-D2-1	188,89	49,1	0,385	7,57	7,59	7,63	7,60	450,6	623,5	177,9	14,13	15,71	1,38
HA8-D2-2	193,54	50	0,387	7,6	7,61	7,62	7,61	449,8	625,1	204,9	12,38	14,07	1,39
HA8-D2-3	193,12	50	0,386	7,59	7,61	7,55	7,58	460,9	627,6	180,0	13,09	13,98	1,36
HA8-D2-4	193,43	50	0,387	7,54	7,62	7,52	7,56	459,3	631,8	178,1	12,49	13,56	1,38
HA8-D2-5	191,94	49,9	0,385	7,59	7,63	7,57	7,60	443,5	609,0	197,1	13,77	15,46	1,37
HA8-D2-6	194,38	50	0,389	7,62	7,63	7,53	7,59	457,6	629,3	207,6	13,03	14,16	1,38
Moy II	192,550	49,833	0,386				7,6	453,6	624,4	190,9	13,15	14,49	1,376
Ecart type	1,789	0,330	0,001				0,016	6,120	7,399	12,682	0,632	0,801	0,009
CoV [%]	0,929	0,662	0,369				0,204	1,349	1,185	6,642	4,803	5,526	0,633
Diamètre III													
HA8-D3-1	182,72	49,9	0,366	7,51	7,51	7,44	7,49	453,6	606,8	184,1	12,54	13,45	1,34
HA8-D3-2	181,83	49,9	0,364	7,54	7,54	7,42	7,50	464,6	609,5	215,8	12,62	14,04	1,31
HA8-D3-3	181,38	49,9	0,363	7,41	7,49	7,44	7,45	464,8	604,4	195,0	11,03	12,58	1,30
HA8-D3-4	182,54	50	0,365	7,5	7,61	7,45	7,52	461,6	608,8	203,5	12,18	13,68	1,32
HA8-D3-5	181,34	49,7	0,365	7,49	7,49	7,46	7,48	452,3	600,5	187,4	11,33	12,21	1,33
HA8-D3-6	181,47	49,7	0,365	7,53	7,5	7,61	7,55	454,8	608,3	192,9	12,85	14,00	1,34
Moy III	181,880	49,850	0,365				7,5	458,6	606,4	196,5	12,09	13,33	1,322
Ecart type	0,556	0,112	0,001				0,031	5,213	3,110	10,593	0,681	0,696	0,014
CoV [%]	0,306	0,224	0,222				0,419	1,137	0,513	5,392	5,629	5,219	1,028

• HA10

ESSAI DES HA10 D													
	Paramètres Physiques							Paramètres Mécaniques					
	Masse (g)	Long (cm)	Masse linéaire (kg/m)	d1	d2	d3	Diamètre réel (mm)	Reh (Mpa)	Rm (Mpa)	E (Gpa)	Agt (%)	At (%)	Ratio Rm/Reh
DIAMETRE I													
D1- 1	299,76	50,2	0,597	9,14	9,07	8,99	9,07	535,9	688,3	201,2	6,81	7,45	1,28
D1- 2	299,81	50	0,600	9,02	9,02	9,16	9,07	622,4	774,2	186,6	8,18	9,49	1,24
D1- 3	306,84	50,6	0,606	9,02	9,18	9,11	9,10	602,0	755,2	192,0	7,78	8,61	1,25
Moy I	302,137	50,3	0,601				9,08	586,8	739,2	193,3	7,59	8,52	1,26
Ecart type	3,33	0,25	0,00				0,02	36,94	36,84	6,03	0,58	0,84	0,02
CoV[%]	1,10	0,50	0,65				0,19	6,29	4,98	3,12	7,58	9,81	1,36
DIAMETRE II													
D2-1	281,53	48,8	0,577	9,03	8,96	8,92	8,97	447,5	604,9	195,0	12,63	14,18	1,35
D2-2	288,21	50,1	0,575	9	8,96	8,92	8,96	453,8	605,4	202,1	12,85	14,41	1,33
D2-3	287,64	50	0,575	9,02	8,94	8,92	8,96	442,0	604,6	196,6	13,09	14,43	1,37
Moy II	285,793	49,63	0,576				8,96	447,7	604,9	197,9	12,86	14,34	1,35
Ecart type	3,024	0,591	0,001				0,005	4,821	0,326	3,041	0,188	0,111	0,014
CoV[%]	1,058	1,190	0,134				0,053	1,077	0,054	1,537	1,462	0,772	1,022
DIAMETRE III													
D3-1	275,600	48	0,574	8,96	8,92	9	8,96	448,1	596,2	189,2	13,93	16,39	1,33
D3-2	291,000	50,5	0,576	8,96	8,91	9,05	8,97	461,0	597,1	222,1	12,42	14,48	1,30
D3-3	292,590	50,6	0,578	8,92	9,01	9,02	8,98	439,1	590,9	195,1	12,64	13,84	1,35
Moy III	286,397	49,7	0,576				8,972	449,4	594,7	202,1	12,99	14,91	1,32
Ecart type	7,66	1,20	0,002				0,01	9,02	2,75	14,32	0,67	1,08	0,02
CoV[%]	2,68	2,42	0,29				0,11	2,01	0,46	7,09	5,12	7,26	1,60

• HA12

ESSAI DES HA12 D													
	Masse (g)	Long (cm)	Paramètres Physiques				Paramètres Mécaniques						
			Masse linéaire (kg/m)	d1	d2	d3	Diamètre réel (mm)	Reh (Mpa)	Rm (Mpa)	E (Gpa)	Agt (%)	At (%)	Ratio Rm/Reh
DIAMETRE I													
D1- 1	418,210	50,0	0,836	11,41	11,39	11,45	11,42	384,3	546,0	208,3	15,22	17,36	1,42
D1- 2	418,060	50,1	0,835	11,39	11,41	11,43	11,41	375,4	544,9	198,5	14,24	16,06	1,45
D1- 3	417,410	50,0	0,835	11,43	11,41	11,38	11,41	378,4	549,1	231,7	15,83	19,63	1,45
D1- 4	417,760	50,0	0,836	11,45	11,35	11,39	11,40	383,5	548,6	196,4	15,03	19,08	1,43
D1- 5	417,330	50,0	0,835	11,4	11,39	11,37	11,39	379,4	546,1	173,9	16,39	19,26	1,44
D1- 6	418,440	50,0	0,837	11,42	11,4	11,38	11,40	374,7	545,6	223,0	14,60	15,59	1,46
Moy I	417,868	50,0	0,836				11,4	379,3	546,7	205,3	15,22	17,83	1,44
Ecart type	0,407	0,019	0,001				0,010	3,647	1,587	18,844	0,722	1,593	0,013
CoV[%]	0,097	0,037	0,097				0,085	0,962	0,290	9,179	4,742	8,933	0,880
DIAMETRE II													
D2-1	409,220	49,8	0,823	11,3	11,39	11,34	11,34	380,2	544,1	210,3	15,21	17,57	1,43
D2-2	409,450	49,8	0,823	11,29	11,31	11,35	11,32	386,1	543,3	499,5	15,46	17,39	1,41
D2-3	412,400	49,9	0,826	11,28	11,36	11,36	11,33	382,0	543,8	200,1	14,62	15,83	1,42
D2-4	411,270	50,0	0,823	11,32	11,31	11,39	11,34	373,1	537,4	197,0	14,74	17,28	1,44
D2-5	410,300	49,8	0,824	11,32	11,31	11,39	11,34	375,0	541,6	188,9	15,18	18,08	1,44
D2-6	410,220	49,7	0,825	11,31	11,31	11,33	11,32	379,8	545,1	246,8	14,86	17,70	1,44
D2-7	411,280	49,8	0,826	11,41	11,36	11,28	11,35	387,2	542,8	221,6	14,91	17,43	1,40
Moy II	410,591	49,8	0,824				11,33	380,5	542,6	203,6	15,00	17,33	1,43
Ecart type	1,043	0,095	0,002				0,012	4,846	2,355	11,321	0,276	0,658	0,015
CoV[%]	0,254	0,191	0,185				0,106	1,274	0,434	5,561	1,841	3,797	1,056
DIAMETRE III													
D3-1	417,080	50	0,834	11,37	11,41	11,39	11,39	397,6	557,0	186,4	15,43	17,87	1,40
D3-2	414,660	49,7	0,834	11,38	11,39	11,38	11,38	401,7	555,0	200,8	13,82	16,04	1,38
D3-3	419,360	49,8	0,842	11,39	11,43	11,44	11,42	400,7	560,0	165,8	16,34	20,66	1,40
D3-4	416,140	50	0,832	11,44	11,37	11,37	11,39	395,4	555,9	177,7	16,11	18,25	1,41
D3-5	415,020	49,9	0,832	11,36	11,37	11,37	11,37	402,6	552,8	218,2	13,74	16,32	1,37
D3-6	415,360	50	0,831	11,38	11,35	11,39	11,37	402,8	553,8	233,3	14,16	15,84	1,37
Moy III	416,270	49,9	0,834				11,39	400,1	555,7	197,0	14,93	17,50	1,39
Ecart type	1,592	0,115	0,004				0,017	2,734	2,323	23,237	1,071	1,681	0,013
CoV[%]	0,382	0,231	0,449				0,150	0,683	0,418	11,794	7,173	9,607	0,932

• HA14

ESSAI DE TRACTION DES ACIERS HA14 DE FD													
	Paramètres Physiques							Paramètres Mécaniques					
	Masse (g)	Long (cm)	Masse linéique (kg/m)	Diamètre			Reh (Mpa)	Rm (Mpa)	E(Gpa)	Agt (%)	At (%)	Ratio Rm/Reh	
				d1	d2	d3							réel (mm)
DIAMETRE I													
D1- 1	570,880	49,9	1,144	13,5	13,5	13,6	13,54	436,8	594,9	196,8	13,43	17,26	1,36
D1- 2	570,300	49,8	1,145	13,6	13,4	13,5	13,49	439,4	593,5	179,5	13,62	15,58	1,35
D1- 3	568,590	49,8	1,142	13,5	13,5	13,4	13,46	441,7	590,7	212,4	14,08	17,94	1,34
D1- 4	572,140	50,1	1,142	13,4	13,4	13,5	13,41	445,4	589,6	198,1	12,60	14,21	1,32
D1- 5	569,790	49,9	1,142	13,5	13,5	13,4	13,44	444,0	591,3	205,4	13,87	16,47	1,33
D1- 6	569,050	50	1,138	13,4	13,4	13,4	13,38	437,5	592,0	187,5	13,44	16,38	1,35
Moy I	570,125	49,9	1,142				13,45	440,8	592,0	196,6	13,51	16,31	1,34
Ecart type	1,18	0,11	0,002				0,05	3,19	1,76	10,84	0,47	1,19	0,01
CoV[%]	0,21	0,21	0,194				0,39	0,72	0,30	5,51	3,45	7,31	0,98
DIAMETRE II													
D2-1	572,91	50	1,147	13,5	13,5	13,5	13,48	456,0	594,8	193,3	13,23	18,25	1,30
D2-2	573,44	50,1	1,146	13,6	13,4	13,4	13,47	442,1	593,5	198,6	13,43	16,00	1,34
D2-3	572,28	50	1,145	13,3	13,4	13,4	13,37	441,2	594,3	191,2	14,04	19,24	1,35
D2-4	576,95	49,9	1,156	13,5	13,6	13,3	13,45	413,4	586,2	190,3	14,47	16,83	1,42
D2-5	575,26	50	1,152	13,4	13,5	13,4	13,44	434,8	594,5	223,4	13,88	17,84	1,37
D2-6	579,34	50,1	1,156	13,5	13,4	13,4	13,42	435,1	595,8	219,0	13,79	16,63	1,37
Moy II	575,030	50,0	1,150				13,44	437,1	593,2	202,6	13,81	17,46	1,36
Ecart type	2,48	0,07	0,00				0,03	12,69	3,20	13,45	0,40	1,09	0,03
CoV[%]	0,43	0,13	0,42				0,26	2,90	0,54	6,64	2,91	6,25	2,52
DIAMETRE III													
D3-1	575,85	50	1,152	13,4	13,5	13,5	13,46	420,4	585,8	192,0	13,82	16,15	1,39
D3-2	575,51	50	1,151	13,5	13,5	13,6	13,52	411,3	583,3	205,4	13,41	15,34	1,42
D3-3	572,35	50	1,146	13,5	13,6	13,4	13,50	406,8	578,6	185,9	13,93	16,50	1,42
D3-4	576,25	50	1,153	13,5	13,5	13,6	13,53	418,5	583,7	195,5	13,05	14,64	1,39
D3-5	578,74	50	1,157	13,5	13,5	13,5	13,49	434,0	589,9	199,1	13,91	16,13	1,36
D3-6	576,29	50	1,153	13,5	13,5	13,6	13,51	415,0	582,3	184,0	14,37	16,76	1,40
Moye III	575,832	50,0	1,152				13,50	417,7	583,9	193,7	13,75	15,92	1,40
Ecart type	1,87	0,02	0,00				0,02	8,58	3,44	7,38	0,42	0,72	0,02
CoV[%]	0,33	0,04	0,30				0,16	2,05	0,59	3,81	3,03	4,53	1,48