

LIVRE BLANC 10 · CAMEROON STEEL

DES BÂTIMENTS PLUS SÛRS EXIGENT DES RONDS À BÉTON CONFORMES À LEUR NUANCE DÉCLARÉE

Normes, essais et certification des aciers pour béton armé au Cameroun : pourquoi une production certifiée, dotée d'un contrôle qualité traçable et soumise à des contrôles au point de vente et sur chantier, est le moyen le plus rapide de relever le niveau minimal de qualité.

FICHE DE CONTRÔLE

Référence	CS-WP-10
Édition	10 octobre 2026
Statut	Première édition
Diffusion	Public
Établi par	Cameroon Steel
Série	Livres blancs publics de Cameroon Steel, 10 sur 10
Champ	Qualité des ronds à béton (armatures pour béton armé) : rôle structurel, métallurgie, normes internationales et camerounaises, infrastructure qualité, essais en usine, réception sur chantier, durabilité en climat côtier humide, fil machine, treillis soudés et profilés, recommandations
Date d'arrêt des données	10 octobre 2026
Sources	L'annexe C répertorie chaque source citée au moyen d'un renvoi [S-id] ; l'annexe D donne les données de chaque graphique
Normes citées	Les exigences tirées des normes sont des résumés donnés à titre d'orientation. L'édition en vigueur de chaque norme fait foi ; les utilisateurs doivent se la procurer auprès de l'éditeur.
Langues	anglais (texte intégral), français (texte intégral), chinois (synthèse)

Comment lire ce livre blanc. Chaque chiffre est assorti d'une unité, d'une année et d'un renvoi à sa source, par exemple [S12]. Les figures et les tableaux portent une pastille de statut : sourcé (lu dans une source publiée), dérivé (notre calcul sur des données sourcées, présenté à l'annexe A), hypothèse (hypothèse de planification ou de modélisation explicitement posée) ou illustratif (schéma ou exemple simulé, qui ne constitue pas une donnée). Les images générées portent la mention « Vue d'illustration » et ne sont pas des photographies d'un projet, d'une usine ou d'un site existant.

Ce que ce livre blanc n'est pas. Il ne s'agit ni d'un code de calcul, ni d'une spécification de produit, ni d'un document de certification, ni d'une offre, ni d'un engagement. Les décisions de conception et de réception des structures relèvent d'ingénieurs qualifiés appliquant les normes en vigueur. Le livre blanc n'évoque l'usine que Cameroon Steel prévoit de construire à Mboro qu'à titre d'exemple, tiré des informations publiques, d'un producteur qui s'est fixé pour objectif de fournir des produits certifiés. En cas de divergence entre les éditions, l'édition anglaise fait foi.

Déclaration d'intérêts. Ce livre blanc est publié par Cameroon Steel, qui développe une aciérie à Kribi. Il est rédigé pour éclairer le débat public ; son analyse est indépendante de toute offre commerciale, et chaque chiffre est sourcé ou assorti de son statut.

SOMMAIRE

SYNTHÈSE : DES BÂTIMENTS PLUS SÛRS COMMENCENT PAR DES BARRES CONFORMES À LEUR NUANCE	6
ES.1 Dix constats	6
ES.2 Une barre défectueuse ressemble en tout point à une bonne une fois noyée dans le béton	8
ES.3 La production nationale certifiée est le levier, car la production nationale constitue le marché	8
ES.4 Ce qui doit changer, et qui doit agir	9
ES.5 Comment le livre blanc est construit	10
CHAPITRE 1 · LA QUALITÉ DES RONDS À BÉTON DÉTERMINE SI UN BÂTIMENT EN BÉTON ARMÉ PRÉVIENT AVANT DE CÉDER	11
1.1 L'acier reprend la traction que le béton ne peut pas reprendre	11
1.2 Quatre propriétés composent la promesse d'une nuance	12
1.3 La ductilité donne aux occupants le temps d'évacuer	13
1.4 Les effondrements survenus dans la région montrent l'enjeu, non une cause unique	14
1.5 Une barre légère ou faible consomme la marge de sécurité en silence	15
1.6 Les défauts de qualité se cumulent, le contrôle le moins coûteux doit donc venir en premier	16
CHAPITRE 2 · UN BON ROND À BÉTON SE CONÇOIT À L'ACIÉRIE ET SE FIXE AU LAMINOIR	19
2.1 Le rond à béton est un acier simple, soumis à des limites strictes sur ce qu'il ne doit pas contenir	19
2.2 Il existe trois voies honnêtes pour atteindre 500 MPa, et une malhonnête	20
2.3 Neuf points de contrôle transforment une recette en produit garanti	21
2.4 Les billettes et le laminage déterminent l'état de surface, les dimensions et la masse	23
2.5 Le carbone équivalent est, à lui seul, le meilleur indicateur de la soudabilité	23
2.6 Une industrie de petites usines ne vaut que ce que valent sa ferraille et son laboratoire	24
2.7 Cinq questions révèlent comment une barre a été fabriquée	25
CHAPITRE 3 · LES PRINCIPALES NORMES S'ACCORDENT SUR LA RÉSISTANCE MAIS DIVERGENT SUR LA DUCTILITÉ, L'ADHÉRENCE ET LA PREUVE DE CONFORMITÉ	26
3.1 Cinq familles de normes se côtoient sur le marché camerounais	26
3.2 Résistance : des chiffres semblables, des sens différents du mot « minimum »	27
3.3 Ductilité : la plus grande différence entre les familles	28
3.4 Section : la masse linéique est la mesure honnête de la taille d'une barre	29
3.5 Adhérence : les nervures sont spécifiées par leur géométrie et vérifiées par la mesure	30
3.6 Aptitude au pliage : l'essai de pliage-dépliage détecte ce que l'essai de traction ne voit pas	31
3.7 La preuve est la partie de la norme que les acheteurs oublient	31
3.8 Ce que cela signifie pour un prescripteur camerounais	32
CHAPITRE 4 · LE CAMEROUN DISPOSE DES OUTILS JURIDIQUES POUR GARANTIR LA QUALITÉ DES RONDS À BÉTON ; LES LACUNES PORTENT SUR LA SURVEILLANCE ET LES ESSAIS	34
4.1 Une chaîne juridique complète va de la loi de 1996 à une norme obligatoire sur les ronds à béton	34
4.2 L'État a fait appliquer la norme et refusé de l'assouplir	35
4.3 L'interdiction d'importation et le PECAE déterminent où se situe le risque qualité	36
4.4 La surcapacité avive la concurrence par les prix et accroît l'enjeu du contrôle	37
4.5 Les prix sont homologués à la barre, ce qui récompense discrètement les barres trop légères	38
4.6 Les maillons faibles sont la surveillance, la capacité d'essai et le chantier	39

4.7 Les marchés voisins évoluent dans le même sens	40
CHAPITRE 5 · UNE USINE PROUVE LA QUALITÉ PAR LA STATISTIQUE ET LA TRAÇABILITÉ, ET NON PAR DES ESSAIS ISOLÉS	41
5.1 La composition chimique est mesurée sur chaque coulée, avant son passage en coulée continue	41
5.2 Les essais mécaniques et dimensionnels suivent des méthodes définies	41
5.3 La statistique transforme une série d'essais en garantie	43
5.4 La maîtrise statistique des procédés détecte la dérive alors que toutes les barres sont encore conformes	44
5.5 La traçabilité rattache chaque certificat à un acier réel	45
5.6 L'étalonnage, les échantillons témoins et les réclamations referment la boucle	45
5.7 La certification ajoute un contrôle indépendant aux essais de l'usine	46
5.8 Le laboratoire minimal est modeste ; la compétence pèse davantage	46
CHAPITRE 6 · LA PLUPART DES BARRES DÉFECTUEUSES PEUVENT ÊTRE DÉTECTÉES SUR CHANTIER AVEC UNE BALANCE, UN MÈTRE RUBAN ET UN PLIAGE	47
6.1 Sept défauts expliquent l'essentiel des problèmes	47
6.2 Les données régionales vont dans le même sens	48
6.3 Peser la barre : le contrôle sur chantier le plus utile	49
6.4 Quelques barres pesées au hasard suffisent à détecter les problèmes généralisés	50
6.5 Lire la barre : marquage, étiquettes et certificats	50
6.6 Plier la barre : un contrôle de ductilité en dix minutes	51
6.7 Examiner la barre : corrosion et souillures	52
6.8 En cas de doute, faire essayer en laboratoire, et signaler	53
CHAPITRE 7 · PRESCRIRE LA NUANCE COMPLÈTE, EXIGER LA PREUVE ET VÉRIFIER CHAQUE LIVRAISON	54
7.1 La prescription est le premier contrôle qualité du concepteur	54
7.2 Lire le certificat de réception avant le déchargement du camion	55
7.3 Acheter au poids et payer après réception	57
7.4 Un bon acier ne remplit son rôle que si les dispositions constructives et la pose sont correctes	57
7.5 Recourir aux essais par tierce partie lorsqu'ils apportent une information	58
7.6 La commande publique peut entraîner l'ensemble du marché	58
7.7 Les maçons et les chefs de chantier prennent la dernière décision	59
7.8 Un procès-verbal de réception d'une page ancre la routine	59
CHAPITRE 8 · SUR LE LITTORAL, L'ENROBAGE ET LE BÉTON PROTÈGENT LA BARRE DAVANTAGE QUE L'ACIER LUI-MÊME	60
8.1 L'acier noyé dans le béton est protégé par la chimie tant que l'enrobage n'est pas franchi	60
8.2 Le climat côtier est agressif tous les mois de l'année	61
8.3 L'Eurocode 2 et l'EN 206 fixent l'enrobage et la qualité du béton selon la classe d'exposition	62
8.4 L'enrobage se perd sur le chantier, pas au bureau d'études	63
8.5 Six règles pratiques protègent les armatures sur les chantiers côtiers	64
8.6 Les revêtements et l'acier inoxydable sont réservés aux expositions les plus sévères	65
8.7 La qualité des ronds à béton et la durabilité interagissent de trois manières	67
CHAPITRE 9 · LE FIL MACHINE, LE TREILLIS SOUDÉ ET LES PROFILÉS EXIGENT LA MÊME DISCIPLINE, AVEC LEURS PROPRES ESSAIS	68
9.1 La gamme de produits passe des importations à la production nationale	68
9.2 Fil machine : la qualité de tout produit tréfilé commence dans le fil machine	69

9.3 Treillis soudé : une ductilité déclarée et des soudures résistantes	70
9.4 Les profilés de construction relèvent d'une autre famille de normes	71
9.5 Les profils creux et la charpente métallique méritent le même examen	71
9.6 Les produits longs importés exigent des contrôles proportionnés à leur risque	72
9.7 La production nationale de profilés nécessitera sa propre certification	72
9.8 Un seul système qualité peut servir tous les produits longs	73
CHAPITRE 10 · DIX MESURES RELÈVERAIENT EN CINQ ANS LE NIVEAU PLANCHER DE LA QUALITÉ DES RONDS À BÉTON	74
10.1 La stratégie consiste à rendre les bonnes barres faciles à reconnaître et les mauvaises risquées à vendre	74
10.2 La transparence vient en premier, car elle coûte le moins et profite à tous	76
10.3 La certification doit garantir la population, et non l'échantillon	76
10.4 La surveillance et la tarification atteignent le point de vente	77
10.5 La commande publique et les permis de bâtir créent la demande d'acier certifié	77
10.6 La capacité d'essai et les compétences rendent les mesures opérantes	78
10.7 Les producteurs ont leur propre rôle à jouer	78
10.8 Les bénéfices sont importants et profitent au public	78
10.9 Les progrès doivent être mesurés et publiés	79
CHAPITRE 11 · LACUNES DE CONNAISSANCE : CE QUE L'ON NE SAIT PAS ENCORE, ET COMMENT LE DÉCOUVRIR	80
11.1 Dix lacunes comptent pour l'action publique et pour la pratique	80
11.2 Trois lacunes méritent la priorité	82
11.3 Ce que les réponses pourraient changer, et ce qu'elles ne changeraient pas	82
11.4 Les données des laboratoires et des chantiers peuvent être mises en commun	83
11.5 Comment le présent document sera mis à jour	83
ANNEXE A · MÉTHODES, HYPOTHÈSES ET CALCULS DÉRIVÉS	84
A.1 Statuts des données et conventions	84
A.2 Géométrie des barres et masse linéique	84
A.3 Effort de plastification, valeur de calcul et rapport de capacité	84
A.4 Évaluation statistique des valeurs caractéristiques	85
A.5 Distributions de la limite d'élasticité (figure 5.1)	85
A.6 Prix au kilogramme (tableau 4.2 et figure 7.2)	85
A.7 Carte du carbone équivalent (figure 2.3)	86
A.8 Modèle d'amorçage par les chlorures (figure 8.3)	86
A.9 Autres données et simulations	86
A.10 Exemples chiffrés de réception sur chantier	87
A.11 Limites	87
ANNEXE B · GLOSSAIRE ET ABRÉVIATIONS	88
ANNEXE C · SOURCES	91
ANNEXE D · TABLEAUX DE DONNÉES DES FIGURES	96

SYNTHÈSE : DES BÂTIMENTS PLUS SÛRS COMMENCENT PAR DES BARRES CONFORMES À LEUR NUANCE

La sécurité des bâtiments au Cameroun dépend de ronds à béton (appelés couramment fer à béton au Cameroun) qui possèdent réellement la résistance, la section, la ductilité et l'adhérence que déclare leur étiquette. La norme nationale relative aux ronds à béton est d'application obligatoire et l'État a montré qu'il entendait la faire respecter, mais les données issues des chantiers et des marchés voisins donnent à penser qu'une part notable des barres prélevées sur les chantiers n'est pas conforme, et que les barres sans marquage sont les plus mauvaises. Une production nationale certifiée, dotée d'un contrôle qualité traçable, associée à l'application de la norme aux points de vente et à de simples contrôles de réception sur chantier, constitue le moyen le plus efficace et le moins coûteux de relever le niveau minimal de qualité.

19 %

de plus payés par kilogramme d'acier lorsqu'une barre de 11 mm est vendue au prix d'une barre de 12 mm (dérivé)

16 %

d'acier en moins dans une barre de 12 mm laminée à un millimètre sous le diamètre nominal (dérivé)

23 %

de déficit par rapport à l'effort de calcul pour une barre de 11 mm de nuance 400 vendue comme barre Fe500 de 12 mm (dérivé)

2022

année où la norme NC 236 relative aux ronds à béton est devenue obligatoire (arrêté du 20 avril) [S04]

89 %

humidité relative moyenne annuelle à Kribi, de 1991 à 2020 (modélisée) [S50]

Dix constats

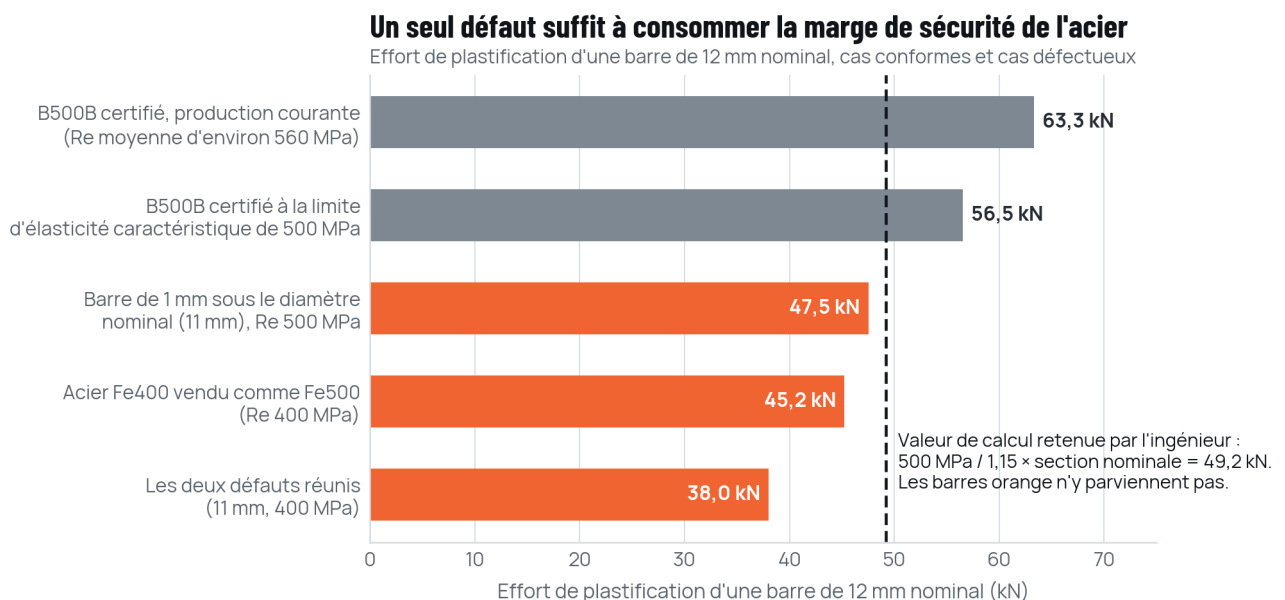
- 01** **La qualité des ronds à béton est devenue une question de sécurité publique au Cameroun.** Les effondrements d'immeubles survenus à Douala en juillet 2023 (de 33 à environ 40 morts selon les bilans rapportés) et en juillet 2026 (six morts) ont eu plusieurs causes rapportées, dont l'absence de permis de bâtir et un immeuble déjà déclaré menaçant ruine [S20][S21][S22]. Des professionnels ont relié des effondrements à des barres de mauvaise qualité [S10] et, lorsque le gouvernement a refusé en janvier 2026 de réviser la norme relative aux ronds à béton, la presse a rapporté qu'il invoquait des effondrements meurtriers liés à des matériaux non conformes [S06][S08]. Le présent livre blanc n'impute aucun effondrement à l'acier, mais considère les ronds à béton comme la seule cause qui puisse être vérifiée à peu de frais avant la construction.
- 02** **Une nuance réunit quatre propriétés, et le marché n'en évoque qu'une.** « Fe500 » promet une limite d'élasticité, mais le calcul suppose aussi une section (vérifiée par la masse linéique), une ductilité (allongement total sous force maximale Agt et rapport Rm/Re) et une adhérence (géométrie des nervures). La ductilité et la section sont les propriétés qui font le plus souvent défaut et que l'acheteur voit le moins.

- 03 Un seul défaut suffit à consommer la marge de sécurité de l'acier.** Une barre de nuance 500 d'un diamètre nominal de 12 mm est calculée pour reprendre 49,2 kN à la limite d'élasticité. Laminée à un millimètre sous le diamètre nominal, elle se plastifie sous 47,5 kN ; en acier de nuance 400, sous 45,2 kN ; avec les deux défauts, sous 38,0 kN, soit 23 % sous la valeur de calcul (dérivé, figure ES.1). Ces barres ne présentent aucun désordre en usage courant ; elles suppriment la réserve qui couvre les surcharges, les bétons médiocres et les étages supplémentaires que les propriétaires ajoutent souvent.
- 04 Un bon rond à béton s'obtient par une filière honnête et auditable.** La nuance 500 dans la limite de soudabilité (carbone équivalent inférieur ou égal à 0,50 %) s'obtient par trempe et autorevenu de la barre ou par microalliage, dans une aciérie qui affine chaque coulée et l'analyse au spectromètre [S31][S48]. Les barres rendues résistantes par un excès de carbone, ou relaminées à partir de ferrailles de composition inconnue, sont fragiles, se soudent mal et varient d'une botte à l'autre.
- 05 Les principales normes s'accordent sur la résistance mais divergent sur la ductilité, l'adhérence et la preuve de conformité.** Les nuances de la famille européenne (B500B selon BS 4449 ou NF A 35-080-1, classe B de l'Eurocode 2) garantissent un Agt d'au moins 5 % et un rapport R_m/Re d'au moins 1,08, plafonnent la surrésistance et sont normalement attestées par une certification par tierce partie [S30][S31][S38]. L'ASTM A615 Grade 60 garantit une limite d'élasticité plus basse et un allongement après rupture, sans limite de carbone équivalent [S34][S35]. Les prescripteurs devraient indiquer « NC 236 Fe500 avec ductilité de classe B », la limite de soudabilité et la preuve exigée, jamais « Fe500 » seul.
- 06 La chaîne juridique camerounaise est complète et a été appliquée.** La loi n° 96/11 (1996), l'Agence des normes et de la qualité (ANOR, 2009), le Programme d'évaluation de la conformité avant embarquement (PECAE) des importations (2015, opérationnel en 2016), l'interdiction d'importation des ronds à béton (2016, réaffirmée en 2023) et la norme obligatoire NC 236 (2022) forment un système cohérent [S04][S12][S13][S14][S15]. L'ANOR a retiré un certificat et procédé au rappel de barres d'une nuance absente de la norme en octobre 2024, et le gouvernement a refusé de réviser la norme en janvier 2026 [S04][S05][S06][S07].
- 07 La tarification à la barre récompense les barres trop légères.** Les prix homologués sont fixés par barre, supposée ici de 12 m, la longueur commerciale courante (hypothèse) : environ 600 à 650 FCFA par kg à la masse nominale en octobre 2023 [S11]. Une barre en limite de la tolérance de 4,5 % coûte à l'acheteur 4,7 % de plus par kilogramme ; une barre correspondant au diamètre inférieur, 19 % de plus (dérivé). Une tarification et un paiement à la tonne supprimeraient l'incitation à laminier léger sans modifier le niveau des prix.
- 08 Les données régionales désignent les barres sans marquage et non contrôlées.** Dans une étude de 2023 portant sur 24 barres prélevées sur des chantiers à Bamenda, Douala, Maroua et Yaoundé, 11 présentaient une limite d'élasticité inférieure à 400 MPa (l'étude annonce 52 % ; ses propres décomptes donnent 46 % ; les années de prélèvement ne sont pas précisées), et les barres dépourvues de marque du fabricant n'ont satisfait à aucun essai [S19]. L'organisme nigérian de normalisation a mis sous scellés 13 usines en 2020 après que la plupart des échantillons eurent échoué aux contrôles de diamètre et de masse linéique [S25] ; une étude du marché éthiopien a relevé une dispersion de la limite d'élasticité deux à trois fois supérieure à celle d'une production contrôlée [S28][S29].
- 09 Cinq contrôles sur chantier interceptent la plupart des barres défectueuses avant qu'elles n'atteignent un poteau.** Vérifier les documents, lire le marquage de laminage, peser trois barres par diamètre, mesurer les nervures et plier un échantillon à froid prend moins d'une heure par livraison. Les barres sans marquage de laminage lisible ne devraient pas être utilisées dans les éléments structurels. Les essais en laboratoire lèvent les doutes restants, notamment sur la résistance.

10 Sur le littoral, l'enrobage et le béton déterminent la durabilité. Kribi et Douala restent au-dessus de 80 % d'humidité relative tous les mois de l'année [S50]. L'Eurocode 2 recommande un enrobage d'au moins 35 mm pour la durabilité vis-à-vis des sels marins transportés par l'air et de 45 mm dans les zones de marnage et d'éclaboussures, plus une tolérance d'exécution de 10 mm, avec un béton compact [S36] [S37]. Les cales d'enrobage, un faible rapport eau/ciment et la cure protègent mieux les barres que n'importe quel revêtement.

Une barre défectueuse ressemble en tout point à une bonne une fois noyée dans le béton

Le principal enseignement chiffré du présent livre blanc est illustré par la figure ES.1. L'ingénieur calcule en supposant qu'une barre de 12 mm de nuance 500 se plastifie à au moins 435 MPa sur sa section nominale, après application du coefficient partiel de 1,15 que l'Eurocode 2 affecte aux armatures de béton armé [S36]. Une barre certifiée issue d'un laminier bien maîtrisé atteint généralement sa limite d'élasticité bien au-delà, car une bonne production présente une limite d'élasticité moyenne supérieure d'environ deux écarts-types à la valeur caractéristique [S29]. Ce n'est pas le cas d'une barre défectueuse.



DÉRIVÉ Figure ES.1. Un seul défaut suffit à consommer la marge de sécurité de l'acier. Une barre B500B certifiée se plastifie de 15 % à 29 % au-dessus de la valeur de calcul ; une barre d'un millimètre sous le diamètre nominal, une barre de nuance 400 vendue comme nuance 500, ou les deux à la fois, se plastifient en dessous.

Source : calcul de Cameroon Steel ; coefficient partiel tiré de l'EN 1992-1-1 [S36] ; limite d'élasticité moyenne d'une production contrôlée tirée du Probabilistic Model Code du JCSS [S29]. Méthode en annexe A.

Aucun de ces défauts ne serait visible pour le propriétaire d'un bâtiment en usage normal, car les contraintes de service dans les armatures restent très inférieures à la limite d'élasticité [S36]. C'est précisément pour cela qu'ils comptent : ils consomment la réserve destinée à l'imprévu, et les défauts de ductilité suppriment l'avertissement que donne un bâtiment bien conçu avant de céder.

La production nationale certifiée est le levier, car la production nationale constitue le marché

Depuis la suspension des importations de ronds à béton en 2016, les barres mises en œuvre dans les bâtiments camerounais sont presque entièrement fabriquées au Cameroun [S13] [S52]. Quoi que l'on pense de cette interdiction, elle tranche la question du lieu où la qualité doit se gagner : dans les aciéries et les laminiers camerounais, et dans la chaîne de distribution qui les relie aux chantiers. Trois caractéristiques de la production nationale en font le point d'action le plus efficace pour relever le niveau minimal de qualité.

Premièrement, **la qualité ne peut être intégrée qu'à l'usine**. La composition chimique, la trempe, le laminage et les essais déterminent les propriétés d'une barre ; aucun revendeur ni aucun chantier ne peut les ajouter après coup. Une aciérie équipée d'un four-poche et d'un spectromètre, une trempe maîtrisée et un laboratoire qui contrôle chaque coulée constituent la seule source fiable de barres conformes à leur nuance.

Deuxièmement, **la traçabilité commence à l'usine**. Les numéros de coulée, les marquages de laminage, les étiquettes de botte et les certificats de réception de type 3.1 relient chaque barre à sa composition chimique et à ses essais, et rendent les rappels possibles. La certification par l'ANOR et, lorsque les producteurs y recourent, par des systèmes indépendants transforme les essais réalisés par le producteur en une garantie que les acheteurs peuvent vérifier.

Troisièmement, **le contrôle de l'application de la norme est plus efficace auprès de producteurs identifiables**. Les importations étant fermées, la surveillance consiste à contrôler les produits d'un nombre limité de laminoirs nationaux et leur distribution. Les barres sans marquage ou non traçables sont, par définition, en dehors du système certifié et peuvent tout simplement être refusées.

Ce que les données ne montrent pas compte tout autant. Elles ne montrent pas que les barres nationales sont généralement de mauvaise qualité, ni qu'un producteur cité par la presse ait fabriqué des barres dangereuses. Elles montrent que des barres d'origine et de qualité inconnues circulent, que le contrôle a été efficace lorsqu'il a été exercé, et que le marché manque des informations et des signaux de prix qui permettraient aux producteurs conformes de l'emporter par la qualité.

Ce qui doit changer, et qui doit agir

Les recommandations du livre blanc (chapitre 10) visent à rendre les bonnes barres faciles à reconnaître et les mauvaises risquées à vendre, sans assouplir la norme ni créer de nouvelles institutions.

Pour l'ANOR et le ministère du Commerce. Publier les exigences essentielles de la norme NC 236 et un registre des producteurs certifiés avec leurs marquages de laminage ; renforcer la certification par des audits de surveillance, des prélèvements indépendants et une évaluation statistique ; prélever des barres chez les revendeurs des principales villes et publier les résultats par marque et par diamètre ; homologuer les prix à la tonne et exiger l'affichage de la masse nominale de chaque barre ; rendre compte chaque année de la conformité et des contrôles.

Pour le ministère des Marchés publics et les autorités contractantes. Insérer dans chaque marché de travaux publics une clause type exigeant des barres certifiées NC 236 de ductilité de classe B, des certificats de réception de type 3.1 rattachés aux numéros de coulée et des contrôles de réception sur chantier, et ne payer que l'acier réceptionné, mesuré en masse. Avec 2 026,3 milliards de FCFA d'investissement public inscrits au budget 2026 [S80], la commande publique peut faire évoluer l'ensemble du marché.

Pour le ministère de l'Habitat et du Développement urbain et les communes. Subordonner les permis de bâtir des immeubles à étages et des bâtiments publics à l'emploi d'acier certifié, à des procès-verbaux de réception des livraisons et à l'inspection des armatures avant le coulage du béton ; publier des recommandations de durabilité pour la construction en zone littorale.

Pour les ingénieurs et les entreprises. Prescrire la nuance complète, contrôler le certificat d'usine en six points avant le déchargement, peser et plier à la livraison, refuser les barres sans marquage, ne jamais chauffer une barre pour la plier, et garantir l'enrobage au moyen de cales.

Pour les producteurs. Laminer chaque barre avec un marquage de laminage lisible, viser la masse nominale, indiquer la ductilité et le carbone équivalent sur chaque certificat, accueillir des prélèvements indépendants et soutenir la formation des maçons et des chefs de chantier.

EXEMPLE TIRÉ DES INFORMATIONS PUBLIQUES

Cameroon Steel développe un complexe sidérurgique à Mboro, dans la Zone industrialo-portuaire de Kribi, conçu pour 1 Mt/an à son plein développement ; la première pierre a été posée le 30 décembre 2024 [S01][S02][S03]. Sa première phase est une aciérie à four à arc électrique produisant des billettes, destinées soit au laminage (fil machine et ronds à béton), soit à la vente aux relamineurs existants, qui importent environ 60 % de leur charge ; les importations de billettes ont atteint environ 161 kt en 2023 [S52][S53]. La capacité installée de ronds à béton valant plusieurs fois la demande intérieure [S53], le projet ne comblerait pas une pénurie : ses tonnages visent à remplacer des billettes et du fil machine importés et à exporter dans la CEMAC (livres blancs 04 et 09) ; son intérêt ici tient à la qualité. L'objectif de Cameroon Steel, énoncé dans le présent livre blanc, est de ne mettre sur le marché que des barres certifiées par l'ANOR selon la norme NC 236 et par un organisme indépendant selon une référence internationale reconnue, avec une traçabilité par numéro de coulée de la fusion à la botte. Il s'agit de l'objectif d'un projet en cours de développement, et non d'une affirmation relative à une production existante.

Comment le livre blanc est construit

Le livre blanc suit la vie d'une barre. Le chapitre 1 explique pourquoi la qualité des ronds à béton détermine le comportement d'un bâtiment en béton armé lorsqu'il est surchargé, et replace dans leur contexte les effondrements récents survenus dans la région sans en attribuer les causes. Le chapitre 2 expose la métallurgie des ronds à béton : composition chimique, voies d'obtention de la nuance 500, trempe et autorevenu, et carbone équivalent. Le chapitre 3 compare les normes européennes, américaines, internationales et camerounaises propriété par propriété, avec des tableaux des masses des barres, des tolérances et des exigences d'adhérence. Le chapitre 4 dresse la carte de l'infrastructure qualité du Cameroun, de la loi de 1996 sur la normalisation à l'homologation des prix. Le chapitre 5 décrit comment un laminoir prouve la qualité par les essais, la statistique et la traçabilité. Le chapitre 6 recense ce qui peut mal tourner et la manière dont un chantier peut le détecter. Le chapitre 7 propose des clauses de spécification et des pratiques de réception à l'intention des concepteurs, des entreprises et des acheteurs publics. Le chapitre 8 traite de la corrosion et de la durabilité dans le climat côtier humide. Le chapitre 9 étend l'analyse au fil machine, au treillis soudé et aux profilés. Le chapitre 10 présente dix recommandations assorties d'un calendrier indicatif, et le chapitre 11 recense les lacunes de connaissance qui subsistent.

La base documentaire associe quatre types de sources : les normes elles-mêmes et les certificats qui les résument ; les sources officielles camerounaises, notamment les documents de programme et les communiqués publiés par l'ANOR ; des études à comité de lecture portant sur des ronds à béton achetés sur les marchés ou prélevés sur des chantiers au Cameroun, au Nigeria et en Éthiopie ; et des articles de presse sur des décisions réglementaires et des effondrements d'immeubles, cités pour les faits qu'ils rapportent et attribués dans le texte. Lorsque la presse constitue la seule trace publique, comme pour le retrait de certificat de 2024 et le refus de réviser la norme en 2026, le livre blanc s'appuie sur plusieurs titres. Le livre blanc n'utilise que des informations publiques sur le projet de Cameroon Steel et présente ses engagements en matière de qualité comme des objectifs.

Chaque chiffre est accompagné de sa source en annexe C, et chaque chiffre dérivé est expliqué en annexe A. Les normes sont résumées à titre indicatif uniquement ; seules leurs éditions en vigueur font foi. Lorsque les informations publiques sont muettes, notamment sur le contenu technique complet de la norme NC 236, sur les conclusions officielles des enquêtes relatives aux effondrements récents et sur les capacités d'essai des laboratoires camerounais, le livre blanc le signale plutôt que de combler le vide.

MAINTENIR LA NORME, RENDRE LA CERTIFICATION VISIBLE, TARIFER À LA TONNE ET CONTRÔLER CHAQUE LIVRAISON.

L'argument du livre blanc en une phrase

Déclaration d'intérêts. Ce livre blanc est publié par Cameroon Steel, qui développe une aciérie à Kribi. Il est rédigé pour éclairer le débat public ; son analyse est indépendante de toute offre commerciale, et chaque chiffre est sourcé ou assorti de son statut.

CHAPITRE 1

LA QUALITÉ DES RONDS À BÉTON DÉTERMINE SI UN BÂTIMENT EN BÉTON ARMÉ PRÉVIENT AVANT DE CÉDER

Le béton armé est une association : le béton résiste à la compression, l'acier résiste à la traction, maintient les fissures fermées et apporte la ductilité qui transforme une surcharge en désordres visibles plutôt qu'en effondrement soudain. Tout calcul de structure suppose que les ronds à béton (appelés couramment fer à béton au Cameroun) livrés sur le chantier possèdent leur limite d'élasticité déclarée, leur section déclarée, une ductilité suffisante et une adhérence convenable. Lorsque l'une de ces propriétés fait défaut, la marge de sécurité est consommée en silence, et la ruine, si elle survient, survient presque sans avertissement.

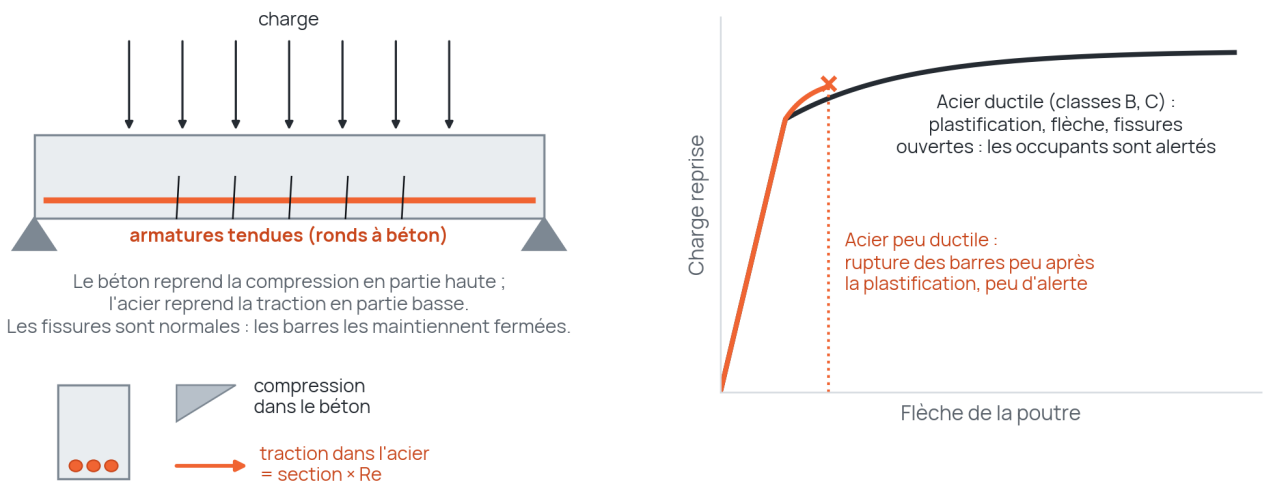
1.1 L'acier reprend la traction que le béton ne peut pas reprendre

Le béton résiste bien à la compression et mal à la traction. Une poutre ou une dalle chargée fléchit : ses fibres supérieures se raccourcissent et ses fibres inférieures s'allongent. La partie inférieure de la section se fissure presque dès la mise en charge du bâtiment et, à partir de ce moment, seule la barre d'armature qui traverse chaque fissure en maintient les deux lèvres. La barre n'est donc pas un accessoire. Dans une poutre, elle constitue la membrure tendue du bras de levier interne ; dans un poteau, les barres longitudinales partagent l'effort normal et les cadres (étriers) confinent le noyau de béton et empêchent les barres de flamber ; dans une dalle, les barres répartissent les charges et maîtrisent la fissuration ; à chaque nœud, les barres doivent être ancrées et disposées en recouvrement pour que l'effort passe d'un élément au suivant.

Les codes de calcul traduisent ce rôle en un nombre unique dont l'ingénieur peut se servir. Selon l'Eurocode 2 (EN 1992-1-1), la résistance de calcul des armatures est égale à leur limite d'élasticité caractéristique divisée par un coefficient partiel de 1,15 pour les situations durables et transitoires [S36]. Pour une barre de nuance 500, l'ingénieur retient donc $500 / 1,15 = 435$ MPa (dérivé). Le coefficient partiel sert à couvrir la dispersion statistique normale d'une population d'aciers contrôlée et de faibles écarts géométriques. Il n'a jamais été conçu pour absorber une barre de nuance 400 vendue comme nuance 500, ou une barre plus légère d'un diamètre que ce qu'indique son étiquette.

Un acier ductile transforme une surcharge en signal d'alerte visible

Fonctionnement d'une poutre en béton armé et influence de la ductilité des barres sur sa réponse (schéma)



ILLUSTRATIF Figure 1.1. Une poutre en béton armé compte sur ses barres pour reprendre la traction et pour donner l'alerte. Avec des armatures ductiles, la poutre se plastifie, fléchit et se fissure visiblement avant de rompre ; avec des barres peu ductiles, la même poutre peut rompre peu après la première plastification, presque sans avertissement.

Source : schéma de Cameroon Steel fondé sur les principes de calcul de l'EN 1992-1-1 [S36]. Il ne s'agit pas de résultats d'essais.

La même logique s'applique au béton lui-même, affecté de son propre coefficient partiel de 1,5 [S36]. Mais la qualité du béton est au moins en partie visible sur le chantier : un maçon peut repérer un béton faible, présentant des nids de cailloux ou mal vibré. Un défaut d'armature devient invisible dès que la barre est ligaturée dans une cage et recouverte. C'est pourquoi la qualité des armatures doit être prouvée avant leur mise en œuvre, et pourquoi la charge de la preuve devrait reposer sur le producteur, le revendeur et le chantier, dans cet ordre.

1.2 Quatre propriétés composent la promesse d'une nuance

Lorsqu'un revendeur vend une barre marquée « Fe500 » ou « B500B », l'étiquette est une promesse portant sur quatre propriétés. Chacune joue un rôle structural distinct, et chacune peut faire défaut indépendamment des autres.

Résistance. La limite d'élasticité (symbole R_e ou f_y) est la contrainte à partir de laquelle l'acier cesse de se comporter de façon élastique. Elle fixe l'effort qu'une barre peut reprendre avant de s'allonger de manière permanente. Les normes spécifient une limite d'élasticité caractéristique, valeur que doivent dépasser au moins 95 % de la production, et beaucoup plafonnent aussi la valeur maximale, car une barre bien plus résistante que déclaré modifie le mode de ruine d'une structure [S31][S38].

Section. L'effort repris par une barre est égal à sa limite d'élasticité multipliée par l'aire de sa section. Comme les barres ne sont pas parfaitement rondes (elles portent des nervures), les normes définissent la section au moyen de la masse linéique : une barre de 12 mm doit peser 0,888 kg/m avec une tolérance de 4,5 % [S31][S32]. Une barre plus légère que ne l'autorise la tolérance contient moins d'acier, quoi qu'en dise son étiquette.

Ductilité. La ductilité est l'aptitude à s'allonger bien au-delà de la limite d'élasticité avant de rompre. Elle se mesure par l'allongement total sous force maximale (A_{gt}) et par le rapport entre la résistance à la traction et la limite d'élasticité (R_m/R_e), qui indique dans quelle mesure l'acier s'écrouit en s'allongeant. Ces deux valeurs définissent les classes de ductilité A, B et C de l'Eurocode 2 [S30][S36].

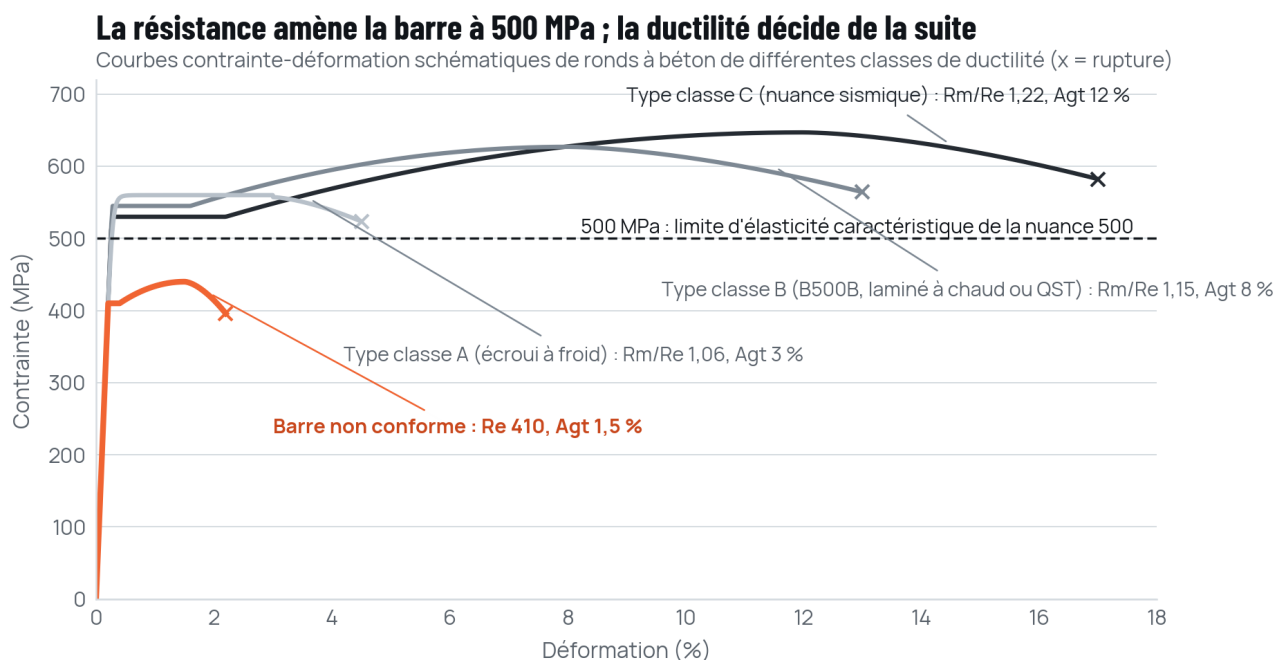
Adhérence. Une barre ne travaille que si elle ne peut pas glisser dans le béton. L'adhérence provient principalement des nervures transversales formées au laminage à la surface de la barre ; elle est spécifiée par la géométrie des nervures et par un paramètre appelé surface relative des nervures, f_R [S36].

Derrière ces quatre propriétés s'en trouvent trois autres qui comptent sur les chantiers réels : **l'aptitude au pliage** (une barre doit pouvoir être pliée en crochet ou en cadre sans se fissurer et, dans certains cas, être redressée), **la soudabilité** (déterminée par la composition chimique, résumée par le carbone équivalent) et, pour les ponts et les dallages industriels, **la résistance à la fatigue** [S31][S38]. Les chapitres suivants les examinent tour à tour. L'essentiel, à ce stade, est qu'une nuance réunit un ensemble de propriétés, et que le marché tend à n'en évoquer qu'une seule, la résistance, alors que la ductilité et la section sont les propriétés qui font le plus souvent défaut.

1.3 La ductilité donne aux occupants le temps d'évacuer

La plupart des bâtiments en béton armé sont conçus de sorte que, s'ils viennent à être surchargés, l'acier se plastifie avant que le béton ne s'écrase. L'acier qui se plastifie s'allonge ; la poutre s'affaisse ; des fissures s'ouvrent jusqu'à devenir visibles ; l'enduit tombe ; les portes se coincent. Ce sont autant d'avertissements. Un bâtiment qui les donne peut être évacué et étayé. Ce comportement dépend entièrement de la capacité de l'acier à s'allonger, que mesurent précisément l'Agt et le rapport R_m/Re .

L'Eurocode 2 l'énonce explicitement de deux manières. D'abord, son annexe C définit trois classes d'aciers pour béton armé : la classe A, avec un rapport R_m/Re d'au moins 1,05 et un Agt d'au moins 2,5 % ; la classe B, avec au moins 1,08 et 5,0 % ; et la classe C, avec un rapport R_m/Re compris entre 1,15 et 1,35 et un Agt d'au moins 7,5 % [S30][S36]. Ensuite, le code lie la liberté du concepteur à la classe de l'acier : la redistribution des moments fléchissants dans les poutres et les dalles continues est limitée plus strictement pour la classe A que pour les classes B et C, et les méthodes d'analyse plastique supposent un acier de classe B ou C [S36]. Autrement dit, un calcul établi pour un acier de classe B suppose implicitement que les barres peuvent accepter des rotations et redistribuer les charges. Si l'acier livré est de classe A, ou pire, cette hypothèse tombe.



ILLUSTRATIF Figure 1.2. La résistance amène une barre à 500 MPa ; la ductilité décide de la suite. Les classes B et C continuent de s'écrouir sur plusieurs pour cent de déformation ; une barre hors spécification peut atteindre une contrainte comparable, puis rompre à 2 % de déformation.

Source : schéma de Cameroon Steel. Limites des classes tirées de l'annexe C de l'EN 1992-1-1 [S30][S36] ; l'allure des courbes est indicative.

La ductilité fonde aussi la robustesse : la capacité d'un bâtiment à résister à la perte d'un poteau, à une explosion de gaz, au choc d'un véhicule ou à une surcharge locale sans effondrement progressif. Les règles de robustesse reposent sur des chaînages continus capables de s'allonger et de suspendre la partie endommagée de la structure à la partie intacte. Un chaînage constitué de barres fragiles, ou de barres qui se fissurent à leurs pliures, en est incapable. Dans les régions sismiques, c'est la propriété décisive, et c'est pourquoi les codes parasismiques exigent

un acier de classe C ou équivalent ; le Cameroun n'est pas un pays de forte sismicité, mais le même raisonnement vaut pour les actions accidentelles, les malfaçons et les étages supplémentaires que les propriétaires ajoutent fréquemment.

UNE BARRE PLUS LÉGÈRE D'UN DIAMÈTRE OU PLUS FAIBLE D'UNE NUANCE RESSEMBLE EN TOUT POINT À UNE BONNE BARRE UNE FOIS NOYÉE DANS LE BÉTON.

Pourquoi prouver la qualité avant le coulage

1.4 Les effondrements survenus dans la région montrent l'enjeu, non une cause unique

Des effondrements d'immeubles sont signalés chaque année à Douala, à Yaoundé, à Lagos et dans d'autres villes d'Afrique de l'Ouest et d'Afrique centrale. Leurs causes sont presque toujours multiples : absence de permis de bâtir, étages ajoutés sans étude, béton de faible résistance, dispositions constructives déficientes, surveillance insuffisante, fortes pluies sur des structures déjà endommagées et, parfois, armatures non conformes. Les enquêtes officielles sont rarement publiées dans leur intégralité, et le présent livre blanc n'impute aucun effondrement particulier à la qualité de l'acier. Le tableau ci-dessous recense des cas pour lesquels une déclaration officielle ou une conclusion d'enquête a été rapportée par des médias crédibles, afin de montrer le contexte dans lequel la qualité des ronds à béton est débattue.

Tableau 1.1 Effondrements d'immeubles choisis au Cameroun et au Nigeria, avec les faits officiellement rapportés (résumé neutre)

Date	Lieu	Bâtiment	Bilan rapporté	Déclaration officielle ou conclusion d'enquête	Source
2016	Douala	Effondrement d'immeuble	5 morts	Les autorités locales avaient recensé 500 immeubles menacés d'effondrement à Douala en juin 2016	[S20]
12 sept. 2014	Lagos, Nigeria	Maison d'hôtes d'une église, six niveaux	116 morts	Le coroner a attribué l'effondrement à des défaillances structurelles ; le bâtiment n'avait pas de permis de construire	[S24]
1er nov. 2021	Ikoyi, Lagos	Tour de 21 niveaux en construction	Au moins 44 morts	Commission d'enquête : effondrement trouvant son origine dans une « érosion de la déontologie professionnelle et de la diligence requise »	[S23]
23 juil. 2023	Nord de Douala	Immeuble d'habitation de quatre niveaux, effondré sur une maison voisine	33 morts rapportés le 24 juil. ; environ 40 selon le bilan provisoire	Ministre de l'Habitat et du Développement urbain : absence de permis de bâtir ; des riverains ont signalé des fissures et des fers d'armature à nu et rouillés ; instruction présidentielle d'ouvrir une enquête	[S20] [S21]
10 au 11 juil. 2026	Bonamoussadi, Douala	Immeuble de deux niveaux	6 morts, 4 blessés	Bâtiment déclaré menaçant ruine, évacué et mis sous scellés par la communauté urbaine, puis réoccupé ; fortes pluies	[S22]

Source : selon les références indiquées ; bilans tels que rapportés à l'époque. Aucune conclusion technique publique sur la cause de l'effondrement de juillet 2023 à Douala n'a été trouvée (voir le chapitre consacré aux lacunes de connaissance).

Deux traits du débat camerounais ressortent. Premièrement, des professionnels relient explicitement les effondrements à la qualité de l'acier : en avril 2023, après la réaffirmation de l'interdiction d'importation, un ingénieur cité par la presse camerounaise a attribué « plusieurs effondrements d'immeubles » à la « qualité approximative » de certaines barres produites localement et à l'emploi de ferrailles collectées de manière informelle [S10]. Les producteurs ont rejeté l'accusation, et l'un d'eux a déclaré être certifié ISO 9001 et respecter les normes internationales [S10]. Deuxièmement, le gouvernement lui-même a invoqué les effondrements lorsqu'il a refusé, en janvier 2026, une

demande de la profession visant à réviser la norme nationale relative aux ronds à béton ; la presse a rapporté que ce refus faisait référence à des effondrements meurtriers liés à des matériaux de construction non conformes et à l'effort de l'État pour assainir et structurer le secteur [S06][S08].

Aucune de ces déclarations ne prouve que l'acier a causé une défaillance particulière. Ensemble, elles montrent que la qualité des ronds à béton est désormais une question de sécurité publique au Cameroun, et que la réponse retenue jusqu'ici par les pouvoirs publics consiste à maintenir la norme, non à l'assouplir.

CONSTAT

Les données ne permettent d'imputer aucun effondrement survenu dans la région aux seules armatures, et le présent livre blanc ne le fait pas. Elles montrent en revanche que la qualité des ronds à béton est l'une des rares causes vérifiables à peu de frais, avant la construction, avec une balance, un mètre ruban, un essai de pliage et un certificat.

1.5 Une barre légère ou faible consomme la marge de sécurité en silence

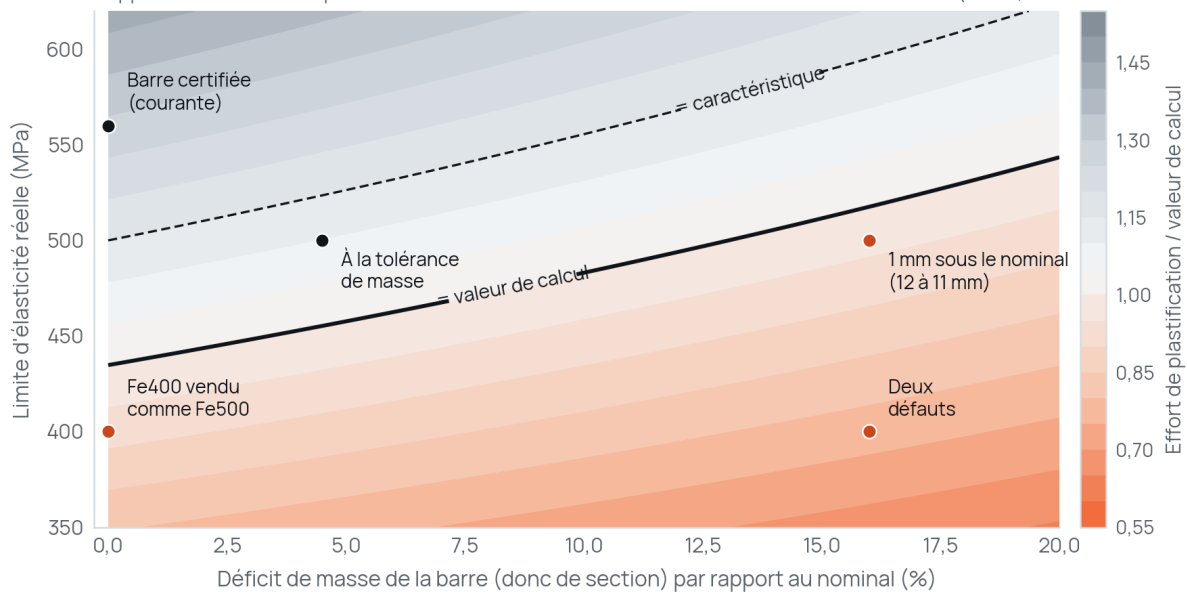
Quelle est l'incidence d'une barre défectueuse ? Le calcul est simple et figure en détail en annexe A. Prenons une barre de 12 mm de nuance 500. Sa section nominale est de 113,1 mm². À la limite d'élasticité caractéristique de 500 MPa, elle commence à se plastifier sous 56,5 kN ; le concepteur compte sur 435 MPa, soit 49,2 kN ; et une barre courante issue d'un laminoir maîtrisé, dont la limite d'élasticité moyenne avoisine 560 MPa (la moyenne d'une population bien maîtrisée se situe environ deux écarts-types de 30 MPa au-dessus de la valeur nominale [S29]), se plastifie sous environ 63,3 kN (toutes ces valeurs sont dérivées).

Considérons maintenant trois défauts courants :

- **Un diamètre en dessous.** Une barre « de 12 mm » qui mesure en réalité 11 mm a une section inférieure de 16 %. Même à 500 MPa, elle se plastifie sous 47,5 kN, soit 3 % sous la valeur de calcul.
- **Une nuance en dessous.** Une barre de nuance 400 vendue comme nuance 500 se plastifie sous 45,2 kN, soit 8 % sous la valeur de calcul.
- **Les deux.** Une barre de 11 mm de nuance 400 se plastifie sous 38,0 kN, soit 23 % sous la valeur retenue par l'ingénieur.

Sous la ligne continue, la barre se plastifie avant la charge prévue par le concepteur

Rapport entre l'effort de plastification réel d'une barre et la valeur de calcul de la nuance 500 ($500/1,15 \text{ MPa} \times \text{section nominale}$)



DÉRIVÉ Figure 1.3. Sous la ligne continue, une barre se plastifie avant d'atteindre la charge prévue par le concepteur. Une barre peut être jusqu'à 4,5 % trop légère et rester nettement au-dessus de la ligne si sa résistance est correcte ; une barre d'un millimètre sous le diamètre nominal ou d'une nuance en dessous passe sous la ligne.

Source : calcul de Cameroon Steel ; coefficient partiel tiré de l'EN 1992-1-1 [S36] ; tolérance sur la masse tirée de l'EN 10080 / NF A 35-080-1 [S31][S32]. Méthode en annexe A.

Aucune de ces barres ne présentera de désordre dans un bâtiment soumis à ses charges courantes. L'Eurocode 2 limite la contrainte de l'acier sous la combinaison caractéristique des charges à 80 % de la limite d'élasticité caractéristique [S36], si bien que même une barre non conforme reste généralement loin de sa limite d'élasticité en service. Le danger réside dans la réserve. La marge qui devait couvrir une surcharge imprévue, une zone de béton mal vibré, un cadre manquant, un poteau coulé légèrement hors d'aplomb ou le troisième étage que le propriétaire ajoute cinq ans plus tard, a déjà été dépensée au comptoir du quincaillier. Des erreurs qui, prises isolément, seraient sans conséquence se cumulent alors.

Le défaut de ductilité est plus grave, car il supprime l'avertissement en même temps que la marge. Une barre fragile peut satisfaire à l'exigence de limite d'élasticité lors d'un essai de traction et pourtant se fissurer lorsque le maçon la plie pour en faire un cadre, laissant un crochet rompu caché dans un poteau. Elle peut rompre sous une faible déformation dans une structure qui redistribue les charges après un dommage. Des quatre propriétés, la ductilité est la moins visible pour l'acheteur et la moins débattue sur le marché, et c'est elle qui sépare le plus nettement une structure qui plie d'une structure qui rompt.

1.6 Les défauts de qualité se cumulent, le contrôle le moins coûteux doit donc venir en premier

La conséquence pratique tient à l'ordre des contrôles. Dans la chaîne de décisions qui aboutit à un bâtiment, le rond à béton est le composant dont la qualité est la moins coûteuse à vérifier et la plus coûteuse à corriger. Un laminoir peut contrôler la composition chimique de chaque coulée et les caractéristiques de traction de chaque lot pour un coût faible au regard de la valeur de l'acier. Un revendeur peut peser une barre. Un chantier peut plier un échantillon et vérifier un certificat. Une fois le béton coulé, les seuls moyens de savoir ce qu'il contient sont le carottage destructif, l'auscultation et les essais de chargement, pour un coût plusieurs fois supérieur.

Le présent livre blanc plaide donc pour relever le niveau minimal de qualité des ronds à béton au Cameroun au moyen de trois niveaux de contrôle qui se renforcent mutuellement :

1. **À l'usine**, une production certifiée dotée d'un contrôle qualité traçable, afin que chaque botte puisse être rattachée à un numéro de coulée, à une analyse chimique et à une série d'essais mécaniques (chapitres consacrés à la métallurgie et aux essais).
2. **Au point de vente**, l'application de la norme nationale obligatoire par la surveillance du marché, un marquage visible et une tarification au poids, afin qu'une barre trop légère ou sans marquage ne puisse pas concurrencer une barre conforme par le prix (chapitres consacrés à l'infrastructure qualité et aux défauts).
3. **Sur le chantier**, de simples contrôles de réception effectués par les entreprises et les ingénieurs chargés de la surveillance des travaux, appuyés par des essais en laboratoire en cas de doute et par des règles de commande publique qui font de l'acier certifié une condition de paiement (chapitres consacrés à la spécification et à la réception, et aux recommandations).

Chaque niveau est imparfait à lui seul. Ensemble, ils rendent la barre non conforme à la fois risquée à vendre et susceptible d'être détectée. Les chapitres suivants exposent la métallurgie qui fait un bon rond à béton, les normes qui le définissent, les institutions camerounaises qui en contrôlent le respect et les vérifications pratiques que tout chantier peut appliquer.



**LA BARRE D'ARMATURE EST LE SEUL COMPOSANT
D'UN BÂTIMENT DONT LA QUALITÉ PEUT ÊTRE
PROUVÉE AVANT QU'IL NE DISPARAISSE DANS LE
BÉTON.**

Vue d'illustration. Image générée d'ouvriers assemblant des cages d'armatures sur un chantier ; il ne s'agit pas d'une photographie d'un projet, d'un lieu ou d'une personne.

CHAPITRE 2

UN BON ROND À BÉTON SE CONÇOIT À L'ACIÉRIE ET SE FIXE AU LAMINOIR

Le rond à béton est un acier ordinaire au carbone-manganèse dont les propriétés se décident en deux endroits : la composition chimique fixée à l'aciérie et le parcours thermique imposé au laminoir. Les laminaires modernes atteignent la nuance 500 soit par trempe et autorevenu de la barre à sa sortie de la dernière cage, soit par l'ajout de faibles quantités de vanadium ou de niobium ; les deux voies maintiennent la teneur en carbone et le carbone équivalent assez bas pour permettre le pliage et le soudage. Les voies qui atteignent la résistance par ajout de carbone, ou qui relaminent des ferrailles de composition inconnue, sont celles qui produisent des barres fragiles et irrégulières.

2.1 Le rond à béton est un acier simple, soumis à des limites strictes sur ce qu'il ne doit pas contenir

Une barre d'armature contient environ 98 % de fer. Le reste se compose d'une courte liste d'ajouts délibérés et d'une liste plus longue d'éléments indésirables, apportés pour la plupart par la ferraille. La référence européenne pour les aciers soudables pour béton armé, l'EN 10080, et les normes nationales qui en découlent (BS 4449 au Royaume-Uni, NF A 35-080-1 en France) fixent des teneurs maximales sur l'analyse de coulée : carbone 0,22 %, phosphore 0,050 %, soufre 0,050 %, azote 0,012 %, cuivre 0,80 %, et un carbone équivalent de 0,50 % [S31][S32][S38][S39]. Une teneur en carbone légèrement supérieure, jusqu'à 0,25 %, est tolérée dans certaines versions nationales si le carbone équivalent est maintenu à 0,48 % ou moins [S32].

Ces chiffres ne sont pas arbitraires. Chaque limite protège l'une des propriétés décrites au chapitre précédent.

Tableau 2.1 Rôle de chaque élément dans une barre d'armature et limites des normes européennes de référence (analyse de coulée)

Élément	Raison de sa présence	Limite (famille EN 10080)	Ce qui se passe s'il n'est pas maîtrisé
Carbone (C)	Principal élément durcissant ; forme la perlite et, à la trempe, la martensite	0,22 % max. (0,25 % admis dans certaines versions si $C_{eq} \leq 0,48 \%$)	Au-delà de la limite : soudures et zones affectées thermiquement fragiles, fissuration aux pliures, ductilité réduite
Manganèse (Mn)	Durcit la ferrite, fixe le soufre, règle la trempabilité nécessaire à la trempe	Pas de plafond général ; entre dans le carbone équivalent (certaines versions nationales le plafonnent à 1,60 %)	Trop peu : barres trop douces et fragilité à chaud due au soufre ; trop : C_{eq} élevé, points durs
Silicium (Si)	Désoxydant ajouté en poche	Pas de plafond général (0,60 % dans certaines versions)	Mauvaise désoxydation : porosités et inclusions dans la billette
Phosphore (P)	Impureté provenant de la ferraille et du minerai	0,050 % max.	Fragilisation, mauvais comportement aux essais de pliage et de pliage-dépliage, surtout à basse température
Soufre (S)	Impureté provenant de la ferraille et des combustibles	0,050 % max.	Inclusions de sulfures, fissuration au laminage à chaud, replis et pailles

Élément	Raison de sa présence	Limite (famille EN 10080)	Ce qui se passe s'il n'est pas maîtrisé
Azote (N)	Absorbé dans le four à arc électrique	0,012 % max. (davantage s'il est fixé par le vanadium ou l'aluminium)	Vieillessement après écrouissage : l'acier perd sa ductilité après pliage et échoue à l'essai de pliage-dépliage
Cuivre (Cu) et autres éléments résiduels (Ni, Cr, Mo, Sn)	Arrivent avec la ferraille ; impossibles à éliminer au four	Cu 0,80 % max. ; Cr, Mo, V, Ni et Cu entrent dans le carbone équivalent	Fissuration superficielle au laminage (cuivre), Ceq plus élevé, trempabilité irrégulière lors de la trempe
Vanadium (V), niobium (Nb)	Micro-ajouts délibérés, généralement quelques centièmes de pour cent	Non plafonnés ; entrent dans le carbone équivalent	Bon usage : grain fin et durcissement par précipitation sans carbone supplémentaire
Carbone équivalent (Ceq)	Indice synthétique de trempabilité et de soudabilité	0,50 % max.	Au-delà de la limite : les soudures durcissent et se fissurent ; les cages assemblées par pointage deviennent fragiles

Source : limites tirées du résumé de certificat AFCAB relatif à la NF A 35-080-1 [S31] et de la spécification de Ferrière Nord qui résume l'EN 10080 et ses versions nationales [S32] ; le rôle des éléments relève de la métallurgie courante. Les limites sur analyse de produit sont légèrement supérieures aux limites sur analyse de coulée [S38].

Deux caractéristiques de cette liste importent pour le Cameroun. Premièrement, les éléments résiduels tels que le cuivre, l'étain, le nickel et le chrome ne peuvent pas être éliminés dans un four à arc électrique une fois présents dans la ferraille ; ils ne peuvent qu'être dilués par une charge propre, comme le fer de réduction directe (DRI) ou la fonte brute, ou évités par le tri. Une usine qui dépend de ferrailles mélangées, collectées de manière informelle, court un risque structurel d'augmentation des teneurs en éléments résiduels, à moins de mesurer chaque coulée. Deuxièmement, le phosphore et le soufre ne s'éliminent que par un laitier d'affinage. Un four à arc électrique associé à un four-poche peut le faire ; un simple four à induction qui se contente de fondre, sans étape d'affinage, conserve pour l'essentiel le phosphore et le soufre contenus dans la ferraille. C'est l'une des raisons pour lesquelles la filière de fabrication d'une barre renseigne l'acheteur sur le risque qu'elle comporte.

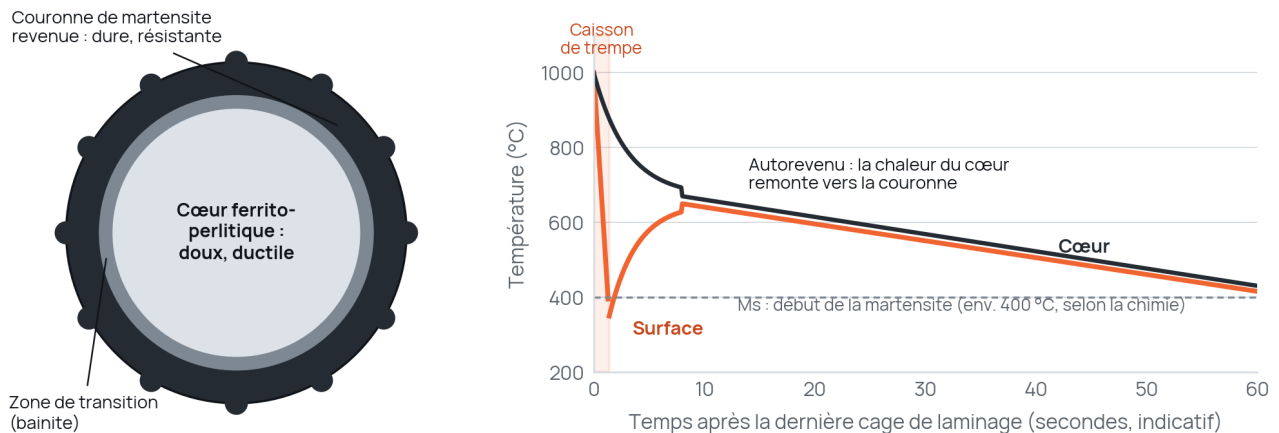
2.2 Il existe trois voies honnêtes pour atteindre 500 MPa, et une malhonnête

Un acier ordinaire au carbone à 0,20 % de carbone, laminé puis refroidi à l'air, présente une limite d'élasticité bien inférieure à 500 MPa. Pour atteindre la nuance 500 sans dépasser la limite de carbone, les usines recourent à l'une de trois voies.

Trempe et autorevenu (QST). La voie moderne la plus répandue a été mise au point par le centre de recherche belge CRM et publiée au début des années 1980 sous le nom de Tempcore [S48]. À sa sortie de la dernière cage de laminage, la barre chaude traverse une courte rampe de refroidissement à l'eau, très intense. La couche externe se refroidit assez vite pour se transformer en martensite, une phase très dure, tandis que le cœur reste chaud. À la sortie de l'eau, la chaleur qui s'échappe du cœur réchauffe (« autorevient ») la couronne martensitique et lui rend une partie de sa ténacité. Sur le refroidisseur, le cœur se transforme ensuite lentement en ferrite et en perlite, douces et ductiles. La barre finie est un composite : une couronne résistante de martensite revenue autour d'un cœur ductile, obtenue à partir d'une composition chimique bas carbone, facilement soudable.

La trempe donne la résistance par la couronne, la ductilité par le cœur

Coupe d'une barre trempée et autorevenue (QST, type Tempcore) et historique thermique correspondant (schéma)



ILLUSTRATIF Figure 2.1. La trempe tire la résistance de la couronne et la ductilité du cœur. L'historique des températures de la surface et du cœur après la dernière cage explique les trois zones visibles sur une coupe transversale après attaque chimique.

Source : schéma de Cameroon Steel d'après le principe Tempcore [S48]. Les températures et les durées sont purement indicatives et varient avec le diamètre de la barre, la vitesse de laminage et le débit d'eau.

Le procédé QST est économique, car il n'utilise aucun élément d'alliage, mais il est exigeant. La profondeur de la couronne martensitique, et donc la limite d'élasticité, dépend de la température de fin de laminage, de la vitesse de laminage, du diamètre de la barre ainsi que du débit et de la pression d'eau dans le caisson de trempé. Si l'un de ces paramètres dérive, les propriétés dérivent avec lui, parfois sur la longueur d'une même barre. Un laminoir QST bien conduit mesure ces paramètres en continu ; un laminoir mal conduit produit des barres dont la résistance varie d'une botte à l'autre. La recherche a également étudié le comportement de la couronne dure lorsque les barres se corrodent ou sont soumises à des charges cycliques, ce qui explique en partie pourquoi certains prescripteurs distinguent les barres QST des barres microalliées pour les applications exigeantes [S49].

Microalliage. De faibles ajouts de vanadium (souvent associé à l'azote) ou de niobium affinent le grain et forment de fins précipités qui durcissent l'acier sans carbone supplémentaire. Les barres microalliées présentent des propriétés homogènes dans toute la section, supportent bien le soudage et le pliage à chaud, et sont couramment utilisées pour les gros diamètres, les couronnes et les nuances de classe C (parasismiques). Leur coût est celui de l'ajout d'alliage.

Écrouissage à froid. L'étirage ou la torsion d'une barre, ou le laminage à froid de nervures sur du fil machine, relève sa limite d'élasticité au détriment de sa ductilité. Les produits écrouis à froid relèvent généralement de la classe de ductilité A et servent surtout au treillis soudé et aux petits diamètres [S33].

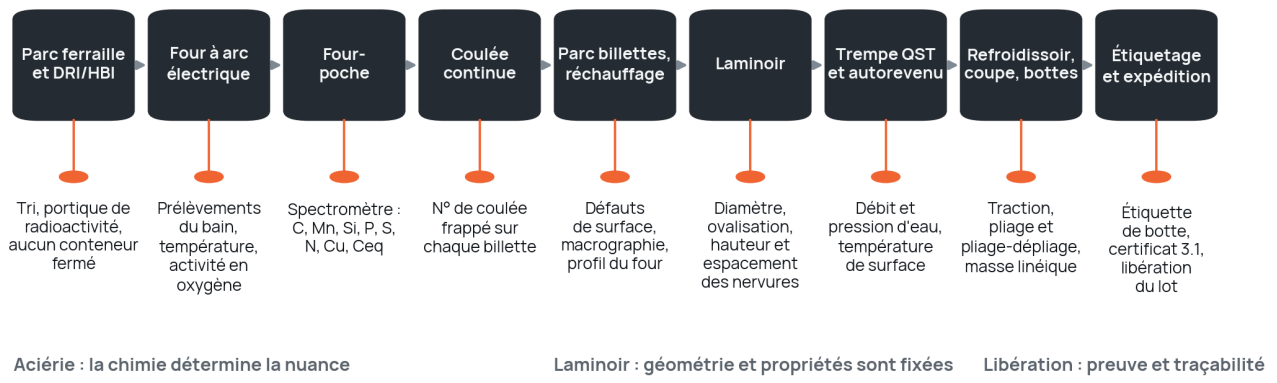
La quatrième voie est celle dont traite le présent livre blanc. Elle consiste à atteindre une nuance apparente en **augmentant le carbone et le manganèse** bien au-delà des limites, ou simplement en **étiquetant** une barre d'une nuance qu'elle ne possède pas. Les barres à haute teneur en carbone peuvent afficher une limite d'élasticité élevée lors d'un essai, mais elles se plient mal, se soudent mal et rompent sous une faible déformation. Les barres relaminées, obtenues en réchauffant et en relaminant de vieux rails, des chutes de tôle ou des barres de récupération sans les refondre, héritent de la composition chimique et des défauts internes de la matière d'origine, quels qu'ils soient. Ni les unes ni les autres ne peuvent être produites de façon régulière, car rien dans le procédé ne mesure ni ne maîtrise ce qui entre.

2.3 Neuf points de contrôle transforment une recette en produit garanti

Fabriquer des ronds à béton dans une mini-acierie à four à arc électrique suppose une séquence de neuf étapes, et chacune comporte un point de contrôle de la qualité. L'acierie détermine la nuance par la composition chimique ; le laminoir fixe la géométrie et les propriétés mécaniques ; les essais de libération des lots et l'étiquetage rendent le résultat démontrable.

La qualité se construit en neuf points de contrôle, et non par une inspection finale

Parcours d'un rond à béton dans une mini-acierie à four à arc électrique et principaux points de contrôle qualité (orange)



ILLUSTRATIF Figure 2.2. La qualité se construit en neuf points de contrôle, elle ne s'obtient pas par une inspection finale. La composition chimique est mesurée en poche ; le numéro de coulée suit chaque billette ; le diamètre, la géométrie des nervures et les conditions de trempe sont mesurés au laminoin ; les essais de traction, de pliage et de masse libèrent chaque lot.

Source : schéma de Cameroon Steel d'une filière à four à arc électrique alimentée en ferraille et en DRI ; les points de contrôle reflètent la pratique courante du contrôle de la production en usine dans les systèmes de certification [S31][S38].

Trois de ces points méritent d'être soulignés, car ce sont ceux qui font le plus souvent défaut dans les petites usines.

Le spectromètre. Un spectromètre à émission optique analyse en quelques minutes un échantillon de chaque coulée et donne les teneurs en carbone, manganèse, silicium, phosphore, soufre, azote, cuivre et autres éléments résiduels. Sans lui, une aciérie ne connaît pas son carbone équivalent, ne peut pas corriger une coulée avant son passage en coulée continue et ne peut pas établir un certificat sincère.

Le numéro de coulée. Chaque coulée reçoit un numéro unique qui suit ses billettes au réchauffage et au laminage et figure sur l'étiquette de botte et sur le certificat de réception. C'est l'épine dorsale de la traçabilité : lorsqu'une barre échoue à un essai sur chantier, le numéro de coulée renvoie à la composition chimique, à la date de coulée et à toutes les autres bottes fabriquées à partir du même acier.

La rampe de trempe. Dans un laminoin QST, le débit et la pression d'eau ainsi que la température superficielle de la barre après trempe devraient être enregistrés pour chaque diamètre et chaque vitesse. Ces enregistrements expliquent les variations de limite d'élasticité bien avant qu'elles ne se traduisent par un essai non conforme.



ILLUSTRATIF Vue d'illustration. Image générée d'une barre chaude sur la table à rouleaux d'un laminoin ; il ne s'agit pas d'une photographie d'un projet, d'un lieu ou d'une personne.

2.4 Les billettes et le laminage déterminent l'état de surface, les dimensions et la masse

Une barre ne vaut que ce que vaut la billette dont elle est issue. La coulée continue peut laisser des porosités et une ségrégation de carbone et de soufre le long de l'axe de la billette, des fissures superficielles et de profondes marques d'oscillation ; au laminage, ces défauts deviennent des discontinuités internes, des replis et des pailles qui s'ouvrent lorsque la barre est pliée. Les usines inspectent donc visuellement les billettes, découpent et attaquent chimiquement des sections témoins pour en révéler la santé interne, et rebutent ou parachèvent les billettes défectueuses avant le réchauffage. Un relamineur qui achète des billettes sur le marché libre devrait exiger les mêmes preuves de son fournisseur, coulée par coulée.

Le réchauffage fixe la température à laquelle commence le laminage. Si elle est trop basse, les efforts de laminage augmentent tandis que la température de fin de laminage, qui conditionne le résultat de la trempe, baisse ; si elle est trop élevée ou si le réchauffage dure trop longtemps, la billette perd du métal sous forme d'une calamine épaisse et son grain grossit. La calamine qui n'est pas éliminée par le décalaminage est incrustée dans la surface sous forme de piqures et d'écailles.

Le laminoir réduit ensuite la billette par une succession de passes jusqu'au diamètre final. Deux propriétés qu'un acheteur pourra mesurer plus tard se décident ici : le **diamètre et l'ovalisation** de la barre, qui déterminent ensemble sa masse linéique, et la **géométrie des nervures**, gravée dans les cylindres finisseurs. Toutes deux dérivent avec l'usure des cylindres. Un laminoir qui rectifie ou remplace ses cylindres finisseurs selon un calendrier établi, et mesure la masse linéique et la hauteur des nervures à chaque changement de cylindres et à chaque poste, maintient son produit près des valeurs nominales ; un laminoir qui fait tourner ses cylindres jusqu'à une usure visible produit des barres de plus en plus légères et de moins en moins nervurées. La masse, c'est aussi de l'argent : un laminoir payé à la barre gagne sur chaque gramme qu'il ne lamine pas, ce qui explique pourquoi le régime de prix examiné dans le chapitre consacré à l'infrastructure qualité compte pour la qualité.

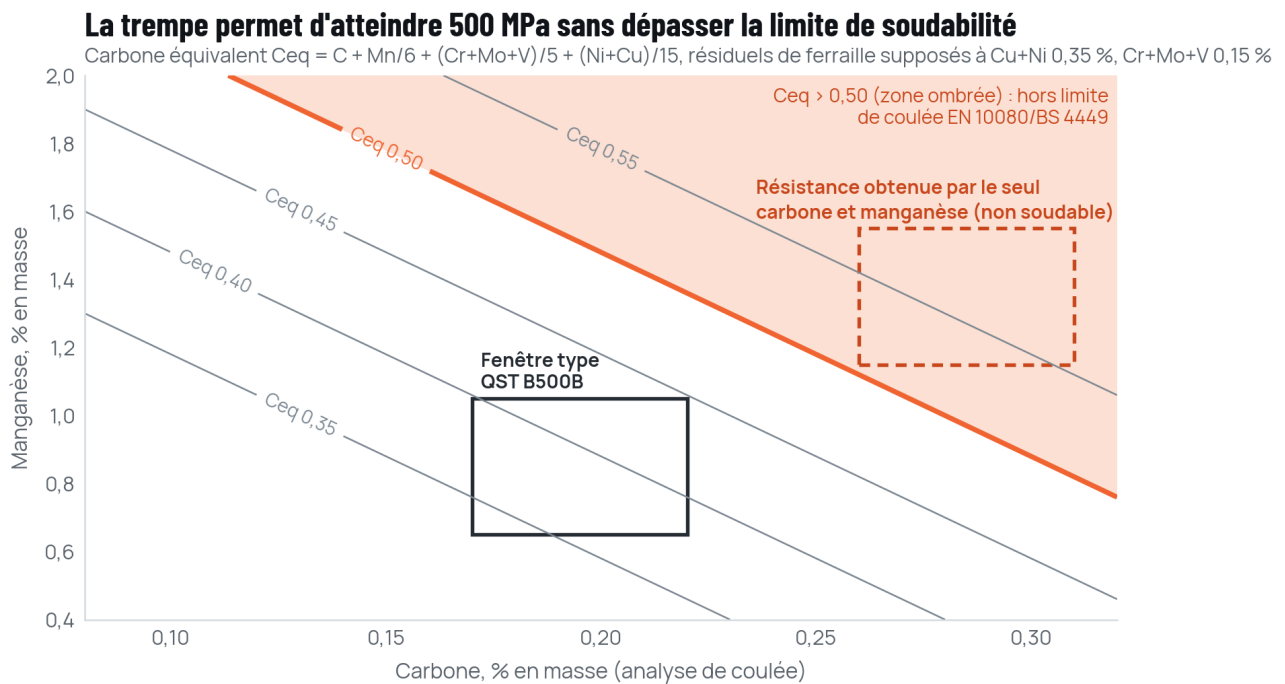
Enfin, les barres sont refroidies sur le refroidisseur, dressées, coupées à longueur (généralement 12 m au Cameroun) et mises en bottes, et chaque botte reçoit une étiquette portant le numéro de coulée, la nuance, le diamètre et la date. C'est à ce stade que la traçabilité est préservée ou perdue. Des bottes qui mélangent des barres de coulées différentes, ou des étiquettes imprimées sans référence à une coulée, rompent la chaîne qui relie une barre à ses résultats d'essais.

2.5 Le carbone équivalent est, à lui seul, le meilleur indicateur de la soudabilité

Sur les chantiers camerounais, les cages d'armatures sont souvent assemblées par pointage par commodité, et les barres sont parfois soudées à recouvrement ou soudées à des platines noyées. La sécurité de ces pratiques dépend de la trempabilité de l'acier, que résume le carbone équivalent. La formule utilisée par les normes européennes, dérivée de l'expression de l'Institut international de la soudure, est la suivante :

$$Ceq = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15$$

où toutes les teneurs sont exprimées en pourcentage massique [S31]. Un Ceq inférieur ou égal à 0,50 % sur l'analyse de coulée est la condition pour qu'un acier pour béton armé soit déclaré soudable selon l'EN 10080 et ses versions nationales [S31][S32][S38]. La norme américaine relative aux barres soudables, l'ASTM A706, utilise une formule différente et plafonne le carbone équivalent à 0,55 % [S41], tandis que la norme américaine générale relative aux barres, l'ASTM A615, ne fixe aucune limite de carbone équivalent, raison pour laquelle les barres A615 ne sont pas réputées soudables sans modes opératoires spécifiques [S40][S41]. Le soudage des aciers pour béton armé est lui-même régi par sa propre norme, l'EN ISO 17660-1, qui suppose au départ un acier soudable [S71].



DÉRIVÉ Figure 2.3. La trempe permet à un laminier d'atteindre 500 MPa dans la limite de soudabilité. La fenêtre QST (cadre en trait plein) se situe nettement en deçà de Ceq 0,50 ; une barre rendue résistante par le seul carbone et le seul manganèse (cadre en pointillés) se situe au-delà.

Source : calcul de Cameroon Steel selon la formule du Ceq [S31] avec des teneurs résiduelles supposées de la ferraille (Cu + Ni 0,35 %, Cr + Mo + V 0,15 %) ; limite tirée de [S31][S32]. Les fenêtres sont indicatives.

La figure rend ce compromis visible. Avec des teneurs résiduelles courantes pour de la ferraille, une barre QST contenant 0,17 % à 0,22 % de carbone et 0,65 % à 1,05 % de manganèse se situe entre Ceq 0,35 et 0,47. Une usine qui cherche à atteindre la même résistance par simple refroidissement à l'air a besoin de beaucoup plus de carbone et de manganèse, et se retrouve au-delà de 0,55. Ses barres peuvent réussir un essai de traction et produire néanmoins des points de soudure et des zones affectées thermiquement fragiles et fissurés. Pour un acheteur, le Ceq imprimé sur un certificat de réception n'est donc pas un détail technique : il indique si la barre a été fabriquée par une voie honnête.

2.6 Une industrie de petites usines ne vaut que ce que valent sa ferraille et son laboratoire

L'industrie sidérurgique camerounaise est un ensemble de relamineurs et de petites aciéries, situés pour la plupart à Douala, qui transforment des billettes importées et de la ferraille locale en ronds à béton, fil machine, profilés légers et fils ; la capacité installée de production de ronds à béton a été évaluée à 627 kt/an, pour une demande intérieure d'environ 180 kt [S53]. Cette structure a deux conséquences pour la qualité.

Premièrement, la qualité d'une barre fabriquée à partir de billettes achetées dépend de la composition chimique livrée par le fournisseur de billettes et de la maîtrise du réchauffage, du laminage et du refroidissement par le relamineur. Un relamineur qui ne contrôle pas les billettes à réception, ou qui mélange des billettes de coulées différentes dans une même campagne de laminage, perd la traçabilité dès la première étape.

Deuxièmement, les usines qui fondent de la ferraille locale dépendent de son tri. La ferraille mélangée apporte des fils de cuivre, des boîtes étamées, des tôles galvanisées, des aciers alliés et des contaminants non métalliques. Sans tri au parc à ferrailles, sans portique de détection de la radioactivité et sans spectromètre pour chaque coulée, les éléments résiduels dérivent, et le carbone équivalent avec eux. Des ingénieurs camerounais ont publiquement relié la mauvaise qualité de certaines barres à l'emploi de ferrailles collectées de manière informelle [S10] ; quel que soit le bien-fondé de cette affirmation pour un producteur donné, le risque métallurgique qu'elle décrit est réel et mesurable.

Le remède n'a rien d'exotique. Il s'agit d'un four-poche pour affiner et ajuster chaque coulée, d'un spectromètre pour le prouver, d'unités de fer propres telles que le DRI ou le fer briqueté à chaud (HBI) pour diluer les éléments résiduels, d'une rampe de trempe maîtrisée ou d'une pratique de microalliage, et d'un laboratoire capable d'essayer chaque lot. Ce sont les éléments que les systèmes de certification auditent, comme le décrit le chapitre consacré aux essais.

EXEMPLE TIRÉ DES INFORMATIONS PUBLIQUES

La première phase prévue par Cameroon Steel à Mboro, dans la Zone industrialo-portuaire de Kribi, s'articule autour d'une aciérie à four à arc électrique dotée d'un four-poche, au sein d'un complexe conçu pour 1 Mt/an à son plein développement [S01][S02][S03]. Ses billettes pourront être laminées sur place en ronds à béton et en fil machine ou vendues aux relamineurs décrits ci-dessus, qui importent aujourd'hui environ 60 % de leur charge [S53]. La capacité de production de ronds à béton dépassant déjà largement la demande, ce qu'une telle usine peut apporter au marché est un acier affiné et traçable plutôt qu'une capacité supplémentaire de ronds à béton. L'objectif de Cameroon Steel, énoncé dans le présent livre blanc, est de ne mettre sur le marché que des barres certifiées selon la norme camerounaise obligatoire et selon une référence internationale reconnue, avec une traçabilité par numéro de coulée de la fusion à la botte. Il s'agit d'un objectif, et non d'une affirmation relative à une production existante.

2.7 Cinq questions révèlent comment une barre a été fabriquée

Un acheteur ne peut pas auditer une aciérie, mais cinq questions, posées à un revendeur ou à un producteur et assorties de réponses documentées, révèlent l'essentiel de ce qui compte quant à la filière de fabrication d'une barre :

1. **Comment l'acier a-t-il été fondu et affiné ?** Un four à arc électrique suivi d'un four-poche peut éliminer le phosphore et le soufre et ajuster chaque coulée ; un four qui se contente de fondre ne le peut pas. Les barres relaminées n'ont pas été fondues du tout.
2. **Chaque coulée est-elle analysée, et le carbone équivalent est-il indiqué ?** Un certificat qui donne une analyse de coulée complète et un Ceq pour chaque coulée montre qu'un spectromètre est utilisé ; un certificat sans composition chimique ne montre rien.
3. **Comment la nuance 500 est-elle atteinte ?** La trempe et autorevenu ou le microalliage sont des voies honnêtes ; une teneur en carbone supérieure à 0,22 % associée à une teneur élevée en manganèse ne l'est pas.
4. **D'où viennent les billettes ?** Un relamineur devrait nommer ses fournisseurs de billettes et détenir leurs certificats par coulée ; des billettes d'origine inconnue ôtent une grande part de leur signification à tous les essais en aval.
5. **Une botte peut-elle être rattachée à sa coulée ?** Une étiquette portant un numéro de coulée qui figure sur un certificat, et un marquage de laminage sur chaque barre, montrent que la traçabilité est maintenue jusqu'au bout.

Un producteur capable de répondre aux cinq questions documents à l'appui conduit un procédé maîtrisé. Celui qui ne peut pas répondre aux trois premières demande à l'acheteur de se fier à une étiquette. Le chapitre consacré à la spécification et à la réception transforme ces questions en clauses contractuelles.

CHAPITRE 3

LES PRINCIPALES NORMES S'ACCORDENT SUR LA RÉSISTANCE MAIS DIVERGENT SUR LA DUCTILITÉ, L'ADHÉRENCE ET LA PREUVE DE CONFORMITÉ

Toutes les grandes normes relatives aux ronds à béton construisent leurs nuances autour d'une limite d'élasticité minimale de 400 à 500 MPa, si bien qu'un acheteur qui compare les étiquettes voit peu de différences. Les différences se situent ailleurs. La famille européenne (l'EN 10080 et ses versions nationales BS 4449 et NF A 35-080-1, lues conjointement avec l'Eurocode 2) garantit la ductilité au moyen de deux grandeurs mesurées, plafonne la limite d'élasticité, définit l'adhérence par la géométrie des nervures et repose normalement sur une certification par tierce partie assortie d'une évaluation statistique. La norme américaine générale relative aux barres, l'ASTM A615 Grade 60, garantit une résistance et un allongement minimaux, mais ni la ductilité au sens européen, ni la soudabilité. Un prescripteur camerounais devrait donc indiquer une nuance complète, une norme et un mode de preuve, jamais « Fe500 » seul.

3.1 Cinq familles de normes se côtoient sur le marché camerounais

L'acier utilisé dans les bâtiments camerounais parvient sur les chantiers par plusieurs canaux : les laminoirs nationaux qui produisent selon la norme nationale, les entreprises qui apportent les spécifications de leur pays d'origine, les bailleurs de fonds et les banques de développement qui exigent des références européennes ou américaines, et les concepteurs formés aux pratiques françaises, britanniques ou américaines. Cinq familles de documents coexistent donc.

L'Eurocode 2 (EN 1992-1-1) est un code de calcul, non une norme de produit. Son annexe C précise les propriétés que le concepteur peut supposer pour les armatures des classes A, B et C : une limite d'élasticité caractéristique comprise entre 400 et 600 MPa, une valeur minimale du rapport $k = (f_t/f_y)_k$, une valeur caractéristique minimale de la déformation sous charge maximale ϵ_{uk} , une étendue de contrainte en fatigue et une surface relative des nervures minimale [S30][S36]. Il fait le lien entre le calcul de structure et le produit.

L'EN 10080:2005 fixe les conditions techniques générales de livraison des aciers soudables pour béton armé, mais ne définit pas elle-même de nuances ; elle a été retirée en tant que norme européenne harmonisée en 2008, faute de satisfaire aux exigences légales de certains pays relatives à des propriétés supplémentaires, et les nuances continuent d'être définies au niveau national [S33][S39]. **La BS 4449:2005+A3:2016** définit les nuances B500A, B500B et B500C, qui correspondent aux trois classes de ductilité de l'Eurocode 2, toutes avec une limite d'élasticité caractéristique de 500 MPa [S33][S38]. **La NF A 35-080-1** joue le même rôle en France ; sa nuance la plus courante, B500B, est certifiée dans le cadre du système AFCAB [S31][S42].

L'ISO 6935-2:2019 est la norme internationale relative aux barres nervurées. Elle propose un éventail de nuances et de classes de ductilité parmi lesquelles les organismes nationaux peuvent choisir, et de nombreuses normes africaines sont rédigées à partir d'elle [S43].

L'ASTM A615/A615M est la spécification américaine générale des barres à haute adhérence en acier au carbone, le Grade 60 [420] constituant le choix courant ; l'ASTM A706/A706M est son équivalent en acier faiblement allié pour les applications qui exigent des caractéristiques de traction maîtrisées et une soudabilité, notamment le calcul parasismique [S34][S40][S41].

La NC 236, norme camerounaise Acier pour béton armé : fer à béton, rendue obligatoire par un arrêté ministériel du 20 avril 2022, reconnaît les barres à haute adhérence (nervurées) des nuances Fe400 et Fe500 et les ronds lisses des nuances Fe215 et Fe235 [S04][S05]. La presse a fait référence à son édition de 2021 (NC 236:2021) et, en 2026, à une édition codifiée NC 236/2024/06 [S04][S06]. Ces désignations rappellent les anciennes nuances françaises FeE 400 et FeE 500, que la France a depuis remplacées par la famille B500 [S72]. Le texte intégral de la NC 236 n'est pas librement accessible en ligne ; le présent livre blanc décrit donc ses nuances et son statut juridique, mais n'en reproduit pas les exigences chiffrées (voir le chapitre consacré aux lacunes de connaissance).

Les entreprises chinoises ajoutent souvent une sixième référence, la GB/T 1499.2, dont les nuances HRB400 et HRB500 comportent des variantes parasismiques « E » assorties d'un rapport de résistances minimal et d'un plafond de surrésistance [S73]. L'enjeu n'est pas de choisir une famille pour elle-même, mais de reconnaître qu'une même « barre de 500 MPa » nominale peut porter des garanties très différentes.

3.2 Résistance : des chiffres semblables, des sens différents du mot « minimum »

Source : schéma de Cameroon Steel ; définitions d'après l'ISO 6892-1 et l'EN ISO 15630-1 [S44][S45].

Les limites d'élasticité affichées convergent : 500 MPa pour les nuances européennes B500 et la nuance camerounaise Fe500, 420 MPa pour le Grade 60 de l'ASTM. Ce qui diffère, c'est la signification statistique de ce chiffre.

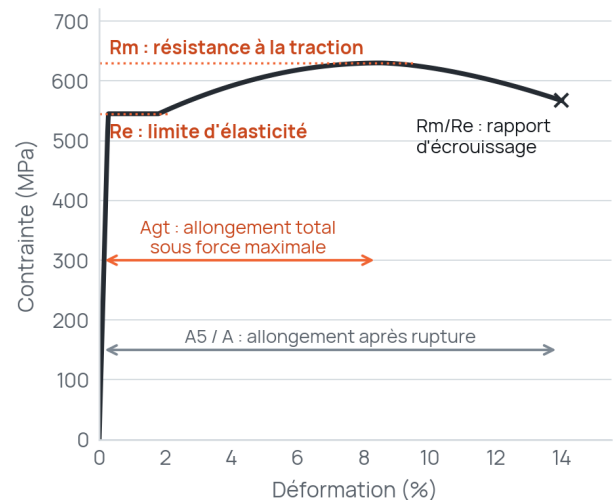
Dans la famille européenne, les 500 MPa sont une **valeur caractéristique** : la production à long terme doit démontrer, avec un niveau de confiance statistique déclaré, que 5 % au plus des barres se situent en dessous, et chaque résultat d'essai individuel doit en outre dépasser un minimum légèrement inférieur. Dans le système français pour la B500B, par exemple, la limite d'élasticité caractéristique est de 500 MPa et le minimum individuel de 475 MPa [S31]. Dans la pratique ASTM, les 420 MPa du Grade 60 sont un **minimum applicable à chaque essai**, sans fractile déclaré [S34][S40].

La famille européenne **plafonne également la limite**

d'élasticité. Dans le système AFCAB, le rapport entre la limite d'élasticité réelle et la limite nominale doit rester inférieur à 1,30 en valeur caractéristique et à 1,32 pour tout essai [S31] ; plusieurs versions nationales plafonnent la limite d'élasticité à 650 MPa [S32]. L'ASTM A706 plafonne le Grade 60 à 540 MPa (78 ksi) [S34], tandis que l'ASTM A615 ne fixe aucun maximum [S34]. Un plafond peut surprendre dans une norme de qualité, mais une barre bien plus résistante que déclaré déplace la rupture de l'acier ductile vers le béton fragile, et rend moins prévisible le comportement d'une structure conçue pour former des rotules plastiques ductiles.

C'est sur l'exigence de résistance à la traction que l'ASTM A615 a le plus évolué. Les éditions des documents de référence du CRSI indiquent pour le Grade 60 une résistance à la traction minimale de 90 000 psi (620 MPa) [S34] ; l'édition en vigueur, telle que résumée en 2021 par un grand producteur américain, exige 80 000 psi (550 MPa) et ne

Ce que mesure l'essai de traction



ILLUSTRATIF Figure 3.1. L'essai de traction fournit cinq valeurs ; les normes diffèrent quant à celles qu'elles encadrent.

fixe aucun rapport minimal entre résistance à la traction et limite d'élasticité pour le Grade 60 [S35]. L'ASTM A706 Grade 60 exige au contraire une résistance à la traction d'au moins 80 000 psi et d'au moins 1,25 fois la limite d'élasticité réelle [S34].

La figure ci-contre définit les grandeurs. R_e est la limite d'élasticité ; R_m la résistance à la traction ; A_{gt} l'allongement total sous force maximale, c'est-à-dire la déformation que la barre peut subir tout en supportant une charge croissante ; A (ou A_5) l'allongement après rupture, qui inclut la striction locale précédant immédiatement la rupture de la barre. L' A_{gt} est la mesure la plus significative de la ductilité utilisable, car la striction se produit sur une très faible longueur de barre.

3.3 Ductilité : la plus grande différence entre les familles

La famille européenne encadre directement la ductilité, en fixant un A_{gt} minimal et un rapport R_m/R_e minimal pour chaque classe. L'ASTM A615 l'encadre indirectement, par l'allongement après rupture mesuré sur une longueur entre repères de 200 mm (8 in) : de 9 % pour les petits diamètres à 7 % pour les plus gros [S34][S35]. L'allongement après rupture est un bon filtre pour détecter un acier fragile, mais ce n'est pas la même propriété : une barre peut présenter 9 % d'allongement après rupture, concentré pour l'essentiel dans la striction, tout en n'ayant qu'un faible allongement réparti et un faible rapport de résistances. C'est pourquoi les calculs fondés sur l'Eurocode ne devraient pas considérer l'A615 Grade 60 comme équivalent à la B500B sans vérifier l' A_{gt} et le rapport R_m/R_e sur le certificat d'usine.

Tableau 3.1 Comment les principaux documents de référence définissent une barre d'armature de nuance 500 (ou de Grade 60) (synthèse)

Propriété	EN 1992-1-1 annexe C, classe B (calcul)	B500B selon BS 4449 / NF A 35-080-1	ASTM A615 Grade 60 [420]	ASTM A706 Grade 60 [420]	NC 236 Fe500 (Cameroun, obligatoire)
Nature	Propriétés que le concepteur peut supposer	Norme de produit, généralement avec certification par tierce partie	Norme de produit	Norme de produit, acier faiblement allié, soudable	Norme nationale de produit obligatoire
Limite d'élasticité	f_{yk} de 400 à 600 MPa	500 MPa en valeur caractéristique ; minimum individuel de 475 MPa (NF)	420 MPa minimum par essai	420 MPa minimum, 540 MPa maximum	Nuance 500 selon la désignation
Limite d'élasticité maximale	Non fixée pour la classe B	$R_{e,act}/R_e, nom \leq 1,30$ en valeur caractéristique, $\leq 1,32$ pour tout essai (NF) ; 650 MPa dans plusieurs versions	Aucune	540 MPa	Non publiée
Rapport de résistances	$k \geq 1,08$	$R_m/R_e \geq 1,08$ en valeur caractéristique ($\geq 1,06$ pour tout essai, NF)	Résistance à la traction ≥ 550 MPa (620 MPa dans les éditions antérieures) ; aucun rapport	Résistance à la traction ≥ 550 MPa et $\geq 1,25 \times$ limite d'élasticité réelle	Non publiée
Ductilité	$\epsilon_{uk} \geq 5,0 \%$	$A_{gt} \geq 5,0 \%$ en valeur caractéristique ($\geq 4 \%$ pour tout essai, NF)	Allongement après rupture sur 200 mm $\geq 9 \%$ à 7 % selon le diamètre	Allongement après rupture $\geq 14 \%$ à 10 % selon le diamètre	Non publiée
Aptitude au pliage	Essai de pliage ou de pliage-dépliage exigé	Essai de pliage-dépliage : absence de fragilité après vieillissement	Essai de pliage à 180° autour d'un mandrin de 3,5d à 9d selon le diamètre	Essai de pliage autour d'un mandrin de 3d à 8d	Non publiée
Tolérance sur la masse	$\pm 6,0 \%$ ($d \leq 8$ mm), $\pm 4,5 \%$ ($d > 8$ mm)	$\pm 6,0 \%$ / $\pm 4,5 \%$	Chaque barre $\geq 94 \%$ de la masse nominale	Chaque barre $\geq 94 \%$ de la masse nominale	Non publiée

Propriété	EN 1992-1-1 annexe C, classe B (calcul)	B500B selon BS 4449 / NF A 35-080-1	ASTM A615 Grade 60 [420]	ASTM A706 Grade 60 [420]	NC 236 Fe500 (Cameroun, obligatoire)
Soudabilité	Acier soudable supposé	$C_{eq} \leq 0,50 \%$, $C \leq 0,22 \%$, P et $S \leq 0,050 \%$, $N \leq 0,012 \%$, $Cu \leq 0,80 \%$	Aucune limite de carbone équivalent	$CE \leq 0,55 \%$ avec limites sur C, Mn, P, S et Si	Non publiée
Adhérence	fR minimal selon le diamètre (tableau 3.3)	Géométrie des nervures et fR tels que certifiés	Limites d'espacement, de hauteur et d'intervalle des nervures	Comme l'A615	Nervurée (« haute adhérence »)
Preuve de conformité	Supposée par le calcul	Contrôle de la production en usine, essais initiaux et essais d'audit, surveillance par un organisme de certification	Certificat d'usine	Certificat d'usine	Certificat de conformité de l'ANOR

Source : [S30][S36] pour l'Eurocode 2 ; [S31][S32][S38] pour les normes de produit européennes (valeurs NF tirées du résumé de certificat AFCAB) ; [S34][S35]
[S40][S41] pour l'ASTM ; [S04][S05] pour la NC 236. Synthèse fournie à titre indicatif uniquement ; seule l'édition en vigueur de chaque norme fait foi.

Le tableau explique une confusion fréquente dans la commande publique camerounaise. Une offre peut proposer du « Fe500 équivalent B500B ou A615 Grade 60 » comme si ces nuances étaient interchangeable. Elles ne le sont pas : la nuance européenne promet un rapport de résistances et un allongement réparti ; l'A615 Grade 60 promet un allongement après rupture plus élevé, mais aucun rapport de résistances, une limite d'élasticité plus basse et aucune soudabilité ; l'A706 promet les exigences de ductilité les plus strictes et la soudabilité, mais avec une résistance de nuance 420.

3.4 Section : la masse linéique est la mesure honnête de la taille d'une barre

Comme les nervures rendent le contour d'une barre irrégulier, les normes définissent sa taille par sa masse linéique plutôt que par un diamètre mesuré. La section nominale est celle d'un cercle de diamètre nominal d , et la masse nominale découle de la masse volumique de l'acier, $7\,850\text{ kg/m}^3$:

masse linéique (kg/m) = $\pi/4 \times d^2 \times 7\,850 \times 10^{-6} \approx 0,00617 \times d^2$, avec d en millimètres.

Cette formule simple est l'outil de contrôle de la qualité le plus puissant dont dispose un chantier : peser une barre entière et diviser par sa longueur indique à l'acheteur, à quelques pour cent près, la quantité d'acier qu'il a réellement achetée.

Tableau 3.2 Masse linéique nominale et tolérances sur la masse des diamètres courants

Diamètre nominal (mm)	Section (mm²)	Masse linéique (kg/ m)	Masse d'une barre de 12 m (kg)	Tolérance (famille EN)	Barre de 12 m la plus légère admise (kg)	Barres par tonne (12 m)
6	28,3	0,222	2,66	±6,0 %	2,50	375
8	50,3	0,395	4,74	±6,0 %	4,46	211
10	78,5	0,617	7,40	±4,5 %	7,07	135
12	113,1	0,888	10,66	±4,5 %	10,18	93
14	153,9	1,208	14,50	±4,5 %	13,84	68
16	201,1	1,578	18,94	±4,5 %	18,08	52
20	314,2	2,466	29,59	±4,5 %	28,26	33
25	490,9	3,853	46,24	±4,5 %	44,16	21
32	804,2	6,313	75,76	±4,5 %	72,35	13

Diamètre nominal (mm)	Section (mm²)	Masse linéique (kg/m)	Masse d'une barre de 12 m (kg)	Tolérance (famille EN)	Barre de 12 m la plus légère admise (kg)	Barres par tonne (12 m)
40	1 256,6	9,865	1 18,38	±4,5 %	1 13,05	8

Source : section, masse linéique, masse d'une barre de 12 m et nombre de barres par tonne dérivés du diamètre nominal et d'une masse volumique de 7 850 kg/m³ (annexe A) ; tolérances tirées des normes européennes de référence [S31][S32][S38]. Selon l'ASTM A615 et l'A706, aucune barre ne peut peser moins de 94 % de sa masse nominale [S34]. Nombre de barres par tonne arrondi à l'unité inférieure.

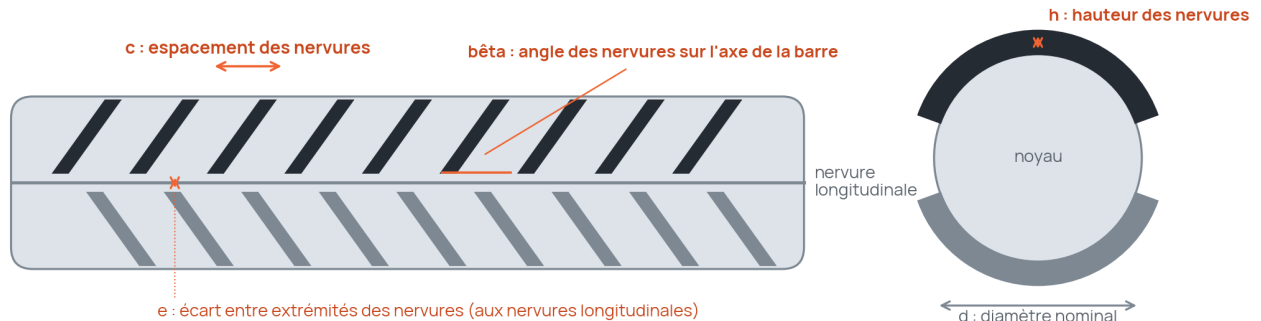
La tolérance est une bande autour de la masse nominale, et non une autorisation de produire à sa limite inférieure. Un laminoir qui vise le bas de la bande pour économiser de l'acier produira, du fait de la dispersion normale, des barres hors tolérance. Les laminoirs certifiés visent une masse proche de la masse nominale et consignent l'écart de chaque lot sur le certificat de réception.

3.5 Adhérence : les nervures sont spécifiées par leur géométrie et vérifiées par la mesure

Ce sont les nervures qui font d'une barre une barre à haute adhérence. Leur hauteur, leur espacement, leur inclinaison et les intervalles entre leurs extrémités déterminent l'effort que la barre peut transmettre au béton environnant sur une longueur donnée, et donc les longueurs d'ancrage et de recouvrement que le concepteur peut retenir. L'Eurocode 2 résume la géométrie des nervures par un paramètre unique, la surface relative des nervures f_R , soit l'aire projetée des nervures par unité de longueur divisée par le périmètre de la barre [S36].

L'adhérence est une géométrie : hauteur, espacement et angle des nervures sont spécifiés et mesurés

Nervures transversales sur deux rangées et paramètres servant au calcul de la surface relative des nervures f_R (schéma)



Les nervures transmettent l'effort de l'acier au béton par appui. Trop basses, trop espacées ou usées par une cannelure fatiguée, la barre glisse.

ILLUSTRATIF **Figure 3.2.** L'adhérence est une affaire de géométrie. La hauteur des nervures (h), leur espacement c , leur angle (β) et les intervalles entre leurs extrémités (e) sont spécifiés et mesurés, et se combinent dans la surface relative des nervures f_R .

Source : schéma de Cameroon Steel. Définitions des paramètres d'après l'EN 1992-1-1 et le résumé de certification AFCAB [S31][S36].

Tableau 3.3 Comment l'adhérence et l'identification sont spécifiées (synthèse)

Exigence	Famille européenne (Eurocode 2, EN 10080, BS 4449, NF A 35-080-1)	ASTM A615 / A706
Paramètre d'adhérence	Surface relative des nervures f_R minimale : 0,035 de 5 à 6 mm, 0,040 de 6,5 à 12 mm, 0,056 au-delà de 12 mm (valeurs recommandées de l'Eurocode 2)	Géométrie des nervures plutôt que f_R
Géométrie des nervures	Hauteur, espacement et inclinaison des nervures dans des plages définies ; pour un profil à deux rangées de nervures en croissant, f_R est calculé comme $0,56 \times h / c$ dans le système de certification français	Espacement moyen au plus égal à $0,7 d$; somme des intervalles au plus égale à 12,5 % du périmètre nominal ; nervures inclinées d'au moins 45° par rapport à l'axe ; hauteur minimale selon le diamètre

Exigence	Famille européenne (Eurocode 2, EN 10080, BS 4449, NF A 35-080-1)	ASTM A615 / A706
Identification	Marquage de laminage identifiant le pays et l'usine de production ; étiquette indiquant la coulée, la nuance, la norme et la marque de certification	Symboles laminés indiquant l'usine, le diamètre, le type (A615 ou A706) et la nuance
Étiquette de botte	Numéro de coulée, masse, diamètre, longueur, norme, logos de certification	Numéro de coulée sur le certificat d'usine

Source : [S31][S32][S36] (famille européenne) ; [S34][S40][S41] (ASTM). Les valeurs recommandées peuvent être modifiées par les annexes nationales.

Une conséquence pratique de la formule de f_R mérite d'être détaillée. Pour une barre de 16 mm à nervures en croissant, un f_R de 0,056 exige un rapport entre hauteur et espacement des nervures d'au moins 0,10 (dérivé : 0,056 / 0,56). Avec un espacement de 10 mm, les nervures doivent dépasser d'au moins 1,0 mm du noyau. Un cylindre finisseur usé qui produit des nervures de 0,7 mm pour le même espacement donne un f_R d'environ 0,039, inférieur au minimum, et la barre ne s'ancre plus comme le concepteur l'avait supposé (dérivé). La hauteur des nervures se mesure sur chantier avec une jauge de profondeur, et leur espacement avec une règle posée le long de dix nervures.

3.6 Aptitude au pliage : l'essai de pliage-dépliage détecte ce que l'essai de traction ne voit pas

Les barres sont pliées à froid sur chantier pour former des crochets, des cadres et des barres relevées, et certaines, laissées en attente dans une reprise de bétonnage, sont ensuite redressées. Une barre qui se fissure à l'extrados d'un pli présente un défaut caché à l'endroit même où l'effort doit être ancré. Les normes exigent donc un **essai de pliage** (pliage d'une éprouvette à 180° autour d'un mandrin de diamètre spécifié, puis recherche de fissures) ou un **essai de pliage-dépliage** (pliage, vieillissement artificiel, puis dépliage, ce qui révèle une fragilisation due à l'azote ou à un excès de carbone) [S31][S38][S40]. L'essai de pliage de l'ASTM A615 utilise un mandrin de 3,5 diamètres de barre pour les petits diamètres, jusqu'à 9 diamètres pour les plus gros ; l'A706, plus ductile, utilise un mandrin plus serré, de 3 à 8 diamètres [S40][S41]. Le système de certification français exige l'absence de fragilité à l'essai de pliage et de pliage-dépliage, et certifie séparément l'aptitude d'une barre au dressage après pliage [S31].

L'essai de pliage est aussi l'essai mécanique le plus simple qu'un chantier puisse réaliser sans laboratoire, comme l'explique le chapitre consacré aux défauts.

3.7 La preuve est la partie de la norme que les acheteurs oublient

Une norme dit ce que doit être une barre. Elle ne prouve pas à elle seule qu'une botte donnée est conforme à ce qu'elle annonce. La famille européenne repose sur la **certification de produit par tierce partie** : un organisme de certification évalue le contrôle de la production en usine du laminoir, procède aux essais de type initiaux, audite périodiquement l'usine, prélève ses propres échantillons pour des essais indépendants et évalue les statistiques à long terme des résultats de l'usine avant d'accorder le droit d'utiliser sa marque. Le certificat AFCAB résumé dans le présent livre blanc, par exemple, est valable pour une durée déterminée, soumis à une surveillance périodique, et sa validité peut être vérifiée en ligne par tout acheteur [S31]. Au Royaume-Uni, le système CARES joue le même rôle pour la BS 4449 [S33].

Les normes de produit de l'ASTM n'exigent pas par elles-mêmes de certification par tierce partie ; la conformité est démontrée par le certificat d'usine du producteur et, si l'acheteur le souhaite, par des essais de réception.

Au Cameroun, la conformité des ronds à béton nationaux à la NC 236 est attestée par un certificat de conformité délivré par l'ANOR, l'Agence des normes et de la qualité. Le cas d'octobre 2024, où l'ANOR a retiré un certificat qu'elle avait délivré le 15 janvier 2024 et ordonné le rappel de barres commercialisées comme Fe450, une nuance absente de la NC 236, montre à la fois que le système fonctionne et qu'un certificat ne vaut que par la surveillance qui le suit [S04][S05].

« FE500 » SUR UNE ÉTIQUETTE EST UNE DÉCLARATION DE RÉSISTANCE. UNE SPÉCIFICATION DOIT AUSSI INDIQUER LA CLASSE DE DUCTILITÉ, LA LIMITE DE SOUDABILITÉ ET LA PREUVE.

Règle pratique pour les prescripteurs camerounais

3.8 Ce que cela signifie pour un prescripteur camerounais

Trois conclusions pratiques découlent de cette comparaison.

Premièrement, **indiquer l'exigence complète**. Une spécification libellée « NC 236 Fe500 » fixe la nuance légale. Elle devrait y ajouter les propriétés que suppose un calcul fondé sur l'Eurocode : ductilité de classe B ($A_{gt} \geq 5,0 \%$ et $R_m/Re \geq 1,08$ en valeurs caractéristiques), un rapport maximal entre limite d'élasticité réelle et nominale, un carbone équivalent inférieur ou égal à 0,50 % lorsque les barres seront soudées, et des tolérances sur la masse conformes à la famille européenne. Le chapitre consacré à la spécification et à la réception propose une rédaction pour ces clauses.

Deuxièmement, **ne pas accepter d'allégation d'équivalence sans chiffres**. Une mention « équivalent B500B » devrait être démontrée sur le certificat d'usine pour chaque coulée : A_{gt} , R_m/Re , C_{eq} et masse linéique, et pas seulement la limite d'élasticité.

Troisièmement, **exiger la preuve, et pas seulement le produit**. Un certificat valide délivré par une tierce partie et assorti d'une surveillance, ou un certificat de conformité de l'ANOR dont on a vérifié qu'il est en cours de validité, vaut davantage que n'importe quel rapport d'essai isolé, car il couvre la production qui n'a pas été essayée.



LES NERVURES SONT UNE SPÉCIFICATION : LEUR HAUTEUR, LEUR ESPACEMENT ET LEUR ANGLE DÉTERMINENT LA TENUE D'UNE BARRE DANS LE BÉTON.

Vue d'illustration. Image générée de nervures transversales sur des barres d'armature ; il ne s'agit pas d'une photographie d'un projet, d'un lieu ou d'une personne.

CHAPITRE 4

LE CAMEROUN DISPOSE DES OUTILS JURIDIQUES POUR GARANTIR LA QUALITÉ DES RONDS À BÉTON ; LES LACUNES PORTENT SUR LA SURVEILLANCE ET LES ESSAIS

Le Cameroun dispose déjà d'une loi sur la normalisation, d'une agence de normalisation qui élabore les normes, certifie les produits et contrôle les importations, d'une norme obligatoire sur les ronds à béton, d'une interdiction d'importation qui oriente la demande vers les laminoirs nationaux et d'un régime d'homologation des prix. Depuis 2021, ces règles se sont rapidement durcies et, entre 2024 et 2026, l'État a montré qu'il entendait faire appliquer la norme sur les ronds à béton et refuser de l'assouplir. Ce qui reste fragile, c'est le maillon situé entre la sortie de l'usine et le bâtiment : les prélèvements réguliers chez les revendeurs, la publication des résultats, une capacité d'essai accréditée dans chaque grande ville et les contrôles de réception sur chantier.

4.1 Une chaîne juridique complète va de la loi de 1996 à une norme obligatoire sur les ronds à béton

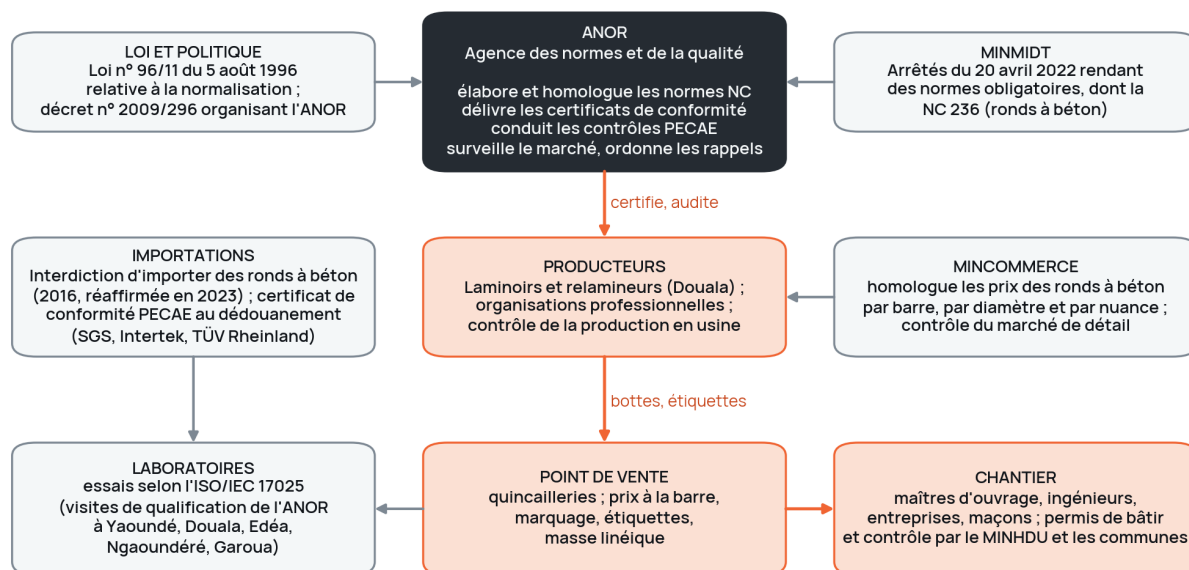
Le socle est la loi n° 96/11 du 5 août 1996 relative à la normalisation. Le décret n° 2009/296 du 17 septembre 2009 organise l'Agence des normes et de la qualité (ANOR), et une circulaire du Premier ministre du 12 novembre 2010 encadre les programmes nationaux de normalisation [S14]. En octobre 2024, le Cameroun s'était doté d'environ 3 000 normes nationales (normes camerounaises, NC) [S14]. Comme dans la plupart des pays, une norme est d'application volontaire, sauf si un texte réglementaire la rend obligatoire [S14].

L'ANOR décrit sa mission en trois volets : la normalisation (élaboration, homologation et révision des normes camerounaises avec les comités techniques), la certification (des produits et des systèmes, y compris l'évaluation de la conformité des importations avant embarquement), ainsi que le contrôle de la qualité et la surveillance du marché, y compris le retrait des produits non conformes aux normes en vigueur [S16]. Ses normes sont élaborées au sein de comités techniques selon les procédures ISO/IEC et soumises à enquête publique avant homologation ; deux enquêtes publiques sur des projets de normes étaient ouvertes au 10 octobre 2026 [S74][S75]. L'ANOR relaie également les travaux de l'Organisation africaine de normalisation (ARSO) [S74].

Pour les aciers pour béton armé, l'étape décisive a été franchie le 20 avril 2022, lorsqu'un arrêté du ministère des Mines, de l'Industrie et du Développement technologique (MINMIDT) a rendu obligatoire la norme nationale sur les ronds à béton, la NC 236, parmi d'autres normes rendues obligatoires le même jour [S04][S09]. La norme reconnaît les barres nervurées des nuances Fe400 et Fe500 et les barres lisses des nuances Fe215 et Fe235 ; aucune autre nuance ne peut légalement être mise sur le marché en tant que rond à béton conforme [S05].

Le Cameroun dispose de tous les échelons institutionnels ; les maillons faibles sont le point de vente et le chantier

Qui fait quoi dans l'infrastructure qualité des ronds à béton au Cameroun (schéma simplifié)



Orange : la chaîne du produit, où la nuance déclarée doit être préservée. Gris : les institutions qui fixent les règles et en contrôlent le respect.

SOURCÉ Figure 4.1. Le Cameroun dispose de tous les niveaux institutionnels ; les maillons faibles se situent au point de vente et sur le chantier. La loi et les arrêtés ministériels donnent à l'ANOR la norme au regard de laquelle elle certifie ; producteurs, revendeurs et chantiers forment la chaîne tout au long de laquelle la nuance déclarée doit être préservée.

Source : Cameroon Steel, d'après [S04][S05][S09][S11][S12][S14][S15][S16][S18][S20]. Schéma simplifié ; il ne s'agit de l'organigramme d'aucune institution.

4.2 L'État a fait appliquer la norme et refusé de l'assouplir

Trois épisodes survenus entre 2023 et 2026 montrent comment le dispositif se comporte sous pression.

Barres contrefaites et non conformes, 2023. En juin 2023, une organisation professionnelle des transformateurs de l'acier et une fondation de consommateurs ont dénoncé publiquement des ronds à béton vendus comme nuance 500 qui, selon elles, ne satisfaisaient même pas aux exigences de la nuance 400 ; l'ANOR figurait parmi les autorités qu'elles avaient saisies [S09]. Deux mois plus tôt, après la réaffirmation de l'interdiction d'importation, des ingénieurs et des promoteurs immobiliers s'étaient plaints dans la presse de la qualité de certaines barres produites localement, ce que les producteurs contestaient [S10].

Un certificat retiré, 2024. Le 15 janvier 2024, l'ANOR avait délivré à un producteur de Douala un certificat de conformité couvrant des barres des nuances Fe400, Fe450 et Fe500. Après que l'organisation des transformateurs de l'acier eut signalé, le 9 octobre 2024, qu'un produit était vendu sous couvert d'un certificat qui n'existait pas pour lui, et après un courrier du ministre du Commerce du 15 octobre, le directeur général de l'ANOR a retiré le certificat le 16 octobre 2024 et ordonné le rappel de toutes les barres Fe450 présentes sur le marché, la norme NC 236 ne prévoyant pas cette nuance [S04][S05]. Le ministre du Commerce s'était inquiété de ce que des barres non agréées puissent compromettre la sécurité des bâtiments [S05].

Une révision refusée, 2026. Le 28 novembre 2025, une deuxième association professionnelle a demandé la révision de la norme. Le 19 janvier 2026, les services du Premier ministre ont répondu qu'une révision paraissait inopportune dans le contexte actuel d'un secteur en forte croissance ; la presse a rattaché cette décision aux effondrements meurtriers et à la volonté de l'État d'assainir et de structurer la filière [S06][S07][S08].

Depuis 2021, les règles applicables aux ronds à béton se sont vite durcies

Jalons de la normalisation, de l'évaluation de la conformité et du contrôle du marché des ronds à béton au Cameroun

		Source
5 août 1996	La loi n° 96/11 relative à la normalisation fonde les normes camerounaises (NC)	S14
17 sept. 2009	Le décret n° 2009/296 organise l'ANOR, Agence des normes et de la qualité	S14
1er juil. 2015	Le décret n° 2015/1875/PM crée le PECAE, évaluation de la conformité des importations avant embarquement	S15
31 mai 2016	Les services du Premier ministre suspendent jusqu'à nouvel ordre les importations de ronds à béton	S13
31 août 2016	Le PECAE devient opérationnel (SGS, Intertek, TÜV Rheinland)	S15
31 mai 2021	Le décret n° 2021/3306/PM modifie et précise le programme PECAE	S15
2021	Publication de la NC 236:2021, norme nationale des aciers pour béton armé	S04, S05
20 avr. 2022	Un arrêté rend la NC 236 obligatoire : Fe400 et Fe500 à haute adhérence, Fe215 et Fe235 lisses	S04, S05, S09
avr. à juin 2023	Interdiction réaffirmée ; ingénieurs et usagers signalent des barres non conformes et contrefaites	S09, S10, S12
21 oct. 2023	Baisse des prix homologués à la barre, par diamètre et par nuance	S11
16 oct. 2024	L'ANOR retire un certificat de conformité et rappelle des barres Fe450, nuance absente de la NC 236	S04, S05
19 janv. 2026	Le Gouvernement refuse une demande de révision de la norme des ronds à béton (NC 236/2024/06)	S06, S07
6 oct. 2026	L'ANOR simplifie le déclenchement des contrôles PECAE (numéro IM accepté)	S17

SOURCÉ Figure 4.2. Depuis 2021, les règles applicables aux ronds à béton se sont rapidement durcies. Le caractère obligatoire (2022), l'application effective (2024) et le refus de réviser la norme (2026) se sont succédé en quatre ans.

Source : selon les références indiquées dans la figure ; annexe C.

L'enseignement de l'épisode Fe450 ne concerne pas un seul producteur. Il tient en ceci : **un catalogue de nuances ne protège les acheteurs que si chaque désignation a un sens et un seul**. Une nuance intermédiaire que la norme ne reconnaît pas ne peut servir au dimensionnement, car aucun code de calcul n'en donne les propriétés, et elle induit en erreur les acheteurs qui lisent « 450 » comme « presque 500 ». En s'en tenant au catalogue Fe400 et Fe500, et en rappelant les barres qui n'y figurent pas, les autorités ont préservé le sens de la désignation. L'étape suivante consiste à s'assurer que chaque barre qui porte cette désignation y satisfait réellement.

4.3 L'interdiction d'importation et le PECAE déterminent où se situe le risque qualité

Depuis le 31 mai 2016, date à laquelle les services du Premier ministre ont suspendu les importations de ronds à béton « jusqu'à nouvel ordre », la quasi-totalité des ronds à béton utilisés au Cameroun est produite dans le pays [S13]. En décembre 2020, les autorités ont mis sous scellés plus de 7 300 t importées par une entreprise de travaux et, le 3 avril 2023, le directeur général des Douanes a confirmé que les importations de ronds à béton demeuraient interdites [S12][S13]. Les importations enregistrées de barres (SH 7214) sont tombées à 3,3 millions de dollars US en 2023 [S52]. Le Cameroun est d'ailleurs un exportateur modeste : environ 31 000 t de barres par an, principalement vers le Tchad [S52][S76].

La conséquence pour la qualité est directe. Les importations étant fermées, la qualité des ronds à béton présents dans les bâtiments camerounais est presque entièrement celle de la production nationale et de sa distribution. L'interdiction protège les laminoirs du dumping ; elle supprime aussi la pression concurrentielle qu'exerceraient des barres importées certifiées. La certification nationale et la surveillance du marché en deviennent plus importantes, et non moins.

Pour les produits sidérurgiques qui sont encore importés, tels que le fil, le treillis et les profilés, le contrôle pertinent est le **Programme d'évaluation de la conformité avant embarquement (PECAE)**, qui s'applique aux marchandises importées au Cameroun ; la mesure dans laquelle il couvre des intrants industriels comme les billettes destinées au

relaminage ne ressort pas clairement des documents publics. Créé par le décret n° 2015/1875/PM du 1er juillet 2015, opérationnel depuis le 31 août 2016 et modifié par le décret n° 2021/3306/PM du 31 mai 2021, il exige un certificat de conformité délivré avant embarquement par l'un des trois organismes d'inspection mandatés par l'ANOR (SGS, Inter-tek ou TÜV Rheinland) [S15]. Les expéditions suivent l'une de trois routes, de l'inspection physique complète avec essais en laboratoire de chaque envoi (route A) à la vérification documentaire pour les produits enregistrés (route C), moyennant des frais d'inspection de 0,45 %, 0,40 % ou 0,27 % de la valeur FOB, compris entre 196 787 et 4 591 699 FCFA par expédition [S15]. Le 6 octobre 2026, l'ANOR a simplifié l'initiation de la procédure en acceptant la référence d'importation du guichet unique [S17].

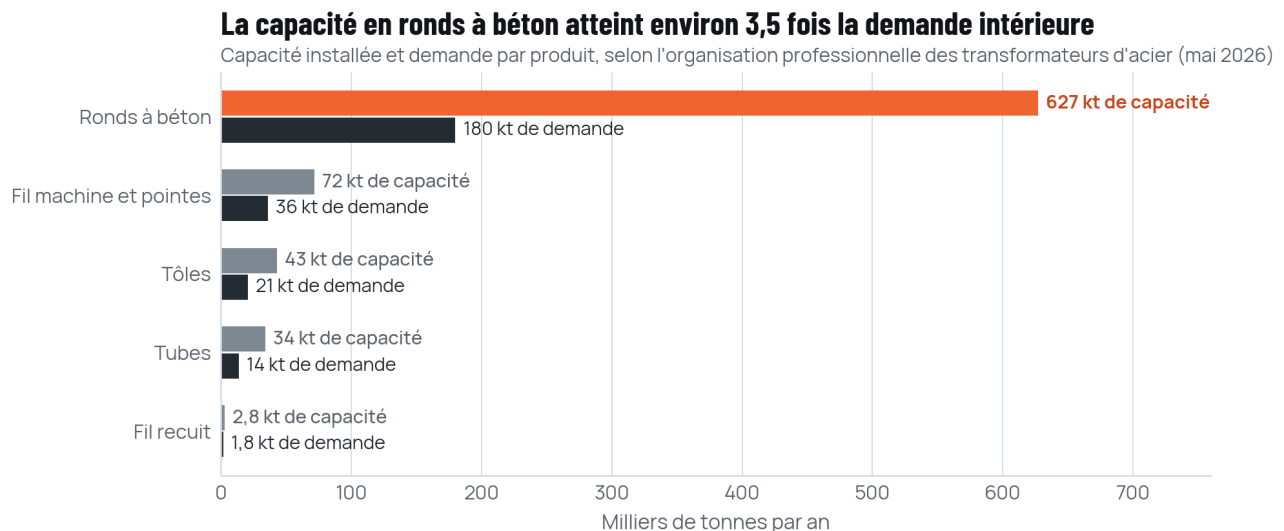
Tableau 4.1 Les instruments qui régissent la qualité et l'approvisionnement en ronds à béton au Cameroun

Instrument	Référence et date	Effet sur les ronds à béton	Source
Loi sur la normalisation	Loi n° 96/11 du 5 août 1996	Fondement juridique des normes camerounaises et de leur application obligatoire	[S14]
Organisation de l'ANOR	Décret n° 2009/296 du 17 septembre 2009	Crée l'agence qui élabore les normes, certifie les produits et surveille le marché	[S14] [S16]
Norme sur les ronds à béton	NC 236:2021, puis édition NC 236/2024/06	Définit les barres nervurées Fe400 et Fe500 et les barres lisses Fe215 et Fe235	[S04] [S05] [S06]
Caractère obligatoire	Arrêté du MINMIDT du 20 avril 2022	Rend la NC 236 obligatoire pour les produits mis sur le marché	[S04] [S09]
Certification des produits	Certificats de conformité de l'ANOR	Atteste la conformité des barres d'un producteur ; peut être retiré, avec rappel des produits	[S04] [S05]
Interdiction d'importation	Services du Premier ministre, 31 mai 2016 ; note de la Douane, 3 avril 2023	Suspend les importations de ronds à béton jusqu'à nouvel ordre	[S12] [S13]
PECAE	Décret n° 2015/1875/PM ; décret n° 2021/3306/PM	Certificat de conformité avant embarquement pour les marchandises importées	[S15] [S17]
Homologation des prix	MINCOMMERCE, liste rendue publique le 21 octobre 2023	Fixe les prix producteurs à la barre, par diamètre et par nuance	[S11]
Taxe environnementale	Loi de finances 2026, à compter du 1er janvier 2026	5 000 FCFA par tonne de rond à béton (fer à béton), acquittés par les producteurs locaux et les importateurs	[S66] [S89]
Code des marchés publics	Décret n° 2018/366 du 20 juin 2018	Régit les marchés de travaux publics, support naturel des clauses imposant un acier certifié	[S54]

Source : selon les références indiquées.

4.4 La surcapacité avive la concurrence par les prix et accroît l'enjeu du contrôle

L'industrie nationale est de grande taille au regard de son marché. En mai 2026, l'organisation professionnelle des transformateurs de l'acier faisait état d'une capacité installée de ronds à béton d'environ 627 kt/an pour une demande intérieure d'environ 180 kt, et d'une capacité représentant environ le double de la demande pour le fil machine et les pointes, les tôles et les tubes [S53].



SOURCÉ Figure 4.3. La capacité de production de ronds à béton représente environ 3,5 fois la demande intérieure. Avec des prix plafonnés et des importations fermées, la concurrence pour un marché limité se joue sur les coûts, terrain où la qualité se perd le plus facilement.

Source : chiffres de la profession rapportés par Cameroon Tribune, 11 mai 2026 [S53] ; la capacité de ronds à béton, imprimée « 627 tonnes », est lue comme 627 000 tonnes, par cohérence avec les autres chiffres de l'article.

La surcapacité n'est pas en soi un problème de qualité ; elle peut stimuler l'efficacité. Mais sur un marché où les prix sont plafonnés par l'homologation [S11], où les importations du produit sont interdites [S12][S13] et où peu d'acheteurs font essayer ce qu'ils achètent, la concurrence pour une demande limitée se joue sur les coûts. Or les moyens les moins coûteux de réduire le coût des ronds à béton sont précisément ceux qui en dégradent la qualité : laminier à la limite inférieure de la tolérance sur la masse, voire en dessous, acheter une ferraille moins chère et plus chargée en impuretés, se passer du four-poche ou du laboratoire, et faire tourner des cylindres usés. Le producteur qui investit dans le contrôle de la qualité se trouve alors en concurrence, au même prix homologué par barre, avec celui qui ne le fait pas.

C'est pourquoi le contrôle de l'application des règles compte davantage, et non moins, sur un marché en surcapacité. Les organisations de la profession l'ont elles-mêmes reconnu : c'est l'organisation des transformateurs de l'acier qui a signalé aux autorités le produit Fe450 non certifié en octobre 2024 [S04]. Les producteurs qui ont investi dans la conformité ont un intérêt direct à une surveillance visible du marché. Les capacités excédentaires orientent aussi vers l'exportation : le Cameroun vend déjà des barres au Tchad et à d'autres voisins [S52][S76], et une qualité certifiée est un atout sur tout marché où les acheteurs exigent des preuves.

4.5 Les prix sont homologués à la barre, ce qui récompense discrètement les barres trop légères

Le rond à béton est un produit à prix contrôlé. Le ministère du Commerce homologue les prix producteurs pour chaque diamètre et chaque nuance, exprimés par barre. La liste publiée n'indique pas la longueur de la barre ; le présent livre blanc retient 12 m, la longueur commerciale courante. En octobre 2023, à l'issue de négociations, les producteurs ont accepté des baisses qui ont ramené la barre Fe500 de 12 mm de 6 900 à 6 750 FCFA, le prix de vente au détail de la même barre étant rapporté à 7 500 FCFA [S11].

La conversion de ces prix en prix au kilogramme, sur la base de la masse nominale de chaque barre, fait apparaître deux constats (tableau ci-dessous). D'abord, les prix homologués sont cohérents entre eux : environ 600 à 650 FCFA/kg selon les diamètres, avec une prime de 5 % à 6 % par kilogramme pour la nuance Fe500 par rapport à la nuance Fe400 (dérivé). Ensuite, et c'est plus important pour la qualité, **la tarification à la barre rend la masse de la barre invisible dans le prix**. Une barre laminée à la limite inférieure de la tolérance de 4,5 % se vend au même prix qu'une barre de masse nominale, ce qui représente une hausse de prix cachée de 4,7 % par kilogramme ; une barre

laminée, illégalement, d'un millimètre sous le diamètre nominal fournit 16 % d'acier en moins pour le même prix (dérivé). Le producteur qui règle son laminage sur la masse nominale est pénalisé face à celui qui vise une masse plus faible.

Tableau 4.2 Prix homologués des ronds à béton à Douala rendus publics le 21 octobre 2023, convertis en prix au kilogramme à la masse nominale

Diamètre et nuance	Prix homologué (FCFA par barre de 12 m)	Masse nominale d'une barre de 12 m (kg)	Prix au kg à la masse nominale (FCFA)	Prix au kg si la barre est trop légère de 4,5 % (FCFA)
6 mm	1 532	2,66	575	602
8 mm Fe400	2 900	4,74	612	641
8 mm Fe500	3 070	4,74	648	678
10 mm Fe400	4 460	7,40	602	631
10 mm Fe500	4 700	7,40	635	665
12 mm Fe400	6 400	10,66	601	629
12 mm Fe500	6 750	10,66	633	663

Source : prix homologués [S11] ; longueur de barre de 12 m retenue par hypothèse ; masses nominales et prix au kilogramme calculés par Cameroon Steel (annexe A). La tolérance de la barre de 8 mm est de 6,0 % ; la colonne à 4,5 % est donnée pour comparer les diamètres entre eux.

Le remède est simple et n'exige aucune modification du niveau des prix : **homologuer et afficher les prix à la tonne**, le prix à la barre étant déduit de la masse nominale, et exiger des revendeurs qu'ils vendent au poids ou qu'ils affichent la masse nominale de chaque barre. Un acheteur qui paie des kilogrammes a intérêt à peser, et un producteur qui vend des kilogrammes n'a aucun intérêt à laminer léger. Le Cameroun taxe déjà l'acier à la tonne : la taxe environnementale instituée par la loi de finances 2026 prélève 5 000 FCFA par tonne de rond à béton (fer à béton), auprès des producteurs comme des importateurs [S66][S89]. La logique administrative d'une assiette au tonnage existe donc déjà.

4.6 Les maillons faibles sont la surveillance, la capacité d'essai et le chantier

La carte institutionnelle comporte tous les niveaux, mais trois d'entre eux sont fragiles.

La surveillance du marché chez les revendeurs. L'ANOR propose un service en ligne de dénonciation des produits non conformes [S74], et le rappel des barres Fe450 montre qu'elle peut agir. Ce qui n'apparaît pas dans les informations publiques, c'est un programme régulier de prélèvement de ronds à béton dans les quincailleries, d'essais et de publication des résultats par marque et par diamètre. Un tel programme est à lui seul le moyen de dissuasion le plus efficace contre les barres trop légères et mal étiquetées, car il rend la non-conformité visible pour les acheteurs.

La capacité d'essai. La certification et la surveillance reposent sur des laboratoires capables de réaliser des essais de traction, de pliage et de masse selon des méthodes reconnues, avec des machines étalonnées. En septembre 2024, l'ANOR a engagé des visites d'inspection de laboratoires à Yaoundé, Douala, Edéa, Ngaoundéré et Garoua, en vue de constituer une plateforme de laboratoires qualifiés au regard des exigences de la norme ISO/IEC 17025 pour les laboratoires d'essais et de la norme ISO/IEC 17065 pour les organismes de certification de produits [S18][S55][S56]. Le nombre de laboratoires en mesure d'essayer des ronds à béton selon ces exigences, et leur localisation, ne sont pas publics.

Le chantier. Les permis de bâtir et leur contrôle relèvent des communes, sous la tutelle du ministère de l'Habitat et du Développement urbain (MINHDU). Après l'effondrement de juillet 2023, le ministre a relevé que l'immeuble n'avait pas de permis [S20] et, en juillet 2026, la communauté urbaine de Douala avait mis sous scellés l'immeuble qui s'est ensuite effondré à Bonamoussadi [S22]. Ce qui manque, d'après les informations publiques, c'est un lien systématique entre le permis et les matériaux employés : l'obligation, sur les chantiers autorisés, d'utiliser un acier de structure certifié et de contrôler les livraisons.

CONSTAT

L'infrastructure qualité des ronds à béton au Cameroun est complète sur le papier et a été mise à l'épreuve dans la pratique : une norme obligatoire, une agence de certification disposée à retirer des certificats, des contrôles à l'importation et une réglementation des prix. Les contraintes déterminantes se situent en aval : aucun résultat publié de surveillance du marché, une capacité d'essai limitée et non recensée, une tarification à la barre qui masque la masse, et aucun essai de réception systématique sur chantier. Le chapitre consacré aux recommandations traite chacun de ces points.

4.7 Les marchés voisins évoluent dans le même sens

Les choix du Cameroun s'opèrent parallèlement à ceux de ses voisins. Ces choix comptent, car les laminoirs camerounais exportent déjà des barres, principalement vers le Tchad [S52][S76], et parce que les échanges régionaux s'ouvrent dans le cadre de la Zone de libre-échange continentale africaine. Au Gabon, la loi de finances rectificative pour 2026, publiée le 17 juillet 2026, a ramené de 10 % à 3 % la taxe sur la valeur ajoutée applicable aux ronds à béton produits localement afin d'accélérer le développement de la sidérurgie, tandis qu'un groupe camerounais a lancé la construction d'une usine de ronds à béton dans la zone économique spéciale de Nkok [S87]. En septembre 2026, un autre groupe a ouvert à Port-Gentil une unité sidérurgique de 2 500 t par mois, alimentée en ferraille, qui produit des ronds à béton destinés principalement au marché gabonais [S88]. Au Nigeria, l'organisme national de normalisation a mis sous scellés treize usines sidérurgiques en 2020, après que la surveillance du marché eut révélé des barres ne respectant pas leur diamètre minimal ni leur masse linéique minimale [S25].

Le Cameroun peut en tirer deux enseignements. D'abord, à mesure que les pays voisins construisent et protègent leurs propres laminoirs, les exportations camerounaises devront de plus en plus s'imposer par une qualité démontrée plutôt que par leur disponibilité ; un certificat reconnu au-delà de la frontière est un atout commercial. Ensuite, l'harmonisation régionale des normes, promue par l'Organisation africaine de normalisation dont l'ANOR relaie les travaux [S74], tendra vers les familles internationales de nuances décrites au chapitre précédent. Une norme nationale et un système de certification déjà alignés sur ces familles, pour les exigences de ductilité, les tolérances et la preuve de la conformité, rendraient cette transition aisée plutôt que perturbatrice.

CHAPITRE 5

UNE USINE PROUVE LA QUALITÉ PAR LA STATISTIQUE ET LA TRAÇABILITÉ, ET NON PAR DES ESSAIS ISOLÉS

Une usine de ronds à béton certifiée démontre la conformité de trois façons : elle mesure la composition chimique de chaque coulée, elle soumet chaque lot à des essais mécaniques et dimensionnels selon des méthodes normalisées, et elle exploite statistiquement ses résultats dans la durée, de sorte que les valeurs caractéristiques sont démontrées et non supposées. La traçabilité, du numéro de coulée à l'étiquette de botte, rattache chaque certificat à un acier réel. Un rapport d'essai isolé, qui est ce que voient la plupart des acheteurs, ne prouve presque rien à lui seul ; un procédé stable doté d'un historique documenté prouve beaucoup.

5.1 La composition chimique est mesurée sur chaque coulée, avant son passage en coulée continue

Le premier essai est le moins coûteux et le plus déterminant. Avant que la coulée ne quitte le four-poche pour la machine de coulée continue, un échantillon est prélevé et analysé par spectrométrie d'émission optique à étincelle, méthode de référence pour les aciers au carbone et faiblement alliés [S77]. En quelques minutes, l'aciérie connaît les teneurs en carbone, manganèse, silicium, phosphore, soufre, cuivre et autres éléments résiduels, et peut ajuster la coulée par des ajouts d'alliages si elle s'écarte de la cible. L'azote, qui gouverne le vieillissement après écrouissage et le comportement à l'essai de pliage-dépliage, exige un appareil capable de le mesurer ou un analyseur distinct.

L'analyse finale en poche devient l'**analyse de coulée** portée sur le certificat de réception, avec le carbone équivalent qui en est calculé. Les normes de produit définissent aussi une **analyse sur produit**, réalisée sur la barre finie, avec des limites légèrement plus larges pour tenir compte de la ségrégation [S38] ; les usines certifiées la vérifient périodiquement, et les acheteurs ou les organismes de surveillance peuvent s'en servir pour vérifier un certificat. Un spectromètre ne vaut que par son étalonnage : il doit être contrôlé chaque jour à l'aide de matériaux de référence certifiés, et ses résultats doivent être comparés périodiquement avec ceux d'un laboratoire extérieur.

5.2 Les essais mécaniques et dimensionnels suivent des méthodes définies

Les armatures pour béton armé ont leur propre norme d'essai, l'EN ISO 15630-1, qui précise comment réaliser les essais de traction, de pliage et de pliage-dépliage, comment mesurer l'allongement total sous force maximale (Agt), comment déterminer la masse linéique, et comment mesurer la géométrie des nervures et calculer la surface relative des nervures [S44]. L'essai de traction lui-même suit la méthode générale applicable aux matériaux métalliques, l'ISO 6892-1 [S45]. Les barres ASTM sont essayées selon les méthodes auxquelles renvoient leurs propres spécifications [S40].

L'essai de traction donne la limite d'élasticité, la résistance à la traction, leur rapport, l'Agt et l'allongement après rupture. L'essai de pliage ou de pliage-dépliage vérifie l'absence de fissures après pliage autour d'un mandrin. Le contrôle géométrique confirme la hauteur, l'espacement, l'inclinaison et les intervalles des nervures. L'essai de

masse, réalisé par pesée d'une longueur droite mesurée au millimètre près, confirme la section. Le tableau ci-dessous présente un plan type de contrôle de la production en usine. Les fréquences sont fixées par chaque norme de produit et chaque référentiel de certification, et le plan présenté est indicatif.

Tableau 5.1 Plan indicatif de contrôle de la production en usine pour les ronds à béton

Contrôle	Méthode	Fréquence indicative	Mention sur le certificat	Critère d'acceptation usuel
Composition chimique sur coulée (C, Mn, Si, P, S, N, Cu, Cr, Ni, Mo, V) et Ceq	Spectrométrie d'émission optique à étincelle ; azote par une méthode appropriée	Chaque coulée, avant la coulée continue	Oui	Limites sur coulée de la norme de produit
Composition chimique sur produit	Idem, sur barre finie	Périodiquement, et à la demande	Sur demande	Limites sur produit (légèrement plus larges)
Limite d'élasticité et résistance à la traction, R_m /Re, Agt, allongement après rupture	Essai de traction, ISO 6892-1 et EN ISO 15630-1	Plusieurs essais par coulée et par diamètre	Oui, par coulée	Valeurs caractéristiques (statistiques) et minimums individuels
Pliage ou pliage-dépliage	EN ISO 15630-1	Par coulée ou par lot	Oui	Aucune fissure visible à l'œil nu
Géométrie des nervures et fR	Mesure de la hauteur, de l'espacement et des intervalles des nervures ; calcul de fR	À chaque changement de cylindres et à chaque poste	Sur demande	fR minimal et plages géométriques
Masse linéique et diamètre	Pesée d'une longueur mesurée	Chaque lot et chaque poste	Oui	Tolérance de la norme
État de surface et marquage	Examen visuel sur le refroidisseur	En continu	Non	Ni repliures, ni pailles, ni fissures ; marque du fabricant lisible
Fatigue (si certifiée)	Essai sous charge axiale, 2 millions de cycles	Périodique, par l'organisme de certification	Option du certificat	Étendue de contrainte du référentiel, par exemple 150 MPa

Source : méthodes d'après [S44][S45] ; paramètres de fatigue d'après le référentiel AFCAB [S31]. Les fréquences sont des hypothèses indicatives, données à titre d'illustration ; le plan effectif est fixé par la norme et le référentiel de certification applicables.



ILLUSTRATIF Vue d'illustration. Image générée d'une machine d'essai universelle pour les essais de traction sur ronds à béton ; il ne s'agit pas d'une photographie d'un projet, d'un lieu ou d'une personne.

Deux points pratiques comptent dans un laboratoire au service d'une usine de ronds à béton. D'abord, **la machine d'essai et l'extensomètre doivent être étalonnés** et la compétence du laboratoire démontrée, idéalement par une accréditation selon la norme ISO/IEC 17025 [S55] ; une machine qui surestime de 3 % transforme une coulée faible en coulée conforme. Ensuite, **l'Agt doit être mesuré correctement**. L'Agt étant l'allongement sous force maximale, il est facilement mal lu sur une courbe ou confondu avec l'allongement après rupture. L'EN ISO 15630-1 précise comment le déterminer, soit à l'aide d'un extensomètre, soit par une méthode manuelle à partir de repères tracés avant l'essai [S44]. Un certificat qui indique l'allongement après rupture mais pas l'Agt ne peut démontrer une classe de ductilité au sens de l'Eurocode.

C'est aussi par les essais que le personnel de l'usine comprend ce que fait le procédé. Une courbe de traction présentant un palier de plasticité anormalement court, un Agt qui dérive à la baisse sur une semaine ou une éprou-

vette de pliage-dépliage qui montre de fines fissures au bord des nervures sont des signaux précoces d'une modification de la composition chimique, de la trempe ou du laminage, qu'une usine bien conduite analyse avant qu'un résultat ne sorte de la norme.

5.3 La statistique transforme une série d'essais en garantie

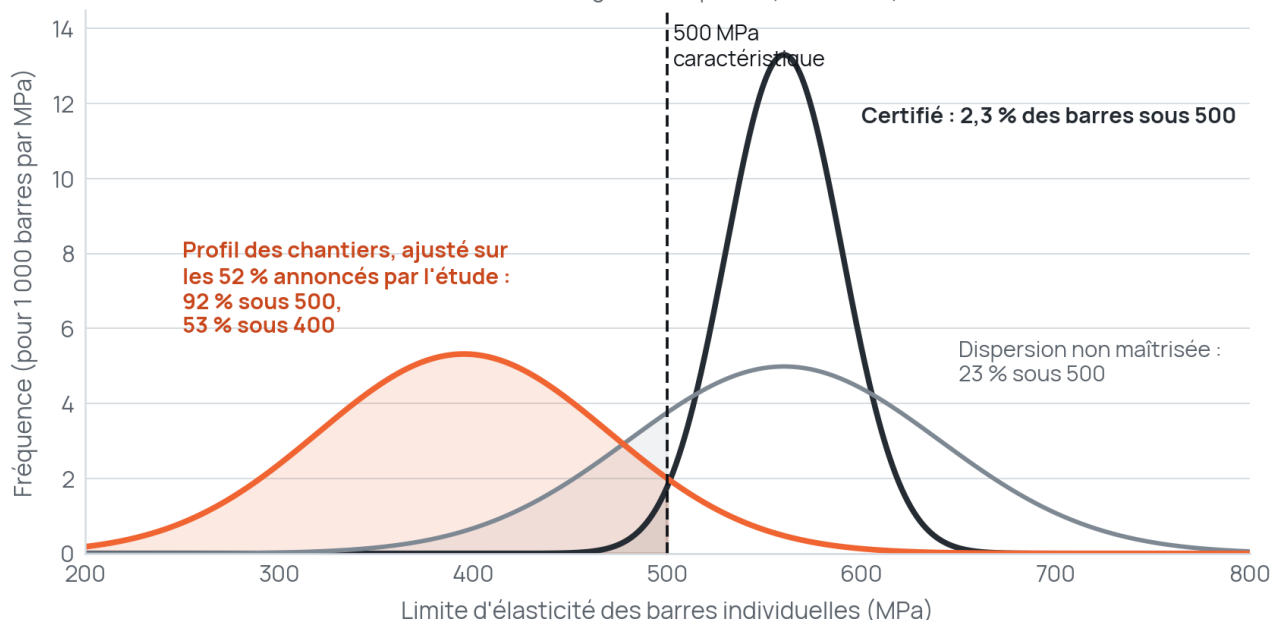
Une limite d'élasticité caractéristique de 500 MPa est un énoncé sur l'ensemble de la production : c'est le fractile de 5 %, au plus 5 % des barres pouvant se situer en dessous. Aucune usine ne peut essayer chaque barre ; la garantie doit donc être déduite d'échantillons. La méthode employée par les normes de produit et les référentiels de certification est une limite de tolérance statistique : la moyenne de n résultats d'essai diminuée de k fois leur écart-type doit être au moins égale à la valeur caractéristique, k dépendant du nombre de résultats et du niveau de confiance requis [S57]. Pour une proportion de 95 % avec un niveau de confiance de 90 %, k vaut environ 2,33 pour 15 résultats, 2,08 pour 30 et 1,97 pour 50 (dérivé ; annexe A).

Il en résulte qu'une usine dont la dispersion est plus forte doit viser plus haut. Avec un écart-type de 30 MPa, typique d'une production bien maîtrisée [S29], et 30 résultats, la limite d'élasticité moyenne doit atteindre au moins $500 + 2,08 \times 30 = 562$ MPa (dérivé). C'est pourquoi la limite d'élasticité moyenne d'une bonne usine de nuance B500 se situe autour de 550 à 580 MPa, et pourquoi le modèle probabiliste utilisé par les spécialistes de la fiabilité des structures fixe la moyenne à la valeur nominale augmentée de deux écarts-types [S29]. Une usine qui ne parvient pas à contenir sa dispersion autour de 30 MPa doit soit relever sa moyenne, au prix d'ajouts d'alliages ou d'une trempe plus intense, soit accepter qu'une plus grande part de ses barres se situe sous 500 MPa.

La même logique s'applique à l'Agt et au rapport R_m/R_e , qui ont eux aussi des valeurs caractéristiques dans la famille européenne [S31]. Les valeurs minimales individuelles, telles que 475 MPa pour la limite d'élasticité et 4 % pour l'Agt dans le référentiel français de la nuance B500B [S31], forment un filet de sécurité qu'aucun essai isolé ne peut franchir.

La certification porte sur la dispersion, pas sur la moyenne

Distributions de la limite d'élasticité sous trois régimes de qualité (loi normale)



DÉRIVÉ Figure 5.1. La certification porte sur la dispersion, et non sur la moyenne. Pour une même limite d'élasticité moyenne de 560 MPa, un écart-type de 30 MPa place 2,3 % des barres sous 500 MPa ; un écart-type de 80 MPa en place 23 %. Une population ajustée sur la proportion annoncée par l'étude pour un petit échantillon de chantiers camerounais (52 % de 24 barres sous 400 MPa ; ses propres décomptes donnent 46 %) en place 92 % sous 500 MPa.

Source : calcul de Cameroon Steel sur la base de lois normales : $\sigma = 30$ MPa d'après [S29] ; coefficient de variation de 14 % d'après [S28] ; profil des chantiers ajusté sur la proportion de 52 % sous 400 MPa rapportée dans [S19] (24 barres ; les décomptes de l'étude donnent 46 %), avec un σ supposé de 75 MPa (illustratif). Annexe A.

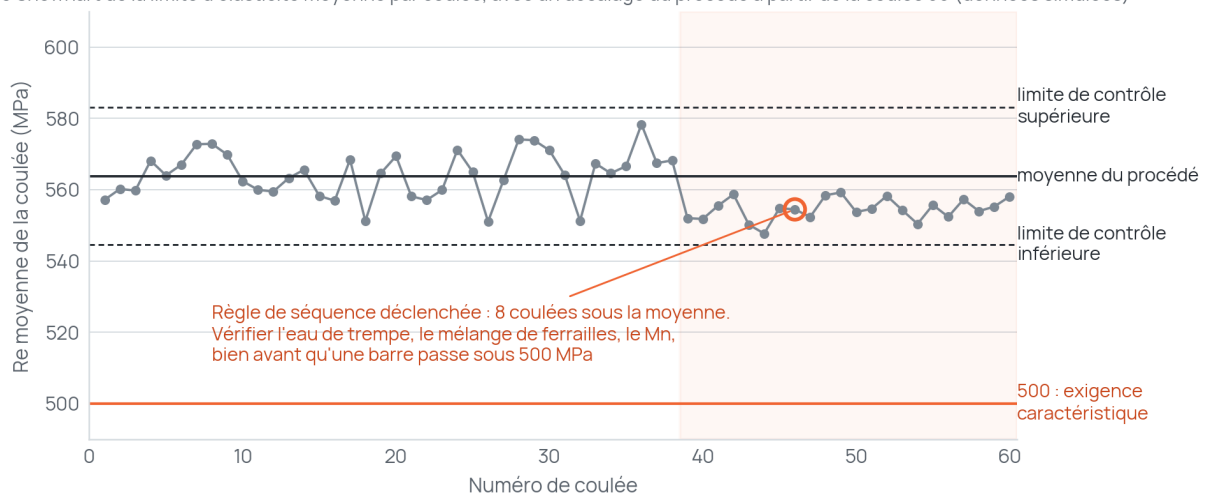
Les données de terrain montrent à quel point un approvisionnement non maîtrisé peut s'en écarter. Une étude portant sur 329 barres, locales et importées, achetées sur le marché éthiopien entre 2015 et 2020 a relevé des coefficients de variation de la limite d'élasticité de 14,5 % et 14,2 % dans deux lots, soit deux à trois fois la dispersion d'une production maîtrisée, et a constaté que la plupart des échantillons n'atteignaient pas le rapport entre résistance à la traction et limite d'élasticité de 1,25 que les auteurs retenaient comme référence d'un comportement ductile [S28]. Au Cameroun, une étude de barres prélevées sur des chantiers en activité à Bamenda, Douala, Maroua et Yaoundé a établi que 11 des 24 barres (46 % ; l'étude annonce 52 %) avaient une limite d'élasticité inférieure à 400 MPa, que l'écart maximal de limite d'élasticité atteignait 22,5 %, et que les barres ne portant pas le nom d'un fabricant échouaient à tous les essais [S19]. La figure montre ce qu'impliquent ces chiffres : le problème n'est pas que la barre moyenne soit un peu faible, mais qu'une large part de la population se situe très en dessous de la nuance.

5.4 La maîtrise statistique des procédés détecte la dérive alors que toutes les barres sont encore conformes

Les essais de libération des lots indiquent à l'usine si un lot est conforme. La maîtrise statistique des procédés (MSP, SPC en anglais) lui indique si le procédé évolue, et le fait assez tôt pour permettre de le corriger. L'outil en est la carte de contrôle : pour chaque coulée, la limite d'élasticité moyenne, l'Agt, l'écart de masse ou la hauteur des nervures sont reportés face à des limites de contrôle calculées à partir de l'historique récent du procédé lui-même, généralement à trois écarts-types de part et d'autre de la moyenne. Des règles de séquence signalent les configurations non aléatoires, comme huit coulées successives sous la moyenne, même lorsque chaque résultat individuel reste conforme à la spécification.

Une carte de contrôle détecte la dérive alors que toutes les barres sont encore conformes

Carte de Shewhart de la limite d'élasticité moyenne par coulée, avec un décalage du procédé à partir de la coulée 39 (données simulées)



ILLUSTRATIF **Figure 5.2.** Une carte de contrôle détecte la dérive alors que toutes les barres sont encore conformes. Dans cet exemple simulé, la limite d'élasticité moyenne baisse d'environ 10 MPa à partir de la coulée 39 ; la règle de séquence se déclenche à la coulée 46, alors que chaque coulée reste à plus de 40 MPa au-dessus de l'exigence de 500 MPa.

Source : simulation de Cameroon Steel (données aléatoires suivant une loi normale, graine enregistrée dans le fichier de données du graphique). Illustration de la méthode uniquement.

Dans une usine pratiquant la trempe et l'autorevenu (QST), les causes habituelles de dérive sont bien connues : une modification du mélange de ferrailles qui abaisse la teneur en manganèse ou accroît les éléments résiduels, des buses de trempe usées ou partiellement obstruées, une variation de la température de fin de laminage ou de la vitesse de laminage, et la température de l'eau de refroidissement. Ce dernier point compte sous un climat tropical côtier, où l'eau de procédé reste chaude une grande partie de l'année et où la trempe doit être compensée par le débit ou la pression pour obtenir le même refroidissement. La hauteur des nervures dérive à mesure que s'usent les cylindres finisseurs, ce qui explique que la géométrie soit contrôlée à chaque changement de cylindres. Une usine qui suit ces variables sur des cartes de contrôle, et rattache chacune d'elles au numéro de coulée, peut expliquer et corriger une tendance à la baisse avant qu'elle ne produise un essai non conforme ou une réclamation.

5.5 La traçabilité rattache chaque certificat à un acier réel

Un résultat d'essai n'a de valeur que s'il peut être rattaché à l'acier qu'il décrit. Dans une usine de ronds à béton, la traçabilité repose sur quatre maillons :

1. **Le numéro de coulée**, attribué au four, poinçonné ou peint sur chaque billette, et conservé lors du réchauffage et du laminage.
2. **Le marquage de laminage**, motif de nervures ou de symboles qui identifie l'usine productrice (et, dans la famille européenne, le pays) sur chaque mètre de barre [S31][S34].
3. **L'étiquette de botte**, qui reprend le numéro de coulée et indique la nuance, la norme, le diamètre, la longueur, la masse, la date et les marques de certification [S31][S32].
4. **Le document de contrôle**, qui présente les résultats relatifs aux coulées livrées.

La norme européenne sur les documents de contrôle, l'EN 10204, distingue le relevé de contrôle de type 2.2, qui donne les résultats d'un contrôle non spécifique effectué sur une production similaire, du certificat de réception de type 3.1, qui donne les résultats d'un contrôle spécifique effectué sur les produits livrés et qui est validé par le représentant autorisé du fabricant chargé du contrôle, indépendant du service de fabrication, et du type 3.2, validé en outre par le représentant de l'acheteur ou par un inspecteur tiers [S46]. Pour les armatures de structure, un certificat de type 3.1 rattaché aux numéros de coulée constitue le minimum approprié, et le type 3.2 peut être exigé pour les ouvrages critiques. Le chapitre consacré à la prescription montre comment en lire un.

La traçabilité rend aussi le **rappel** possible. Lorsque les autorités camerounaises ont ordonné le rappel d'une nuance non conforme en octobre 2024 [S04][S05], l'efficacité de ce rappel dépendait de la possibilité d'identifier les barres sur le marché. Ce sont les marquages de laminage et les étiquettes qui permettent cette identification aux revendeurs et aux ingénieurs de chantier.

UN RÉSULTAT D'ESSAI NE VAUT QUE S'IL PEUT ÊTRE RATTACHÉ À L'ACIER QU'IL DÉCRIT.

La traçabilité en une phrase

5.6 L'étalonnage, les échantillons témoins et les réclamations referment la boucle

Trois pratiques régulières distinguent un laboratoire qui produit des résultats fiables d'un laboratoire qui se contente de produire des chiffres. **Étalonnage et vérification** : la mesure de force de la machine d'essai et l'extensomètre sont étalonnés à intervalles définis par un service d'étalonnage accrédité, et vérifiés entre deux étalonnages à l'aide d'éprouvettes de référence. **Essais d'aptitude** : le laboratoire essaie périodiquement des éprouvettes que d'autres laboratoires essaient également et compare les résultats, ce qui révèle des biais systématiques que les contrôles internes ne peuvent pas mettre en évidence ; la participation à ces comparaisons est attendue au titre de la norme ISO/IEC 17025 [S55]. **Échantillons témoins** : un court tronçon de barre de chaque coulée est conservé pendant une durée définie, afin qu'une réclamation ultérieure puisse être instruite par comparaison avec le matériau d'origine.

Le dernier élément est le traitement des réclamations. Une usine bien conduite enregistre chaque réclamation des revendeurs et des chantiers, l'instruit au regard de ses enregistrements de coulée et de ses échantillons témoins, et fait connaître le résultat ainsi que l'action corrective. Les réclamations sont une source d'information : une série de signalements de barres qui se fissent au pliage, par exemple, peut révéler un problème d'azote ou de trempe sur une période donnée, que les essais de libération n'ont pas détecté. Traitées ouvertement, les réclamations construisent entre producteurs, revendeurs et ingénieurs la confiance dont dépend un marché de qualité ; ignorées, elles dégénèrent en différends publics sur la qualité, comme celui qu'a connu le Cameroun en 2023 [S09][S10].

5.7 La certification ajoute un contrôle indépendant aux essais de l'usine

Tout ce qui précède relève de l'autocontrôle de l'usine. La certification de produit fait intervenir une partie indépendante. Dans des référentiels tels qu'AFCAB en France ou CARES au Royaume-Uni, l'organisme de certification évalue le contrôle de la production en usine avant d'accorder la marque, l'audite périodiquement, prélève ses propres échantillons pour des essais indépendants, examine les statistiques à long terme des résultats de l'usine et peut suspendre ou retirer le certificat [S31][S33]. La marque apposée sur la botte indique alors à l'acheteur qu'une partie autre que le vendeur a vérifié les preuves.

Il importe de ne pas confondre la certification de produit et la certification de système de management. Un certificat ISO 9001 atteste qu'une entreprise applique un système de management de la qualité documenté [S78] ; il ne certifie pas que ses barres sont conformes à une nuance. Lorsqu'un producteur mis en cause sur la qualité de ses barres invoque l'ISO 9001, comme ce fut le cas au Cameroun en 2023 [S10], les acheteurs devraient demander le certificat de produit et les certificats de réception des coulées livrées.

EXEMPLE TIRÉ DES INFORMATIONS PUBLIQUES

La première phase prévue par Cameroon Steel à Mboro comprend, dans son plan de masse indicatif, un laboratoire sur site à côté de l'aciérie et des laminoirs à ronds à béton et à fil machine (plan indicatif, sous réserve des études détaillées). L'objectif de Cameroon Steel, énoncé dans le présent livre blanc, est que chaque coulée soit analysée au spectromètre avant la coulée continue, que chaque lot soit essayé selon les méthodes de l'EN ISO 15630-1, que les résultats fassent l'objet d'un suivi statistique, et que les produits soient certifiés par l'ANOR selon la norme NC 236 et par un organisme indépendant selon une référence internationale reconnue, avec une traçabilité du numéro de coulée jusqu'à l'étiquette de botte. Il s'agit de l'objectif d'un projet en cours de développement, et non de la description d'une production existante.

5.8 Le laboratoire minimal est modeste ; la compétence pèse davantage

De quoi une usine a-t-elle besoin pour prouver la qualité de son produit ? L'équipement de base d'un laboratoire de ronds à béton est modeste à l'échelle industrielle :

- **Un spectromètre à émission optique** doté d'étalons pour les aciers au carbone et faiblement alliés, et d'un moyen de mesurer l'azote, installé près de l'aciérie afin que chaque coulée puisse être corrigée avant la coulée continue [S77].
- **Une machine d'essai universelle** dimensionnée pour la plus grosse barre produite : une barre de 40 mm à 650 MPa, plafond de limite d'élasticité de plusieurs versions nationales, se plastifie sous environ 820 kN (dérivé : $1256,6 \text{ mm}^2 \times 650 \text{ MPa}$) ; une machine de 1 000 kN munie de mors pour barres nervurées couvre donc toute la gamme.
- **Un extensomètre**, ou le matériel de marquage nécessaire pour déterminer l'Ag_t par la méthode manuelle de l'EN ISO 15630-1 [S44].
- **Un équipement de pliage et de pliage-dépliage** doté de mandrins aux diamètres exigés par les normes, et une étuve pour l'étape de vieillissement artificiel de l'essai de pliage-dépliage.
- **Une balance et des moyens de mesure de longueur** pour la masse linéique, et des **calibres** pour la hauteur et l'espacement des nervures.
- **Une zone de préparation des échantillons** équipée d'une tronçonneuse, et un espace de stockage des échantillons témoins.

L'équipement est la moindre part de l'effort ; la compétence, la plus grande. Des techniciens formés, des procédures documentées, l'étalonnage, la participation à des essais d'aptitude et, à terme, l'accréditation ISO/IEC 17025 [S55] rendent les résultats d'un laboratoire crédibles pour un organisme de certification et pour les acheteurs. Un laboratoire d'usine peut aussi servir l'ensemble du marché : en réalisant des essais pour des entreprises et des autorités publiques, l'investissement d'un producteur dans la qualité contribue à la capacité nationale d'essai, jugée insuffisante au chapitre sur l'infrastructure qualité.

CHAPITRE 6

LA PLUPART DES BARRES DÉFECTUEUSES PEUVENT ÊTRE DÉTECTÉES SUR CHANTIER AVEC UNE BALANCE, UN MÈTRE RUBAN ET UN PLIAGE

Les défauts relevés sur les marchés africains des ronds à béton se ramènent à une courte liste : barres plus légères que leur diamètre déclaré, barres moins résistantes que leur nuance déclarée, barres fragiles, barres aux nervures insuffisantes, barres endommagées ou fortement corrodées, et barres contrefaites ou non traçables, qui portent un faux marquage ou n'en portent aucun. La plupart de ces défauts peuvent être détectés à la livraison avec des outils simples : peser des barres entières, lire le marquage de laminage et l'étiquette, mesurer les nervures et plier un échantillon. Les essais en laboratoire confirment ensuite la résistance et la ductilité lorsqu'un doute subsiste. Les données du Cameroun et des pays voisins montrent que les barres sans marquage constituent la catégorie la plus à risque.

6.1 Sept défauts expliquent l'essentiel des problèmes

Le tableau présente ces défauts, leur origine, leurs conséquences et la manière de détecter chacun d'eux. Plusieurs surviennent généralement ensemble : une barre relaminée à partir de ferrailles mélangées est souvent trop légère, irrégulière dans ses nervures, de résistance erratique et sans marquage.

Tableau 6.1 Les sept défauts courants des ronds à béton et leur détection

Défaut	Origine habituelle	Conséquence structurelle	Contrôle sur chantier	Confirmation en laboratoire
Masse ou diamètre insuffisants	Laminage visant la tolérance inférieure, voire en dessous ; diamètre inférieur vendu pour un diamètre supérieur	Section d'acier réduite : effort de plastification plus faible, fissures plus ouvertes, recouvrements plus longs nécessaires	Peser trois barres entières par diamètre ; mesurer la longueur	Masse linéique selon l'EN ISO 15630-1
Résistance insuffisante (nuance erronée)	Acier de nuance 400 étiqueté 500 ; manganèse insuffisant ; trempe défailante ou absente	La barre se plastifie sous un effort inférieur à l'effort de calcul (figure 1.3)	Vérifier le marquage, l'étiquette et le certificat ; aucun de ces contrôles ne mesure la résistance	Essai de traction : Re, Rm
Fragilité (ductilité insuffisante)	Teneurs élevées en carbone, phosphore ou azote ; ferraille relaminée ; couronne surtrempée	Rupture sous faible allongement ; crochets et cadres fissurés ; aucun signe annonciateur avant la rupture	Plier à 180° autour d'un mandrin ; rechercher des fissures	Essai de traction : Agt, Rm/Re ; essai de pliage-dépliage

Défaut	Origine habituelle	Conséquence structurelle	Contrôle sur chantier	Confirmation en laboratoire
Nervures insuffisantes (adhérence faible)	Cylindres finisseurs usés ; nervures peu saillantes ou irrégulières	Glissement aux ancrages et aux recouvrements ; fissures ouvertes	Mesurer l'espacement sur dix nervures et la hauteur des nervures	Géométrie des nervures et fR
Défauts de surface et internes	Billettes médiocres ; repliures et pailles de laminage ; inclusions	Fissuration locale, notamment aux pliages ; faiblesse en fatigue	Examiner les extrémités coupées et la surface ; essai de pliage	Macrographie, métallographie
Corrosion importante ou souillures	Stockage prolongé près de la mer ou à même le sol ; huile, boue, peinture	Perte de section par piqûres ; perte d'adhérence	Brosser un échantillon à la brosse métallique ; rechercher des piqûres ; peser après brossage	Masse après nettoyage ; essai de traction sur barre piquée
Barres contrefaites ou non traçables	Absence de marque du fabricant ; marques copiées ; étiquettes imprimées sans certificat ; bottes mélangées	Tous les défauts ci-dessus, sans possibilité de traçage ni de rappel	Lire le marquage de laminage ; rapprocher l'étiquette, le numéro de coulée et le certificat	Série complète d'essais ; signalement à l'ANOR

Source : synthèse de Cameroon Steel à partir des normes et des études citées dans ce document [S19][S25][S26][S28][S31][S34][S44].

6.2 Les données régionales vont dans le même sens

Les essais publiés sur des ronds à béton prélevés sur le marché au Cameroun et dans des pays comparables sont peu nombreux, recourent à des méthodes différentes et ne sont pas directement comparables, mais ils convergent vers le même constat : une part significative des barres testées, en vente ou sur chantier, ne satisfait pas à la nuance déclarée, et les non-conformités se concentrent sur les produits sans marquage ou faiblement contrôlés.

Tableau 6.2 Données publiées sur la qualité des ronds à béton en vente ou sur chantier (sélection)

Pays	Source et date	Échantillon	Principaux résultats
Cameroun	Bame, Yamb et Ndigui, 2023 [S19]	24 barres de 10, 12 et 14 mm prélevées sur des chantiers en activité à Bamenda, Douala, Maroua et Yaoundé (années de prélèvement non précisées) ; essais de traction, d'allongement et de pliage	11 barres sur 24 avaient une limite d'élasticité inférieure à 400 MPa (annoncé à 52 % ; les décomptes donnent 46 %) ; écart maximal de limite d'élasticité de 22,5 % ; les barres ne portant pas le nom d'un fabricant ont échoué à tous les essais ; les auteurs recommandent des barres de nuance 500 correctement marquées pour l'annexe nationale camerounaise de l'Eurocode 2
Cameroun	Organisations professionnelles et de consommateurs, juin 2023 [S09]	Plainte relative au marché, aucune donnée d'essai publiée	Des barres vendues comme nuance 500 ne satisfaisaient pas, selon elles, aux exigences de la nuance 400
Nigeria	Standards Organisation of Nigeria, février 2020 [S25]	Surveillance du marché à l'échelle nationale, novembre 2019 à janvier 2020	13 usines sidérurgiques mises sous scellés ; la plupart des échantillons ne respectaient pas le diamètre et la masse linéique minimaux de la NIS 117:2004 ; produits consignés ayant fait l'objet de manipulations ; découverte d'une marque d'identification non enregistrée
Nigeria	Akinpelu et Salman, 2021 [S26]	Six diamètres de barres de quatre marques ; essais de traction et spectrométrie	70,8 % des barres ne satisfaisaient pas à l'exigence de résistance à la traction caractéristique évaluée selon la BS 4449, tout en respectant l'allongement ; les barres non conformes présentaient une faible teneur en carbone ou un excès de phosphore
Nigeria	Shuaib-Babata et al., 2019 [S79]	Barres du marché dans quatre villes	La plupart des informations d'identification exigées par les normes étaient absentes ; propriétés incohérentes d'un échantillon à l'autre

Pays	Source et date	Échantillon	Principaux résultats
Éthiopie	Achamyelch et al., 2022 [S28]	329 barres du marché, locales et importées, 2015 à 2020	Peu de non-conformités en limite d'élasticité (0 % à 6 % selon le diamètre), mais coefficient de variation de la limite d'élasticité d'environ 14 % ; la plupart des barres sous le rapport résistance à la traction/limite d'élasticité de 1,25 retenu comme référence de ductilité

Source : selon les références indiquées. Les méthodes, les normes et l'échantillonnage diffèrent d'une étude à l'autre ; le tableau montre des tendances, et non des taux de non-conformité comparables.

Deux observations s'imposent. D'abord, **le marquage compte plus que toute autre caractéristique prise isolément** : l'étude camerounaise a constaté que les barres sans marquage échouaient à tous les essais [S19], et le régulateur nigérian a relevé des marques non enregistrées et des manipulations [S25]. Ensuite, **les non-conformités ne portent pas seulement sur la résistance**. Les barres éthiopiennes atteignaient pour la plupart leur résistance minimale, mais présentaient une dispersion et des rapports de résistance qui limitent la ductilité [S28] ; les barres nigérianes étaient non conformes en diamètre et en masse [S25]. Un chantier qui ne vérifie que la nuance imprimée sur une étiquette passe à côté de l'essentiel du problème.

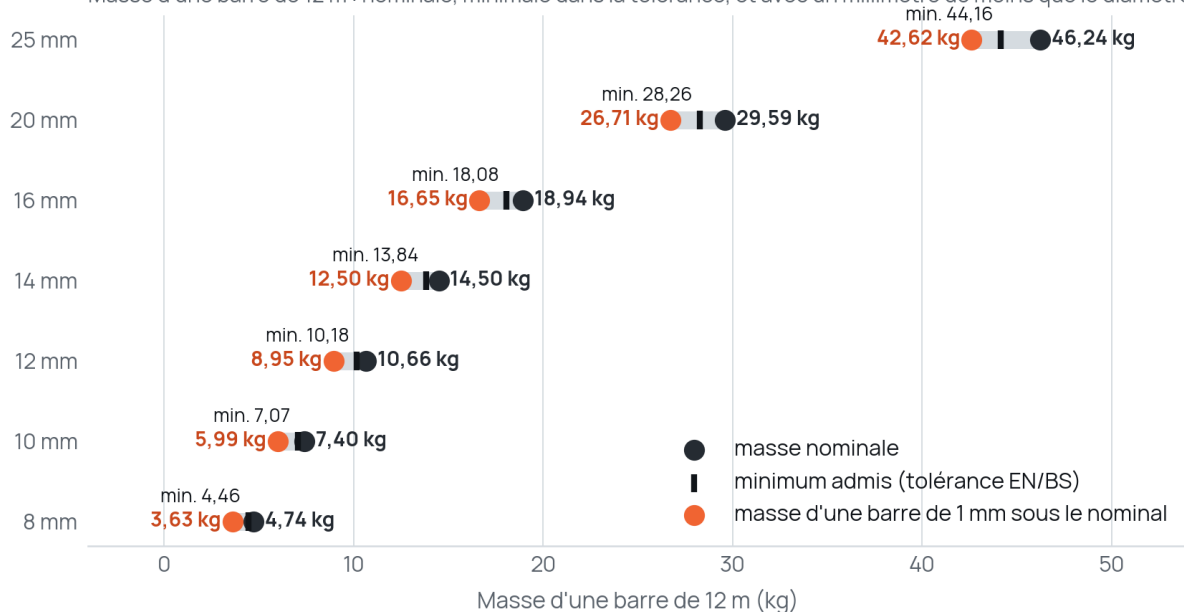
6.3 Peser la barre : le contrôle sur chantier le plus utile

La masse linéique est la mesure qui ne trompe pas sur la taille d'une barre (voir le chapitre consacré aux normes), et elle peut être vérifiée avec un peson ou une balance à plateforme, dont dispose toute quincaillerie. La procédure prend dix minutes par diamètre :

1. Choisir au hasard dans la livraison trois barres de pleine longueur de chaque diamètre, et non sur le dessus de la botte.
2. Mesurer la longueur de chaque barre au mètre ruban, au centimètre près.
3. Peser chaque barre sur une balance d'une résolution de 0,05 kg ou mieux, vérifiée à l'aide d'une masse connue.
4. Diviser la masse par la longueur pour obtenir des kg/m, et comparer le résultat à la valeur nominale diminuée de la tolérance : 4,5 % pour les barres de plus de 8 mm, 6,0 % pour les barres de 8 mm et moins [S31][S32].

Un peson démasque en quelques secondes une barre sous-dimensionnée

Masse d'une barre de 12 m : nominale, minimale dans la tolérance, et avec un millimètre de moins que le diamètre déclaré



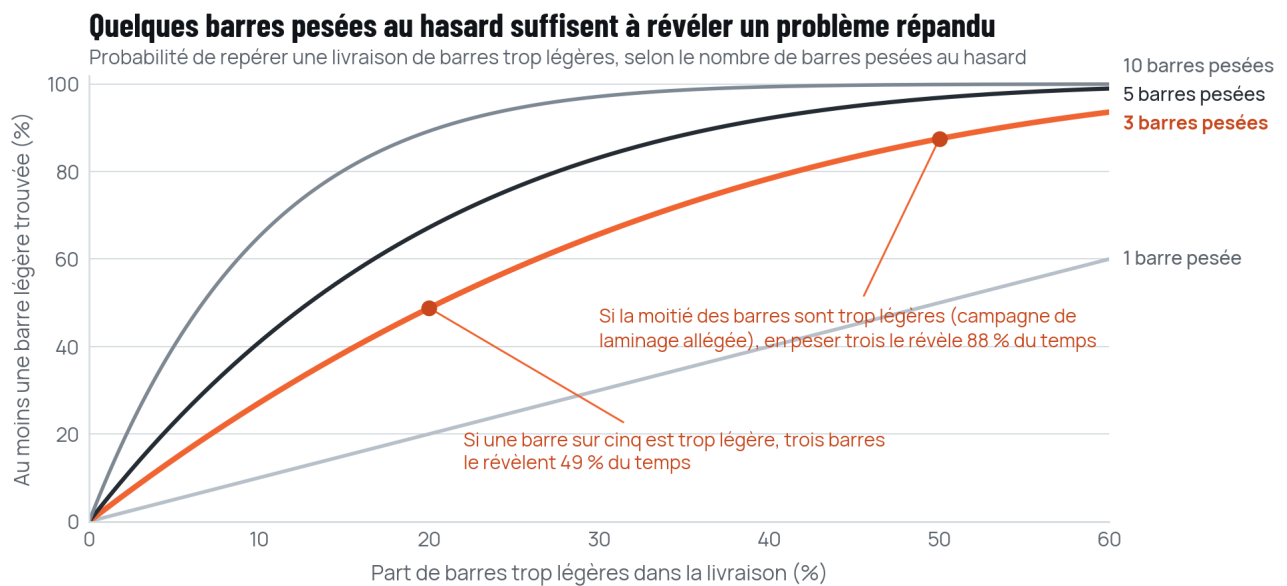
DÉRIVÉ Figure 6.1. Un peson révèle en quelques secondes une barre sous-dimensionnée. Une barre de 12 mm et de 12 m doit peser 10,66 kg et ne peut peser moins de 10,18 kg ; une barre laminée à 11 mm pèse 8,95 kg, soit un écart de 1,7 kg qu'aucune tolérance ne peut expliquer.

Source : calcul de Cameroon Steel à partir des diamètres nominaux et d'une masse volumique de 7 850 kg/m³ ; tolérance d'après les normes européennes de référence [S31][S32]. Annexe A.

Les écarts sont assez importants pour ne laisser aucun doute. Un millimètre de moins sur le diamètre retire 16 % de l'acier d'une barre de 12 mm et 19 % d'une barre de 10 mm (dérivé). Il ne s'agit pas de non-conformités marginales qui dépendraient de la précision d'une balance : elles apparaissent sur toute balance étalonnée. Comme les revendeurs vendent généralement à la barre, l'acheteur qui pèse protège aussi son budget : chaque kilogramme manquant est un kilogramme payé et non livré (voir l'analyse des prix au chapitre suivant).

6.4 Quelques barres pesées au hasard suffisent à détecter les problèmes généralisés

Combien de barres faut-il peser ? La pesée coûte peu, mais sur un chantier chargé, trois barres par diamètre constituent une routine réaliste. Un calcul élémentaire de probabilités montre ce qu'un tel échantillon peut et ne peut pas détecter. Si une proportion p des barres d'une livraison est trop légère et que n barres sont tirées au hasard, la probabilité de trouver au moins une barre trop légère est égale à 1 moins (1 moins p) à la puissance n (dérivé).



DÉRIVÉ Figure 6.2. Quelques barres pesées au hasard suffisent à détecter un problème généralisé. Lorsque la moitié des barres d'une livraison est trop légère, la pesée de trois barres le révèle dans 88 % des cas ; lorsqu'une barre sur cinq est trop légère, dans 49 % des cas pour une seule livraison.

Source : calcul de Cameroon Steel (échantillonnage binomial dans un lot de grande taille). Annexe A.

Deux conclusions s'en dégagent. D'abord, les petits échantillons détectent de façon fiable les problèmes **systématisés**. Lorsqu'une campagne de laminage entière a été laminée trop légère, ce qui se produit lorsqu'une usine vise en dessous de la valeur nominale ou fait tourner des cylindres usés, la moitié des barres au moins sont trop légères, et la pesée de trois barres révélera le problème dans près de neuf livraisons sur dix (dérivé). Ensuite, les petits échantillons détectent moins sûrement les barres trop légères **occasionnelles** dans une livraison donnée, mais la répétition compense : lorsqu'une barre sur cinq est trop légère, peser trois barres dans chacune de quatre livraisons donne une probabilité de détection de 93 % (dérivé : 1 moins 0,8 à la puissance 12). La règle n'est donc pas de peser beaucoup de barres une seule fois, mais de peser quelques barres à chaque livraison et d'en garder une trace.

6.5 Lire la barre : marquage, étiquettes et certificats

Le deuxième contrôle est documentaire et prend quelques minutes. Une barre conforme porte un **marquage de laminage**, motif de nervures ou de symboles qui identifie l'usine, répété sur toute sa longueur [S31][S34]. L'**étiquette de botte** doit indiquer le producteur, la nuance et la norme, le diamètre, le numéro de coulée et, pour les produits certifiés, la marque de certification et le numéro du certificat [S31][S32]. Le **bon de livraison** et le **certificat de réception** doivent mentionner les mêmes numéros de coulée.

La règle qui découle des données régionales est sans appel : **les barres dépourvues d'une marque du fabricant lisible, obtenue au laminage, ne doivent pas être utilisées dans les éléments de structure.** N'importe qui peut imprimer une étiquette ; un marquage de laminage exige un jeu de cylindres et constitue la signature du producteur sur chaque mètre d'acier. Même un marquage de laminage peut être imité par une usine peu scrupuleuse ; c'est pour-quoi le marquage, l'étiquette, le certificat et, le cas échéant, la validité du certificat auprès de l'ANOR ou de l'organisme de certification doivent tous être recoupés. Un revendeur incapable de présenter un certificat correspondant aux numéros de coulée des étiquettes propose un produit non traçable.

6.6 Plier la barre : un contrôle de ductilité en dix minutes

Aucun outil de chantier ne mesure la limite d'élasticité. La ductilité, en revanche, se révèle par un simple pliage. L'essai de pliage sur chantier est une adaptation de l'essai de pliage normalisé [S44] :

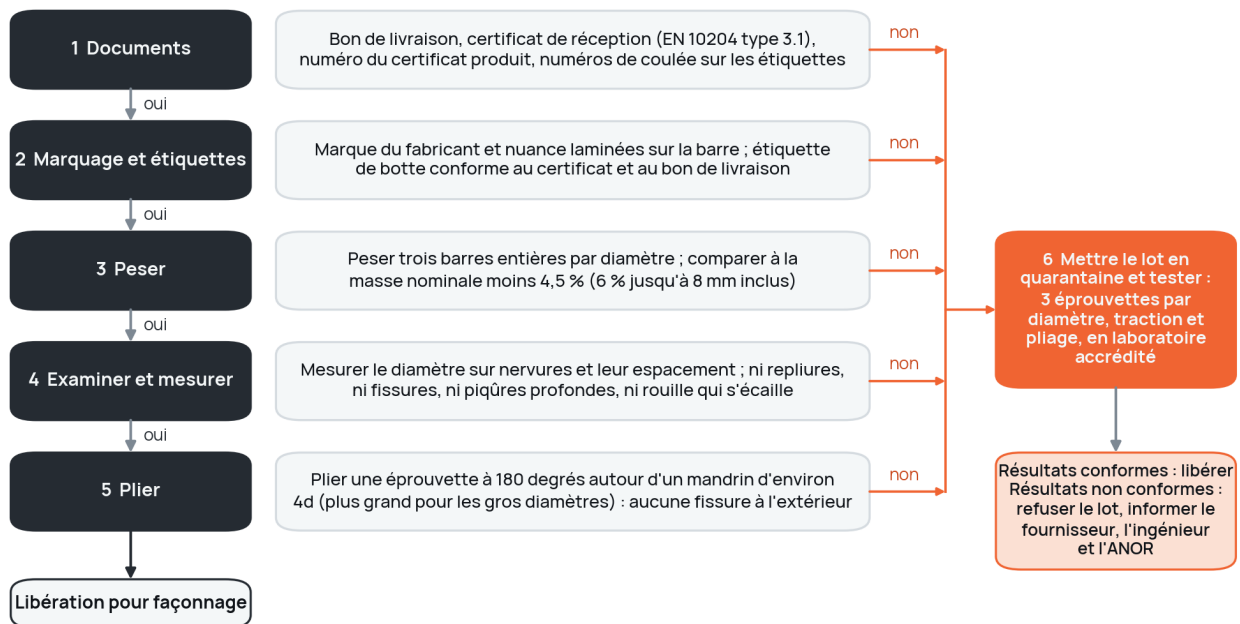
1. Couper un échantillon d'environ 0,5 m dans une barre de chaque diamètre de la livraison.
2. À l'aide d'une cintreuse ou d'une griffe à cintrer manuelle munie d'un mandrin d'environ quatre fois le diamètre de la barre pour les diamètres jusqu'à 16 mm, et plus grand pour les barres plus grosses, plier l'échantillon à froid à 180°.
3. Examiner l'extérieur du pli sous un bon éclairage. Toute fissure, fente ou déchirure à la base des nervures constitue un échec.
4. Pour les barres qui seront pliées puis redressées en service (les armatures en attente, par exemple), redresser partiellement l'échantillon et l'examiner de nouveau.

Une barre fragile, que ce soit en raison d'un excès de carbone ou de phosphore, d'un vieillissement dû à l'azote, d'une paille ou d'une section relaminée feuilletée, se fissure ou se fend généralement lors de cet essai. Une barre qui le réussit peut encore manquer de résistance, mais il est peu probable qu'elle soit dangereusement fragile. L'essai doit être réalisé à froid : chauffer une barre pour la plier modifie ses propriétés, et les barres trempées et autorevenues, dont la résistance provient de leur traitement thermique, ne doivent jamais être chauffées.

L'échantillon en main, on peut aussi contrôler les **nervures** : poser une règle le long de la barre et mesurer la longueur de dix espacements de nervures ; mesurer la hauteur des nervures à mi-longueur de la nervure avec une jauge de profondeur ou un pied à coulisse. La comparaison de ces mesures avec les données du producteur, ou avec une barre réputée bonne, révèle les cylindres usés et les nervures peu saillantes. Les extrémités coupées méritent aussi un examen : un feuilletage, une fente ou une inclusion sombre dans la section d'une extrémité coupée signale une billette médiocre ou une ferraille relaminée.

Cinq contrôles à la livraison écartent la plupart des mauvaises barres avant qu'elles n'atteignent un poteau

Procédure de réception d'une livraison de ronds à béton sur chantier (pratique recommandée)



ILLUSTRATIF Figure 6.3. Cinq contrôles à la livraison interceptent la plupart des mauvaises barres avant qu'elles n'atteignent un poteau. Tout échec envoie le lot en quarantaine et au laboratoire ; seuls les lots conformes passent au façonnage.

Source : pratique recommandée par Cameroon Steel, fondée sur les exigences de produit de [S31][S34][S38][S44] et les méthodes d'essai de [S44][S45].

6.7 Examiner la barre : corrosion et souillures

Des barres stockées pendant des mois à même le sol à Douala ou à Kribi rouillent. Une rouille superficielle légère et uniforme, qui s'essuie, n'est pas nocive et ne réduit pas l'adhérence. Ce qui compte, c'est la **perte de section** : rouille qui s'écaille, piqûres et hauteur de nervures réduite. La pratique américaine fournit une règle simple : des barres rouillées sont acceptables si un échantillon brossé à la main à la brosse métallique satisfait encore aux dimensions, à la masse et à la hauteur de nervures minimales de la spécification [S34]. La même règle vaut pour les barres de la famille européenne : brosser un échantillon, le peser, mesurer ses nervures. L'huile, la peinture, la boue et les agents de démoulage réduisent l'adhérence et doivent être éliminés avant la mise en place.

La prévention coûte moins cher. Les barres doivent être stockées hors sol sur des chevrons en bois, couvertes contre la pluie, séparées par diamètre et par nuance pour que les bottes ne soient pas mélangées et, près de la mer, abritées des embruns. Un chantier qui achète l'acier d'un mois à la fois a rarement un problème de corrosion ; celui qui achète une année d'approvisionnement quand les prix sont bas en a souvent un.

6.8 En cas de doute, faire essayer en laboratoire, et signaler

Tout échec aux contrôles sur chantier, tout document manquant ou incohérent, ou tout doute concernant un ouvrage important justifie des essais en laboratoire. La règle pratique consiste à **mettre le lot en quarantaine**, à le signaler clairement afin qu'aucune barre ne soit utilisée, et à envoyer trois échantillons par diamètre, assez longs pour les essais de traction et de pliage, à un laboratoire compétent, de préférence accrédité selon la norme ISO/IEC 17025 [S55]. Le laboratoire doit communiquer Re, Rm, Rm/Re, l'Agt et le résultat de l'essai de pliage, ainsi que la masse linéique ; lorsque les barres seront soudées, une analyse chimique donne le carbone équivalent.

Le coût de ces essais est faible au regard du coût de l'acier d'une seule dalle de plancher, et négligeable au regard du coût de la démolition et du recoulage d'un poteau. Si un lot échoue, il doit être refusé, le fournisseur et l'ingénieur chargé du contrôle doivent en être informés par écrit, et le cas doit être signalé à l'ANOR, qui dispose d'un service de dénonciation des produits non conformes [S74]. Les signalements venus des chantiers sont la matière première de la surveillance du marché : une agence qui ne reçoit jamais de plaintes ne peut pas cibler ses prélèvements.

CONSTAT

Sur un chantier camerounais type, cinq contrôles peu coûteux à chaque livraison (documents, marquage, pesée, mesures, pliage) révéleraient la plupart des défauts constatés dans la région. Le seul défaut qu'ils ne peuvent pas révéler, une barre de diamètre et de ductilité corrects mais d'une résistance inférieure à celle déclarée, est précisément celui que la certification et la surveillance du marché ont pour objet de prévenir.

CHAPITRE 7

PRESCRIRE LA NUANCE COMPLÈTE, EXIGER LA PREUVE ET VÉRIFIER CHAQUE LIVRAISON

Les concepteurs et les entreprises maîtrisent les deux dernières étapes avant que l'acier ne disparaisse dans le béton : la prescription et la réception des livraisons. Une prescription qui précise la nuance nationale, la classe de ductilité, la limite de soudabilité, les tolérances et la forme de la preuve, associée à un marché qui ne rémunère l'acier au poids qu'après les contrôles de réception, écartera la plupart des barres non conformes pour un coût négligeable. Les marchés de travaux publics constituent le point de départ naturel, car l'État est le premier acheteur de constructions au Cameroun et peut faire de l'acier certifié une condition de paiement.

7.1 La prescription est le premier contrôle qualité du concepteur

Un calcul de structure repose sur un ensemble d'hypothèses relatives aux matériaux. Lorsqu'un ingénieur dimensionne une dalle selon l'Eurocode 2 avec des armatures de classe B, le calcul suppose une limite d'élasticité caractéristique de 500 MPa, un rapport R_m/Re d'au moins 1,08, un allongement total sous force maximale d'au moins 5 %, une adhérence suffisante et, si les barres doivent être soudées, une composition chimique soudable [S30][S36]. Aucune de ces hypothèses n'atteint le chantier si elle n'est pas inscrite dans la prescription et dans le marché. Une note sur plan indiquant « acier : Fe500 » ne transmet que la première.

Le tableau ci-dessous propose des clauses types que le cahier des clauses techniques particulières (CCTP) d'un projet camerounais peut reprendre. Elles associent la nuance nationale obligatoire aux propriétés sur lesquelles repose un calcul fondé sur l'Eurocode, et définissent les preuves que l'entrepreneur doit produire. Elles constituent un point de départ pour une rédaction propre à chaque projet, et non un substitut à celle-ci.

Tableau 7.1 Clauses types de prescription des aciers pour béton armé dans les projets camerounais

N°	Objet	Clause (résumé)	Preuves exigées
1	Nuance et norme	Les armatures seront des barres nervurées conformes à la norme NC 236, nuance Fe500, présentant en outre les propriétés de la classe de ductilité B de l'annexe C de l'EN 1992-1-1 (B500B de la BS 4449 ou de la NF A 35-080-1)	Certificat de conformité de l'ANOR ; certificat de réception par coulée
2	Ductilité	L'Agt caractéristique sera $\geq 5,0 \%$ et le rapport $R_m/Re \geq 1,08$; aucun résultat d'essai ne sera inférieur aux minimums individuels de la norme de référence ; la classe C sera exigée lorsque l'ingénieur requiert une ductilité renforcée	Résultats des essais de traction par coulée, l'Agt étant mesuré selon l'EN ISO 15630-1
3	Surrésistance	Le rapport entre la limite d'élasticité réelle et la limite d'élasticité nominale ne dépassera pas 1,30 (valeur caractéristique)	Résultats des essais de traction par coulée
4	Soudabilité	Le Ceq sur coulée sera $\leq 0,50 \%$ lorsqu'un soudage, y compris le pointage, est autorisé ; à défaut, aucun soudage ne sera exécuté sans l'accord écrit de l'ingénieur ; le soudage sera conforme à l'EN ISO 17660-1	Analyse de coulée et Ceq portés sur le certificat
5	Section	La masse linéique sera comprise dans une tolérance de $\pm 4,5 \%$ (barres de plus de 8 mm) ou de $\pm 6,0 \%$ (barres de 8 mm et moins)	Écart de masse par coulée ; pesée sur chantier

N°	Objet	Clause (résumé)	Preuves exigées
6	Adhérence	La surface relative des nervures ne sera pas inférieure au minimum de l'Eurocode 2, ou la géométrie des nervures sera conforme à la géométrie certifiée	Géométrie des nervures certifiée ; mesure des nervures sur chantier
7	Marquage et traçabilité	Chaque barre portera le marquage de laminage du fabricant ; les bottes porteront des étiquettes indiquant les numéros de coulée ; l'entrepreneur fournira un certificat de réception de type 3.1 selon l'EN 10204 pour chaque coulée livrée	Étiquettes, certificat et bon de livraison portant des numéros de coulée concordants
8	Certification	Le certificat ANOR du fournisseur sera en cours de validité à la date de livraison ; une certification de produit par tierce partie sera privilégiée lorsqu'elle est disponible	Copie du certificat ; validité confirmée
9	Réception sur chantier	Chaque livraison fera l'objet de contrôles des documents, du marquage, de la masse, des dimensions et de pliage ; des essais en laboratoire seront réalisés sur des échantillons prélevés par l'ingénieur en cas d'échec d'un contrôle, pour toute fourniture non certifiée et pour les ouvrages critiques	Procès-verbal de réception sur chantier ; rapports de laboratoire
10	Non-conformité	Les lots non conformes seront mis en quarantaine, enlevés et remplacés aux frais du fournisseur ; l'ingénieur et l'ANOR en seront informés	Fiche de non-conformité
11	Métré et paiement	L'acier sera métré et payé à la masse (kg), sur la base de la masse nominale des barres acceptées ; aucun paiement ne sera dû pour les lots refusés	Tickets de pont-basculé ; nomenclatures rapprochées
12	Façonnage et pose	Les barres seront façonnées exclusivement à froid, selon les diamètres de mandrin du code de calcul et de la BS 8666 ou équivalent ; aucun chauffage ne sera admis ; aucune barre pliée ne sera repliée sans autorisation	Nomenclatures d'armatures ; contrôle avant bétonnage
13	Substitution	Aucune modification de diamètre, de nuance ou de norme ne sera admise sans l'accord écrit de l'ingénieur ; l'équivalence sera démontrée propriété par propriété (Agt, Rm/Re, Ceq, masse)	Tableau comparatif accompagné des certificats
14	Stockage	Les barres seront stockées hors sol, sous abri, séparées par diamètre et par nuance, et protégées des embruns	Inspection du chantier

Source : proposition de Cameroon Steel, fondée sur [S04][S05][S30][S31][S36][S38][S44][S46][S67][S71]. Rédaction type, à adapter par l'ingénieur du projet ; ne constitue pas un avis juridique.

Trois de ces clauses appellent un commentaire, car elles modifient les comportements plutôt que les seules formalités.

La clause 4 (soudabilité) vise une pratique courante et rarement encadrée : le pointage des cages d'armatures par commodité. Un point de soudure sur une barre à forte teneur en carbone ou à Ceq élevé crée une zone dure et fragile qui peut se fissurer sous charge ou lors du pliage, précisément à l'endroit où la barre devra ensuite reprendre des efforts de traction. Soit l'acier est certifié soudable et le soudage est maîtrisé, soit il n'y a pas de soudage.

La clause 11 (paiement à la masse) aligne les intérêts de l'entrepreneur et du maître d'ouvrage sur la qualité du produit. Un entrepreneur payé à la tonne d'acier réceptionné n'a aucun intérêt à acheter des barres trop légères, car sa rémunération est mesurée sur la masse réelle des barres.

La clause 13 (substitution) ferme la voie la plus fréquente par laquelle une nuance soigneusement prescrite se perd : un fournisseur ou une entreprise propose tardivement un produit « équivalent », sous la pression des délais. Le tableau comparatif du chapitre consacré aux normes montre pourquoi l'équivalence doit être démontrée propriété par propriété.

7.2 Lire le certificat de réception avant le déchargement du camion

Le certificat de réception est le document qui rattache une livraison aux preuves de sa qualité. Selon l'EN 10204, un certificat de type 3.1 présente les résultats d'essais spécifiques effectués sur les produits livrés, validés par le représentant du fabricant chargé du contrôle, indépendant de la production [S46]. Six vérifications prennent moins de temps que le déchargement du camion.

Six points à lire sur un certificat de réception avant d'accepter une livraison

Spécimen de certificat de réception pour ronds à béton (mise en page indicative, valeurs fictives)

CERTIFICAT DE RÉCEPTION EN 10204 TYPE 3.1									
Fabricant : [nom, adresse] Certificat n° [....]									
Produit : barres à haute adhérence, d = 12 mm, longueur 12 m, soudables									
Norme et nuance : NC 236 Fe500 / BS 4449 B500B									
Commande [....] Bon de livraison [....] Masse 24,6 t									
Coulée	Bottes	C	Mn	P	S	N	Cu	Ceq	
H-2611	B001-B024	0,20	0,85	0,021	0,018	0,009	0,28	0,38	
Traction (EN ISO 15630-1) Re MPa Rm MPa Rm/Re Agt % Pliage-dépliage									
Éprouvette 1			562	651	1,16	9,8	sans fissure		
Éprouvette 2			571	660	1,16	9,4	sans fissure		
Masse linéique : 0,871 kg/m (nominale 0,888 ; écart -1,9 %)									
Certification produit : [organisme], licence n° [....], valide jusqu'au [date]									
Contrôle de la production en usine selon l'ISO 9001 et le référentiel de certification									
Nous certifions que les produits sont conformes à la commande et à la norme.									
Représentant du contrôle, indépendant de la production : [signature]									
Toutes les valeurs sont fictives et ne concernent aucun producteur.									

- 1 Type 3.1 : signé par un contrôleur indépendant de la production
- 2 Nuance et norme conformes à votre spécification, pas approchantes
- 3 Numéros de coulée identiques aux étiquettes des bottes du camion
- 4 Chimie dans les limites ; Ceq au plus 0,50 si les barres sont soudées
- 5 Masse linéique dans la tolérance
- 6 Certificat de certification produit par tierce partie en cours de validité

ILLUSTRATIF Figure 7.1. Six points à lire sur un certificat de réception avant d'accepter une livraison : le type de document, la norme et la nuance, les numéros de coulée, la composition chimique et le Ceq, l'écart de masse et la validité de la certification de produit. Toutes les valeurs présentées sont fictives.

Source : présentation illustrative de Cameroon Steel, d'après les exigences de contenu de l'EN 10204 [S46] et des normes de produit européennes [S31][S38]. Tous les noms et toutes les valeurs sont fictifs.

Premièrement, le type de document. Un relevé de contrôle de type 2.2 donne des résultats relatifs à une production similaire, et non à l'acier livré ; il ne suffit pas pour des armatures de structure [S46]. Un certificat de type 3.1 est le minimum ; un certificat 3.2, contresigné par un tiers, peut être exigé pour les ouvrages critiques.

Deuxièmement, la norme et la nuance. Le certificat doit mentionner la nuance prescrite, et non une nuance approchante. « Fe450 », « type Fe500 » ou une nuance étrangère dont l'équivalence n'a pas été démontrée ne correspondent pas à la nuance prescrite. L'épisode Fe450 de 2024 a montré que des nuances hors du catalogue national peuvent atteindre le marché [S04][S05].

Troisièmement, les numéros de coulée. Chaque coulée figurant sur le certificat doit correspondre à une étiquette des bottes livrées, et l'étiquette de chaque botte doit figurer sur le certificat. Les bottes dont les numéros de coulée n'y figurent pas sont, de fait, non certifiées.

Quatrièmement, la composition chimique. L'analyse de coulée doit indiquer des teneurs en carbone, phosphore, soufre, azote et cuivre comprises dans les limites de la norme de référence, et un carbone équivalent inférieur ou égal à 0,50 % si un soudage quelconque est autorisé [S31][S32].

Cinquièmement, les résultats mécaniques et la masse. Chaque coulée doit indiquer Re, Rm, Rm/Re et l'Agt, le résultat de l'essai de pliage ou de pliage-dépliage et l'écart de masse. Des résultats qui se situent juste au-dessus de chaque minimum, coulée après coulée, méritent un examen plus attentif : une production réelle présente une dispersion.

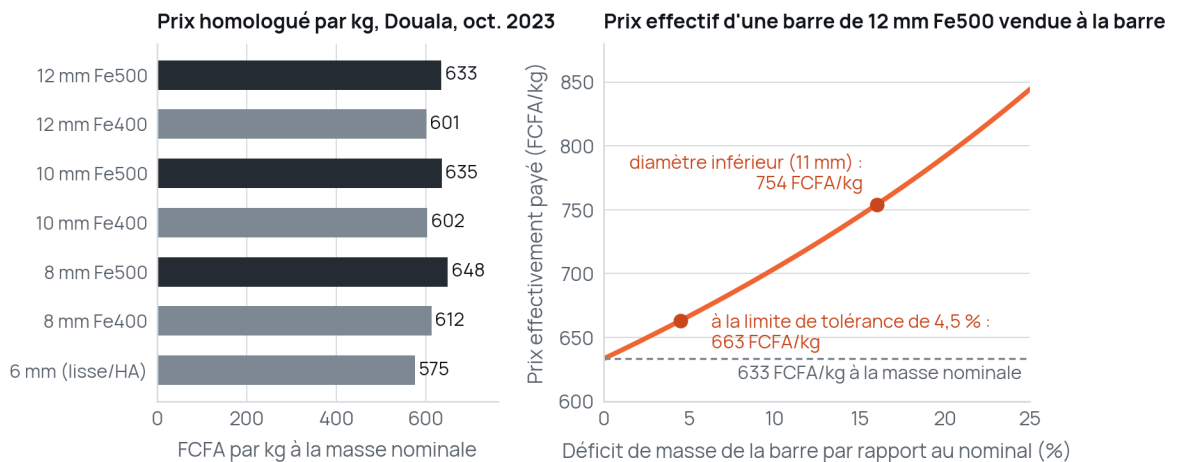
Sixièmement, la certification. Le certificat doit citer, avec son numéro, le certificat de produit (ANOR et, le cas échéant, référentiel tiers), et l'acheteur doit vérifier qu'il est en cours de validité. Des organismes de certification comme l'AFCAB publient en ligne la validité de leurs certificats, afin que tout acheteur puisse les vérifier [S31].

Un certificat est un document, et un document peut être copié ou altéré. Des certificats photocopiés portant des numéros de coulée manuscrits, des certificats dont les résultats sont identiques pour toutes les coulées, ou des certificats émanant d'un producteur dont le marquage de laminage n'apparaît pas sur les barres doivent tous déclencher des essais en laboratoire.

7.3 Acheter au poids et payer après réception

Le chapitre consacré à l'infrastructure qualité a montré que les prix homologués sont fixés à la barre. Sur les chantiers, de nombreux achats se font aussi à la barre. La figure ci-dessous montre ce que cela signifie pour l'acheteur.

Acheter à la barre cache une hausse de prix dans chaque kilogramme manquant



DÉRIVÉ Figure 7.2. L'achat à la barre dissimule une hausse de prix dans chaque kilogramme manquant. Au prix homologué d'octobre 2023, une barre Fe500 de 12 mm coûte 633 FCFA par kg à la masse nominale, 663 FCFA par kg si elle est trop légère de 4,5 % et 754 FCFA par kg si elle est d'une taille en dessous.

Source : prix homologués [S11] ; prix au kilogramme calculés par Cameroon Steel à partir des masses nominales (annexe A).

L'entreprise qui achète des barres trop légères paie donc plus cher le kilogramme d'acier, et obtient moins d'acier dans la structure. Ce calcul donne au maître d'ouvrage une parade simple : **prescrire, métrer et payer les armatures à la masse**, comme le font normalement les devis quantitatifs et estimatifs, et rapprocher la masse livrée (d'après les tickets de pont-basculé ou une pesée sur chantier) du nombre de barres et de leur masse nominale. Une livraison de 1 000 barres de 12 mm doit peser environ 10,66 t ; si elle pèse 9,5 t, soit le décompte, soit les barres sont en cause (dérivé).

7.4 Un bon acier ne remplit son rôle que si les dispositions constructives et la pose sont correctes

Des barres certifiées peuvent encore être gâchées par de mauvaises dispositions constructives et une mauvaise pose. Quatre points méritent d'être imposés sur chaque chantier. **Le façonnage** : les barres doivent être pliées à froid autour de mandrins de diamètre suffisant ; la BS 8666, norme britannique relative aux nomenclatures et au façonnage des armatures, fixe des diamètres minimaux de mandrin qui croissent avec le diamètre de la barre, de l'ordre de quatre diamètres de barre pour les diamètres courants [S67]. Plier une barre autour d'un clou ou d'une arête vive concentre les déformations et peut fissurer même une bonne barre. **Les recouvrements et les ancrages** : les longueurs de recouvrement et d'ancrage des codes de calcul supposent des barres présentant l'adhérence prescrite et un béton de la résistance prescrite ; des recouvrements raccourcis, des recouvrements tous placés dans la même section ou des recouvrements situés dans des zones très tendues sont des causes fréquentes de désordres. **Les cadres** : les cadres des poteaux et des poutres confinent le béton et empêchent le flambement des armatures principales ; ils doivent être fermés par des crochets suffisamment repliés pour s'ancrer dans le noyau, et espacés conformément aux plans, en particulier près des nœuds. **La propreté et la position** : les barres doivent être exemptes de rouille non adhérente, de boue et d'huile, ligaturées de façon à ne pas bouger pendant le bétonnage, et maintenues à l'enrobage prescrit par des cales d'enrobage.

Une brève inspection du ferrailage avant chaque bétonnage, au regard des plans et des nomenclatures, permet de déceler la plupart de ces erreurs tant qu'elles sont encore peu coûteuses à corriger. Le procès-verbal d'inspection de l'ingénieur, signé avant la commande du béton, est à la pose ce que le procès-verbal de réception est à la livraison.

7.5 Recourir aux essais par tierce partie lorsqu'ils apportent une information

Les essais en laboratoire de ronds à béton pour le compte du maître d'ouvrage sont particulièrement utiles dans cinq situations : lorsque le fournisseur n'est pas certifié ; lors de la première livraison d'un nouveau fournisseur ; lorsqu'un contrôle sur chantier a échoué ou qu'un document manque ; pour les bâtiments critiques tels que les écoles, les hôpitaux et les immeubles de plusieurs étages ; et par sondage tout au long d'un grand projet, pour garantir la loyauté de l'approvisionnement.

La valeur d'un essai dépend de la manière dont l'échantillon est prélevé. **Les échantillons doivent être choisis et coupés par le représentant de l'ingénieur**, et non par le fournisseur, sur des barres prises au hasard dans la livraison, étiquetés avec le numéro de coulée, scellés et acheminés, avec une fiche simple de chaîne de traçabilité, vers un laboratoire compétent, de préférence accrédité selon la norme ISO/IEC 17025 [S55]. Le laboratoire doit réaliser les essais selon l'EN ISO 15630-1 ou la méthode de la norme prescrite [S44] et communiquer chaque résultat, et pas seulement un verdict conforme ou non conforme.

L'interprétation d'un petit nombre d'essais exige aussi de la prudence. Trois résultats d'essai de traction ne peuvent pas prouver une valeur caractéristique, qui est un énoncé portant sur toute une production et exige une preuve statistique (voir le chapitre consacré aux essais). Une règle pratique d'acceptation d'un lot est que chaque résultat satisfasse aux valeurs minimales individuelles de la norme de référence, et que la moyenne des résultats dépasse nettement les valeurs caractéristiques. Un lot qui ne satisfait aux minimums individuels que de justesse, avec une moyenne faible, doit être considéré comme suspect et faire l'objet d'investigations complémentaires, généralement sur un plus grand nombre d'échantillons.

RÈGLE PRATIQUE

Les échantillons destinés aux essais pour le compte du maître d'ouvrage sont choisis et coupés par le représentant de l'ingénieur, étiquetés avec le numéro de coulée, scellés et envoyés à un laboratoire qualifié. Trois résultats peuvent montrer qu'un lot satisfait aux minimums individuels ; ils ne peuvent pas prouver une valeur caractéristique, ce que seules les statistiques d'une production certifiée permettent de faire.

7.6 La commande publique peut entraîner l'ensemble du marché

L'État est le premier acheteur de constructions au Cameroun. Le budget de l'État pour 2026 consacre 2 026,3 milliards de FCFA à l'investissement public [S80], dont une large part se transforme en bâtiments en béton, ponts, dalots et ouvrages de drainage. Les travaux publics sont passés en application du code des marchés publics fixé par le décret n° 2018/366 du 20 juin 2018 [S54], au moyen de dossiers d'appel d'offres types (DAO-types) publiés par le ministère des Marchés publics.

Trois évolutions de la commande publique relèveraient le niveau plancher de l'ensemble du marché :

1. **Une clause type** dans le cahier des clauses techniques particulières de chaque marché de travaux publics, exigeant des barres certifiées NC 236 présentant les propriétés de la classe de ductilité B, des certificats de réception de type 3.1 et des contrôles de réception sur chantier, selon les principes du tableau ci-dessus.
2. **Des modalités de paiement** qui fassent de l'acier certifié une condition de paiement : les décomptes provisoires des travaux de béton armé exigeraient les procès-verbaux de réception et les certificats de l'acier mis en œuvre.
3. **Un contrôle des travaux** qui inclue les matériaux : les termes de référence de l'ingénieur chargé du contrôle incluraient les contrôles de réception des ronds à béton et un plan d'échantillonnage pour les essais en laboratoire.

Les projets financés par les banques de développement appliquent déjà des normes et des règles de contrôle internationales. Aligner la commande publique nationale sur cette pratique créerait une demande importante et stable d'acier certifié, qui récompenserait à son tour les producteurs investissant dans le contrôle de la qualité. Les acheteurs privés suivraient, en particulier lorsque les prêteurs et les assureurs demandent des preuves de la qualité des matériaux avant de financer ou d'assurer un bâtiment.

L'ÉTAT ACHÈTE PLUS DE BÉTON ARMÉ QUE QUICONQUE. S'IL NE PAIE QUE L'ACIER CERTIFIÉ ET CONTRÔLÉ À LA LIVRAISON, LE MARCHÉ SUIVRA.

La commande publique, instrument de qualité

7.7 Les maçons et les chefs de chantier prennent la dernière décision

Les prescriptions et les certificats se lisent dans les bureaux ; les barres sont réceptionnées, coupées et pliées sur le chantier par les chefs de chantier et les maçons. Dans la plupart des constructions au Cameroun, et en particulier dans l'autoconstruction de logements, aucun ingénieur n'est présent lors de la livraison de l'acier. La qualité de l'acier effectivement incorporé dans une maison dépend donc de ce que sait la personne qui le décharge.

Cinq habitudes font la différence et peuvent s'enseigner en une journée : refuser les barres sans marquage de laminage ; peser trois barres de chaque diamètre ; plier un échantillon à froid ; ne jamais chauffer une barre pour la plier ; et stocker les barres hors sol et à l'abri. Une sixième, garantir l'enrobage prescrit au moyen de cales d'enrobage adaptées, relève de la durabilité et est traitée au chapitre suivant. Avant le coulage du béton, le ferrailage doit être contrôlé au regard des plans : diamètres et nombre de barres, espacements, recouvrements, cadres, enrobage et propreté.

CONSTAT

Une prescription qui précise la nuance complète, un certificat lu en six vérifications, le paiement à la masse et cinq habitudes de chantier ne coûtent presque rien et écartent la plupart des barres non conformes. La commande publique peut en faire la norme en subordonnant le paiement à l'emploi d'un acier certifié et réceptionné.

7.8 Un procès-verbal de réception d'une page ancre la routine

Les routines vivent sur le papier. Un procès-verbal de réception d'une page, rempli pour chaque livraison et conservé avec le journal de chantier, rend les contrôles décrits ci-dessus vérifiables et les rattache au paiement. Il ne requiert que dix rubriques :

1. Date, fournisseur et numéro du bon de livraison.
2. Diamètres et nombre de barres ou de bottes livrées, et masse livrée d'après le ticket de pont-bascule.
3. Numéros de coulée relevés sur les étiquettes.
4. Numéros et type (3.1 ou 3.2) des certificats de réception, et indication que chaque coulée des étiquettes figure ou non sur un certificat.
5. Certificat de produit (ANOR et, le cas échéant, référentiel tiers) et sa validité à la date de livraison.
6. Marquage de laminage observé sur les barres, et sa concordance avec le certificat.
7. Masses et longueurs des barres pesées, et kg/m calculé au regard du minimum admis.
8. Espacement et hauteur des nervures mesurés sur une barre par diamètre.
9. Résultat de l'essai de pliage sur un échantillon par diamètre.
10. Décision (acceptation, quarantaine en vue d'essais, refus), avec le nom et la signature du responsable.

Tenus de façon régulière, ces procès-verbaux font plus que protéger un bâtiment. Ils donnent au maître d'ouvrage des justificatifs pour le paiement, à l'ingénieur des preuves pour la validation et au fournisseur un retour sur son produit ; transmis à l'ANOR en cas d'échec d'une livraison, ils fournissent au dispositif de surveillance du marché les informations dont il a besoin pour cibler ses prélèvements.

CHAPITRE 8

SUR LE LITTORAL, L'ENROBAGE ET LE BÉTON PROTÈGENT LA BARRE DAVANTAGE QUE L'ACIER LUI-MÊME

À Douala et à Kribi, l'humidité relative moyenne reste supérieure à 80 % tous les mois et avoisine 90 % en moyenne annuelle, les précipitations dépassent 2 800 mm par an à Kribi, et les embruns transportent les chlorures vers l'intérieur des terres. La corrosion des armatures constitue donc la principale menace à long terme pour les bâtiments en béton du littoral. Une barre est protégée par l'alcalinité d'un béton sain et par l'épaisseur de l'enrobage, et non par sa propre composition chimique ; les revêtements et l'acier inoxydable ne sont utiles que lorsque l'exposition est sévère. Les mesures décisives sont l'enrobage, la qualité du béton et la cure, que l'Eurocode 2 et l'EN 206 fixent selon la classe d'exposition et qu'il faut faire respecter sur le chantier au moyen de cales d'enrobage et d'inspections.

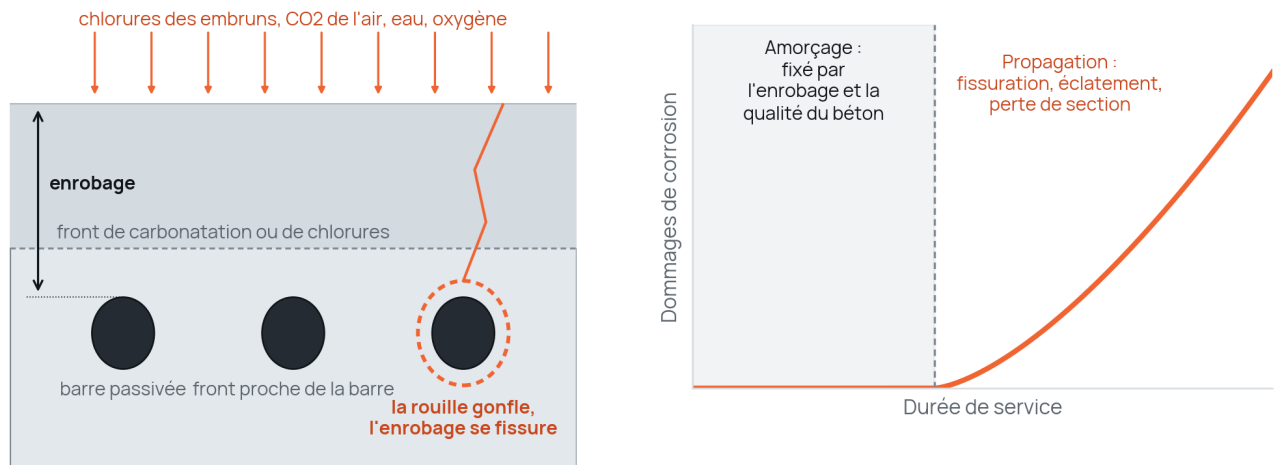
8.1 L'acier noyé dans le béton est protégé par la chimie tant que l'enrobage n'est pas franchi

Le béton frais est fortement alcalin. Dans ce milieu, un mince film d'oxyde stable se forme à la surface de l'acier et le protège : la barre est passive. Deux processus détruisent cette protection. **La carbonatation** : le dioxyde de carbone de l'air diffuse dans le béton et en abaisse progressivement l'alcalinité ; lorsque le front de carbonatation atteint la barre, le film passif disparaît sur une large surface. **Les chlorures**, provenant des embruns, de l'eau de mer, de sables ou de granulats contaminés ou de certains adjuvants, diffusent vers l'intérieur et, dès que leur concentration au contact de la barre dépasse un seuil, rompent localement le film passif et provoquent une corrosion par piqûres.

Une fois le film disparu, et en présence d'humidité et d'oxygène, l'acier se corrode. La rouille occupe un volume plusieurs fois supérieur à celui de l'acier qu'elle remplace ; elle fait donc éclater l'enrobage : d'abord une fissure le long de la barre, puis un épaufrage, puis des barres à nu dont la section diminue. La durée de service d'un élément en béton armé est généralement décrite en deux phases, selon le modèle proposé par Tuutti : une **période d'amorçage**, pendant laquelle la carbonatation ou les chlorures traversent l'enrobage jusqu'à la barre, et une **période de propagation**, pendant laquelle la corrosion progresse jusqu'à ce que la fissuration, l'épaufrage et la perte de section deviennent inacceptables [S65].

La durabilité se joue avant que la première barre ne rouille

Comment les chlorures et la carbonatation atteignent l'acier, et modèle de durée de vie en deux phases (d'après Tuutti, schéma)



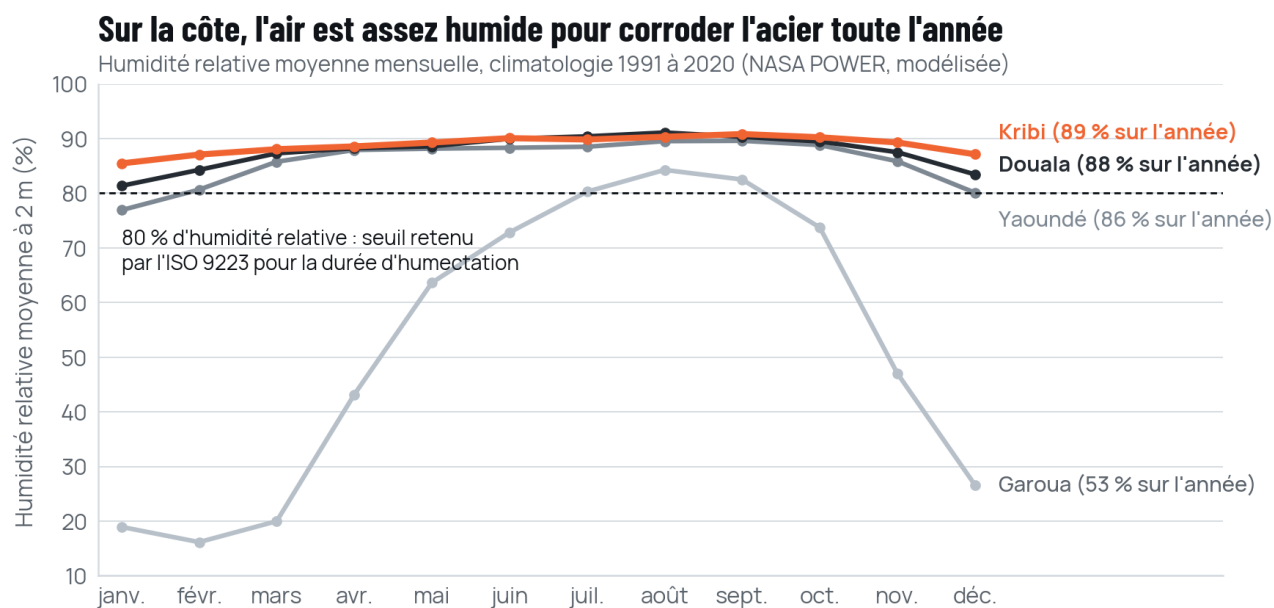
ILLUSTRATIF Figure 8.1. La durabilité se joue avant que la première barre ne rouille. L'enrobage et la qualité du béton fixent la durée de la période d'amorçage ; une fois la corrosion amorcée, les dégradations s'accroissent.

Source : schéma de Cameroon Steel, d'après le modèle de durée de service en deux phases de Tuutti [S65].

Ce modèle explique pourquoi la durabilité se joue bien avant l'apparition de la moindre rouille. La durée de la période d'amorçage dépend presque entièrement de deux paramètres que maîtrisent le concepteur et le constructeur : **l'épaisseur de l'enrobage et la difficulté qu'ont le dioxyde de carbone et les chlorures à pénétrer dans le béton.** La qualité propre de l'acier compte aussi, mais surtout d'une autre manière : une barre trop légère ou fragile dès l'origine dispose d'une marge moindre à perdre lorsque la corrosion commence.

8.2 Le climat côtier est agressif tous les mois de l'année

L'acier se corrompt le plus vite lorsque sa surface est humide. La pratique internationale, codifiée dans l'ISO 9223, mesure la « durée d'humectation » comme le temps pendant lequel l'humidité relative dépasse 80 % à une température supérieure à 0 °C [S47]. Selon ce critère, le littoral camerounais est humide presque toute l'année. La climatologie modélisée pour la période de 1991 à 2020 donne une humidité relative moyenne de 89 % à Kribi et de 88 % à Douala, sans aucun mois inférieur à 80 % à Kribi ; Yaoundé affiche en moyenne 86 %, tandis que Garoua, dans le Nord sec, affiche 53 % avec une longue saison sèche [S50]. Les relevés de la station de Kribi indiquent des maxima journaliers de 92 % à 96 %, des minima journaliers de 70 % à 78 % et des précipitations annuelles d'environ 2 836 mm [S51]. Des températures moyennes d'environ 26 °C dans les deux villes côtières [S50] accélèrent tous les processus chimiques en jeu.



SOURCE Figure 8.2. Sur le littoral, l'air est assez humide pour corroder l'acier toute l'année. Kribi et Douala restent au-dessus du seuil de 80 % d'humidité tous les mois ou presque ; Garoua passe très en dessous pendant la saison sèche.

Source : climatologie NASA POWER de 1991 à 2020, modélisée à l'emplacement de chaque ville [S50] ; seuil tiré de l'ISO 9223 [S47].

L'ISO 9223 classe la corrosivité des atmosphères de C1 (très faible) à CX (extrême) d'après la perte par corrosion, au cours de la première année, d'échantillons métalliques de référence ; pour l'acier au carbone, la perte annuelle est inférieure à environ 1,3 µm en C1, de 50 à 80 µm en C4 et de 80 à 200 µm en C5 [S47]. Les sites côtiers exposés aux embruns relèvent couramment des catégories élevées. Il n'existe aucune carte publiée de corrosivité mesurée pour le littoral camerounais, et le présent livre blanc n'attribue de catégorie à aucun site (voir le chapitre consacré aux lacunes de connaissance). On peut toutefois affirmer que la combinaison d'une humidité permanente, de la chaleur et des sels marins transportés par l'air place les bâtiments proches de la mer dans les classes d'exposition les plus exigeantes des codes de calcul.

La catégorie atmosphérique importe pour l'acier exposé, comme les barres stockées sur le chantier dans l'attente de leur mise en œuvre ou les armatures en attente qui dépassent d'une dalle pendant des mois. Pour les barres noyées dans le béton, la classification pertinente est la classe d'exposition du béton, examinée ci-après.

8.3 L'Eurocode 2 et l'EN 206 fixent l'enrobage et la qualité du béton selon la classe d'exposition

La pratique européenne rattache la durabilité à un petit nombre de **classes d'exposition** définies dans l'EN 206 et utilisées par l'Eurocode 2 [S36][S37]. Pour la corrosion des armatures, les plus importantes sont XC (corrosion induite par carbonatation, en quatre niveaux allant de sec à alternativement humide et sec), XD (chlorures ayant une origine autre que marine) et XS (chlorures présents dans l'eau de mer) : XS1 pour les structures exposées aux sels marins transportés par l'air mais pas en contact direct avec l'eau de mer, XS2 pour les parties immergées en permanence et XS3 pour les zones de marnage, d'éclaboussures et d'embruns [S36][S37].

Pour chaque classe, l'Eurocode 2 donne un enrobage minimal vis-à-vis de la durabilité et l'EN 206 recommande des valeurs limites pour le béton. Le tableau résume les valeurs recommandées pour une durée d'utilisation de projet de 50 ans (classe structurale S4) ; les annexes nationales peuvent les modifier, et l'existence d'une annexe nationale camerounaise à l'Eurocode 2 n'a pas pu être confirmée à partir des sources publiques (voir le chapitre consacré aux lacunes de connaissance).

Tableau 8.1 Enrobage minimal recommandé et limites applicables au béton selon la classe d'exposition (Eurocode 2 et EN 206, valeurs recommandées)

Classe d'exposition	Situation type au Cameroun	Enrobage minimal vis-à-vis de la durabilité, $c_{min,dur}$ (mm)	Enrobage nominal avec tolérance de 10 mm (mm)	Rapport E/C maximal	Classe de résistance minimale	Teneur minimale en ciment (kg/m ³)
XC1	Intérieur de bâtiments secs ou climatisés	15	25	0,65	C20/25	260
XC2	Fondations, humides en permanence	25	35	0,60	C25/30	280
XC3	Extérieur abrité, locaux humides (cuisines, salles d'eau)	25	35	0,55	C30/37	280
XC4	Façades, balcons et poteaux exposés à la pluie	30	40	0,50	C30/37	300
XS1	Bâtiments proches de la côte exposés aux sels marins transportés par l'air	35	45	0,50	C30/37	300
XS2	Parties immergées en permanence dans l'eau de mer	40	50	0,45	C35/45	320
XS3	Zones de marnage, d'éclaboussures et d'embruns : quais, digues, fronts de mer	45	55	0,45	C35/45	340

Source : tableau 4.4N de l'EN 1992-1-1 (classe structurale S4) et tolérance d'exécution Δc_{dev} recommandée de 10 mm [S36] ; valeurs limites recommandées de l'annexe F de l'EN 206 [S37]. Valeurs recommandées ; l'enrobage doit en outre être au moins égal au diamètre de la barre pour l'adhérence, et les dispositions nationales peuvent différer.

Les anciennes règles françaises de béton armé, le BAEL 91, qui ont façonné la formation de nombreux ingénieurs en Afrique francophone, retiennent le même ordre de grandeur : 5 cm d'enrobage pour les ouvrages à la mer ou exposés aux embruns, 3 cm pour les parois exposées aux intempéries ou aux condensations [S82]. Quel que soit le code employé, le message est constant : à proximité de la mer, le béton de structure exige un enrobage d'environ 45 mm ou plus et un béton compact à faible rapport eau/ciment.

8.4 L'enrobage se perd sur le chantier, pas au bureau d'études

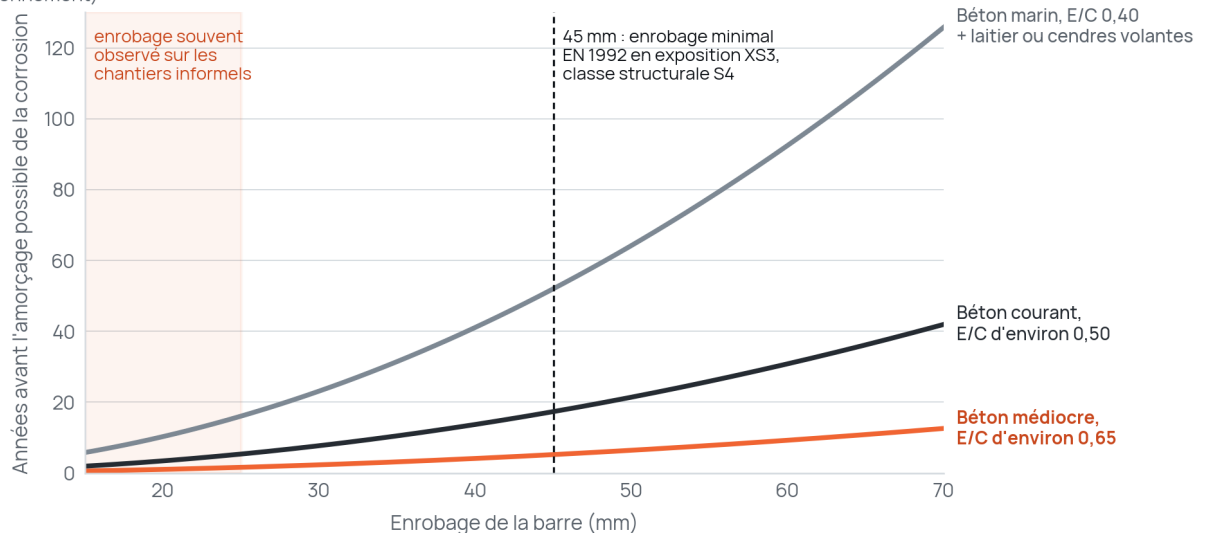
Dans les bâtiments côtiers, les défauts de durabilité commencent rarement par une erreur de chiffre sur un plan. Ils commencent sur le chantier, de cinq manières :

- **Absence de cales d'enrobage.** Des barres posées sur le coffrage ou sur des pierres finissent avec 10 mm d'enrobage ou moins, quoi qu'indique le plan. Des cales en béton ou en plastique prévues à cet effet, fixées à faible espacement, constituent la mesure de durabilité la moins coûteuse qui soit.
- **Eau ajoutée pour la maniabilité.** Le béton gâché sur chantier est souvent rendu plus fluide pour pouvoir être mis en place à la main. Chaque litre d'eau supplémentaire relève le rapport eau/ciment et la perméabilité de l'enrobage.
- **Vibration insuffisante.** Un béton présentant des nids de cailloux autour des barres n'offre presque aucune protection.
- **Absence de cure.** Par temps chaud et venteux, la couche superficielle sèche avant que le ciment ait pu s'hydrater, ce qui fait des 20 à 30 mm extérieurs, c'est-à-dire de l'enrobage lui-même, la partie la plus poreuse de l'élément.
- **Matériaux contaminés.** Du sable de plage non lavé ou de l'eau de mer utilisés pour le gâchage apportent des chlorures directement au contact de la barre dès le premier jour.

L'effet de l'enrobage et de la qualité du béton sur le délai avant l'amorçage de la corrosion est fortement non linéaire. Un modèle de diffusion simple, avec des paramètres supposés mais plausibles, en montre l'allure : le délai d'amorçage croît comme le carré de l'enrobage, si bien que doubler l'enrobage le multiplie à peu près par quatre, et un béton compact contenant des additions minérales peut encore le multiplier par trois ou plus par rapport à un béton courant.

Doubler l'enrobage multiplie environ par quatre le délai avant l'apparition de la rouille

Délai d'amorçage de la corrosion par les chlorures ; modèle de diffusion de Fick, paramètres supposés (D en m^2/s ; pas un calcul de dimensionnement)



ILLUSTRATIF **Figure 8.3.** Doubler l'enrobage multiplie à peu près par quatre le délai avant l'apparition de la rouille. Avec les paramètres supposés, un béton médiocre avec 25 mm d'enrobage pourrait atteindre le seuil de corrosion en moins de deux ans ; un béton courant avec 40 mm, en environ 14 ans ; un béton marin durable avec 50 mm, en environ 64 ans.

Source : calcul de Cameroon Steel selon la seconde loi de Fick, avec des coefficients de diffusion constants, une teneur en chlorures en surface de 1,5 % et un seuil critique de chlorures de 0,4 % de la masse de liant (hypothèses, annexe A). Illustre uniquement des tendances ; il ne s'agit pas d'une méthode de calcul.

Les valeurs absolues de la figure dépendent des hypothèses et ne doivent pas servir au calcul ; les coefficients de diffusion réels diminuent avec le temps à mesure que le béton mûrit, ce qui allonge les durées indiquées. Les effets relatifs sont robustes, et ils sont importants. Ils expliquent aussi une observation faite après l'effondrement de juillet 2023 à Douala, où des riverains ont décrit des fers d'armature à nu et rouillés sur le bâtiment avant sa chute [S20] : les coulures de rouille et l'épauprement sont l'aboutissement visible d'un processus qui avait commencé des années plus tôt, avec un enrobage insuffisant ou un béton perméable.

8.5 Six règles pratiques protègent les armatures sur les chantiers côtiers

Traduites en pratique de chantier, les exigences de durabilité se ramènent à six règles que toute entreprise peut appliquer :

- Fixer des cales d'enrobage** en béton ou en plastique, de l'épaisseur de l'enrobage prescrit, à faible espacement sous les barres inférieures et contre les coffrages latéraux, et les ligaturer pour qu'elles restent en place pendant le bétonnage.
- Vérifier l'enrobage avant chaque coulage** à l'aide d'un régleur en un échantillon de points, et corriger toute barre qui repose sur le coffrage ; après décoffrage, un détecteur d'armatures (pachomètre) peut confirmer le résultat sur les éléments critiques.
- Respecter le rapport eau/ciment** : gâcher ou commander le béton selon la formule prescrite et ne pas ajouter d'eau au moment du coulage ; lorsque la maniabilité l'exige, utiliser un adjuvant plastifiant plutôt que de l'eau.
- Utiliser des matériaux propres** : uniquement du sable lavé et de l'eau douce, jamais d'eau de mer ni de sable de plage non lavé, qui apportent des chlorures directement au contact de la barre.

5. **Assurer la cure du béton** : maintenir les surfaces exposées humides ou couvertes pendant plusieurs jours après le coulage, plus longtemps par temps chaud et venteux, afin que l'enrobage, cette couche extérieure qui protège l'acier, ne soit pas la partie la plus poreuse de l'élément.
6. **Protéger l'acier en attente** : les armatures en attente et les barres stockées près de la mer devraient être protégées ou débarrassées de la rouille non adhérente avant d'être noyées dans le béton, et les stocks tenus hors sol et à l'abri.

L'entretien complète le dispositif. Les fissures le long des barres, les traces de rouille et les épaufures sont des signes précoces ; les réparer sans tarder, en éliminant le béton contaminé ou carbonaté autour de la barre, en nettoyant l'acier et en reconstituant l'enrobage avec un mortier de réparation adapté, coûte bien moins cher que de remplacer plus tard un élément corrodé.

8.6 Les revêtements et l'acier inoxydable sont réservés aux expositions les plus sévères

Lorsque l'enrobage et la qualité du béton ne suffisent pas à eux seuls à assurer une protection suffisante, ou lorsque les conséquences de la corrosion seraient graves, la barre elle-même peut être protégée. Chaque option a ses coûts et ses conditions.

Tableau 8.2 Options de protection des armatures en environnement agressif

Option	Norme	Mode de protection	Conditions et limites	Domaine d'emploi pertinent au Cameroun
Acier au carbone non revêtu avec enrobage suffisant et béton compact	EN 1992-1-1, EN 206	Alcalinité du béton ; pénétration lente à travers un enrobage épais et peu perméable	Dépend entièrement de l'exécution sur chantier : cales d'enrobage, vibration, cure	Solution par défaut pour tous les bâtiments, y compris en zone côtière
Béton peu perméable au laitier ou aux cendres volantes	EN 206	Réduit la diffusion des chlorures et fixe une partie des chlorures	Exige une étude de formulation, un approvisionnement en matériaux et une cure plus longue	Bâtiments côtiers, ouvrages maritimes, fondations en sol salin
Barres galvanisées à chaud	ASTM A767	Couche de zinc, anode sacrificielle par rapport à l'acier	Pliage avant galvanisation ou pliage contrôlé après ; réparation des zones endommagées ; efficacité moindre à forte teneur en chlorures	Façades et balcons proches de la mer, béton architectonique
Barres revêtues d'époxy	ASTM A775, ASTM A934	Revêtement barrière isolant l'acier	Revêtement facilement endommagé à la manutention et au pliage ; longueurs d'ancrage accrues ; réparation sur chantier des dommages indispensables	Ouvrages maritimes et industriels avec manutention maîtrisée
Barres en acier inoxydable	BS 6744	Alliage résistant à la corrosion	Coût élevé du matériau ; emploi sélectif dans les zones les plus exposées ; vérifier la compatibilité avec les barres en acier au carbone	Zones d'éclaboussures des quais, digues, éléments critiques
Inhibiteurs de corrosion, revêtements du béton, protection cathodique	Diverses	Ralentissent la corrosion par voie chimique ou électrique	Conception et entretien spécialisés	Ouvrages portuaires et maritimes, réparations

Source : [S36][S37] pour l'enrobage et le béton ; [S58][S59][S60] pour les barres revêtues et inoxydables. Synthèse qualitative.

Pour la plupart des bâtiments, les deux premières lignes constituent la bonne réponse. Les barres revêtues et inoxydables sont des outils coûteux destinés à des problèmes particuliers, et une barre revêtue mise en place avec 15 mm d'enrobage dans un béton poreux n'offre guère plus de protection qu'une barre ordinaire.



**SUR LA CÔTE ATLANTIQUE, L'AIR LUI-MÊME EST
UNE CLASSE D'EXPOSITION : HUMIDE TOUS LES
MOIS, CHAUD ET CHARGÉ DE SEL MARIN.**

Vue d'illustration. Image générée d'une surface d'acier brossé ; il ne s'agit pas d'une photographie d'un projet, d'un lieu ou d'une personne.

8.7 La qualité des ronds à béton et la durabilité interagissent de trois manières

La qualité propre de l'acier compte néanmoins pour la durabilité, pour trois raisons.

Réserve de section. La corrosion enlève de l'acier. Une barre trop légère de 10 % à la livraison atteint 10 % plus tôt toute perte de section critique. Les marges de durabilité et les tolérances sur la masse sont une seule et même marge, vue des deux extrémités de la vie d'un bâtiment.

Ductilité après corrosion. Les piqûres n'enlèvent pas seulement de la section ; elles concentrent les déformations, si bien que les barres corrodées perdent leur ductilité plus vite que leur résistance. Les recherches sur les barres corrodées, y compris les barres trempées et autorevenues, ont documenté ce comportement et comparé les types d'acier [S49]. Une barre qui part d'une bonne ductilité conserve une marge utile après une certaine corrosion ; une barre qui en a peu au départ peut devenir fragile.

État à la livraison. Les barres qui arrivent fortement rouillées ou piquées, ou qui ont été stockées des mois près de la mer, commencent leur vie avec des dommages. Le contrôle à la brosse métallique et par pesée décrit dans le chapitre consacré aux défauts s'applique ici, et les règles de stockage prévues dans les spécifications comptent davantage sur le littoral que partout ailleurs.

CHAPITRE 9

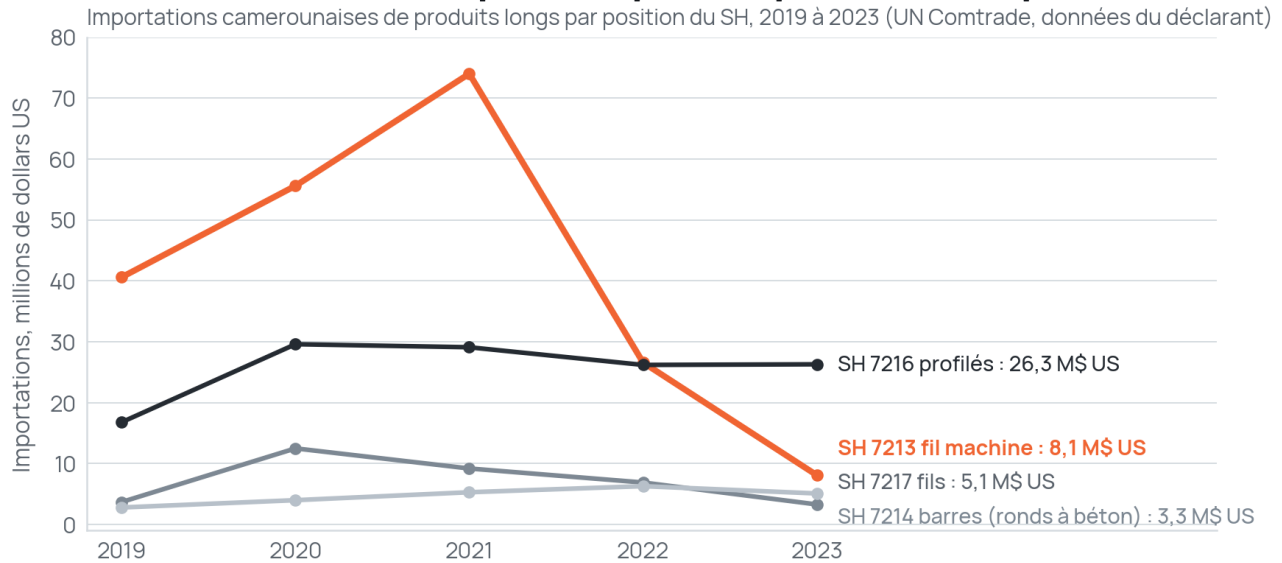
LE FIL MACHINE, LE TREILLIS SOUDÉ ET LES PROFILÉS EXIGENT LA MÊME DISCIPLINE, AVEC LEURS PROPRES ESSAIS

Les arguments avancés pour les ronds à béton valent pour les autres produits longs qui assurent la tenue des bâtiments. Le fil machine est transformé en fil à ligaturer, en pointes et en fil écroui à froid destiné au treillis soudé, dont la ductilité, plus faible par nature, doit être déclarée et maîtrisée ; le treillis soudé ajoute la résistance de ses soudures à la liste des propriétés ; et les profilés de construction relèvent d'une autre famille de normes, avec leurs propres nuances, tolérances et exigences de résilience. Le fil machine est désormais en grande partie laminé au Cameroun, alors que les profilés sont encore importés, ce qui fait peser la charge de la qualité sur les laminoirs nationaux pour le premier, et sur les contrôles à l'importation et les acheteurs pour les seconds.

9.1 La gamme de produits passe des importations à la production nationale

Les données douanières montrent à quelle vitesse l'approvisionnement en produits longs a changé. Les importations enregistrées de fil machine (SH 7213) ont culminé à 74,0 millions de dollars US en 2021 et sont tombées à 8,1 millions de dollars US en 2023, passant d'environ 58 kt à moins de 8 kt, à mesure que le laminage national les remplaçait [S52]. Les importations de barres, y compris les ronds à béton (SH 7214), étaient déjà marginales du fait de l'interdiction de 2016. Les importations de profilés (SH 7216) se sont en revanche maintenues à environ 26 millions de dollars US par an entre 2020 et 2023, et celles de constructions métalliques (SH 7308) ont atteint 58,0 millions de dollars US en 2023 [S52]. L'industrie nationale déclare une capacité d'environ 72 kt/an pour le fil machine et les pointes, pour une demande d'environ 36 kt [S53].

Le fil machine est désormais produit sur place ; les profilés restent importés



SOURCÉ Figure 9.1. Le fil machine est désormais produit sur place ; les profilés sont encore importés. Les importations de fil machine ont chuté d'environ neuf dixièmes entre 2021 et 2023, tandis que celles de profilés se sont maintenues à environ 26 millions de dollars US par an.

Source : API publique UN Comtrade, données déclarées par le Cameroun, SH 7213, 7214, 7216 et 7217, de 2019 à 2023 [S52]. Valeurs en dollars US courants ; années ultérieures non encore déclarées.

Pour la qualité, cette évolution a une signification simple. Pour le fil machine et les produits qui en sont issus, les contrôles qui comptent sont ceux des laminoirs nationaux, la certification de l'ANOR et la surveillance du marché, exactement comme pour les ronds à béton. Pour les profilés et la charpente métallique, les contrôles qui comptent sont l'évaluation de la conformité des importations dans le cadre du Programme d'évaluation de la conformité avant embarquement (PECAE) [S15], les certificats de réception qui accompagnent l'acier importé et les vérifications effectuées par les charpentiers métalliques et les ingénieurs de chantier.

9.2 Fil machine : la qualité de tout produit tréfilé commence dans le fil machine

Le fil machine est laminé à chaud en couronnes, généralement d'un diamètre de 5,5 à 12 mm, et constitue la matière première du tréfilage. Sa qualité se définit moins par sa propre résistance que par son **aptitude au tréfilage** : la capacité à être étiré à travers des filières successives jusqu'à un fil fin sans rompre. L'aptitude au tréfilage dépend de la composition chimique (faibles teneurs en éléments résiduels et en azote, qui sinon provoquent un vieillissement après écrouissage et des ruptures), de l'état de surface (les replis, les pailles et les piqûres de calamine deviennent des ruptures dans le fil tréfilé), de la précision dimensionnelle et de l'ovalisation, ainsi que de la microstructure, fixée par le refroidissement contrôlé de la couronne après la dernière cage. La référence européenne et internationale pour le fil machine en acier non allié destiné au tréfilage est la série EN ISO 16120 [S62].

Trois produits tréfilés issus du fil machine comptent pour la sécurité des bâtiments :

- **Le fil à ligaturer (fil de ligature)**, un fil doux recuit utilisé pour ligaturer les cages. Il ne reprend aucune charge structurelle, mais un fil de ligature fragile ou sous-dimensionné laisse les cages se déformer pendant le bétonnage, ce qui déplace les barres et réduit l'enrobage.
- **Le fil tréfilé ou nervuré à froid** destiné au treillis soudé et aux armatures de petit diamètre. L'écrouissage à froid augmente la résistance mais réduit la ductilité ; ce fil relève généralement de la classe de ductilité A [S33].
- **Les pointes et les fixations** pour coffrages, dont la qualité conditionne la stabilité des coffrages et donc la géométrie du béton fini.

Un laminoir qui produit du fil machine le contrôle avec les mêmes outils que les ronds à béton : composition chimique de chaque coulée, inspection de surface, contrôles dimensionnels, essais de traction et, pour les nuances destinées au tréfilage, essais représentatifs de l'aptitude au tréfilage. Un revendeur ou un utilisateur peut vérifier le diamètre au pied à coulisse, et la masse de la couronne par rapport à l'étiquette.

9.3 Treillis soudé : une ductilité déclarée et des soudures résistantes

Le treillis soudé (ou panneau de treillis soudé) est une grille de fils ou de barres longitudinaux et transversaux soudés à chaque intersection. Il est largement utilisé dans les dalles, les dallages sur terre-plein, les voiles et les éléments préfabriqués, car il se met en place rapidement et maintient avec précision l'espacement des barres. Deux propriétés le distinguent des barres libres.

Classe de ductilité. Le treillis est souvent fabriqué à partir de fil écroui à froid, généralement de classe A. L'Eurocode 2 définit pour les treillis les mêmes trois classes de ductilité que pour les barres, avec les mêmes limites sur le rapport de résistances et la déformation sous force maximale, et une étendue de contrainte en fatigue plus faible pour les treillis (100 MPa contre 150 MPa pour les barres) [S30]. Au Royaume-Uni, les treillis conformes à la BS 4483 sont fabriqués à partir d'acier conforme à la BS 4449, à l'exception de deux treillis légers d'habillage [S33][S63], et en dessous de 8 mm de diamètre, l'acier BS 4449 ne satisfait pas aux exigences de ductilité de l'Eurocode 2 [S33]. La conséquence pratique est qu'une dalle calculée avec une redistribution des moments qui suppose un comportement de classe B ne devrait pas être réalisée avec un treillis de classe A sans vérification du concepteur.

Résistance des soudures. Les soudures doivent être assez résistantes pour ancrer les fils transversaux, car dans de nombreux usages ce sont les fils transversaux qui assurent l'ancrage des fils principaux. Les méthodes d'essai des treillis soudés, y compris l'essai de cisaillement des assemblages soudés, sont données par l'EN ISO 15630-2 [S84]. Un treillis dont les soudures cèdent à la manutention du panneau, ou dont les fils sont brûlés au droit des soudures, présente une faiblesse cachée à chaque intersection.

Sur chantier, le treillis peut être contrôlé en mesurant le diamètre et l'espacement des fils, en pesant un panneau et en comparant sa masse à la masse nominale, en inspectant les soudures pour déceler les fils brûlés et les nœuds rompus, et en lisant l'étiquette indiquant le producteur, la norme, la nuance du fil et la classe de ductilité.

Tableau 9.1 Exigences de qualité et contrôles pour les produits longs autres que les ronds à béton (synthèse)

Produit	Exemples de normes applicables	Principaux paramètres de qualité	Défauts types	Contrôles pratiques
Fil machine pour tréfilage	Série EN ISO 16120	Composition chimique (éléments résiduels, N), état de surface, diamètre et ovalisation, microstructure	Replis et pailles, teneurs élevées en éléments résiduels, mauvais refroidissement des couronnes	Diamètre, masse de la couronne, certificat d'usine
Fil à ligaturer	Spécification du producteur	Souplesse (recuit), diamètre	Fil fragile ou sous-dimensionné	Torsion et pliage à la main, diamètre
Fils et barres écrouis à froid	BS 4449 (B500A), famille ISO 6935	Résistance, Agt (classe A), géométrie des nervures	Agt faible, fissuration aux pliures	Essai de pliage, certificat indiquant l'Agt
Treillis soudé	BS 4483 ; EN 1992 annexe C (classes des treillis) ; EN ISO 15630-2 (essais)	Nuance et classe du fil, géométrie du treillis, résistance au cisaillement des soudures	Treillis de classe A là où la classe B est supposée ; soudures faibles ou brûlées	Espacement, diamètre, masse du panneau, inspection des soudures, étiquette
Profilés légers et moyens (cornières, U, plats)	EN 10025-2 nuances S235, S275, S355 ; ASTM A36	Limite d'élasticité, résistance à la traction, allongement, sous-nuance de résilience, tolérance d'épaisseur	Épaisseur insuffisante, mauvaise nuance, dédoubleure	Épaisseur au pied à coulisse, masse linéique, certificat de réception
Profilés lourds (poutrelles I et H)	EN 10025-2 ; ASTM A992	Comme ci-dessus, plus planéité et rectitude	Mauvaise nuance, résilience insuffisante pour les assemblages soudés	Certificat de réception 3.1, certificat PECAE, dimensions
Constructions métalliques	Normes d'exécution des structures en acier	Mode opératoire de soudage et qualification des soudeurs, revêtement	Soudures défectueuses, protection anticorrosion déficiente	Dossiers de fabrication, inspection des soudures

Source : [S30][S33][S61][S62][S63][S84] ; synthèse fournie à titre indicatif uniquement.

9.4 Les profilés de construction relèvent d'une autre famille de normes

Les cornières, les U, les profilés en I et en H et les plats utilisés dans les ossatures, les toitures, les mezzanines et la construction mixte ne relèvent pas des normes relatives aux ronds à béton, mais des normes relatives aux aciers de construction. Dans la famille européenne, l'EN 10025-2 définit les aciers de construction non alliés par leur limite d'élasticité minimale (S235, S275, S355) et par leur sous-nuance de résilience (JR, J0 et J2, essayées respectivement à plus 20 °C, 0 °C et moins 20 °C), avec des limites de composition chimique et de carbone équivalent qui garantissent la soudabilité [S61]. La pratique américaine utilise l'ASTM A36 pour les profilés courants et l'ASTM A992 pour les poutrelles à larges ailes. Les fournisseurs chinois utilisent leurs propres nuances nationales, telles que Q235 et Q355.

Pour les profilés, trois problèmes de qualité reviennent sur les marchés d'importation :

- **Épaisseur et masse.** Un profilé laminé plus mince que ses dimensions nominales reprend moins de charge et flambe plus tôt. La masse linéique est, là encore, le contrôle le plus simple : un U ou une cornière pesé et comparé au tableau du producteur révèle un laminage sous-dimensionné.
- **Nuance.** Les nuances S235 et S355 se ressemblent en tout point. Seul le certificat de réception, rapproché des marquages du produit, permet de les distinguer, et l'écart de limite d'élasticité est de 50 %.
- **Résilience des structures soudées et exposées.** Les assemblages soudés de profilés épais, et les structures exposées aux chocs ou à la fatigue, exigent une sous-nuance de résilience adaptée à leur usage ; une nuance JR là où J0 ou J2 est prescrite constitue un défaut caché.

Les profilés étant importés, le premier niveau de contrôle est le PECAE, dans le cadre duquel les envois sont vérifiés avant embarquement au regard des normes camerounaises ou des normes internationales équivalentes, avec inspection physique et essais en laboratoire selon la voie de vérification [S15]. Le second niveau est l'acheteur : un certificat de réception de type 3.1 par coulée, rapproché des marquages, et une vérification des dimensions et de la masse à la livraison. Les charpentiers métalliques qui découpent et soudent les profilés devraient également conserver la traçabilité des coulées tout au long de la fabrication, afin que chaque élément de la structure achevée puisse être rattaché à son certificat.

9.5 Les profils creux et la charpente métallique méritent le même examen

Les tubes et les profils creux servent aux poteaux, aux fermes, aux auvents, aux garde-corps et aux échafaudages. En 2023, le Cameroun a importé pour 26,0 millions de dollars US de tubes soudés et de profils creux (SH 7306, environ 9,5 kt), alors que la capacité nationale de production de tubes était estimée à 34 kt pour une demande de 14 kt [S52][S53]. Pour les profils creux de construction, les références européennes sont l'EN 10219 pour les profils formés à froid et l'EN 10210 pour les profils finis à chaud [S86]. Les défauts courants sont une paroi plus épaisse sur le plan que dans le tube, un cordon de soudure incomplet ou fragile et une nuance inférieure à celle prescrite. L'épaisseur de paroi se mesure au pied à coulisse aux extrémités du tube ; la masse linéique, là encore, la confirme.

Les constructions métalliques, que le Cameroun a importées pour 58,0 millions de dollars US en 2023 (SH 7308) [S52], ajoutent la qualité de la fabrication à celle de l'acier : modes opératoires de soudage, qualification des soudeurs, classes des boulons et protection contre la corrosion. Un acheteur devrait demander les certificats de réception de l'acier utilisé, les enregistrements des modes opératoires de soudage et, pour les ouvrages importants, une inspection indépendante des soudures. La traçabilité des coulées des éléments, du certificat d'usine au plan de fabrication, est pour les profilés l'équivalent de l'étiquette de botte pour les ronds à béton.

À la livraison, les contrôles sont aussi simples que pour les barres. Pour le **treillis**, compter et mesurer l'espacement des fils, mesurer leur diamètre, peser un panneau et comparer sa masse à la masse nominale, et inspecter les soudures pour déceler les fils brûlés et les nœuds rompus. Pour les **profilés et les tubes**, mesurer l'épaisseur des ailes, de l'âme et des parois en plusieurs points, peser une longueur et la comparer au tableau du producteur, lire les marquages et les rapprocher du certificat.

EXEMPLE TIRÉ DES INFORMATIONS PUBLIQUES

La première phase du projet de Cameroon Steel, telle qu'elle ressort des informations publiques, est une aciérie à four à arc électrique dont les billettes sont laminées en ronds à béton et en fil machine ou vendues aux relamineurs existants [S01][S02]. Son plan de développement indicatif ajoute les profilés légers et moyens dans une deuxième phase et les profilés lourds dans une troisième (prévus, sous réserve d'études et d'autorisations). La même architecture qualité que le présent livre blanc propose pour les ronds à béton, avec traçabilité des coulées, essais en laboratoire et certification par tierce partie, s'appliquerait à chaque produit au fur et à mesure de son introduction. Il s'agit d'objectifs, et non de la description d'une production existante.

9.6 Les produits longs importés exigent des contrôles proportionnés à leur risque

Les profilés, les tubes et une grande partie du treillis utilisés au Cameroun étant importés, la question décisive pour les acheteurs est de savoir dans quelle mesure se fier aux documents qui les accompagnent. Le PECAE propose trois voies de vérification, allant de l'inspection et des essais en laboratoire de chaque envoi aux contrôles documentaires pour les produits enregistrés d'exportateurs réguliers [S15]. Un acheteur d'acier de construction devrait savoir quelle voie a suivie un envoi, conserver son certificat de conformité avec les certificats de réception de l'usine, et rapprocher les deux des marquages de l'acier. Lorsque l'acier doit supporter des charges importantes, comme dans les ossatures d'entrepôts, d'écoles et de marchés, un contrôle indépendant de l'épaisseur, de la masse et, en cas de doute, des caractéristiques de traction sur quelques échantillons constitue une assurance peu coûteuse.

9.7 La production nationale de profilés nécessitera sa propre certification

Plusieurs producteurs de la région, dont Cameroon Steel dans ses phases ultérieures indicatives, prévoient de laminier des cornières, des U et, à terme, des profilés plus lourds. Lorsque les profilés seront fabriqués au Cameroun plutôt qu'importés, la charge de la qualité passera des contrôles à l'importation à la certification nationale, exactement comme pour les ronds à béton après 2016. Il est utile de préparer cette évolution dès maintenant, pour trois raisons.

Premièrement, **les profilés de construction sont certifiés au regard d'autres propriétés**. Outre la limite d'élasticité, la résistance à la traction et l'allongement, les aciers de construction sont classés selon leur résilience, mesurée au mouton-pendule Charpy sur des éprouvettes entaillées à une température spécifiée, et leur composition chimique est limitée pour garantir la soudabilité [S61]. Un laminoir de profilés a besoin d'une machine d'essai de flexion par choc, d'un équipement d'usinage des entailles et de moyens de refroidir les éprouvettes à la température d'essai, dont un laboratoire de ronds à béton n'a aucun besoin.

Deuxièmement, **les tolérances dimensionnelles sont plus complexes**. Les profilés sont contrôlés pour l'épaisseur des ailes et de l'âme, la hauteur, la largeur, le défaut d'équerrage, la rectitude et la masse linéique, et chacun de ces paramètres influe sur le flambement et le calcul des assemblages. Laminier des profilés dans les tolérances exige une conception des cylindres, une discipline de changement des cylindres et des routines de mesure qui vont au-delà de celles d'un laminoir à barres.

Troisièmement, **il n'existe encore, dans les informations publiques, aucune norme camerounaise relative aux profilés de construction comparable à la NC 236 pour les ronds à béton**, et le présent livre blanc n'en a trouvé aucune. Si la production nationale se développe, l'ANOR et la profession devront décider s'il convient d'adopter une référence internationale, telle que la famille EN 10025, comme norme nationale, s'il faut la rendre obligatoire et comment certifier les producteurs au regard de celle-ci. Le faire avant que les premiers profilés nationaux n'arrivent sur le marché éviterait de répéter l'expérience des ronds à béton, pour lesquels une norme obligatoire n'est arrivée qu'en 2022, des années après que l'interdiction d'importation eut rendu le marché presque entièrement national.

Dans l'intervalle, la règle pour les acheteurs est celle qui s'applique dans tout le présent livre blanc : indiquer la nuance et la sous-nuance de résilience, demander le certificat de réception rattaché à la coulée, et vérifier l'épaisseur et la masse à la livraison.

UNE NORME RELATIVE AUX PROFILÉS ADOPTÉE AVANT L'ARRIVÉE DES PREMIERS PROFILÉS NATIONAUX SUR LE MARCHÉ ÉVITERAIT DE RÉPÉTER L'EXPÉRIENCE DES RONDS À BÉTON.

Se préparer aux profilés nationaux

9.8 Un seul système qualité peut servir tous les produits longs

Les disciplines qui font un bon rond à béton sont les mêmes pour tous les produits longs, ce qui explique que les laminoirs et les autorités de régulation puissent les étendre à peu de frais :

1. **Traçabilité des coulées**, du four à la botte, à la couronne ou au profilé.
2. **Analyse chimique de chaque coulée**, avec indication du carbone équivalent.
3. **Essais mécaniques et dimensionnels** selon des méthodes normalisées, dans un laboratoire dont la compétence est démontrée.
4. **Certificats de réception** de type 3.1 rattachés aux numéros de coulée.
5. **Certification par tierce partie**, par l'ANOR et, lorsqu'il en existe, par un organisme indépendant de certification de produits.
6. **Contrôles simples par l'utilisateur** : dimensions, masse, marquages et certificats.

Pour un pays dont l'industrie nationale couvre désormais les ronds à béton et le fil machine et dont les profilés sont importés, cela signifie concrètement deux choses. La certification et la surveillance du marché exercées par l'ANOR devraient s'étendre des ronds à béton au fil machine et au treillis soudé à mesure que la production nationale de ces produits se développe, et les contrôles à l'importation et les vérifications des acheteurs sur les profilés devraient être appliqués avec la même rigueur que pour les barres nationales. Une norme sur les ronds à béton appliquée isolément laisse le reste de la structure sans protection.

CHAPITRE 10

DIX MESURES RELÈVERAIENT EN CINQ ANS LE NIVEAU PLANCHER DE LA QUALITÉ DES RONDS À BÉTON

Le Cameroun n'a pas besoin d'un nouveau cadre juridique pour la qualité des ronds à béton ; il a besoin que le cadre existant atteigne la cour du revendeur et le chantier. Dix mesures, pour la plupart administratives et peu coûteuses, y parviendraient : rendre publiques la norme et la liste des producteurs certifiés, renforcer la certification par la surveillance et la statistique, prélever chez les revendeurs et publier les résultats, fixer les prix à la tonne, exiger un acier certifié dans les marchés publics et les bâtiments soumis à permis, constituer une capacité d'essai accréditée, former les personnes qui manipulent l'acier, fixer des règles de durabilité pour la côte et rendre compte chaque année. Trois d'entre elles, la transparence de la certification, une certification renforcée et une clause dans les marchés publics, apportent l'essentiel du bénéfice et peuvent démarrer en 2027.

10.1 La stratégie consiste à rendre les bonnes barres faciles à reconnaître et les mauvaises risquées à vendre

Les chapitres précédents conduisent à un diagnostic simple. La norme obligatoire est la bonne, et elle a été défendue. Les points faibles sont l'information et les incitations en aval de l'usine : les acheteurs distinguent difficilement une barre certifiée d'une barre non certifiée, les revendeurs sont payés à la barre plutôt qu'au kilogramme, peu de chantiers contrôlent les livraisons, et la non-conformité est rarement rendue publique. Une barre non conforme concurrence donc une bonne barre par le prix, et l'emporte souvent.

Les dix mesures ci-dessous modifient cet équilibre de trois façons :

- **Transparence** : les acheteurs peuvent voir quels producteurs sont certifiés, à quoi ressemblent leurs marquages et quels résultats leurs produits ont obtenus lors de la surveillance.
- **Incitations** : le prix et le paiement sont liés à la masse et à la certification de l'acier, et non au nombre de barres.
- **Contrôles à chaque niveau** : les usines s'autocontrôlent et sont auditées, les revendeurs font l'objet de prélèvements, les chantiers réceptionnent les livraisons selon une routine, et les marchés publics ne paient que l'acier réceptionné.

Aucune de ces mesures n'assouplit la norme, ne fait appel à un nouveau régulateur ni n'exige de dépenses publiques importantes. La plupart peuvent être mises en œuvre par les institutions existantes, avec des budgets modestes pour les prélèvements, les essais et la formation.

Tableau 10.1 Dix recommandations pour relever le niveau plancher de la qualité des ronds à béton au Cameroun

N°	Mesure	Pilote	Instrument	Démarrage ou période	Indicateur de réussite
R1	Publier l'essentiel des exigences de la NC 236 et un registre public des producteurs certifiés, avec leurs marquages de laminage et la validité de leurs certificats	ANOR	Registre sur le site internet ; résumé gratuit de la norme	2027	Registre en ligne et mis à jour chaque mois
R2	Renforcer la certification : audits de surveillance, prélèvements indépendants, évaluation statistique des valeurs caractéristiques, déclaration obligatoire de l'Agt, du rapport Rm/Re et du Ceq	ANOR, producteurs	Règles de certification ; référentiel de certification	2027	Tous les producteurs certifiés audités et soumis à prélèvement au moins deux fois par an
R3	Surveiller le marché chez les revendeurs : prélever des ronds à béton dans les principales villes et publier les résultats par marque et par diamètre	ANOR, MINCOMMERCE	Programme de surveillance du marché	2027	Part des échantillons conformes en hausse d'une année sur l'autre
R4	Homologuer les prix à la tonne, et non à la barre, et imposer l'affichage de la masse nominale de chaque barre ; autoriser la vente au poids	MINCOMMERCE	Décision d'homologation	2027	Barèmes en FCFA par tonne ; masse affichée chez les revendeurs
R5	Exiger, dans tous les marchés de travaux publics, des ronds à béton certifiés NC 236 de ductilité de classe B, des certificats de type 3.1 et une réception sur chantier ; ne payer que l'acier réceptionné	Ministère des Marchés publics, autorités contractantes	Dossiers d'appel d'offres types ; termes de référence du contrôle des travaux	2027	Clause présente dans tous les nouveaux marchés de travaux publics
R6	Lier les permis de bâtir des immeubles à étages et des bâtiments publics à l'emploi d'acier certifié, aux procès-verbaux de réception et à l'inspection avant bétonnage	MINHDU, communes	Conditions du permis ; listes de contrôle d'inspection	2027 à 2029	Part des chantiers autorisés disposant de procès-verbaux de réception
R7	Constituer dans chaque grande ville une capacité d'essais accréditée pour les ronds à béton, y compris des essais mobiles pour les chantiers	ANOR, laboratoires publics et privés, universités	Accréditation ISO/IEC 17025 ; plateforme de qualification de l'ANOR	2027 à 2029	Nombre de laboratoires qualifiés pour les essais sur ronds à béton, par ville
R8	Former les maçons, les chefs de chantier et les ingénieurs à la réception, au façonnage, à l'enrobage et au stockage de l'acier	Producteurs, organisations professionnelles, établissements d'enseignement professionnel et écoles d'ingénieurs	Module de chantier d'une journée ; mise à jour des programmes	À partir de 2027	Personnes formées par an ; modules intégrés aux programmes
R9	Fixer des règles de durabilité pour la construction sur la côte : enrobage, cales d'enrobage, formulations de béton et cure selon la classe d'exposition	MINHDU, ANOR	Guide technique ; valeurs de l'annexe nationale	2027 à 2028	Guide publié ; enrobage vérifié lors des inspections

N°	Mesure	Pilote	Instrument	Démarrage ou période	Indicateur de réussite
R10	Publier un rapport public annuel sur la conformité des ronds à béton, les résultats de la surveillance et les mesures d'application	ANOR	Rapport annuel	À partir de 2028	Rapport publié chaque année

Source : propositions de Cameroon Steel fondées sur l'analyse du présent document. Les pilotes sont indicatifs ; les institutions arrêtent leurs propres programmes.

10.2 La transparence vient en premier, car elle coûte le moins et profite à tous

R1. Publier l'essentiel et le registre. Le texte intégral de la NC 236 est un document payant, ce qui est normal pour une norme. Mais un acheteur n'a pas besoin du texte intégral pour se protéger ; il doit savoir quelles nuances sont légales, quelles propriétés elles garantissent, comment les barres doivent être marquées et quels producteurs détiennent un certificat valide. L'ANOR publie déjà des communiqués et dispose d'un service de dénonciation en ligne [S74] ; un registre public des producteurs de ronds à béton certifiés, avec une photographie du marquage de l'amiage de chaque producteur, les nuances et diamètres couverts et les dates de validité, permettrait à tout revendeur, ingénieur ou maçon de vérifier une botte en quelques minutes. Des organismes de certification étrangers publient déjà leurs certificats pour cette raison [S31].

R10. Rendre compte chaque année. Un rapport annuel sur la conformité des ronds à béton, indiquant le nombre d'échantillons essayés, la part des échantillons conformes par ville et par marque, et les mesures d'application prises, transforme la surveillance en dissuasion. Les résultats publiés récompensent sur le marché les producteurs qui respectent la norme, ce qui constitue l'incitation la plus durable qui soit.

10.3 La certification doit garantir la population, et non l'échantillon

R2. Renforcer la certification. Un certificat de conformité vaut dans la mesure où la production qu'il couvre est auditée et fait l'objet de prélèvements après sa délivrance. L'épisode Fe450 a montré à la fois la valeur et les limites de la certification : un certificat couvrant une nuance absente de la norme a été délivré, puis retiré neuf mois plus tard [S04][S05]. Un référentiel de certification des ronds à béton devrait comprendre au minimum :

- une évaluation initiale du contrôle de la production en usine, de la compétence du laboratoire et de la traçabilité ;
- des audits de surveillance périodiques, inopinés lorsque c'est possible ;
- des prélèvements indépendants à l'usine et sur le marché, avec essais dans un laboratoire qualifié ;
- une évaluation statistique des résultats du producteur au regard des valeurs caractéristiques de la norme (voir le chapitre consacré aux essais) ;
- la déclaration obligatoire de la ductilité (Agt et Rm/Re) et du carbone équivalent, afin que les acheteurs puissent connaître les propriétés sur lesquelles repose un calcul fondé sur l'Eurocode ;
- des règles claires de suspension et de retrait, et la publication des suspensions comme des retraits.

La pratique internationale offre des modèles éprouvés, tels que les référentiels AFCAB et CARES [S31][S33], et les producteurs camerounais qui détiennent déjà des certificats de système de management selon l'ISO 9001 [S10][S78] disposent d'une partie de la documentation nécessaire.

UN CERTIFICAT NE VAUT QUE PAR LA SURVEILLANCE QUI LE SUIT.

La certification après le certificat

10.4 La surveillance et la tarification atteignent le point de vente

R3. Prélever chez les revendeurs et publier. La surveillance du marché referme la boucle entre l'usine et l'acheteur. Un programme qui achète anonymement des barres dans les quincailleries de Douala, de Yaoundé et des chefs-lieux de région, les pèse et les fait essayer, puis publie les résultats par marque et par diamètre, mettrait rapidement au jour les produits trop légers et mal étiquetés. La seule pesée, qui ne coûte presque rien, détecterait le défaut le plus courant. Le programme peut être partagé entre l'ANOR, qui certifie les produits et en assure la surveillance [S16], et le ministère du Commerce, qui contrôle déjà les prix au détail [S11].

R4. Fixer les prix à la tonne. Homologuer les prix à la tonne, le prix à la barre étant déduit de la masse nominale, supprime l'incitation à laminier des barres trop légères sans modifier le niveau des prix (voir le chapitre consacré à l'infrastructure qualité). Imposer aux revendeurs l'affichage de la masse nominale de chaque barre et autoriser la vente au poids donnent aux acheteurs les informations nécessaires pour se protéger. Le système fiscal utilise déjà une assiette au tonnage pour l'acier, avec la taxe environnementale instituée en 2026 [S66].

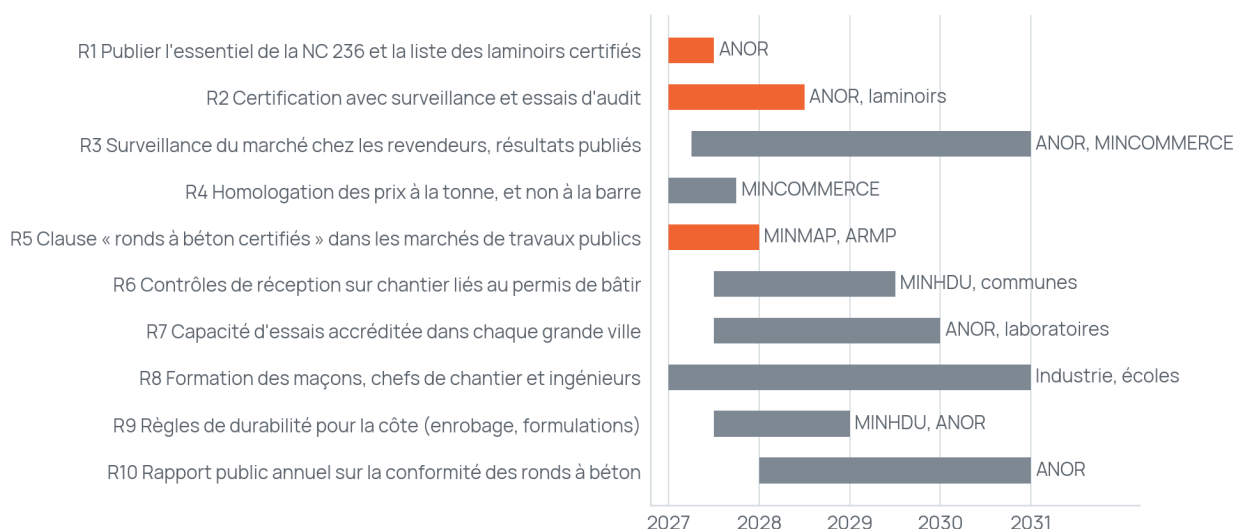
10.5 La commande publique et les permis de bâtir créent la demande d'acier certifié

R5. Faire de l'acier certifié une condition de paiement dans les travaux publics. Avec un budget d'investissement public de 2 026,3 milliards de FCFA en 2026 [S80], l'État est l'acheteur déterminant. Une clause type dans le cahier des clauses techniques particulières des marchés de travaux publics, fondée sur les clauses types du présent document, associée à des termes de référence du contrôle des travaux incluant la réception des ronds à béton et à des modalités de paiement exigeant les procès-verbaux de réception, créerait une demande importante et prévisible de barres certifiées. Le cadre de la commande publique fixé par le décret n° 2018/366 [S54] et les dossiers d'appel d'offres types (DAO-types) du ministère des Marchés publics [S81] en sont les vecteurs naturels.

R6. Lier les permis aux matériaux. Pour les immeubles à étages et les bâtiments publics, le permis de bâtir pourrait être assorti de conditions exigeant un acier certifié, un procès-verbal de réception sur chantier pour chaque livraison et une inspection du ferrailage avant chaque bétonnage. Les communes mettent déjà sous scellés des bâtiments à risque, comme à Douala en 2026 [S22] ; ajouter une condition relative aux matériaux au stade du permis déplace le contrôle de la fin de la vie d'un bâtiment à son commencement.

Trois mesures précoces apportent l'essentiel du bénéfice ; les dix tiennent en cinq ans

Calendrier indicatif de mise en œuvre des recommandations (orange : priorités de la première année)



ILLUSTRATIF Figure 10.1. Trois mesures précoces apportent l'essentiel du bénéfice ; les dix tiennent en cinq ans. La transparence (R1), une certification renforcée (R2) et la clause des marchés publics (R5) peuvent démarrer en 2027 avec les institutions existantes.

Source : calendrier indicatif de Cameroon Steel. Le calendrier dépend des décisions des institutions concernées.

10.6 La capacité d'essai et les compétences rendent les mesures opérantes

R7. Constituer une capacité d'essai accréditée. La certification, la surveillance et la réception sur chantier exigent toutes des laboratoires capables d'essayer les ronds à béton de façon fiable : une machine d'essai universelle étalonnée munie d'un extensomètre, un équipement de pliage, une balance et un personnel formé travaillant selon l'EN ISO 15630-1 et l'ISO 6892-1 [S44][S45], avec une compétence démontrée selon la norme ISO/IEC 17025 [S55]. Le programme de visites de qualification de laboratoires mené par l'ANOR dans cinq villes [S18] constitue le bon point de départ. L'objectif devrait être au moins un laboratoire qualifié pour les ronds à béton dans chaque grande ville, avec une capacité mobile pour les chantiers éloignés, et des tarifs assez bas pour qu'une entreprise y ait recours.

R8. Former les personnes qui manipulent l'acier. La personne qui décide de l'emploi d'une botte est souvent un chef de chantier ou un maçon. Un module pratique d'une journée, consacré au marquage, à la pesée, au pliage, au stockage, à l'enrobage et aux cales d'enrobage, peut être dispensé sur chantier par les producteurs, les organisations professionnelles et les établissements d'enseignement professionnel. Les programmes des écoles d'ingénieurs devraient donner aux futurs ingénieurs des bases solides sur les propriétés de l'acier, les normes et les certificats ; les départements de l'ENSPY (École nationale supérieure polytechnique de Yaoundé) comprennent le génie civil, le génie mécanique et le génie industriel, mais aucun département consacré à la métallurgie [S85].

R9. Fixer des règles de durabilité pour la côte. Un guide portant sur l'enrobage, les cales d'enrobage, les formulations de béton et la cure selon la classe d'exposition, cohérent avec les valeurs recommandées de l'Eurocode 2 et de l'EN 206 [S36][S37], ferait de la durabilité sur la côte une affaire de routine plutôt que d'appréciation individuelle. Les valeurs retenues pour une annexe nationale devraient être publiées afin que les concepteurs les appliquent de manière cohérente.

10.7 Les producteurs ont leur propre rôle à jouer

Les mesures ci-dessus s'adressent principalement aux institutions publiques. Les producteurs, y compris les nouveaux entrants, peuvent relever le niveau plancher plus vite que toute réglementation en se faisant concurrence sur une qualité démontrée. Concrètement, il s'agit de laminer chaque barre avec une marque du fabricant lisible, de viser la masse nominale plutôt que la limite de la tolérance, de publier les propriétés que garantissent leurs certificats, de fournir un certificat de type 3.1 avec chaque livraison, d'accepter des prélèvements indépendants et de soutenir la formation des maçons et des chefs de chantier qui utilisent leurs produits.

EXEMPLE TIRÉ DES INFORMATIONS PUBLIQUES

Cameroon Steel, qui développe un complexe sidérurgique à Mboro, dans la Zone industrielo-portuaire de Kribi, avec une première phase organisée autour d'une aciérie à four à arc électrique dont les billettes sont laminées en ronds à béton et en fil machine ou vendues aux relamineurs existants [S01][S02][S03], s'est fixé pour objectif, énoncé dans le présent livre blanc, de ne livrer que des produits certifiés : des barres certifiées par l'ANOR selon la NC 236 et par un organisme indépendant selon une référence internationale reconnue, avec une traçabilité par numéro de coulée, des propriétés garanties publiées et un appui à la réception sur chantier et à la formation. Il s'agit d'un objectif déclaré d'un projet en cours de développement ; sa réalisation dépendra de la construction, de la mise en service et de la certification.

10.8 Les bénéfices sont importants et profitent au public

Le coût de ces mesures est modeste : budgets de prélèvement et d'essais, équipement et accréditation des laboratoires, journées de formation et temps administratif. Leurs bénéfices reviennent aux personnes qui vivent et travaillent dans les bâtiments camerounais, dont la plupart ne voient jamais l'acier contenu dans leurs murs. Un niveau plancher plus élevé de la qualité des ronds à béton les protège de trois façons : contre la perte de résistance qu'impose silencieusement une barre trop légère ou mal étiquetée, contre la disparition des signes avant-coureurs qu'entraîne une barre fragile et, sur la côte, contre la corrosion précoce que favorisent un enrobage trop mince et un béton médiocre.

Pour la sidérurgie, ces mesures sont aussi une chance. Un marché où la qualité est visible récompense l'investissement dans les aciéries, les laboratoires et la certification, et soutient les exportations vers les pays voisins, qui absorbent déjà environ 31 000 t de barres camerounaises par an [S52][S76] et où les acheteurs exigent de plus en plus de preuves. La politique déjà retenue par le Gouvernement, maintenir la norme plutôt que l'assouplir [S06][S07], va dans le même sens. Il s'agit désormais de rendre cette norme visible dans chaque botte vendue et dans chaque poteau coulé.

10.9 Les progrès doivent être mesurés et publiés

Les mesures ne pourront être jugées efficaces que si leurs résultats sont mesurés. Cinq indicateurs, publiés chaque année dans le rapport sur la conformité proposé au titre de R10, indiqueraient au public, à la profession et au Gouvernement si le niveau plancher s'élève :

1. **Conformité du marché** : la part des barres prélevées chez les revendeurs qui respectent la tolérance sur la masse, portent une marque du fabricant lisible et satisfont aux essais de traction et de pliage, par ville et par producteur.
2. **Production certifiée** : le nombre de producteurs détenant un certificat valide et la part de la production nationale de ronds à béton qu'ils représentent.
3. **Couverture de la commande publique** : la part des nouveaux marchés de travaux publics comportant la clause « acier certifié », et la part des décomptes provisoires appuyés par des procès-verbaux de réception.
4. **Capacité d'essai** : le nombre de laboratoires qualifiés pour les essais sur ronds à béton dans chaque grande ville, ainsi que le délai et le coût moyens d'un essai.
5. **Compétences** : le nombre de maçons, de chefs de chantier et d'ingénieurs formés chaque année à la réception et à la pose de l'acier.

Établir une situation de référence pour le premier indicateur exige l'enquête nationale par prélèvement décrite dans le chapitre consacré aux lacunes de connaissance. Une fois cette référence établie, des objectifs pourront être fixés ; le présent document propose, comme objectif à débattre et non comme prévision, qu'en cinq ans au moins 95 % des barres prélevées chez les revendeurs respectent la tolérance sur la masse et portent une marque du fabricant lisible. La publication des indicateurs est en soi une mesure : elle récompense les producteurs et les revendeurs qui respectent les règles, et indique aux acheteurs où acheter.

CHAPITRE 11

LACUNES DE CONNAISSANCE : CE QUE L'ON NE SAIT PAS ENCORE, ET COMMENT LE DÉCOUVRIR

Les conclusions du présent document reposent sur le caractère obligatoire de la NC 236, les mesures d'application rendues publiques, les normes internationales et les rares essais publiés sur des ronds à béton prélevés sur le marché et sur chantier. Plusieurs faits qui affineraient l'analyse ne figurent pas dans les informations publiques : les exigences techniques complètes de l'édition en vigueur de la NC 236, une image nationale représentative de la conformité des ronds à béton, les conclusions officielles sur les effondrements récents, la capacité d'essai des laboratoires camerounais et la corrosivité mesurée sur la côte. Aucun ne modifie l'orientation des recommandations ; chacun en améliorerait le ciblage. La plupart de ces lacunes peuvent être comblées en un an pour un coût modeste.

11.1 Dix lacunes comptent pour l'action publique et pour la pratique

Le tableau recense les lacunes, l'importance de chacune, la manière de la combler et l'acteur concerné. Les fourchettes de coût sont des estimations de Cameroon Steel, données uniquement pour orienter la budgétisation, et non des devis.

Tableau 11.1 Lacunes de connaissance, moyens de les combler et coûts indicatifs

N°	Lacune	Enjeu	Moyen de la combler	Acteur	Durée indicative	Coût indicatif (estimation)
G1	Exigences techniques complètes de l'édition en vigueur de la NC 236 (NC 236/2024/06) : ductilité, limite d'élasticité maximale, tolérances sur la masse, composition chimique, marquage, évaluation de la conformité	Détermine si la nuance nationale garantit les propriétés supposées par les calculs fondés sur l'Eurocode	Obtenir la norme auprès de l'ANOR ; publier un résumé gratuit des exigences essentielles	ANOR	1 à 3 mois	Temps de personnel
G2	Registre des producteurs de ronds à béton certifiés par l'ANOR, portée et validité des certificats, et marques des fabricants	Sans ce registre, les acheteurs ne peuvent pas vérifier la certification	Publier et tenir à jour un registre public	ANOR	3 mois	Temps de personnel ; site internet

N°	Lacune	Enjeu	Moyen de la combler	Acteur	Durée indicative	Coût indicatif (estimation)
G3	Données nationales représentatives sur la conformité des ronds à béton chez les revendeurs et sur les chantiers	Une seule étude camerounaise sur chantier évaluée par des pairs est publique [S19] ; aucun résultat de surveillance n'est publié	Échantillonnage stratifié dans six villes : environ 200 échantillons de barres ; essais de traction, de pliage et de masse ; analyse chimique	ANOR avec un laboratoire qualifié ; partenaire universitaire	6 à 9 mois	25 à 60 millions de FCFA
G4	Conclusions techniques officielles sur les effondrements de Douala de juillet 2023 et de juillet 2026	Sans conclusions, le débat sur les causes, y compris l'acier, reste spéculatif	Publier les conclusions des enquêtes ; inclure des essais sur les matériaux dans les enquêtes futures	Ministère de l'Habitat et du Développement urbain ; autorités judiciaires	En cours	Sans objet
G5	Capacité d'essai : nombre, localisation et accréditation des laboratoires capables d'essayer les ronds à béton selon l'EN ISO 15630-1	La certification, la surveillance et la réception sur chantier en dépendent toutes	Recensement des laboratoires publics et privés, à partir des visites de qualification de l'ANOR [S18]	ANOR ; laboratoires	3 à 6 mois	5 à 15 millions de FCFA
G6	Statut d'une annexe nationale camerounaise de l'Eurocode 2 et valeurs retenues pour les armatures et l'enrobage	Les concepteurs ont besoin de valeurs déterminées au niveau national pour la limite d'élasticité, la ductilité et la durabilité	Confirmer le statut ; publier les valeurs ; les aligner sur la NC 236	Ministère de l'Habitat et du Développement urbain ; ANOR ; organisations professionnelles	6 à 18 mois	Temps de personnel et frais de comité
G7	Corrosivité atmosphérique et dépôt de chlorures mesurés sur la côte (Douala, Kribi, Limbe)	Le choix de l'enrobage et de la protection dépend de l'exposition, qui n'est pas mesurée	Exposition pendant un an d'éprouvettes d'acier et de bougies humides pour les chlorures sur 8 à 12 sites, selon les méthodes de l'ISO 9223	Université ou centre de recherche avec l'ANOR	12 à 15 mois	15 à 40 millions de FCFA
G8	Enrobage réel et qualité du béton dans les bâtiments existants, notamment sur la côte	Indique l'ampleur du problème de durabilité et l'utilité d'un guide	Campagne de mesures au pachomètre et de profondeur de carbonatation sur un échantillon de bâtiments	Écoles d'ingénieurs ; communes	6 mois	10 à 25 millions de FCFA
G9	Couverture des produits sidérurgiques par le PECAE (billettes, fil, treillis, profilés) et résultats des contrôles sur l'acier	Les profilés et le fil importés dépendent du PECAE pour le contrôle de leur conformité	Publier les listes de produits et les résultats agrégés pour l'acier	ANOR ; organismes d'inspection	3 mois	Temps de personnel
G10	Prix homologués en vigueur des ronds à béton après octobre 2023, et prix de détail par ville	Nécessaires pour quantifier dans le temps l'effet de la tarification à la barre	Publier les décisions d'homologation en vigueur ; enquête de prix	Ministère du Commerce	1 à 3 mois	Temps de personnel ; 2 à 5 millions de FCFA pour une enquête

Source : analyse de Cameroon Steel. Les coûts sont des estimations données à titre indicatif, en FCFA de 2026, hors taxes.

11.2 Trois lacunes méritent la priorité

Le contenu de la NC 236 (G1). Le présent document ne reproduit délibérément pas les exigences chiffrées de la norme nationale, car son texte intégral n'était pas disponible auprès de sources publiques à la date d'arrêt des informations. Selon que la NC 236 exige ou non un allongement total sous force maximale et un rapport R_m/R_e équivalents à la classe de ductilité B, plafonne la surrésistance, fixe des tolérances sur la masse comparables à celles de la famille européenne et impose une limite de carbone équivalent, un prescripteur camerounais aura plus ou moins à ajouter à « NC 236 Fe500 » dans un marché. Un résumé gratuit des exigences essentielles, comme en publient de nombreux organismes de normalisation, comblerait cette lacune pour un coût quasi nul.

Une situation de référence nationale sur la conformité (G3). La seule étude camerounaise évaluée par des pairs identifiée par cette recherche a porté sur des barres prélevées sur des chantiers dans quatre villes et a établi que 11 des 24 barres (46 % ; l'étude annonce 52 %) avaient une limite d'élasticité inférieure à 400 MPa [S19]. L'échantillon est réduit (barres de 10 à 14 mm), la date des prélèvements n'est pas indiquée et la proportion annoncée par l'article ne correspond pas à ses propres décomptes ; ses résultats peuvent ne pas représenter le marché de 2026, postérieur à la norme obligatoire et à la mesure d'application de 2024. Une enquête correctement stratifiée, répétée chaque année, permettrait à la fois de mesurer les progrès et de constituer l'ossature du rapport annuel sur la conformité recommandé au chapitre 10.

La capacité d'essai (G5). Toute recommandation impliquant des essais, de la certification à la réception sur chantier, suppose qu'une entreprise de Douala, de Yaoundé ou de Garoua puisse faire essayer trois barres de façon fiable en quelques jours et à un prix raisonnable. Les sources publiques ne permettent pas de savoir si c'est le cas aujourd'hui.

LES LACUNES PRIORITAIRES EN BREF

Les trois lacunes prioritaires (G1, G3 et G5) pourraient être comblées en un an environ. Sur la base des fourchettes indicatives du tableau 11.1, leur coût cumulé est estimé entre 30 et 75 millions de FCFA, principalement pour l'enquête nationale par prélèvement, auxquels s'ajoute le temps de personnel de l'ANOR (estimation).

11.3 Ce que les réponses pourraient changer, et ce qu'elles ne changeraient pas

Il est utile d'indiquer à l'avance comment la résolution de chaque lacune prioritaire pourrait modifier les conclusions du présent document, afin que les nouvelles informations puissent être lues à leur aune.

- **Si la NC 236 exige déjà la ductilité de classe B, un plafond de surrésistance, des tolérances sur la masse de la famille européenne et une limite de carbone équivalent (G1)**, les prescripteurs n'auraient que peu à ajouter à « NC 236 Fe500 », et les clauses types du chapitre 7 se réduiraient à une référence à la norme nationale et à la preuve de la conformité. Dans le cas contraire, ces clauses gagnent en importance, et une révision de la norme visant à ajouter ces propriétés, plutôt qu'à ajouter des nuances, mériterait d'être envisagée.
- **Si une enquête nationale constate une conformité élevée parmi les barres marquées et des non-conformités concentrées parmi les barres sans marquage (G3)**, comme le suggère l'étude camerounaise sur chantier [S19], la priorité se déplacerait davantage vers la surveillance du marché, le refus des barres sans marquage et la réception sur chantier (R3, R6, R8). Si elle relève aussi des non-conformités parmi les produits certifiés, c'est la certification elle-même (R2) qu'il faudrait renforcer en premier.
- **Si la capacité d'essai accréditée est déjà suffisante dans les grandes villes (G5)**, R7 devient moins prioritaire. Dans le cas contraire, elle devient un préalable à la surveillance et à la clause des marchés publics, car ni l'une ni l'autre ne peut fonctionner sans laboratoires auxquels les entreprises et les autorités font confiance.
- **Si les enquêtes désignent les armatures comme une cause contributive des effondrements récents (G4)**, l'urgence de chaque recommandation s'accroît. Dans le cas contraire, les mesures se justifient par elles-mêmes : ce sont des moyens peu coûteux de vérifier, avant la construction, un composant dont la défaillance est autrement invisible.

- Si la corrosivité mesurée sur la côte se révèle très élevée (G7), les solutions de protection pour les zones de marnage et d'éclaboussures, telles qu'un béton peu perméable et des barres revêtues ou inoxydables, passeraient du statut de cas particuliers à celui de pratique courante pour les bâtiments en front de mer.

Aucun de ces résultats n'inverserait l'orientation du présent document. Chacun modifierait l'ordre et l'importance relative des mesures ; c'est pourquoi le rapport annuel sur la conformité proposé au chapitre 10 devrait aussi rendre compte des progrès accomplis pour combler ces lacunes.

11.4 Les données des laboratoires et des chantiers peuvent être mises en commun

Une grande partie des informations manquantes existe déjà de manière éparse : dans les rapports d'essai que les laboratoires remettent aux entreprises, dans les procès-verbaux de réception des chantiers bien tenus et dans les dossiers des ingénieurs qui expertisent des bâtiments endommagés. Mis en commun, ces enregistrements donneraient une image du marché bien meilleure que n'importe quelle étude isolée. L'enregistrement minimal utile pour chaque barre essayée est bref : ville et date du prélèvement ; provenance de la barre (revendeur, chantier, usine) ; diamètre et nuance déclarés ; marquage de laminage, le cas échéant ; masse linéique mesurée ; limite d'élasticité, résistance à la traction et Agt ; résultat de l'essai de pliage ; laboratoire et méthode d'essai.

Cameroon Steel invite les laboratoires, les ingénieurs, les entreprises et les organismes publics à partager de tels enregistrements, expurgés des noms des clients et des projets, afin que des résultats agrégés et anonymisés puissent être publiés dans les éditions ultérieures du présent document. Le format est délibérément identique à celui proposé pour le rapport annuel de l'ANOR sur la conformité, afin que les deux puissent à terme être fusionnés en un jeu de données public unique.

11.5 Comment le présent document sera mis à jour

Cameroon Steel révisera le présent document à mesure que les lacunes seront comblées : lorsque l'ANOR publiera l'essentiel de la NC 236 ou un registre des producteurs certifiés, lorsque des résultats de surveillance ou de nouvelles études paraîtront, et lorsque le statut de l'annexe nationale sera confirmé. Les corrections et les sources complémentaires sont les bienvenues. La date d'édition figurant sur la couverture et dans le tableau de suivi du document identifie chaque version.

ANNEXE A

MÉTHODES, HYPOTHÈSES ET CALCULS DÉRIVÉS

La présente annexe explique comment chaque valeur dérivée du document a été obtenue, énonce les hypothèses qui sous-tendent les modèles illustratifs avec leurs plages plausibles, et consigne les conventions retenues. Les scripts qui génèrent les graphiques, ainsi que les données de chaque graphique sous une forme lisible par machine, sont publiés avec l'édition en ligne.

A.1 Statuts des données et conventions

Chaque figure et chaque tableau porte l'un des quatre statuts suivants. **Sourcé** : la valeur a été relevée dans la source citée (annexe C). **Dérivé** : la valeur résulte d'un calcul de Cameroon Steel sur des données sourcées, selon la méthode indiquée ci-dessous. **Hypothèse** : une hypothèse de modélisation ou de planification explicitement énoncée. **Illustratif** : un exemple schématique ou simulé qui montre un mécanisme, et non des données.

La monnaie est le franc CFA (FCFA, XAF), à parité fixe de 655,957 FCFA pour un euro. Les prix sont cités tels que publiés, sans correction de l'inflation. Les contraintes sont exprimées en mégapascals (MPa = N/mm²), les efforts en kilonewtons (kN), les masses en kilogrammes (kg) ou en tonnes (t). Les tailles de barres sont des diamètres nominaux en millimètres. Les pourcentages de composition sont exprimés en masse. Les normes sont citées par leur référence ; les résumés d'exigences sont donnés à titre indicatif, et seule fait foi l'édition en vigueur de chaque norme.

A.2 Géométrie des barres et masse linéique

La section nominale d'une barre de diamètre nominal d (mm) est $A = \pi d^2 / 4$ (mm²). Sa masse linéique nominale est $A \times 7850 \text{ kg/m}^3 \times 10^{-6} = 0,0061654 \times d^2 \text{ kg/m}$, généralement arrondie à $0,00617 \times d^2$. Cette formule reproduit les masses nominales tabulées dans les normes de produit (par exemple 0,888 kg/m pour 12 mm). La masse d'une barre de 12 m est égale à 12 fois la masse linéique ; la barre la plus légère admise a pour masse la masse nominale multipliée par (1 moins la tolérance), avec des tolérances de 6,0 % pour $d \leq 8 \text{ mm}$ et de 4,5 % pour $d > 8 \text{ mm}$ [S31] [S32]. Le nombre de barres par tonne est égal à 1 000 divisé par la masse d'une barre de 12 m, arrondi à l'entier inférieur.

La masse d'une barre d'un millimètre sous le diamètre nominal est calculée pour le diamètre d moins 1 mm. La perte de section est égale à 1 moins $((d \text{ moins } 1)/d)^2$: 16,0 % pour 12 mm, 19,0 % pour 10 mm, 12,1 % pour 16 mm.

A.3 Effort de plastification, valeur de calcul et rapport de capacité

L'effort de plastification d'une barre est $F = A \times f_y$, A étant la section réelle et f_y la limite d'élasticité réelle. La valeur de calcul retenue par l'ingénieur selon l'EN 1992-1-1 est $F_d = A_{\text{nom}} \times f_{yk} / \gamma_s$, avec $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$ et $\gamma_s = 1,15$ [S36]. Pour une barre de 12 mm : $A_{\text{nom}} = 113,1 \text{ mm}^2$, $F_d = 49,2 \text{ kN}$, effort de plastification caractéristique de 56,5 kN.

Les scénarios de la figure ES.1 retiennent : une production certifiée type, $f_y = 560 \text{ MPa}$ (moyenne d'une population de valeur caractéristique 500 MPa et d'écart-type 30 MPa, selon le modèle du JCSS dans lequel la moyenne est égale à la valeur nominale augmentée de deux écarts-types [S29]) ; une barre de 11 mm ($A = 95,0 \text{ mm}^2$) à 500 MPa ; une barre

de 12 mm à 400 MPa ; et une barre de 11 mm à 400 MPa. Le rapport de capacité de la figure 1.3 est égal à $(1 \text{ moins le déficit de masse}) \times f_y / (500/1,15)$, le déficit de masse étant égal au déficit de section pour une barre de masse volumique constante.

Ces rapports concernent la barre seule. La sécurité d'un élément de structure dépend aussi des coefficients de charge, de la résistance du béton, des dispositions constructives et de la qualité d'exécution ; le calcul n'estime la probabilité de défaillance d'aucune structure.

A.4 Évaluation statistique des valeurs caractéristiques

Une valeur caractéristique est le fractile de 5 % de la population. La conformité est couramment démontrée au moyen d'une limite de tolérance statistique unilatérale : la moyenne de n résultats diminuée de k fois leur écart-type doit être au moins égale à la valeur caractéristique. Le facteur d'acceptation k , pour une proportion de 95 % avec un niveau de confiance de 90 %, a été calculé à partir de la loi de Student non centrale, $k = t'(n \text{ moins } 1, \delta = 1,645 \sqrt{n} ; 0,90) / \sqrt{n}$, selon la méthode de l'ISO 16269-6 [S57]. La moyenne requise dans le tableau suppose un écart-type de 30 MPa [S29].

Tableau A.1 Facteur d'acceptation k (proportion de 95 %, niveau de confiance de 90 %) et limite d'élasticité moyenne requise pour une valeur caractéristique de 500 MPa

Nombre de résultats n	Facteur k	Limite d'élasticité moyenne requise avec $s = 30$ MPa (MPa)
5	3,40	602
10	2,57	577
15	2,33	570
20	2,21	566
30	2,08	562
40	2,01	560
50	1,97	559
100	1,86	556

Source : valeurs dérivées par Cameroon Steel (loi de Student non centrale) ; méthode d'après [S57] ; écart-type d'après [S29]. Les référentiels de certification peuvent retenir d'autres niveaux de confiance et d'autres règles d'échantillonnage.

A.5 Distributions de la limite d'élasticité (figure 5.1)

Les trois distributions suivent une loi normale. Production certifiée : moyenne 560 MPa, écart-type 30 MPa [S29] ; part sous 500 MPa = 2,3 %. Dispersion non maîtrisée : même moyenne, écart-type 80 MPa, soit un coefficient de variation d'environ 14 %, comme rapporté pour des barres du marché éthiopien [S28] ; part sous 500 MPa = 22,7 %, sous 400 MPa = 2,3 %. Profil des chantiers : moyenne 395 MPa, écart-type 75 MPa (hypothèse), choisi pour qu'environ 52 % des barres se situent sous 400 MPa, comme rapporté dans [S19] (les décomptes de l'étude donnent 46 %, soit 11 barres sur 24) ; part sous 500 MPa = 91,9 %. Avec un écart-type supposé de 60 ou de 90 MPa au lieu de 75, la part sous 500 MPa pour le profil des chantiers serait de 95,7 % ou de 87,7 %. Le profil des chantiers est un ajustement illustratif sur une seule statistique rapportée, et non une reconstitution des données de l'étude.

A.6 Prix au kilogramme (tableau 4.2 et figure 7.2)

Prix au kg = prix homologué par barre [S11] divisé par la masse nominale d'une barre de 12 m (la liste n'indique pas la longueur ; 12 m, longueur commerciale courante, est une hypothèse). Le prix effectif d'une barre plus légère que la masse nominale d'une fraction δ est égal au prix à la masse nominale divisé par $(1 \text{ moins } \delta)$. La prime de la nuance Fe500 par kilogramme est de 5,9 % pour 8 mm, de 5,4 % pour 10 mm et de 5,5 % pour 12 mm. Une livraison de 1 000 barres de 12 mm à la masse nominale pèse $1\,000 \times 10,66 \text{ kg} = 10,66 \text{ t}$.

A.7 Carte du carbone équivalent (figure 2.3)

$C_{eq} = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15$ [S31]. Les éléments résiduels ont été fixés à $Cu + Ni = 0,35\%$ et $Cr + Mo + V = 0,15\%$, valeurs plausibles pour un acier élaboré au four à arc électrique à partir de ferraille ; la plage de $0,20\%$ à $0,50\%$ pour $Cu + Ni$ déplace chaque courbe de niveau du C_{eq} d'environ plus ou moins $0,01$. La « fenêtre QST » (C de $0,17\%$ à $0,22\%$, Mn de $0,65\%$ à $1,05\%$) et la « fenêtre à haute teneur en carbone » (C de $0,26\%$ à $0,31\%$, Mn de $1,15\%$ à $1,55\%$) sont des illustrations indicatives, et non des données d'un producteur.

A.8 Modèle d'amorçage par les chlorures (figure 8.3)

Le temps t nécessaire pour que la teneur en chlorures à la profondeur x (l'enrobage) atteigne un seuil C_{crit} , pour une teneur en surface constante C_s et un coefficient de diffusion apparent D , découle de la seconde loi de Fick : $t = x^2 / (4 D z^2)$, où $z = \text{erfinv}(1 \text{ moins } C_{crit}/C_s)$. Le modèle ne tient compte ni de la diminution de D avec l'âge, ni de la fixation des chlorures, ni de la fissuration, ni de la convection par humidification et séchage, ni de la température ; il est donc purement illustratif. Son intérêt réside dans les effets relatifs : t est proportionnel au carré de l'enrobage et inversement proportionnel à D .

Tableau A.2 Hypothèses du modèle illustratif des chlorures, avec plages plausibles et sensibilité

Paramètre	Valeur retenue	Plage plausible	Effet sur le délai d'amorçage pour 40 mm de béton courant (référence : 13,7 ans)
Teneur en chlorures en surface C_s (% de la masse de liant)	1,5	0,75 à 3,0	43,6 ans à 0,75 ; 7,5 ans à 3,0
Seuil C_{crit} (% de la masse de liant)	0,4	0,2 à 0,6	7,5 ans à 0,2 ; 23,9 ans à 0,6
D , béton médiocre gâché sur chantier (m^2/s)	5×10^{-12}	$3 \text{ à } 10 \times 10^{-12}$	Délais inversement proportionnels à D
D , béton de structure courant (m^2/s)	$1,5 \times 10^{-12}$	$1 \text{ à } 3 \times 10^{-12}$	Idem
D , formulation marine durable au laitier ou aux cendres volantes (m^2/s)	$0,5 \times 10^{-12}$	$0,2 \text{ à } 1 \times 10^{-12}$	Idem

Source : hypothèses de Cameroon Steel à titre d'illustration ; sensibilité dérivée avec le même modèle. Il ne s'agit pas d'une méthode de calcul ; la conception pour la durabilité doit suivre l'EN 1992-1-1 et l'EN 206 [S36][S37] ou une méthode performantielle validée.

A.9 Autres données et simulations

Humidité (figure 8.2). Humidité relative mensuelle à 2 m et température issues de l'API de climatologie NASA POWER (1991 à 2020, valeurs modélisées), à Douala ($4,05^\circ N$, $9,70^\circ E$), Kribi ($2,94^\circ N$, $9,91^\circ E$), Yaoundé ($3,87^\circ N$, $11,52^\circ E$) et Garoua ($9,30^\circ N$, $13,40^\circ E$) [S50]. Les valeurs modélisées lissent les extrêmes locaux ; les données de la station de Kribi concordent avec elles [S51].

Carte de contrôle (figure 5.2). Soixante moyennes de coulée tirées de lois normales (moyenne 566 MPa, écart-type 8 MPa pour les coulées 1 à 38 ; moyenne 556 MPa, écart-type 4 MPa ensuite ; graine aléatoire 10). Les limites de contrôle sont égales à la moyenne des 30 premières coulées plus ou moins trois écarts-types. La règle de séquence signale la huitième coulée successive sous la moyenne.

Valeurs des importations (figure 9.1). Données déclarées par le Cameroun dans UN Comtrade, positions SH 7213, 7214, 7216 et 7217, en dollars US courants [S52]. Les années ultérieures n'avaient pas encore été déclarées à la date d'arrêt des informations.

Coûts indicatifs (tableau 11.1). Estimations de Cameroon Steel fondées sur des périmètres types de prélèvement, d'essais en laboratoire et d'enquête, données uniquement pour orienter la budgétisation.

A.10 Exemples chiffrés de réception sur chantier

Les deux exemples ci-dessous montrent comment s'appliquent le contrôle par pesée du chapitre 6 et la vérification de la composition chimique du chapitre 7. Toutes les masses et longueurs de barres sont fictives et données à titre d'illustration.

Pesée. La masse linéique nominale d'une barre de 12 mm est de 0,888 kg/m ; avec la tolérance de 4,5 %, le minimum est de 0,848 kg/m (dérivé). Trois barres sont prélevées au hasard dans chacune de deux livraisons, puis pesées et mesurées.

Tableau A.3 Exemple chiffré du contrôle par pesée sur deux livraisons de barres de 12 mm (valeurs fictives)

Livraison	Masses des barres (kg)	Longueurs des barres (m)	Masse linéique (kg/m)	Écart par rapport à la valeur nominale	Décision
1	10,48 ; 10,31 ; 10,62	12,00 ; 11,98 ; 12,02	0,873 ; 0,861 ; 0,884	-1,6 % ; -3,1 % ; -0,5 %	Toutes au-dessus de 0,848 kg/m : acceptation
2	9,05 ; 8,98 ; 9,10	12,01 ; 11,99 ; 12,00	0,754 ; 0,749 ; 0,758	-15,1 % ; -15,6 % ; -14,6 %	Toutes au-dessous de 0,848 kg/m, ce qui correspond à des barres de 11 mm : quarantaine, essais, refus si confirmation

Source : valeurs fictives ; masse nominale et tolérance comme indiqué dans la présente annexe [S31][S32].

La seconde livraison échoue avec un écart qu'aucune erreur de pesée ne peut expliquer : un écart d'environ 15 % correspond à une barre laminée à 11 mm au lieu de 12 mm (16 % de section en moins). La pesée de trois barres a suffi à le mettre en évidence.

Carbone équivalent. Le certificat type de la figure 7.1 présente une analyse de coulée de 0,20 % de C, 0,85 % de Mn et 0,28 % de Cu. Avec des éléments résiduels de 0,06 % de Cr, 0,02 % de Mo, 0,01 % de V et 0,10 % de Ni, qu'un certificat complet indiquerait également, le carbone équivalent vaut $0,20 + 0,85/6 + (0,06 + 0,02 + 0,01)/5 + (0,10 + 0,28)/15 = 0,385 \%$, en dessous de la limite de 0,50 % applicable à l'acier soudable (dérivé). Un certificat qui indique le C_{eq} sans les teneurs des différents éléments, ou les éléments sans le C_{eq} , doit faire l'objet d'une demande d'explication : l'acheteur doit pouvoir refaire le calcul.

A.11 Limites

Pour le cadre réglementaire camerounais et les mesures d'application, le présent document s'appuie sur des sources publiées, dont plusieurs articles de presse ; il n'a accès ni au texte intégral de la NC 236, ni aux dossiers de certification de l'ANOR, ni aux rapports officiels d'enquête sur les effondrements d'immeubles. Les études publiées sur les ronds à béton du marché recourent à des méthodes, des normes et des tailles d'échantillon différentes et ne sont pas directement comparables. Les normes dont le texte original est payant sont résumées à partir de sources secondaires et de certificats ; seule fait foi l'édition en vigueur de chaque norme. Les informations relatives au projet de Cameroon Steel se limitent aux informations publiques et aux objectifs déclarés.

ANNEXE B

GLOSSAIRE ET ABRÉVIATIONS

Le glossaire définit en langage courant les termes techniques et les abréviations employés dans le livre blanc. Lorsqu'un terme fait l'objet d'une définition précise dans une norme, la définition donnée ici en est une explication simplifiée, et la norme fait foi.

Tableau B.1 Termes et abréviations

Terme	Signification
Adhérence (bond)	Transmission des efforts entre une barre et le béton qui l'entoure, assurée principalement par les nervures de la barre
Agt	Allongement total sous force maximale : déformation, en pour cent, qu'atteint une barre lors d'un essai de traction au moment où elle supporte sa charge la plus élevée. Principale mesure européenne de la ductilité utile
ANOR	Agence des normes et de la qualité, organisme camerounais de normalisation et de qualité, organisé par le décret n° 2009/296. Élabore et homologue les normes nationales, certifie les produits et conduit le PECAE
ARSO	Organisation africaine de normalisation (African Organisation for Standardisation)
ASTM A615, A706	Spécifications américaines pour les barres crénelées en acier au carbone (A615) et pour les barres soudables faiblement alliées à propriétés maîtrisées (A706)
B500A, B500B, B500C	Nuances européennes d'acier pour béton armé de limite d'élasticité caractéristique de 500 MPa et de classes de ductilité A, B et C
BAEL 91	Anciennes règles françaises de conception et de calcul du béton armé, largement utilisées en Afrique francophone avant les Eurocodes
Billette (billet)	Demi-produit en acier de section carrée, coulé en coulée continue, puis réchauffé et laminé en barres ou en fil machine
Cadre, étrier (link, stirrup)	Barre fermée entourant les armatures principales d'une poutre ou d'un poteau, qui reprend l'effort tranchant et confine le béton
Cale d'enrobage (spacer)	Cale ou chaise qui maintient les armatures à l'enrobage spécifié pendant le bétonnage
Carbonatation (carbonation)	Réaction du dioxyde de carbone de l'air avec le béton, qui abaisse son alcalinité et peut entraîner la corrosion des armatures
Carbone équivalent, Ceq, CEV (carbon equivalent)	Indice combinant le carbone et les éléments d'alliage pour prévoir la trempabilité et la soudabilité ; pour les aciers européens pour béton armé, $Ceq = C + Mn/6 + (Cr+Mo+V)/5 + (Ni+Cu)/15$, limité à 0,50 %
Carte de contrôle (control chart)	Graphique des résultats d'un procédé rapportés à des limites de contrôle, utilisé en maîtrise statistique des procédés
Certificat d'usine, certificat de réception (mill test report, inspection certificate)	Document du producteur indiquant les résultats chimiques et mécaniques de l'acier livré
Classe d'exposition (exposure class)	Classification de l'environnement d'un élément en béton (par exemple XC pour la carbonatation, XS pour l'eau de mer) servant à fixer l'enrobage et la qualité du béton
Classe de ductilité A, B, C (class A, B, C)	Classes d'armatures de l'Eurocode 2, définies par un rapport de résistances minimal et un allongement minimal sous force maximale ; la classe C est la plus ductile
Coefficient partiel (partial factor)	Coefficient de sécurité appliqué à un matériau ou à une charge dans le calcul aux états limites ; 1,15 pour l'acier de béton armé dans l'Eurocode 2

Terme	Signification
Coulée (heat, cast)	Quantité d'acier fondue et affinée en une seule fois, identifiée par un numéro de coulée
Cure (curing)	Maintien du béton frais humide et protégé pour que le ciment s'hydrate complètement, en particulier dans la zone d'enrobage
Ductilité (ductility)	Aptitude de l'acier à se déformer plastiquement avant de se rompre
Durée d'humectation (time of wetness)	Durée pendant laquelle une surface métallique est susceptible d'être humide, comptée par l'ISO 9223 comme le temps où l'humidité relative dépasse 80 % et la température 0 °C
Écrouissage à froid (cold working)	Durcissement de l'acier par déformation à température ambiante (étirage, torsion, laminage à froid), qui réduit sa ductilité
EN 10080	Norme européenne fixant les conditions techniques générales de livraison des aciers soudables pour béton armé
EN 10204	Norme européenne définissant les types de documents de contrôle (relevé de contrôle 2.2, certificats de réception 3.1 et 3.2)
EN 1992-1-1 (Eurocode 2)	Code européen de calcul des structures en béton
EN 206	Norme européenne relative à la spécification et à la production du béton, comprenant les classes d'exposition et les valeurs limites
Enrobage (cover)	Épaisseur de béton entre la surface d'une barre et la paroi de béton la plus proche
Essai de flexion par choc Charpy (Charpy impact test)	Essai au cours duquel une éprouvette entaillée est rompue par un mouton-pendule pour mesurer la ténacité, utilisé pour classer les aciers de construction (JR, JO, J2)
Essai de pliage, essai de pliage-dépliage (bend test, rebend test)	Essais au cours desquels une barre est pliée autour d'un mandrin (pliage), ou pliée, vieillie puis dépliée (pliage-dépliage), et examinée pour détecter des fissures ; ils révèlent la fragilité
Essais d'aptitude (proficiency testing)	Comparaison des résultats d'un laboratoire avec ceux d'autres laboratoires sur les mêmes éprouvettes
FAE (EAF)	Four à arc électrique : four qui fond la ferraille et le fer de réduction directe au moyen d'arcs électriques
Fe215, Fe235, Fe400, Fe500	Nuances de la NC 236 : barres lisses (Fe215, Fe235) et barres à haute adhérence (Fe400, Fe500) ; le nombre indique la limite d'élasticité en MPa
Fer de réduction directe (DRI), fer briqueté à chaud (HBI)	Fer obtenu par réduction du minerai de fer à l'état solide, utilisé avec la ferraille dans les fours à arc électrique pour diluer les éléments résiduels
Fil machine (wire rod)	Acier laminé à chaud en couronnes, généralement de 5,5 à 12 mm de diamètre, destiné au tréfilage
FOB	Franco à bord (free on board) : valeur des marchandises chargées sur le navire au port d'exportation
Four-poche, LF (ladle furnace)	Installation de métallurgie secondaire dans laquelle une coulée est affinée, ajustée en composition et portée à la température de coulée
fR	Surface relative des nervures : aire projetée des nervures par unité de longueur divisée par le périmètre de la barre ; mesure de la géométrie d'adhérence retenue par l'Eurocode 2
Homologation (des prix)	Approbation officielle des prix des producteurs par le ministère du Commerce
ISO/IEC 17025, 17065	Normes internationales relatives à la compétence des laboratoires d'essais (17025) et des organismes de certification de produits (17065)
Limite d'élasticité (yield strength)	Contrainte à partir de laquelle l'acier commence à se déformer de façon permanente
Longueur d'ancrage (anchorage length)	Longueur de barre noyée au-delà du point où elle est nécessaire, sur laquelle l'adhérence transmet son effort au béton
Mandrin (mandrel, former)	Outil cylindrique autour duquel on plie une barre ; son diamètre limite la déformation de la barre
Marquage de laminage (rolled-in mark)	Motif de nervures ou de symboles laminé sur une barre pour identifier l'usine productrice, la nuance ou le pays
Masse linéique (mass per metre)	Masse d'un mètre de barre ; mesure de référence de la section d'une barre

Terme	Signification
Microalliage (microalloying)	Ajout de très faibles quantités de vanadium, de niobium ou de titane pour renforcer l'acier sans carbone supplémentaire
MINCOMMERCE, MINH DU, MINMIDT	Ministères camerounais du Commerce ; de l'Habitat et du Développement urbain ; des Mines, de l'Industrie et du Développement technologique
MSP (SPC)	Maîtrise statistique des procédés : suivi des résultats d'un procédé à l'aide de cartes de contrôle pour détecter les dérives
NC	Norme camerounaise : norme nationale du Cameroun
NC 236	Norme camerounaise relative aux aciers pour béton armé (ronds à béton), obligatoire depuis 2022
Passivation (passivity)	Protection de l'acier dans le béton alcalin par un film d'oxyde mince et stable
PECAE	Programme d'évaluation de la conformité avant embarquement : évaluation de la conformité des importations avant leur expédition
QST, Tempcore	Trempe et autorevenu (quenching and self-tempering) : trempe à l'eau en ligne d'une barre chaude, qui produit une couronne dure de martensite revenue et un cœur ductile
Re (fy), Rm (ft)	Limite d'élasticité et résistance à la traction
Recouvrement (lap)	Chevauchement de deux barres qui transmet l'effort de l'une à l'autre par l'intermédiaire du béton
Relaminage (re-rolling)	Réchauffage et laminage de ferrailles (rails, tôles, vieilles barres) sans refusion
Rm/Re (k)	Rapport entre la résistance à la traction et la limite d'élasticité, mesure de l'écrouissage et de la ductilité des structures
Seuil critique de chlorures (chloride threshold)	Teneur en chlorures à la surface de l'acier au-delà de laquelle le film passif se rompt et la corrosion peut s'amorcer
Spectromètre à émission optique, OES (spectrometer)	Instrument qui analyse la composition chimique de l'acier à partir d'une étincelle produite sur un échantillon
Surrésistance (overstrength)	Limite d'élasticité réelle nettement supérieure à la valeur spécifiée ; certaines normes la plafonnent, car elle modifie le mode de ruine des structures
Treillis soudé (welded mesh, fabric)	Grillage de fils ou de barres soudés à leurs intersections, utilisé comme armature
Valeur caractéristique (characteristic value)	Valeur qu'une proportion déterminée de la production (généralement 95 %) doit dépasser ; base des résistances de calcul
Vieillessement après écrouissage (strain ageing)	Perte de ductilité de l'acier après déformation, due principalement à l'azote libre

Source : Cameroon Steel, d'après les normes et les sources citées dans le livre blanc.

ANNEXE C

SOURCES

Chaque source citée dans le livre blanc au moyen d'un renvoi [S-id] est répertoriée ci-dessous avec son titre, son éditeur, sa date et son adresse. Les articles de presse sont cités pour les faits qu'ils rapportent, qui leur sont attribués dans le texte. Les normes payantes sont répertoriées avec l'adresse du catalogue de leur éditeur ; l'édition en vigueur fait foi. Les pages web ont été consultées entre le 1er et le 10 octobre 2026. Les identifiants S27, S64, S68 à S70 et S83 ne sont pas utilisés dans la présente édition. Les titres sont donnés dans leur langue d'origine. Conformément aux règles de publication de la série, aucun producteur n'est nommé en lien avec une sanction ; lorsqu'une source en nomme un, le nom est omis de son titre (remplacé par [...]) et son adresse internet n'est pas reproduite ; l'article peut être retrouvé par son titre et sa date.

Tableau C.1 Sources citées

Id	Titre	Éditeur ou auteur	Date	Adresse
S01	Kribi : le Premier ministre, chef du gouvernement est là	Cameroon Tribune	30 déc. 2024	https://cameroon-tribune.cm/article.html/68499/fr.html/details_2
S02	Cameroun : complexe moderne de sidérurgie de Kribi, le PM Joseph Dion Ngute effectue la pose de la première pierre	Camer.be	5 janv. 2025	https://www.camer.be/87795/12:1/cameroun-complexe-moderne-de-siderurgie-de-kribi-le-pm-joseph-dion-ngute-effectue-la-pose-de-la-premiere-pi-cameroon.html
S03	Industrialisation : la voie royale de l'émergence	Cameroon Tribune	2 janv. 2025	https://cameroon-tribune.cm/article.html/68558/fr.html/details_2
S04	Cameroun : pour non-respect des normes, le fer à béton de la société [...] retiré du marché (nom du producteur omis ici)	EcoMatin	21 oct. 2024	ecomatin.net, article du 21 oct. 2024 (adresse non reproduite : elle contient le nom du producteur)
S05	Cameroon revokes [...] compliance certificate for rebar, orders recall of products (nom du producteur omis ici)	Business in Cameroon	17 oct. 2024	businessincameroon.com, rubrique « Public management », 17 oct. 2024 (adresse non reproduite : elle contient le nom du producteur)
S06	Cameroun : le gouvernement rejette une demande de révision de la norme du fer à béton	EcoMatin	5 févr. 2026	https://ecomatin.net/cameroun-le-gouvernement-rejette-une-demande-de-revision-de-la-norme-du-fer-a-beton
S07	Cameroon rejects fresh push to revise rebar standard	Business in Cameroon	26 janv. 2026	https://www.businessincameroon.com/construction/2601-15657-cameroon-rejects-fresh-push-to-revise-rebar-standard
S08	Fer à béton : le gouvernement ferme la porte à toute révision de la norme et recadre la filière sidérurgique	Cameroun24	janv. 2026	https://cameroun24.net/article/72504-fer-a-beton-le-gouvernement-ferme-la-porte-a-toute-revision-de-la-norme-et-recadre-la-filiere-siderurgique.html
S09	Métallurgie : les industriels du secteur dénoncent la présence du fer à béton contrefait sur le marché camerounais	EcoMatin	22 juin 2023	https://ecomatin.net/metallurgie-les-industriels-du-secteur-denoncent-la-presence-du-fer-a-beton-contrefait-sur-le-marche-camerounais

Id	Titre	Éditeur ou auteur	Date	Adresse
S10	Interdiction des importations du fer à béton : les consommateurs dénoncent la mauvaise qualité de la production locale	EcoMatin	13 avr. 2023	https://ecomatin.net/interdiction-des-importations-du-fer-a-beton-les-consommateurs-denoncent-la-mauvaise-qualite-de-la-production-locale
S11	Fer à béton : les producteurs acceptent une baisse des prix	EcoMatin	23 oct. 2023	https://ecomatin.net/fer-a-beton-les-producteurs-acceptent-une-baisse-des-prix
S12	Métallurgie : les importations du fer à béton interdites jusqu'à nouvel ordre	EcoMatin	10 avr. 2023	https://ecomatin.net/metallurgie-les-importations-du-fer-a-beton-interdites-jusqua-nouvel-ordre
S13	Article de presse sur la mise sous scellés par la douane de plus de 7 300 t de ronds à béton importés, décembre 2020 (titre et adresse non reproduits : ils nomment l'importateur)	Business in Cameroon	16 déc. 2020	businessincameroon.com
S14	Normes sur les produits de grande consommation : quel impact sur la qualité	Cameroon Tribune	10 oct. 2024	https://cameroon-tribune.cm/article.html/67368/fr.html/details_2
S15	Informations sur le PECAE (cadre légal, procédure, routes, frais, partenaires, questions fréquentes)	Agence des Normes et de la Qualité (ANOR)	consulté le 10 oct. 2026	https://www.anor.cm/projet-pecae/informations
S16	Nos missions	ANOR	consulté le 10 oct. 2026	https://www.anor.cm/articles/nos-missions
S17	Communiqué portant modification de la procédure d'initiation du PECAE	ANOR	6 oct. 2026	https://www.anor.cm/articles/communique-portant-modification-de-la-procedure-dinitiation-du-programme-devaluation-de-la-conformite-avant-embarquement-des-marchandises-importees-en-republique-du-cameroun-pecae
S18	L'ANOR et les laboratoires camerounais renforcent leur collaboration : une plateforme d'échanges et de conformité voit le jour	ANOR	17 sept. 2024	https://www.anor.cm/articles/lanor-et-les-laboratoires-camerounais-renforcent-leur-collaboration-une-plateforme-dechanges-et-de-conformite-voit-le-jour
S19	Assessment of Deviation in Quality of Steel Reinforcing Bars Used in Some Building Sites in Cameroon. World Journal of Engineering and Technology, 11 (4), p. 917 à 931	P. C. Bame, B. E. Yamb, B. Ndigui ; Scientific Research Publishing	2023	https://doi.org/10.4236/wjet.2023.114061
S20	Officials to Investigate After Cameroon Building Collapse Kills Over 30	VOA Africa	24 juil. 2023	https://www.voaafrica.com/a/cameroon-building-collapse-kills-over-30-/7193868.html
S21	Cameroon: death toll rises to 40 in building collapse	Africanews	27 juil. 2023	https://www.africanews.com/2023/07/27/cameroon-death-toll-rises-to-40-in-building-collapse/
S22	Cameroun : Douala, 6 morts dans l'effondrement d'un immeuble à Bonamoussadi	Camer.be, repris par AllAfrica	11 juil. 2026	https://fr.allafrica.com/stories/202607130741.html
S23	Why 21-storey Ikoyi building collapsed, panel reveals after submitting report	Sahara Reporters	5 janv. 2022	https://saharareporters.com/2022/01/05/why-21-storey-ikoyi-building-collapsed-%E2%80%93-panel-reveals-after-submitting-report-lagos
S24	Nigerian preacher TB Joshua skips trial as judge adjourns case	Nation (Nation Media Group)	30 nov. 2015, mis à jour le 3 juil. 2020	https://nation.africa/kenya/news/africa/nigerian-preacher-tb-joshua-skips-trial-as-judge-adjourns-case-1149920
S25	SON seals 13 steel firms for standards infractions	Economic Confidential	11 févr. 2020	https://economicconfidential.com/son-seals-firms-standards-infractions/
S26	Evaluation of mechanical properties and chemical composition of some selected steel reinforcements used in Nigeria	M. Akinpelu, A. Salman ; Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou (notice de dépôt, Kwara State University)	2021	https://kwasuspace.kwasu.edu.ng/handle/123456789/3589
S28	Mechanical strength variability of deformed reinforcing steel bars for concrete structures in Ethiopia. Scientific Reports 12, 2600	T. Achamyelch, H. Çamur, M. A. Savaş, A. Evcil ; Nature Portfolio	2022	https://doi.org/10.1038/s41598-022-06654-1

Id	Titre	Éditeur ou auteur	Date	Adresse
S29	Probabilistic Model Code, Part 3: Resistance models, 3.2 Static properties of reinforcing steel	Joint Committee on Structural Safety (JCSS)	édition 2001	https://www.jcss-lc.org/publications/jcsspmc/rebar.pdf
S30	EN 1992 Eurocode 2: Design of concrete structures (J. Walraven), atelier « Eurocodes: background and applications », Bruxelles, 18 au 20 févr. 2008	Commission européenne (DG Entreprises et industrie, Centre commun de recherche)	févr. 2008	https://www.eurocodes.fi/wp-content/uploads/1992/sahkoinen1992/EN-1992.pdf
S31	Certificat N° B03/176 rév. 16, aciers pour béton armé, NF A 35-080-1 nuance B500B (fiche descriptive et caractéristiques certifiées)	Association Française de Certification des Armatures du Béton (AFCAB), AFNOR Certification	6 juin 2025	https://feralpi-stahl.com/sites/default/files/media/certifications/NF%20AFCAB-FR-B500B-BS_0.pdf
S32	Technical specification SPF400 rev. 12, Rebars B500 (exigences chimiques, mécaniques et dimensionnelles selon l'EN 10080 et les normes nationales)	Ferriere Nord S.p.A. (groupe Pittini)	14 sept. 2021	https://www.pittini.it/wp-content/uploads/Pittini-Group-Reinforcing-Steel-Bars-B500.pdf
S33	Standards for reinforcement	The Concrete Centre (Royaume-Uni)	consulté en oct. 2026	https://concretecentre.com/Codes/European-standards-for-reinforcement.aspx
S34	Rebar 101 (présentation : spécifications ASTM des barres, tableaux de traction et d'allongement, écarts de masse admissibles, marquage)	Concrete Reinforcing Steel Institute (CRSI), hébergé par le New Jersey Institute of Technology	s. d.	https://web.njit.edu/~washt/cim101/download/notes/CRSI/Rebar101_University%20%5bCompatibility%20Mode%5d.pdf
S35	Engineering Bulletin #1: Mechanical properties, ChromX (ASTM A1035) compared with ASTM A615 Grades 60, 80 and 100	Commercial Metals Company (CMC)	12 mai 2021	https://www.cmc.com/getmedia/83bc1448-b2ed-47b1-9b4e-56951d4b7212/1_Mechanical_Properties-NEW.pdf
S36	EN 1992-1-1:2004 Eurocode 2: Design of concrete structures, Part 1-1: General rules and rules for buildings (avec corrigenda)	Comité européen de normalisation (CEN)	2004	https://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/EN-Eurocodes/eurocode-2-design-concrete-structures
S37	EN 206:2013+A2:2021 Concrete: specification, performance, production and conformity	CEN	2021	https://standards.cencenelec.eu/catalogue:EN206
S38	BS 4449:2005+A3:2016 Steel for the reinforcement of concrete. Weldable reinforcing steel. Bar, coil and decoiled product. Specification	British Standards Institution (BSI)	2016	https://www.boutique.afnor.org/en-gb/standard/bs-44492005-a32016/steel-for-the-reinforcement-of-concrete-weldable-reinforcing-steel-bar-coil/eu100392/205471
S39	EN 10080:2005 Steel for the reinforcement of concrete. Weldable reinforcing steel. General	CEN	2005	https://standards.cencenelec.eu/catalogue:EN10080
S40	ASTM A615/A615M Standard specification for deformed and plain carbon-steel bars for concrete reinforcement	ASTM International	édition en vigueur	https://store.astm.org/catalogue:A615/A615M
S41	ASTM A706/A706M Standard specification for deformed and plain low-alloy steel bars for concrete reinforcement	ASTM International	édition en vigueur	https://store.astm.org/catalogue:A706/A706M
S42	NF A 35-080-1 Aciers pour béton armé : aciers soudables, partie 1 : barres et couronnes	AFNOR	édition en vigueur	https://www.boutique.afnor.org/catalogue:NFA35-080-1
S43	ISO 6935-2:2019 Steel for the reinforcement of concrete, Part 2: Ribbed bars	Organisation internationale de normalisation (ISO)	2019	https://www.iso.org/catalogue:ISO6935-2
S44	ISO 15630-1:2019 Steel for the reinforcement and prestressing of concrete, Test methods, Part 1: Reinforcing bars, rods and wire (EN ISO 15630-1)	ISO ; CEN	2019	https://www.iso.org/catalogue:ISO15630-1
S45	ISO 6892-1:2019 Metallic materials, Tensile testing, Part 1: Method of test at room temperature	ISO	2019	https://www.iso.org/catalogue:ISO6892-1
S46	EN 10204:2004 Metallic products, Types of inspection documents	CEN	2004	https://standards.cencenelec.eu/catalogue:EN10204
S47	ISO 9223:2012 Corrosion of metals and alloys, Corrosivity of atmospheres, Classification, determination and estimation	ISO	2012	https://www.iso.org/catalogue:ISO9223

Id	Titre	Éditeur ou auteur	Date	Adresse
S48	Tempcore: a new process for the production of high-quality reinforcing bars. Iron and Steel Engineer 61 (3), p. 53 à 57	P. Simon, M. Economopoulos, P. Nilles	1984	https://openalex.org/W3176967943
S49	Corroded TempCore vs dual-phase steel reinforcing bars. Construction and Building Materials	S. Caprili, W. Salvatore, R. Valentini ; Elsevier	2021	https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122301
S50	API de climatologie POWER, paramètres T2M, RH2M, PRECTOTCORR, 1991 à 2020, pour Douala, Kribi, Yaoundé et Garoua	NASA Langley Research Center	consulté le 10 oct. 2026	https://power.larc.nasa.gov/api/temporal/climatology/point?parameters=T2M,RH2M,PRECTOTCORR&community=RE&longitude=9.91&latitude=2.94&format=JSON
S51	Monographie du Nyong et des fleuves côtiers, tome 1 (relevés climatiques de Kribi)	J.-C. Olivry ; ORSTOM et IRGM	juil. 1979	https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers11-03/01948.pdf
S52	API publique UN Comtrade, Cameroun (déclarant 120), importations et exportations par position du SH, chapitres 72 et 73, 2019 à 2023	Division de statistique des Nations unies	consulté le 10 oct. 2026	https://comtradeapi.un.org/public/v1/preview/C/A/HS?reporterCode=120&period=2023&partnerCode=0&flowCode=M&cmdCode=7213,7214,7216,7217
S53	Production : les acteurs en présence	Cameroon Tribune	11 mai 2026	https://cameroon-tribune.cm/article.html/76600/fr.html/details_2
S54	Agence de Régulation des Marchés Publics, site web (références au décret n° 2018/366 du 20 juin 2018 portant Code des marchés publics)	ARMP	consulté le 10 oct. 2026	https://www.arp.cm
S55	ISO/IEC 17025:2017 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories	ISO ; IEC	2017	https://www.iso.org (catalogue : ISO/IEC 17025)
S56	ISO/IEC 17065:2012 Conformity assessment, Requirements for bodies certifying products, processes and services	ISO ; IEC	2012	https://www.iso.org (catalogue : ISO/IEC 17065)
S57	ISO 16269-6:2014 Statistical interpretation of data, Part 6: Determination of statistical tolerance intervals	ISO	2014	https://www.iso.org (catalogue : ISO 16269-6)
S58	ASTM A775/A775M Epoxy-coated steel reinforcing bars; ASTM A934/A934M Epoxy-coated prefabricated steel reinforcing bars	ASTM International	éditions en vigueur	https://store.astm.org (catalogue : A775, A934)
S59	ASTM A767/A767M Zinc-coated (galvanized) steel bars for concrete reinforcement	ASTM International	édition en vigueur	https://store.astm.org (catalogue : A767)
S60	BS 6744:2016 Stainless steel bars for the reinforcement of and use in concrete	BSI	2016	https://knowledge.bsigroup.com (catalogue : BS 6744)
S61	EN 10025-2:2019 Hot rolled products of structural steels, Part 2: Technical delivery conditions for non-alloy structural steels	CEN	2019	https://standards.cencenelec.eu (catalogue : EN 10025-2)
S62	Série ISO 16120, Non-alloy steel wire rod for conversion to wire (EN ISO 16120-1 à 16120-4)	ISO ; CEN	éditions en vigueur	https://www.iso.org (catalogue : ISO 16120)
S63	BS 4483:2005 Steel fabric for the reinforcement of concrete	BSI	2005	https://knowledge.bsigroup.com (catalogue : BS 4483)
S65	Corrosion of steel in concrete. CBI Research Report 4:82	K. Tuutti ; Swedish Cement and Concrete Research Institute, Stockholm	1982	Rapport imprimé ; pas d'adresse web stable
S66	Cameroon, Republic of: Corporate, Other taxes (taxe environnementale prévue par la loi de finances 2026)	PwC Worldwide Tax Summaries	révisé le 14 août 2026	https://taxsummaries.pwc.com/republic-of-cameroon/corporate/other-taxes
S67	BS 8666:2020 Scheduling, dimensioning, cutting and bending of steel reinforcement for concrete. Specification	BSI	2020	https://knowledge.bsigroup.com (catalogue : BS 8666)
S71	ISO 17660-1:2006 Welding, Welding of reinforcing steel, Part 1: Load-bearing welded joints (EN ISO 17660-1)	ISO ; CEN	2006	https://www.iso.org (catalogue : ISO 17660-1)

Id	Titre	Éditeur ou auteur	Date	Adresse
S72	NF A35-016 Concrete reinforcing steels, weldable ribbed bars and coils of grade FeE500 (notice de catalogue)	AFNOR	catalogue consulté en oct. 2026	https://www.boutique.afnor.org/en-gb/standard/nf-a35016/concrete-reinforcing-steels-weldable-ribbed-bars-and-coils-of-grade-fee500-/fa041963/47760
S73	GB/T 1499.2-2018 Steel for the reinforcement of concrete, Part 2: Hot rolled ribbed bars	Administration de normalisation de Chine (SAC)	2018	https://openstd.samr.gov.cn (catalogue : GB/T 1499.2)
S74	Page d'accueil, communiqués et service de signalement en ligne (Dénonciation)	ANOR	consulté le 10 oct. 2026	https://www.anor.cm
S75	Enquêtes publiques : projets de normes camerounaises soumis à enquête publique	ANOR	consulté le 10 oct. 2026	https://www.anor.cm/enquetes-publiques
S76	Évolution du commerce extérieur en 2025 (version provisoire)	Institut national de la statistique (INS), Cameroun	févr. 2026	https://ins-cameroun.cm/wp-content/uploads/2026/04/Note-sur-le-commerce-exterieur-en-2025-version-provisoire_FR.pdf
S77	ASTM E415 Standard test method for analysis of carbon and low-alloy steel by spark atomic emission spectrometry	ASTM International	édition en vigueur	https://store.astm.org (catalogue : E415)
S78	ISO 9001:2015 Quality management systems, Requirements	ISO	2015	https://www.iso.org (catalogue : ISO 9001)
S79	Quality evaluation of commercially available steels in some selected Nigerian markets. Annals of Faculty Engineering Hunedoara, International Journal of Engineering	Y. L. Shuaib-Babata et al.	2019	https://uilspace.unilorin.edu.ng/handle/20.500.12484/11417
S80	Budget 2026 : 8 816,4 milliards FCFA pour consolider la stabilité et accélérer le développement du Cameroun	Ministère des Finances (MINFI)	26 nov. 2025	https://minfi.gov.cm/budget-2026-8-8164-milliards-fcfa-pour-consolider-la-stabilite-et-acceler-le-developpement-du-cameroun/
S81	Ministère des Marchés publics, site web (dossiers d'appel d'offres types, DAO-types)	MINMAP	consulté le 10 oct. 2026	https://www.minmap.cm
S82	BAEL 91 révisé 99 : Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé suivant la méthode des états limites	CSTB ; Eyrolles (Fascicule 62, titre I, section I)	2000	Publication imprimée ; pas d'adresse web stable
S84	ISO 15630-2:2019 Steel for the reinforcement and prestressing of concrete, Test methods, Part 2: Welded fabrics and lattice girders (EN ISO 15630-2)	ISO ; CEN	2019	https://www.iso.org (catalogue : ISO 15630-2)
S85	École Nationale Supérieure Polytechnique de Yaoundé, page d'accueil (départements)	ENSPY	consulté en oct. 2026	https://polytechnique.cm/
S86	EN 10219-1:2006 Cold formed welded structural hollow sections of non-alloy and fine grain steels; EN 10210-1:2006 Hot finished structural hollow sections	CEN	2006	https://standards.cencenelec.eu (catalogue : EN 10219, EN 10210)
S87	Le Gabon réduit la TVA sur le fer à béton local pour stimuler son industrie sidérurgique	EcoMatin	4 août 2026	https://ecomatin.net/le-gabon-reduit-la-tva-sur-le-fer-a-beton-local-pour-stimuler-son-industrie-siderurgique
S88	Gabon : le groupe Fokou lance une nouvelle unité d'acier à Port-Gentil	EcoMatin	18 sept. 2026	https://ecomatin.net/gabon-le-groupe-fokou-lance-une-nouvelle-unite-dacier-a-port-gentil
S89	Projet de loi portant loi de finances de la République du Cameroun pour l'exercice 2026, article 23 (articles 228 septies à 228 decies du Code général des impôts : taxe environnementale sur le ciment, le fer à béton, les carreaux et les céramiques ; taux par tonne de fer)	Ministère des Finances, Direction générale du budget (DGB)	26 nov. 2025 (projet déposé ; libellé définitif à vérifier au Journal officiel)	https://www.dgb.cm/wp-content/uploads/2025/11/PROJET-DE-LOI-FINANCES-2026_FR_26112025.pdf

Source : liste établie par Cameroon Steel.

ANNEXE D

TABLEAUX DE DONNÉES DES FIGURES

La présente annexe donne les valeurs représentées dans chaque graphique du livre blanc, avec leurs unités, leur statut et leurs sources, afin que le lecteur puisse les vérifier et les réutiliser. Les mêmes valeurs sont publiées, avec l'édition web, sous forme de fichiers exploitables par machine (un fichier JSON par graphique, produit par le script qui trace le graphique). Les schémas qui ne portent pas de données figurent dans le premier tableau, accompagnés d'une mention.

Index des figures et de leurs données

Tableau D.1 Figures, fichiers de données et statut

Figure	Contenu	Fichier de données	Statut	Valeurs
Figure ES.1	Effort de plastification d'une barre de 12 mm, cas conformes et cas défectueux	hero_capacity.json	dérivé	Tableau D.2
Figure 1.1	Fonctionnement d'une poutre en béton armé (schéma)	beam_ductility.json	illustratif	Pas de données
Figure 1.2	Courbes contrainte-déformation par classe de ductilité (schéma)	stress_strain.json	illustratif	Tableau D.3
Figure 1.3	Rapport de capacité selon le déficit de masse et la limite d'élasticité	capacity_heatmap.json	dérivé	Tableau D.4
Figure 2.1	Coupe d'une barre QST et historique thermique (schéma)	qst_section.json	illustratif	Pas de données
Figure 2.2	Neuf points de contrôle qualité dans une mini-acierie	process_qc.json	illustratif	Tableau D.5
Figure 2.3	Carte du carbone équivalent	cev_map.json	dérivé	Tableau D.6
Figure 3.1	Ce que mesure l'essai de traction (schéma)	tensile_definitions.json	illustratif	Pas de données
Figure 3.2	Paramètres géométriques des nervures (schéma)	rib_geometry.json	illustratif	Formule au tableau 3.3
Figure 4.1	Infrastructure qualité des ronds à béton au Cameroun	qi_map.json	sourcé	Sources dans la légende
Figure 4.2	Jalons de la normalisation et du contrôle	timeline.json	sourcé	Tableau D.7
Figure 4.3	Capacité et demande par produit	capacity_demand.json	sourcé	Tableau D.8
Figure 5.1	Distributions de la limite d'élasticité sous trois régimes	yield_distributions.json	dérivé	Tableau D.9
Figure 5.2	Carte de contrôle de la limite d'élasticité moyenne par coulée (simulation)	spc_chart.json	illustratif	Tableau D.10
Figure 6.1	Masse d'une barre de 12 m : nominale, minimale et sous-dimensionnée	mass_check.json	dérivé	Tableau D.11
Figure 6.2	Probabilité de détecter des barres trop légères selon la taille de l'échantillon	detection_probability.json	dérivé	Tableau D.12
Figure 6.3	Procédure de réception sur chantier	site_flow.json	illustratif	Tableau D.13

Figure	Contenu	Fichier de données	Statut	Valeurs
Figure 7.1	Spécimen de certificat de réception (valeurs fictives)	mill_certificate.json	illustratif	Pas de données
Figure 7.2	Prix au kilogramme et prix effectif des barres trop légères	price_per_kg.json	dérivé	Tableau D.14
Figure 8.1	Mécanisme de corrosion et modèle en deux phases (schéma)	corrosion_mechanism.json	illustratif	Pas de données
Figure 8.2	Humidité relative mensuelle dans quatre villes	humidity.json	sourcé	Tableau D.15
Figure 8.3	Délai d'amorçage de la corrosion selon l'enrobage (modèle)	chloride_initiation.json	illustratif	Tableau D.16
Figure 9.1	Importations de produits longs par position du SH	imports_products.json	sourcé	Tableau D.17
Figure 10.1	Calendrier indicatif de mise en œuvre	roadmap.json	illustratif	Tableau D.18

Source : Cameroon Steel. Les fichiers de données sont publiés avec l'édition web.

Marge de sécurité et capacité

Tableau D.2 Effort de plastification d'une barre de 12 mm nominal (figure ES.1)

Cas	Effort de plastification (kN)	Rapport à la valeur de calcul
B500B certifié, production courante (limite d'élasticité moyenne d'environ 560 MPa)	63,3	1,29
B500B certifié à la limite d'élasticité caractéristique de 500 MPa	56,5	1,15
Barre de 1 mm sous le diamètre nominal (11 mm), limite d'élasticité de 500 MPa	47,5	0,97
Acier Fe400 vendu comme Fe500 (limite d'élasticité de 400 MPa)	45,2	0,92
Les deux défauts réunis (11 mm, 400 MPa)	38,0	0,77
Valeur de calcul : 500 MPa / 1,15 × 113,1 mm ²	49,2	1,00

Source : calcul de Cameroon Steel ; coefficient partiel [S36] ; limite d'élasticité moyenne d'une production maîtrisée [S29].

Tableau D.3 Paramètres des courbes contrainte-déformation schématiques (figure 1.2)

Courbe	Limite d'élasticité Re (MPa)	Résistance à la traction Rm (MPa)	Rm/Re	Agt (%)	Déformation à la rupture (%)
Type classe C	530	647	1,22	12,0	17,0
Type classe B	545	627	1,15	8,0	13,0
Type classe A (écroui à froid, limite conventionnelle d'élasticité)	520	560	1,08	3,0	4,5
Barre non conforme	410	440	1,07	1,5	2,2

Source : paramètres illustratifs choisis par Cameroon Steel pour montrer les limites de classe de l'annexe C de l'EN 1992-1-1 [S30][S36] ; il ne s'agit pas de résultats d'essais.

Tableau D.4 Points repérés sur la carte de capacité (figure 1.3)

Point	Déficit de masse (%)	Limite d'élasticité (MPa)	Rapport à la valeur de calcul
Barre certifiée (courante)	0,0	560	1,29
À la limite de tolérance de masse	4,5	500	1,10
Fe400 vendu comme Fe500	0,0	400	0,92
1 mm sous le diamètre nominal (12 à 11 mm)	16,0	500	0,97
Les deux défauts	16,0	400	0,77

Source : valeurs dérivées : rapport = (1 moins le déficit) × fy / (500/1,15). Les axes couvrent un déficit de 0 % à 20 % et une limite d'élasticité de 350 à 620 MPa.

Métallurgie

Tableau D.5 Étapes du procédé et points de contrôle qualité (figure 2.2)

Étape	Point de contrôle
Parc ferraille et DRI/HBI	Tri, portique de détection de la radioactivité, aucun conteneur fermé
Four à arc électrique	Prélèvements du bain, température, activité en oxygène
Four-poche	Spectromètre : C, Mn, Si, P, S, N, Cu, Ceq
Coulée continue	Numéro de coulée frappé sur chaque billette
Parc à billettes, réchauffage	Défauts de surface, macrographie, profil du four
Laminoir	Diamètre, ovalisation, hauteur et espacement des nervures
Trempe et autorevenu QST	Débit et pression d'eau, température de surface
Refroidissoir, coupe, mise en bottes	Traction, pliage, pliage-dépliage, masse linéique
Étiquetage et expédition	Étiquette de botte, certificat 3.1, libération du lot

Source : schéma de Cameroon Steel ; pratique courante du contrôle de la production en usine [S31][S38].

Tableau D.6 Hypothèses et fenêtres de la carte du carbone équivalent (figure 2.3)

Élément	Valeur
Formule	$Ceq = C + Mn/6 + (Cr+Mo+V)/5 + (Ni+Cu)/15$
Cu + Ni supposés (%)	0,35
Cr + Mo + V supposés (%)	0,15
Limite sur coulée du Ceq (%)	0,50
Fenêtre QST B500B : C (%) / Mn (%)	0,17 à 0,22 / 0,65 à 1,05
Fenêtre à haute teneur en carbone : C (%) / Mn (%)	0,26 à 0,31 / 1,15 à 1,55

Source : valeurs dérivées ; formule et limite [S31][S32] ; résiduels et fenêtres supposés (annexe A).

Infrastructure qualité et marché camerounais

Tableau D.7 Jalons représentés à la figure 4.2

Date	Événement	Source
5 août 1996	La loi n° 96/11 relative à la normalisation fonde les normes camerounaises (NC)	S14
17 sept. 2009	Le décret n° 2009/296 organise l'ANOR, Agence des normes et de la qualité	S14
1er juil. 2015	Le décret n° 2015/1875/PM crée le PECAE, évaluation de la conformité des importations avant embarquement	S15
31 mai 2016	Les services du Premier ministre suspendent jusqu'à nouvel ordre les importations de ronds à béton	S13
31 août 2016	Le PECAE devient opérationnel (SGS, Intertek, TÜV Rheinland)	S15
31 mai 2021	Le décret n° 2021/3306/PM modifie et précise le programme PECAE	S15
2021	Publication de la NC 236:2021, norme nationale des aciers pour béton armé	S04, S05
20 avr. 2022	Un arrêté ministériel rend la NC 236 obligatoire : Fe400 et Fe500 à haute adhérence, Fe215 et Fe235 lisses	S04, S05, S09
avr. à juin 2023	Interdiction d'importer réaffirmée ; ingénieurs et consommateurs signalent des barres non conformes et contrefaites	S09, S10, S12
21 oct. 2023	Baisse des prix homologués à la production, à la barre, par diamètre et par nuance	S11
16 oct. 2024	L'ANOR retire un certificat de conformité et rappelle des barres Fe450, nuance absente de la NC 236	S04, S05
19 janv. 2026	Le Gouvernement refuse une demande de la profession visant à réviser la norme des ronds à béton (NC 236/2024/06)	S06, S07
6 oct. 2026	L'ANOR simplifie le déclenchement des contrôles PECAE (numéro IM accepté)	S17

Source : selon la liste ; annexe C.

Tableau D.8 Capacité installée et demande par produit, en kt par an (figure 4.3)

Produit	Capacité (kt/an)	Demande (kt/an)	Capacité / demande
Ronds à béton	627	180	3,5
Fil machine et pointes	72	36	2,0
Tôles	43	21	2,0
Tubes	34	14	2,4
Fil recuit	2,8	1,8	1,6

Source : chiffres de la profession rapportés par Cameroon Tribune le 11 mai 2026 [S53] ; rapports dérivés.

Essais et statistiques

Tableau D.9 Paramètres et proportions des distributions de la limite d'élasticité (figure 5.1)

Régime	Moyenne (MPa)	Écart-type (MPa)	Part sous 500 MPa	Part sous 400 MPa
Production certifiée : moyenne 560, écart-type 30 MPa	560	30	2,3 %	0,0 %
Même moyenne, dispersion non maîtrisée : écart-type 80 MPa (CV 14 %)	560	80	22,7 %	2,3 %
Profil des échantillons de chantier : médiane inférieure à 400 MPa (ajustée, écart-type 75)	395	75	91,9 %	52,7 %

Source : valeurs dérivées (loi normale) ; $\sigma = 30$ MPa [S29] ; CV de 14 % [S28] ; profil de chantier ajusté sur [S19] (illustratif).

Tableau D.10 Limites d'élasticité moyennes simulées par coulée, en MPa (figure 5.2 ; moyenne des coulées 1 à 30 = 563,8, limites de contrôle 544,5 et 583,2, règle de séquence déclenchée à la coulée 46)

Coulées	+0	+1	+2	+3	+4	+5	+6	+7	+8	+9
1 à 10	557,2	560,2	559,7	568,1	564,0	567,0	572,7	572,9	569,8	562,4
11 à 20	560,0	559,5	563,2	565,6	558,2	556,9	568,4	551,2	564,6	569,4
21 à 30	558,1	557,1	559,9	571,2	565,0	551,0	562,6	574,1	573,9	571,0
31 à 40	564,1	551,2	567,4	564,6	566,6	578,3	567,5	568,2	552,0	551,8
41 à 50	555,5	558,7	550,2	547,7	554,8	554,5	552,4	558,4	559,2	553,7
51 à 60	554,6	558,3	554,3	550,4	555,7	552,4	557,3	554,0	555,2	558,1

Source : simulation de Cameroon Steel, graine aléatoire 10 (illustratif).

Défauts et réception sur chantier

Tableau D.11 Masse d'une barre de 12 m (figure 6.1)

Diamètre (mm)	Nominale (kg)	Minimale dans la tolérance (kg)	1 mm sous le nominal (kg)	Déficit de la barre sous-dimensionnée
8	4,74	4,46	3,63	23,4 %
10	7,40	7,07	5,99	19,0 %
12	10,66	10,18	8,95	16,0 %
14	14,50	13,84	12,50	13,8 %
16	18,94	18,08	16,65	12,1 %
20	29,59	28,26	26,71	9,8 %
25	46,24	44,16	42,62	7,8 %

Source : valeurs dérivées des diamètres nominaux et d'une masse volumique de 7 850 kg/m³ ; tolérance [S31][S32].

Tableau D.12 Probabilité de trouver au moins une barre trop légère (figure 6.2)

Barres pesées	10 % de barres trop légères	20 % trop légères	33 % trop légères	50 % trop légères
1	10 %	20 %	33 %	50 %
3	27 %	49 %	70 %	88 %
5	41 %	67 %	87 %	97 %
10	65 %	89 %	98 %	100 %

Source : valeurs dérivées : 1 moins (1 moins p) à la puissance n.

Tableau D.13 Étapes de la réception sur chantier (figure 6.3)

Étape	Action
1 Documents	Bon de livraison, certificat de réception (EN 10204 type 3.1), numéro du certificat produit, numéros de coulée sur les étiquettes
2 Marquage et étiquettes	Marque du fabricant et nuance laminées sur la barre ; étiquette de botte conforme au certificat et au bon de livraison
3 Peser	Peser trois barres entières par diamètre ; comparer à la masse nominale diminuée de 4,5 % (6 % pour les diamètres de 8 mm et moins)
4 Examiner et mesurer	Mesurer le diamètre sur nervures et l'espacement des nervures ; ni repliures, ni fissures, ni piqûres profondes, ni rouille qui s'écaille
5 Plier	Plier une éprouvette à 180 degrés autour d'un mandrin d'environ 4d (plus grand pour les gros diamètres) : aucune fissure à l'extérieur

Source : pratique recommandée par Cameroon Steel.

Tableau D.14 Prix homologué au kilogramme et prix effectif des barres trop légères (figure 7.2)

Barre	FCFA/kg à la masse nominale	4,5 % trop légère	10 % trop légère	16 % trop légère (un diamètre en dessous à 12 mm)
8 mm Fe400	612	641	680	728
8 mm Fe500	648	678	720	771
10 mm Fe400	602	631	669	717
10 mm Fe500	635	665	705	756
12 mm Fe400	601	629	667	715
12 mm Fe500	633	663	704	754
6 mm	575	602	639	685

Source : prix homologués rendus publics le 21 octobre 2023 [S11] ; valeurs au kilogramme dérivées (annexe A).

Durabilité

Tableau D.15 Humidité relative moyenne à 2 m, en %, 1991 à 2020 (figure 8.2)

Ville	janv.	févr.	mars	avr.	mai	juin	juil.	août	sept.	oct.	nov.	déc.	Année
Kribi	85	87	88	89	89	90	90	90	91	90	89	87	89
Douala	81	84	87	88	89	90	90	91	90	89	88	83	88
Yaoundé	77	81	86	88	88	88	88	90	90	89	86	80	86
Garoua	19	16	20	43	64	73	80	84	82	74	47	27	53

Source : API de climatologie NASA POWER, données modélisées [S50].

Tableau D.16 Années avant l'amorçage de la corrosion dans le modèle illustratif de pénétration des chlorures (figure 8.3)

Béton	D (m ² /s)	Enrobage de 25 mm	Enrobage de 40 mm	Enrobage de 50 mm
Béton médiocre : E/C d'environ 0,65, gâché sur chantier	$5,0 \times 10^{-12}$	1,6	4,1	6,4
Béton de structure courant : E/C d'environ 0,50	$1,5 \times 10^{-12}$	5,4	13,7	21,4
Béton marin durable : E/C de 0,40 avec laitier ou cendres volantes	$5,0 \times 10^{-13}$	16,1	41,1	64,2

Source : modèle illustratif : Cs = 1,5 %, Ccrit = 0,4 % en masse de liant (hypothèses, annexe A).

Produits et mise en œuvre

Tableau D.17 Importations du Cameroun par position du SH, en millions de dollars US (figure 9.1)

Position du SH	2019	2020	2021	2022	2023
SH 7213 fil machine	40,6	55,6	74,0	26,6	8,1
SH 7216 profilés	16,8	29,6	29,1	26,2	26,3
SH 7214 barres, dont ronds à béton	3,7	12,5	9,2	6,9	3,3
SH 7217 fils	2,8	4,0	5,3	6,3	5,1

Source : API publique UN Comtrade, données déclarées par le Cameroun [S52].

Tableau D.18 Calendrier indicatif de mise en œuvre (figure 10.1)

Mesure	Début	Fin	Pilote
R1 Publier l'essentiel de la NC 236 et la liste des laminoirs certifiés	2027 T1	2027 T2	ANOR
R2 Certification avec surveillance et essais d'audit	2027 T1	2028 T2	ANOR, laminoirs
R3 Surveillance du marché chez les revendeurs, résultats publiés	2027 T2	2030 T4	ANOR, MINCOMMERCE
R4 Homologation des prix à la tonne, et non à la barre	2027 T1	2027 T3	MINCOMMERCE
R5 Clause « ronds à béton certifiés » dans les marchés de travaux publics	2027 T1	2027 T4	MINMAP, ARMP
R6 Contrôles de réception sur chantier liés au permis de bâtir	2027 T3	2029 T2	MINHDU, communes
R7 Capacité d'essais accréditée dans chaque grande ville	2027 T3	2029 T4	ANOR, laboratoires
R8 Formation des maçons, chefs de chantier et ingénieurs	2027 T1	2030 T4	Industrie, écoles
R9 Règles de durabilité pour la côte (enrobage, formulations)	2027 T3	2028 T4	MINHDU, ANOR
R10 Rapport public annuel sur la conformité des ronds à béton	2028 T1	2030 T4	ANOR

Source : calendrier indicatif de Cameroon Steel ; trimestres approximatifs (T1 à T4).

CAMEROON STEEL

DE LA RESSOURCE MINÉRALE À LA VALEUR INDUSTRIELLE

Cameroon Steel développe un complexe sidérurgique à Mboro, dans la Zone industrialo-portuaire de Kribi, pour transformer le fer camerounais en barres, fils et profilés qui servent à bâtir l'Afrique centrale. Ce livre blanc est publié à titre d'information et ne constitue ni une offre ni un engagement.