

422.E - JUILLET 2024

# ÉTUDES ET RECHERCHES

DIMENSIONNEMENT  
DES BOUCLES DE LEVAGE  
EN ACIER DOUX POUR POUTRES  
PRÉFABRIQUÉES

LIONEL MONFRONT

**CERIB**  
Expertise concrète





# Dimensionnement des boucles de levage en acier doux pour poutres préfabriquées

## Avant-propos

Cette étude a été menée par le groupe de travail sur le levage constitué de l'OPPBTP<sup>1</sup>, EGF-BTP<sup>2</sup>, l'UMGO<sup>3</sup>, la FIB<sup>4</sup>, le CERIB, et le soutien financier de la FFB – DAT<sup>5</sup> pour la campagne d'essais en 2017.

Nous tenons à remercier les participants à ce groupe de travail animé par Arnaud Shwartzentruber, Jean Tarbes, Philippe Busi, Wilfried Pillard, Philippe Baudet, Julien Beideler, Xavier Julien, Olivier Andin, Jean-Paul Py, Martial Denuc, Patrick Cherel, Charbel El Helou, ainsi que l'usine Rector de Mulhouse pour la fabrication des corps d'épreuve.

Nous remercions également Matyas Rutmayer et Thierry Chevalier du CERIB qui ont réalisé cette campagne d'essais coordonnée par Jennifer Faleyieux.

Ce rapport est articulé en deux parties :

- la première partie est destinée au lecteur qui souhaite apprécier très rapidement si l'étude évoquée le concerne, et donc si les méthodes proposées ou si les résultats indiqués sont directement utilisables pour son entreprise ;
- la deuxième partie de ce document est plus technique ; on y trouvera donc tout ce qui intéresse directement les techniciens de notre industrie.

© 2024 CERIB – CS 10010 – 28233 Epernon Cedex

ISSN 0249-6224 – EAN 9782857553625

422.E – juillet 2024

Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction  
par tous procédés réservés pour tous pays.

*Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de son article L. 122-5, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite » (article L. 122-4).*

*Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon exposant son auteur à des poursuites en dommages et intérêts ainsi qu'aux sanctions pénales prévues à l'article L. 335-2 du Code de la propriété intellectuelle.*

---

<sup>1</sup> OPPBTP : Organisme Professionnel de Prévention du Bâtiment et des Travaux Publics

<sup>2</sup> EGF : Entreprises Générales de France - BTP

<sup>3</sup> UMGO : Union de la Maçonnerie et du Gros-CŒuvre

<sup>4</sup> FIB : Fédération de l'Industrie du Béton

<sup>5</sup> FFB-DAT : Fédération Française du Bâtiment-Direction Affaires Techniques

# Sommaire

---

<b>1. Synthèse</b>	<b>5</b>
<b>2. Dossier de l'étude</b>	<b>11</b>
2.1. Introduction	11
2.2. Référentiels techniques	12
2.2.1. Fascicule 65 du CCTG	12
2.2.2. FD CEN/TR 15728	15
2.2.3. Fiches OPPBTP	20
2.2.4. Recommandation INRS CNAMTS R362	22
2.2.5. Caractéristiques des crochets	23
2.2.6. Caractéristiques des boucles	25
2.2.7. Résumé de la problématique	32
2.3. Campagne expérimentale	33
2.3.1. Synthèse des essais réalisés	33
2.3.2. Protocole d'essai	34
2.3.3. Bâti d'essai	42
2.3.4. Chargement	43
2.3.5. Mesures	45
2.3.6. Résultats des essais	46
2.3.7. Conclusion des essais	56
2.3.8. Valeur maximale de l'effort statique des boucles de levage	60
2.3.9. Poids levable par une boucle	63
2.4. Conclusion	65
<b>Bibliographie</b>	<b>66</b>
<b>Annexes</b>	<b>69</b>
<b>Annexe 1 – - Vocabulaire</b>	<b>69</b>
<b>Annexe 2 – - Extraits des fascicule 65 du CCTG</b>	<b>71</b>
<b>Annexe 3 – - Extraits des FD CEN/TR 15728</b>	<b>79</b>
<b>Annexe 4 – Coefficients dynamiques applicables au levage</b>	<b>88</b>
<b>Annexe 5 – - Fiches OPPBTP</b>	<b>92</b>
<b>Annexe 6 – Extrait recommandation R362 INRS CNAMTS [8]</b>	<b>99</b>
<b>Annexe 7 – Extraits normes crochets NF EN 1677 [9] [10] [11] [12]</b>	<b>101</b>
<b>Annexe 8 – Extraits normes aciers NF A 35-015 et NF EN 10025</b>	<b>105</b>
<b>Annexe 9 – Certificats aciers</b>	<b>120</b>

Annexe 10 – Fabrication des poutres _____	122
Annexe 11 – Récapitulatif des résultats d’essais _____	126
Annexe 12 – Influence du nombre de cycles de chargement - essais «saumon» _____	135
Annexe 13 – Influence du ratio largeur B du crochet / diamètre nominal de mandrin de cintrage D de la boucle dans la plage du TR essais « verts » _____	142
Annexe 14 – Influence de l’angle de chargement essais « bleu clair » _____	149
Annexe 15 – Influence de la hauteur dépassante - essais « violets » _____	155
Annexe 16 – Influence du ratio largeur B du crochet / diamètre nominal de mandrin de cintrage D de la boucle - essais « rouges » _____	161
Annexe 17 – Influence du ratio largeur B du crochet / diamètre nominal de mandrin de cintrage D de la boucle - essais « jaunes » _____	165
Annexe 18 – Influence de la forme du crochet de levage - essais « bruns » _____	171
Annexe 19 – Influence de l’alternance des angles de chargement - essais « bleu foncé » _____	175
Annexe 20 – Introduction de la résistance à la traction dans la NF A 35- 015 : 2019 _____	179
Index des figures _____	180
Index des tableaux _____	180

# 1. Synthèse

---

Un groupe de travail associant OPPBTP/EGF-BTP/UMGO/FIB a été constitué pour clarifier les conditions de levage par boucles des poutres en béton et dégager une approche commune et partagée, sur la base des textes de référence en vigueur (Fascicule 65 du CCTG, FD CEN/TR 15728 , fiches OPPBTP ...) mais aussi des pratiques courantes d'évaluation appliquées pour d'autres produits.

Sur l'ensemble des 105 essais réalisés sur boucles de diamètres 12 et 16 mm en utilisant des crochets de levage de différentes largeurs, l'effort de rupture était indépendant :

- Du nombre de cycles de chargement jusqu'à 10 cycles, que les angles de chargement soient alternés ou non ;
- De la forme du crochet ;
- De l'angle de chargement jusqu'à 45°, sans toutefois remettre en cause la limitation à 30° usuelle ;
- De la hauteur dépassante de la boucle jusqu'à 40 cm avec blocage potentiel par des cadres dépassants.

Les essais ont permis de montrer une répétabilité des essais pour une même typologie de boucles de levage, à savoir pour une montée en charge régulière, une valeur d'effort de rupture constante et un faciès de rupture similaire selon la configuration.

Cette étude a porté sur le comportement propre des boucles de levage et ne couvre pas leurs conditions d'ancrage dans le béton ni la résistance de celui-ci lors de la première manutention qui doivent être maîtrisées.

Elle a permis d'établir la Fiche Prévention OPPBTP E4 F 14 18 « Manutention des poutres préfabriquées avec des boucles de levage » qui définit les CMU à prendre en compte pour les boucles de levage en acier B 235 C dont la résistance minimale à la traction de 350 MPa a été introduite dans la norme NF A 35-015 « Aciers pour béton armé - Aciers soudables lisses - Barres et couronnes » publiée en 2019.

# Manutention des poutres préfabriquées avec des boucles de levage

**Les poutres<sup>1</sup> préfabriquées en béton nécessitent des accessoires de levage<sup>2</sup> permettant leur manutention. Ceux-ci doivent posséder des caractéristiques précises et être utilisés de façon à éviter la chute des éléments manutentionnés.**

➔ Cette fiche complète le support E4 F01 10, dédié à la manutention des éléments préfabriqués avec des boucles de levage. À la suite de tests réalisés au CERIB, ce document apporte des précisions de dimensionnement pour le **cas particulier des poutres**. Les autres éléments préfabriqués ne sont pas concernés par les dispositions présentes.

## Évaluer les risques, réaliser l'examen d'adéquation

Les risques auxquels sont exposés les opérateurs lors du levage des poutres comprennent notamment les :

- heurts provenant de la poutre élinguée ;
- heurts consécutifs au décrochement de la charge, en raison d'une rupture ou d'une défaillance de l'engin ou encore d'un accessoire de levage ;
- heurts liés à une rupture partielle ou totale de la poutre ou de l'un de ses inserts<sup>3</sup> ;
- heurts par un accessoire de levage en mouvement, sans charge accrochée ;
- chutes de hauteur par effondrement du plan de travail consécutive à une chute de la poutre ;
- coincements de différentes parties du corps avec les accessoires de levage.

Compte tenu des nombreux risques de heurts liés à une défaillance des différents appareils et accessoires de levage, un examen d'adéquation est indispensable (*voir page 4*).

**Lors des manutentions des poutres préfabriquées en béton, les conditions d'utilisation et de manutention doivent être respectées afin d'assurer la sécurité des opérateurs.**

Les accessoires de levage doivent être adaptés aux inserts :

- pour les boucles de levage, cette fiche indique les conditions d'utilisation ;
- pour les inserts manufacturés, il faut se conformer à la notice d'utilisation, notamment à la fiche technique associée de chaque produit.

<sup>1</sup> **Poutre** : élément structurel dont une des dimensions est significativement plus longue que les deux autres, et dont la section permet de supporter une charge d'exploitation en plus de son poids propre. Une poutre est traditionnellement de section rectangulaire, mais elle peut également présenter une forme en I, L, T ou U. Les informations présentées dans la présente fiche supposent que la poutre ne présente aucun insert de levage dans un côté mince. Pour permettre leur manutention, les poutres préfabriquées nécessitent des accessoires de levage, et couramment des boucles en acier doux ou des inserts manufacturés.

<sup>2</sup> **Accessoire de levage** : ce terme désigne toutes les pièces qui permettent de relier l'engin de levage (grue) avec l'objet à manutentionner. Crochets, élingues, chaînes, poulies de répartition et manilles sont autant d'accessoires de levage.

<sup>3</sup> **Insert** : élément noyé dans le béton avant la prise, réputé solidaire de l'objet dans lequel il est inséré. Les inserts manufacturés sont des pièces fabriquées industriellement pour cet usage.

### Documents d'exécution

Les boucles, les accessoires et les conditions de manutention doivent respecter strictement les documents d'exécution, pour éviter les risques de détérioration ou de chute de la poutre préfabriquée.

Les documents d'exécution (plans de fabrication, plan d'assurance qualité, plan de contrôle de production en usine) doivent définir pour chaque poutre préfabriquée à lever les hypothèses correspondantes aux différentes phases de manutention :

- le repérage des points de levage ;
- la définition des boucles des différents points de levage (si possible, toutes identiques sur la même poutre) ;
- le poids de la poutre et la charge statique non pondérée à lever en chaque point si elle diffère du demi-poids ;
- le schéma d'élingage (angles d'élingage ou palonnier) ;
- les caractéristiques géométriques des crochets utilisables (voir figures 5 et 6) ;
- le type d'engins de levage et le coefficient dynamique de calcul associé le plus défavorable pour l'ensemble des manutentions prévues pour la poutre ;
- la résistance minimale requise du béton pour les manutentions.

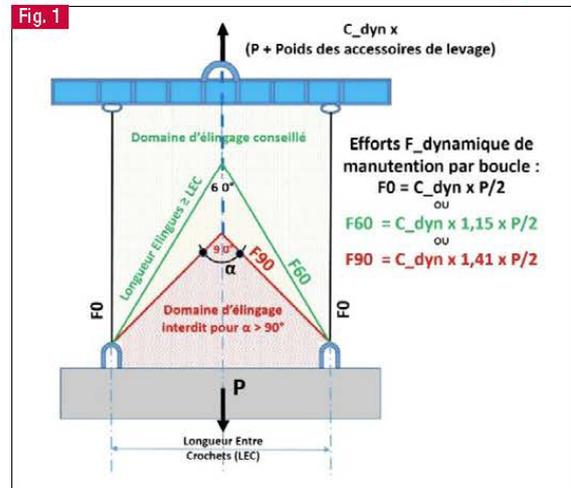
### Indications sur les efforts à reprendre

Les efforts globaux en jeu sont principalement :

- la masse de la poutre à lever ;
- le cas échéant l'adhérence au décoffrage ;
- la masse des accessoires de levage ;
- l'effet dynamique dû à l'accélération subie lors de la manutention, qui amplifie les masses d'un coefficient dynamique  $C_{dyn}$  de 1.2 (levage par grue à tour et portique), 1,4 pour un levage par grue mobile à poste fixe, jusqu'à 2,5 pour un levage avec déplacement sur un terrain plat et 4 sur terrain rugueux.

La répartition des efforts dépend du nombre, de la position des points de levage par rapport au **centre de gravité réel** et des accessoires de levage.

Le principe d'élingage (vertical avec un palonnier ou avec des chaînes ou des élingues) est schématisé sur la **figure 1** :



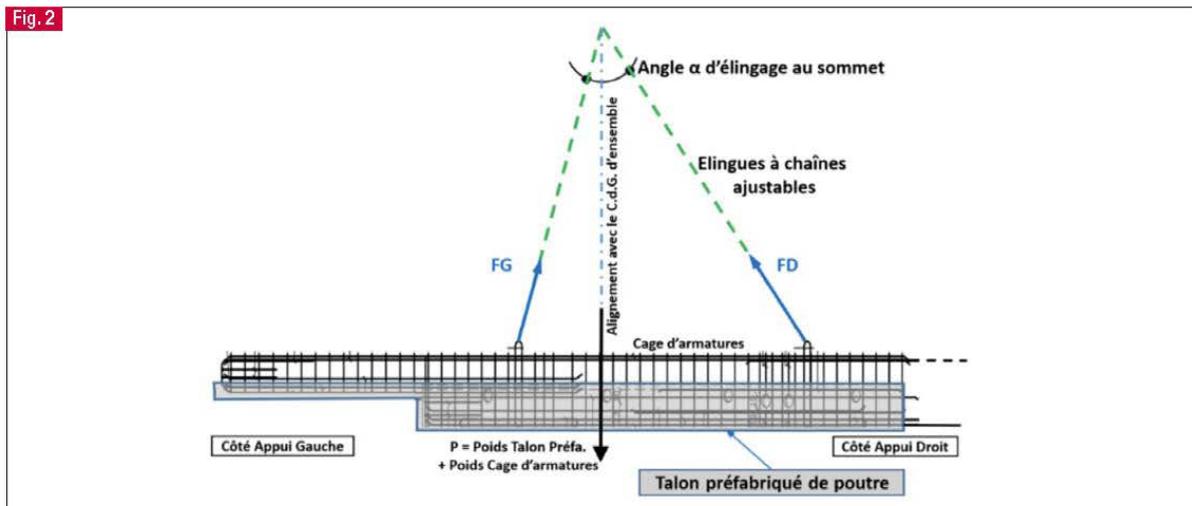
L'angle maximal d'élingage au sommet conseillé est de 60°. À titre exceptionnel, cet angle peut être au maximum de 90°. Les efforts  $F_{statique}$  de manutention au droit des boucles dépendent de l'angle d'élingage au sommet ( $\alpha$ ) : pour un cas symétrique, le coefficient d'élingage (projection de la charge verticale sur la direction des élingues) varie de 1 à 1,41.

L'effort  $F_{dynamique}$  incluant les effets dynamiques doit être repris par les boucles et les accessoires de levage.

Pour une poutre courante de poids  $P$ , symétrique, avec un angle d'élingage au sommet de 60° et un coefficient dynamique de 1,4 (cas de levage par grue mobile à poste fixe) :  $F_{dynamique} = 0,8 \times P$ .

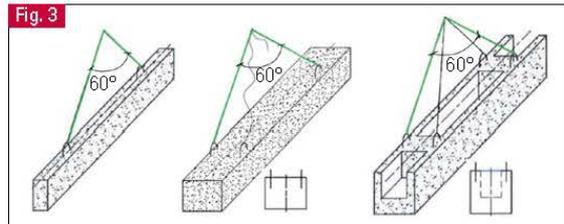
➡ Dans tous les cas, les études doivent être effectuées et les hypothèses renseignées sur les documents d'exécution.

Par exemple, pour le cas de la **figure 2**, il faut noter l'importance de déterminer le poids global (béton préfabriqué + armatures) et le centre de gravité global, ce qui conditionne la répartition des efforts FG et FD et la prévision des réglages éventuels des accessoires de levage :



En cas de levage par plus de deux points, une attention particulière doit être portée :

- pour assurer une répartition maîtrisée des charges entre les différents points de levage, il faut utiliser un dispositif d'équilibrage;
- pour les poutres, sauf dispositif spécial, même s'il y a quatre points de levage pour des raisons d'équilibrage transversal de poutres larges, seuls deux sont susceptibles d'être sollicités à la fois : **Figure 3**.



Lors de la conception de la poutre, il faut tenir compte des sujétions générées par les manutentions, notamment :

- l'effort de compression introduit dans la poutre en fonction de l'angle d'élingage;
- l'effet du porte-à-faux à chaque extrémité, le risque de déversement des poutres élancées;
- le risque de basculement en fonction de la position du centre de gravité par rapport aux boucles.

## Dimensionnement et mise en œuvre des boucles

### DIMENSIONNEMENT

➔ La valeur  $F_{\text{dynamique}}$  est à exploiter comme suit :

- pour les inserts manufacturés,  $F_{\text{dynamique}}$  est à comparer directement à la **charge maximale d'utilisation (CMU)** définie dans la notice d'utilisation, notamment la fiche technique associée de chaque produit, en prenant en compte la résistance requise du béton au moment de la première manutention sollicitant l'insert (généralement  $f_{ck} \geq 12$  MPa sur cylindre et  $f_{ck,cube} \geq 15$  MPa sur cube). Ceci doit figurer dans les documents d'exécution et la maturation du béton doit être suivie;
- pour les boucles de levage en acier doux B235C :
  - le façonnage des boucles de levage peut être du type 1 à 4 suivant la **figure 4**,
  - les boucles jumelées sont interdites,
  - la résistance des boucles de levage en B235C est essentiellement conditionnée par le rapport entre le diamètre de cintrage de la boucle (D) et la largeur (B) du crochet de levage (**figure 5**).

Fig. 4 : Façonnage des boucles Adx

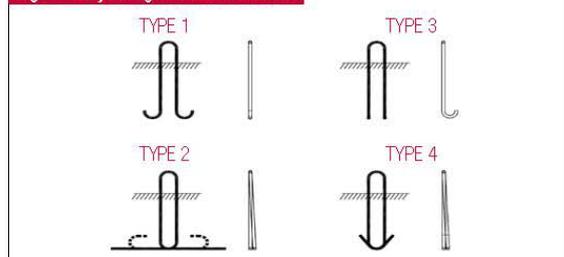
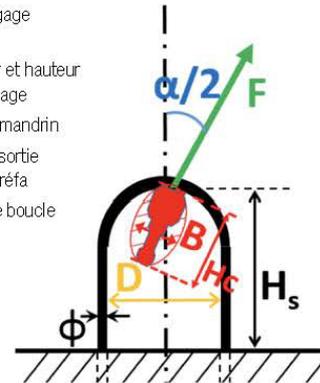


Fig. 5 : Mandrin de boucle Adx et crochet de levage

- $\alpha$  = angle d'élingage au sommet
- B et  $H_c$  = largeur et hauteur du crochet de levage
- D = diamètre de mandrin
- $H_s$  = hauteur de sortie de boucle de la préfa
- $\Phi$  = diamètre de boucle



La géométrie d'une boucle de levage en acier doux B235C doit répondre aux contraintes suivantes :

- le diamètre de cintrage D est au minimum de  $4\Phi$ . En pratique, on peut se baser sur les diamètres de cintrage des cas d'ancrage définis au tableau 2 de la NFA 35 027 ;
- la longueur d'ancrage dans la poutre préfabriquée doit tenir compte de la résistance minimale du béton requise pour les manutentions définies dans les documents d'exécution. Sauf justifications complémentaires détaillées, les ancrages doivent être réalisés dans des épaisseurs de béton armé minimales de  $11 \Phi$ ,  $\Phi$  étant le diamètre de la boucle de levage;
- le façonnage des boucles B235C de levage doit être réalisé suivant le DTU 21.

Pour les boucles de levage en acier B 235 C, de résistance minimale à la traction de 350 MPa pouvant être attestée par un certificat 3.1 et respectant les critères de la figure 6, les CMU à prendre en compte sont mentionnées dans le **tableau 1** ci-dessous.

Tableau 1

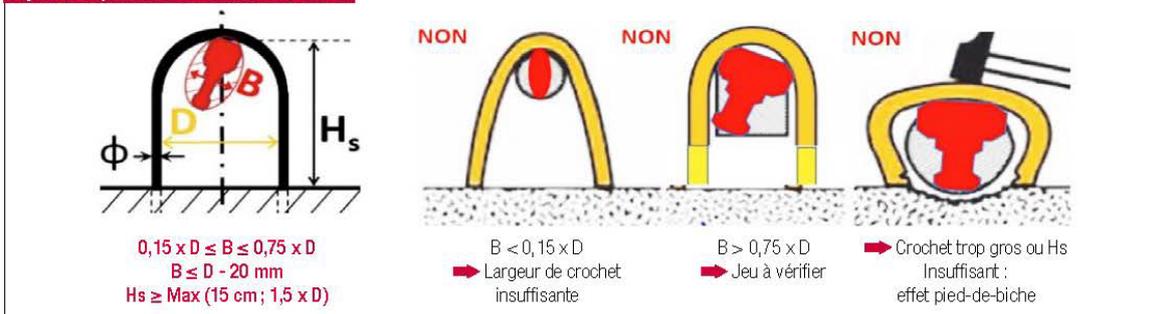
CMU (KN) de boucle Adx B 235 C, avec $R_m \text{ mini} = 350 \text{ Mpa}$									
$\varnothing$ (mm)=	8	10	12	14	16	20	25	32	40
CMU =	10,0	15,7	22,6	30,8	40,2	62,8	98,1	161	251

Note : lorsque les procédures internes de l'ensemble des intervenants démontrent que toutes les manutentions (depuis l'usine jusqu'à la pose définitive) s'effectuent avec des crochets de levage respectant le rapport  $B/D > 0,5$ , la CMU des boucles définies dans le tableau 1 peut être majorée de 15 %. Cette exception doit notamment être matérialisée dans les documents d'exécution reliant les parties prenantes.

### MISE EN ŒUVRE

- Les boucles doivent être maintenues pendant la phase de coulage pour garantir leurs positions et leurs enrobages et exemptes de produit de démoulage ;
- les parties externes des boucles doivent être peintes d'une couleur vive pour un repérage facile.

Fig. 6 : Adéquation crochet/boucle à vérifier



Certaines configurations (figure 6) sont défavorables.

### Examen d'adéquation

Cet examen consiste à vérifier que l'accessoire est approprié. Il aborde notamment :

- la conformité de l'accessoire (marquage, notice, attestation) ;
- les caractéristiques de la charge (poids, dimensions, centre de gravité) ;
- la résistance des points d'accrochage aux efforts transmis par l'accessoire ;
- la compatibilité de l'accessoire de levage avec les points d'accrochage de la charge, avec l'appareil de levage et les contraintes particulières du site ;
- les angles d'élingage et la longueur des brins permettant de présenter la pièce dans sa configuration souhaitée ;
- les règles d'utilisation et les conditions de mises au rebut ;
- l'ergonomie des postes de travail.

Suivant une procédure définie, l'ensemble des engins et accessoires de levage sont vérifiés régulièrement, afin de ne laisser en accès d'utilisation que ceux qui sont conformes et d'envoyer en réparation ou au rebut les autres. Toutefois, les utilisateurs doivent s'assurer visuellement du bon état et du fonctionnement attendu des accessoires de levage, notamment :

- l'absence de fissures des accessoires ;
- l'absence de déformation significative des accessoires ;
- le parfait fonctionnement de la sécurité antidécrochage (linguet, etc.) du crochet de levage.

Avant de procéder aux maintenances, il est obligatoire de réaliser un examen d'adéquation par rapport aux documents d'exécution. Ce dernier consiste à vérifier que :

- la poutre à lever est bien identifiée ;
- les positions des boucles et les accessoires en contact direct sont conformes ;
- la charge à lever est compatible avec l'ensemble des accessoires utilisés ;
- la poutre à lever et les accessoires sont compatibles avec l'ergonomie des postes de travail, l'environnement et le trajet de manutention prévu ;
- la poutre à lever ne présente pas de fissures au voisinage des boucles ;
- les crochets de levage sont compatibles avec les boucles, suivant la figure 6.

### Stockage et manutention

- Une poutre préfabriquée est couramment manipulée plusieurs fois pour les phases de fabrication, de stockage, de transport et de pose. Il est donc important de bien organiser les stockages afin d'éviter des manutentions supplémentaires. Les essais montrent que les performances des boucles ne sont pas modifiées jusqu'à 10 manipulations successives avec différents angles de levage ;
- il faut éviter tout endommagement ou pliage accidentel des boucles au cours des différentes phases et particulièrement lors du stockage ;
- en cas d'empilage des poutres préfabriquées les unes sur les autres, il faut veiller aux conditions d'appuis pour ne pas solliciter de façon non prévue dans les documents d'exécution.

Toute manutention sera précédée d'une mise en charge provisoire et d'une observation permettant de limiter les impacts d'une défaillance soudaine :

- levage de quelques décimètres en la maintenant une minute au moins au-dessus de ses appuis ;
- observation, à distance, de son comportement notamment autour des boucles (fissuration voire début d'arrachement suivant l'état de maturation du béton), en partie inférieure entre points de levage et en partie supérieure dans les zones en porte-à-faux ;
- observation de la stabilité à l'horizontale de la poutre.

Les manœuvres d'engins de levage doivent être réalisées en douceur, les élingues devant être tendues avant de lever une poutre (microvitesse).

### Documents à consulter

- CCTG, fascicule n° 65 (selon arrêté du 6 mars 2008) chapitre 7 « Armatures de béton armé ».
- Recommandation CNAM TS : R 362 de novembre 1991 éléments en béton de grandes dimensions.
- Norme Afnor NFA 35-015 Armatures pour béton armé - aciers lisses soudables.
- NF EN 1677
  - 1677-2 + A1 2008-06 : Partie 2 : Crochets de levage en acier forgé, à linguet - Classe 8 ;
  - 1677-3 + A1 2008-06 : Partie 3 : Crochets autobloquants en acier forgé - Classe 8.
- Rapport technique : « FD CEN/TR 15728 » version 2017 et version antérieure classement P 19-851 d'octobre 2008 « Conception et utilisation d'inserts pour le levage et la manutention des éléments préfabriqués en béton ».



■ Études et Recherches

## 2. Dossier de l'étude

---

### 2.1. Introduction

Les boucles de levage en acier doux sont utilisées depuis de nombreuses années pour le levage des poutres en béton.

Les textes de référence pour le calcul de ces boucles sont multiples et évolutifs : Fascicule 65 du CCTG de 1985 [1], 2008 [2] ou 2017 [3] ; FD CEN/TR 17258 de 2008 [4] ou 2017 [5], fiches OPPBTP (C2 F05 09 [7], E4 F01 10 [6]), guides de recommandation INRS CNAMTS (R362 [8]) ...

La lecture de l'ensemble de ces documents peut conduire à différentes interprétations par les industriels, les entreprises, les bureaux d'études ou les organismes de sécurité. Un groupe de travail a donc été créé afin d'identifier et de clarifier les conditions de levage et les impacts sur les capacités des boucles de levage en vue de dégager une approche commune pour leur justification.

Ce groupe de travail est constitué de :

- OPPBTP ;
- EGF-BTP ;
- UMGO ;
- FIB ;
- CERIB.

Cette étude a porté sur le comportement propre des boucles de levage et ne couvre pas leurs conditions d'ancrage dans le béton ni la résistance de celui-ci lors de la première manutention qui doivent être maîtrisées.

L'analyse des textes applicables aux boucles de levage, aux crochets de levage, aux aciers doux et une enquête auprès des différents acteurs de la construction ont permis de mettre en avant les points suivants à préciser :

- La définition du crochet (largeur, forme, types usuels) ;
- L'angle d'élingage ;
- Le nombre d'usages successifs de la boucle de levage ;
- La prise en compte des angles alternés ou non ;
- La hauteur dépassante de la boucle ;
- Les caractéristiques de la boucle de levage (cintrage, acier) ;
- Le coefficient dynamique à prendre en compte.

Une campagne expérimentale de 105 essais a ensuite permis de vérifier l'influence de ces principaux paramètres sur la capacité des boucles de levage. Par ailleurs, cette étude s'interroge également sur le coefficient dynamique adéquat à prendre en compte.

## 2.2. Référentiels techniques

### 2.2.1. Fascicule 65 du CCTG

#### 2.2.1.1. Fascicule 65 du CCTG version 2008

Le Fascicule 65 du CCTG dans sa version de 2008 [2] est le document de référence en vigueur pour le calcul des boucles de levage. Des extraits de ce document sont donnés en Annexe 2.

Il définit à l'article 92.4 « Dispositifs d'accrochage incorporés au béton » :

*La valeur maximale de l'effort statique que l'on peut appliquer à une épingle de diamètre  $\emptyset$  (mm) a pour intensité dans les conditions les plus favorables :*

$$F(kN) = 0,15 \emptyset^2 (mm)$$

*On appelle ici épingles les barres en acier utilisées pour la manutention d'éléments en béton préfabriqué, ancrées par courbure dans l'élément. Elles sont réalisées obligatoirement en acier présentant des garanties de ductilité suffisantes pour cet usage. Par exemple rond lisse de nuance Fe E 235.*

*Le diamètre intérieur  $d$  de la boucle de l'épingle doit être supérieur à quatre fois le diamètre de celle-ci, et à l'épaisseur du crochet utilisé au cours des manutentions.*

*Enfin, si  $r$  est le rayon de courbure de la section de crochet en contact avec la boucle, on doit avoir :*

$$0,30 d < r < 0,50 d$$

*Pour chaque élément préfabriqué, les dessins indiquent le rayon du crochet en acier forgé à utiliser, qui doit être le même pour les diverses manutentions.*

*La boucle doit former un demi-cercle complet et non être constituée de deux parties parallèles raccordées par une partie rectiligne.*

*Les crochets d'ancrage des deux branches de l'épingle présentent un rayon de courbure intérieur au moins égal à  $2,5 \emptyset$ .*

En note :

*Les diamètres d'épingles les plus couramment utilisés de 10 à 32 mm.*

L'article 93 « Manutention, stockage » indique également que :

*« Dans le cas d'emploi d'épingles de manutention, l'effort sollicitant une épingle doit toujours être dans le plan de celle-ci et parallèle à ses branches ».*

L'article 59.4 « Règles d'abattement en cas de remplacement » des ouvrages provisoires indique également un coefficient d'abattement en fonction du nombre d'usages successifs :

*« Au cas où des étalements feraient l'objet, sans démontage, de plusieurs usages successifs sur un même chantier, il en est tenu compte par un abattement (application d'un coefficient réducteur  $\alpha$ ) de l'estimation de leur capacité portante à l'état de neuf (\*).*

*(\* ) A titre indicatif, le coefficient  $\alpha$  peut, à défaut d'autre information (par exemple, résultat d'épreuves de comportement), être évalué comme suit pour des étalements de conception classique :*

<i>Nombre d'usages successifs</i>	<i>2</i>	<i>3 ou 4</i>	<i>5 à 7</i>	<i>8 à 10</i>	<i>&gt; 10</i>
<i>Valeur de <math>\alpha</math></i>	<i>0,95</i>	<i>0,90</i>	<i>0,85</i>	<i>0,80</i>	<i>0,75</i>

*L'attention est attirée sur ce que ce coefficient peut ne pas suffire à couvrir les effets d'un dommage grave (par exemple pièce principale fortement faussée du fait d'un choc). Par ailleurs, ce coefficient n'a pas pour objet de couvrir les effets d'une réduction notable de section par corrosion.*

*Ces valeurs sont établies pour des ouvrages provisoires considérés dans leur ensemble et non pas nécessairement pour chacun de leurs éléments constitutifs. Elles ne sont pas applicables aux étalements explicitement conçus et justifiés pour le rempli. »*

### 2.2.1.2. Fascicule 65 du CCTG version 2017

Dans le fascicule 65 de décembre 2017 [3], on retrouve la formule de calcul de l'effort statique et la limitation sur le rayon de courbure de la section de crochet en contact avec la boucle.

Des extraits de ce document sont donnés en Annexe 2.

L'ensemble des points cités en 2.2.1.1 de la version 2008 se retrouvent à l'article 9.1.2. « Dispositifs de levage incorporés au béton » et à l'article 5.3.6.4. « Règles d'abattement en cas de réemploi ».

Les points différents de la version de 2008 sont :

*On appelle ici épingles les barres en acier lisse de nuance **B235C** utilisées pour la manutention d'éléments en béton préfabriqué, ancrées par courbure dans l'élément.*

*Le diamètre nominal de l'acier des épingles est au moins égal à **8 mm**.*

« Les crochets d'ancrage des deux branches de l'épingle présentent un rayon de courbure intérieur au moins égal à  $2,5 \varnothing$  » est remplacé par :

*« Le diamètre intérieur de cintrage des crochets d'ancrage des deux branches de l'épingle est au moins égal à  $5 \varnothing$ . »*

Cette version rajoute une note qui renvoie au FD CEN/TR 15728 [4] :

*« L'application des recommandations du fascicule de documentation CEN/TR 15728 « Conception et utilisation d'inserts pour le levage et la manutention des éléments préfabriqués en béton » constitue un moyen de justification. »*

### 2.2.1.3. Fascicule 65 du CCTG version 1985

La version du Fascicule 65 du CCTG de 1985 [1] permet de retrouver la justification de la formule de calcul de l'effort statique maximal. Des extraits de ce document sont donnés en Annexe 2.

Les points cités en 2.2.1.1 de la version 2008 se retrouvent en annexe technique T33.1 « Epingles de manutention des éléments en béton préfabriqués » et T31.3 article 4 5.3.6.4. « Règles d'abattement en cas de remploi ».

Les points différents de la version de 2008 sont :

La référence à la nuance d'acier *Fe E 235* et les diamètres d'épingles les plus couramment utilisés de 10 à 20 mm.

*La résistance à la rupture d'une épingle, sollicitée en traction par une force  $F$  située dans son plan et parallèle à ses branches, appliquée par l'intermédiaire d'un mandrin de section transversale circulaire de diamètre légèrement inférieur au diamètre intérieur  $d$  de la boucle, ne dépasse pas, dans les conditions les plus favorables, les 80 % de la somme des résistances à la rupture des deux branches de l'épingle.*

*« En fonction des dispositions prévues pour les manutentions, on détermine l'effort statique maximal  $F$  sollicitant une épingle au cours des différentes opérations envisagées, effort qui doit toujours être dans le plan de l'épingle et parallèle à ses branches. On majore cet effort de 25 % au moins pour tenir compte de l'effet des à-coups au démarrage et au freinage des appareils de levage.*

*La contrainte de traction de l'épingle de diamètre  $\varnothing$  ne doit pas excéder les deux tiers de la limite élastique.*

$$\sigma_s = \frac{1}{2} * \frac{1,25 * F}{0,8 * \frac{\pi \varnothing^2}{4}} \leq \frac{2}{3} f_{yk}$$

*En d'autres termes, l'effort statique  $F$  exprimé en kN qu'on peut faire supporter dans les conditions les plus favorables par une épingle de diamètre  $\phi$ , exprimé en centimètres, a pour intensité  $F(kN) = 15 \phi^2(cm)$  »*

Sans arrondi, on aurait :

$$F \leq 2 * A_s * f_{yk} / 2,34$$

Soit pour des aciers de limite d'élasticité  $f_{yk} = 235 MPa$

$$F(kN) \leq 0,157 * \phi^2(mm)$$

#### 2.2.1.4. Les questions posées par rapport à la pratique et les interprétations

Les différentes versions du Fascicule 65 du CCTG [1] [2] [3] présentent des évolutions, concernant :

- La nuance d'acier des boucles de levage a évolué de Fe E 235 vers B235C et les versions successives de la norme NF A 35-015 [13] [14] [15] [16] [17] ont fait évoluer les caractéristiques mécaniques acier (principalement la résistance à la traction garantie), or la formule de calcul du Fascicule 65 du CCTG [1] [2] [3] est restée inchangée. Il est donc nécessaire de s'interroger sur l'évolution des caractéristiques des aciers garanties par les versions successives de la norme (voir 2.2.6 du présent document) ;
- Le Fascicule 65 du CCTG [1] [2] [3] fait référence au rayon de courbure de la section de crochet en contact avec la boucle qui n'est pas défini par les normes de crochets NF EN 1677. Il convient donc d'analyser ces normes et de définir les caractéristiques disponibles des crochets (voir 2.2.5 du présent document) ;
- La plage imposée du rayon de courbure de la section de crochet en contact avec la boucle entre  $0,30 d < r < 0,50 d$ ,  $d$  étant le diamètre intérieur de la boucle de l'épingle, paraît restreinte, et ne correspond pas à la largeur courante des crochets sur chantier. Il convient de s'interroger sur la plage d'application de la formule de calcul du Fascicule 65 du CCTG [1] [2] [3] ;
- Le diamètre minimal de la boucle de levage n'est pas explicitement défini dans le Fascicule 65 du CCTG de 2008 [2], la note précisant seulement que les diamètres couramment utilisés sont de 10 à 32 mm. Il est en revanche défini dans la version de 2017 [3] à 8 mm.
- Le Fascicule 65 du CCTG [1] [2] [3] fixe un effort dans le plan de l'épingle et parallèle aux branches, ce qui n'est pas toujours le cas en usine ou sur chantier où la boucle peut être sollicitée hors plan. Il convient donc de s'interroger sur les différents cas de chargement qui peuvent être justifiés par la formule de calcul du Fascicule 65 du CCTG [1] [2] [3] ;
- Le Fascicule 65 du CCTG [1] [2] [3] indique un coefficient d'abattement en fonction du nombre d'usages successifs pour les ouvrages provisoires. Il convient de vérifier si ces coefficients sont applicables et adaptés aux boucles de levage ;
- Un coefficient dynamique de 1,25 est intégré à la formule de calcul du Fascicule 65 du CCTG [1] [2] [3] basé sur un dimensionnement en service. Il convient de vérifier que ce coefficient dynamique est suffisant et de déterminer la manière d'intégrer un coefficient dynamique à la rupture en parallèle de l'évolution de la norme acier NF A 35-015 [13] [14] [15] [16] [17] ;
- Un coefficient de forme ou formage de 0,8 est inclus dans la formule de calcul du Fascicule 65 du CCTG [1] [2] [3]. Il convient de vérifier que ce coefficient est adapté.

On se basera dans toute la suite du rapport sur la formule de calcul reconstituée sans arrondi du Fascicule 65 du CCTG [1] [2] [3] :

$$F(kN) \leq 0,157 \cdot \phi^2(mm)$$

## 2.2.2. FD CEN/TR 15728

### 2.2.2.1. FD CEN/TR 15728 de 2008

Des extraits du FD CEN/TR 15728 de 2008 [4] sont donnés en Annexe 3.

« Il convient que le matériau pour les crochets de levage obtenus à partir de barres lisses équivalente à S235J2 +N de l'EN 10025-2 [19] »

« Il convient de n'utiliser des boucles de levage que si l'angle de levage est approximativement le même dans toutes les situations de levage et de manutention. »

« L'angle de chargement est limité à  $\beta=30^\circ$ , et « on peut s'attendre à une réduction de la capacité de charge de 15 % par  $10^\circ$  d'angle de chargement ».

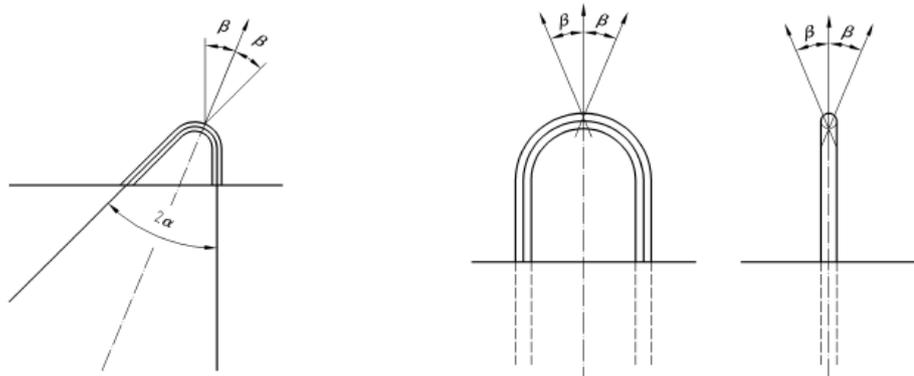


Figure 1 – Angle de chargement pour les boucles de levage - Figure 14 du FD CEN/TR 15728 (2008) [4]

Les coefficients partiels  $\gamma_s$  recommandés pour la rupture de l'acier sont donnés à l'article 4.2.2 Tableau 1.

« Ces valeurs sont basées sur les valeurs caractéristiques ultimes ( $R_{uk}$ ,  $f_{uk}$ ). Pour les boucles en acier plein, les câbles en acier et les torons de précontrainte, le coefficient partiel  $\gamma_s$  est basé sur la résistance caractéristique de la boucle, et inclut les effets du crochet de levage. ».

Type d'insert	$f_{uk} \leq 800N/mm^2$ et $f_{yk} / f_{uk} \leq 0,8$	$f_{uk} > 800N/mm^2$ ou $f_{yk} / f_{uk} > 0,8$
Systèmes de levage en acier plein	Maximum (1,5 ; $1,2 f_{uk}/f_{yk}$ )	1,7
Boucles de levage (barres lisses) en acier plein	2,0	—
Câbles d'acier	—	1,8
Torons de précontrainte	—	1,8

\* Il convient que le matériau pour les boucles de levage des barres lisses équivalente au moins à S235J2+N.

Tableau 1 – Coefficients partiels  $\gamma_s$  pour la rupture de l'acier – Tableau 1 du FD CEN/TR 15728 (2008) [4]

Les actions dynamiques sont définies à l'article 5.4 avec des coefficients dynamiques dépendant du type de dispositif de levage, les valeurs ci-après peuvent être prises en compte en l'absence de réglementations nationales :

Influences dynamiques	Coefficient dynamique ( $\psi_{dyn}$ )
Grue à tour et grue à portique	1,2 *)
Grue mobile	1,4 *)
Levage et déplacement sur terrain plat	2 — 2,5
Levage et déplacement sur terrain rugueux	3 — 4
*) Des valeurs inférieures peuvent être appropriées dans les usines de préfabrication et si des dispositions spéciales sont prises.	

Tableau 2 – Influence des actions dynamiques – Tableau 4 du FD CEN/TR 15728 (2008) [4]

Les actions sont ensuite calculées pour les situations de levage comme :

$$E_d = \gamma_G * G + (\Psi_{dyn} - 1) * \gamma_Q * G$$

$\gamma_G$  et  $\gamma_Q$  sont respectivement les coefficients partiels de sécurité pour les actions permanentes et variables.

En l'absence de dispositions nationales, les valeurs  $\gamma_G = 1,15$  et  $\gamma_Q = 1,5$  sont recommandées.

L'Annexe 4 recense les différents coefficients dynamiques cités dans les textes de référence et permet de retrouver les valeurs ci-dessus à partir des Eurocodes.

Le FD CEN/TR 15728 de 2008 [4] laisse la possibilité de tester les inserts dans son annexe A informative « Dispositions pour tester les inserts pour des situations spécifiques de levage et de manutention »

*« L'objectif de ces essais est de fournir des informations fiables sur les propriétés de résistance d'un insert particulier pour un domaine d'application limité »*

### 2.2.2.2. FD CEN/TR 15728 de 2017

Des extraits du FD CEN/TR 15728 : 2017 [5] sont donnés en Annexe 3.

L'avant-propos fait directement référence au Fascicule 65 du CCTG et à la formule de calcul des boucles de levage :

*« Le fascicule 65 du Cahier des clauses techniques générales « EXÉCUTION DES OUVRAGES DE GÉNIE CIVIL EN BÉTON » précise la nuance d'acier lisse pour les boucles de levage (définie dans la norme NF A 35-015) et la valeur maximale de l'effort statique que l'on peut appliquer à une boucle (épingle) de manutention de diamètre  $\emptyset$  (mm) qui a pour intensité dans les conditions les plus favorables :  $F$  (kN) =  $0,15 \emptyset^2$  »*

La capacité en traction de la boucle de levage de diamètre  $\emptyset$  est réduite en fonction du diamètre de cintrage de la boucle  $d$ , et la largeur du crochet B est fonction de ce même diamètre de cintrage (Tableau 6 du TR).

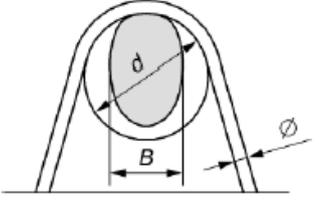
Diamètre de cintrage d	Largeur du crochet B	$k_1$	
$\geq 2 \times \emptyset \geq 25 \text{ mm}$	$d/2 \leq B \leq d$	0,65	
$\geq 4 \times \emptyset$ (minimum pour les torons)		0,80	
$\geq 6 \times \emptyset$		0,90	

Tableau 3 – Coefficient de réduction de la capacité des boucles de levage à barres lisses en fonction de la dimension du crochet de levage – Tableau 6 du FD CEN/TR 15728 (2017) [5]

La capacité de l'acier est alors de :

$$N_{Rd,s} = k_1 \cdot f_{yd} \cdot 2 \cdot A_s = k_1 \cdot \frac{f_{yk}}{2,07} \cdot 2 \cdot \frac{\pi \phi^2}{4}$$

Avec un diamètre de cintrage supérieur ou égal à  $6 \phi$  et donc un  $k_1 = 0,9$  on trouve :

$$N_{Rd,s} = 0,9 \cdot \frac{f_{yk}}{2,07} \cdot 2 \cdot A_s = 2 \cdot A_s \cdot f_{yk} / 2,3$$

(voir les coefficients partiels de sécurité pour la rupture de l'acier au Tableau 1 article 4.4.2.2 du FD CEN/TR 15728 (2017) [5]).

Les différentes versions du Fascicule 65 du CCTG [1] [2] [3] donnaient quant à elles :

$$F \leq 2 \cdot A_s \cdot f_{yk} / 2,34$$

Ce que l'on retrouve dans le FD CEN/TR 15728 de 2017 [5] au Tableau 3 pour la France :

Vérification de		4.3.3	Fascicule 65 (France)	VDI/BV-BS 6205 a (Allemagne)	Conc. Elem. Book, C5 édition 2013 (Norvège)	PCI (pour information : USA)	Directive « Machines » 2006/42/CE a
Inserts	Acier de construction	3,0 <sup>b</sup>		3 <sup>f</sup>	3,04 <sup>b</sup>		4 <sup>c</sup>
	Acier d'armature (barres lisses)	2,8 <sup>b</sup>	2,35 <sup>b</sup>		2,80 <sup>b</sup>		
	Torons de précontrainte	2,8 <sup>b</sup>			2,80 <sup>b</sup>		
	Câbles métalliques	2,8 <sup>b</sup> 4,3 <sup>ce</sup>		4 <sup>f</sup>	2,80 <sup>b</sup> 4,30 <sup>ce</sup>	4 <sup>c</sup>	5 <sup>c</sup>
Béton	Rupture du béton	3,0		2,5 ou 2,1 <sup>d</sup>	3,04	4	
	Armature d'ancrage	2,3 <sup>b</sup>			2,33 <sup>b</sup>	4 <sup>c</sup>	

a La Directive « Machines » 2006/42/CE inclut un facteur dynamique. La VDI/BV-BS 6205 suppose que ce facteur est égal à 1,3.  
 b Vérification pour  $f_{yk}$ ,  $f_{0,1k}$  ou  $f_{0,2k}$  (limite d'élasticité),  $F_{p0,1}$  (force à la limite conventionnelle d'élasticité de 0,1 %).  
 c Vérification par calcul pour  $f_{tk}$  (résistance de rupture à la traction),  $F_{min}$  (effort de rupture à la traction).  
 d  $\gamma = 2,1$  peut être appliqué si les inserts de levage sont mis en place dans des éléments préfabriqués et font l'objet d'une inspection spécifique et continue en usine.  
 e  $2,8 \times k = 2,8 \times 1,54 = 4,3$ .  
 f Vérification par calcul pour  $f_{tk}$  (résistance de rupture à la traction), ou vérification par des essais pour  $R_k$  (valeur caractéristique de l'insert).

Tableau 4 – Facteurs globaux de sécurité – Tableau 3 du FD CEN/TR 15728 (2017) [5]

En revanche le Fascicule 65 du CCTG de 2017 [3] indique que « La résistance à la rupture d'une épingle, sollicitée en traction par une force  $F$  située dans son plan et parallèle à ses branches, appliquée par l'intermédiaire d'un mandrin de section transversale circulaire de diamètre légèrement inférieur au diamètre intérieur  $d$  de la boucle, ne dépasse pas, dans les conditions les plus favorables, les 80 % de la somme des résistances à la rupture des deux branches de l'épingle », soit la valeur de  $k_1$  pour un diamètre de cintrage supérieur à  $4\Phi$ .

Dans cette version du FD CEN/TR 15728 [5], il est mentionné :

« Il convient de n'utiliser des boucles de levage que si l'angle de levage est approximativement le même dans toutes les situations de levage et de manutention », et il convient que l'angle de chargement  $\beta$  (angle entre la direction de l'effort et l'axe de l'insert) ne soit pas supérieur à  $30^\circ$  :

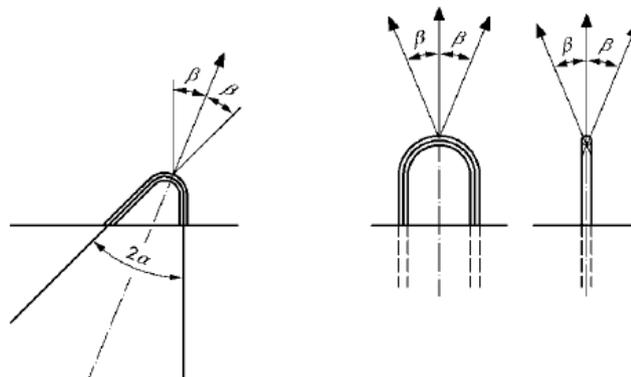


Figure 2 – Angle de chargement pour les boucles de levage - Figure 23 du FD CEN/TR 15728 (2017)

Il n'y a plus dans cette version du FD CEN/TR 15728 [5] d'abattement en fonction de l'angle de chargement, mais seulement l'indication :

*«L'ingénieur structures doit tenir compte de la forme de l'insert de levage par rapport à l'angle de levage pour déterminer la répartition de la charge entre les branches de l'ancrage. Dans les situations extrêmes, une seule des branches peut être active »*

Les actions dynamiques sont définies à l'article 5.4 avec des coefficients dynamiques dépendant du type de dispositif de levage, les valeurs ci-dessous peuvent être prises en compte en l'absence de réglementations nationales :

Sollicitations dynamiques	Coefficient dynamique ( $\Psi_{dyn}$ )
Grue à tour, pont roulant et grue à portique	1,2 <sup>a</sup>
Grue mobile	1,4 <sup>a</sup>
Levage et déplacement sur terrain plat	2 à 2,5
Levage et déplacement sur terrain accidenté	3 à 4
<sup>a</sup> Des valeurs inférieures peuvent être appropriées dans les usines de préfabrication et si des dispositions spéciales sont prises au niveau du site de construction.	

Tableau 5 – Influence des actions dynamiques – *Tableau 5 du FD CEN/TR 15728 (2017) [5]*

Les actions sont calculées pour les situations de levage comme :

$$E_{d,dyn} = \Psi_{dyn} * G * \gamma_{charge}$$

En l'absence de dispositions nationales, la valeur  $\gamma_{charge} = 1,35$  est recommandée.

L'Annexe 4 recense les différents coefficients dynamiques cités dans les textes de référence et permet de retrouver les valeurs ci-dessus à partir des Eurocodes.

Le FD CEN/TR 15728 de 2017 [5] laisse la possibilité de tester les inserts pour des situations définies de levage et de manutention au chapitre 7 « Conception des inserts de levage et des ancrages dans le béton par essais ».

### 2.2.2.3. Les questions posées par rapport au Fascicule 65 du CCTG et à la pratique

Les deux versions du FD CEN/TR 15728 présentent des différences entre elles et par rapport au Fascicule 65 du CCTG, concernant :

- La nuance d'acier utilisée : le FD CEN/TR 15728 [4] [5] mentionne l'acier S235J2 +N. Ses limites d'élasticité et résistances à la traction diffèrent de celles des aciers définis dans le Fascicule 65 du CCTG (Fe E 235 ou B235C), et de nouvelles caractéristiques sont ajoutées (J2+N), qui caractérisent l'énergie de rupture en flexion par choc et le traitement thermique de normalisation (voir 2.2.6.1) ;
- Le FD CEN/TR 15728 [4] [5] ouvre aussi la porte à des aciers aux caractéristiques équivalentes à un S235J2 +N :
 

« Il convient que le matériau pour les crochets de levage obtenus à partir de barres lisses équivalente à S235J2 +N de l'EN 10025-2 (version de 2008 [4]) » et « Il convient que le matériau pour les boucles de levage à barres lisses soit au moins équivalent à S235J2 +N. Pour des qualités supérieures, il convient de vérifier les propriétés du matériau concernant la fragilité, notamment à basses températures » (version de 2017 [5]).

- Le Fascicule 65 du CCTG fait référence au rayon de courbure de la section de crochet en contact avec la boucle, tandis que le FD CEN/TR 15728 [4] [5] fait référence à la largeur du crochet, dimension qui semble plus simple à identifier. Il convient de vérifier l'impact de ces dimensions sur la valeur de résistance à la rupture des boucles de levage ;
- Le FD CEN/TR 15728 [4] [5] introduit des coefficients dynamiques en fonction des dispositifs de levage utilisés, plus importants que le facteur 1,25 pris en compte dans le Fascicule 65 du CCTG pour le dimensionnement en service. Il convient donc de clarifier les modalités de choix du coefficient dynamique ;
- Le FD CEN/TR 15728 de 2008 [4] introduit un abattement en fonction de l'angle de chargement, qui a toutefois été supprimé de la version 2017 du FD CEN/TR 15728 [5]. Il convient de vérifier l'influence de cet angle de chargement sur la capacité de levage de la boucle ;
- Le FD CEN/TR 15728 [4] [5] laisse la possibilité de tester les inserts pour des situations définies de levage et de manutention dans son annexe A informative de la version de 2008 [4] et au chapitre 7 « Conception des inserts de levage et des ancrages dans le béton par essais » de la version de 2017 [5]. Les conditions de réalisation de ces essais doivent être intégrées dans la définition de la campagne expérimentale de cette étude ;
- Le FD CEN/TR 15728 [4] [5] (versions de 2008 et 2017) impose de n'utiliser des boucles de levage que si l'angle de levage est approximativement le même dans toutes les situations, ce qui n'est pas forcément le cas entre les différentes manutentions, en usine et sur chantier par exemple. Il convient donc de vérifier l'influence d'une alternance des angles de chargement sur la résistance à la rupture des boucles de levage.

## 2.2.3. Fiches OPPBTP

### 2.2.3.1. Fiche OPPBTP E4 F01 10

La fiche OPPBTP E4 F01 10 « Manutention des éléments préfabriqués avec des boucles de levage » de 2010 [6] est reproduite en Annexe 5.

Cette fiche OPPBTP précise que :

*« Les boucles sont réalisées avec des armatures en Fe E 235, l'acier doit être de caractéristiques au moins égales à celles de l'acier Fe E 235.*

*Aucune boucle ne doit être réalisée en fer rond d'un diamètre inférieur à 10 mm lorsqu'il s'agit d'acier Fe E 235.*

*Le diamètre intérieur de façonnage de la boucle ne doit pas être inférieur à 4 fois le diamètre de l'acier utilisé.*

*Enfin, si  $r$  est le rayon de courbure de la section de crochet de levage en contact avec la boucle, on doit avoir :*

$$0,30 D < r < 0,50 D$$

*Lorsque les boucles sont prévues pour des éléments préfabriqués longs (poutres par exemple), incorporer ces pièces en oblique afin de tenir compte de l'angle des élingues par rapport à la verticale et réduire ainsi les efforts sollicitant les boucles.*

*Le façonnage de la boucle et sa sollicitation par le crochet de levage réduisent sa résistance de 20 %.*

*Les efforts de levage peuvent entraîner une majoration dynamique supérieure à 25 % . »*

Elle contient la plupart des informations du Fascicule 65 du CCTG (acier Fe E 235, formule sur le rayon de courbure de la section de crochet en contact avec la boucle...) dont les coefficients de façonnage et de majoration dynamique indiqués dans le Fascicule 65 du CCTG de 1985.

Des précisions sont ajoutées sur la hauteur dépassante de la boucle de levage et sur l'interdiction d'utiliser des crochets à arêtes trop vives que l'on rencontre toutefois parfois dans la pratique.

« Le dépassement de la boucle de levage par rapport au nu du béton de l'élément préfabriqué et son diamètre de façonnage doivent être au minimum nécessaires au passage du crochet de l'appareil de levage.

Un élément préfabriqué est couramment manipulé plusieurs fois, on organisera donc les stockages afin d'éviter les manipulations supplémentaires et on évitera tout endommagement ou pliage des boucles au cours des différentes phases.

On proscriit le levage avec un crochet de trop faible diamètre, à arêtes vives ou un crochet trop gros, ainsi que les efforts obliques. »

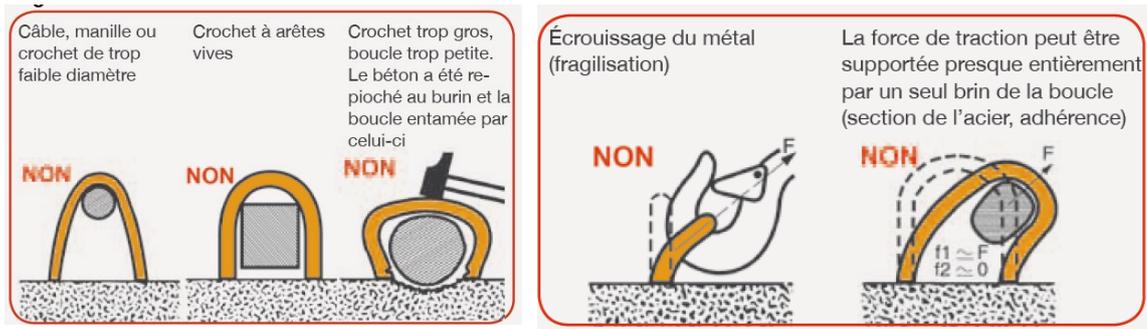


Figure 3 – Méthodes et efforts obliques à proscrire (Fig. 6 et 7 de la fiche OPPBTP E4 F01 10 [6])

### 2.2.3.2. Fiche OPPBTP C2 F05 09

La fiche OPPBTP C2 F05 09 « Crochets de levage utilisés dans la constitution des accessoires de levage » de 2009 [7] est reproduite en Annexe 5.

Cette fiche OPPBTP [7] précise que :

« La partie du crochet sur laquelle repose la charge à lever s'appelle le siège. »

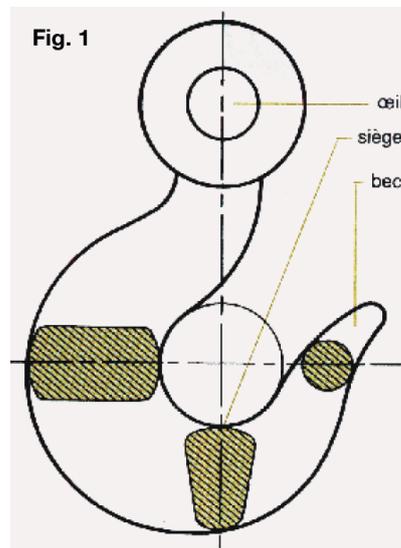


Figure 4 – Définition du siège du crochet de levage – extrait de la fiche OPPBTP C2 F05 09 [7]

« Les crochets sont définis par un numéro de profil auquel correspond une géométrie donnée. A numéro de profil identique, un crochet peut être réalisé en plusieurs nuances d'acier correspondant dans la pratique à deux classes de résistance, 4 et 8, et à des capacités de charge différentes. »

### 2.2.3.3. Les questions posées par rapport au Fascicule 65 du CCTG et à la pratique

La fiche OPPBTP E4 F01 10 [6] mentionne d'ailleurs :

*« Aucune boucle ne doit être réalisée en fer rond d'un diamètre inférieur à 10 mm lorsqu'il s'agit de Fe E 235 »*

alors que le Fascicule 65 du CCTG de 2008 [2] n'exclut pas explicitement le diamètre 8 mm, le tableau en commentaire (Article 92.4) n'indique que les diamètres d'épingles les plus couramment utilisés entre 10 mm et 32 mm. Le Fascicule 65 de 2017 [3] (art 9.1.2) mentionne :

*« Le diamètre nominal de l'acier des épingles est au moins égal à 8 mm. »*

ce qui clarifie la possibilité d'utiliser le 8 mm. En outre, il n'est pas mentionné de diamètre minimal pour les boucles de levage à barres lisses dans le FD CEN/TR 15728 : 2017 [5].

La fiche OPPBTP C2 F05 09 [7] ne contient pas de définition du rayon de courbure de la section de crochet en contact avec la boucle, dimension définie à la fois dans la fiche OPPBTP E4 F01 10 [6] et le Fascicule 65 du CCTG [1] [2] [3].

De plus, la fiche E4 F01 10 [6] proscrit les crochets de faible diamètre et à arêtes vives, que l'on rencontre toutefois parfois dans la pratique, il convient donc de s'interroger sur l'influence de la forme du crochet.

### 2.2.4. Recommandation INRS CNAMTS R362

Des extraits de la recommandation R362 (mise à jour en 1993) « Eléments en béton de grande dimension – fabrication, manutention, stockage, transport et mise en place » [8] article 5.1.1 Manutention – systèmes de préhension – boucles de levage sont donnés en Annexe 6.

Cette recommandation R362 [8] indique :

*« Utiliser, sauf justifications, de l'acier doux non écroui ayant au minimum les caractéristiques de l'acier Fe E 235.*

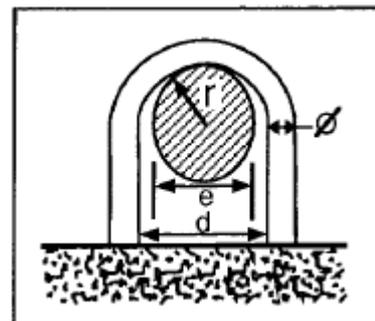
*Ne pas utiliser de ronds de diamètre inférieur à 10 mm, sauf pour les produits fabriqués sous auto-contrôle surveillé où l'on se reportera au cahier des prescriptions techniques (C.P.T.) « Planchers » (édité par le C.S.T.B.), soit en fonction des produits en cause à d'autres textes équivalents (normes).*

*Donner à la boucle un diamètre intérieur  $d$  satisfaisant aux relations suivantes où  $\Phi$  est le diamètre du rond,  $r$  le rayon de courbure du crochet et  $e$  son épaisseur :*

$$d > e$$

$$d > 4 \Phi \text{ si } \Phi < 16 \text{ et } d > 5 \Phi \text{ si } \Phi > 16$$

$$0,30 d < r < 0,50 d$$



*La force maximale par boucle pour une force dans le plan de la boucle et suivant la direction de ses branches rectilignes parallèles est donnée par le tableau ci-dessous :*

	0 mm	10	12	14	16	20
Force maximale par boucle (en daN)		1 500	2 200	3 000	4 000	6 000

Tableau 6 – Force maximale par boucle – R362

Lorsqu'il y a élingage, majorer la charge d'un coefficient multiplicateur donné ci-après, en évitant toutefois sur les chantiers de réaliser des élingages dont les angles des brins sont supérieurs à 90°.»

Coefficient multiplicateur de la charge dû à l'angle des brins					
Angle des brins	0°	45°	60°	90°	120°
Coefficient	1	1,08	1,15	1,41	2

NB : Ces tableaux ne sont valables que si l'effort de levage s'exerce dans le plan de la boucle et suivant la direction de ses branches rectilignes et parallèles.

Tableau 7 – Coefficient multiplicateur de la charge dû à l'angle des brins – R362

On retrouve ici aussi la formule de calcul du Fascicule 65 du CCTG avec la référence au rayon de courbure du crochet de levage.

## 2.2.5. Caractéristiques des crochets

### 2.2.5.1. Normes crochets de levage

Les crochets de levage sont définis dans les normes :

- NF EN 1677-1+A1 Janvier 2009 « Accessoires pour élingues - Sécurité - Partie 1 : accessoires en acier forgé - Classe 8 » [9] ;
- NF EN 1677-2+A1 Juin 2008 « Accessoires pour élingues - Sécurité - Partie 2 : crochets de levage en acier forgé à linguet - Classe 8 » [10] ;
- NF EN 1677-3+A1 Juin 2008 « Accessoires pour élingues - Sécurité - Partie 3 : crochets autobloquants en acier forgé - Classe 8 » [11] ;
- NF EN 1677-5+A1 Janvier 2009 « Accessoires pour élingues - Sécurité - Partie 5 : crochets de levage en acier forgé à linguet - Classe 4 » [12].

Des extraits de ces normes sont donnés en Annexe 7.

La norme NF EN 1677-1+A1 [9] définit dans le Tableau 4 les charges maximales d'utilisation (WLL ou CMU), forces d'épreuve de fabrication (MPF) et force de rupture (BF) sur les différents crochets :

- La charge maximale d'utilisation (CMU) correspond à la masse maximale qu'un accessoire est autorisé à supporter en service normal, et marquée sur l'élément en tant que numéro de code.
- La force d'épreuve (MPF) correspond à la limite élastique d'une pièce. Elle correspond à un facteur de 2,5 fois la CMU. Après application de la charge d'épreuve, la pièce doit retrouver sa forme initiale dans la limite des tolérances autorisées.
- La charge de rupture (BF) correspond à un facteur 4 fois la CMU. Il s'agit de la valeur au-delà de laquelle le crochet se déforme de façon permanente.

Elle précise également que :

*« Chaque accessoire doit être marqué d'une manière lisible et indélébile [...] et inclure au moins les informations suivantes : numéro de code, numéro de classe « 8 », nom, symbole ou marque du fabricant, code de traçabilité ».*

Les normes NF EN 1677-2, -3 et -5 [10] [11] [12] fixent les dimensions des crochets en fonction de leur CMU et leur largeur maximale L définie en Figure 5, qui n'est pas forcément la largeur du crochet ou la largeur au niveau du contact du crochet avec la boucle.

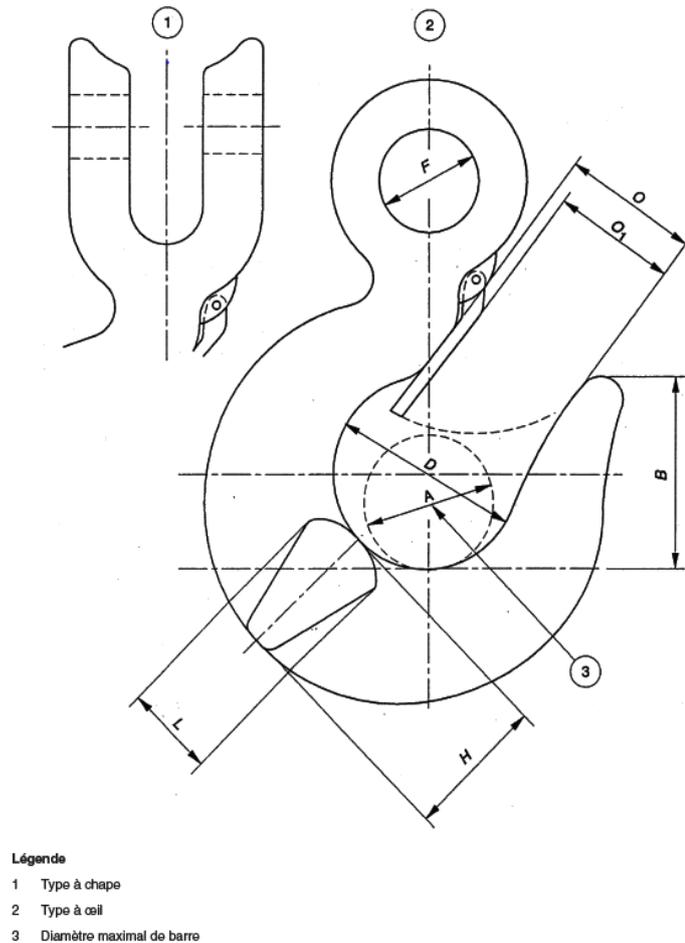


Figure 1 — Dimensions des crochets

Figure 5 – Dimensions des crochets de levage définies dans les normes NF EN 1677 [10] [11] [12]

L'Annexe 7 présente le tableau des dimensions des crochets de levage en fonction de leur code ainsi que les formules de calcul des dimensions du crochet en fonction de la CMU.

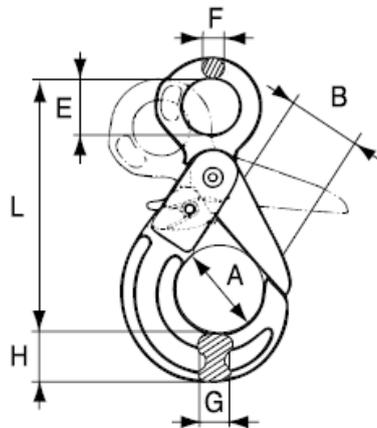
Ces tableaux de dimensions ne donnent toutefois aucune indication sur le rayon de courbure de la section de crochet en contact avec la boucle, dimension à laquelle fait référence le Fascicule 65 du CCTG [1] [2] [3], et il n'existe pas de relation courante ni partagée par les fabricants entre la largeur du siège du crochet ou la largeur du crochet et son rayon de courbure. Ces tableaux présentent la largeur maximale du crochet, mais la dimension à laquelle fait référence le FD CEN/TR 15728 [4] [5] est la largeur du crochet. Il n'existe donc ni largeur minimale ni maximale du crochet ou de son siège.

### 2.2.5.2. Crochets couramment utilisés

On ne retrouve pas toujours l'ensemble des informations marquées sur le crochet de levage ou sur le certificat associé (numéro de code, numéro de classe « 8 », nom, symbole ou marque du fabricant, code de traçabilité) et il est donc difficile d'identifier le crochet, ses dimensions et sa CMU sur simple inspection visuelle.

De plus, les crochets habituellement utilisés n'indiquent pas dans leurs certificats ou leurs fiches techniques le rayon de courbure de la section de crochet en contact avec la boucle, dimension à laquelle fait référence le Fascicule 65 du CCTG [1] [2] [3], mais d'autres caractéristiques géométriques telles que la largeur du crochet, dimensions à laquelle fait référence le FD CEN/TR 15728 [4] [5].

Les crochets souvent utilisés sur chantier sont les crochets à œil de la gamme GKO (fournisseur Traction Levage), et la largeur du siège du crochet est indiquée par la lettre G :



TYPE GKO

Désignation	CMU*	Cotes en mm								Poids en Kg
		Ø chaîne	L	B	E	F	G	A	H	
GKO 1	2	7/8	114	33	22	8,5	15	38	25	0,53
GKO 2	3,15	10	134	43	26	10,3	22	45	29	0,95
GKO 3	5,3	13	170	47	32	12	29	54	34	1,9
GKO 4	8	16	210	61	42	16	33	72	43	3,3
GKO 5	12,5	18/20	260	78	52	20,3	42	87	57	7,3

Figure 6 – Crochets couramment utilisés de la gamme GKO

## 2.2.6. Caractéristiques des boucles

### 2.2.6.1. Les normes aciers

#### 2.2.6.1.1. NF A 35-015

Les barres et couronnes soudables lisses en acier pour béton armé de nuance B235C, nuance d'acier retenue dans le Fascicule 65 du CCTG de 2017 [3], sont définies dans la norme NF A 35-015 de novembre 2009 [17].

Des extraits des versions successives de la norme NF A 35-015 sont donnés en Annexe 8.

La composition chimique est donnée au Tableau 2 de la norme NF A 35-015 (2009) [17] :

	Carbone <sup>a)</sup>	Soufre	Phosphore	Azote <sup>b)</sup>	Cuivre	Valeur du carbone équivalent <sup>a)</sup>
	max.	max.	max.	max.	max.	max.
Analyse de coulée	0,22	0,050	0,050	0,014	0,80	0,50
Analyse de produit	0,24	0,055	0,055	0,016	0,85	0,52

*a) Il est autorisé de dépasser les valeurs maximales pour le carbone de 0,03 % en masse pour autant que la valeur du carbone équivalent soit diminuée de 0,02 % en masse.*

*b) Des teneurs supérieures en azote sont admissibles si des quantités suffisantes d'éléments fixant l'azote sont présentes.*

Tableau 8 – Composition chimique (% en masse) de l'acier B235C - Tableau 2 de la norme NF A 35-015 (2009) [17]

Les caractéristiques mécaniques de traction minimales sont données au Tableau 5 de la norme NF A 35-015 (2009) [17] :

Nuance d'acier	Limite d'élasticité $R_e$ <sup>a)</sup> MPa	Rapport $R_m/R_e$	Allongement total pour cent à la force maximale, $A_{gt}$ %
B235C	235	1,15	10,0
a) $R_e$ est égal à $R_{eH}$ ou, en cas d'absence de palier d'écoulement, à $R_{p0,2}$ .			

Tableau 9 – Caractéristiques mécaniques de traction de l'acier B235C - Tableau 5 de la norme NF A 35-015 (2009) [17]

La valeur minimale de résistance à la traction  $R_m$  est donc de  $R_m = 1,15 * 235 = 270 \text{ MPa}$ .

La norme NF A 35-015 de 1996 [15] définissait la nuance d'acier Fe E 235, nuance d'acier retenue dans le Fascicule 65 du CCTG de 2008 [2], dont les caractéristiques mécaniques étaient les suivantes :

Limite supérieure d'écoulement $R_{eH}$ min N/mm <sup>2</sup> 1	Résistance à la traction $R_m$ min N/mm <sup>2</sup> 1	Rapport $R_m / R_{eH}$ min	Allongement total sous charge maximale $A_{gt}$ min %
235	350	1.15	8
1 N/mm <sup>2</sup> = 1 MPa			

Tableau 10 – Caractéristiques mécaniques de traction de l'acier Fe E 235  
Norme NF A 35-015 (1996) [15]

Le tableau ci-après présente les caractéristiques aciers dans les versions successives de la norme NF A 35-015.

Doc de Référence =	NF A 35-015 [13]	NF A 35-015 [14]	NF A 35-015 [15]	NF A 35-015 [16]	NF A 35-015 [17]
Date =	30/12/1966 janvier 1967	01/07/1984	01/10/1996	01/11/2007	01/11/2009
Nuance acier =	Fe E 24	Fe E 235	Fe E 235	B235C	B235C
Re min (N/mm <sup>2</sup> ) =	235	235	235	235	235
Rm Maxi (N/mm <sup>2</sup> ) =	490	490	-	-	-
Rm mini (N/mm <sup>2</sup> ) =	412	410	350	<i>270</i>	<i>270</i>
(Rm/Re) min =	-	-	1,15	1,15	1,15
Rm/(Re min)	<i>1,75</i>	<i>1,74</i>	<i>1,49</i>	-	-
sur section (nominale ou réelle) =	Nominale	Nominale	Nominale	Nominale	Nominale
A (%) min mesurée par Lo = 5d (ou "A <sub>5d</sub> (%)") =	25%	25%	-	-	-
A <sub>gt</sub> (%) =	-	-	8%	10%	10%
Diamètres nominaux (mm) =	5 à 40	6 à 40	5,5; 6 à 40	5,5; 6 à 40	5,5; 6 à 40
Marquage des Barres =	-	Peinture rouge aux 2 extrémités	Etiquetage : usine, produit, lot	Etiquetage : usine, produit, lot	Etiquetage : usine, produit, lot
Marquage des Couronnes =	Marque distincte à la peinture pour identifier les nuances Fe E 22, 24, 34 (et 18 provisoire)	Peinture rouge sur une génératrice	Etiquetage : usine, produit, lot	Etiquetage : usine, produit, lot	Etiquetage : usine, produit, lot
Composition chimique =	? Non détaillée	? Non détaillée dans NF A 35-015, mais dans NF A 35-018 au seul § Soudabilité	C = 0,22 (coulée) à 0,24 (produit) et Carbone Equivalent $0,50 \leq CEV \leq 0,52$ (sans limites des composants C, Mn, Cr, Mo, V, Ni, Cu)	C = 0,22 (coulée) à 0,24 (produit) et Carbone Equivalent $0,50 \leq Ceq \leq 0,52$ (avec limites des composants C, Mn, Cr, Mo, V, Ni, Cu)	C = 0,22 (coulée) à 0,24 (produit) et Carbone Equivalent $0,50 \leq Ceq \leq 0,52$ (avec limites des composants C, Mn, Cr, Mo, V, Ni, Cu)
Soudabilité =	Suivant NF A 35-017 en cours de préparation	Suivant NF A 35-018 : C = 0,22 (coulée) à 0,24 (produit) et Carbone Equivalent $0,51 \leq Ceq \leq 0,54$ et limites Si : $0,50 \leq Si \leq 0,55$	Suivant NF EN 10080	Déterminée par les compositions min/Max en carbone équivalent et S, P, N et Cu	Déterminée par les compositions min/Max en carbone équivalent et S, P, N et Cu

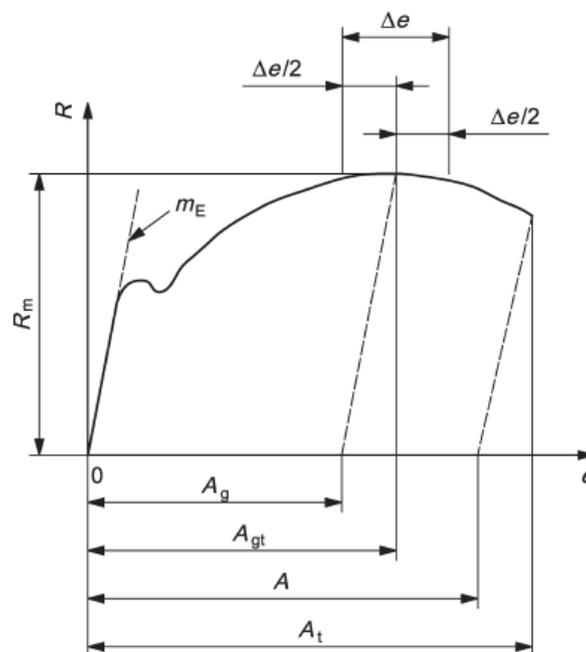
Tableau 11 – Evolutions de la norme NF A 35-015 (en italique : valeurs calculées)

Note : il a été identifié une version de 1978 qui n'est pas renseignée ici puisque le texte n'était pas disponible.

Les versions successives de la norme NF A 35-015 ont défini des aciers doux de limite d'élasticité minimale 235 MPa de différentes dénominations : Fe E 24, Fe E 235 puis B235C.

Les valeurs minimales de résistance à la traction garanties par la norme NF A 35-015 ont diminué de 412 à 350 puis 270 MPa, et l'exigence de valeur maximale de résistance à la traction à 490 MPa a été supprimée en 1996.

La définition de l'allongement minimal a changé en 1996 :  $A_{gt}$  (%) est l'extension totale à la force maximale alors que  $A$  (%) ou  $A_{5d}$  (%) sont l'allongement après rupture prenant en compte la zone de striction ; ceci explique les valeurs d'  $A$  (%) plus importantes que les valeurs d'  $A_{gt}$  (%). La Figure 7 représente ces différentes valeurs d'extensions et d'allongement.



**Légende**

- $A$  pourcentage d'allongement après rupture (déterminé à partir du signal de l'extensomètre) ou directement sur l'éprouvette (voir [20.1](#)]
- $A_g$  pourcentage d'extension plastique à la force maximale
- $A_{gt}$  pourcentage totale à la force maximale
- $A_t$  pourcentage totale à la rupture
- $e$  pourcentage d'extension
- $m_E$  pente de la partie élastique de la courbe de pourcentage de force unitaire et de pourcentage d'extension
- $R$  force unitaire
- $R_m$  résistance à la traction
- $\Delta e$  étendue du plateau (pour la détermination de  $A_g$ , voir [l'Article 17](#), pour la détermination de  $A_{gt}$ , voir [l'Article 18](#))

Figure 7 – Définition des extensions et allongements – extrait de la norme d'essai de traction sur matériaux métalliques NF EN ISO 6892-1 : 2016 [18]

### 2.2.6.1.2. NF EN 10025

Les aciers de classe S235J2 +N auxquels fait référence le FD CEN/TR 15728 [4] [5] sont définis dans les différentes parties de la norme NF EN 10025 (Mars 2005) : Produits laminés à chaud en aciers de construction, et plus spécifiquement dans sa partie 2 « Conditions techniques de livraison pour les aciers de construction non alliés » [19].

Des extraits de cette norme sont donnés en Annexe 8.

La désignation des aciers fait référence à la norme NF EN 10027-1 (2017) [20]. Elle se réfère à l'emploi et aux caractéristiques mécaniques ou physiques de l'acier et comporte :

- Une lettre déterminant l'emploi de l'acier (G, S pour aciers de construction métallique, P, L, E pour aciers de construction mécanique...);
- Des chiffres indiquant la valeur minimale spécifiée de la limite d'élasticité ( $R_e$ ) en MPa pour la gamme d'épaisseur la plus faible ;
- Deux lettres (JR, KR, LR) ou une lettre un chiffre (J2, K2, L2), indiquant la valeur spécifiée de l'énergie de rupture en flexion par choc Kv en Joules obtenue par essai « Mouton de Charpy » à une température donnée ;
- Des symboles additionnels, indiquant la propriété, le type de revêtement ou traitement conférés à l'acier.

Donc pour un acier S235J2 +N du FD CEN/TR 15728 [4] [5] :

- S : acier de construction ;
- 235 : limite d'élasticité de l'acier en méga Pascal MPa ;
- J2 : énergie de rupture en flexion par choc de 27 Joules à -20°C ;
- +N : état de livraison « laminage normalisant » indique que la barre ou le fil en couronne a subi un traitement thermique de normalisation après laminage avec retour à température ambiante.

Les caractéristiques chimiques maximales sur coulée sont définies dans le Tableau 2 et dans le Tableau 4 sur produits de la norme NF EN 10025-2 [19].

Les caractéristiques mécaniques sont données dans le Tableau 7 de la norme NF EN 10025-2 [19].

Pour l'exemple d'un acier S235J2 +N d'épaisseur nominale égale à 12 mm, les caractéristiques mécaniques à température ambiante doivent être :

- Limite d'élasticité minimale  $R_{eH} = 235 \text{ MPa}$  ;
- Résistance à la traction  $R_m$  comprise entre 360 et 510 MPa ;
- Pourcentage minimal d'allongement à la rupture : 22 %.

Pour des aciers S235J2 +N d'épaisseur nominale supérieure à 16 mm en restant inférieure à 40 mm, la limite d'élasticité minimale est de 225 MPa, soit inférieure à 235 MPa. La résistance à la traction  $R_m$  reste quant à elle comprise entre 360 et 510 MPa dans la gamme d'épaisseur des boucles de levage.

Le pourcentage minimal d'allongement à la rupture est à comparer avec les valeurs annoncées d'A (%) ou  $A_{5d}$  (%), soit les valeurs de la norme NF A 35-015 avant 1984 [13] [14].

L'indication sur l'énergie de rupture en flexion par choc n'est pas une exigence ni une donnée connue pour les aciers B235C selon la norme NF A 35-015.

Les caractéristiques chimiques maximales sont plus exigeantes pour un acier S235 qu'un acier B235C (pourcentages maximaux de carbone, phosphore, soufre et carbone équivalent plus faibles).

La définition d'un acier S235 impose une valeur maximale de résistance à la traction, ce qui n'est pas le cas pour un acier B235C.

Pour information, des essais de flexion par choc ont été réalisés sur 3 échantillons d'aciers B235C de diamètre 14 mm au mouton pendule automatique Charpy 450J selon la norme NF EN ISO 148-1 [21] à une température de -20°C par un fournisseur. Ces échantillons ont présenté des valeurs d'énergie de rupture en flexion par choc de 43,0 ; 46,7 et 42,8 Joules, soit largement supérieures à la valeur cible de 27 Joules. Ces aciers B235C présentaient les caractéristiques chimiques sur produit et mécaniques suivantes :

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Sn	V	N	Ceq
0,210	0,692	0,148	0,007	0,008	0,058	0,056	0,007	0,120	0,034	0,001	0,0099	0,350
<i>MPa</i>	<i>MPa</i>		%	<i>g/m</i>	% du nominal	<i>mm</i>						
Re	Rm	Rm/Re	Agt	P/m	P/m	Oval.						
450	595	1,32	16,0	1221	+0,9	0,37						

Tableau 12 - Caractéristiques chimiques sur produit et mécaniques des aciers testés à l'essai de flexion par choc

Ces caractéristiques sont plus représentatives d'un acier S355J2 selon la norme NF EN 10025-2 [19]. Il n'est toutefois pas possible de comparer l'allongement, car la caractéristique donnée ici est un allongement  $A_{gt}$  (%) à 16% alors que la norme NF EN 10025-2 [19] fixe un allongement  $A$  (%).

### 2.2.6.1.3. Certificats de conformité

Quatre types de documents de contrôle sont définis dans la norme NF EN 10204 (2005) « Produits métalliques - Types de documents de contrôle » [22] :

- Type 2.1 : L'attestation de conformité à la commande dans laquelle le producteur déclare que les produits livrés respectent les prescriptions de la commande ; ce document ne comporte pas de résultats d'essai.
- Type 2.2 : Le relevé de contrôle dans lequel le producteur déclare que les produits livrés sont conformes aux prescriptions de la commande et dans lequel il fournit des résultats d'essai issus d'un contrôle de produits correspondant à une spécification donnée et à un processus de fabrication donné.

*Note : Les produits contrôlés ne sont donc pas nécessairement les produits livrés.*

- Type 3.1 : Le certificat de réception 3.1 dans lequel le producteur déclare que les produits livrés sont conformes aux prescriptions de la commande et dans lequel il fournit des résultats d'essais obtenus sur l'unité de contrôle correspondant aux produits livrés. Il correspond à l'analyse chimique sur coulée avant laminage et aux caractéristiques mécaniques et géométriques après laminage en barres ou couronnes.

- Type 3.2 : Le certificat de réception 3.2, document préparé par à la fois :
  - Le représentant autorisé du service contrôle du producteur, indépendant des services de fabrication ;
  - Et le représentant de l'acheteur ou l'inspecteur désigné par des règlements officiels.
 Dans ce document, les deux parties déclarent que les produits livrés sont conformes aux prescriptions de la commande. Des résultats d'essais sont aussi fournis.

Un certificat de type 3.1 permet donc de connaître les caractéristiques réelles chimiques et mécaniques de l'acier des barres ou couronnes destinées à la fabrication des boucles de levage commandées.

#### 2.2.6.1.4. Ductilité

La ductilité s'appuie sur deux caractéristiques principales :

- Le rapport  $R_m/R_e$  (plus le ratio  $R_m/R_e$  est grand, plus l'acier est ductile) ;
- L'allongement total à la force maximale :  $A_{gt}$  (%).

La norme NF A 35-015 garantit le rapport ( $R_m/R_e$ ) minimal à 1,15 pour des aciers B235C seulement à partir de 1996 [15] [16] [17]. Dans les versions antérieures, d'après les exigences normatives, le rapport ( $R_m/R_e$ ) pourrait aller jusqu'à 1,75, sans toutefois qu'un rapport ( $R_m/R_e$ ) minimal soit fixé. De la même manière, la norme NF EN 10025-2 [19] ne garantit pas de rapport ( $R_m/R_e$ ) minimal pour un acier S235, et d'après les exigences normatives ce rapport pourrait aller jusqu'à 2,17, sans toutefois qu'un rapport ( $R_m/R_e$ ) minimal soit fixé.

La norme NF A 35-015 ne garantit plus un allongement après rupture  $A$  (%) ou  $A_{5d}$  (%) pour les aciers de dénomination B235C mais un allongement total à la force maximale  $A_{gt}$  (%) (<10%) depuis 1996 [15] [16] [17]. La norme NF EN 10025-2 [19] garantit quant à elle un pourcentage minimal d'allongement à la rupture  $A$  (%) ou  $A_{5d}$  (%), supérieur à 20% pour certaines classes et diamètres des aciers S235.

L'allongement à la rupture des aciers S235 est toutefois cohérent avec la valeur  $A_{gt}$  (%) de 25% indiquée dans les anciennes versions de la norme NF A 35-015 pour les aciers Fe E 24 [13] et Fe E 235 [14].

Les nuances S235 et B235C ne sont donc pas définies de la même façon en termes de ductilité.

#### 2.2.6.2. Les questions posées par rapport au Fascicule 65 du CCTG à la pratique

Les aciers B235C et S235 ne sont donc pas définis de la même manière concernant :

- Les caractéristiques chimiques ;
- Les caractéristiques mécaniques minimales et maximales  $R_e$ ,  $R_m$  ;
- La ductilité ;
- L'énergie de rupture en flexion par choc.

Il convient donc de clarifier si ces aciers sont équivalents et utilisables pour réaliser des boucles de levage et si les caractéristiques minimales définies sont suffisantes pour assurer l'utilisation d'un type d'acier en boucles de levage. Il convient également de clarifier le moyen d'attester de ces caractéristiques et le type de certificat de conformité à obtenir.

### 2.2.7. Résumé de la problématique

L'analyse des textes applicables aux boucles de levage, aux crochets de levage, aux aciers doux et une enquête auprès des différents acteurs de la construction ont finalement permis de mettre en avant les points suivants à clarifier :

- Les caractéristiques de la boucle de levage
  - Rayon de courbure et diamètre nominal de mandrin de cintrage ;
  - Nuance d'acier utilisée : B235C ou S235J2 +N, ou caractéristiques équivalentes, qui ne sont pas définies de la même manière concernant les caractéristiques :
    - Chimiques ;
    - Mécaniques : limite d'élasticité minimale, résistance à la traction minimale garantie et résistance à la traction maximale ;
    - De ductilité ;
    - De rupture en flexion par choc.
- La définition du crochet
  - Largeur du crochet, largeur du siège, rayon de courbure de la section de crochet en contact avec la boucle ;
  - Forme de la section du crochet de levage en contact avec la boucle.
- L'angle de chargement et l'angle d'élingage ainsi que la prise en compte de possibilité d'angles différents lors des phases de manutention (alternance des angles) ;
- Le nombre d'usages successifs ;
- La hauteur dépassante de la boucle ;
- Le domaine d'application de la formule du Fascicule 65 du CCTG  $F (kN) = 0,157 * \Phi^2 (mm)$  (d'après la reconstitution de cette formule) :
  - Diamètre minimal utilisable pour les boucles de levage ;
  - Effort hors du plan et non parallèle aux branches ;
  - Signification du coefficient de formage de 0,8.
- Le coefficient dynamique à prendre en compte.

Une campagne d'essais a donc été réalisée sur 105 boucles de levage afin de clarifier les points suivants :

- La définition du crochet (largeur, forme) ;
- L'angle de chargement ;
- Le nombre d'usages successifs ;
- La prise en compte des angles de levage alternés ou non ;
- La hauteur dépassante de la boucle ;
- Les caractéristiques de la boucle de levage (diamètre, diamètre nominal de mandrin de cintrage, diamètre mesuré de cintrage de la boucle) ;

Le plan d'expérience, le protocole et les résultats sont présentés ci-après.

## 2.3. Campagne expérimentale

### 2.3.1. Synthèse des essais réalisés

	nombre de boucles	diamètre boucle $\phi$ (mm)	diamètre nominal de mandrin de cintrage de la boucle D(mm)	angle de chargement $\beta$ (par rapport à la verticale)	crochet	largeur crochet B(mm)	ratio B/D	hauteur boucle dépassante Hs (mm)	nombre de cycles de chargement
nombre de cycles de chargement	5	12	50	0	GKO3	29	0.58	150	1 (rupture)
	5						0.58		5
	5						0.58		10
influence crochet pour des ratios largeur B du crochet / diamètre nominal de mandrin de cintrage D de la boucle dans la plage $0,5 \leq B/D \leq 1,0$	5	12	50	0	GKO5	42	0.84	150	5
	5	16	70		Crosby	68	0.60		
	5				0.97				
influence angle de chargement	5	12	70	0	GKO5	42	0.60	150	5
	5			30			0.60		
	5			45			0.60		
hauteur dépassante	5	12	50	30	GKO3	29	0.58	400	5
	5						ref hauteur dépassante	150	
	5						hauteur dépassante "bloquée" par cadres dépassants 25cm	400	
influence ratio largeur B du crochet / diamètre nominal de mandrin de cintrage D de la boucle hors plage Technical Report $0,5 \leq B/D \leq 1,0$ - phase 1	5	12	170	0	GKO3	29	0.17	150	5
	5				essai presque dans la plage du TR (ratio B/D=0,40) (ref de l'essai ratio 0,17)	Crosby	68		
influence ratio largeur B du crochet / diamètre nominal de mandrin de cintrage D de la boucle hors plage Technical Report $0,5 \leq B/D \leq 1,0$ - phase 2	5	12	100	0	GKO3	29	0.29	150	5
	5	16	200		GKO5	42	0.21		
	5				Crosby	68	0.34		
influence forme crochet pour même ratio largeur B du crochet / diamètre nominal de mandrin de cintrage D de la boucle	5	16	100	30	GKO5	42	0.42	150	5
	5		150		Crosby	68	0.45		
complément influence angle avec paliers ELS à angles de chargement alternés	5	12	100	0/30 alterné	GKO3	29	0.29	150	5x2
	5	16	150		Crosby	68	0.45		

Tableau 13 – Synthèse des essais sur boucles de levage

Les codes couleurs sont conservés pour l'ensemble du rapport.

Les essais « saumons » visent à définir l'influence du nombre de cycles de chargement (= nombre d'usages successifs de la boucle de levage) sur la résistance de la boucle de levage.

Ces essais ont permis de définir le nombre de cycles de chargement pour les essais suivants.

Les essais « verts » visent à définir l'influence de l'adéquation entre la largeur B du crochet utilisé pour le levage et le diamètre nominal de mandrin de cintrage D de la boucle de levage.

Ces essais ont permis de définir le crochet à utiliser pour les essais suivants.

Les essais « bleu clair » visent à évaluer l'influence de l'angle de chargement par rapport à la verticale : 0, 30° et 45°.

Les essais « violets » visent à évaluer l'influence de la hauteur dépassante de la boucle, avec présence éventuelle de cadres dépassants bloquants. La valeur maximale de 400 mm de hauteur dépassante sous la boucle a été fixée, afin de considérer un plancher de 250 mm et des boucles de levage toujours dépassantes de ce plancher. Un essai de « référence » est prévu, avec les mêmes caractéristiques d'essai et une hauteur dépassante de 150 mm plus usuelle, afin de pouvoir comparer les résultats d'essais entre eux, puisque pour ces essais une nouvelle bobine d'acier a été utilisée pour façonner les boucles.

Les essais « rouges » visent à évaluer l'influence de l'adéquation entre la largeur B du crochet utilisé pour le levage et le diamètre nominal de mandrin de cintrage D de la boucle de levage, en dehors des plages du FD CEN/TR 15728 [4] [5], soit un ratio largeur B du crochet / diamètre nominal de mandrin de cintrage D de la boucle inférieur à 0,5. Des valeurs extrêmes ont été choisies pour décider ensuite de la nécessité de réaliser de nouveaux essais en fonction de l'influence ou non de ce paramètre.

Les essais jaunes visent à évaluer l'influence de l'adéquation entre la largeur B du crochet utilisé pour le levage et le diamètre nominal de mandrin de cintrage D de la boucle de levage, en dehors des plages du FD CEN/TR 15728 [4] [5], soit un ratio largeur B du crochet / diamètre nominal de mandrin de cintrage D de la boucle inférieur à 0,5.

Les essais « bruns » visent à évaluer l'influence de la forme du crochet de levage, pour un même ratio largeur B du crochet / diamètre nominal de mandrin de cintrage D de la boucle, puisque certains crochets présentent des arêtes assez vives qui pourraient poinçonner la boucle de levage.

Enfin, les essais « bleu foncé » sont des essais complémentaires aux essais « bleu clair » d'influence de l'angle de chargement, ils visent à évaluer l'influence de l'alternance des angles de levage entre les différentes manutentions en usine et sur chantier par exemple.

### 2.3.2. Protocole d'essai

Le principe des essais de traction s'effectue par des organes de liaison (type crochet de levage) passés à l'intérieur d'une boucle de levage formée par deux brins verticaux et un demi-cercle.

Les essais sont conduits sur des boucles de levage insérées dans des poutres préfabriquées en usine.

Cinq essais de levage sont réalisés pour chaque configuration afin de disposer d'une répartition statistique des résultats.

#### 2.3.2.1. Poutres

Les poutres préfabriquées en usine sont rectangulaires, de longueur 4 mètres, de largeur 30 cm et de hauteur variant de 40 à 80 cm selon les essais. Elles sont équipées de deux boucles de levage en acier doux situées chacune à 1 mètre de l'extrémité de la poutre.

Les boucles sont placées verticalement et parallèles à la portée. Leur positionnement exact (à 1 mètre de l'about de la poutre, verticalement et hauteur dépassante  $H_s$  précise) dans les poutres est assuré grâce à un dispositif de maintien des boucles développé pour l'occasion par l'usine Rector de Mulhouse :

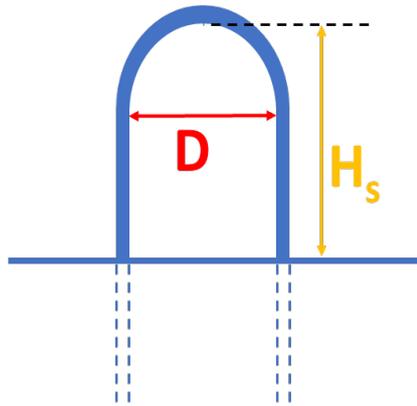


Photo 1 – Dispositif de maintien des boucles pour assurer la hauteur dépassante visée  $H_s$  et l'alignement vertical de la boucle dans la poutre

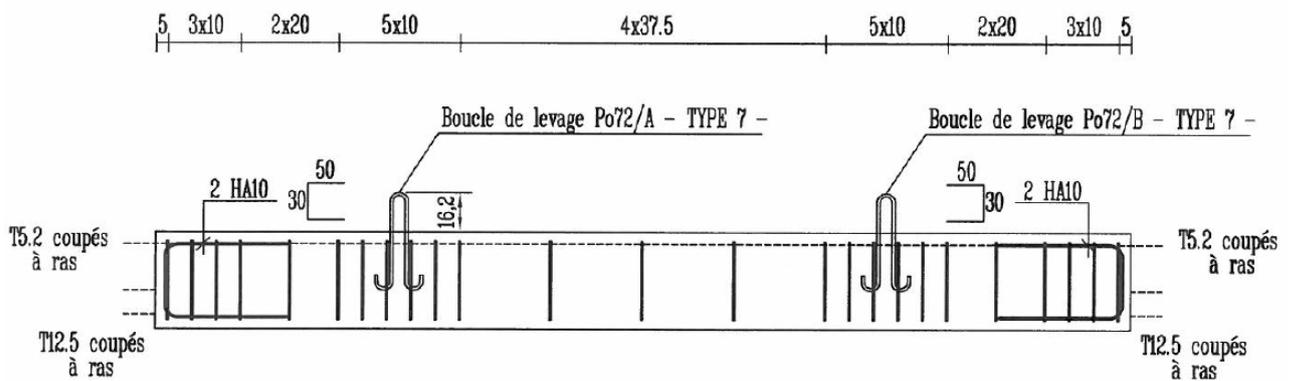


Figure 8 – Plan d'une poutre

Un confinement par des cadres autour de la boucle a été mis en place afin d'assurer l'ancrage de la boucle et une rupture par l'acier de la boucle de levage et non du béton.

Des plans de ferrailage sont donnés en Annexe 10 pour des poutres de hauteur 40 cm et les poutres de hauteur 80 cm.

Afin de simuler des poutres avec une forte hauteur dépassante de la boucle de levage (essais « violets ») et de pouvoir les tester sans influence du dispositif de bridage pour les efforts inclinés, des poutres à engravures ont été réalisées : elles permettent de créer des appuis pour positionner le bâti d'essai.



**2.3.2.1.2. Contrôles**

Lors de la fabrication, des contrôles ont été effectués concernant :

- La hauteur dépassante de la boucle, réglée à l'aide du dispositif de maintien des boucles afin d'assurer une hauteur de 15 ou 40 cm sous la boucle ;
- Le positionnement de la boucle précisément à 1 mètre de l'about.

**2.3.2.2. Caractéristiques des boucles**

**2.3.2.2.1. Façonnage**

Les boucles sont issues de trois bobines différentes, deux bobines de fil pour les boucles de diamètre 12 mm et une bobine pour les boucles de diamètre 16 mm.

Les façonnages atypiques de ces boucles de levage ne sont pas représentatifs des boucles habituellement utilisées en usine ou sur chantier, mais servent seulement à déterminer des ratios largeur B du crochet / diamètre nominal de mandrin de cintrage D de la boucle, adaptés pour les essais. Les diamètres nominaux de mandrins de cintrage choisis sont toutefois supérieurs aux limites indiquées dans les normes et textes de référence (NF A 35 027 [23], Fascicule 65 du CCTG [1] [2] [3] et FD CEN/TR 15728 [4] [5]).

Le but de ces essais étant de caractériser l'acier de la boucle de levage et non son ancrage dans le béton, le diamètre nominal de mandrin de cintrage des crochets d'ancrage (dans le béton) a été choisi identique au diamètre nominal de mandrin de cintrage de la boucle de levage au contact du crochet de levage, bien que ce ne soit aucunement une exigence ou une recommandation des textes de référence, Fascicule 65 du CCTG [1] [2] [3] ou FD CEN/TR 15728 [4] [5]).

Le tableau ci-après récapitule les façonnages des boucles de levage commandées pour les essais selon le schéma ci-dessous.

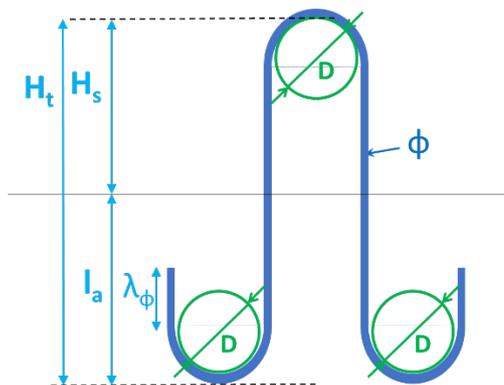


Figure 11 – Schéma de définition du façonnage de la boucle de levage



Photo 2 – Photographie de quelques boucles de levage reçues

Bobine	Φ (mm)	D (mm)	λΦ min (mm)	H <sub>s</sub> (mm)	l <sub>a</sub> min (mm)	Nombre de boucles
A	12	50	25	150	240	10
	12	50	25	150	240	10
	12	70	25	150	240	15
	12	100	25	150	240	5
	12	100	25	150	240	5
B	16	70	35	150	290	10
	16	100	35	150	290	5
	16	150	35	150	290	5
	16	150	35	150	290	5
	16	200	35	150	290	10
C	12	50	25	400	240	10
	12	50	25	150	240	5
	12	170	25	150	240	10

Tableau 14 – Façonnage des boucles de levage commandées pour les essais

#### 2.3.2.2.2. Nuances d'acier

Les deux bobines de fil diamètre 12 mm (A et C) proviennent de la même coulée d'acier C45873.

La bobine de fil diamètre 16 mm (B) provient de la coulée d'acier C45735.



Photo 3 – Etiquettes des bobines de fil utilisées pour le façonnage des boucles de levage

Les certificats 3.1 ont été obtenus pour la coulée correspondant à la bobine de diamètre 12 mm et pour la bobine de diamètre 16 mm, ce qui permet de disposer des caractéristiques mécaniques sur couronnes. Ces certificats sont donnés en Annexe 9.

### 2.3.2.2.3. Contrôles

A la réception des boucles de levage, des vérifications géométriques sont effectuées pour s'assurer de la conformité à la commande :

- Du diamètre  $\phi$  de la boucle ;
- De la hauteur totale  $H_t$  de la boucle ;
- Du diamètre de cintrage de la boucle  $D_m$  mesuré afin de la comparer au diamètre nominal de mandrin de cintrage théorique.

On constate globalement que le diamètre mesuré  $D_m$  de cintrage de la boucle de levage est supérieur de 10 % environ au diamètre nominal de mandrin de cintrage théorique  $D$  indiqué dans la commande. Ceci est dû aux machines de cintrage utilisées et à la vitesse de façonnage du fil.

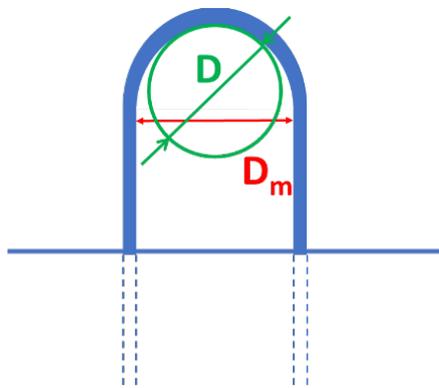


Figure 12 – Diamètre mesuré  $D_m$  de cintrage de la boucle et diamètre nominal de mandrin de cintrage théorique  $D$

L'ensemble des résultats d'essais sont présentés avec les valeurs réelles de diamètre mesuré de cintrage de la boucle  $D_m$  et non avec les diamètres nominaux de mandrin de cintrage théorique  $D$ .

Afin de vérifier les caractéristiques mécaniques des aciers, des barres droites issues des mêmes bobines que les boucles de levage ont été envoyées au laboratoire IFSTTAR de Nantes pour essais de traction selon la norme NF EN ISO 6892-1 [18].

Les résultats d'essais sont comparés aux certificats de réception RIVA.

- Pour les boucles de levage de diamètre 12 mm :

Certificat de réception RIVA 12 mm			
Essai	Re (MPa)	Rm (MPa)	Agt (%)
1	364	430	15.1
2	360	429	16.2
3	358	428	15
4	357	427	16.3
Moyenne	359.75	428.50	15.65
Écart type	3.10	1.29	0.70
kn	2.63		
Caractéristique	351.61	425.10	13.82

Tableau 15 - Caractéristiques mécaniques des aciers diamètre 12 mm issues du certificat de réception 3.1 du fournisseur

Essais traction IFSTTAR 12 mm - bobine A					
Essai	Rp0,2 (MPa)	Rm (MPa)	A%	Agt (extenso)	Agt (manuel)
1	380	482	29.3	11.3	9.2
2	381	482	30.5	9	10.5
3	372	478	28.8	10.2	14.5
Moyenne	377.67	480.67	29.53	10.17	11.40
Écart type	4.93	2.31	0.87	1.15	2.76
kn	3.37				
Caractéristique	361.04	472.88	26.59	10.17	11.40

Tableau 16 - Caractéristiques mécaniques des aciers diamètre 12 mm de la bobine A mesurées par essais de traction

Essais traction IFSTTAR 12 mm - bobine C				
Essai	Reh (MPa)	Rm (MPa)	A%	Agt (extenso)
1	352.4	436.6	28.17	9.61
2	354.1	433.1	29.5	8.92
3	365.6	438.6	29.5	8.13
4	360.3	436.7	24.83	7.92
Moyenne	358.10	436.25	28.00	8.65
Écart type	6.04	2.29	2.20	0.77
kn	2.63			
Caractéristique	342.20	430.22	22.20	8.65

Tableau 17 - Caractéristiques mécaniques des aciers diamètre 12 mm de la bobine C mesurées par essais de traction

- Pour les boucles de levage de diamètre 16 mm :

Certificat de réception RIVA 16 mm			
Essai	Re (MPa)	Rm (MPa)	Agt (%)
1	392	483	14
2	363	456	13.8
3	378	471	14.5
Moyenne	377.67	470.00	14.10
Écart type	14.50	13.53	0.36
kn	2.63		
Caractéristique	339.52	434.42	13.15

Tableau 18 – Caractéristiques mécaniques des aciers diamètre 16 mm issues du certificat de réception 3.1 du fournisseur

Essais traction IFSTAR 16 mm bobine B				
Essai	Reh (MPa)	Rm (MPa)	A%	Agt (extenso)
1	359	543	34.5	16.9
2	363	538	35.4	-
3	359	538	34.1	-
Moyenne	360.33	539.67	34.67	16.90
Écart type	2.31	2.89	0.67	-
kn	3.37			
Caractéristique	352.55	529.94	32.42	-

Tableau 19 – Caractéristiques mécaniques des aciers diamètre 16 mm de la bobine B mesurées par essais de traction

D'après le fournisseur d'acier doux, le dressage de l'acier en bobine pour obtenir des barres peut conduire à un  $R_m$  sur barre supérieur au  $R_m$  sur bobine, de l'ordre de 0 à 30 MPa. Le gain va dépendre du dressage (transformation à froid, sur cadres tournants, sur galets...). La limite d'élasticité  $R_e$  peut quant à elle être augmentée plus significativement par le dressage en barres, jusqu'à 100 MPa dans certains cas.

Ceci ne correspond pas aux résultats d'essai. Il semble plutôt que la résistance à la traction ait fortement augmenté avec le dressage, alors que la limite d'élasticité ait été peu modifiée.

Les valeurs de limite d'élasticité  $R_e$  et de résistance à la traction  $R_m$  mesurées sur les barres droites sont utilisées pour l'exploitation des résultats d'essais, car elles sont plus représentatives des boucles de levage insérées dans les poutres en béton.

### 2.3.3. Bâti d'essai

Un bâti métallique spécifique est utilisé, dans lequel les angles 0°, 30° et 45° par rapport à la verticale sont fixés.



Figure 13 – Dispositif de chargement (à gauche : essai à 0° et, à droite : essai à 30°)

*Note : le bâti est dimensionné pour une charge limite de 200 kN.*

L'effort de traction est enregistré via un capteur de force de capacité limite 250 kN.

L'effort de traction est appliqué par l'intermédiaire d'un crochet de levage sur l'une des deux boucles de la poutre préfabriquée.

Trois crochets sont utilisés, dont les caractéristiques sont données dans le tableau ci-dessous.

Ils sont référencés dans le tableau de l'Annexe 7 en fonction de leur code et dimensions maximales.

Dénomination du crochet	GKO 3	GKO 5	26GR-100 Crosby Shur. Loc: Crosby G100 S1316 Eye Hook 1022944 CMU 26,5t
Photos			
Largeur du siège du crochet (mm)	29	42	68
CMU (t)	5,3	12,8	27
MPF (force d'épreuve de fabrication) (t)	13	30	61

Tableau 20 – Caractéristiques des crochets de levage utilisés pour les essais

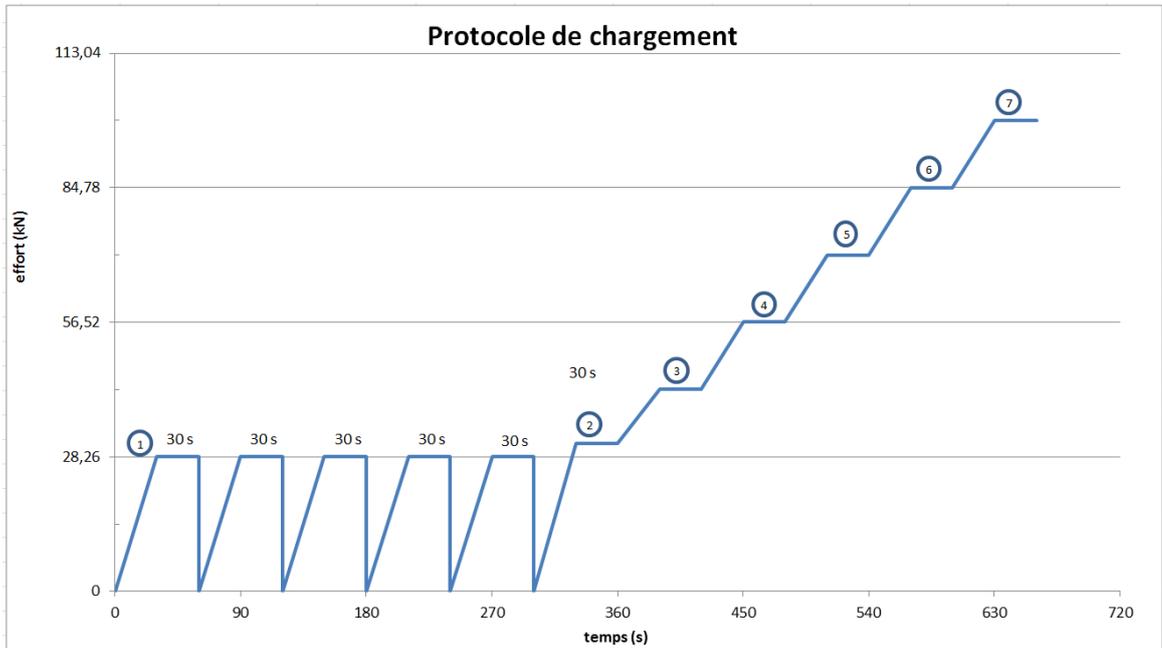
Les essais ont été planifiés de manière à pouvoir atteindre la rupture des boucles de levage sans jamais dépasser la force d'épreuve de fabrication (MPF) des crochets pour assurer la sécurité lors des essais.

### 2.3.4. Chargement

Le pilotage des essais est réalisé en mode manuel et en force imposée.

Le protocole de chargement s'effectue suivant un nombre précis de cycles de chargement/déchargement de 1, 5 ou 10 cycles (fixé dans le tableau du plan d'expérience en 2.3.1), et pour des angles de levage fixés à 0, 30 ou 45° (fixé dans le tableau du plan d'expérience en 2.3.1) grâce au bâti d'essai.

Le protocole de chargement et les efforts aux paliers sont donnés ci-après.



Graphique 1 - Cycle de chargement/déchargement : protocole de chargement en traction

Effort (kN)	Diamètre (mm)	N° paliers	12 mm	16 mm
Effort au palier $F_{palier} = 1,25 * 0,157 * \Phi^2$		①	28,26 kN	50,24 kN
Palier d'observation $F_e = 1,1 F_{palier}$		②	31,09 kN	55,26 kN
Palier suivant $1,5 * F_{palier}$		③	42,39 kN	75,36 kN
Palier suivant $2 * F_{palier}$		④	56,52 kN	100,48 kN
Palier suivant $2,5 * F_{palier}$		⑤	70,65 kN	125,60 kN
Palier suivant $3 * F_{palier}$		⑥	84,78 kN	150,72 kN
Palier suivant $3,5 * F_{palier}$		⑦	98,91 kN	175,84 kN
Palier suivant $4 * F_{palier}$		⑧	113,04 kN	200,96 kN

Tableau 21 - Effort aux paliers à appliquer lors des cycles de chargement en fonction du diamètre de la boucle

La charge  $F_{palier}$  au palier a été fixée à  $1,25 * 0,157 * \Phi^2$  afin de représenter la charge statique équivalente à la charge dynamique en service définie par le Fascicule 65 du CCTG en prenant en compte le coefficient dynamique de 1,25.

Un palier d'observation est prévu à  $1,1 * F_{palier}$  afin de s'assurer de l'absence de dégradation sur la poutre béton.

Les paliers durent 30 secondes. La durée de montée en charge jusqu'à rupture ne doit pas être inférieure à 10 minutes.

Après ces cycles on augmente l'effort jusqu'à la rupture, par paliers successifs de  $0,5 * F_{palier}$ .

Pour les essais « bleu foncé » d'influence de l'alternance des angles de levage, 10 cycles sont réalisés en tout, à savoir 1 cycle où l'effort est vertical ( $0^\circ$ ), puis un cycle où l'effort est incliné à  $30^\circ$ , puis 1 cycle où l'effort est vertical ( $0^\circ$ ) etc. puis la montée en charge jusqu'à rupture est réalisée dans les conditions d'effort incliné.

### 2.3.5. Mesures

Les boucles de levage sont photographiées avant essai pour vérifier :

- L'intégrité du béton autour de la boucle ;
- L'alignement vertical de la boucle ;
- Le diamètre de la boucle.

Les poutres font l'objet des mesures suivantes :

- Résistance du béton des poutres préfabriquées au jour des essais. Les essais de compression simple seront réalisés sur des éprouvettes cubiques traitées et conservées dans les mêmes conditions que les poutres testées ;  
On dispose de 6 cubes par jour de fabrication, 3 cubes sont testés au début des essais, et 3 cubes en fin d'essai afin d'évaluer l'évolution de la résistance en compression du béton.

- Mesures dimensionnelles des poutres :
  - Longueur dans l'axe de la boucle ;
  - Largeur et hauteur de la section transversale au droit des boucles.
- Mesures du positionnement de chaque boucle :
  - Positionnement en plan de la boucle (distances aux rives de chaque brin et distance à l'about de la poutre) ;
  - Inclinaison  $\delta$  des brins de la boucle dans le plan du levage ;
  - Inclinaison  $\omega$  de la boucle (vue de profil).
- Mesures dimensionnelles des boucles de levage :
  - Hauteur dépassante  $H_s$  de la boucle par rapport à la surface de la poutre ;
  - Diamètre  $D_m$  de cintrage de la boucle ;
  - Diamètre  $\phi$  de la boucle en 3 emplacements : brin gauche, brin droit, et partie courbe de la boucle de levage.

Distances aux bords	Angle d'inclinaison $\omega$	Angle d'inclinaison $\delta$ Diamètre mesuré de cintrage de la boucle : $D_m$ Hauteur intérieure de la boucle : $H_{int}$

Tableau 22 – Mesures effectuées sur les boucles (vue de dessus, de côté et de face de la boucle)

L'ensemble des mesures sur boucles de levage est retranscrit en Annexe 11.

Un essai de chaque type est filmé et à chaque palier des photos sont prises de la zone béton et de la boucle.

Lors des essais, des observations (examen visuel pour détecter d'éventuelles fissures) sont menées à différents temps :

- Au palier d'observation  $F_e$  (dite charge de service) après les cycles de chargement/déchargement afin de s'assurer de l'absence de dégradation apparente ou de fissuration. Dans le cas où une fissure est observée au niveau du point de préhension, on procède à un déchargement et on mesure l'ouverture de fissure, puis on reprend l'essai.
- Au-delà du palier d'observation, on relève la charge correspondant à l'apparition de la première fissure ;
- A la fin de l'essai, on relève le faciès de fissuration au niveau du point de préhension, par photographie.

## 2.3.6. Résultats des essais

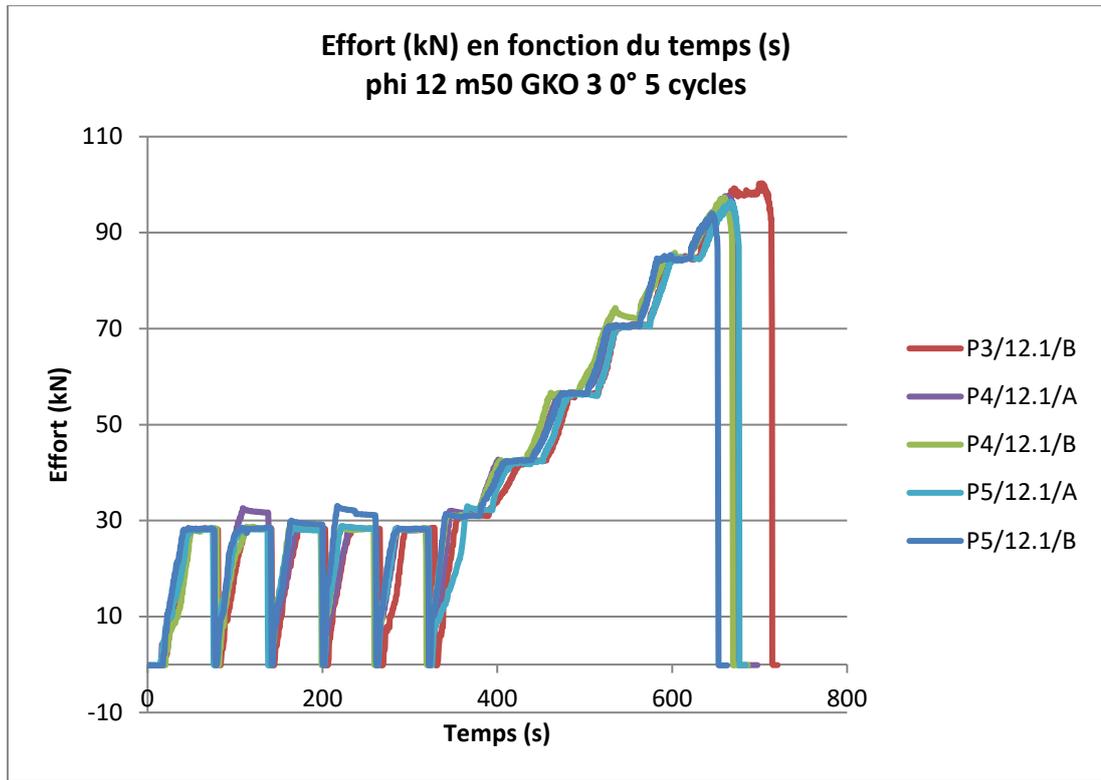
Les résultats d'essais sont présentés selon le même code couleur que décrit dans le plan d'expérience en 2.3.1.

L'ensemble des courbes effort (kN) en fonction du temps (s) et les faciès de rupture associés sont donnés de l'Annexe 12 à l'Annexe 19.

Le tableau en Annexe 11 présente une analyse statistique des résultats d'essais.

### 2.3.6.1. Résultats des essais d'influence du nombre de cycles (essais « saumons »)

Ces essais ont permis de montrer une répétabilité des essais pour une même typologie de boucles de levage, à savoir une montée en charge régulière, une valeur d'effort de rupture presque constante (un écart type de 2 à 3% au maximum) et un faciès de rupture similaire.



Graphique 2 - Exemple de courbe d'effort de rupture (kN) en fonction du temps (s) : répétabilité des essais

Si l'on se ramène à une contrainte à la rupture, à savoir l'effort de rupture divisé par la section de la barre, on retrouve des contraintes cohérentes à celles annoncées par les certificats de réception ou les essais réalisés sur barres droites, à savoir 428,50 MPa en moyenne selon le certificat de réception et 480,67 MPa en moyenne selon les essais de traction pour les aciers issus de la même bobine :

Essais	boucle à tester	diamètre boucle $\phi$ (mm)	diamètre nominal de mandrin de cintrage de la boucle D(mm)	nombre de cycles de chargement	Effort Rupture (kN)	$P_{rupt,moy}$ (kN)	$P_{rk}$ (kN)	$\sigma_{s,rupt}$ (MPa)	$\sigma_{s,rupt,moy}$ (MPa)	$\sigma_{s,rupt,k}$ (MPa)
nombre de cycles de chargement	P1/12.1/A	12	50	1 (rupture directement)	96.32	95.74	93.25	425.84	423.25	412.27
	P1/12.1/B				94.41			417.39		
	P2/12.1/A				96.77			427.83		
	P2/12.1/B				94.78			419.00		
	P3/12.1/A				96.41			426.21		
	P3/12.1/B			100.29	97.14	91.88	443.37	429.47	406.19	
	P4/12.1/A			97.62			431.56			
	P4/12.1/B			97.36			430.44			
	P5/12.1/A			96.44			426.34			
	P5/12.1/B			94.02			415.65			
	P6/12.1/A			10	95.25	95.66	93.91	421.12	422.93	415.15
	P6/12.1/B				94.75			418.88		
	P7/12.1/A				95.87			423.85		
	P7/12.1/B				95.68			422.98		
	P8/12.1/A				96.77			427.83		

Tableau 23 - Efforts et contraintes de rupture pour les essais « saumon » d'influence du nombre de cycles de chargement

Les essais avec 1, 5 ou 10 cycles de chargement présentent globalement les mêmes efforts de rupture (écart-type de 1,56 kN sur l'ensemble des efforts de rupture de moyenne 96,18 kN, soit 1,6 %), le coefficient d'abattement  $\alpha$  proposé dans le Fascicule 65 du CCTG [1] [2] [3] pour les ouvrages provisoires en fonction du nombre d'usages successifs n'est donc pas observé sur ces essais.

Les essais suivants sont alors réalisés avec 5 cycles de chargement, comme il est d'usage d'essayer les organes de levage sur d'autres types de produits de structure en béton.

### 2.3.6.2. Résultats des essais d'influence du ratio largeur B du crochet / diamètre nominal de mandrin de cintrage D de la boucle dans la plage du FD CEN/TR 15728 (essais « verts »)

Ces essais ont également permis de confirmer la répétabilité des essais pour une même typologie de boucles de levage, à savoir pour une montée en charge régulière, une valeur d'effort de rupture presque constante (un écart type de 3,3 % au maximum) et un faciès de rupture similaire.

Si l'on se ramène à une contrainte à la rupture sur les boucles de diamètre 12 ou 16 mm, on retrouve également des contraintes cohérentes à celles annoncées par les certificats de réception ou les essais réalisés sur barres droites, à savoir 428,50 MPa en moyenne selon le certificat de réception et 480,67 MPa en moyenne selon les essais de traction pour les aciers issus de la même bobine de diamètre 12 mm et 470,00 MPa en moyenne selon le certificat de réception et 539,67 MPa en moyenne selon les essais de traction pour les aciers issus de la même bobine de diamètre 16 mm :

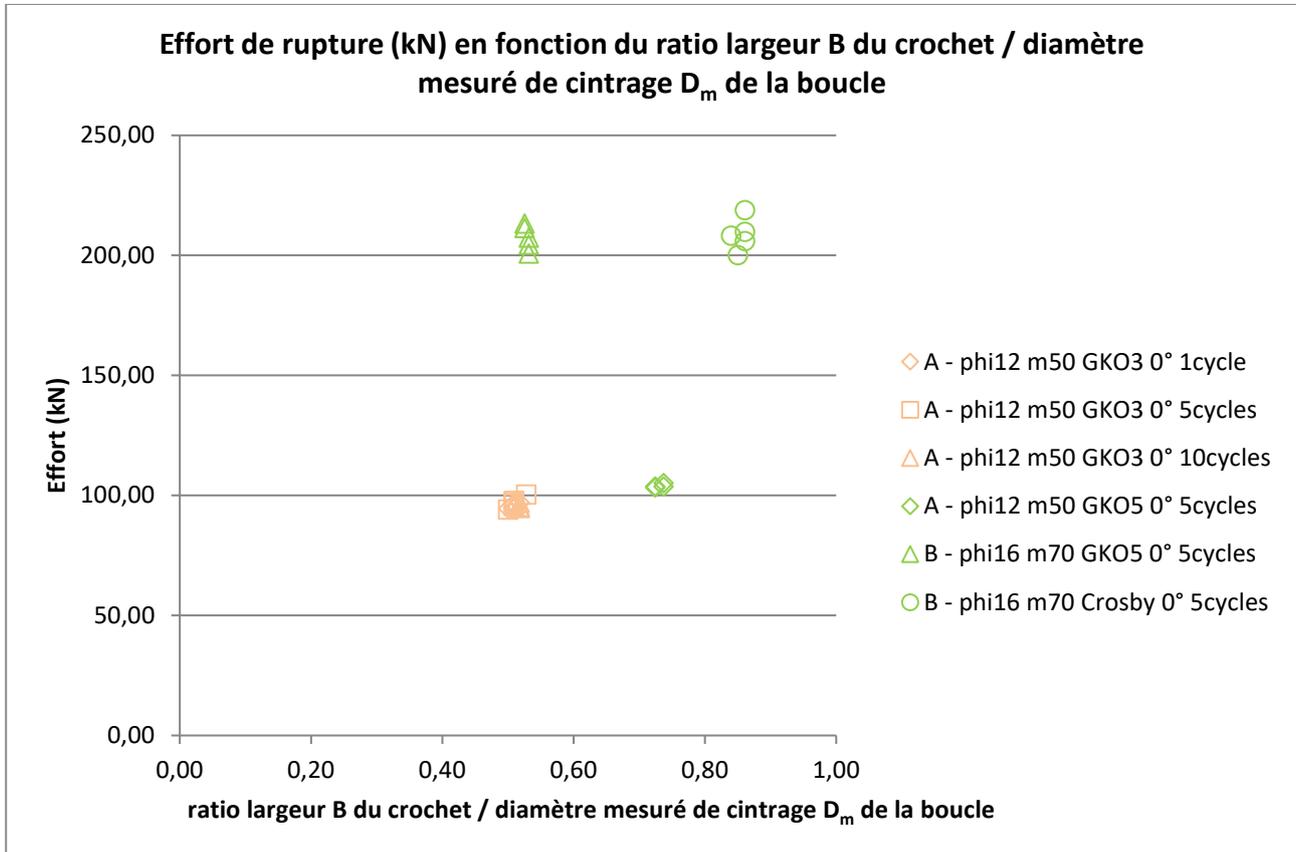
Essais	boucle à tester	diamètre boucle $\phi$ (mm)	diamètre nominal de mandrin de cintrage de la boucle D(mm)	crochet	largeur crochet B(mm)	ratio B/D	diamètre mesuré de cintrage de la boucle D <sub>m</sub> (mm)	ratio largeur du crochet B / diamètre mesuré de cintrage D <sub>m</sub> de la boucle	Effort Rupture (kN)	P <sub>rupt,moy</sub> (kN)	P <sub>rk</sub> (kN)	$\sigma_{s,rupt}$ (Mpa)	$\sigma_{s,rupt,moy}$ (MPa)	$\sigma_{s,rupt,k}$ (Mpa)	
influence crochet pour des ratios largeur B du crochet / diamètre nominal de mandrin de cintrage D de la boucle dans la plage $0,5 \leq B/D \leq 1,0$	P8/12.1/B	12	50	GK05	42	0.84	57.00	0.74	103.64	103.80	102.07	458.17	458.91	451.23	
	P9/12.1/A						57.00	0.74	105.10			464.64			
	P9/12.1/B						58.00	0.72	103.47			457.42			
	P10/12.1/A						58.00	0.72	103.64			458.17			
	P10/12.1/B						58.00	0.72	103.19			456.18			
	P31/16.1/A	16	70		Crosby	68	0.60	79.00	0.53	200.70	207.40	195.61	499.11	515.76	486.45
	P31/16.1/B							79.00	0.53	207.36			515.67		
	P32/16.1/A							79.00	0.53	204.44			508.40		
	P32/16.1/B							80.00	0.53	211.27			525.39		
	P33/16.1/A							80.00	0.53	213.21			530.21		
	P33/16.1/B	81.00	0.84	208.18		517.70									
	P34/16.1/A	79.00	0.86	209.72		521.54									
	P34/16.1/B	79.00	0.86	205.85		511.90									
	P35/16.1/A	80.00	0.85	200.00		497.36									
	P35/16.1/B	79.00	0.86	218.77		544.04									

Tableau 24 – Efforts et contraintes de rupture pour les essais « verts » d'influence du ratio largeur B du crochet / diamètre nominal de mandrin de cintrage D de la boucle en dehors de la plage du FD CEN/TR 15728 [4] [5]

Les efforts moyens à rupture sur les boucles de diamètre 12 mm de la bobine A pour un ratio (largeur B du crochet / diamètre mesuré de cintrage D<sub>m</sub> de la boucle) moyen de 0,51 ou 0,73 sont respectivement de 96,18 (moyenne des essais d'influence du nombre de cycles de chargement « saumon ») et 103,80 kN.

Les efforts moyens à rupture sur les boucles de diamètre 16 mm de la bobine C pour un ratio (largeur du crochet B / diamètre mesuré de cintrage D<sub>m</sub> de la boucle) moyen de 0,53 ou 0,85 sont respectivement de 207,40 et 208,50 kN.

Les essais à ratios largeur B du crochet / diamètre nominal de mandrin de cintrage D de la boucle dans la plage du FD CEN/TR 15728 présentent donc globalement les mêmes efforts de rupture.



Graphique 3 – Effort de rupture (kN) en fonction du ratio largeur B du crochet / diamètre mesuré de cintrage D<sub>m</sub> de la boucle : résultats des essais d’influence du ratio largeur B du crochet / diamètre nominal de mandrin de cintrage D de la boucle dans la plage du FD CEN/TR 15728

### 2.3.6.3. Résultats des essais d’influence de l’angle de chargement (essais « bleu clair »)

Le crochet a été choisi pour cet essai de manière à obtenir un ratio largeur B du crochet / diamètre nominal de mandrin de cintrage D de la boucle dans la plage du FD CEN/TR 15728 de 0,56.

Les faciès de rupture relevés sont pour les essais à :

- 0° : au contact du crochet ;
- 30° : en pied du brin vertical de la boucle, orientée du côté de l’effort de traction et/ou au contact crochet ;
- 45° : en pied du brin vertical de la boucle, orientée du côté de l’effort de traction.



Photo 4 – Exemples de faciès de rupture

Les efforts moyens à rupture sur les boucles de diamètre 12 mm pour un angle de chargement de 0°, 30° ou 45° sont respectivement de 104,50 ; 103,55 et 101,86 kN.

Essais	boucle à tester	angle de chargement $\beta$ (par rapport à la verticale)	crochet	largeur crochet B(mm)	Effort Rupture (kN)	$P_{rupt,moy}$ (kN)	$P_{rk}$ (kN)		
influence angle de chargement	P21/12.2/A	0	GK05	42	108.53	104.50	97.84		
	P21/12.2/B				100.88				
	P22/12.2/A				104.34				
	P22/12.2/B				105.66				
	P23/12.2/A				103.10				
	P23/12.2/B	103.80			103.55	101.18			
	P24/12.2/A	105.18							
	P24/12.2/B	102.74							
	P25/12.2/A	103.27							
	P25/12.2/B	102.74							
	P26/12.2/A	45					96.80	101.86	93.87
	P26/12.2/B						101.53		
	P27/12.2/A						106.00		
	P27/12.2/B						103.78		
P28/12.2/A	101.19								

Tableau 25 – Efforts de rupture pour les essais « bleu clair » d'influence de l'angle de levage

Les essais à angle de chargement compris entre 0° et 45° présentent donc globalement les mêmes efforts de rupture.

L'abattement proposé dans le FD CEN/TR 15728 de 2008 [4] de 15 % par 10° d'angle de chargement n'est pas observé sur ces essais.

#### 2.3.6.4. Résultats des essais d'influence de la hauteur dépassante (essais « violets »)

Les efforts moyens à rupture pour une hauteur dépassante de 400 mm, 400 mm bloquée et 150 mm sont respectivement de 89,97 ; 90,59 et 88,64 kN.

La hauteur dépassante de la boucle de levage n'a donc pas d'impact sur la valeur de l'effort à rupture de la boucle entre 150 et 400 mm.

La présence d'un blocage et la distance de ce blocage à la poutre n'ont pas non plus d'influence sur l'effort à la rupture de la boucle.

Essais		boucle à tester	diamètre boucle $\phi$ (mm)	diamètre nominal de mandrin de cintrage de la boucle D(mm)	hauteur boucle dépassante Hs (mm)	angle de chargement $\beta$ (par rapport à la verticale)	Effort Rupture Frupt (kN)	$P_{rupt,moy}$ (kN)	$P_{rk}$ (kN)
hauteur dépassante	hauteur dépassante	Po81/A/T8	12	50	400	30	91.09	89.97	83.96
		Po82/A/T8					86.40		
		Po83/A/T8					88.31		
		Po84/A/T8					92.86		
		Po85/A/T8					91.20		
	ref hauteur dépassante	Po71/A/T7			150		86.87	88.64	85.40
		Po71/B/T7					89.69		
		Po72/A/T7					87.99		
		Po72/B/T7					88.29		
		Po73/A/T7					90.36		
	hauteur dépassante "bloquée" par cadres dépassants	Po81/B/T8			400		90.25	90.59	87.38
		Po82/B/T8					88.79		
		Po83/B/T8					89.97		
		Po84/B/T8					92.05		
		Po85/B/T8					91.91		

Tableau 26 – Efforts de rupture pour les essais « violets » d'influence de la hauteur dépassante avec ou sans présence de cadres bloquants

#### 2.3.6.5. Résultats des essais d'influence du ratio largeur B du crochet / diamètre nominal de mandrin de cintrage D de la boucle en dehors de la plage du FD CEN/TR 15728 (essais « rouges » et « jaunes »)

L'ensemble des résultats est donné ci-après.

Essais		boucle à tester	diamètre boucle $\phi$ (mm)	diamètre nominal de mandrin de cintrage de la boucle D(mm)	crochet	largeur crochet B(mm)	ratio B/D	diamètre mesuré de cintrage de la boucle D <sub>m</sub> (mm)	ratio largeur du crochet B / diamètre mesuré de cintrage D <sub>m</sub> de la boucle	rapport (B/D <sub>m</sub> ) caractéristique	Effort Rupture Frupt (kN)	P <sub>rupt,moy</sub> (kN)	P <sub>rk</sub> (kN)
influence ratio largeur B du crochet / diamètre nominal de mandrin de cintrage D de la boucle hors plage Technical Report 0,5 ≤ B/D ≤ 1,0 - phase 1	ratio largeur B du crochet / diamètre nominal de mandrin de cintrage D de la boucle hors plage TR représentatif chantier	Po61/A/T6	12	170	GKO3	29	0.17	180.00	0.16	0.16	73.73	73.09	68.54
		Po61/B/T6						182.00	0.16		69.71		
		Po62/A/T6						181.00	0.16		73.40		
		Po62/B/T6						182.00	0.16		74.71		
		Po63/A/T6						178.00	0.16		73.93		
	essai presque dans la plage du TR (ratio B/D=0,40) (ref de l'essai ratio 0,17)	Po63/B/T6			183.00	0.37	82.56						
		Po64/A/T6			178.00	0.38	85.53						
		Po64/B/T6			182.00	0.37	84.24						
		Po65/A/T6			180.00	0.38	82.34						
		Po65/B/T6			180.00	0.38	82.68						
influence ratio largeur B du crochet / diamètre nominal de mandrin de cintrage D de la boucle hors plage Technical Report 0,5 ≤ B/D ≤ 1,0 - phase 2	ratio largeur B du crochet / diamètre nominal de mandrin de cintrage D de la boucle hors plage TR représentatif chantier	Po11/A/T1	12	100	GKO3	29	0.29	105.00	0.28	0.30	98.62	96.77	93.37
		Po11/B/T1						103.00	0.28		94.63		
		Po12/A/T1						106.00	0.27		96.73		
		Po12/B/T1						102.00	0.28		96.45		
		Po13/A/T1						100.00	0.29		97.41		
	essai presque dans la plage du TR (ratio B/D=0,40) (ref de l'essai ratio 0,17)	Po41/A/T4	16	200	GKO5	42	0.21	215.00	0.20	0.20	184.89	187.11	179.35
		Po41/B/T4						220.00	0.19		182.32		
		Po42/A/T4						220.00	0.19		189.60		
		Po42/B/T4						218.00	0.19		189.15		
		Po43/A/T4						220.00	0.19		189.59		
		essai presque dans la plage du TR (ratio B/D=0,40) (ref de l'essai ratio 0,17)			Po43/B/T4	221.00	0.31	185.78					
					Po44/A/T4	220.00	0.31	185.55					
					Po44/B/T4	221.00	0.31	186.72					
					Po45/A/T4	220.00	0.31	184.53					
					Po45/B/T4	219.00	0.31	187.14					

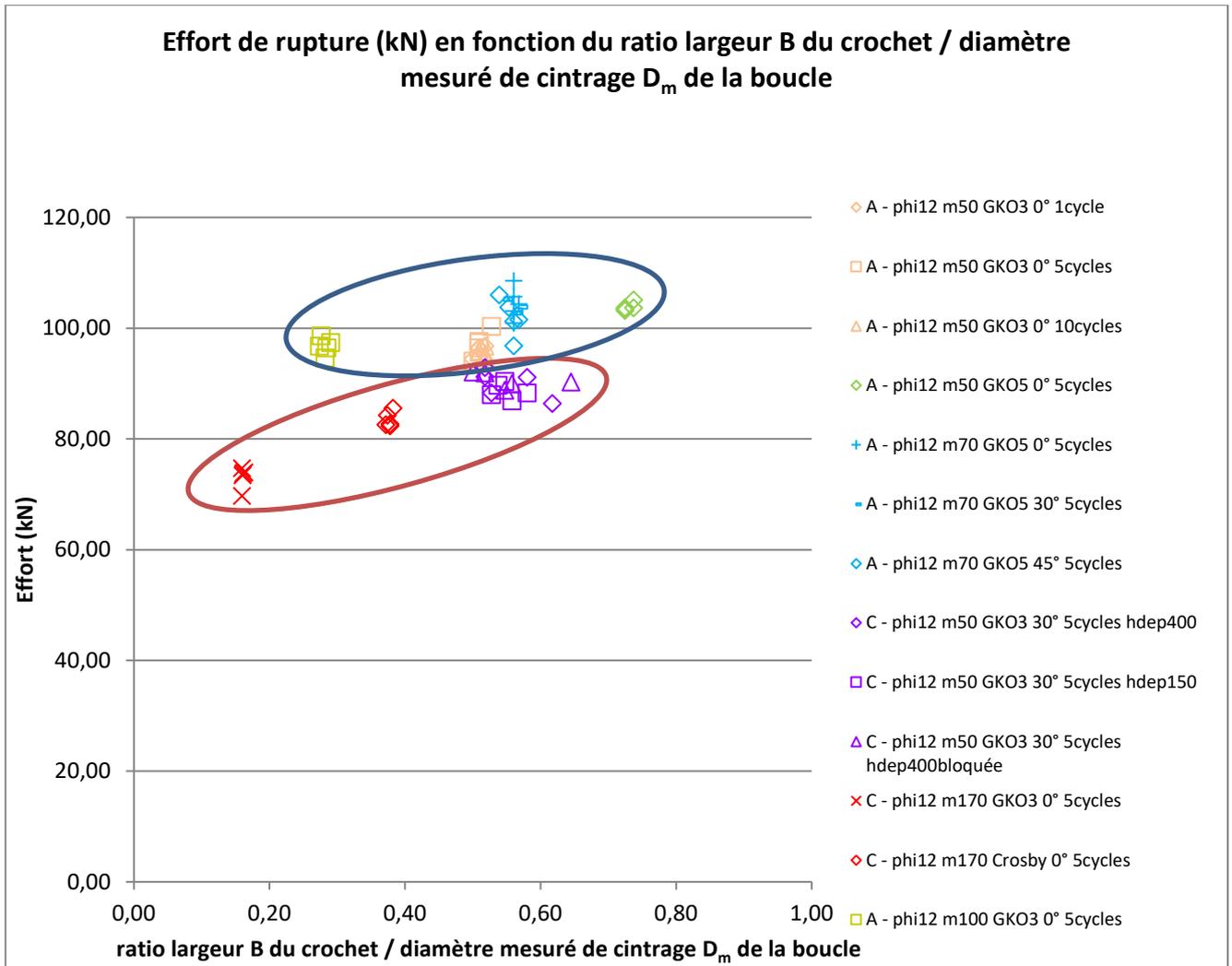
Tableau 27 – Efforts de rupture pour les essais « rouges » et « jaunes » d'influence du ratio largeur B du crochet / diamètre nominal de mandrin de cintrage D de la boucle en dehors de la plage du FD CEN/TR 15728 [4] [5], soit pour des ratios largeur B du crochet / diamètre mesuré de cintrage D<sub>m</sub> de la boucle inférieurs à 0,5

Il convient de distinguer les essais réalisés avec les boucles de diamètre 12 mm issues de la bobine A et celles issues de la bobine C.

Pour les essais réalisés avec les boucles issues de la bobine A, entourés en bleu, on compare le premier essai « jaune » avec les essais précédents saumons, verts et bleus.

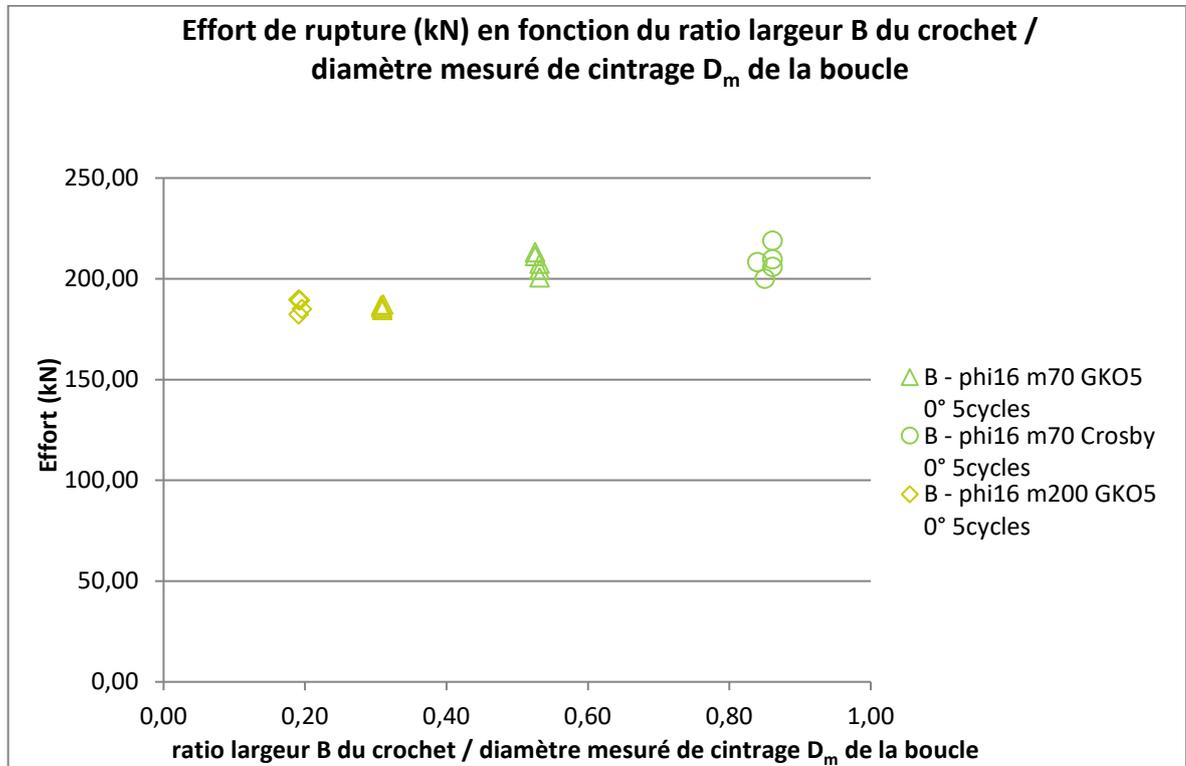
Pour les essais réalisés avec les boucles issues de la bobine C, entourés en rouge, on compare seulement les essais « rouges » aux essais « violets ».

Le graphique ci-après présente les efforts de rupture des différents essais en fonction du ratio largeur B du crochet / diamètre mesuré de cintrage D<sub>m</sub> de la boucle.



Graphique 4 – Effort de rupture (kN) en fonction du ratio largeur B du crochet / diamètre mesuré de cintrage  $D_m$  de la boucle : résultats d'essais sur boucles de diamètre 12 mm issues des bobines A et C

Les essais étant réalisés avec les boucles de diamètre 16 mm, toutes issues de la même bobine B, on compare donc les essais « jaunes » avec les essais précédents « verts ».



Graphique 5 – Effort de rupture (kN) en fonction du ratio largeur B du crochet / diamètre mesuré de cintrage  $D_m$  de la boucle : résultats d’essais sur boucles de diamètre 16 mm issues des bobines B

On constate donc sur l’ensemble des trois bobines une diminution de la valeur de l’effort de rupture quand le ratio largeur B du crochet / diamètre mesuré de cintrage  $D_m$  de la boucle diminue en dehors de la plage du FD CEN/TR 15728 (0,5 à 1,0).

#### 2.3.6.6. Résultats des essais d’influence de la forme du crochet (essais « bruns »)

Ces essais sont effectués sur des boucles de diamètre 16 mm présentant des diamètres de cintrage très atypiques permettant d’obtenir avec des crochets différents un même ratio largeur B du crochet / diamètre nominal de mandrin de cintrage D de la boucle.

Ainsi avec un diamètre nominal de mandrin de cintrage théorique de 100 mm et un crochet GKO 5, le ratio largeur B du crochet / diamètre nominal de mandrin de cintrage D de la boucle théorique est de 0,42 et un diamètre nominal de mandrin de cintrage théorique D de 150 associé à un crochet Crosby permet un ratio largeur B de crochet / diamètre nominal de mandrin de cintrage D de la boucle théorique de 0,45.

Ces crochets présentent des faciès de siège très différents afin d’évaluer l’influence de la forme du crochet sur l’effort à rupture de la boucle de levage pour un même ratio largeur B du crochet / diamètre nominal de mandrin de cintrage D de la boucle.

Pour un même ratio (largeur B du crochet / diamètre mesuré de cintrage  $D_m$  de la boucle) réel d’environ 0,40, les efforts moyens à rupture sur les boucles de diamètre 16 mm sont respectivement de 201,49 et 202,99 kN, soit une différence de moins de 1%.

Essais	boucle à tester	diamètre nominal de mandrin de cintrage de la boucle D(mm)	angle de chargement $\beta$ (par rapport à la verticale)	crochet	largeur crochet B(mm)	ratio B/D	diamètre mesuré de cintrage de la boucle Dm (mm)	ratio largeur du crochet B / diamètre mesuré de cintrage Dm de la boucle	rapport (B/Dm) caractéristique	Effort Rupture Frupt (kN)	$P_{rupt,moy}$ (kN)	$P_{rk}$ (kN)
influence forme crochet pour même ratio largeur B du crochet / diamètre nominal de mandrin de cintrage D de la boucle	Po21/A/T2	100	30	GKO5	42	0.42	110.00	0.38	0.39	215.56	201.49	181.49
	Po21/B/T2						110.00	0.38		203.48		
	Po22/A/T2						110.00	0.38		194.12		
	Po22/B/T2						109.00	0.39		196.69		
	Po23/A/T2						108.00	0.39		197.58		
	Po31/A/T3						150	Crosby		68		
	Po31/B/T3	159.00	0.43	199.60								
	Po32/A/T3	160.00	0.43	202.81								
	Po32/B/T3	161.00	0.42	204.85								
	Po33/A/T3	161.00	0.42	202.87								
	Po33/B/T3											

Tableau 28 – Efforts de rupture pour les essais « bruns » d'influence de la forme du crochet de levage pour un même ratio largeur B du crochet / diamètre nominal de mandrin de cintrage D de la boucle

La forme du crochet de levage ne présente donc pas d'influence significative sur l'effort à la rupture de la boucle.

### 2.3.6.7. Résultats des essais complémentaires d'influence de l'alternance des angles de levage (essais « bleu foncé »)

L'essai sur boucle de diamètre 12 mm avec des angles 0/30° alternés peut être comparé à l'essai « jaune » similaire réalisé avec les mêmes caractéristiques à 0°.

Les efforts moyens à rupture sur ces boucles sont respectivement de 99,43 et 96,77 kN.

L'essai sur boucle de diamètre 16 mm avec des angles 0/30° alternés peut être comparé à l'essai « brun » similaire réalisé avec les mêmes caractéristiques à 30°.

Les efforts moyens à rupture sur ces boucles sont respectivement de 204,52 et 202,99 kN.

Essais	boucle à tester	diamètre boucle $\phi$ (mm)	diamètre nominal de mandrin de cintrage de la boucle D(mm)	angle de chargement $\beta$ (par rapport à la verticale)	crochet	largeur crochet B(mm)	nombre de cycles de chargement	ratio B/D	diamètre mesuré de cintrage de la boucle Dm (mm)	ratio largeur du crochet B / diamètre mesuré de cintrage Dm de la boucle	rapport (B/Dm) caractéristique	Effort Rupture Frupt (kN)	$P_{rupt,moy}$ (kN)	$P_{rk}$ (kN)
influence ratio largeur B du crochet / diamètre nominal de mandrin de cintrage D de la boucle hors plage Technical Report 0,5 ≤ B/D ≤ 1,0 - phase 2	Po11/A/T1	12	100	0	GKO3	29	5	0.29	105.00	0.28	0.30	98.62	96.77	93.37
	Po11/B/T1								103.00	0.28		94.63		
	Po12/A/T1								106.00	0.27		96.73		
	Po12/B/T1								102.00	0.28		96.45		
	Po13/A/T1								100.00	0.29		97.41		
influence forme crochet pour même ratio largeur B du crochet / diamètre nominal de mandrin de cintrage D de la boucle	Po31/A/T3	16	150	30	Crosby	68	5	0.45	161.00	0.42	0.43	204.85	202.99	197.98
	Po31/B/T3								159.00	0.43		199.60		
	Po32/A/T3								160.00	0.43		202.81		
	Po32/B/T3								161.00	0.42		204.85		
	Po33/A/T3								161.00	0.42		202.87		
complément influence angle avec paliers ELS à angles de chargement alternés	Po13/B/T1	12	100	0/30 alterné	GKO3	29	5x2	0.29	109.00	0.27	0.31	94.71	99.43	88.48
	Po14/A/T1								113.00	0.26		98.75		
	Po14/B/T1								97.00	0.30		106.71		
	Po15/A/T1								104.00	0.28		96.18		
	Po15/B/T1								108.00	0.27		100.79		
	Po33/B/T3	16	150	Crosby	68	5x2	0.45	162.00	0.42	0.43	206.61	204.52	193.56	
	Po34/A/T3							159.00	0.43		205.41			
	Po34/B/T3							160.00	0.43		209.29			
	Po35/A/T3							163.00	0.42		196.74			
	Po35/B/T3							0.00	0.42		204.52			

Tableau 29 – Efforts de rupture pour les essais « bleu foncé » d'influence de l'alternance des angles, comparés aux essais de référence de même configuration à 5 cycles non alternés

L'alternance des angles de levage n'a donc pas d'influence significative sur l'effort à la rupture de la boucle.

### 2.3.7. Conclusion des essais

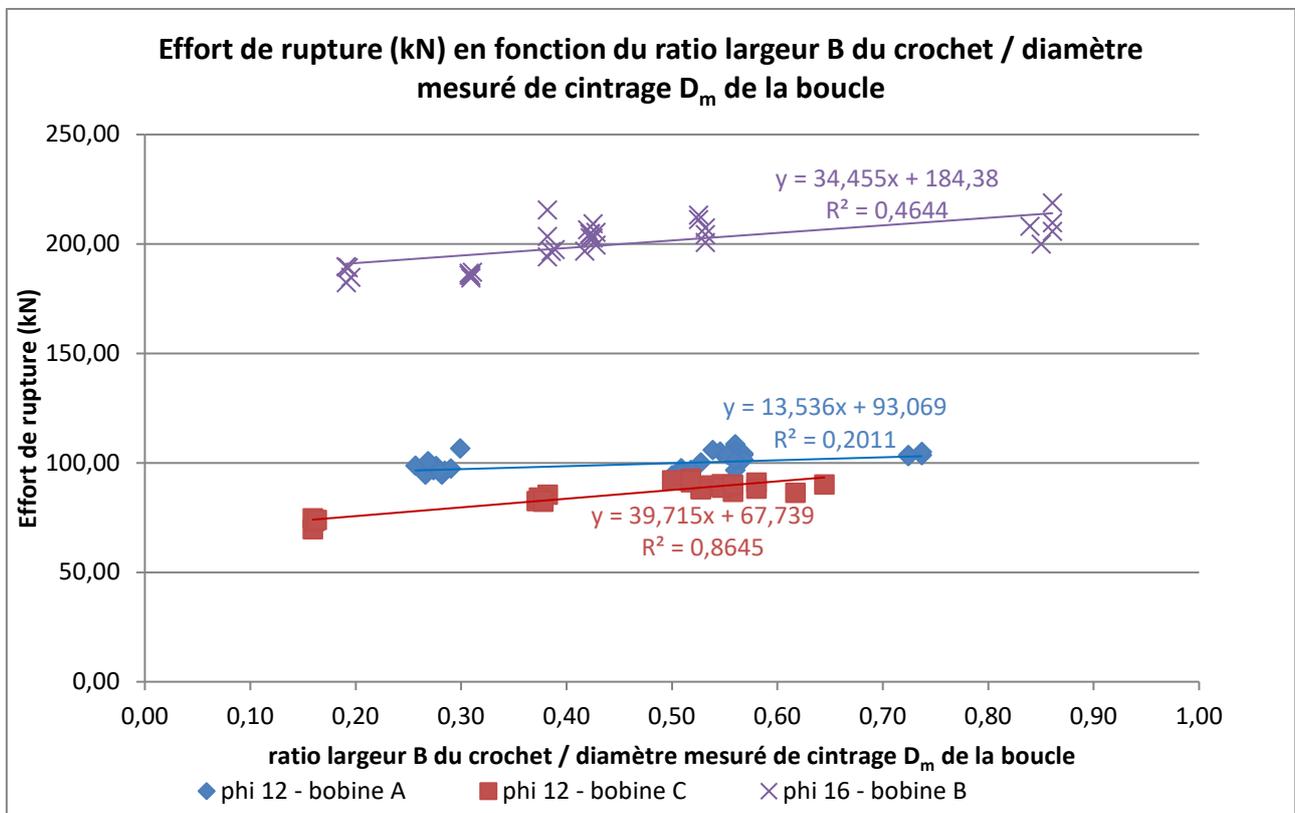
Sur l'ensemble des essais réalisés sur boucles de diamètres 12 et 16 mm, l'effort de rupture était indépendant :

- Du nombre de cycles de chargement jusqu'à 10 cycles, que les angles soient alternés ou non ;
- De la forme du crochet de levage ;
- De l'angle de chargement jusqu'à 45 °, sans toutefois remettre en cause la limitation à 30 ° usuelle ;
- De la hauteur dépassante de la boucle jusqu'à 40 cm avec blocage potentiel par des cadres dépassants.

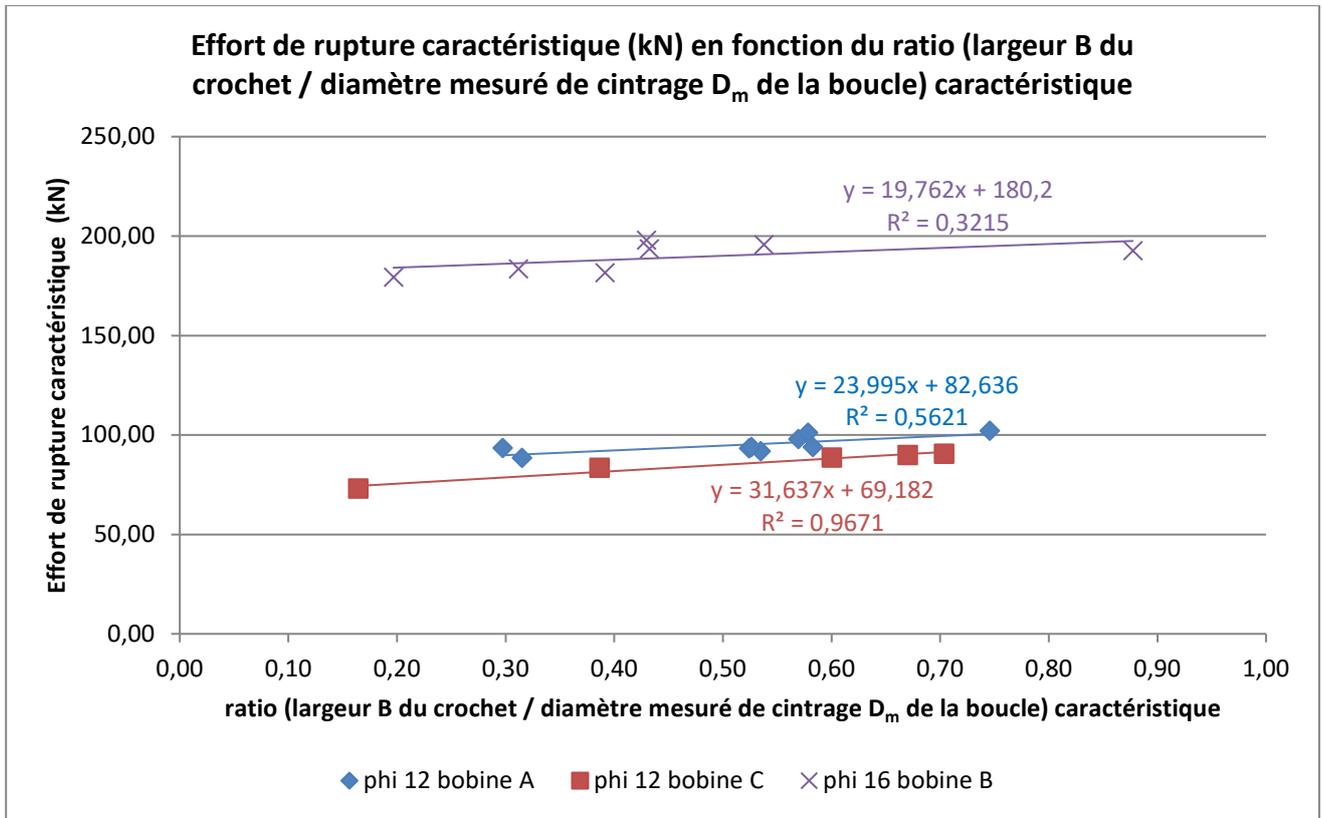
Les essais ont permis de montrer une répétabilité des essais pour une même typologie de boucles de levage, à savoir pour une montée en charge régulière, une valeur d'effort de rupture constante et un faciès de rupture similaire selon les angles de chargement :

- A 0 ° : la rupture est au contact crochet ;
- A 30 ° : la rupture est en pied du brin vertical de la boucle, orientée du côté de l'effort de traction et/ou au contact crochet ;
- A 45 ° : la rupture est systématiquement en pied du brin vertical de la boucle, orientée du côté de l'effort de traction.

Il en résulte que le seul paramètre identifié influant sur la résistance à la rupture de la boucle de levage est le rapport entre la largeur du crochet B et le diamètre nominal de mandrin de cintrage D de la boucle, comme le montrent les graphiques ci-après de l'effort de rupture en fonction du ratio largeur B du crochet / diamètre mesuré de cintrage D<sub>m</sub> de la boucle pour l'ensemble des essais, que ce soit en valeurs individuelles ou caractéristiques :



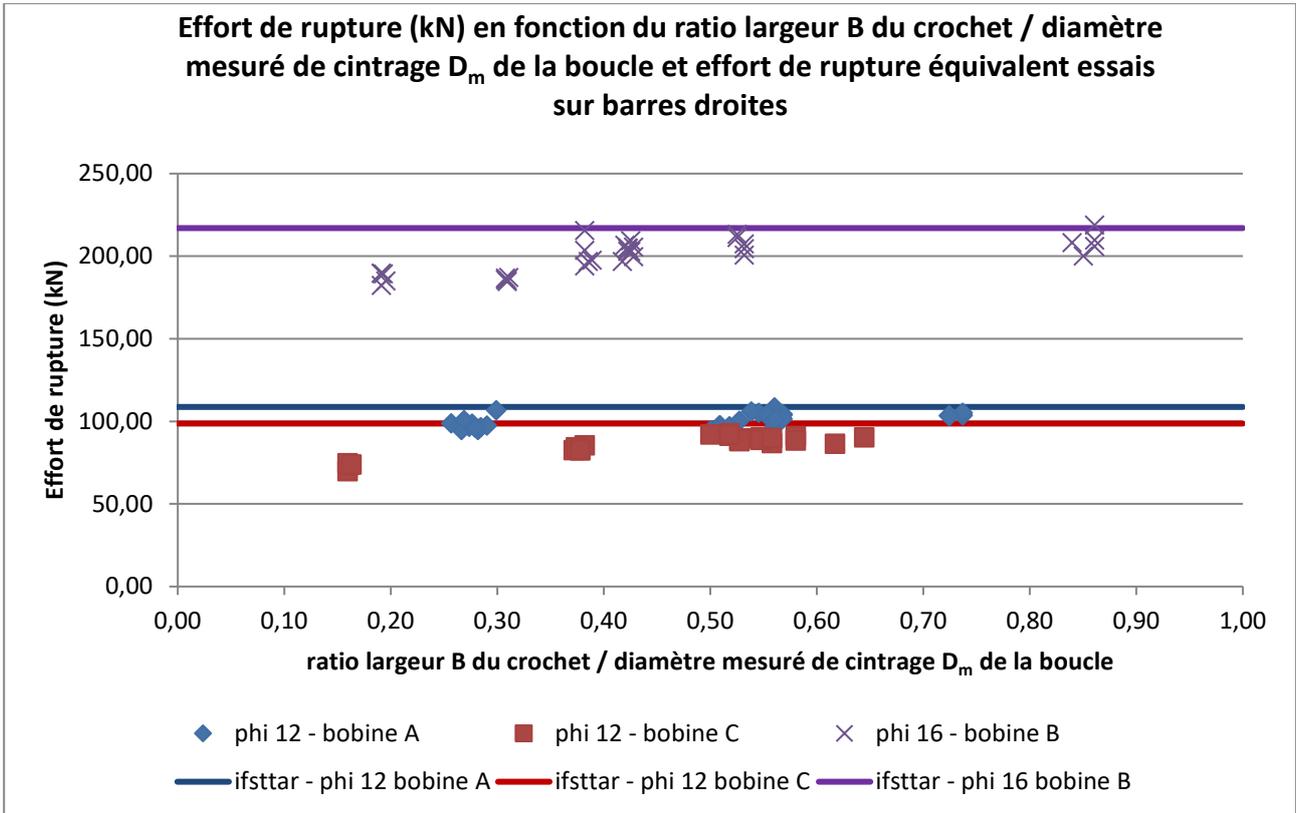
Graphique 6 – Effort de rupture en fonction du ratio largeur B du crochet / diamètre mesuré de cintrage D<sub>m</sub> de la boucle pour les 3 bobines



Graphique 7 – Effort de rupture caractéristique en fonction du ratio (largeur B du crochet / diamètre mesuré de cintrage  $D_m$  de la boucle) caractéristique pour les 3 bobines

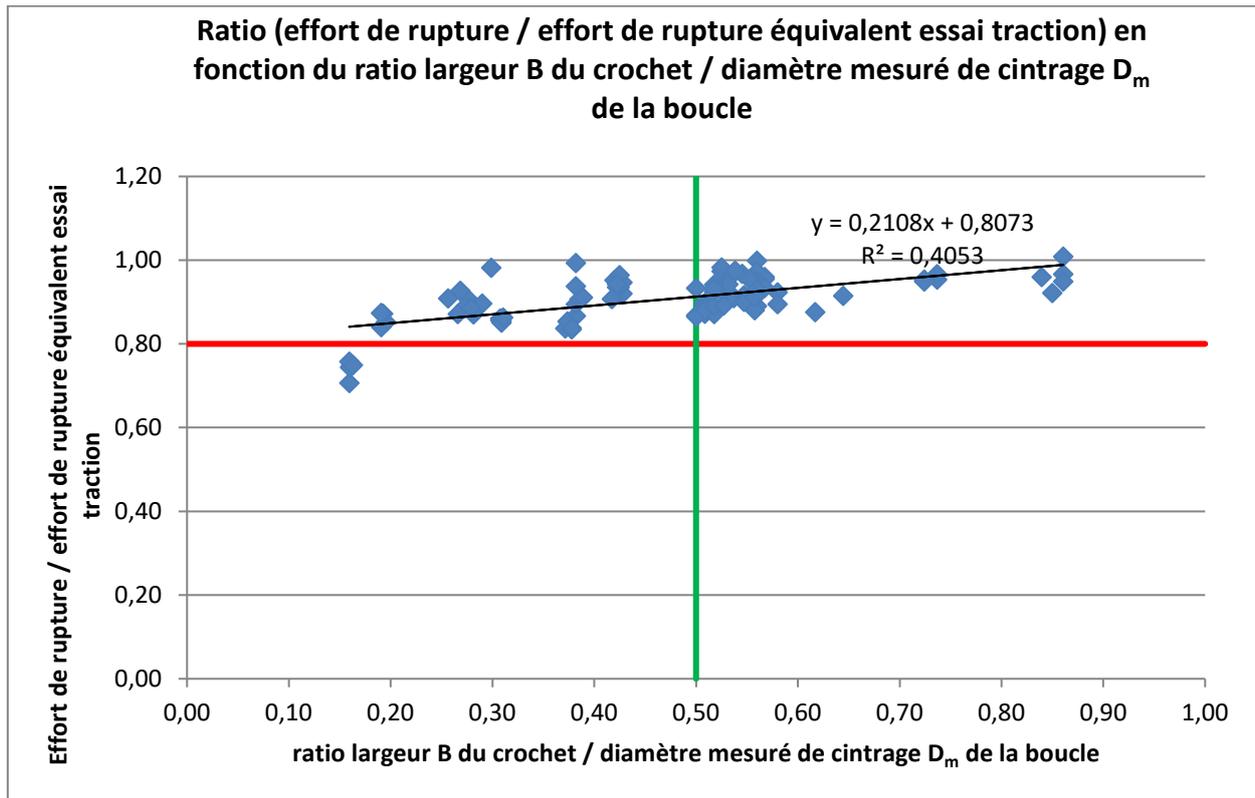
Si l'on se ramène à une contrainte à la rupture, à savoir l'effort de rupture divisé par la section de la barre, on retrouve des contraintes cohérentes à celles annoncées par les certificats de réception ou les essais réalisés sur barres droites.

Le graphique ci-après donne pour les trois bobines d'acier mesurées, les efforts de rupture attendus par rapport aux contraintes de rupture mesurées par essais de traction et les efforts de rupture mesurés par essais sur boucles de levage.

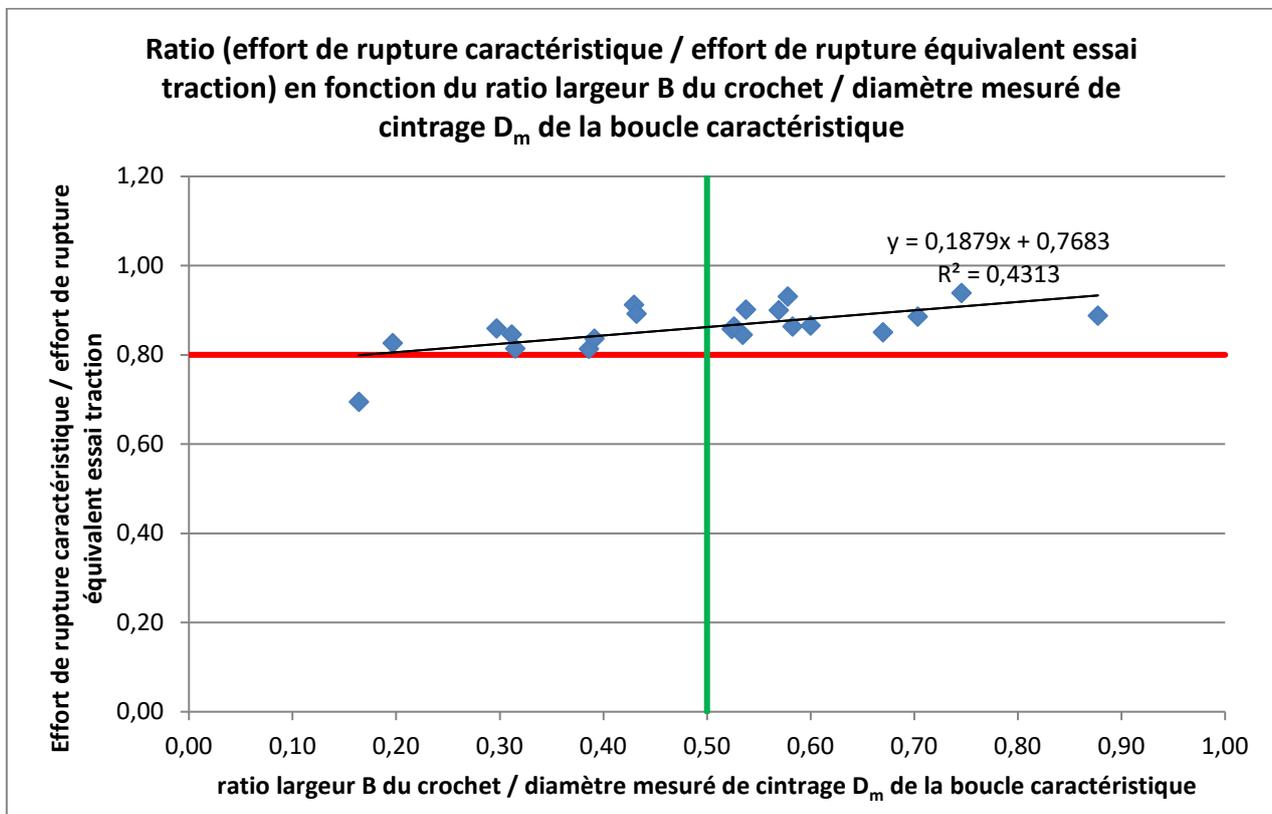


Graphique 8 – Effort de rupture en fonction du ratio largeur B du crochet / diamètre mesuré de cintrage  $D_m$  de la boucle comparé aux efforts de rupture attendus par rapport aux essais sur barres droites

Les Graphique 9 et Graphique 10 donnent pour l'ensemble des essais le ratio entre les efforts de rupture mesurés par essais sur boucles de levage et les efforts de rupture attendus par rapport aux contraintes de rupture mesurées par essais de traction en fonction du ratio largeur B du crochet / diamètre mesuré de cintrage  $D_m$  de la boucle, en valeurs individuelles et caractéristiques.



Graphique 9 – Ratio (effort de rupture / effort de rupture équivalent essai traction) en fonction du ratio largeur B du crochet / diamètre mesuré de cintrage  $D_m$  de la boucle réel sur l'ensemble des essais



Graphique 10 – Ratio (effort de rupture caractéristique / effort de rupture équivalent essai traction) en fonction du ratio largeur B du crochet / diamètre mesuré de cintrage  $D_m$  de la boucle caractéristique sur l'ensemble des essais

Ceci permet de confirmer la pertinence du « coefficient de forme » de 0,8 pris en compte dans la formule de calcul de la *valeur maximale de l'effort statique* du Fascicule 65 du CCTG de 2008 [2] mentionné explicitement dans le Fascicule 65 du CCTG de 1985 [1], dans la plage des ratios largeur B du crochet / diamètre nominal de mandrin de cintrage D de la boucle de 0,5 à 1,0.

L'effort à la rupture sur boucle peut donc se baser sur la résistance à la traction des boucles de levage sous réserve de l'application d'un coefficient minorateur de 0,8 dans la plage du FD CEN/TR 15728 [4] [5] pour des ratios largeur B du crochet / diamètre nominal de mandrin de cintrage D de la boucle de 0,5 à 1,0.

Hors de cette plage, il convient d'ajouter un coefficient minorateur K supplémentaire, basé sur l'équation de la régression linéaire la plus pénalisante à savoir la courbe d'effort de rupture (kN) en fonction du ratio largeur B du crochet / diamètre mesuré de cintrage  $D_m$  de la boucle R pour les essais sur boucles de levage diamètre 12 mm de la bobine C (courbe rouge du Graphique 6) :

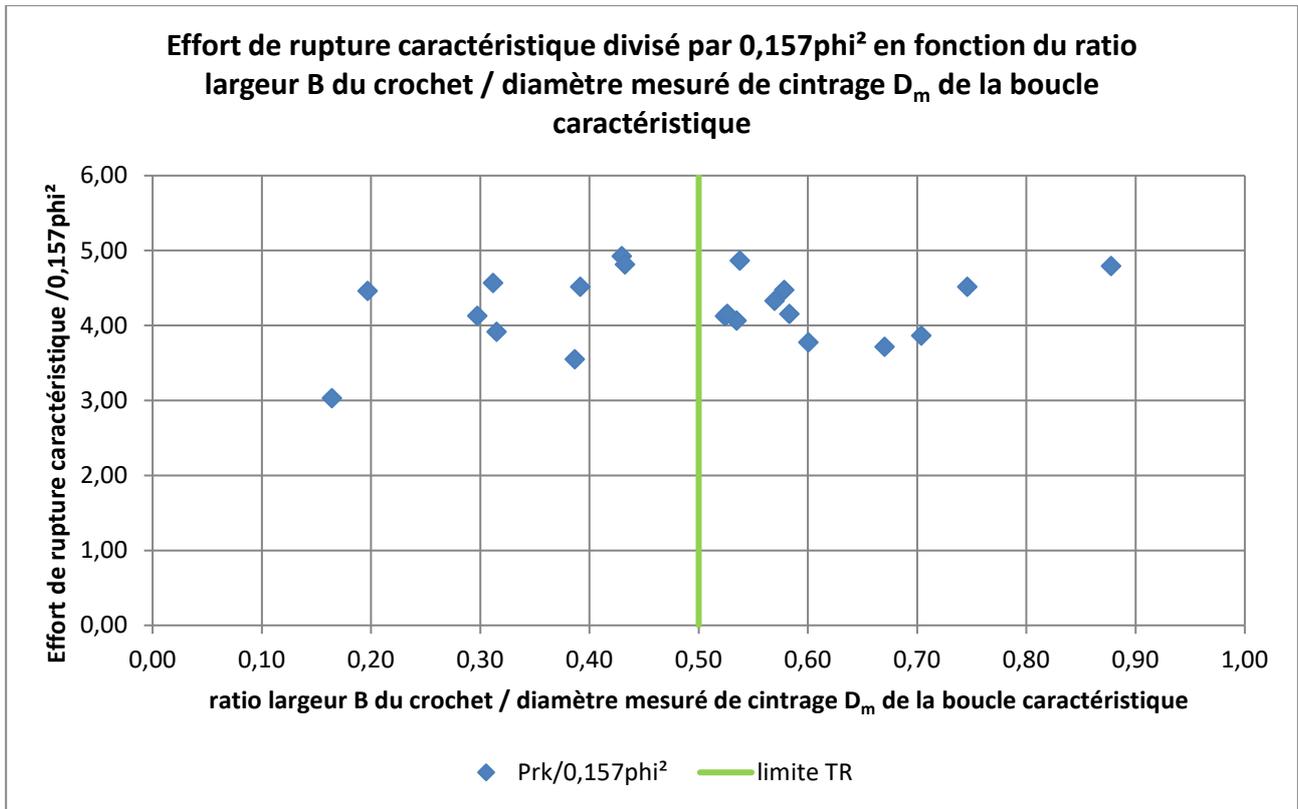
Le coefficient vaut  $K = y(R = 0,15)/y(R = 0,5)$  puisqu'il définit le rapport entre la valeur pour un ratio largeur B du crochet / diamètre de cintrage D de la boucle  $R = 0,5$  qui est la valeur de référence et la valeur pour un ratio largeur B de crochet / diamètre de cintrage D de la boucle  $R = 0,15$  qui est un minimum considérant les largeurs de crochet habituellement trouvées sur le marché :

$$K = (39,7 * 0,15 + 67,7) / (39,7 * 0,5 + 67,7) = 0,84$$

Pour plus de lisibilité, on retient un coefficient minorateur  $K = 0,85$  en dehors de la plage du FD CEN/TR 15728 [4] [5] pour des ratios largeur B du crochet / diamètre nominal de mandrin de cintrage D de la boucle entre 0,15 et 0,5.

### 2.3.8. Valeur maximale de l'effort statique des boucles de levage

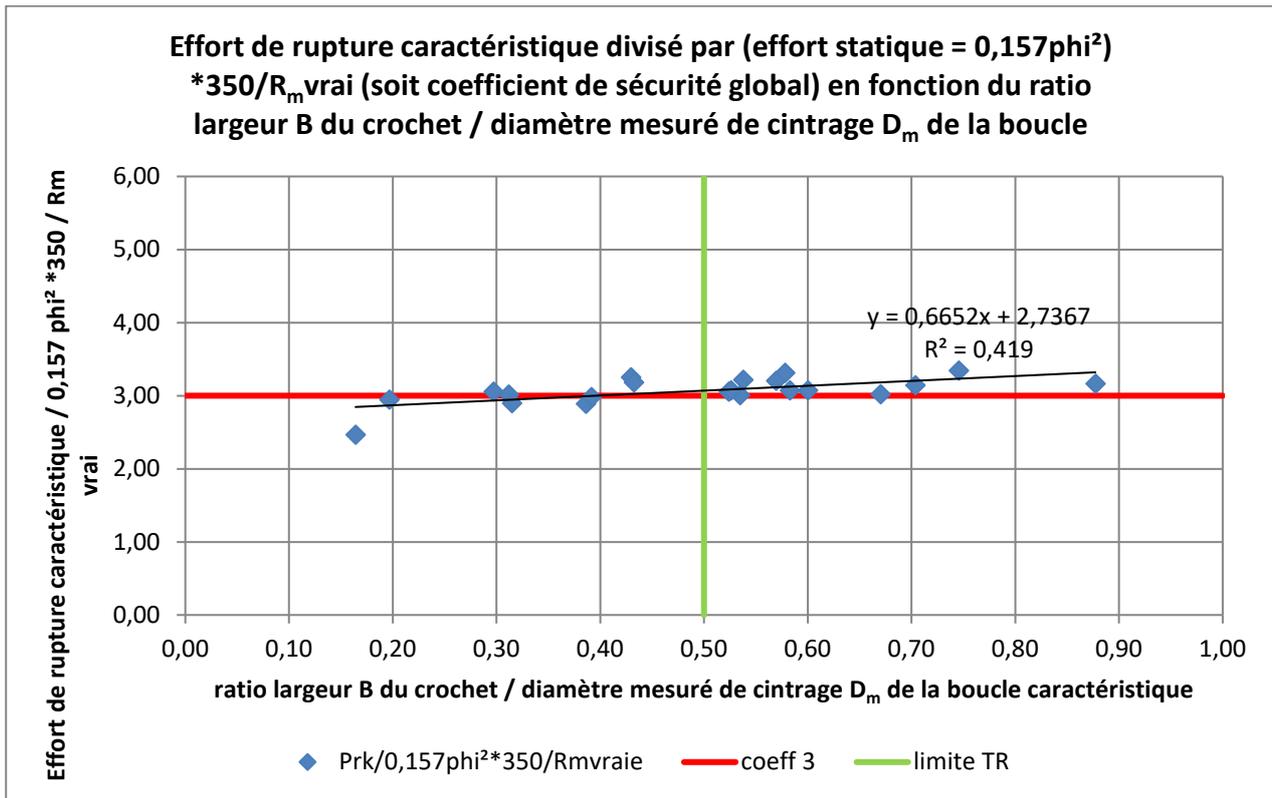
Le Graphique 11 présente les efforts à rupture mesurés lors des essais comparés à la valeur maximale de l'effort statique que l'on peut appliquer à une épingle diamètre  $\emptyset$  (mm) du Fascicule 65 du CCTG considérée sans arrondi :  $0,157 \cdot \emptyset^2$  en fonction du ratio largeur B du crochet / diamètre mesuré de cintrage  $D_m$  de la boucle.



Graphique 11 – Ratio (effort de rupture caractéristique divisé par  $0,157\phi^2$ ) en fonction du ratio largeur B du crochet / diamètre mesuré de cintrage  $D_m$  de la boucle caractéristique sur l'ensemble des essais

Le coefficient de sécurité à la rupture rapporté à la valeur maximale de l'effort statique applicable à une boucle de levage serait donc de 3,03 sans prise en compte du ratio largeur B du crochet / diamètre mesuré de cintrage  $D_m$  de la boucle, et de 3,71 pour des ratios largeur B du crochet / diamètre mesuré de cintrage  $D_m$  de la boucle supérieurs ou égaux à 0,5.

Toutefois, les valeurs de résistance à la traction des barres droites testées étant supérieures à 350 MPa (valeur minimale de  $R_m$  garantie jusqu'en 1996 par la norme NF A 35-015 pour la nuance d'acier Fe E 235 et cohérente avec celle du S235 définie par la NF EN 10025-2 qui a été réintroduite dans la NF A 35-015 révisée à la suite de cette étude et publiée en 2019), on corrige le coefficient de sécurité obtenu en le divisant par  $R_m$  mesuré/350 MPa :



Graphique 12 – Ratio (effort de rupture caractéristique divisé par  $0,157\phi^2 * 350/R_{m,vrai}$ ) en fonction du ratio largeur B du crochet / diamètre mesuré de cintrage  $D_m$  de la boucle caractéristique sur l'ensemble des essais

Si on compare les résultats corrigés se basant sur une limite de rupture garantie des aciers de 350 MPa

- Le coefficient de sécurité à la rupture rapporté à la valeur maximale de l'effort statique applicable à une boucle de levage ainsi corrigé serait de 2,47 sans prise en compte du ratio largeur B du crochet / diamètre mesuré de cintrage  $D_m$  de la boucle ;
- Le coefficient de sécurité à la rupture rapporté à la valeur maximale de l'effort statique applicable à une boucle de levage ainsi corrigé serait de 3,02 pour des ratios largeur B du crochet / diamètre mesuré de cintrage  $D_m$  de la boucle supérieurs ou égaux à 0,5.

Le coefficient de sécurité à la rupture rapporté à la valeur maximale de l'effort statique applicable à une boucle de levage est donc de 3 pour un acier doux B235C dont la résistance à la traction (rupture)  $R_m$  est de 350 MPa dans la plage de ratio largeur B du crochet / diamètre nominal de mandrin de cintrage D de la boucle comprise entre 0,5 et 1. La valeur maximale F de l'effort statique applicable à une boucle de levage est égale à :

$$F(kN) = 0,157 * \phi^2(mm)$$

Note : La charge de service  $F_e$  lors de l'essai fixée à  $1,25 * 0,157 * \phi^2 > F$  n'est ici pas déterminante puisqu'aucun désordre visuel a été constaté au palier et on s'intéresse à la capacité résistante de la boucle et non du béton.

Pour des largeurs plus faibles de crochets de levage, dans la plage  $0,15.D \leq B < 0,5.D$ , B étant la largeur du crochet et D le diamètre nominal de mandrin de cintrage de la boucle de levage, la CMU devrait être minorée de 15% et donc :  $F(kN) = 0,85 * 0,157. \phi^2$

L'obtention d'un certificat 3.1 selon la norme NF EN 10204 [22] (voir 2.2.6.1.3) permet d'attester d'une résistance à la traction (rupture)  $R_m$  spécifiée de 350 MPa, introduite dans la NF A 35-015 révisée à la suite de cette étude et publiée en 2019 [26] (Annexe 20) sur la base de résultats d'essais obtenus sur l'unité de contrôle correspondant aux produits livrés.

### 2.3.9. Poids levable par une boucle

A partir de l'effort de rupture caractéristique  $F_{rk}$  à l'essai, le poids pouvant être levé par une boucle est déterminé comme suit considérant l'inclinaison de l'effort appliqué (angle de chargement), le coefficient dynamique adéquat, ainsi qu'un coefficient de sécurité sur le poids propre.

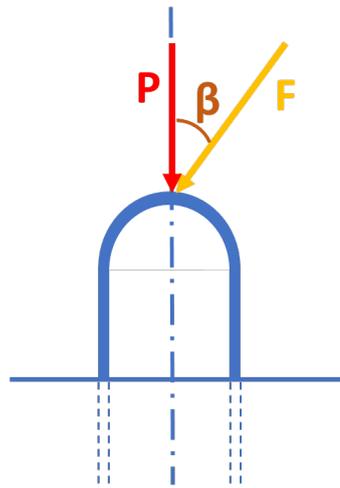


Figure 14 – Exemple de calcul du poids P pouvant être levé par une boucle

$$\frac{F_{rk}}{\gamma_r} \geq \gamma_{dyn} \gamma_{pp} F$$

Avec :

- $F_{rk}$  l'effort de rupture caractéristique à l'essai
- $\gamma_r$  le coefficient entre l'effort de rupture caractéristique à l'essai et valeur de la CMU
- $\gamma_{dyn}$  le coefficient dynamique
- $\gamma_{pp}$  le coefficient de sécurité sur le poids propre
- $\beta$  l'angle de chargement par rapport à la verticale (voir schéma en Figure 14)

$$F = \frac{P}{\cos(\beta)}$$

Donc :

$$P \leq \frac{F_{rk} * \cos(\beta)}{\gamma_{dyn} * \gamma_{pp} * \gamma_r}$$

La Fiche Prévention OPPBTP E4 F 14 18 « Manutention des poutres préfabriquées avec des boucles de levage » [27] a établi les CMU des boucles de levage en acier B235C pour la manutention par des crochets de levage de largeur (B) comprise entre 0,15 et 0,75 fois le diamètre nominal de mandrin de cintrage (D) de la boucle en considérant un coefficient globale de sécurité égal à celui considéré pour les autres produits de structure (dalles alvéolées [28], mur à coffrage intégré [29]) :  $\gamma_{dyn} * \gamma_{pp} * \gamma_r = 1,15 * 1,05 * 3 = 3,6$

Il a donc été retenu pour une boucle de diamètre  $\varnothing$  :  $CMU(kN) = 0,157 * \varnothing^2(mm)$

## 2.4. Conclusion

Les 105 essais réalisés sur boucles de diamètres 12 et 16 mm en utilisant des crochets de levage de différentes largeurs, ont permis de montrer que l'effort de rupture était indépendant :

- Du nombre de cycles de chargement jusqu'à 10 cycles, que les angles de chargement soient alternés ou non ;
- De la forme du crochet ;
- De l'angle de chargement jusqu'à 45°, sans toutefois remettre en cause la limitation à 30° usuelle ;
- De la hauteur dépassante de la boucle jusqu'à 40 cm avec blocage potentiel par des cadres dépassants.

La répétabilité des essais était satisfaisante pour une même typologie de boucles de levage, à savoir pour une montée en charge régulière, une valeur d'effort de rupture constante et un faciès de rupture similaire selon la configuration.

Cette étude a porté sur le comportement propre des boucles de levage et ne couvre pas leurs conditions d'ancrage dans le béton ni la résistance de celui-ci lors de la première manutention qui doivent être maîtrisées.

Elle a permis d'établir la Fiche Prévention OPPBTP E4 F 14 18 « Manutention des poutres préfabriquées avec des boucles de levage » qui définit les CMU à prendre en compte pour des boucles de levage de diamètre  $\emptyset$  en acier B 235 C dont la résistance minimale à la traction de 350 MPa a été introduite dans la norme NF A 35-015 « Aciers pour béton armé - Aciers soudables lisses - Barres et couronnes » publiée en 2019.

Pour la manutention par des crochets de levage de largeur (B) comprise entre 0,15 et 0,75 fois le diamètre nominal de mandrin de cintrage (D) de la boucle comme étant égale à :  $CMU(kN) = 0,157 * \emptyset^2(mm)$ .

L'obtention d'un certificat 3.1 selon la norme NF EN 10204 [22] permettant d'attester d'une résistance à la traction des barres utilisées pour le façonnage des boucles de levage de 350 MPa nécessite, en application de la norme NF A 35-015, d'être spécifiée par l'acheteur lors de l'appel d'offre ou de la commande.

## Bibliographie

---

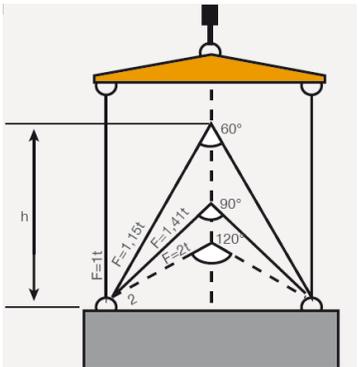
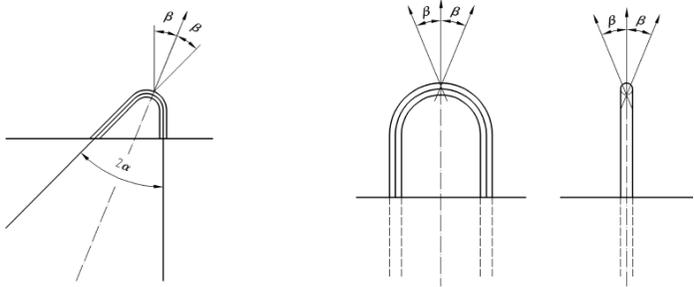
- [1] Fascicule 65 du Cahier des clauses techniques générales (CCTG) - 1985  
Exécution des ouvrages de génie civil en béton armé ou précontraint  
*Ministère de l'urbanisme, du logement et des transports, Avril 1985*
  
- [2] Fascicule 65 du Cahier des clauses techniques générales (CCTG) applicable aux marchés de génie civil - 2008  
Exécution des ouvrages de génie civil en béton  
*Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de l'aménagement du territoire, Mars 2008*
  
- [3] Fascicule 65 du Cahier des clauses techniques générales (CCTG) applicable aux marchés de génie civil – Version 1 - décembre 2017  
Exécution des ouvrages de génie civil en béton  
*Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de l'aménagement du territoire*
  
- [4] FD CEN/TR 15728 (2008)  
Conception et utilisation d'inserts pour le levage et la manutention des éléments préfabriqués en béton  
*AFNOR, Octobre 2008*
  
- [5] FD CEN/TR 15728 (2017) – P 19-851  
Conception et utilisation d'inserts pour le levage et la manutention des éléments préfabriqués en béton  
*AFNOR, août 2017*
  
- [6] Fiche OPPBTP E4 F01 10  
Manutention des éléments préfabriqués avec des boucles de levage  
*OPPBTP, 2010*
  
- [7] Fiche OPPBTP C2 F05 09  
Crochets de levage utilisés dans la constitution des accessoires de levage  
*OPPBTP, 2009*
  
- [8] Recommandation R362  
Eléments en béton de grande dimension : fabrication, manutention, stockage, transport et mise en place.  
*Recommandation concernant la sécurité adoptée par le comité technique national des industries du bâtiment et des travaux publics et des pierres et terres à feu  
Caisse Nationale de l'Assurance Maladie des travailleurs salariés, 1993*
  
- [9] NF EN 1677-1 + A1  
Accessoires pour élingues - Sécurité - Partie 1 : accessoires en acier forgé - Classe 8  
*AFNOR, Janvier 2009*
  
- [10] NF EN 1677-2+A1  
Accessoires pour élingues - Sécurité - Partie 2 : crochets de levage en acier forgé à linguet - Classe 8  
*AFNOR, Juin 2008*

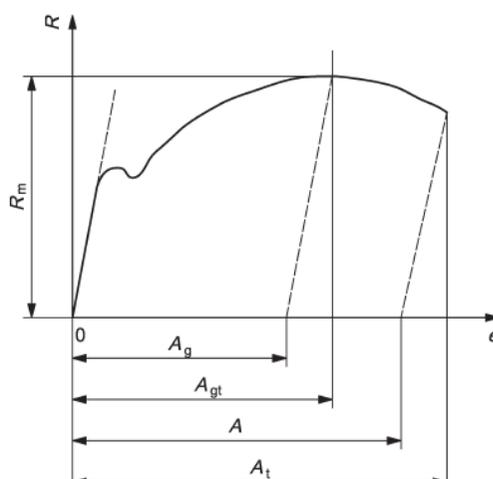
- [11] NF EN 1677-3+A1  
Accessoires pour élingues - Sécurité - Partie 3 : crochets autobloquants en acier forgé -  
Classe 8  
*AFNOR, Juin 2008*
  
- [12] NF EN 1677-5+A1  
Accessoires pour élingues - Sécurité - Partie 5 : crochets de levage en acier forgé à  
linguet - Classe 4  
*AFNOR, Janvier 2009*
  
- [13] NF A 35-015 (1967)  
Produits sidérurgiques – ronds lisses pour béton armé  
*AFNOR, Janvier 1967*
  
- [14] NF A 35-015 (1984)  
Armatures pour béton armé – ronds lisses  
*AFNOR, Juillet 1984*
  
- [15] NF A 35-015 (1996)  
Armatures pour béton armé – ronds lisses soudables  
*AFNOR, Octobre 1996*
  
- [16] NF A 35-015 (2007)  
Aciers pour béton armé - Aciers soudables lisses - Barres et couronnes  
*AFNOR, Octobre 2007*
  
- [17] NF A 35-015 (2009)  
Aciers pour béton armé - Aciers soudables lisses - Barres et couronnes  
*AFNOR, Novembre 2009*
  
- [18] NF EN ISO 6892-1 : 2016  
Matériaux métalliques - Essai de traction - Partie 1 : Méthode d'essai à température  
ambiante  
*AFNOR, Novembre 2016*
  
- [19] NF EN 10025-2 : 2008  
Produits laminés à chaud en aciers de construction - Partie 2 : Conditions techniques de  
livraison pour les aciers de construction non alliés  
*AFNOR, Mars 2008*
  
- [20] NF EN 10027-1 : 2017  
Systèmes de désignation des aciers - Partie 1 : désignation symbolique  
*AFNOR, Février 2017*
  
- [21] NF EN ISO 148-1  
Matériaux métalliques - Essai de flexion par choc sur éprouvette Charpy - Partie 1 :  
méthode d'essai  
*AFNOR, Mars 2017*
  
- [22] NF EN 10204 (2005)  
Produits métalliques - Types de documents de contrôle  
*AFNOR, Janvier 2005*

- [23] NF A 35 027  
Produits en acier pour béton armé – Armatures  
*AFNOR, Novembre 2009*
- [24] NF EN 1991-1-1  
Eurocode 1 - Actions sur les structures - Partie 1-1 : Actions générales – Poids volumiques, poids propres, charges d'exploitation des bâtiments  
*AFNOR, Mars 2003*
- [25] NF EN 1991-3  
Eurocode 1 - Actions sur les structures - Partie 3 : Actions induites par les appareils de levage et les machines  
*AFNOR, Avril 2007*
- [26] NF A 35-015  
Aciers pour béton armé - Aciers soudables lisses - Barres et couronnes  
*AFNOR, Juillet 2019*
- [27] Fiche OPPBTP E4 F 14 18  
Manutention des poutres préfabriquées avec des boucles de levage  
*OPPBTP, 2018*
- [28] Protocoles d'essais d'inserts de levage intégrés pour dalles alvéolées  
CCFAT, Groupe Spécialisé n° 3.1, 8 octobre 2019
- [29] Protocole d'essai pour les éléments de levage incorporés dans les MCI/MCII  
CCFAT, Groupe Spécialisé n° 3.2, 11 mars 2019

## Annexes

### Annexe 1 – - Vocabulaire

Terme	Documents de référence	Définition
Angle d'élingage	Fiche OPPBTP E4 F01 10 [6] et Recommandation R362 [8]	<p>Angle fait par les deux brins.</p> <p>« l'angle maximal d'élingage conseillé est de 60° » [6]</p> <p>« en évitant toutefois sur les chantiers de réaliser des élingages dont les angles des brins sont supérieurs à 90° » [8]</p> 
Angle de chargement	FD CEN/TR15728 (2008) [4] et FD CEN/TR15728 (2017) [5]	<p><math>\beta</math> : angle entre la direction de l'effort et l'axe de l'insert</p> 
Angle de levage	FD CEN/TR15728 (2008) [4] et FD CEN/TR15728 (2017) [5]	<p>Non défini clairement. Peut se référer soit à l'angle d'élingage, soit à l'angle de chargement.</p> <p>« Il convient de n'utiliser des boucles de levage que si l'angle de levage est approximativement le même dans toutes les situations de levage et de manutention. »</p>

Terme	Documents de référence	Définition	
Limite d'élasticité	NF A 35-015 [17]	Valeur minimale spécifiée de la limite apparente d'élasticité : $R_e$ (MPa)	
	NF EN 10025-2 [19]	Limite d'élasticité minimale $R_{eH}$ : limite supérieure d'écoulement. « S'il n'y a pas de phénomène d'écoulement, la limite conventionnelle à 0,2 % ( $R_{p0,2}$ ) doit être déterminée »	
	FD CEN/TR15728 (2017) [5]	« $f_{yk}$ , $f_{0,1k}$ ou $f_{0,2k}$ : limite d'élasticité »	
	Fascicule 65 du CCTG de 1985 [1]	« La contrainte de traction de l'épingle ne doit pas dépasser les deux tiers de la limite élastique »	
Résistance à la traction	NF A 35-015 [17]	$R_m$ (MPa) : Résistance à la traction correspondant à la force maximale	
	FD CEN/TR15728 (2008) [4]	$F_{uk}$ : résistance caractéristique ultime à la traction de l'acier	
	FD CEN/TR15728 (2017) [5]	$F_{tk}$ : résistance de rupture à la traction	
$(R_m/R_e)_{min}$	NF A 35-015 [17]	Valeur minimale du rapport ( $R_m/R_e$ ) définie à 1,15	
$(R_m/R_{emin})$	-	Valeur calculée en fonction des valeurs de $R_e$ et $R_m$ garanties	
$A$ (%) = $A_{5d}$ (%)	NF EN ISO 6892-1 [18]	Pourcentage d'allongement après rupture déterminé à partir du signal de l'extensomètre ou directement sur l'éprouvette	
$A_{gt}$ (%)	NF EN ISO 6892-1 [18]	Pourcentage d'extension totale à la force maximale	
	NF A 35-015 [17]	Allongement total pour cent sous charge maximale	

## Annexe 2 – - Extraits des fascicule 65 du CCTG

### Fascicule 65 du CCTG de 2008 [2]

#### COMMENTAIRES

##### 92.4 DISPOSITIFS D'ACCROCHAGE INCORPORÉS AU BÉTON

\* Ces dispositifs sont notamment des douilles ou inserts utilisés pour la manutention. S'ils sont incorporés au béton à titre définitif, ils ne doivent pas nuire à la durabilité de la pièce concernée.

\*\* L'emploi de ces dispositifs doit notamment être conforme aux stipulations des notices techniques relatives à ces derniers.

\*\*\* Par exemple rond lisse de nuance FeE235.

Le dédoublement des épingles de manutention est à exclure en raison de la répartition aléatoire des efforts. Cette pratique dangereuse ne saurait être admise sous le prétexte que les aciers disponibles sur parc seraient de trop faible section.

\*\*\* \* Pour les diamètres d'épingles les plus couramment utilisés, les valeurs de F sont données dans le tableau suivant :

Ø ( mm )		10	12	14	16	20	25	32
F ( kN )	Valeurs exactes	15	21,6	29,4	38,4	60	93,5	153,6
	Valeurs arrondies	15	22	30	40	60	95	155

\*\*\* \*\* Le tableau ci-dessous donne, en fonction du diamètre Ø d'une épingle, le diamètre intérieur minimal de la boucle.

Ø ( mm )	Diamètre intérieur minimal d de la boucle (mm)	Rayon de courbure r du crochet en acier forgé à utiliser (mm)	
		minimal	maximal

#### TEXTE

##### 92.4 DISPOSITIFS D'ACCROCHAGE INCORPORÉS AU BÉTON

L'entrepreneur ne peut utiliser que des dispositifs d'accrochage (\*) faisant l'objet d'une procédure officielle de certification de conformité ou, à défaut, des dispositifs dont l'emploi est soumis à l'acceptation du maître d'œuvre (\*\*), ou bien des épingles de manutention, conformes aux dispositions du présent fascicule.

On appelle ici épingles les barres en acier utilisées pour la manutention d'éléments en béton préfabriqué, ancrées par courbure dans l'élément.

Elles sont réalisées obligatoirement en acier présentant des garanties de ductilité suffisantes pour cet usage (\*\*\*).

La valeur maximale de l'effort statique que l'on peut appliquer à une épingle de diamètre Ø (mm) a pour intensité dans les conditions les plus favorables :

$$F \text{ (kN)} = 0,15 \text{ } \varnothing^2 \text{ (***) (*)}$$

Le diamètre intérieur d de la boucle de l'épingle doit être supérieur à quatre fois le diamètre de celle-ci, et à l'épaisseur du crochet utilisé au cours des manutentions.

Enfin, si r est le rayon de courbure de la section de crochet en contact avec la boucle, on doit avoir :

$$0,30 \text{ d} < r < 0,50 \text{ d} \text{ (***) (**).}$$

Pour chaque élément préfabriqué, les dessins indiquent le rayon du crochet en acier forgé à utiliser, qui doit être le même pour les diverses manutentions.

### COMMENTAIRES

10	40	12	20
12	48	14,4	24
14	56	16,8	28
16	64	19,2	32
20	100	30	50
25	125	37,5	62,5
32	160	48	80

#### 92.5 MARQUAGE

*\* Il importe, en effet, de distinguer les éléments dans la mesure où certains d'entre eux ont une destination précise (par exemple éléments préfabriqués à joints conjugués). Le marquage doit aussi donner toutes indications utiles, précisées à la commande, telles que, par exemple, le poids des éléments lourds (voussoirs et poutres de grandes dimensions). Dans le cas des produits préfabriqués, le marquage est, s'il y a lieu, complété en conséquence .*

#### 92.6 TRANSPORT ET RÉCEPTION DES PRODUITS PREFABRIQUES SUR CHANTIER

*\* Tout incident survenu en cours de manutention ou de transport est reporté sur le bulletin de livraison.*

*\*\* L'identification des produits préfabriqués comprend en particulier la vérification de la conformité des marques indiquées sur le bulletin de*

### TEXTE

La boucle doit former un demi-cercle complet et non être constituée de deux parties parallèles raccordées par une partie rectiligne.

Les crochets d'ancrage des deux branches de l'épingle présentent un rayon de courbure intérieur au moins égal à 2,5 Ø.

#### 92.5 MARQUAGE

Tout élément préfabriqué reçoit un marquage propre à permettre son identification et à préciser ses conditions d'utilisation (\*). Le marquage est conforme aux indications des dessins d'exécution. Pour les composants, il se réfère, le cas échéant, au catalogue du producteur, convenablement complété par les spécifications particulières de la commande ou les caractéristiques correspondantes figurant aux plans d'exécution. Il comporte en outre la date de fabrication.

#### 92.6 TRANSPORT ET RÉCEPTION DES PRODUITS PREFABRIQUES SUR CHANTIER

Les prescriptions de l'article 94 ci-après s'appliquent à la manutention et au transport jusqu'au chantier.

Ne sont mis en œuvre que des produits préfabriqués livrés avec un bulletin de livraison comportant la déclaration de leur conformité aux spécifications de la commande. Il reproduit les indications du marquage, complétées par la mention du transporteur (\*), et la date de livraison.

Pour les produits préfabriqués faisant l'objet d'une certification officielle, l'apposition du sigle du certificat dispense de faire figurer la déclaration de conformité sur le bon de livraison, dans la mesure où la certification couvre l'ensemble des spécifications de la commande.

## COMMENTAIRES

*livraison avec celles portées sur les éléments livrés.*

### *Article 93 : Manutention, stockage.*

*\* Il est rappelé que ces opérations doivent être conduites en assurant la sécurité des personnes, et en évitant notamment tout risque d'instabilité des éléments eux-mêmes ou des dispositifs et des engins de levage et de bardage. A cette fin, les documents d'exécution portent la mention des conditions à respecter ou des dispositions à prendre pour assurer la stabilité des éléments préfabriqués.*

*Pour les dispositifs et engins devant être dotés d'un deuxième niveau de sécurité, la solution adoptée peut consister à doubler un dispositif stabilisateur par un mécanisme de butée, limiter la course des vérins par un dispositif d'arrêt de chute, mettre en place un dispositif préalable d'alerte, doubler certains éléments tels que suspentes, brèlages, etc.*

*\*\* Les documents d'exécution précisent, en particulier :*

- la nature, la résistance et la répartition des suspensions ;*
- la position suivant laquelle l'élément doit être levé, puis maintenu pendant le transport ou la manutention ;*
- les efforts particuliers pris en compte ;*
- les conditions d'appui et d'empilage en cours de stockage (en évitant les efforts concentrés et les appuis sur zones minces ou fragiles).*

*\*\*\* Les charges agissant sur le béton aux jeunes âges peuvent entraîner des déformations de fluage irréversibles et aléatoires. De plus, de trop grandes différences de délais de stockage font varier les déformations d'un élément à l'autre.*

*\*\*\* \* Cette prescription vise notamment :*

- les effets dynamiques et les chocs en cours de transport et de manutention ;*

## TEXTE

Outre l'identification des produits préfabriqués (\*\*), la réception de ceux-ci comprend la vérification qu'ils n'ont subi aucun dommage depuis leur sortie d'usine jusqu'à la livraison sur chantier. Elle est effectuée contradictoirement par le maître d'œuvre et l'entrepreneur.

### Article 93 : Manutention, stockage

Les opérations de manutention (\*), y compris les transports sur le chantier, et de stockage sont conduites de façon à :

- éviter tout effort imprévu (\*\*) et toute déformation excessive (\*\*\*) ;
- éliminer tout risque de détérioration susceptible de nuire à l'aspect ou à la durabilité de la structure (\*\*\*) (\*).

Dans le cas d'emploi d'épingles de manutention, l'effort sollicitant une épingle doit toujours être dans le plan de celle-ci et parallèle à ses branches.

## COMMENTAIRES

### 59.4 RÈGLES D'ABATTEMENT EN CAS DE EMPLOI

*\* A titre indicatif, le coefficient  $\alpha$  peut, à défaut d'autre information (par exemple, résultat d'épreuves de comportement), être évalué comme suit pour des étalements de conception classique :*

Nombre d'usages successifs	2	3 ou 4	5 à 7	8 à 10	> 10
Valeur de $\alpha$	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75

*L'attention est attirée sur ce que ce coefficient peut ne pas suffire à couvrir les effets d'un dommage grave (par exemple pièce principale fortement faussée du fait d'un choc). Par ailleurs, ce coefficient n'a pas pour objet de couvrir les effets d'une réduction notable de section par corrosion.*

*Ces valeurs sont établies pour des ouvrages provisoires considérés dans leur ensemble et non pas nécessairement pour chacun de leurs éléments constitutifs. Elles ne sont pas applicables aux étalements explicitement conçus et justifiés pour le emploi.*

## TEXTE

### 59.4 RÈGLES D'ABATTEMENT EN CAS DE EMPLOI

Les règles données dans les articles suivants supposent qu'il est fait exclusivement usage d'éléments à l'état de neuf ou remis en état conformément aux stipulations du présent fascicule.

Au cas où des étalements feraient l'objet, sans démontage, de plusieurs usages successifs sur un même chantier, il en est tenu compte par un abattement (application d'un coefficient réducteur  $\alpha$ ) de l'estimation de leur capacité portante à l'état de neuf (\*).

## Fascicule 65 du CCTG de 2017 [3]

### 9.1.2. Dispositifs de levage incorporés au béton

Le préfabricant et le titulaire ne peuvent utiliser que des dispositifs de levage permettant la manutention faisant l'objet d'une vérification de leur conformité à l'usage envisagé ou, à défaut, des dispositifs dont l'emploi est soumis à l'acceptation du maître d'œuvre, ou bien des épingles de manutention conformes aux dispositions du présent fascicule.

NOTE Ces dispositifs sont notamment des douilles ou inserts utilisés pour la manutention. S'ils sont abandonnés dans le béton, ils ne doivent pas nuire à la durabilité de la pièce concernée.

NOTE L'application des recommandations du fascicule de documentation CEN/TR 15728 « *Conception et utilisation d'inserts pour le levage et la manutention des éléments préfabriqués en béton* » constitue un moyen de justification.

L'emploi de ces dispositifs doit notamment être conforme aux stipulations des notices techniques relatives à ces derniers.

On appelle ici épingles les barres en acier lisse de nuance B235C utilisées pour la manutention d'éléments en béton préfabriqué, ancrées par courbure dans l'élément.

Il est interdit d'utiliser des paires d'épingles de manutention en raison de la répartition aléatoire des efforts.

La valeur maximale de l'effort statique que l'on peut appliquer à une épingle de diamètre  $\varnothing$  (mm) a pour intensité dans les conditions les plus favorables :

$$F \text{ (kN)} = 0,15 \varnothing^2$$

Le diamètre nominal de l'acier des épingles est au moins égal à 8 mm.

Le diamètre intérieur  $d$  de la boucle de l'épingle doit être supérieur à quatre fois le diamètre de celle-ci, et à l'épaisseur du crochet utilisé au cours des manutentions

Enfin, si  $r$  est le rayon de courbure de la section de crochet en contact avec la boucle, on doit avoir :

$$0,30 d < r < 0,50 d$$

109

Pour chaque élément préfabriqué, les dessins indiquent le rayon du crochet en acier forgé à utiliser, qui doit être le même pour les diverses manutentions.

La boucle doit former un demi-cercle complet et non être constituée de deux parties parallèles raccordées par une partie rectiligne.

Le diamètre intérieur de cintrage des crochets d'ancrage des deux branches de l'épingle est au moins égal à  $5\varnothing$ .

#### 9.4.2. Manutention, stockage et transport sur chantier

Les opérations de manutention sur le chantier (y compris les transports sur le chantier) et de stockage sont conduites en respectant les règles de sécurité et de façon à éviter tout effort imprévu et toute déformation excessive.

NOTE Les charges agissant sur le béton aux jeunes âges peuvent entraîner des déformations de fluage irréversibles et aléatoires. De plus, de trop grandes différences de délais de stockage font varier les déformations d'un élément à l'autre.

En outre, elles sont menées de façon à éliminer tout risque de détérioration susceptible de nuire à l'aspect ou à la durabilité de la structure.

NOTE Cette prescription vise notamment :

- les effets dynamiques et les chocs en cours de transport et de manutention,
- l'influence de conditions atmosphériques défavorables, surtout pendant les premiers jours de stockage après préfabrication (gel ou fort ensoleillement),
- les risques de coulures et salissures.

Les documents d'exécution précisent, en particulier :

- la nature, la résistance et la répartition des suspensions,
- la position suivant laquelle l'élément doit être levé, puis maintenu pendant le transport ou la manutention,
- les efforts particuliers pris en compte,
- les conditions d'appui et d'empilage en cours de stockage (en évitant les efforts concentrés et les appuis sur zones minces ou fragiles).

Les dispositions de levage (crochets, épingles, palonniers, ...) doivent faire l'objet d'un document soumis à la validation du COP.

Dans le cas d'emploi d'épingles de levage, l'effort sollicitant une épingle doit toujours être dans le plan de celle-ci et parallèle à ses branches.

#### 5.3.6.4. Règles d'abattement en cas de réemploi

Les règles données en 5.3.6.5, 5.3.6.6 et 5.3.6.7 supposent qu'il est fait exclusivement usage d'éléments à l'état neuf ou remis en état conformément aux exigences du marché.

Au cas où des étaitements feraient l'objet, sans démontage, de plusieurs usages successifs sur un même chantier, il en est tenu compte par un abattement (application d'un coefficient réducteur  $\alpha$ ) de l'estimation de leur capacité portante à l'état de neuf.

A titre indicatif, le coefficient  $\alpha$  peut, à défaut d'autre information (par exemple, résultat d'épreuves de comportement), être évalué comme suit pour des étaitements de conception classique :

**Tableau 5.A – Coefficient réducteur pour les éléments réemployés**

Nombre d'usages successifs	2	3 ou 4	5 à 7	8 à 10	> 10
<b>Valeur de <math>\alpha</math></b>	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75

L'attention est attirée sur ce que ce coefficient ne couvre pas les effets d'un dommage grave, du fait d'un choc ou d'une forte corrosion.

Ces valeurs sont établies pour des ouvrages provisoires considérés dans leur ensemble et non pas nécessairement pour chacun de leurs éléments constitutifs. Elles ne sont pas applicables aux étaitements explicitement conçus et justifiés pour le réemploi.

Fascicule 65 du CCTG de 1985 [1]

— 233 —

ANNEXE TECHNIQUE T 33.1

EPINGLES DE MANUTENTION  
DES ELEMENTS EN BETON PREFABRIQUES

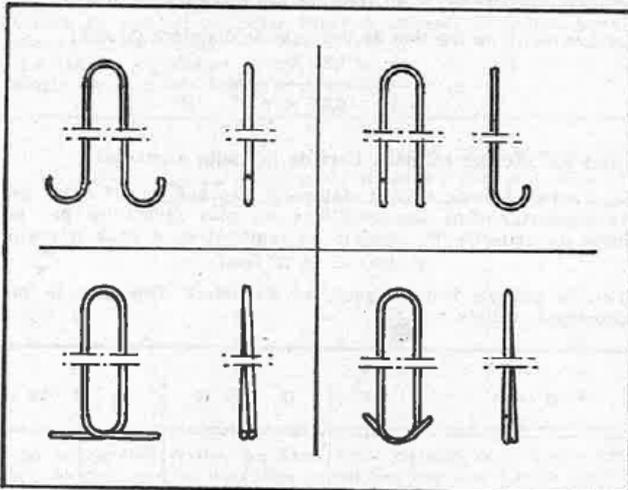
SOMMAIRE

1. Définition.
2. Détermination du diamètre de l'épingle.
3. Détermination du diamètre inférieur « d » et façonnage de l'épingle.

\*\*

1. Définition.

On appelle « épingles » les barres en acier rond lisse de nuance Fe E 235 utilisées pour la manutention d'éléments en béton préfabriqué et affectant l'une des formes représentées ci-dessous.

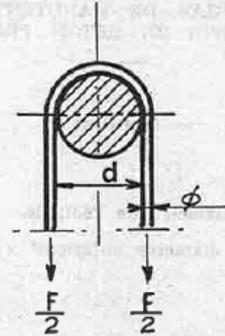


2. Détermination du diamètre de l'épingle.

L'expérience montre que la résistance à la rupture d'une épingle, sollicitée en traction par une force F située dans son plan et parallèle à ses branches, appliquée par l'intermédiaire d'un mandrin

— 234 —

de section transversale circulaire de diamètre légèrement inférieur au diamètre intérieur d de la boucle, ne dépasse pas, dans les conditions les plus favorables, les 80/100 de la somme des résistances à la rupture des deux branches de l'épingle.



En fonction des dispositions prévues pour les manutentions, on détermine l'effort statique maximal F sollicitant une épingle au cours des différentes opérations envisagées, effort qui doit toujours être dans le plan de l'épingle et parallèle à ses branches. On majore cet effort de 25 p. 100 au moins pour tenir compte de l'effet des à-coups au démarrage et au freinage des appareils de levage.

La contrainte de traction de l'épingle de diamètre Ø, soit :

$$\sigma_s = \frac{1}{2} \times \frac{1,25 F}{0,80 \times \frac{\pi \phi^2}{4}} \neq \frac{F}{\phi^2}$$

ne doit pas excéder les deux tiers de la limite élastique.

En d'autres termes, l'effort statique F exprimé en kN qu'on peut faire supporter dans les conditions les plus favorables par une épingle de diamètre Ø, exprimé en centimètres, a pour intensité :

$$F \text{ (kN)} = 15 \phi^2 \text{ (cm)}$$

D'où le tableau suivant pour les diamètres d'épingles le plus couramment utilisés :

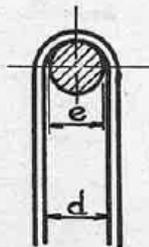
Ø (mm)	10	12	14	16	20
F (kN)					
Valeurs exactes ....	15	21,6	29,4	38,4	60
Valeurs arrondies acceptables .....	15	22	30	40	60

**3. Détermination du diamètre intérieur « d » et façonnage de l'épingle.**

Ce diamètre ne doit en aucun cas être inférieur à quatre fois celui de l'épingle, c'est-à-dire au diamètre du mandrin utilisé dans l'essai de pliage-dépliage ( $d \geq 4 \varnothing$  pour les épingles de diamètre  $\varnothing \leq 16$  mm).

De plus, « d » doit évidemment être supérieur à l'épaisseur « e » du crochet utilisé au cours des manutentions.

Enfin, si « r » est le rayon de courbure de la section de crochet en contact avec la boucle, on doit avoir :  $0,30 d < r < 0,50 d$ .



Pour chaque élément préfabriqué, les dessins indiquent clairement le type de crochet en acier forgé à utiliser, le même pour les diverses manutentions.

Le tableau ci-dessous donne, en fonction du diamètre  $\varnothing$  d'une épingle, le diamètre intérieur minimal.

$\varnothing$ (mm).	DIAMÈTRE intérieur minimal d de la boucle (mm).	RAYON DE COURBURE r du crochet en acier forgé à utiliser (mm).	
		Minimal.	Maximal.
10	40	12	20
12	48	14,4	24
14	56	16,8	28
16	64	19,2	32
20	100	30	50

La boucle doit former un demi-cercle complet et non être constituée de deux parties parallèles raccordées par une partie rectiligne. Les crochets d'ancrage des deux branches de l'épingle présentent un rayon de courbure intérieur au moins égal à  $2,5 \varnothing$ .

**4. Règles d'abattement en cas de remploi.**

Les règles données dans les articles suivants supposent qu'il est fait exclusivement usage d'éléments à l'état de neuf ou remis en état conformément aux stipulations du fascicule n° 65.

Au cas où certains ouvrages feraient l'objet, sans démontage, de plusieurs usages successifs sur un même chantier, il en est tenu compte par un abattement (application d'un coefficient réducteur  $\alpha$ ) de l'estimation de leur capacité portante à l'état de neuf\*.

4.

\* A titre indicatif, le coefficient  $\alpha$  peut, à défaut d'autre information (par exemple, résultat d'épreuves de comportement), être évalué comme suit pour des étalements de conception classique :

NOMBRE d'usages successifs.	2	3 OU 4	DE 5 A 7	DE 8 A 10	PLUS DE 10
Valeur de $\alpha$ ...	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75

L'attention est attirée sur ce que ce coefficient peut ne pas suffire à couvrir les effets d'un dommage grave (par exemple pièce principale fortement faussée du fait d'un choc). Par ailleurs, ce coefficient n'a pas pour objet de couvrir les effets d'une réduction notable de section par corrosion.

Ces valeurs sont établies pour des ouvrages provisoires considérés dans leur ensemble et non pas nécessairement pour chacun de leurs éléments constitutifs. Elles ne sont pas applicables aux « matériels spéciaux » explicitement conçus et justifiés pour le réemploi.

# Annexe 3 – - Extraits des FD CEN/TR 15728

## FD CEN/TR 15728 (2008) [4]

### 4 Principes de calcul généraux

#### 4.1 Principes généraux

Il convient que la capacité de charge des inserts pour le levage et la manutention soit calculée et/ou soumise à essai en fonction des principes et modèles de calcul donnés dans le présent document. Il convient que les conditions d'encastrement pour le levage et la manutention qui ne sont pas conformes à ces principes ou modèles de calcul soient essayées conformément aux recommandations données dans l'Annexe A et évaluées conformément à l'EN 1990.

Il convient d'obtenir les actions à partir de parties appropriées de l'EN 1991-1 le cas échéant.

#### 4.2 Coefficients partiels

##### 4.2.1 Coefficients partiels pour les actions

En l'absence de dispositions nationales, les coefficients suivants sont recommandés :

$\gamma_G = 1,15$  (coefficient partiel pour les charges permanentes) ;

$\gamma_Q = 1,5$  (coefficient partiel pour les charges variables, c'est-à-dire adhérence, frottement et actions dynamiques).

##### 4.2.2 Coefficients partiels pour la résistance

En l'absence de dispositions nationales, les coefficients partiels donnés dans les Tableaux 1 et 2 sont recommandés.

Le Tableau 1 donne les valeurs recommandées des coefficients partiels  $\gamma_S$  pour la résistance caractéristique de l'acier basées sur les valeurs caractéristiques ultimes ( $R_{uk}$ ,  $f_{uk}$ ). Pour les boucles en acier plein, les câbles en acier et les torons de précontrainte, le coefficient partiel  $\gamma_S$  est basé sur la résistance caractéristique de la boucle, et inclut les effets du crochet de levage.

Le Tableau 2 donne les valeurs recommandées du coefficient partiel  $\gamma_C$  pour les défaillances dans le transfert de charge entre l'insert et le béton. Ces valeurs supposent qu'un système de CPU est utilisé pour contrôler que le béton ne présente aucune fissure au voisinage de l'insert.

**Tableau 1 — Coefficients partiels  $\gamma_S$  pour la rupture de l'acier**

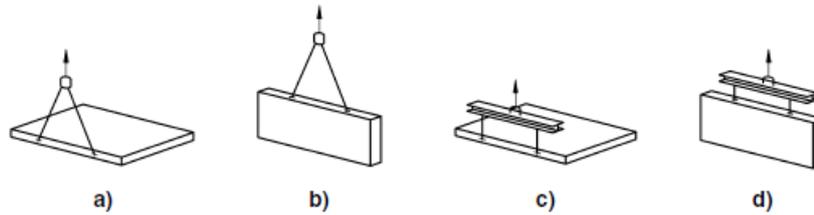
Type d'insert	$f_{uk} \leq 800\text{N/mm}^2$ et $f_{yk} / f_{uk} \leq 0,8$	$f_{uk} > 800\text{N/mm}^2$ ou $f_{yk} / f_{uk} > 0,8$
Systèmes de levage en acier plein	Maximum (1,5 ; 1,2 $f_{uk}/f_{yk}$ )	1,7
Boucles de levage (barres lisses) en acier plein *	2,0	—
Câbles d'acier	—	1,8
Torons de précontrainte	—	1,8

\* Il convient que le matériau pour les boucles de levage des barres lisses équivaille au moins à S235J2+N.

**Tableau 2 — Coefficients partiels  $\gamma_S$  pour la rupture du béton**

Chargement en	CPU certifié
Traction	1,5
Cisaillement, traction et cisaillement combinés	1,5

Selon le matériel utilisé pendant le levage, les inserts peuvent être soumis à un effort tranchant parallèle et transversal combiné (Figure 5a), à des efforts tranchants parallèles et de traction combinés (Figure 5b), à des efforts tranchants transversaux (Figure 5c) ou à des efforts de traction normaux (Figure 5d).



**Légende**

- a) Effort tranchant transversal et parallèle combiné
- b) Effort tranchant parallèle et de tension combiné
- c) Effort de cisaillement transversal
- d) Effort normal

**Figure 5 — Exemples d'efforts exercés sur les inserts de levage pour les parois**

Les efforts tranchants agissant sur les inserts peuvent être supposés agir sans bras de levier, si la conception des inserts et de leurs mains de levage empêche un écrasement considérable du béton en face de l'insert au cours du chargement. Si cette condition n'est pas satisfaite, il convient de prendre le bras de levier comme étant la distance réelle entre l'effort tranchant et la surface du béton plus la moitié du diamètre nominal de l'insert.

**5.4 Actions dynamiques**

Pendant le levage et la manutention, les éléments préfabriqués et les dispositifs de levage sont soumis à des actions dynamiques. L'ordre de grandeur des actions dynamiques dépend du type de dispositifs de levage. Il convient de prendre en compte les effets dynamiques au moyen du coefficient dynamique  $\psi_{dyn}$  donné dans les réglementations nationales. En l'absence de réglementations nationales, les valeurs du Tableau 4 peuvent être prises en compte. Il convient que les sollicitations dynamiques autres que celles couvertes par le Tableau 4 soient basées sur des dispositions spéciales ou sur un jugement technique.

**Tableau 4 — Influence des actions dynamiques sur le site**

Influences dynamiques	Coefficient dynamique ( $\psi_{dyn}$ )
Grue à tour et grue à portique	1,2 *)
Grue mobile	1,4 *)
Levage et déplacement sur terrain plat	2 — 2,5
Levage et déplacement sur terrain rugueux	3 — 4
*) Des valeurs inférieures peuvent être appropriées dans les usines de préfabrication et si des dispositions spéciales sont prises.	

### 8.2.2 Inserts façonnés par le préfabricant

En plus des inserts disponibles dans le commerce, les préfabricants peuvent produire leurs propres boucles de levage à partir de barres lisses, de torons de précontrainte ou de câbles en acier. Les informations nécessaires relatives à la manutention de l'élément, par exemple les dimensions du crochet de levage, doivent être fournies dans les spécifications de montage.

Il convient de n'utiliser des boucles de levage que si l'angle de levage est approximativement le même dans toutes les situations de levage et de manutention. En outre, il convient de maintenir l'angle de levage dans les limites indiquées Figure 14.

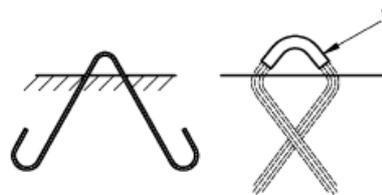


Figure 13 — Crochets de levage fabriqués à partir d'une barre lisse, d'un toron ou d'un câble en acier (inserts de type g))

Des exemples d'inserts sont montrés Figure 13 et il convient qu'ils soient conformes aux spécifications suivantes :

— *Barres lisses*

Il convient que le matériau pour les crochets de levage obtenus à partir de barres lisses équivalle à S235J2+N de l'EN 10025-2. Au cours d'opération, il convient que le diamètre de courbure minimal de la barre lisse ne soit pas inférieur à cinq fois le diamètre de la barre. La taille du crochet de levage peut exiger un plus grand diamètre de courbure.

Il convient que l'angle de chargement,  $\beta$ , (angle entre la direction de l'effort et l'axe de l'insert) ne soit pas supérieur à  $30^\circ$ , (voir Figure 14). Il convient de tenir compte de l'effet de  $\beta$  sur la répartition de l'effort entre les branches de la boucle.

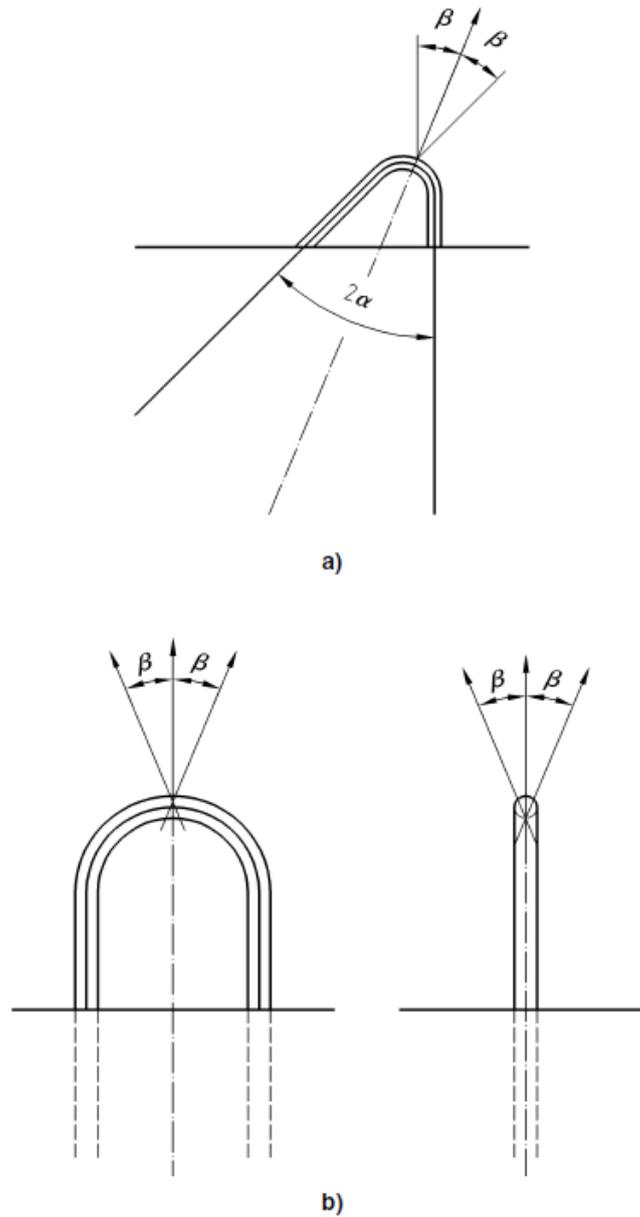


Figure 14 — Angle de chargement pour les boucles de levage

Tableau 7 — Résumé du calcul pour les inserts soumis à un chargement de traction oblique dans les parois et les éléments linéaires

Type d'ancre	a)	b)	c)	g)
Parois et éléments linéaires				
Capacité de l'acier de base	Choisir un insert ayant une résistance d'acier suffisante en se basant sur la déclaration de fournisseur.	Choisir un insert et le rond associé ayant l'un et l'autre une résistance d'acier suffisante en se basant sur la déclaration de fournisseur (voir Figure 21).	Choisir un insert ayant une résistance d'acier suffisante en se basant sur la déclaration de fournisseur.	Choisir un insert ayant une résistance d'acier suffisante en se basant sur la déclaration de fournisseur (Manchon)
Épaisseur de paroi	Prévenir la rupture par éclatement des parois en utilisant la Figure 16.	S'assurer que l'épaisseur de paroi est suffisante pour obtenir des conditions normales d'ancrage : épaisseur de paroi supérieure à plus de sept fois le diamètre de la barre (pour les barres droites) ou à plus de 11 fois le diamètre de la barre (pour les autres barres) Si épaisseur plus petite: la longueur d'encastrement doit être augmentée.		
Quantité d'armature complémentaire	Prévenir la rupture fragile due à la fissuration du béton (voir Figure 17).			
Ancrage	Longueur d'ancrage, voir Figure 1			
Longueur d'ancrage pour un effort normal	Déterminer la longueur d'ancrage requise correspondant à la capacité du cône de béton tirée de la Figure 18.	Déterminer la longueur d'ancrage requise pour la barre coudé (voir Figure 22).	Déterminer la longueur d'ancrage requise pour la barre croisée (voir Figure 22). Vérifier que la longueur d'ancrage nécessaire déterminée à partir de la Figure 17 est plus petite	Déterminer la longueur d'ancrage requise pour toron ou barre croisée (Figure 22).
Armature supplémentaire en épingle à cheveu (remplace l'armature complémentaire)	Si la capacité du cône de béton est trop faible ou si sollicitation d'effort tranchant : déterminer l'armature requise pour reprendre l'ensemble de la charge de l'ancre (voir Figure 19, 20 et 22)	Aucune pour la traction	Aucune pour la traction	Aucune pour la traction
Armature diagonale de traction supplémentaire (voir Figure 23)	Choisir la configuration et la quantité d'armature	Choisir la configuration et la quantité d'armature	Choisir la configuration et la quantité d'armature	Inutile. Insert devant être incliné selon la direction de l'effort
Réduction de capacité due au cisaillement dans le plan de la paroi	20 % pour un angle de chargement $30^\circ < \beta < 60^\circ < \beta < 60^\circ$	20 % pour un angle de chargement $30^\circ < \beta < 60^\circ < \beta < 60^\circ$	30 % pour un angle de charge $30^\circ < \beta < 45^\circ < \beta < 45^\circ$ avec l'anneau de levage approprié	Angle de chargement $\beta < 30^\circ$ 15 % par $10^\circ$ d'angle de chargement
Armature de levage supplémentaire pour le cisaillement transversal	Choisir la configuration et la quantité d'armature (voir Figure 24).			
Réduction de capacité due au cisaillement transversal	à essayer			

19

CEN/TR 15728:2008 (F)

### 8.3.5 Effets de l'effort tranchant dans le plan de la paroi

Une composante de cisaillement de la force sur l'insert introduira deux effets négatifs possibles sur la capacité de l'insert : une rupture de cisaillement de l'ancre proprement dit et une rupture du béton en raison de la pression de contact entre le sommet de l'insert et le béton.

Ces deux effets peuvent être contrecarrés par la conception de l'insert et de sa main de levage correspondante. Les inserts de type a) et b) ont habituellement des mains de levage transmettant la composante de cisaillement de la charge de l'ancre directement au béton, donc introduisant des efforts tranchants très limités dans l'acier de l'ancre. La capacité de l'ancre de type c) sera réduite en raison des efforts tranchants dans l'acier. Les ancrages de types g) peuvent être montés avec une inclinaison, de sorte que la direction de la force sur l'insert puisse être maintenue dans les limites indiquées sur la Figure 14.

#### Inserts du type g)

Il convient de maintenir la direction de charge à  $\pm 30^\circ$  près (voir Figure 14). En outre, il convient que l'angle d'ouverture ne soit pas supérieur à  $60^\circ$ . Il convient de se rappeler que l'insert pourrait être placé avec l'axe incliné par rapport à la surface du sommet de la paroi.

On peut s'attendre à une réduction de la capacité de charge de 15 % par  $10^\circ$  d'angle de chargement.

**FD CEN / TR 15728 : 2017 (F) (CEN/TR 15728 février 2016) [5]**

« Le présent Rapport technique s'applique en général aux inserts ayant un diamètre nominal minimal de 6 mm ou ayant la section transversale correspondante »

**4.4 Vérification**
**4.4.1 Généralités**

Il convient de vérifier la résistance vis-à-vis de toutes les actions et directions des charges. La méthode utilisée pour la vérification peut être un calcul à l'état limite ultime et à l'état limite de service (coefficients partiels) ou un calcul basé sur les charges admissibles (coefficients globaux de sécurité).

**4.4.2 Méthode des coefficients partiels (état limite ultime)**
**4.4.2.1 Coefficients partiels pour les actions**

Les coefficients partiels pour les actions devant être utilisés sont indiqués dans l'EN 1990:2002, Annexe A.

En l'absence de dispositions nationales pour le coefficient partiel  $\gamma_{charge}$ , tenant compte globalement des incertitudes du modèle pour les charges permanentes et les charges variables, c'est-à-dire poids propre, adhérence, frottement du coffrage et actions dynamiques, la valeur suivante est recommandée :

$$\gamma_{charge} = 1,35$$

**4.4.2.2 Coefficients partiels pour la résistance**

En l'absence de dispositions nationales, les coefficients partiels indiqués dans le Tableau 1 pour la rupture de l'acier et dans le Tableau 2 pour la rupture du béton et de l'ancrage sont recommandés.

**Tableau 1 — Coefficients partiels de sécurité  $\gamma_s$  pour la rupture de l'acier**

Matériau de l'insert	$\gamma_s$	$\gamma_{s,h}$	Normes de référence pour la résistance de l'acier <sup>a</sup>	Rapport de ductilité minimal, $k = f_{tk}/f_{yk}$	Valeurs de calcul $f_{yd}, f_{pd}, F_{yd}$
Acier de construction plein	1,25	1,8	EN 10025-2	1,10	$f_{yd} = f_{yk} / (\gamma_s \times \gamma_{s,h}) = f_{yk} / 2,25$
Acier d'armature (barres lisses)	1,15	1,8	Normes nationales ou informations fournies par les producteurs.	1,15	$f_{yd} = f_{yk} / (\gamma_s \times \gamma_{s,h}) = f_{yk} / 2,07$
Torons de précontrainte	1,15	1,8	prEN 10138-3:2000, normes nationales ou informations fournies par les producteurs.	1,10	$F_{pd} = F_{0,1k} / (\gamma_s \times \gamma_{s,h}) = F_{0,1k} / 2,07$ ou $f_{pd} = f_{0,1k} / (\gamma_s \times \gamma_{s,h}) = f_{0,1k} / 2,07$
Câble métallique	1,15	1,8	EN 12385-4 ou EN 13414-1	1,54	$F_{yd} = F_{min} / (\gamma_s \times \gamma_{s,h}) = F_{min} / 2,07$

<sup>a</sup> Voir aussi 6.4.

Le Tableau 2 donne les valeurs recommandées du coefficient partiel pour les défaillances dans le transfert de charge entre l'insert et le béton. Ces valeurs supposent qu'un système de CPU est utilisé pour contrôler que le béton ne présente aucune fissure au voisinage de l'insert.

**Tableau 2 — Coefficients partiels de sécurité pour la rupture du béton et de l'ancrage**

Élément préfabriqué	$\gamma_c, \gamma_s$	$\gamma_{s,h}$	Valeurs de calcul
Béton	1,5	1,5	$f_{td} = f_c / (\gamma_c \times \gamma_{s,h}) = f_c / 2,25$
Ancrage de l'armature	1,15	1,5	$f_{yd} = f_y / (\gamma_s \times \gamma_{s,h}) = f_y / 1,75$

**4.4.3 Méthode des coefficients globaux de sécurité**

Les valeurs du coefficient global de sécurité  $\gamma$  de différents pays sont indiquées dans le Tableau 3 pour les différentes vérifications. A des fins de comparaison, les facteurs globaux sont comparés aux facteurs partiels utilisés dans la méthode des coefficients partiels décrite en 4.4.2.2 en utilisant l'approche suivante :

$$\gamma = \gamma_{charge} \times (\gamma_s \times \gamma_{s,h}) \text{ pour la rupture de l'acier} \quad (4.5a)$$

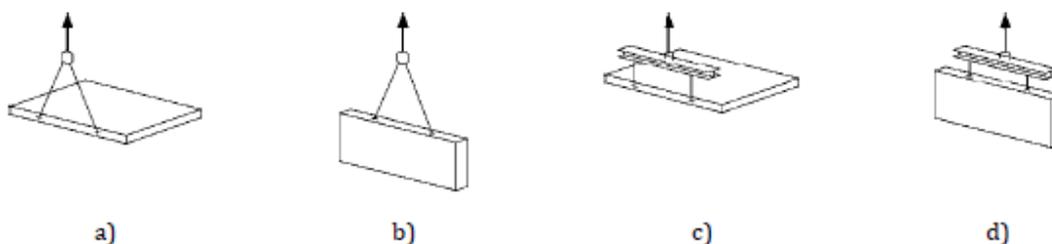
$$\gamma = \gamma_{charge} \times (\gamma_c \times \gamma_{s,h}) \text{ pour la rupture du béton ou de l'ancrage} \quad (4.5b)$$

**Tableau 3 — Facteurs globaux de sécurité  $\gamma$  utilisés dans les différentes dispositions nationales et dans la Directive « Machines » 2006/42/CE**

Vérification de		4,3,3	Fascicule 65 (France)	VDI/BV-BS 6205 <sup>a</sup> (Allemagne)	Conc. Elem. Book, C5 édition 2013 (Norvège)	PCI (pour information : USA)	Directive « Machines » 2006/42/CE <sup>a</sup>
Inserts	Acier de construction	3,0 <sup>b</sup>		3 <sup>f</sup>	3,04 <sup>b</sup>		4 <sup>c</sup>
	Acier d'armature (barres lisses)	2,8 <sup>b</sup>	2,35 <sup>b</sup>		2,80 <sup>b</sup>		
	Torons de précontrainte	2,8 <sup>b</sup>			2,80 <sup>b</sup>		
	Câbles métalliques	2,8 <sup>b</sup> 4,3 <sup>c e</sup>		4 <sup>f</sup>	2,80 <sup>b</sup> 4,30 <sup>c e</sup>	4 <sup>c</sup>	5 <sup>c</sup>
Béton	Rupture du béton	3,0		2,5 ou 2,1 <sup>d</sup>	3,04	4	
	Armature d'ancrage	2,3 <sup>b</sup>			2,33 <sup>b</sup>	4 <sup>c</sup>	

<sup>a</sup> La Directive « Machines » 2006/42/CE inclut un facteur dynamique. La VDI/BV-BS 6205 suppose que ce facteur est égal à 1,3.  
<sup>b</sup> Vérification pour  $f_{yk}$ ,  $f_{0,1k}$  ou  $f_{0,2k}$  (limite d'élasticité),  $F_{p0,1}$  (force à la limite conventionnelle d'élasticité de 0,1 %).  
<sup>c</sup> Vérification par calcul pour  $f_{tk}$  (résistance de rupture à la traction),  $F_{min}$  (effort de rupture à la traction).  
<sup>d</sup>  $\gamma = 2,1$  peut être appliqué si les inserts de levage sont mis en place dans des éléments préfabriqués et font l'objet d'une inspection spécifique et continue en usine.  
<sup>e</sup>  $2,8 \times k = 2,8 \times 1,54 = 4,3$ .  
<sup>f</sup> Vérification par calcul pour  $f_{tk}$  (résistance de rupture à la traction), ou vérification par des essais pour  $R_k$  (valeur caractéristique de l'insert).

Selon le matériel utilisé pendant le levage, les inserts peuvent être soumis à un effort tranchant parallèle et transversal combiné (Figure 5a), à des efforts tranchants parallèles et de traction combinés (Figure 5b), à des efforts tranchants transversaux (Figure 5c) ou à des efforts de traction normaux (Figure 5d).


**Figure 5 — Exemples d'efforts exercés sur les inserts de levage pour les parois**

Les efforts tranchants agissant sur les inserts peuvent être supposés agir sans bras de levier, si la conception des inserts et de leurs mains de levage empêche un écrasement considérable du béton en face de l'insert au cours du chargement. Si cette condition n'est pas satisfaite, il convient de prendre le bras de levier comme étant la distance réelle entre l'effort tranchant et la surface du béton plus les  $\frac{3}{4}$  du diamètre nominal de l'insert.

## 5.4 Actions dynamiques

Pendant le levage et la manutention, les éléments préfabriqués et les dispositifs de levage sont soumis à des actions dynamiques. L'ordre de grandeur des actions dynamiques dépend du type de dispositifs de levage. Il convient de prendre en compte les effets dynamiques au moyen du coefficient dynamique  $\psi_{dyn}$  donné dans les réglementations nationales. En l'absence de réglementations nationales, les valeurs du Tableau 5 peuvent être prises en compte. Il convient que les sollicitations dynamiques autres que celles couvertes par le Tableau 5 soient basées sur des dispositions spéciales ou sur un jugement technique.

**Tableau 5 — Influence des actions dynamiques sur le site**

Sollicitations dynamiques	Coefficient dynamique ( $\psi_{dyn}$ )
Grue à tour, pont roulant et grue à portique	1,2 <sup>a</sup>
Grue mobile	1,4 <sup>a</sup>
Levage et déplacement sur terrain plat	2 à 2,5
Levage et déplacement sur terrain accidenté	3 à 4
<sup>a</sup> Des valeurs inférieures peuvent être appropriées dans les usines de préfabrication et si des dispositions spéciales sont prises au niveau du site de construction.	

### 6.2.2 Inserts façonnés par le préfabricant

En plus des inserts disponibles dans le commerce, les préfabricants peuvent produire leurs propres dispositifs de levage sous forme d'unités soudées, ou fabriqués à partir de barres lisses, de torons de précontrainte ou de câbles en acier. Les informations nécessaires relatives à la manutention de l'élément prises en compte dans le calcul, par exemple les dimensions du crochet de levage, doivent être fournies dans les spécifications de manutention.

Il convient de n'utiliser des boucles de levage que si l'angle de levage est approximativement le même dans toutes les situations de levage et de manutention. En outre, il convient de maintenir l'angle de levage dans les limites indiquées en 6.4.2.

### 6.4.2 Boucles de levage à barres lisses

Des exemples de géométrie type de boucles de levage à barres lisses sont présentés en Figure 22.

Il convient que le matériau soit ductile et que l'allongement à la rupture soit au moins de 15 % lorsqu'il est déterminé par un essai sur des longueurs égales à  $10 \times \varnothing$ . Il convient que le matériau pour les boucles de levage à barres lisses soit au moins équivalent à S235J2+N. Pour des qualités supérieures, il convient de vérifier les propriétés du matériau concernant la fragilité, notamment à basses températures.

Il convient de réduire la capacité en traction en fonction du diamètre de cintrage de la boucle – voir Tableau 6.

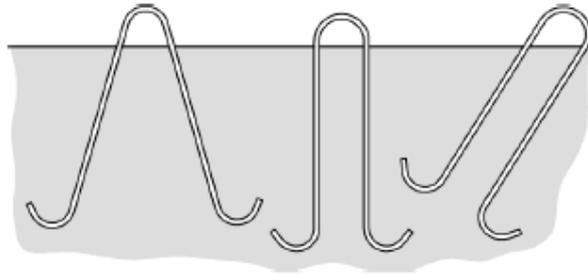


Figure 22 — Géométrie type de boucles de levage à barres lisses

Tableau 6 — Coefficient de réduction de la capacité des boucles de levage à barres lisses en fonction de la dimension du crochet de levage

Diamètre de cintrage d	Largeur du crochet B	$k_1$	
$\geq 2 \times \varnothing \geq 25 \text{ mm}$	$d/2 \leq B \leq d$	0,65	
$\geq 4 \times \varnothing$ (minimum pour les torons)		0,80	
$\geq 6 \times \varnothing$		0,90	

Capacité de l'acier pour des charges de traction :

$$N_{Rd,s} = k_1 \times f_{yd} \times 2 \times A_s$$

$A_s$  est l'aire de la section transversale de la boucle de levage =  $\pi \times \varnothing^2/4$  ;

$f_{yd}$  est conforme à 4.4, avec des coefficients de matériau  $\gamma_s \times \gamma_{1-b}$ .

Il convient que l'angle de chargement,  $\beta$  (angle entre la direction de l'effort et l'axe de l'insert) ne soit pas supérieur à 30° (voir Figure 23). Il convient de tenir compte de l'effet de  $\beta$  sur la répartition des efforts entre les branches de la boucle, et il convient d'inclure les moments de flexion selon 6.4.1.

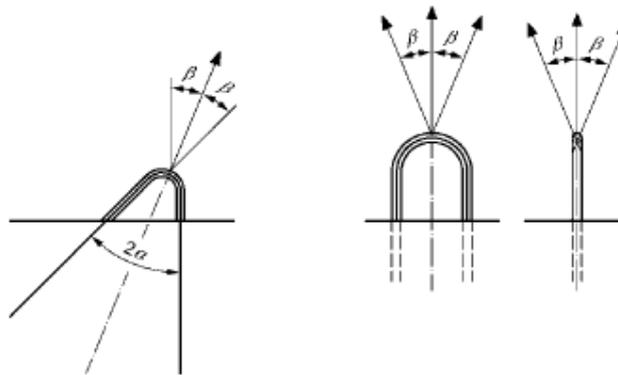


Figure 23 — Angle de chargement pour les boucles de levage

L'ancrage des barres lisses peut être calculé conformément à la Figure 15, mais avec une contrainte d'adhérence réduite conformément aux réglementations nationales. Un crochet d'ancrage complet de 180° aux extrémités, conformément à l'EN 1992-1-1:2004, 8.4, est recommandé. L'ingénieur structures doit tenir compte de la forme de l'insert de levage par rapport à l'angle de levage pour déterminer la répartition de la charge entre les branches de l'ancrage. Dans les situations extrêmes, une seule des branches peut être active.

## Annexe 4 – Coefficients dynamiques applicables au levage

Le FD CEN/TR 15728 définit les actions dynamiques à l'article 5.4 avec des coefficients dynamiques dépendant du type de dispositif de levage explicités dans son Tableau 5 :

Sollicitations dynamiques	Coefficient dynamique ( $\psi_{dyn}$ )
Grue à tour, pont roulant et grue à portique	1,2 <sup>a</sup>
Grue mobile	1,4 <sup>a</sup>
Levage et déplacement sur terrain plat	2 à 2,5
Levage et déplacement sur terrain accidenté	3 à 4
<sup>a</sup> Des valeurs inférieures peuvent être appropriées dans les usines de préfabrication et si des dispositions spéciales sont prises au niveau du site de construction.	

Tableau 30 - Influence des actions dynamiques – *Tableau 5 du FD CEN/TR 15728 (2017) [5]*

Ces coefficients dynamiques sont basés sur les recommandations de la FEM<sup>6</sup> qui ont été reprises dans la norme NF EN 1991-3 [25] « Actions sur les structures - Partie 3 : Actions induites par les appareils de levage et les machines » qui permet de déterminer les efforts dynamiques sur les structures, à l'article 2.6, qui mentionne :

« Charges verticales des appareils de levage – valeurs caractéristiques

Il convient de déterminer les valeurs caractéristiques des charges verticales exercées par les appareils de levage sur leurs structures porteuses comme indiqué dans le Tableau 2.2. »

Coefficients dynamiques	Effets à prendre en compte	À appliquer à
$\varphi_1$	excitation de la structure de l'appareil de levage due au décollage de la masse à lever du sol	poids propre de l'appareil de levage
$\varphi_2$ ou $\varphi_3$	effets dynamiques du transfert de la masse à lever du sol à l'appareil de levage  effets dynamiques d'une libération brutale de la charge utile, par exemple en cas d'utilisation d'un grappin ou d'un aimant	masse à lever
$\varphi_4$	effets dynamiques induits par le déplacement de l'appareil de levage sur des rails ou des chemins de roulement	poids propre de l'appareil de levage et de la masse à lever
$\varphi_5$	effets dynamiques provoqués par des forces d'entraînement	forces d'entraînement
$\varphi_6$	effets dynamiques d'une charge d'essai mue par les systèmes d'entraînement suivant le mode d'utilisation de l'appareil de levage	charge d'essai
$\varphi_7$	effets élastiques dynamiques de l'impact sur les tampons	charges des tampons

Tableau 31 - Coefficient dynamiques  $\varphi$  – *Tableau 2.1 de la norme NF EN 1991-3 [25]*

<sup>6</sup> Fédération Européenne de la Manutention

		Symbole	Paragraphe	Groupes de charges									
				État limite ultime							Charge d'essai	Accidentelle	
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Poids propre de l'appareil de levage	$Q_c$	2.6	$\varphi_1$	$\varphi_1$	1	$\varphi_4$	$\varphi_4$	$\varphi_4$	1	$\varphi_1$	1	1
2	Masse à lever	$Q_h$	2.6	$\varphi_2$	$\varphi_3$	—	$\varphi_4$	$\varphi_4$	$\varphi_4$	$\eta^{1)}$	—	1	1
3	Accélération de la poutre du pont	$H_L, H_T$	2.7	$\varphi_5$	$\varphi_5$	$\varphi_5$	$\varphi_5$	—	—	—	$\varphi_5$	—	—
4	Marche en crabe de la poutre du pont	$H_S$	2.7	—	—	—	—	1	—	—	—	—	—
5	Accélération ou freinage du chariot ou du palan avec chariot	$H_{T3}$	2.7	—	—	—	—	—	1	—	—	—	—
6	Vent en service	$F_W^*$	Annexe A	1	1	1	1	1	—	—	1	—	—
7	Charge d'essai	$Q_T$	2.10	—	—	—	—	—	—	—	$\varphi_6$	—	—
8	Force de tamponnement	$H_B$	2.11	—	—	—	—	—	—	—	—	$\varphi_7$	—
9	Force de basculement	$H_{TA}$	2.11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1

NOTE Pour le vent hors service, voir l'annexe A.

a)  $\eta$  est la part relative de la masse à lever qui reste après avoir enlevé la charge utile, mais qui n'est pas incluse dans le poids propre de l'appareil de levage.

Tableau 32 - Groupes des charges et des coefficients dynamiques à considérer comme une action caractéristique de l'appareil de levage – *Tableau 2.2 de la norme NF EN 1991-3 [25]*

Valeurs des coefficients dynamiques	
$\varphi_1$	$0,9 < \varphi_1 < 1,1$ Les deux valeurs 1,1 et 0,9 reflètent les valeurs supérieure et inférieure des impulsions vibratoires.
$\varphi_2$	$\varphi_2 = \varphi_{2,\min} + \beta_2 \times v_h$ $v_h$ - vitesse constante de levage en [m/s] $\varphi_{2,\min}$ et $\beta_2$ voir Tableau 2.5
$\varphi_3$	$\varphi_3 = 1 - \frac{\Delta m}{m} (1 + \beta_3)$ où : $\Delta m$ est la partie libérée ou tombée de la masse de levage ; $m$ est la masse de levage totale ; et $\beta_3 = 0,5$ pour les appareils de levage équipés de grappins ou de dispositifs similaires à largage non instantané ; $\beta_3 = 1,0$ pour les appareils de levage équipés d'aimants ou de dispositifs similaires à largage rapide.
$\varphi_4$	$\varphi_4 = 1,0$ à condition de respecter les tolérances prescrites dans l'EN 1993-6 pour les rails.

NOTE Si les tolérances applicables aux rails prescrites dans l'EN 1993-6 ne sont pas respectées, le coefficient dynamique  $\varphi_4$  peut être déterminé à l'aide du modèle fourni par l'EN 13001-2.

Tableau 33 - Coefficients dynamiques  $\varphi$  pour les charges verticales  
*Tableau 2.4 de la norme NF EN 1991-3 [25]*

Classe de levage de l'appareil	$\beta_2$	$\varphi_{2,min}$
HC1	0,17	1,05
HC2	0,34	1,10
HC3	0,51	1,15
HC4	0,68	1,20

NOTE Les appareils de levage sont répartis dans les classes de levage HC1 à HC4 pour tenir compte des effets dynamiques du transfert de la charge du sol à l'appareil de levage. La sélection dépend du type particulier de l'appareil de levage, voir les recommandations de l'annexe B.

Tableau 34 - Valeurs de  $\beta_2$  et  $\varphi_{2,min}$  - Tableau 2.5 de la norme NF EN 1991-3 [25]

Pour les appareils de levage sur camion, appareils de levage mobiles – avec utilisation d'un crochet (classification 26 de l'annexe B de la norme NF EN 1991-3 [25], donc classe de levage HC2) et une vitesse de levage de 1 m/s, le coefficient dynamique vaut :

$$\varphi = \varphi_{2,min} + \beta_2 * v_h = 1,10 + 0,34 * 1 = 1,44$$

Pour une grue à tour qui est HC1 (appareils de levage pivotants sur pylône pour l'industrie de la construction – classification 21), le coefficient dynamique vaut

$$\varphi = \varphi_{2,min} + \beta_2 * v_h = 1,05 + 0,17 * 1 = 1,22$$

Et on retrouve donc les valeurs indiquées dans le tableau du FD CEN/TR 15728 [4] [5].

*Note : Il convient de noter que les coefficients dynamiques (tableau 2.4) sont applicables à ces charges exercées par les appareils de levage sur la structure. Ce ne sont pas les coefficients dynamiques appliqués par les appareils de levage sur les charges soulevées.*

Les chariots élévateurs (FL1 à FL6) sont définis dans la NF EN 1991-1-1 [24] Clause 6.2.2.3 Tableau 6.5 en fonction de leur poids à vide, de leurs dimensions et des charges levées.

Le coefficient dynamique  $\varphi$  pour les chariots élévateurs tient compte des effets d'inertie dus à l'accélération et à la décélération de la charge levée ; il convient de prendre :

- $\varphi = 1,40$  pour les bandages pneumatiques ;
- $\varphi = 2,00$  pour les bandages pleins.

Des valeurs différentes sont données pour les coefficients dynamiques dans les recommandations allemandes VDI/BV-BS 6205 Part 3 « Lifting inserts and lifting systems for precast concrete elements – Principles, design, applications – Design and application » :

Condition	Dynamic factor $\psi_{dyn}$
Tower crane, portal crane, mobile crane	1,3
Lifting and moving on flat terrain	2,5
Lifting and moving on rough terrain	$\geq 4$

Tableau 35 - Coefficients dynamiques définis dans la recommandation allemande VDI/BV-BS 6205 - Tableau 2

D'autres manières d'établir les coefficients dynamiques existent, ils seraient définis comme suit dans le DIN 15018 (source doc SNAAM) :

« 3) Coefficient de majoration dynamique

Pendant le levage et la manutention, les éléments préfabriqués et les dispositifs de levage sont soumis à des forces dynamiques qui dépendent de la vitesse de levage. »

La classe de levage	Coefficient dynamique $\Psi_{dyn}$ par rapport à la vitesse de levage	
	Jusqu'à 90 m/min (1.5m/s=)	> 90 m/min (1.5m/s=)
H 1	1,1 + 0,002 $v_h$ soit 1.22 pour 1 m/s et 1.17 pour 0,6 m/s	1,3
H 2	1,2 + 0,004 $v_h$ soit 1,44 pour 1m/s et 1,34 pour 0,6m/s	1,6
H 3	1,3 + 0,007 $v_h$	1,9
H 4	1,4 + 0,009 $v_h$	2,2

Tableau 36 – Coefficients dynamiques définis dans la norme DIN 15018

Pendant le levage et le transport des éléments, la charge de levage se multiplie par le coefficient «  $\Psi_{dyn}$  ».

La norme DIN 15018 décrit les différentes classes de levage. La classe est déterminée par le système de levage :

- Pont roulant : classe H1 ;
- Chariot élévateur à fourche sur un sol inégal : classe H4 ;
- Pour les grues de précision, comme les grues des usines de préfabrication, le coefficient  $\psi$  peut être pris entre 1,1 et 1,3.

Une autre source (Technique Béton) donne des coefficients proches des résultats du tableau ci-dessus avec des vitesses de 0,6 m/s :

**Efforts dynamiques**

Lors du levage et du déplacement des pièces préfabriquées, les accessoires de levage sont soumis à des efforts dynamiques. Ces efforts dépendent du type d'engin de levage utilisé et sont pris en compte via un coefficient dynamique défini «  $\Psi_{dyn}$  » dans le tableau ci-dessous :

Engin de levage	coefficient dynamique ( $\Psi_{dyn}$ )
Grue fixe ou sur rails, vitesse < 1m/s	1,15
Grue fixe ou sur rails, vitesse > 1m/s	1,30
Pont roulant, vitesse < 1m/s	1,15
Pont roulant, vitesse > 1m/s	1,60
Levage et déplacement sur terrain plat	2
Levage et déplacement sur terrain accidenté	4

Dans les autres cas, le coefficient dynamique sera évalué par une personne qualifiée.

Tableau 37 – Coefficients dynamiques définis dans le document Technique Béton

## Annexe 5 – - Fiches OPPBTP

E4 F01 10 « Manutention des éléments préfabriqués avec des boucles de levage » [6]



# Manutention des éléments préfabriqués avec des boucles de levage

Lors des manutentions d'éléments en béton armé préfabriqués, les conditions d'utilisation des boucles de levage doivent être respectées afin d'assurer la sécurité.

Les éléments préfabriqués nécessitent des accessoires de levage permettant leur manutention. Ceux-ci doivent posséder des caractéristiques précises et être utilisés de façon à éviter la chute des éléments manutentionnés.

### ÉVALUER LES RISQUES, RÉALISER L'EXAMEN D'ADÉQUATION

Avant d'utiliser un accessoire de levage, il est obligatoire de réaliser un examen d'adéquation. Cet examen consiste à vérifier que l'accessoire est approprié :

- à l'appareil de levage,
- aux travaux à effectuer,
- aux charges à lever,
- à l'ergonomie des postes de travail.

Cet accessoire doit être utilisé conformément à la notice d'instructions du fabricant.

L'examen abordera notamment :

- la conformité de l'accessoire (marquage, notice, attestation),
- les caractéristiques de la charge (poids, dimensions, centre de gravité),
- la résistance des points d'accrochage aux efforts transmis par l'accessoire,
- la compatibilité de l'accessoire de levage avec les points d'accrochage de la charge, avec l'appareil de levage et les contraintes particulières du site,
- les angles d'élingage et la longueur des brins permettant de présenter la pièce dans sa configuration souhaitée,
- les règles d'utilisation et les conditions de mises au rebut.

Généralement, les boucles de levage sont incorporées aux éléments en béton armé qui seront intégrés à des ouvrages :

- poteaux, poutres, voile en béton armé, etc.,
- prédalles,
- éléments de façade préfabriqués.

Pour ce qui concerne les escaliers préfabriqués, il est recommandé d'incorporer des dispositifs spécifiques, afin de prévenir les risque de chutes par accrochage dans les boucles de levage.

## EFFORTS À TRANSMETTRE DEPUIS L'ÉLÉMENT PRÉFABRIQUÉ JUSQU'AU CROCHET DE GRUE

Lorsqu'un élément préfabriqué est levé en quatre points par des élingues, il faut considérer les cas les plus défavorables.

- 2 brins supportent toute la charge (cas général) (Fig.1),
- 4 brins supportent la charge si l'on utilise un palonnier équipé d'un dispositif d'équilibrage de la charge sur les brins.

Dans le cas le plus général, si la répartition des efforts est faite sur deux brins, chacun d'eux supporte un effort égal à la moitié du poids de l'élément, majoré d'un coefficient qui est fonction de l'angle fait par les deux brins, dit angle d'élingage.

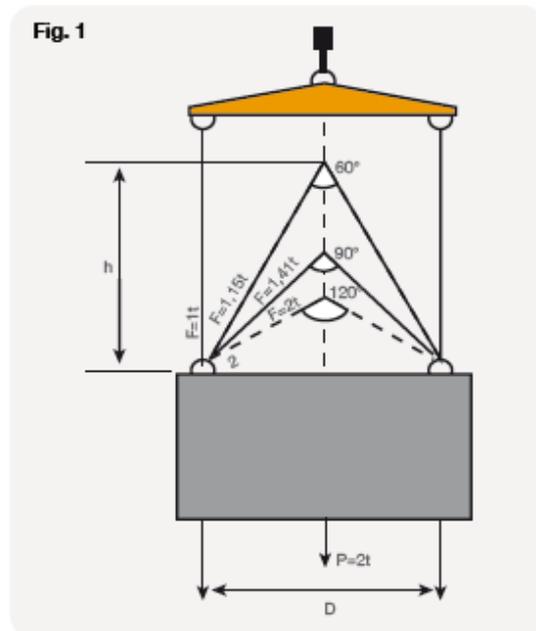


Fig. 1

Le graphique (Fig. 2) indique le coefficient majorateur en fonction du rapport  $h / D$  où « h » est la hauteur d'élingage et « D » la distance entre les points d'attache sur l'élément préfabriqué. L'angle maximal d'élingage conseillé est de 60°.

On doit tenir compte également de l'effort de compression introduit dans l'élément préfabriqué en fonction de l'angle d'élingage.

## CARACTÉRISTIQUES ET FABRICATION DES BOUCLES DE LEVAGE

Les boucles de levage sont réalisées avec des armatures en Fe E 235.

### ■ Qualité de l'acier

L'acier doit être doux et non écroui, de caractéristiques au moins égales à celles de l'acier Fe E 235. L'acier Fe E 22 et l'acier à haute adhérence sont à proscrire en raison de leurs caractéristiques inadaptées à cet usage. Aucune boucle ne doit être réalisée en fer rond d'un diamètre inférieur à 10 mm lorsqu'il s'agit d'acier Fe E 235 (selon le CCTG Marchés Publics Fascicule n° 65).

### ■ Façonnage

Le façonnage doit être exécuté par enroulement à faible vitesse autour d'un mandrin de diamètre adapté à celui du rond. Cette fabrication présente des risques par temps froid (température inférieure à 5°C) et est interdite sous 0°C.

Le diamètre intérieur de façonnage de la boucle ne doit pas être inférieur à 4 fois le diamètre de l'acier utilisé.

Enfin, si « r » est le rayon de courbure de la section de crochet de levage en contact avec la boucle, on doit avoir :  $0,30 D < r < 0,50 D$

Lorsque les boucles sont prévues pour des éléments préfabriqués longs (poutres, par exemple), incorporer ces pièces en oblique afin de tenir compte de l'angle des élingues par rapport à la verticale et réduire ainsi les efforts sollicitant les boucles (Fig. 3).

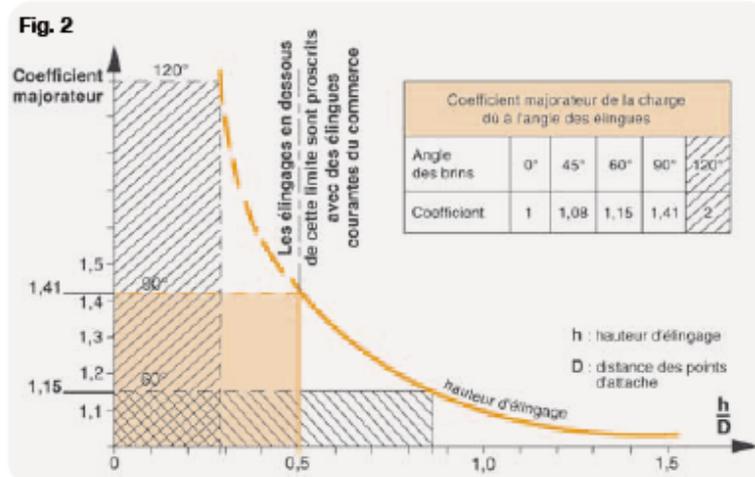


Fig. 2

Fig. 3



■ **Mise en œuvre**

La longueur d'ancrage dans l'élément préfabriqué, déterminée selon les règles du béton armé, doit figurer sur les plans. Elle doit tenir compte de la résistance limitée du béton jeune (environ 100 bars à la compression et 10 bars à la traction lors du démoulage).

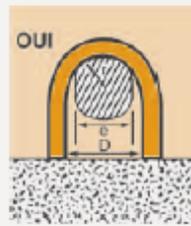
Proscrire les boucles jumelées.

Précautions élémentaires garantissant un bon ancrage :

- ne pas mettre de produit de démoulage sur les aciers,
- solidariser les boucles à l'armature principale,
- implanter les boucles avec précision et bien les fixer avant bétonnage, pour garantir un enrobage correct par le béton.

Le dépassement de la boucle de levage par rapport au nu du béton de l'élément préfabriqué et son diamètre de façonnage doivent être au minimum nécessaire au passage du crochet de l'appareil de levage.

**Fig. 4**  
Caractéristiques des crochets à respecter  
 $0,3 D < r < 0,5 D$



**UTILISATION DES BOUCLES DE LEVAGE**

Le mode de levage prévu doit être indiqué sur les plans BA et connu par tous les responsables et opérateurs, car les boucles ont été calculées en fonction de ce choix.

Il sera notamment précisé :

- s'il y a lieu d'utiliser des élingues ou des palonniers, avec leurs caractéristiques respectives,
- l'âge et la résistance minimale du béton au moment du démoulage,
- les dimensions des crochets, manilles ou autres appareils devant passer dans les boucles (Fig. 4),
- le mode opératoire pour amener les éléments préfabriqués de la position horizontale à la position verticale ou inversement, si cette manœuvre de relevage est nécessaire.
- le poids et les dimensions de l'élément seront indiqués sur l'élément,
- les boucles seront peintes d'une couleur vive pour un repérage facile.

**MANUTENTIONS**

Un élément préfabriqué est couramment manipulé plusieurs fois : démoulage, ragréage, stockage, transport, stockage chantier et pose. Il est donc important de bien organiser les stockages afin d'éviter des manutentions supplémentaires.

Il faut prendre soin d'éviter tout endommagement ou pliage des boucles au cours des différentes phases et particulièrement lors du stockage.

Les conditions de stockage doivent être définies : les charges agissant sur les bétons jeunes peuvent entraîner des déformations de fluage irréversibles et aléatoires.

**LES MARGES SONT FAIBLES**

Le façonnage de la boucle et sa sollicitation par le crochet de levage réduisent sa résistance de 20 %.

Les efforts de levage peuvent entraîner une majoration dynamique supérieure à 25 %.

Il faut proscrire les manipulations telles que celles des figures 6 et 7.

La résistance et la position des boucles doivent être prévues en fonction de l'emploi des élingues. Il ne faut, en aucun cas, compter sur le coefficient de sécurité pour faire des manœuvres anormales : secousses, mauvais élingage, etc.

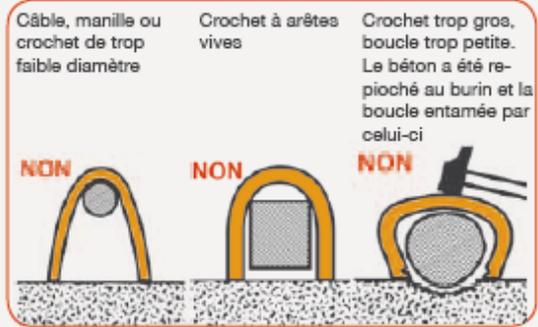
Si l'on ajoute les efforts supplémentaires dus au vent, à la force centrifuge pendant l'orientation de la grue et aux tractions obliques (Fig. 7), les efforts générés peuvent approcher la limite de rupture.

Les manœuvres de grue doivent être réalisées en douceur, les élingues devant être tendues avant de lever un élément (microvitesse).

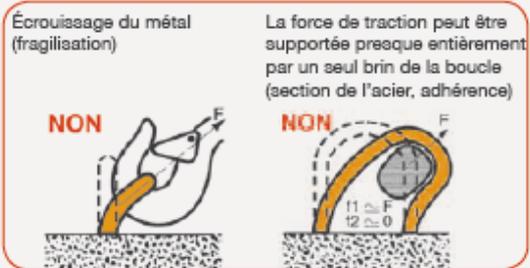
**ATTENTION AU DÉMOULAGE**

Lors du démoulage, les efforts risquent d'être majorés selon les produits de démoulage employés et la méthode utilisée. Dans certains cas, on peut dépasser la limite élastique des boucles. Il est donc nécessaire de définir des dispositions spéciales pour assurer le démoulage en sécurité, réduire l'effet de ventouse, et d'en informer les opérateurs.

**Fig. 6 - MÉTHODES À PROSCRIRE**



**Fig. 7 - EFFORTS OBLIQUES À PROSCRIRE**



**RÉGLEMENTATION**

- CCTG, fascicule n° 65 (selon arrêté du 6 mars 2008) chapitre 7 Armatures de béton armé

**DOCUMENTS À CONSULTER**

- Recommandation CNAM TS : R 362 Éléments en béton de grandes dimensions
- Norme AFNOR NF A 35-015 Armatures pour béton armé - Ronds lisses soudables

**OPPBTP**

25, avenue du Général Leclerc - 92880 Boulogne-Billancourt Cedex  
[www.preventionbtp.fr](http://www.preventionbtp.fr)

C2 F05 09 « Crochets de levage utilisés dans la constitution des accessoires de levage » [7]



## Crochets de levage utilisés dans la constitution des accessoires de levage

Pour effectuer une opération de levage on utilise des accessoires de levage tels que des câbles, des cordes, des élingues, des palonniers et autres équipements de formes et de fonctions variées.

La liaison entre l'accessoire et la charge peut être assurée par divers organes : anneaux, manilles ou crochets. De par sa forme ouverte, le crochet à bec facilite l'accrochage rapide des charges : il est donc très couramment utilisé ; mais, par construction, il doit être muni de dispositifs visant à supprimer le risque de décrochage accidentel de la charge.

### ATTENTION

Ne jamais fabriquer soi-même un crochet de manutention à partir des aciers disponibles sur le chantier, quelle que soit leur qualité.

Il existe de nombreux types de crochets, les plus utilisés étant les crochets à bec à simple croc.

Ils sont le plus souvent attachés à l'appareil ou à l'accessoire de levage par une tige filetée avec écrou, ou par un œil, ou par une chape femelle avec axe, ou par un émerillon à œil.

La partie du crochet sur laquelle repose la charge à lever s'appelle le *siège* (Fig. 1).

Le crochet de levage entre fréquemment dans la constitution d'un accessoire de levage (élingue, palonnier, etc.).

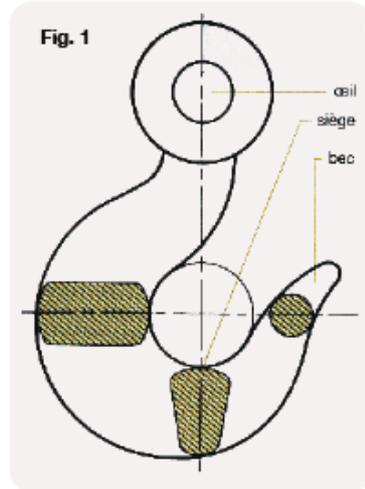
### CONSTRUCTION DES CROCHETS

La conception d'un crochet a fait l'objet d'études et de calculs très approfondis, validés par des épreuves en charge et des essais en fatigue.

C'est ainsi que selon les normes NF EN 1677- parties 1, 2, 3 et 5 :

- les crochets sont définis par un n° de profil auquel correspond une géométrie donnée, les différentes sections droites sont telles qu'un crochet sans défaut s'ouvre en cas de surcharge jusqu'à être totalement ouvert, mais ne rompt pas ;
- seuls les procédés de forgeage et d'estampage (ou matriçage) sont autorisés pour l'exécution des crochets ;
- à n° de profil identique, un crochet peut être réalisé en plusieurs nuances d'acier, correspondant dans la pratique à deux classes de résistance, 4 et 8, et à des capacités de charge différentes ;
- après forgeage ou estampage, le crochet doit subir un traitement thermique approprié à la nuance de l'acier pour conférer à l'acier un grain fin (sans hétérogénéité de structure métallurgique, libéré de toute contrainte interne résiduelle) et la résistance qui convient à la classe ;
- en cas d'usinage de la tige (filetage), les raccordements entre parties forgées et usinées doivent être progressifs et exécutés soigneusement (état de surface).

Fig. 1



### MARQUAGE DES CROCHETS

Un crochet doit comporter un marquage indélébile qui doit inclure au minimum les indications suivantes :

- le numéro de profil ;
- un chiffre indiquant la classe de résistance de l'acier du crochet, souvent classe 8 ;
- nom, symbole ou marque du fabricant ;
- la valeur de la charge maximale d'utilisation, CMU ou SWL, en tonnes (t) ou en kg ;
- le marquage CE.

### CHARGE MAXIMALE D'UTILISATION, CMU ou SWL, FORCE D'ÉPREUVE DE FABRICATION ET FORCE MINIMALE DE RUPTURE DES CROCHETS

Le tableau ci-après indique les propriétés mécaniques des crochets de classe 8 couramment utilisés sur les élingues de classe 8 :

N° de profil	Classe 8		
	Charge maximale d'utilisation CMU ou SWL en t	Force d'épreuve de fabrication en kN	Force minimale de rupture en kN
3	0,25	6,1	9,8
4	0,5	12,3	19,6
5	0,8	19,6	31,4
6	1,12	27,5	43,9
7	1,5	36,8	58,8
8	2	49	78,5
9	2,5	61,3	98,1
10	3,15	77,2	124
11	4	98,1	157
13	5,3	130	208
14	6	147	235
16	8	196	314
18	10	245	392

La norme NF X 51001 prévoit que le constructeur des crochets ou son mandataire doit délivrer une attestation comportant en particulier la charge maximale d'utilisation (CMU) et la charge d'épreuve maximale qui peut être appliquée au crochet de façon telle que, après enlèvement de cette charge d'épreuve, il ne doit pas y avoir de déformation permanente importante.

#### ATTENTION

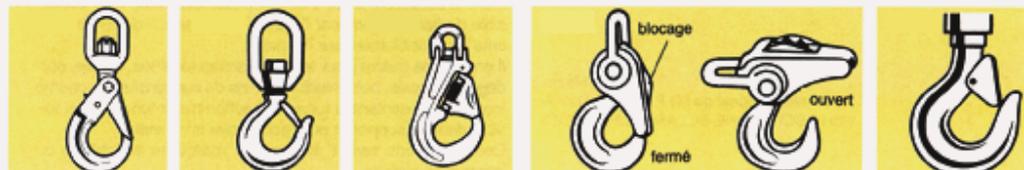
Il faut se méfier des indications de charge portées sur les crochets dont le marquage est ancien et ne correspond pas à ce qui est mentionné précédemment à la rubrique « marquage », car elles peuvent parfois correspondre à la charge d'épreuve. En l'absence d'indications du fabricant, ne pas dépasser une charge d'utilisation égale à la moitié de la valeur indiquée.

### DISPOSITIFS S'OPPOSANT AU DÉCROCHAGE ACCIDENTEL DE LA CHARGE

Compte tenu du risque permanent de décrochage accidentel de la charge, la réglementation impose de prendre des dispositions pour y remédier. Parmi les multiples possibilités satisfaisant à la réglementation, les constructeurs proposent généralement des crochets munis d'un linguet de sécurité, dont la commande et le blocage, ou le verrouillage, sont différemment réalisés : linguet avec ressort de rappel, ou crochet dit automatique ou de sécurité (Fig. 2).

Le dispositif doit être robuste, fiable, pratique et ne présenter aucun risque de coincement ou de cisaillement pour les mains de l'opérateur. Il est prévu d'origine par le fabricant. En aucun cas ce dispositif ne peut être fixé sur le crochet par soudure très souvent un bossage servant de support est obtenu par forgeage.

Fig. 2  
Exemples de crochets de sécurité



### UTILISATION DES CROCHETS

Seuls les crochets munis d'un linguet de sécurité avec ressort de rappel ou des crochets dits automatiques, s'opposant au décrochage accidentel de la charge et sans défaut apparent peuvent être utilisés.

Il ne faut pas essayer de déformer un crochet pour en agrandir le passage ou l'ouverture, ou le chauffer pour le remettre en état, car cela modifie les qualités de l'acier.

Un crochet ouvert ou tordu doit être détruit (Fig. 3).

On ne doit fixer aucune pièce par soudure sur un crochet.

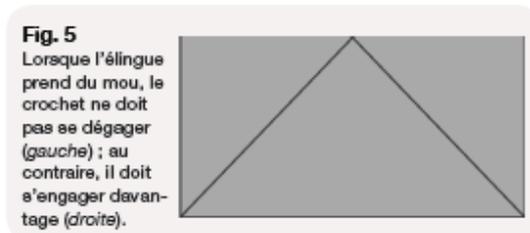


Lors de l'accrochage de la charge, il faut contrôler :

- que les efforts sont toujours appliqués sur le siège du crochet et jamais sur le bec (Fig. 4) ;
- que le système s'opposant au décrochage accidentel de la charge est en état de fonctionner et ramené au repos en bonne place ;



- qu'aucune force parasite ne tend à déformer ou à provoquer l'ouverture du crochet (dans certains cas, le simple balancement de la charge peut produire ces efforts secondaires) (Fig. 5).



### VÉRIFICATIONS RÉGLEMENTAIRES

L'accessoire de levage incorporant un crochet est soumis aux vérifications réglementaires définies dans l'arrêté du 1<sup>er</sup> mars 2004

# Annexe 6 – Extrait recommandation R362 INRS CNAMTS [8]

## ARTICLE 5. MANUTENTION

### 5.1. Systèmes de préhension

#### 5.1.1 Boucles de levage

- a) Matière :
- utiliser, sauf justifications, de l'acier doux non écroui ayant au minimum les caractéristiques de l'acier Fe E 235,
  - proscrire dans tous les cas l'acier Fe E 215 et plus généralement les aciers durs,
- b) Diamètre du fer rond :
- ne pas utiliser de ronds de diamètre inférieur à 10 mm, sauf pour les produits fabriqués sous auto-contrôle surveillé où l'on se reportera au cahier des prescriptions techniques (C.P.T.) « Planchers » (édité par le C.S.T.B.), soit en fonction des produits en cause à d'autres textes équivalents (normes),
- c) Fabrication et forme des boucles :
- les fabriquer par enroulement à faible vitesse autour d'un mandrin. Interdire toute fabrication en dessous d'une température de 0 °C,
  - donner à la boucle un diamètre intérieur « d » satisfaisant aux relations suivantes où « Ø » est le diamètre du rond, « r » le rayon de courbure du crochet et « e » son épaisseur,  
 $d > e$   
 $d > 4 \text{ Ø}$  si  $\text{Ø} < 16$  et  $d > 5 \text{ Ø}$  si  $\text{Ø} > 16$   
 $0,30 d < r < 0,50 d$
- d) Ancrage des boucles de levage :
- déterminer la longueur d'ancrage d'une boucle dans

le béton en appliquant les règles BAEL où intervient la résistance caractéristique du béton. Dans tous les cas, rendre les extrémités de la boucle solidaires des armatures (suivant dispositions du C.P.T. « Planchers »),

e) Force portante des boucles :

- proscrire les boucles jumelées,
- quel que soit le nombre de boucles et, sauf à employer les dispositifs particuliers assurant la répartition des charges entre les différentes boucles, considérer que seules deux d'entre elles encaissent la totalité de l'effort et ceci que l'élément soit levé horizontalement ou verticalement,
- pour une force située dans le plan de la boucle et suivant la direction de ses branches rectilignes parallèles, le tableau ci-après donne la force maximale par boucle :

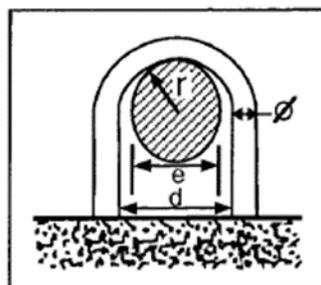
0 mm	10	12	14	16	20
Force maximale par boucle (en daN)	1 500	2 200	3 000	4 000	6 000

- lorsqu'il y a élingage, majorer la charge d'un coefficient multiplicateur donné ci-après, en évitant toutefois sur les chantiers de réaliser des élingages dont les angles des brins sont supérieurs à 90°.

Coefficient multiplicateur de la charge dû à l'angle des brins					
Angle des brins	0°	45°	60°	90°	120°
Coefficient	1	1,08	1,15	1,41	2

NB : Ces tableaux ne sont valables que si l'effort de levage s'exerce dans le plan de la boucle et suivant la direction de ses branches rectilignes et parallèles.

Les diverses cotes sont indiquées sur la figure ci-dessous :



Le tableau ci-après traduit les relations du paragraphe c) :

Ø mm	Diamètre intérieur minimal d de la boucle en mm	Rayon de courbure r en mm du crochet en acier forgé à utiliser	
		minimal	maximal
10	40	12,0	20
12	48	14,4	24
14	56	16,8	28
16	64	19,2	32
20	100	30,0	50

# Annexe 7 – Extraits normes crochets NF EN 1677 [9] [10] [11] [12]

**3.1**  
**charge maximale d'utilisation (WLL)**  
masse maximale qu'un accessoire est autorisé à supporter en service normal, et marquée sur l'élément en tant que numéro de code

**(A) texte supprimé (A)**

**3.2**  
**force d'épreuve de fabrication (MPF)**  
force appliquée à l'accessoire lors de l'essai d'épreuve de fabrication

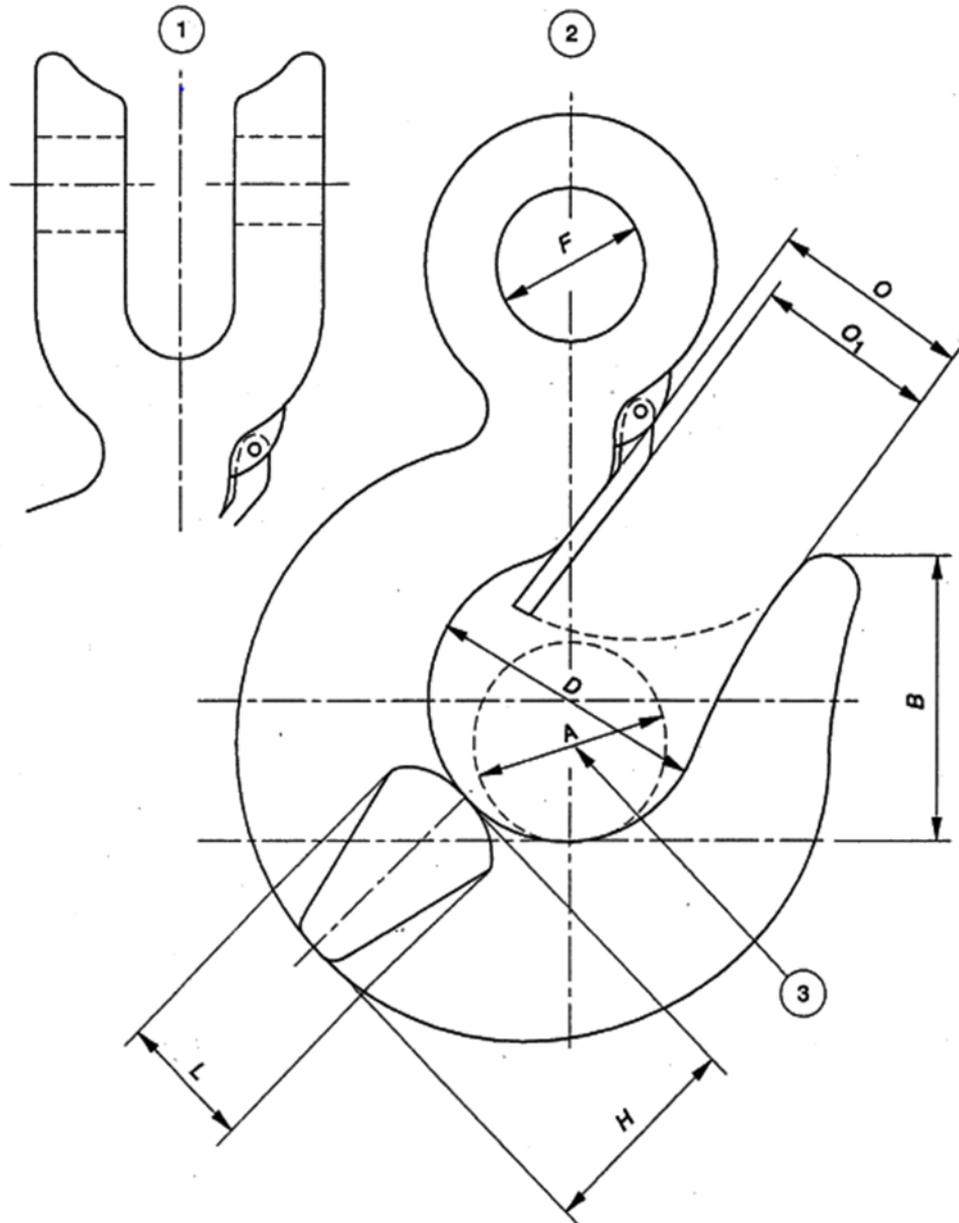
**3.3**  
**force de rupture (BF)**  
force maximale atteinte pendant l'essai de traction statique de l'accessoire et à la fin duquel l'accessoire ne retient plus la charge

**Tableau 4 — Propriétés mécaniques**

(1)	(2)	(3)	(4)
Numéro de code	Charge maximale d'utilisation	Force d'épreuve de fabrication	Force minimale de rupture
	(WLL)	(MPF)	(BF min)
	t	kN	kN
3	0,25	6,1	9,8
4	0,5	12,3	19,6
5	0,8	19,6	31,4
6	1,12	27,5	43,9
7	1,5	36,8	58,8
8	2	49	78,5
9	2,5	61,3	98,1
10	3,15	77,2	124
11	4	98,1	157
13	5,3	130	208
14	6	147	235
16	8	196	314
18	10	245	392
19	11,2	275	439
20	12,5	306	490
22	15	368	588
23	16	392	628
25	20	490	785
26	21,2	520	832
28	25	613	981
32	31,5	772	1 240
36	40	981	1 570
40	50	1 230	1 960
45	63	1 540	2 470

NOTE 1 Les valeurs des WLL données correspondent aux WLL des chaînes utilisées dans des élingues en chaînes selon l'EN 818-4, avec en plus des valeurs de WLL pour les accessoires utilisés dans les élingues en câbles et les élingues textiles.

NOTE 2 Les propriétés mécaniques spécifiées dans le tableau 4 sont calculées sur les bases spécifiées dans l'annexe A. Il est de pratique courante pour les fabricants d'arrondir la MPF et la BF à des valeurs supérieures, lesquelles peuvent apparaître dans leurs catalogues.



**Légende**

- 1 Type à chape
- 2 Type à œil
- 3 Diamètre maximal de barre

Figure 1 — Dimensions des crochets

EN 1677-2:2000+A1:2008 (F)

Tableau 3 — Dimensions des crochets (voir figure 1)

Numéro de code	Charge maximale d'utilisation (WLL)	D min	O min	O <sub>1</sub> min	F min	H max	L max	
	t	mm	mm	mm	mm	mm	mm	
3	0,25	11	8	8	6	12	8	
4	0,5	15	11	11	8	17	11	
5	0,8	19	14	14	10	21	14	
6	1,12	22	17	16	12	25	17	
7	1,5	26	20	18	14	29	20	
8	2	30	23	21	16	35	23	
9	2,5	34	26	24	18	38	26	
10	3,15	38	29	27	20	43	29	
11	4	42	32	30	23	48	32	
13	5,3	49	37	35	26	55	37	GKO 3
14	6	52	40	37	28	59	40	
16	8	60	46	43	32	68	46	
18	10	67	51	48	36	76	51	
19	11,2	71	54	51	38	80	54	
20	12,5	75	57	53	40	85	57	GKO 5
22	15	82	63	58	44	93	63	
23	16	85	65	60	46	96	65	
25	20	95	72	68	51	107	72	
26	21,2	98	75	70	52	111	75	Crosby
28	25	106	81	76	57	120	81	
32	31,5	119	91	85	64	135	91	
36	40	134	102	96	72	152	102	
40	50	150	115	107	81	170	115	
45	63	168	129	120	90	190	129	

EN 1677-2:2000+A1:2008 (F)

**Annexe A**

(informative)

**Bases de calcul des dimensions des crochets**

Les dimensions indiquées dans le tableau 3 sont dérivées des formules suivantes :

$$D = 21,2 \sqrt{WLL}$$

$$O = 16,2 \sqrt{WLL}$$

$$O_1 = 15,1 \sqrt{WLL}$$

$$F = 11,4 \sqrt{WLL}$$

$$H = 24 \sqrt{WLL}$$

$$L = 16,2 \sqrt{WLL}$$

Les dimensions, exprimées en millimètres, ont été calculées en utilisant la WLL indiquée dans le tableau 3 et arrondies au nombre entier le plus proche.

# Annexe 8 – Extraits normes aciers NF A 35-015 et NF EN 10025

## NF A 35-015 (1967) [13]

### 1.2 DOMAINE D'APPLICATION

La présente norme concerne les barres rondes et lisses laminées à chaud et le fil machine, d'un diamètre de 5 à 40 mm, utilisés pour constituer les armatures des constructions en béton armé.

Cette présente norme ne s'applique pas :

- aux fils, barres ou câbles utilisés pour produire la précontrainte dans les constructions en béton précontraint;
- aux fils étirés pour l'armature du béton armé;
- aux treillis soudés.

Le tableau II donne les valeurs minimales des caractéristiques mécaniques. L'essai de traction est effectué à l'état de livraison.

**TABLEAU II**  
**CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES DES ACIERS**

Nuances (*)	Essai de traction (1) (2)		A % 5 d min.	Essai de pliage simple à 180°
	E hbar min.	R hbar		
Fe E 22	21,5 (22)	33,3-49 (34-50)	22	2 d
Fe E 24	23,5 (24)	41,2-49 (42-50)	25	d ≤ 20 0 d d > 20 1 d
Fe E 34	33,4 (34)	58,8-70,6 (60-72)	16	—

(1) Entre parenthèses, sont indiquées les valeurs en kgf/mm<sup>2</sup>.  
(2) Les valeurs de E et R sont calculées en rapportant les charges obtenues à la section nominale de la barre et non à la section réelle.

### 3. ÉLABORATION - FABRICATION

#### 3.1 ÉLABORATION

Le choix du mode d'élaboration et du mode de désoxydation de l'acier est laissé aux soins du producteur. Le mode d'élaboration doit toutefois être communiqué à l'utilisateur sur sa demande.

#### 3.2 DÉFAUTS

D'une manière générale, les barres ne devront pas présenter de défauts préjudiciables à leur emploi.

#### 3.3 SOUDABILITÉ

Tous les aciers doivent être aptes à la soudure par étincelage. De plus, l'aptitude au soudage à l'arc doit être garantie pour la nuance **Fe E 24**. L'aptitude au soudage peut être vérifiée par un essai de traction et un essai de pliage sur cordon de soudure définis dans le fascicule de documentation NF A 35-017 en cours de préparation.

#### 3.4 MARQUAGE

Les barres doivent porter une marque distinctive à la peinture, permettant d'identifier les nuances **Fe E 22**, **Fe E 24**, **Fe E 34**.

## NFA 35-015 (1984) [14]

## 2 DOMAINE D'APPLICATION

La présente norme concerne les barres rondes et lisses laminées à chaud et le fil machine, d'un diamètre de 6 à 40 mm, utilisés pour constituer les armatures des constructions en béton armé.

## 4 CLASSIFICATION ET DÉSIGNATION DES NUANCES

La présente norme définit deux nuances d'acier constitutif des ronds lisses pour béton armé qui sont désignées suivant la valeur spécifiée de la limite d'élasticité exprimée en  $N/mm^2$  : Fe E 215 et Fe E 235.

## 6 CARACTÈRES DES RONDS LISSES POUR BÉTON ARMÉ

### 6.1 Caractères spécifiés

Le tableau 1 donne la liste des caractères géométriques, mécaniques et technologiques spécifiés :

Tableau 1 — Caractères spécifiés

Nuances	Caractères géométriques	Caractères mécaniques			Caractères technologiques	
	Diamètre	Essai de traction			Pliage simple	Essai de non fragilité
		$R_e$ (1)	$R_m$	A		
Fe E 215	×	×	×	×	×	
Fe E 235	×	×	×	×	×	×

(1) Dans les règlements de calculs la limite d'élasticité est désignée conventionnellement par  $f_e$ .

### 6.2.2 Diamètres nominaux (en millimètres)

Les diamètres nominaux des barres sont les suivants : 6, 8, 10, 12, 14, 16, 20, 25, 32, 40.

### 6.3 Caractères mécaniques

Le tableau 2 donne les valeurs spécifiées des caractères mécaniques garantis. L'essai de traction est effectué à l'état de livraison.

Tableau 2 — Caractères mécaniques

Nuances	$R_e$ min $N/mm^2$ (1)(2)	$R_m$ $N/mm^2$ (1)(2)	A % min mesuré par $L_0 = 5 d$
Fe E 215	215	330-490	22
Fe E 235	235	410-490	25

(1) Les valeurs de  $R_e$  et  $R_m$  sont calculées en rapportant les charges obtenues à la section nominale de la barre et non à la section réelle.  
 (2)  $1 N/mm^2 = 1 MPa$ .

### 6.4.2 Façonnage et non-fragilité

L'aptitude au façonnage et l'absence de fragilité sont appréciées par des essais de pliage et de non-fragilité : (voir tableau 3), dans les conditions définies aux paragraphes 9.2 et 9.3.

**Tableau 3 — Caractères technologiques**

Nuances	Essai de pliage simple à 180°		Essai de non-fragilité	
	Diamètre de la barre (mm)	Diamètre du mandrin (mm)	Diamètre de la barre (mm)	Diamètre du mandrin (mm)
Fe E 215		2 d		
Fe E 235	d ≤ 20 d > 20	0 d 1 d	d ≤ 20 d > 20	2 d 3 d

### 6.4.3 Soudabilité

Tous les aciers sont au moins aptes à la soudure par étincelage. Les ronds lisses de la nuance Fe E 235 sont aptes au soudage au sens de la norme NF A 35-018 qui fixe les conditions de la vérification de cette aptitude.

## NF A 35-018 (1984)

### 6 CRITÈRES D'APTITUDE AU SOUDAGE

#### 6.1 Caractères mécaniques des soudures

Les valeurs de limite d'élasticité, résistance à la traction et allongement des barres soudées doivent être au moins égales aux valeurs minimales garanties pour la nuance de l'acier. En outre, la cassure doit avoir un aspect ductile.

Lors de l'essai de pliage, il ne doit pas apparaître de crique avant un angle de 45° et l'éprouvette doit pouvoir être pliée sans rupture jusqu'à un angle de pliage de 90°.

L'effort de cisaillement doit être au moins égal à 0,3 fois le produit de la limite d'élasticité garantie par la section nominale de l'armature du plus petit diamètre.

#### 6.2 Composition chimique des aciers (voir paragraphe 4.4)

6.2.1 La formule définissant le carbone équivalent est la suivante :

$$C \text{ éq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$$

6.2.2 Les prescriptions suivantes doivent être respectées :

	Coulée	Produit
C .....	≤ 0,22 %	≤ 0,24 %
C éq .....	≤ 0,51 %	≤ 0,54 %
Si .....	≤ 0,50 %	≤ 0,55 %

## NF A 35-015 (1996) [15]

## 1 Domaine d'application

Le présent document a pour objet de fixer la composition chimique, les caractéristiques géométriques, mécaniques et technologiques, ainsi que les conditions de contrôle des ronds lisses soudables en acier pour béton armé.

Le présent document concerne les barres et fils machine laminés à chaud, d'un diamètre de 5,5 à 40 mm, utilisés pour constituer les armatures des constructions en béton armé.

Le présent document ne s'applique pas :

- aux barres et couronnes soudables à verrous de nuance FeE500 et treillis soudés constitués de ces armatures (voir norme NF A 35-016) ;
- aux barres et fils machine non soudables à verrous (voir NF A 35-017) ;
- aux fils à empreintes et treillis soudés constitués de ces fils (voir NF A 35-019).

## 4.2 Désignation de l'acier

La désignation de l'acier constitutif des produits couverts par le présent document comporte l'indication de la nuance, c'est-à-dire FeE235.

## 4.3 Désignation des produits

La désignation des produits couverts par le présent document doit comporter, dans cet ordre, les éléments suivants :

- a) description de la forme du produit (c'est-à-dire barre ou fil machine) ;
- b) la référence du présent document ;
- c) le diamètre nominal du produit, en millimètres ;
- d) la longueur nominale (pour les barres seulement), en millimètres ;
- e) la désignation de l'acier (FeE235).

EXEMPLE :

Barre conforme au présent document d'un diamètre nominal de 20 mm et d'une longueur nominale 12 000 mm en acier FeE235 :

**Barre NF A 35-015 — 20 × 12 000 — FeE235**

## 6.1 Composition chimique

6.1.1 Les valeurs maximales pour la composition chimique, y compris la valeur de carbone équivalent, sont données au tableau 1.

**Tableau 1 : Composition chimique de l'acier FeE235**

Type d'analyse	Composition chimique % max (m/m)	
	C	CEV
Analyse sur coulée	0,22	0,50
Analyse sur produit	0,24	0,52

6.1.2 Le carbone équivalent CEV doit être déterminé à partir de la formule suivante :

$$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$$

où les symboles des éléments chimiques indiquent leur teneur en % (m/m).

## 6.3 Caractéristiques mécaniques

Les valeurs des caractéristiques mécaniques s'appliquent pour les conditions d'essai de référence données au tableau 4.

**Tableau 4 : Conditions de détermination des caractéristiques mécaniques**

	Fabrication et conditions de livraison du produit	Conditions d'essai (éprouvettes)
1	Laminé à chaud en barres droites	A l'état de livraison <sup>1)</sup> ou vieilli <sup>2)</sup>
2	Produit en couronnes et livré en longueurs droites	Vieilli <sup>2)</sup>
3	Produit et livré en couronnes	Dressé puis vieilli <sup>2)</sup>

1) Vieilli en cas de litige.  
2) Mode de vieillissement : Chauffage de l'éprouvette à 100 °C, maintien à cette température pendant au moins 1 h et refroidissement à l'air calme jusqu'à la température ambiante. Le producteur est libre de choisir le mode de chauffage.

Les valeurs spécifiées des caractéristiques mécaniques déterminées par un essai de traction, sont données au tableau 5.

**Tableau 5 : Caractéristiques mécaniques**

Limite supérieure d'écoulement $R_{eH}$ min $N/mm^2$ <sup>1)</sup>	Résistance à la traction $R_m$ min $N/mm^2$ <sup>1)</sup>	Rapport $R_m/R_{eH}$ min	Allongement total sous charge maximale $A_{gt}$ min %
235	350	1,15	8

1)  $1 N/mm^2 = 1 MPa$ .

#### 6.4.2 Aptitude au soudage

Les armatures spécifiées par le présent document sont aptes au soudage par les procédés courants.

L'aptitude au soudage est essentiellement fondée sur le respect des spécifications relatives à la composition chimique (voir paragraphe 6.1).

#### 6.4.4 Aptitude au façonnage et absence de fragilité

L'aptitude au façonnage et l'absence de fragilité sont appréciées par des essais de pliage et de non-fragilité (voir tableau 6), dans les conditions définies aux paragraphes 8.3 et 8.4.

**Tableau 6 : Diamètres des mandrins pour les essais de pliage et de non-fragilité**

Dimensions en millimètres

Diamètre nominal du produit	5,5	6	8	10	12	14	16	20	25	32	40
Essai de pliage	10	10	10	10	10	10	20	20	30	30	40
Essai de non-fragilité	10	10	20	20	20	30	30	40	70	90	120

Au cours de ces essais, les ronds lisses soudables ne doivent pas se rompre et la zone de pliage ou de pliage-dépliage ne doit présenter ni fissures, ni déchirures transversales.

**NF A 35-015 (2009) [17]**
**1 Domaine d'application**

Le présent document spécifie les prescriptions relatives aux barres et couronnes soudables lisses en acier pour béton armé de nuance B235C, de diamètre nominal 5,5 mm à 40 mm (voir Tableau 3).

NOTE Les barres visées par le présent document peuvent être obtenues soit directement en longueurs droites soit par dressage ultérieur de couronnes.

Le présent document ne s'applique pas :

- aux barres, couronnes et treillis soudés d'aciers soudables à verrous pour béton armé (voir NF A 35-016-1 et NF A 35-016-2) ;
- aux barres et couronnes d'aciers non soudables à verrous pour béton armé (voir NF A 35-017) ;
- aux barres, couronnes et treillis soudés d'aciers soudables à empreintes pour béton armé (voir NF A 35-019-1 et NF A 35-019-2) ;
- aux treillis soudés de surface constitués de fils de diamètre inférieur à 5 mm (voir NF A 35-024) ;
- aux treillis raidisseurs (voir NF A 35-028).

**4 Symboles**

Les symboles utilisés dans le présent document sont récapitulés dans le Tableau 1.

**Tableau 1 — Symboles**

Symbole	Description	Unité
$C_{eq}$	Valeur du carbone équivalent	%
$d$	Diamètre nominal de l'acier pour béton armé	mm
$A_n$	Section nominale de l'acier pour béton armé ( $\pi d^2/4$ )	mm <sup>2</sup>
$m$	Masse linéique nominale de l'acier pour béton armé	kg/m
$R_e$	Limite d'élasticité	MPa <sup>a)</sup>
$R_{eH}$	Limite supérieure d'écoulement	MPa <sup>a)</sup>
$R_{p0,2}$	Limite conventionnelle d'élasticité à 0,2 %	MPa <sup>a)</sup>
$R_m$	Résistance à la traction	MPa
$A_{gt}$	Allongement total pour cent à la force maximale	%
$n$	Nombre de séries d'essai	—
<i>a) 1 MPa = 1 N/mm<sup>2</sup>.</i>		

## 5.2 Désignation des produits

La désignation des produits couverts par le présent document doit comporter, dans cet ordre, les éléments suivants :

- la description de la forme du produit (c'est-à-dire barre ou couronne) ;
- la référence du présent document ;
- le diamètre nominal du produit, en millimètres ;
- la longueur nominale (pour les barres seulement), en millimètres ;
- la nuance d'acier pour béton armé (c'est-à-dire B235C).

EXEMPLE 1 Barre conforme au présent document d'un diamètre nominal de 8 mm et d'une longueur nominale 12 000 mm en acier de nuance B235C :

Barre NF A 35-015 — 8 × 12 000 — B235C

EXEMPLE 2 Couronne conforme au présent document d'un diamètre nominal de 10 mm en acier de nuance B235C :

Couronne NF A 35-015 — 10 — B235C

## 7 Prescriptions

### 7.1 Soudabilité et composition chimique

7.1.1 La soudabilité est déterminée par deux caractéristiques :

- le carbone équivalent ;
- les limites relatives aux teneurs en certains éléments.

7.1.2 Les valeurs maximales des éléments individuels et du carbone équivalent ne doivent pas dépasser les valeurs indiquées dans le Tableau 2.

7.1.3 La valeur du carbone équivalent  $C_{eq}$  doit être calculée en utilisant la formule suivante :

$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \quad \dots (1)$$

où les symboles des éléments chimiques indiquent leur teneur en % en masse.

**Tableau 2 — Composition chimique (% en masse)**

	Carbone <sup>a)</sup>	Soufre	Phosphore	Azote <sup>b)</sup>	Cuivre	Valeur du carbone équivalent <sup>a)</sup>
	max.	max.	max.	max.	max.	max.
Analyse de coulée	0,22	0,050	0,050	0,014	0,80	0,50
Analyse de produit	0,24	0,055	0,055	0,016	0,85	0,52

*a) Il est autorisé de dépasser les valeurs maximales pour le carbone de 0,03 % en masse pour autant que la valeur du carbone équivalent soit diminuée de 0,02 % en masse.*

*b) Des teneurs supérieures en azote sont admissibles si des quantités suffisantes d'éléments fixant l'azote sont présentes.*

### 7.3 Caractéristiques mécaniques

#### 7.3.1 Généralités

Les conditions d'essai doivent être telles que spécifiées dans le Tableau 4.

**Tableau 4 — Conditions d'essai pour les caractéristiques mécaniques**

Conditions de fabrication et de livraison du produit	Conditions d'essai (éprouvettes)
Produit en longueurs droites par laminage à chaud	À l'état de livraison <sup>a)</sup> ou vieilli <sup>b)</sup>
Produit en couronne, dressé et livré en longueurs droites	Vieilli <sup>b)</sup>
Produit et livré en couronnes	Dressé et vieilli <sup>b)</sup>
<p><i>a) Vieilli en cas de litige.</i></p> <p><i>b) Mode de vieillissement : Chauffage de l'éprouvette à 100 °C, maintien à cette température ± 10 °C pendant au moins 1 h + <sup>15</sup><sub>0</sub> min puis refroidissement à l'air calme jusqu'à la température ambiante. Le mode de chauffage est laissé au choix du producteur.</i></p>	

#### 7.3.2 Caractéristiques de traction

Les caractéristiques mécaniques en traction doivent être conformes aux prescriptions du Tableau 5.

**Tableau 5 — Caractéristiques mécaniques de traction**

Nuance d'acier	Limite d'élasticité $R_e$ <sup>a)</sup> MPa	Rapport $R_m/R_e$	Allongement total pour cent à la force maximale, $A_{gt}$ %
B235C	235	1,15	10,0
<p><i>a) <math>R_e</math> est égal à <math>R_{eH}</math> ou, en cas d'absence de palier découlement, à <math>R_{p0,2}</math>.</i></p>			

Les valeurs spécifiées sont des valeurs minimales.

#### 7.3.3 Aptitude au pliage

Les produits couverts par le présent document doivent pouvoir supporter :

- un essai de pliage, réalisé conformément à la norme NF EN ISO 15630-1, avec un angle minimal de pliage de 180°, autour d'un mandrin dont le diamètre est donné dans le Tableau 6 ;
- un essai de pliage-dépliage, réalisé conformément à la norme NF EN ISO 15630-1 et consistant en un pliage d'un angle minimal de 90° autour d'un mandrin dont le diamètre est donné dans le Tableau 7, suivi d'un vieillissement tel que spécifié dans la norme NF EN ISO 15630-1 puis d'un dépliage d'au moins 20° ;

sans rupture ou apparition de fissures ou déchirures transversales visibles par une personne de vision normale ou corrigée, dans la zone de pliage ou dans la zone de pliage-dépliage.

**Tableau 6 — Diamètre du mandrin pour l'essai de pliage**

Dimensions en millimètres

<b>Diamètre nominal du produit, <math>d</math></b>	5,5 à 10	12 et 14	16 et 20	25 et 32	40
<b>Diamètre du mandrin <sup>a)</sup></b>	10	15	20	30	40
<i>a) Un résultat d'essai conforme, obtenu avec un mandrin de diamètre inférieur au diamètre spécifié dans ce tableau vaut preuve de conformité au présent document.</i>					

**Tableau 7 — Diamètre du mandrin pour l'essai de pliage-dépliage**

Dimensions en millimètres

<b>Diamètre nominal du produit, <math>d</math></b>	5,5 et 6	8	10 et 12	14 et 16	20 et 25	32 et 40
<b>Diamètre du mandrin <sup>a)</sup></b>	20	40	50	70	150	200
<i>a) Un résultat d'essai conforme, obtenu avec un mandrin de diamètre inférieur au diamètre spécifié dans ce tableau vaut preuve de conformité au présent document.</i>						

NF EN 10025-2 [19]

Tableau 2 — Composition chimique à l'analyse de coulée des nuances et qualités pour les produits plats et longs avec valeurs de rupture en flexion par choc <sup>a)</sup>

Désignation		Méthode de désoxydation <sup>b)</sup>	C en % max. pour une épaisseur nominale de produit, en mm			Si % max.	Mn % max.	P % max. <sup>d)</sup>	S % max. <sup>d), e)</sup>	N % max. <sup>f)</sup>	Cu % max. <sup>g)</sup>	Autres % max. <sup>h)</sup>
Selon EN 10027-1 et CR 10260	Selon EN 10027-2		≤ 16	> 16 ≤ 40	> 40 <sup>c)</sup>							
S235JR	1.0038	FN	0,17	0,17	0,20	—	1,40	0,035	0,035	0,012	0,55	—
S235J0	1.0114	FN	0,17	0,17	0,17	—	1,40	0,030	0,030	0,012	0,55	—
S235J2	1.0117	FF	0,17	0,17	0,17	—	1,40	0,025	0,025	—	0,55	—
S275JR	1.0044	FN	0,21	0,21	0,22	—	1,50	0,035	0,035	0,012	0,55	—
S275J0	1.0143	FN	0,18	0,18	0,18 <sup>i)</sup>	—	1,50	0,030	0,030	0,012	0,55	—
S275J2	1.0145	FF	0,18	0,18	0,18 <sup>i)</sup>	—	1,50	0,025	0,025	—	0,55	—
S355JR	1.0045	FN	0,24	0,24	0,24	0,55	1,60	0,035	0,035	0,012	0,55	—
S355J0	1.0553	FN	0,20 <sup>j)</sup>	0,20 <sup>k)</sup>	0,22	0,55	1,60	0,030	0,030	0,012	0,55	—
S355J2	1.0577	FF	0,20 <sup>j)</sup>	0,20 <sup>k)</sup>	0,22	0,55	1,60	0,025	0,025	—	0,55	—
S355K2	1.0596	FF	0,20 <sup>j)</sup>	0,20 <sup>k)</sup>	0,22	0,55	1,60	0,025	0,025	—	0,55	—
S450J0 <sup>l)</sup>	1.0590	FF	0,20	0,20 <sup>k)</sup>	0,22	0,55	1,70	0,030	0,030	0,025	0,55	<sup>m)</sup>

- a) Voir 7.2.  
b) FN = acier effervescent non admis ; FF = acier complètement calmé (voir 6.2.2).  
c) Pour les profilés d'épaisseur nominale > 100 mm, teneur en C selon accord.  
Voir option 26.  
d) Pour les produits longs les teneurs en P et S peuvent être 0,005 % plus élevées.  
e) Pour les produits longs, la teneur maximale en S peut être augmentée de 0,015 % pour améliorer l'aptitude à l'usinage par accord, à condition que l'acier soit traité afin de modifier la morphologie des sulfures et que la composition chimique présente une teneur minimale de Ca de 0,0020 %.  
Voir option 27.  
f) La valeur maximale exigée pour l'azote ne s'applique pas lorsque la composition chimique présente une teneur minimale en Al total de 0,020 % ou bien 0,015 % Al min soluble acide ou lorsque d'autres éléments fixant l'azote sont présents en quantités suffisantes. Dans ce cas, les éléments fixant l'azote doivent être mentionnés dans le document de contrôle.  
g) Une teneur en Cu supérieure à 0,40 % peut entraîner une fragilité à chaud lors du formage à chaud.  
h) Si d'autres éléments sont ajoutés, ils doivent être mentionnés dans le document de contrôle.  
i) Pour les épaisseurs nominales > 150 mm : teneur en C = 0,20 % max.  
j) Pour les nuances aptes au profilage à froid sur galets (voir 7.4.2.2.3) : teneur en C = 0,22 % max.  
k) Pour les épaisseurs nominales > 30 mm : teneur en C = 0,22 % max.  
l) S'applique aux produits longs seulement.  
m) L'acier peut présenter une teneur max. en Nb de 0,05 %, une teneur max. en V de 0,13 % et une teneur max en Ti de 0,05 %.

Tableau 4 — Composition chimique à l'analyse sur produit, basée sur le Tableau 2 <sup>a)</sup>

Désignation		Méthode de désoxydation <sup>b)</sup>	C en % max. pour une épaisseur nominale de produit, en mm			Si % max.	Mn % max.	P % max. <sup>d)</sup>	S % max. <sup>d), e)</sup>	N % max. <sup>f)</sup>	Cu % max. <sup>g)</sup>	Autres % max. <sup>h)</sup>
Selon EN 10027-1 et CR 10260	Selon EN 10027-2		≤ 16	> 16 ≤ 40	> 40 <sup>c)</sup>							
S235JR	1.0038	FN	0,19	0,19	0,23	—	1,50	0,045	0,045	0,014	0,60	—
S235J0	1.0114	FN	0,19	0,19	0,19	—	1,50	0,040	0,040	0,014	0,60	—
S235J2	1.0117	FF	0,19	0,19	0,19	—	1,50	0,035	0,035	—	0,60	—
S275JR	1.0044	FN	0,24	0,24	0,25	—	1,60	0,045	0,045	0,014	0,60	—
S275J0	1.0143	FN	0,21	0,21	0,21 <sup>i)</sup>	—	1,60	0,040	0,040	0,014	0,60	—
S275J2	1.0145	FF	0,21	0,21	0,21 <sup>i)</sup>	—	1,60	0,035	0,035	—	0,60	—
S355JR	1.0045	FN	0,27	0,27	0,27	0,60	1,70	0,045	0,045	0,014	0,60	—
S355J0	1.0553	FN	0,23 <sup>j)</sup>	0,23 <sup>k)</sup>	0,24	0,60	1,70	0,040	0,040	0,014	0,60	—
S355J2	1.0577	FF	0,23 <sup>j)</sup>	0,23 <sup>k)</sup>	0,24	0,60	1,70	0,035	0,035	—	0,60	—
S355K2	1.0596	FF	0,23 <sup>j)</sup>	0,23 <sup>k)</sup>	0,24	0,60	1,70	0,035	0,035	—	0,60	—
S450J0 <sup>l)</sup>	1.0590	FF	0,23	0,23 <sup>j)</sup>	0,24	0,60	1,80	0,040	0,040	0,027	0,60	<sup>m)</sup>

- a) Voir 7.2.  
b) FN = acier effervescent non admis ; FF = acier complètement calmé (voir 6.2.2).  
c) Pour les profilés d'épaisseur nominale > 100 mm, teneur en C selon accord.  
Voir option 26.  
d) Pour les produits longs les teneurs en P et S peuvent être 0,005 % plus élevées.  
e) Pour les produits longs, la teneur maximale en S peut être augmentée de 0,015 % pour améliorer l'aptitude à l'usinage par accord, à condition que l'acier soit traité afin de modifier la morphologie des sulfures et que la composition chimique présente une teneur minimale de Ca de 0,0020 %.  
Voir option 27.  
f) La valeur maximale exigée pour l'azote ne s'applique pas lorsque la composition chimique présente une teneur minimale en Al total de 0,015 % ou bien 0,013 % Al min soluble acide ou lorsque d'autres éléments fixant l'azote sont présents en quantités suffisantes. Dans ce cas, les éléments fixant l'azote doivent être mentionnés dans le document de contrôle.  
g) Une teneur en Cu supérieure à 0,45 % peut entraîner une fragilité à chaud lors du formage à chaud.  
h) Si d'autres éléments sont ajoutés, ils doivent être mentionnés dans le document de contrôle.  
i) Pour les épaisseurs nominales > 150 mm : teneur en C = 0,22 % max.  
j) Pour les nuances aptes au profilage à froid sur galets (voir 7.4.2.2.3) : teneur en C = 0,24 % max.  
k) Pour les épaisseurs nominales > 30 mm : teneur en C = 0,24 % max.  
l) S'applique aux produits longs seulement.  
m) L'acier peut présenter une teneur max. en Nb de 0,06 %, une teneur max. en V de 0,15 % et une teneur max en Ti de 0,06 %.

**Tableau 6 — CEV maximal basé sur l'analyse de coulée <sup>a)</sup>**

Désignation		Méthode de désoxydation <sup>b)</sup>	CEV en % pour une épaisseur nominale de produit, en mm				
			≤ 30	> 30	> 40	> 150	> 250
Selon EN 10027-1 et CR 10260	Selon EN 10027-2			≤ 40	≤ 150	≤ 250	≤ 400
S235JR	1.0038	FN	0,35	0,35	0,38	0,40	—
S235J0	1.0114	FN	0,35	0,35	0,38	0,40	—
S235J2	1.0117	FF	0,35	0,35	0,38	0,40	0,40
S275JR	1.0044	FN	0,40	0,40	0,42	0,44	—
S275J0	1.0143	FN	0,40	0,40	0,42	0,44	—
S275J2	1.0145	FF	0,40	0,40	0,42	0,44	0,44
S355JR	1.0045	FN	0,45	0,47	0,47	0,49 <sup>c)</sup>	—
S355J0	1.0553	FN	0,45	0,47	0,47	0,49 <sup>c)</sup>	—
S355J2	1.0577	FF	0,45	0,47	0,47	0,49 <sup>c)</sup>	0,49
S355K2	1.0596	FF	0,45	0,47	0,47	0,49 <sup>c)</sup>	0,49
S450J0 <sup>d)</sup>	1.0590	FF	0,47	0,49	0,49	—	—

*a) Pour l'augmentation facultative des éléments ayant une influence sur la CEV, voir 7.2.4 et 7.2.5.*  
*b) FN = acier effervescent non admis ; FF = acier complètement calmé (voir 6.2.2).*  
*c) Pour les produits longs, une CEV maximale de 0,54 est applicable.*  
*d) S'applique aux produits longs seulement.*

**7.2.3** La valeur de carbone équivalent doit être déterminée à l'aide de la formule suivante de l'IIS (Institut international de la soudure) :

$$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$$

**7.2.4** Pour toutes les qualités des nuances S235, S275 et S355 l'exigence supplémentaire suivante de composition chimique doit faire l'objet d'un accord lors de la commande :

- teneur en cuivre comprise entre 0,25 % et 0,40 % à l'analyse de coulée et entre 0,20 % et 0,45 % à l'analyse sur produit. Dans ce cas, la valeur maximale de carbone équivalent indiquée au Tableau 6 doit être augmentée de 0,02 %.

Voir option 20.

**Tableau 7 — Caractéristiques mécaniques à la température ambiante des nuances et qualités d'acier pour les produits plats et longs avec valeurs d'énergie de rupture en flexion par choc**

Désignation		Limite d'élasticité minimale $R_{eH}^{a)}$										Résistance à la traction $R_m^{a)}$				
		MPa <sup>b)</sup>										MPa <sup>b)</sup>				
		Épaisseur nominale										Épaisseur nominale				
		mm										mm				
Selon EN 10027-1 et CR 10260	Selon EN 10027-2	≤ 16	> 16 ≤ 40	> 40 ≤ 63	> 63 ≤ 80	> 80 ≤ 100	> 100 ≤ 150	> 150 ≤ 200	> 200 ≤ 250	> 250 ≤ 400 <sup>c)</sup>	< 3	≥ 3 ≤ 100	> 100 ≤ 150	> 150 ≤ 250	> 250 ≤ 400 <sup>c)</sup>	
		S235JR	1.0038	235	225	215	215	215	195	185	175	—	360 à 510	360 à 510	350 à 500	340 à 490
S235J0	1.0114	235	225	215	215	215	195	185	175	—	360 à 510	360 à 510	350 à 500	340 à 490	—	
S235J2	1.0117	235	225	215	215	215	195	185	175	165	360 à 510	360 à 510	350 à 500	340 à 490	330 à 480	
S275JR	1.0044	275	265	255	245	235	225	215	205	—	430 à 580	410 à 560	400 à 540	380 à 540	—	
S275J0	1.0143	275	265	255	245	235	225	215	205	—	430 à 580	410 à 560	400 à 540	380 à 540	—	
S275J2	1.0145	275	265	255	245	235	225	215	205	195	430 à 580	410 à 560	400 à 540	380 à 540	380 à 540	
S355JR	1.0045	355	345	335	325	315	295	285	275	—	510 à 680	470 à 630	450 à 600	450 à 600	—	
S355J0	1.0553	355	345	335	325	315	295	285	275	—	510 à 680	470 à 630	450 à 600	450 à 600	—	
S355J2	1.0577	355	345	335	325	315	295	285	275	265	510 à 680	470 à 630	450 à 600	450 à 600	450 à 600	
S355K2	1.0596	355	345	335	325	315	295	285	275	265	510 à 680	470 à 630	450 à 600	450 à 600	450 à 600	
S450J0 <sup>d)</sup>	1.0590	450	430	410	390	380	380	—	—	—	—	550 à 720	530 à 700	—	—	

a) Pour les tôles, bandes et larges-plats de largeur  $\geq 600$  mm, le sens transversal (t) à la direction du laminage est applicable. Pour tous les autres produits, les valeurs s'appliquent dans le sens parallèle (l) à la direction du laminage.

b) 1 MPa = 1 N/mm<sup>2</sup>.

c) Les valeurs s'appliquent aux produits plats.

d) S'applique seulement pour les produits longs.

(à suivre)

**Tableau 7 — Caractéristiques mécaniques à la température ambiante des nuances et qualités d'acier pour les produits plats et longs avec valeurs d'énergie de rupture en flexion par choc (fin)**

Désignation		Orientation des éprouvettes <sup>a)</sup>	Pourcentage minimal d'allongement à la rupture <sup>a)</sup>										
			$L_0 = 80 \text{ mm}$					%					
			Épaisseur nominale					Épaisseur nominale					
mm	mm					mm							
≤ 1	> 1	> 1,5	> 2	> 2,5	≥ 3	> 40	> 63	> 100	> 150	> 250 <sup>c)</sup>	> 250 <sup>c)</sup>		
≤ 1,5	≤ 2	≤ 2,5	< 3	≤ 40	≤ 63	≤ 100	≤ 150	≤ 250	≤ 400 seulement pour J2 et K2				
S235JR	1.0038	l	17	18	19	20	21	26	25	24	22	21	—
S235J0	1.0114												—
S235J2	1.0117	t	15	16	17	18	19	24	23	22	22	21	21 (l et t)
S275JR	1.0044	l	15	16	17	18	19	23	22	21	19	18	—
S275J0	1.0143												—
S275J2	1.0145	t	13	14	15	16	17	21	20	19	19	18	18 (l et t)
S355JR	1.0045	l	14	15	16	17	18	22	21	20	18	17	—
S355J0	1.0553												—
S355J2	1.0577												17 (l et t)
S355K2	1.0596	t	12	13	14	15	16	20	19	18	18	17	17 (l et t)
S450J0 <sup>d)</sup>	1.0590	l	—	—	—	—	—	17	17	17	17	—	—

<sup>a)</sup> Pour les tôles, bandes et larges-plats de largeur  $\geq 600 \text{ mm}$ , le sens transversal (t) à la direction du laminage est applicable. Pour tous les autres produits, les valeurs s'appliquent dans le sens parallèle (l) à la direction du laminage.  
<sup>c)</sup> Les valeurs s'appliquent aux produits plats.  
<sup>d)</sup> S'applique seulement pour les produits longs.

**Tableau 9 — Caractéristiques mécaniques —  
Énergie de rupture KV en flexion par choc, en long, sur produits plats et longs <sup>a)</sup>**

Désignation		Température  °C	Énergie minimale (J)		
			Épaisseur nominale en mm		
Selon EN 10027-1 et CR 10260	Selon EN 10027-2		≤ 150 <sup>a), b)</sup>	> 150 ≤ 250 <sup>b)</sup>	> 250 ≤ 400 <sup>c)</sup>
S235JR	1.0038	20	27	27	—
S235J0	1.0114	0	27	27	—
S235J2	1.0117	– 20	27	27	27
S275JR	1.0044	20	27	27	—
S275J0	1.0143	0	27	27	—
S275J2	1.0145	– 20	27	27	27
S355JR	1.0045	20	27	27	—
S355J0	1.0553	0	27	27	—
S355J2	1.0577	– 20	27	27	27
S355K2	1.0596	– 20	40 <sup>d)</sup>	33	33
S450J0 <sup>e)</sup>	1.0590	0	27	—	—

a) Pour les épaisseurs nominales ≤ 12 mm, voir 7.3.2.1 de EN 10025-1:2004.

b) Pour les profilés d'épaisseur nominale > 100 mm, les valeurs doivent être convenues par accord.  
Voir option 28.

c) Ces valeurs s'appliquent aux produits plats.

d) Cette valeur correspond à 27J à – 30 °C (voir Eurocode 3).

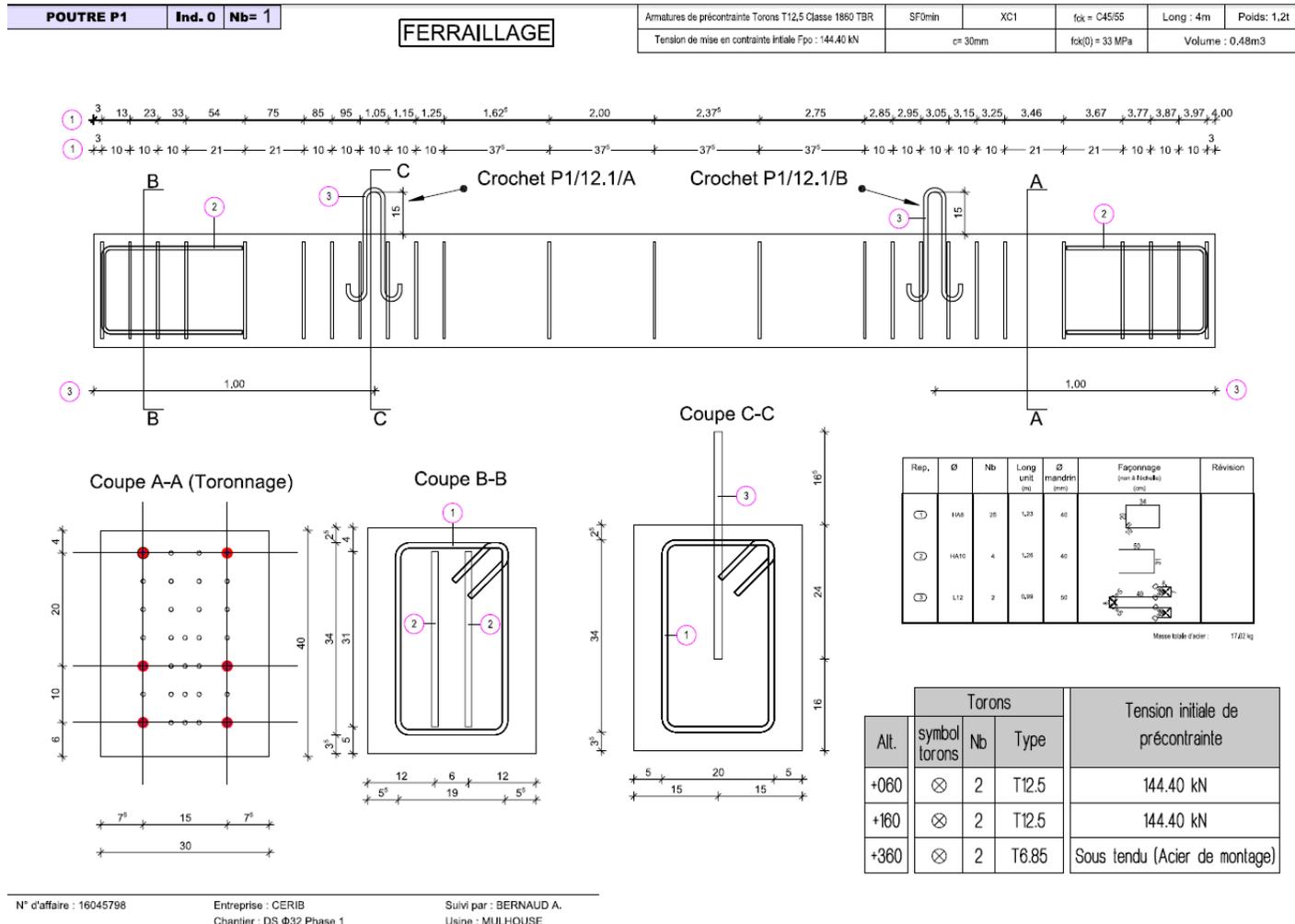
e) S'applique seulement aux produits longs.





# Annexe 10 – Fabrication des poutres

Exemples de plan de ferrailage d'une poutre :

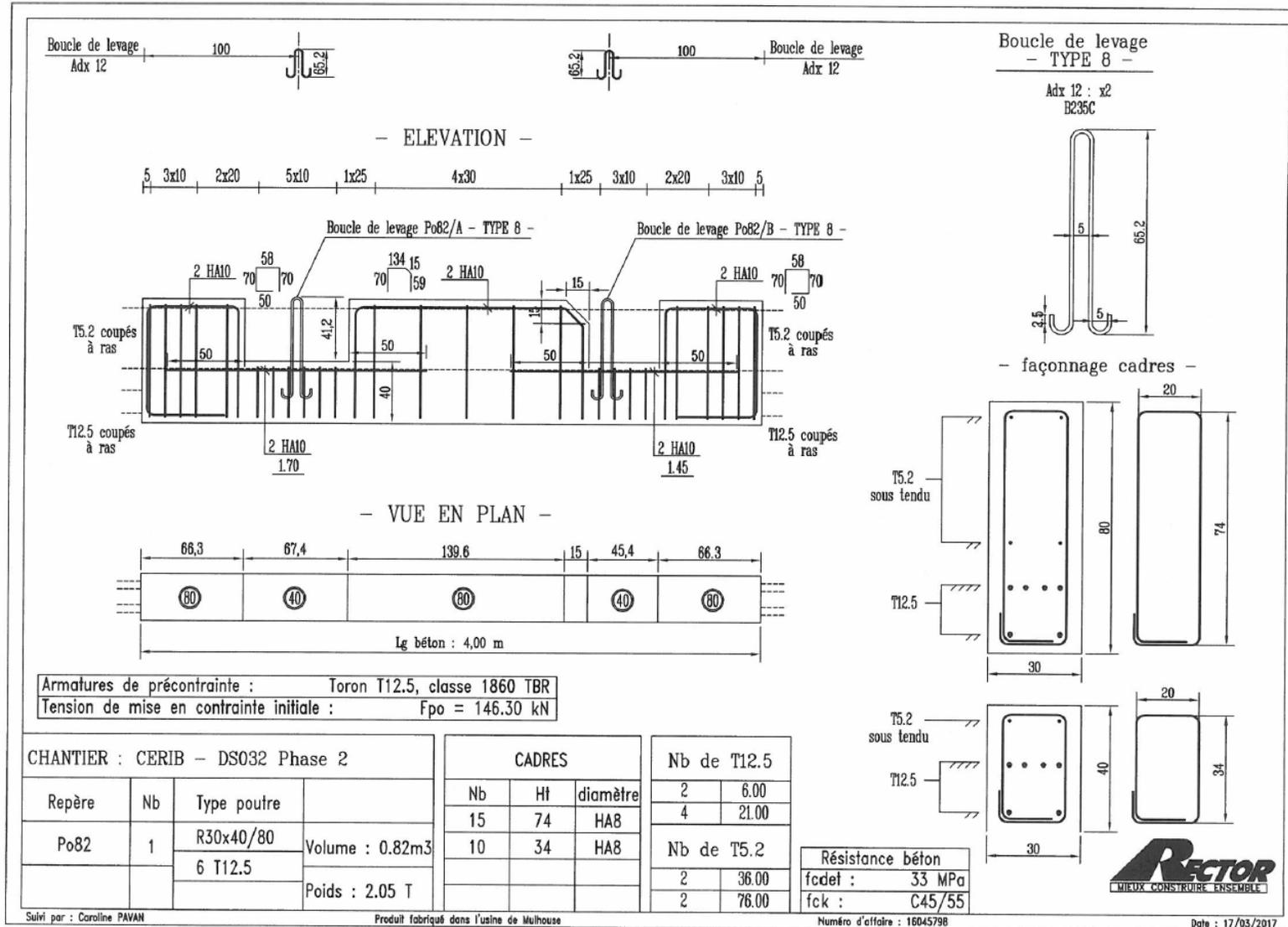


N° d'affaire : 16045798

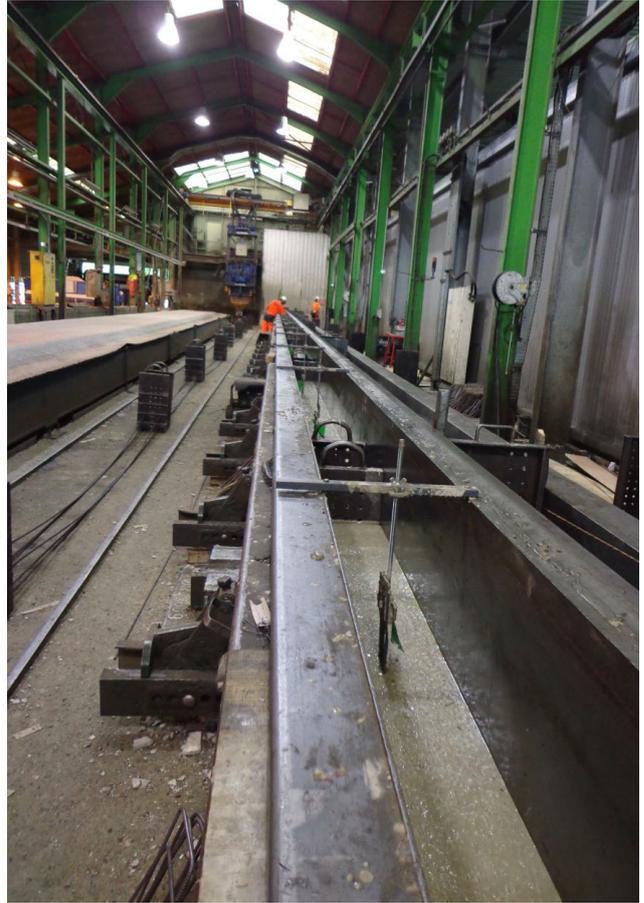
Entreprise : CERIB  
Chantier : DS Φ32 Phase 1

Suivi par : BERNAUD A.  
Usine : MULHOUSE

Alt.	Torons			Tension initiale de précontrainte
	symbol torons	Nb	Type	
+060	⊗	2	T12.5	144.40 kN
+160	⊗	2	T12.5	144.40 kN
+360	⊗	2	T6.85	Sous tendu (Acier de montage)



Fabrication



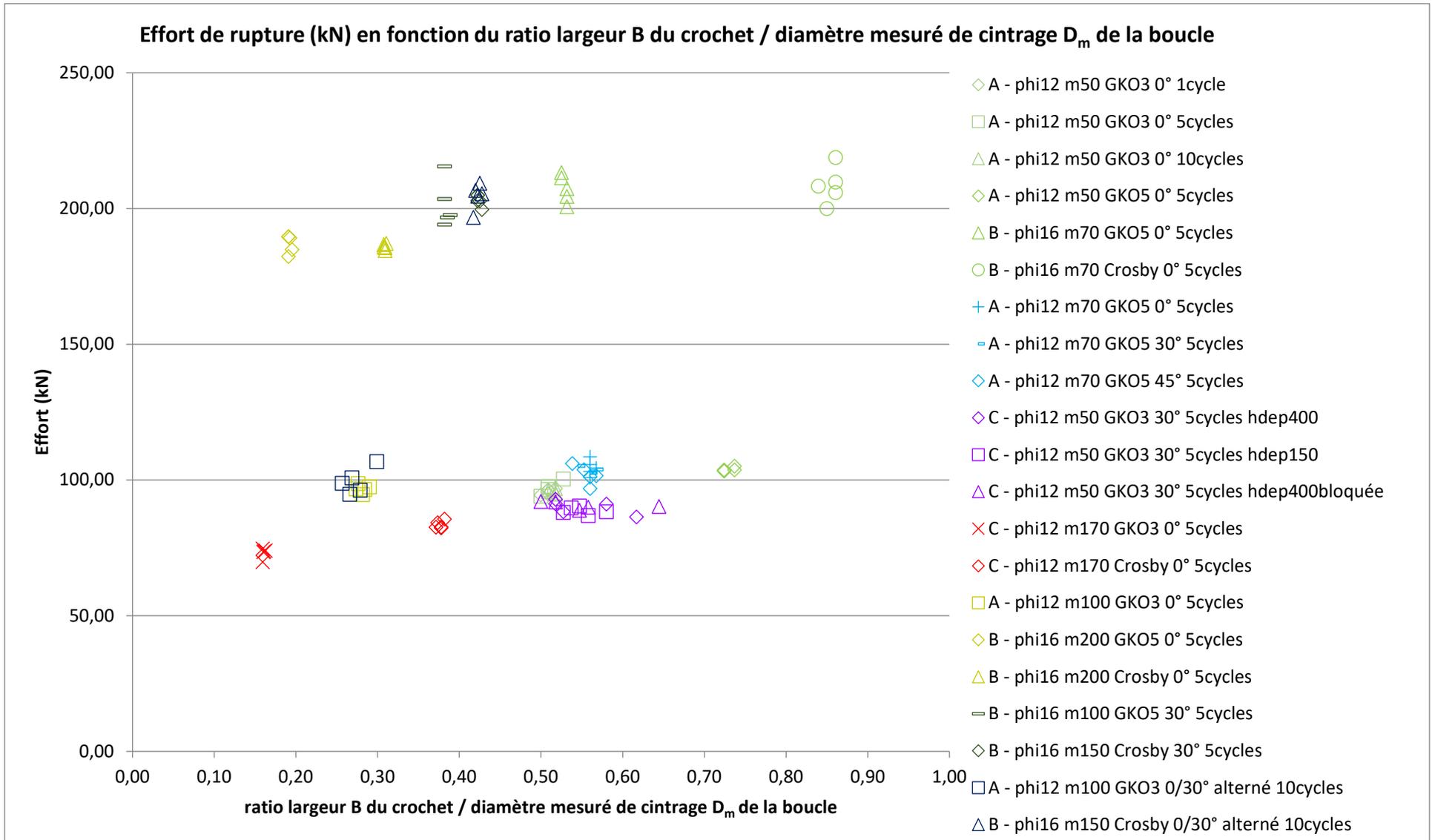
Démoulage

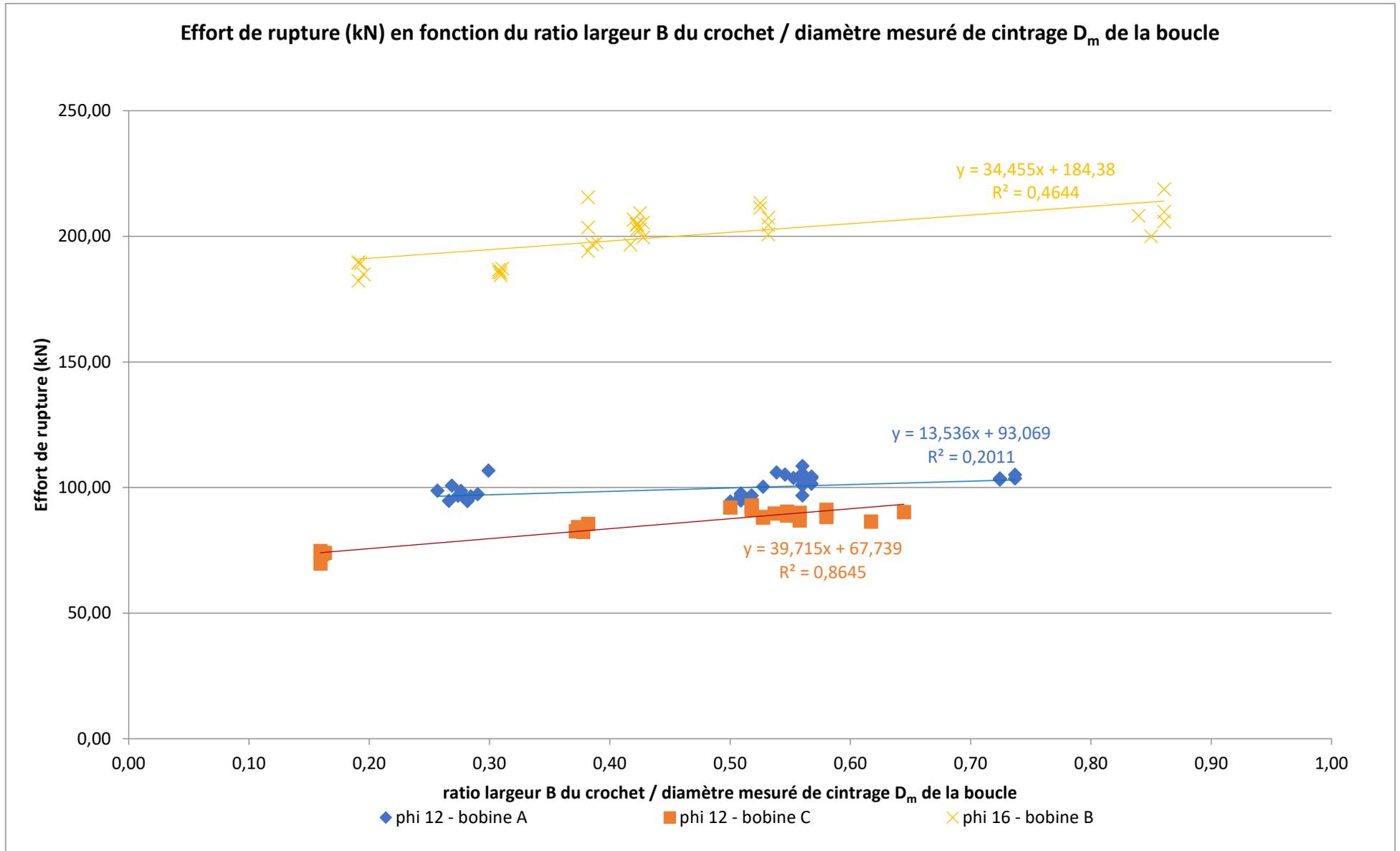


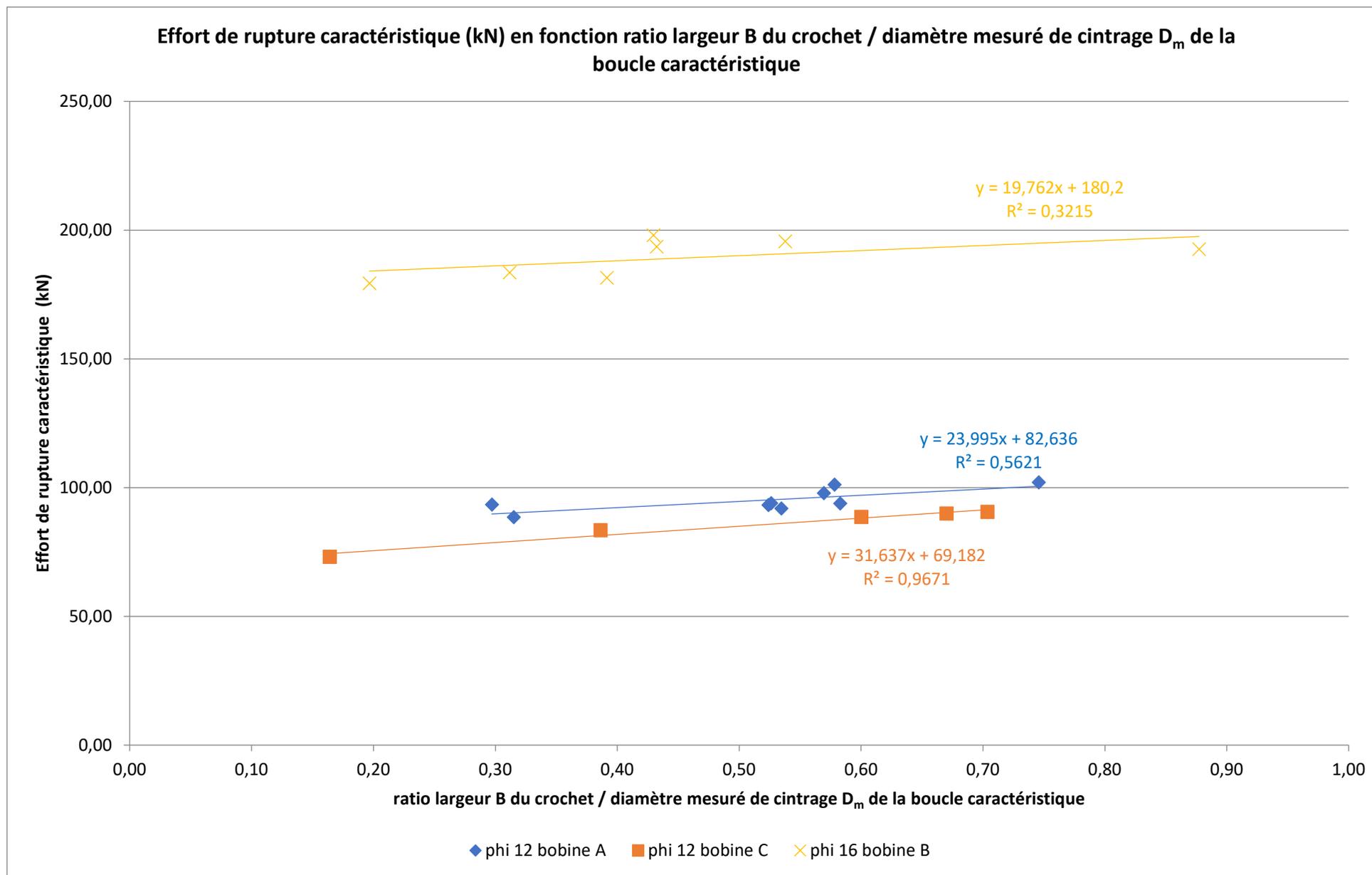
# Annexe 11 – Récapitulatif des résultats d'essais

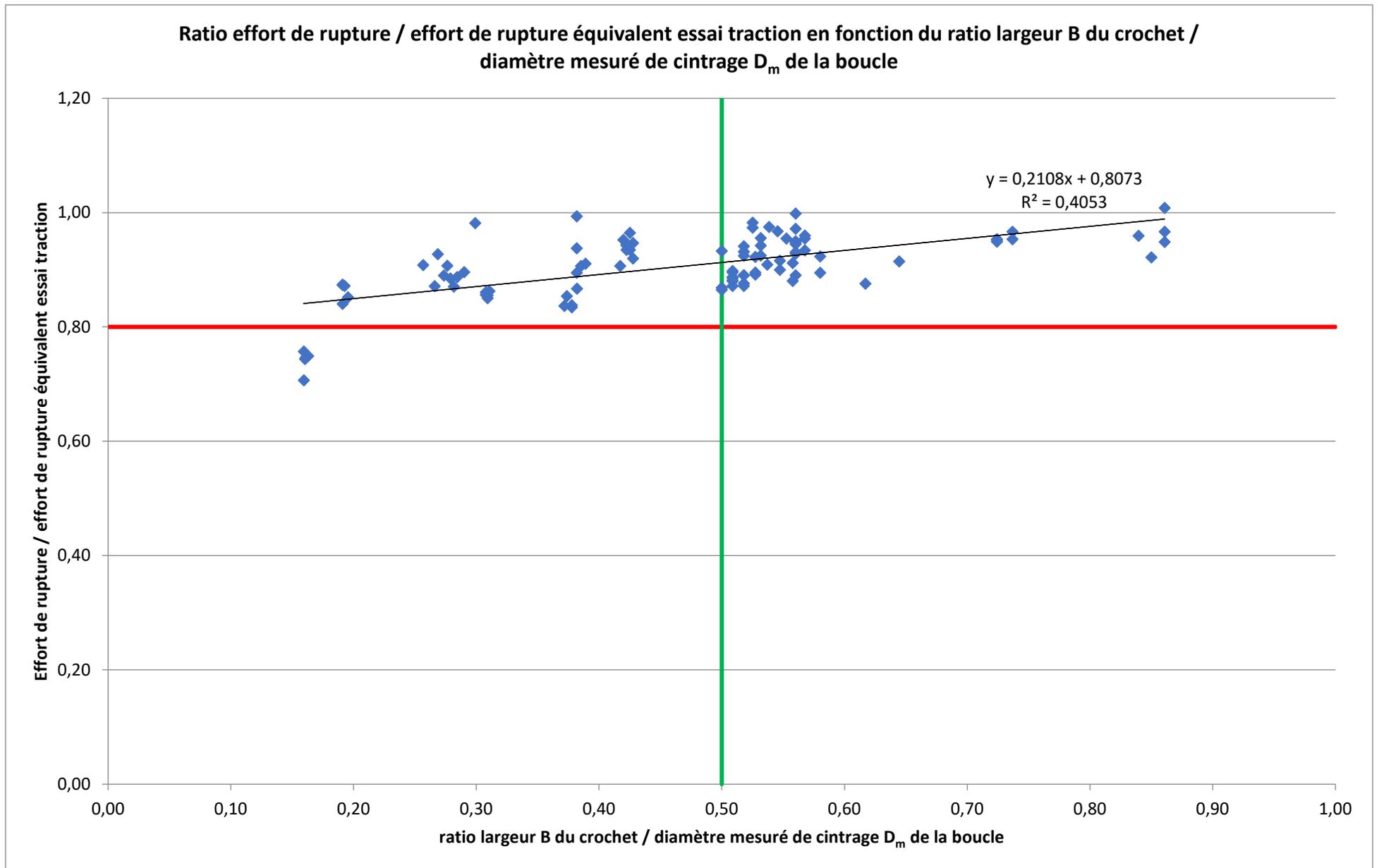
ordre des essais	façonnage boucle	poutre	identification boucle	longueur à l'axe de la poutre (mm)	largeur à l'axe de la poutre (mm)	hauteur poutre à l'aplomb de la boucle A (mm)	hauteur maxi poutre côté A (mm)	distances aux rives du brin gauche de la boucle (mm)		distances aux rives du brin droit de la boucle (mm)		distance axe de la boucle à l'about de la poutre (mm)	distance extérieur boucle (gauche) au bord de l'engravage (mm)	angle d'inclinaison brin gauche $\alpha$ (°)	angle d'inclinaison brin droit $\delta$ (°)	angle d'inclinaison profil $\omega$ (°)	hauteur dépassante Hs (mm)	mandrin de cintrage mesuré de la boucle Dm (mm)	diamètre mesuré de la boucle brin gauche (mm)	diamètre mesuré de la boucle partie courbe (mm)	diamètre mesuré de la boucle brin droit (mm)	diamètre moyen de la boucle (mm)	Dint proche poutre (mm)	Dint proche ruptre (mm)	Hs maxi (mm)		
								avant	arrière	avant	arrière																
nombre de cycles de chargement	12.1 : phi 12 mandrin 50	P1	P1/12.1/A	4000	301	406		149	140	149	139	1006		87	89	89	148	57	11.9	11.83	12.1	11.94	48	52	175		
			P1/12.1/B					152	136	149	138	1007	89	88	89	148	58	12.56	11.93	12.13	12.21	52	53	173			
		P2	P2/12.1/A	3995	300	405		144	142	147	141	1006		89	88	89	144	56	11.97	12.07	12.25	12.10	50	50	168		
			P2/12.1/B					144	144	150	139	995	88	88	90	149	57	11.96	12.23	12.25	12.15	47	49	175			
		P3	P3/12.1/A	3985	300	403		140	146	149	138	996		88	89	89	150	57	12.1	12.11	12.13	12.11	47	52	175		
			P3/12.1/B					144	144	148	138	1012	89	85	90	153	55	12.08	12.2	12.15	12.14	46	49	179			
		P4	P4/12.1/A	3990	300	401		138	149	142	145	999		86	89	88	152	57	15.05	11.99	12.02	13.02	47	50	179		
			P4/12.1/B					143	146	142	147	992	87	87	89	155	57	11.94	11.87	12.36	12.06	48	50	180			
		P5	P5/12.1/A	3990	301	405		145	142	148	139	1008		89	90	87	152	57	12.15	12.63	12	12.26	48	50	178		
			P5/12.1/B					145	143	142	147	1005	87	87	88	148	58	12.65	12.13	12.08	12.29	50	51	171			
		P6	P6/12.1/A	3990	300	404		145	143	143	145	988		90	86	90	147	56	12.1	12.15	12.7	12.32	48	49	174		
			P6/12.1/B					145	142	141	147	1001	87	89	89	149	56	11.99	11.99	12.12	12.03	48	49	175			
		P7	P7/12.1/A	3995	300	404		143	144	138	149	996		90	89	90	153	57	12.12	12.11	12.15	12.13	52	49	180		
			P7/12.1/B					143	143	135	150	1027	89	89	89	149	57	12.05	12	12.05	12.03	46	43	-			
		P8	P8/12.1/A	3983	301	403		147	144	135	154	1018		86	87	88	147	56	11.95	11.87	12.18	12.00	46	45	180		
			P8/12.1/B					144	145	145	143	1010	87	88	90	151	57	11.96	11.92	12.1	11.99	56	55	200			
influence crochet pour des ratios largeur B du crochet / diamètre nominal de mandrin de cintrage D de la boucle dans la plage 0,5 ≤ B/D ≤ 1,0	12.1 : phi 12 mandrin 50	P9	P9/12.1/A	3991	300	402		145	142	135	152	1000		83	87	89	153	57	12.07	12.03	12.07	12.06	48	44	-		
			P9/12.1/B					149	139	136	151	1007	86	86	90	154	58	11.87	11.88	11.9	11.88	55	50	205			
		P10	P10/12.1/A	3998	301	405		145	145	145	145	978		86	86	89	148	58	11.9	11.94	11.95	11.93	51	45	-		
			P10/12.1/B					145	145	146	144	992	87	88	88	155	58	12.06	11.9	12.07	12.01	54	46	210			
		P31	P31/16.1/A	3995	301	401		142	143	125	161	1003		85	90	89	151	79	16.1	16.08	16.09	16.09	65	66	200		
			P31/16.1/B					140	143	134	150	1000	86	89	89	154	79	16.35	16.33	16.4	16.36	70	63	205			
		P32	P32/16.1/A	4000	300	401		144	139	132	153	997		87	89	90	150	79	15.83	15.86	15.87	15.85	70	65	204		
			P32/16.1/B					139	145	142	142	1001	89	89	88	150	80	16.35	15.88	15.8	16.01	75	55	-			
		P33	P33/16.1/A	3994	300	400		149	136	145	139	1002		89	89	89	148	80	16.33	16.2	16.3	16.28	74	65	212		
			P33/16.1/B					142	144	134	151	998	88	89	89	160	81	16.32	16.3	16.39	16.34	74	75	217			
		P34	P34/16.1/A	3997	300	399		138	147	143	142	996		88	89	87	150	79	16.56	16.51	16.57	16.55	72	65	-		
			P34/16.1/B					141	142	136	147	1017	89	87	88	152	79	16.25	16.24	16.31	16.27	71	72	231			
		P35	P35/16.1/A	3999	300	400		129	158	130	151	1032		86	89	88	154	80	16.4	16.42	16.3	16.37	74	73	221		
			P35/16.1/B					140	144	135	148	995	86	89	88	154	79	16.65	16.38	16.32	16.45	69	63	-			
		influence angle de chargement	12.2 : phi 12 mandrin 70	P21	P21/12.2/A	4001	300	405		141	147	145	143	1000		90	89	89	147	75	12.18	11.94	11.99	12.04	68	48	-
					P21/12.2/B					141	148	146	141	1024	88	87	90	150	75	11.9	11.95	11.9	11.92	65	54	208	
P22	P22/12.2/A			4004	297	403		136	150	136	149	1014		88	89	89	149	74	11.84	12.03	12.06	11.98	65	49	-		
	P22/12.2/B							144	142	138	148	986	87	87	90	147	75	12.1	12.15	12.06	12.10	68	50	-			
P23	P23/12.2/A			4001	300	404		148	140	144	143	1004		90	90	88	153	75	11.97	12	11.95	11.97	63	48	-		
	P23/12.2/B							147	142	144	144	1009	88	88	87	153	74	12.07	12.03	12.1	12.07	64	50	178			
P24	P24/12.2/A			4002	299	404		142	147	147	140	1004		87	89	89	152	77	11.94	11.95	12	11.96	60	rupture	-		
	P24/12.2/B							152	135	145	144	998	88	89	89	156	75	11.96	12.01	11.99	11.99	60	52	190			
P25	P25/12.2/A			4000	300	402		143	145	145	143	984		86	87	90	157	75	11.94	11.98	12.05	11.99	60	rupture	-		
	P25/12.2/B							144	145	138	150	998	87	88	89	160	75	12.08	11.98	12.08	12.05	60	rupture	-			
P26	P26/12.2/A			3990	301	402		148	142	144	144	1004		88	89	89	150	75	11.95	11.87	11.91	11.91	60	rupture	-		
	P26/12.2/B							155	134	150	140	1005	87	88	86	155	74	11.91	11.86	11.95	11.91	60	rupture	-			
P27	P27/12.2/A			3996	302	405		165	124	163	126	994		89	87	87	151	78	11.9	11.94	11.99	11.94	60	rupture	-		
	P27/12.2/B							147	143	150	140	1010	89	87	87	147	76	11.99	11.93	11.97	11.96	60	rupture	-			
P28	P28/12.2/A			3992	300	402		148	139	151	136	1002		89	86	90	150	75	12	12.08	11.95	12.01	60	rupture	-		
	boucle tradi																										
influence de la hauteur dépassante de la boucle, avec présence éventuelle de cadres dépassants bloquants	Type 8 phi 12 m50 h 400 dépassante	Po81	Po81/A/T8	3990	300	420	800	147	144	145	145	1025	290	86.7	85	89.4	405	50	12.45	12	11.81	12.09	35	52	435		
			Po81/B/T8					145	144	145	145	980	130	84.4	85.5	89	402	45	12.03	12.14	12.03	12.10	43	30	415		
		Po82	Po82/A/T8	3995	300	403	798	130	159	131	158	1015	250	83	83	87.4	413	47	12.3	12.19	12.29	12.26	40	62	450		
			Po82/B/T8					145	144	145	144	1020	90	84	85	85	403	53	12.4	12.18	12.3	12.29	48	40	430		
		Po83	Po83/A/T8	4000	302	425	800	145	145	130	159	1030	281	83.7	85	88.7	403	55	12.2	12.2	12.23	12.21	55	40	430		
			Po83/B/T8					145	146	145	146	1055	58	85.2	85.5	89	403	52	12.01	12.06	12.1	12.06	50	42	432		
		Po84	Po84/A/T8	3998	301	416	800	145	145	144	145	1010	278	84	85	88.7	403	56	12.24	11.99	12.06	12.10	55	40	430		
			Po84/B/T8					143	146	146	144	985	117	84.9	81	89.7	403	58	12.16	11.98	12	12.05	76	43	427		
		Po85	Po85/A/T8	4000	300	400	795	146	143	129	159	1015	292	84.1	84.7	86	404	56	11.98	11.95	12.01	11.98	57	42	430		
			Po85/B/T8					145	144	145	145	1005	114	82	82	88.3	412	56									

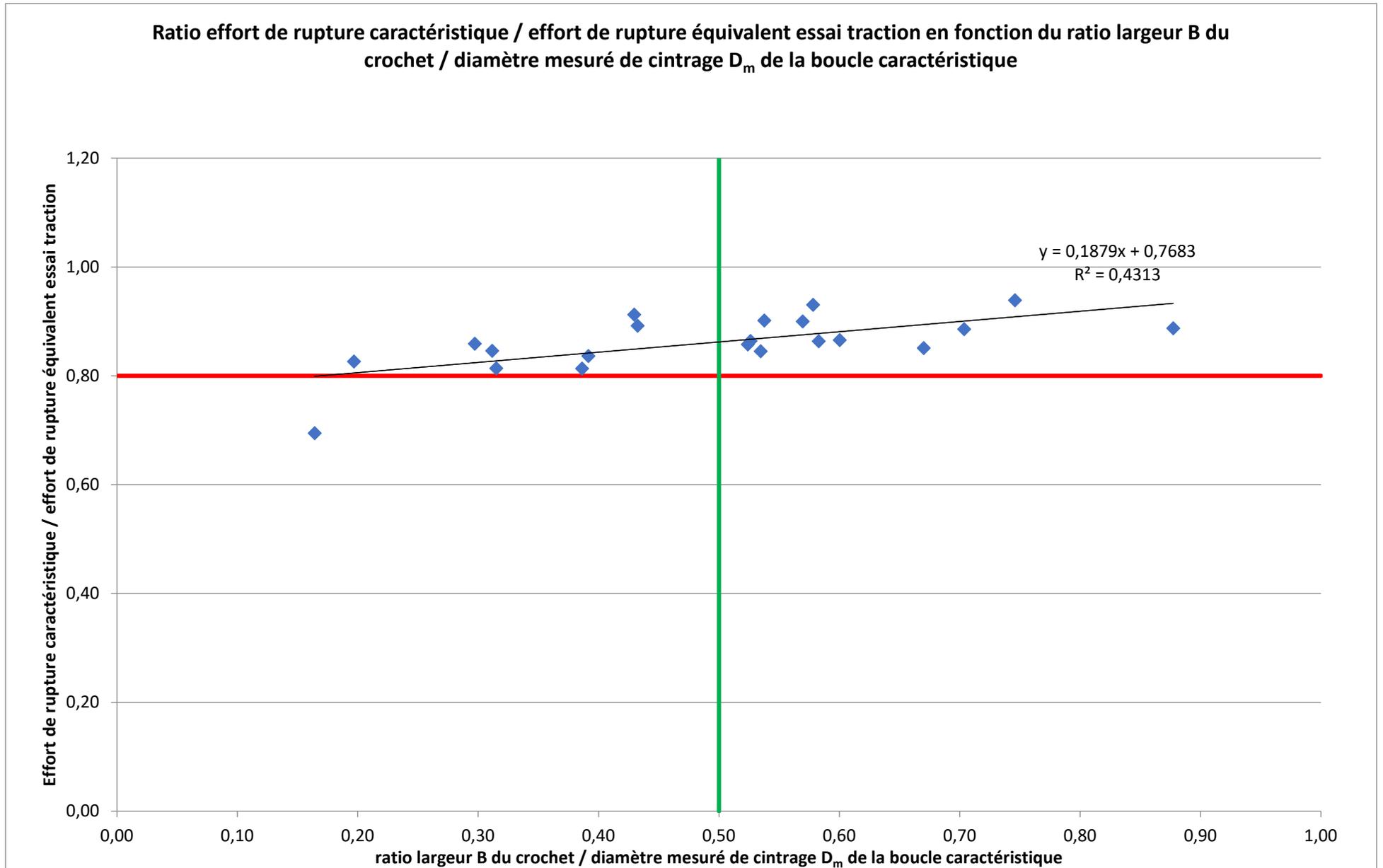
Essais	nombre de boucles	boucle à tester	diamètre boucle φ (mm)	diamètre nominal de mandrin de cintrage D (mm)	hauteur boucle dépassante Hs (mm)	angle de chargement β (par rapport à la verticale)	crochet	largeur crochet B (mm)	nombre de cycles de chargement	ratio B/D	Mesures		Effort Rupture Frupt (kN)	Analyse statistique												
											diamètre mesuré de cintrage de la boucle Dm (mm)	ratio largeur du crochet B / diamètre mesuré de cintrage Dm de la boucle		ratio (B/Dm) caractéristique	P <sub>rupt,moy</sub> (kN)	P <sub>rk</sub> (kN)	σ <sub>u,rupt</sub> (Mpa)	σ <sub>u,rupt,moy</sub> (Mpa)	σ <sub>u,rupt,k</sub> (Mpa)	rapport Prk/0,157·D <sub>z</sub>	Fr <sub>rupt</sub> / r <sub>rupt</sub> equiv acier	Fr <sub>rupt</sub> / r <sub>rupt</sub> equiv acier carac	ratio Prk/0,157·D <sub>z</sub> / R <sub>mrv</sub> ai			
nombre de cycles de chargement	5	P1/12.1/A	12	50	150	0	GK03	29	1 (rupture directement)	0.58	57.00	0.51	96.32	95.74	93.25	423.25	412.27	4.12	0.89	0.86	3.05					
		58.00									0.50	94.41	425.84						0.87							
		56.00									0.52	96.77	427.83						0.89							
		57.00									0.51	94.78	419.00						0.87							
		57.00									0.51	96.41	426.21						0.89							
	5	P3/12.1/B							10	0.58	55.00	0.53	100.29	97.14	91.88	429.47	406.19	4.06	0.92	0.85	3.01					
		57.00									0.51	97.62	443.37						0.90							
		57.00									0.51	97.36	430.44						0.90							
		57.00									0.51	96.44	426.34						0.89							
		58.00									0.50	94.02	415.65						0.86							
	5	P6/12.1/A							10	0.58	56.00	0.52	95.25	95.66	93.91	422.93	415.15	4.15	0.88	0.86	3.07					
		56.00									0.52	94.75	418.88						0.87							
		57.00									0.51	95.87	423.85						0.88							
		57.00									0.51	95.87	423.85						0.88							
		56.00									0.52	96.77	427.83						0.89							
influence crochet pour des ratios largeur B du crochet / diamètre nominal de mandrin de cintrage D de la boucle dans la plage 0,5 ≤ B/D ≤ 1,0	5	P8/12.1/B	12	50	150	0	GK05	42	0.84	57.00	0.74	103.64	103.80	102.07	458.91	451.23	4.51	0.95	0.94	3.34						
		57.00								0.74	105.10	464.64						0.95								
		58.00								0.72	103.47	457.42						0.93								
		58.00								0.72	103.64	458.17						0.95								
		58.00								0.72	103.19	456.18						0.95								
	5	P31/16.1/A		16				0.60	79.00	0.53	200.70	207.40	195.61	515.76	486.45	4.87	0.98	0.90	3.21							
		79.00							0.53	207.36	515.65						0.98									
		79.00							0.53	204.44	508.40						0.94									
		80.00							0.53	211.27	525.39						0.97									
		80.00							0.53	213.21	530.21						0.98									
	5	P33/16.1/A		16				0.97	81.00	0.84	208.18	208.50	192.60	518.51	478.95	4.79	0.96	0.89	3.16							
		79.00							0.86	209.72	517.70						0.97									
		79.00							0.86	205.85	511.90						0.95									
		80.00							0.85	200.00	497.36						0.92									
		79.00							0.86	218.77	544.04						1.01									
influence angle de chargement	5	P21/12.2/A	12	70	150	30	GK05	42	0.60	75.00	0.56	108.53	104.50	97.84	462.00	432.55	4.33	1.00	0.90	3.20						
		75.00								0.56	100.88	479.81						0.93								
		74.00								0.57	104.34	461.28						0.96								
		75.00								0.56	105.66	467.12						0.97								
		75.00								0.56	103.10	455.81						0.95								
	5	P23/12.2/B		12		0.60		74.00	0.57	103.80	103.55	101.18	457.77	447.30	4.48	0.95	0.93	3.31								
		77.00						0.55	105.18	458.91						0.97										
		75.00						0.56	102.74	454.19						0.94										
		75.00						0.56	103.27	456.55						0.95										
		75.00						0.56	102.74	454.19						0.94										
	5	P26/12.2/A		12		0.60		75.00	0.56	96.80	101.86	93.87	450.31	415.02	4.15	0.89	0.86	3.07								
		74.00						0.57	101.53	448.84						0.93										
		78.00						0.54	106.00	468.61						0.97										
		76.00						0.55	103.78	458.79						0.95										
		75.00						0.56	101.19	447.35						0.93										
hauteur dépassante	5	Po81/A/T8	12	50	150	30	GK03	29	5	0.58	50.00	0.58	91.09	89.97	83.96	397.77	371.17	3.71	0.92	0.85	3.02					
		47.00									0.62	86.96	391.88						0.89							
		55.00									0.53	88.31	390.41						0.89							
		56.00									0.52	92.86	410.55						0.92							
		53.00									0.52	91.20	403.21						0.93							
	5	Po71/A/T8		12	0.58	52.00		0.56	86.87	88.64	85.40	391.88	377.53	3.78	0.88	0.87	3.07									
		54.00				0.54		89.69	386.92						0.89											
		55.00				0.53		87.99	388.98						0.89											
		50.00				0.58		88.29	390.34						0.89											
		53.00				0.55		90.36	399.49						0.92											
	5	Po81/B/T8		12	0.58	45.00		0.64	90.25	90.59	87.38	400.50	386.29	3.86	0.91	0.89	3.14									
		53.00				0.55		88.79	392.52						0.90											
		52.00				0.56		89.75	397.75						0.91											
		58.00				0.50		92.05	406.94						0.93											
		56.00				0.52		91.91	406.32						0.93											
influence ratio largeur B du crochet / diamètre nominal de mandrin de cintrage D de la boucle hors plage Technical Report 0,5 ≤ B/D ≤ 1,0 - phase 1	5	Po61/A/T6	12	170	150	0	GK03	29	5	0.17	180.00	0.16	73.73	73.09	68.54	323.14	303.01	3.03	0.75	0.69	2.47					
		182.00									0.16	69.71	308.17						0.71							
		181.00									0.16	73.40	324.48						0.74							
		182.00									0.16	74.71	330.29						0.76							
		178.00									0.16	73.93	326.83						0.75							
	5	Po63/B/T6		16				0.40	183.00	0.37	82.56	83.47	80.27	369.01	354.86	3.55	0.84	0.81	2.89							
		178.00							0.38	85.53	378.11						0.87									
		182.00							0.37	84.24	372.43						0.85									
		180.00							0.38	82.34	364.02						0.83									
		180.00							0.38	82.68	365.51						0.84									
	influence ratio largeur B du crochet / diamètre nominal de mandrin de cintrage D de la boucle hors plage Technical Report 0,5 ≤ B/D ≤ 1,0 - phase 2	5		Po11/A/T1				12	100	150	0	GK03	29	5	0.29	105.00	0.28	98.62	96.77	93.37	427.81	412.79	4.13	0.91	0.86	3.06
				103.00												0.28	94.63	418.35						0.87		
				106.00												0.27	96.73	427.66						0.89		
				102.00												0.28	96.45	426.40						0.89		
				100.00												0.29	97.41	430.63						0.92		
5		Po41/A/T4	16	0.21	215.00	0.20	184.89		187.11				179.35	465.30	446.01	4.46	0.85	0.83	2.95							
		220.00			0.19	182.32	453.40										0.84									
		220.00			0.19	189.60	471.49										0.87									
		218.00			0.19	189.15	470.38										0.87									
		220.00			0.19	189.59	471.47										0.87									
5		Po43/B/T4	16	0.34	221.00	0.31	185.78		185.95				183.55	462.41	456.45	4.57	0.86	0.85	3.02							
		221.00			0.31	185.55	461.43										0.86									
		221.00			0.31	185.72	464.35										0.86									
		220.00			0.31	184.53	458.89										0.85									
		219.00			0.31	187.14	465.39										0.86									
influence forme crochet pour même ratio largeur B du crochet / diamètre nominal de mandrin de cintrage D de la boucle	5	Po21/A/T2	12	100	150	30	GK05	42	5	0.42	110.00	0.38	215.56	201.49	181.49	501.05	451.34	4.52	0.99	0.84	2.98					
		110.00									0.38	203.48	506.02						0.94							
		110.00									0.38	194.12	482.73						0.89							
		109.00									0.39	196.69	489.13						0.91							
		108.00									0.39	197.58	491.35						0.91							
	5	Po31/A/T3		16				0.45	161.00	0.42	204.85	202.99	197.98	504.81	492.35	4.93	0.94	0.91	3.25							
		159.00							0.43	199.60	496.35						0.92									
		160.00							0.43	202.81	504.35						0.93									
		161.00							0.42	204.85	509.42						0.94									
		161.00							0.42	202.87	504.49						0.93									
	complément influence angle avec paliers ELS à angles de chargement alternés	5		Po13/B/T1				12	100	150	0/30 alterné	GK03	29	5x2	0.29	109.00	0.27	94.71	99.43	88.48	439.56	391.18	3.91	0.87	0.81	2.90
				113.00												0.26	98.75	436.56						0.91		
				97.00												0.30	106.71	471.77						0.98		
				104.00												0.28	96.18	425.19						0.88		
				108.00												0.27	100.79	445.58						0.93		
5		Po33/B/T3	16	0.45	162.00	0.42	206.61		204.52				193.56	508.59	481.35	4.82	0.95	0.89	3.18							
		159.00			0.43	205.41	510.81										0.95									
		160.00			0.43	209.29	520.47										0.96									
		163.00			0.42	196.74	489.26										0.91									
		161.00			0.42	204.52	508.59										0.94									

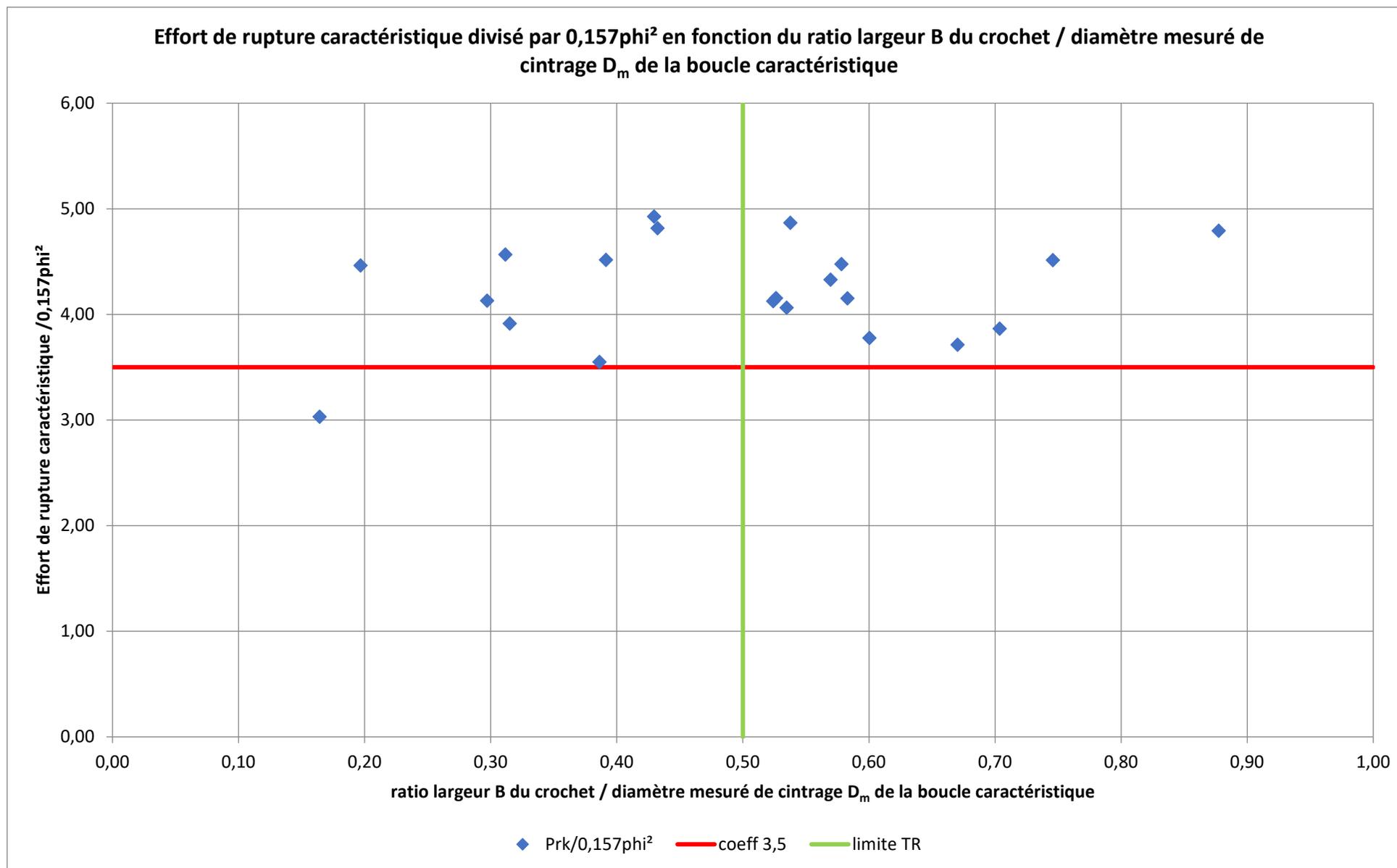


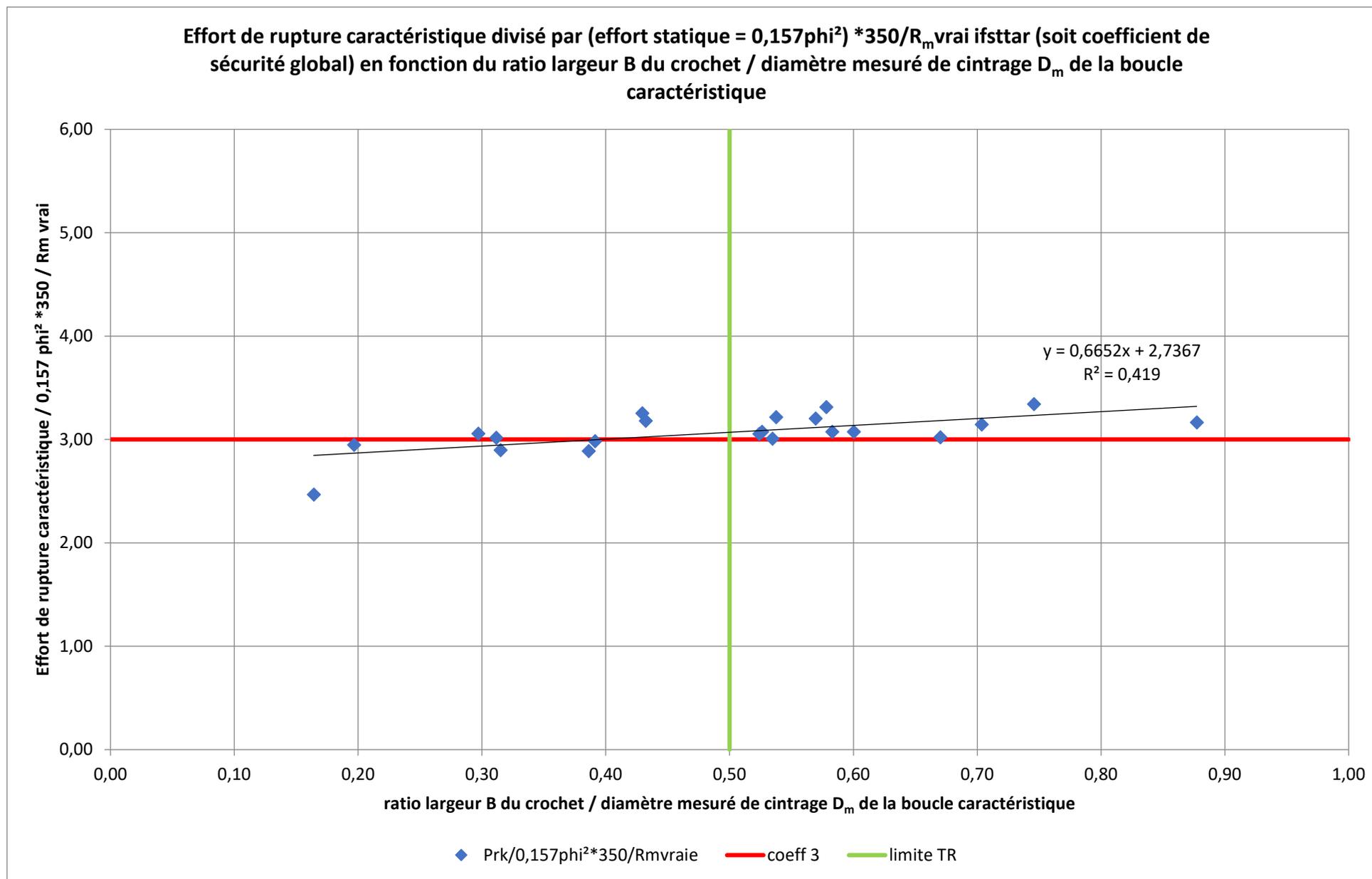




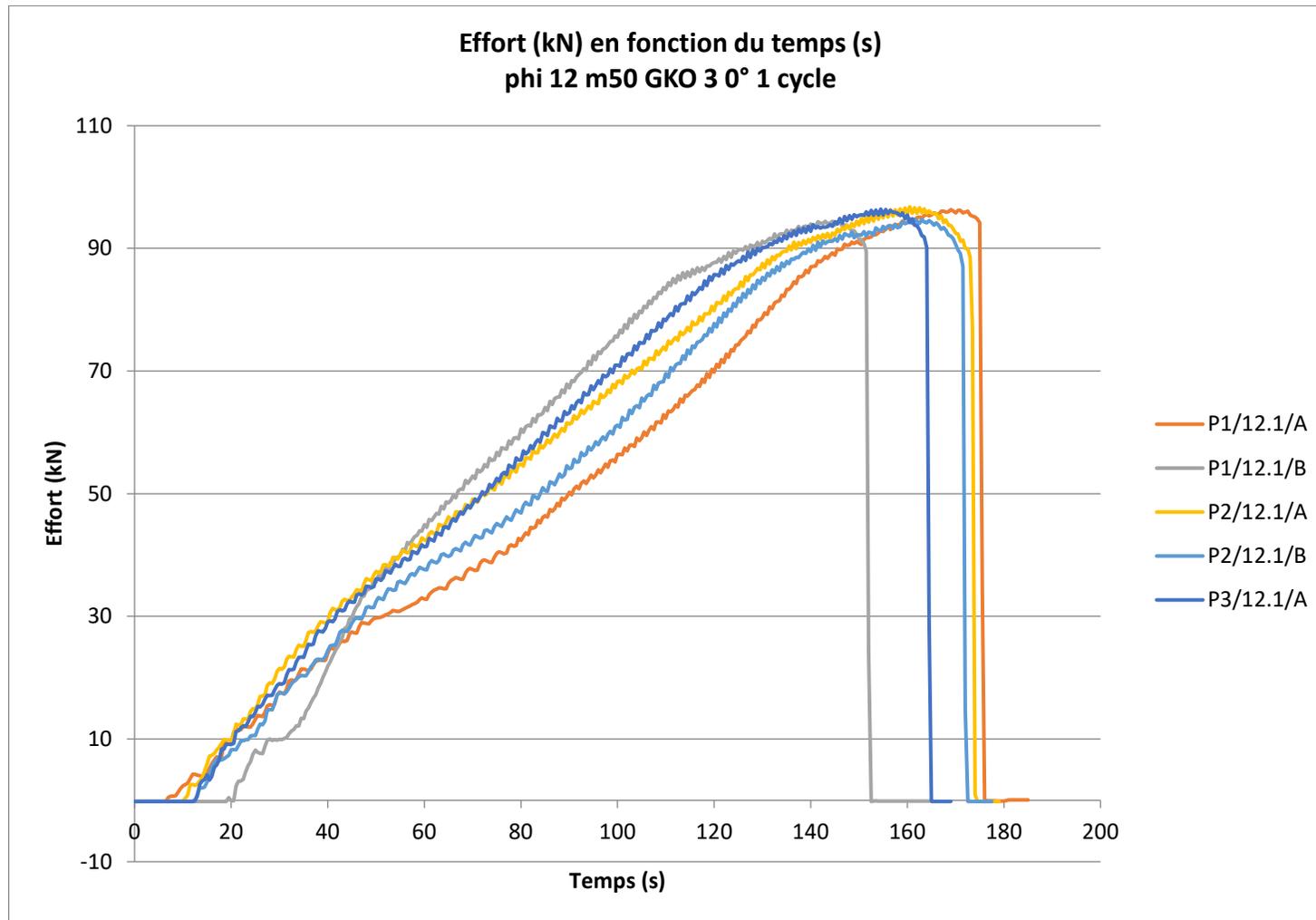




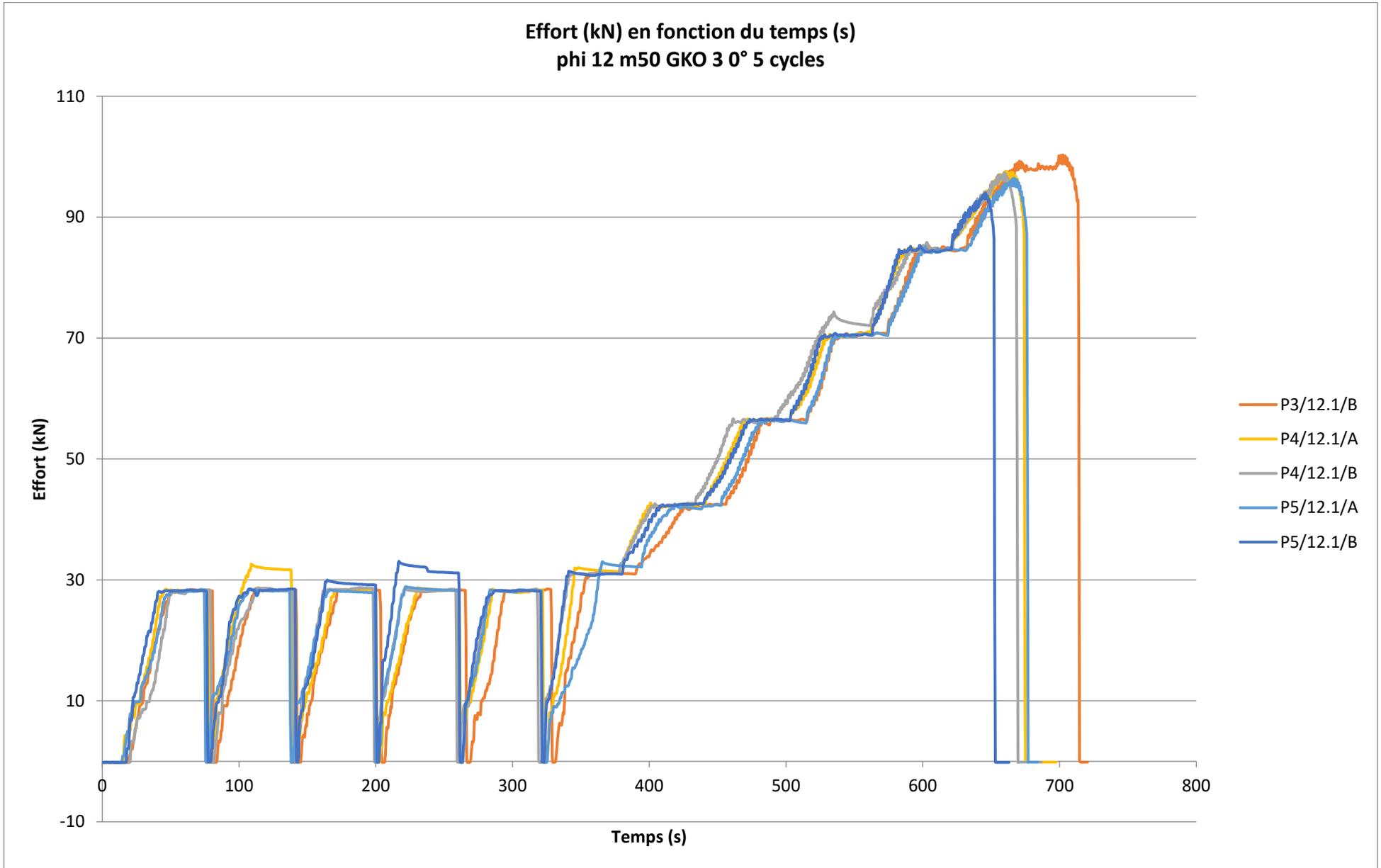




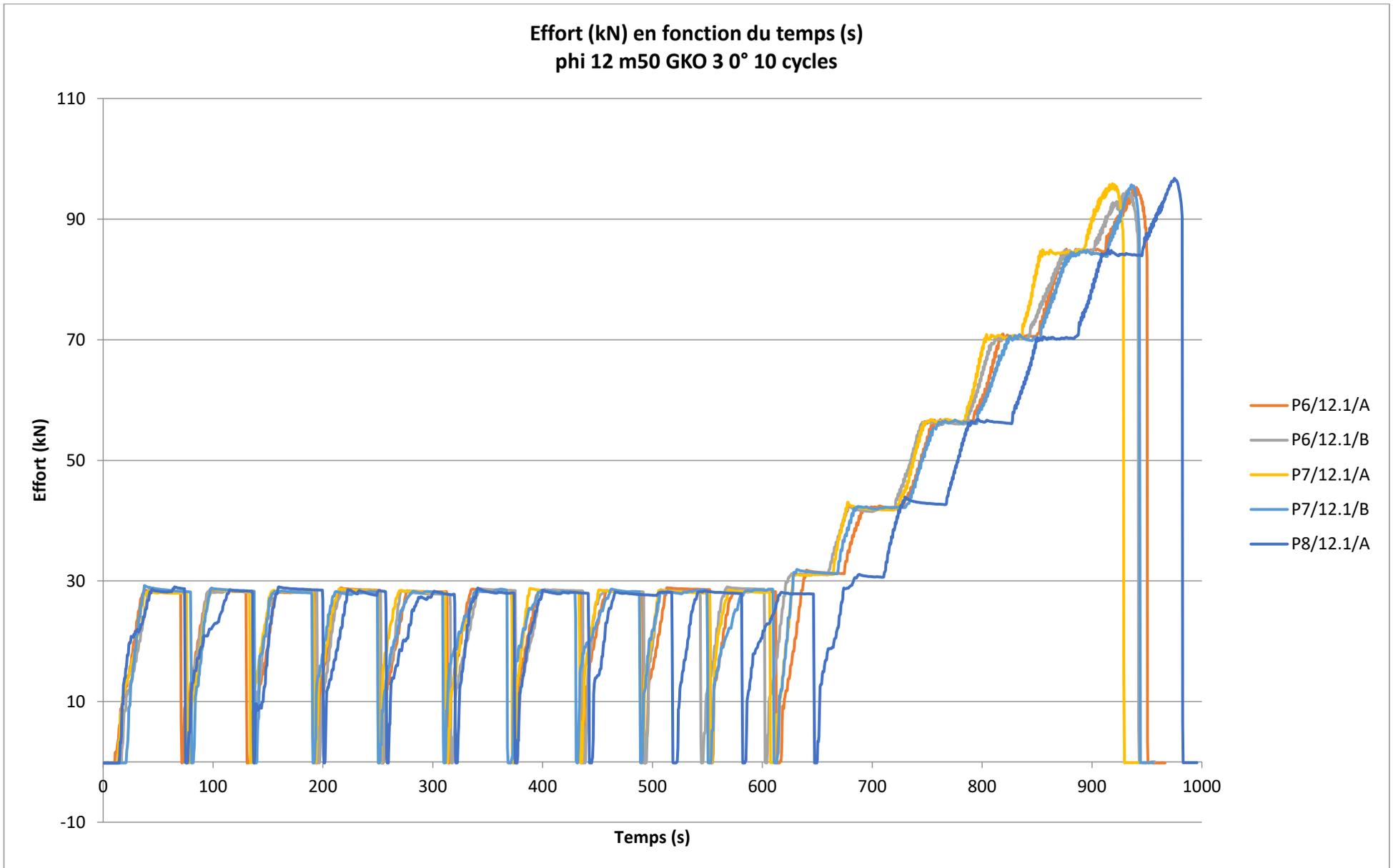
## Annexe 12 – Influence du nombre de cycles de chargement - essais «saumon»





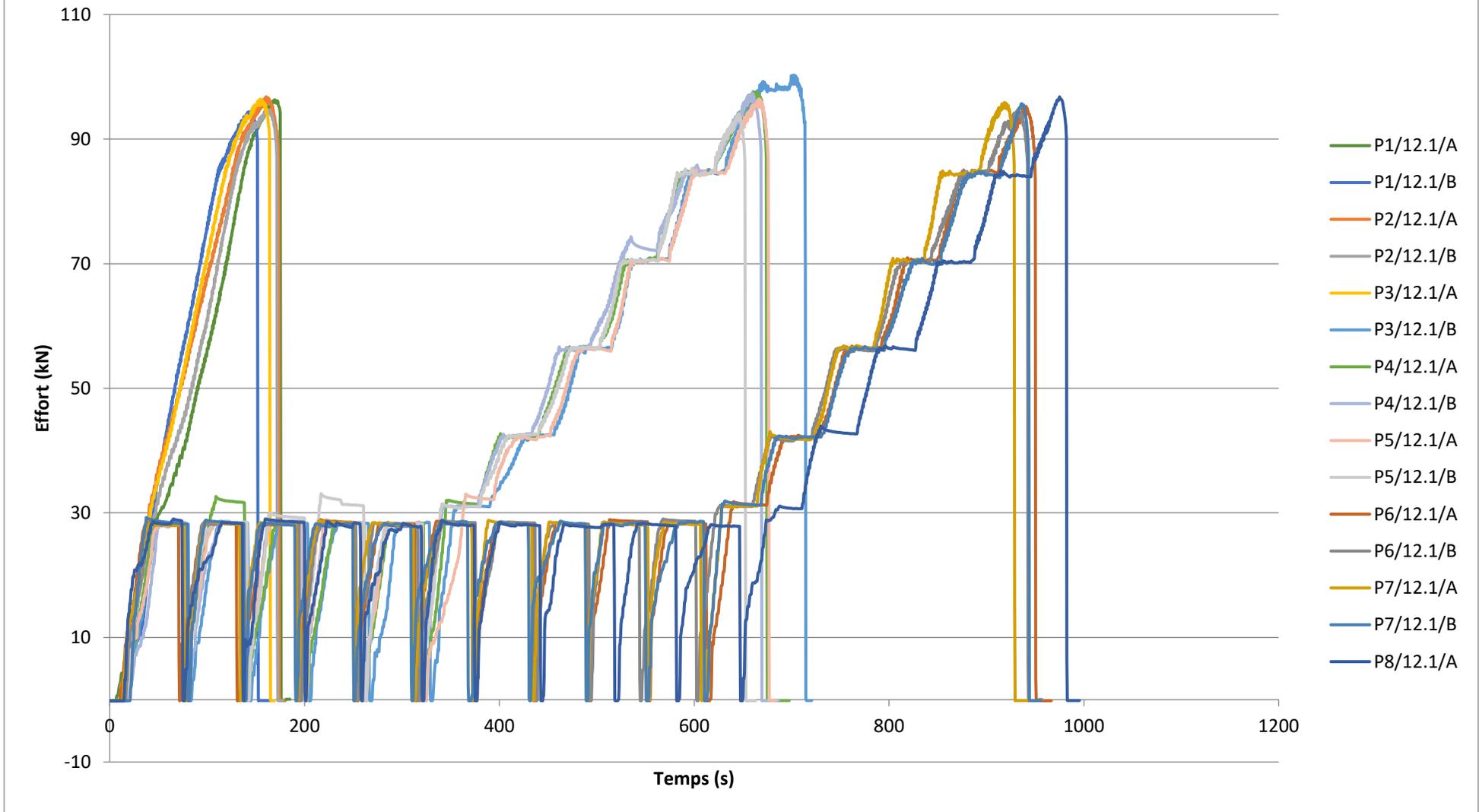




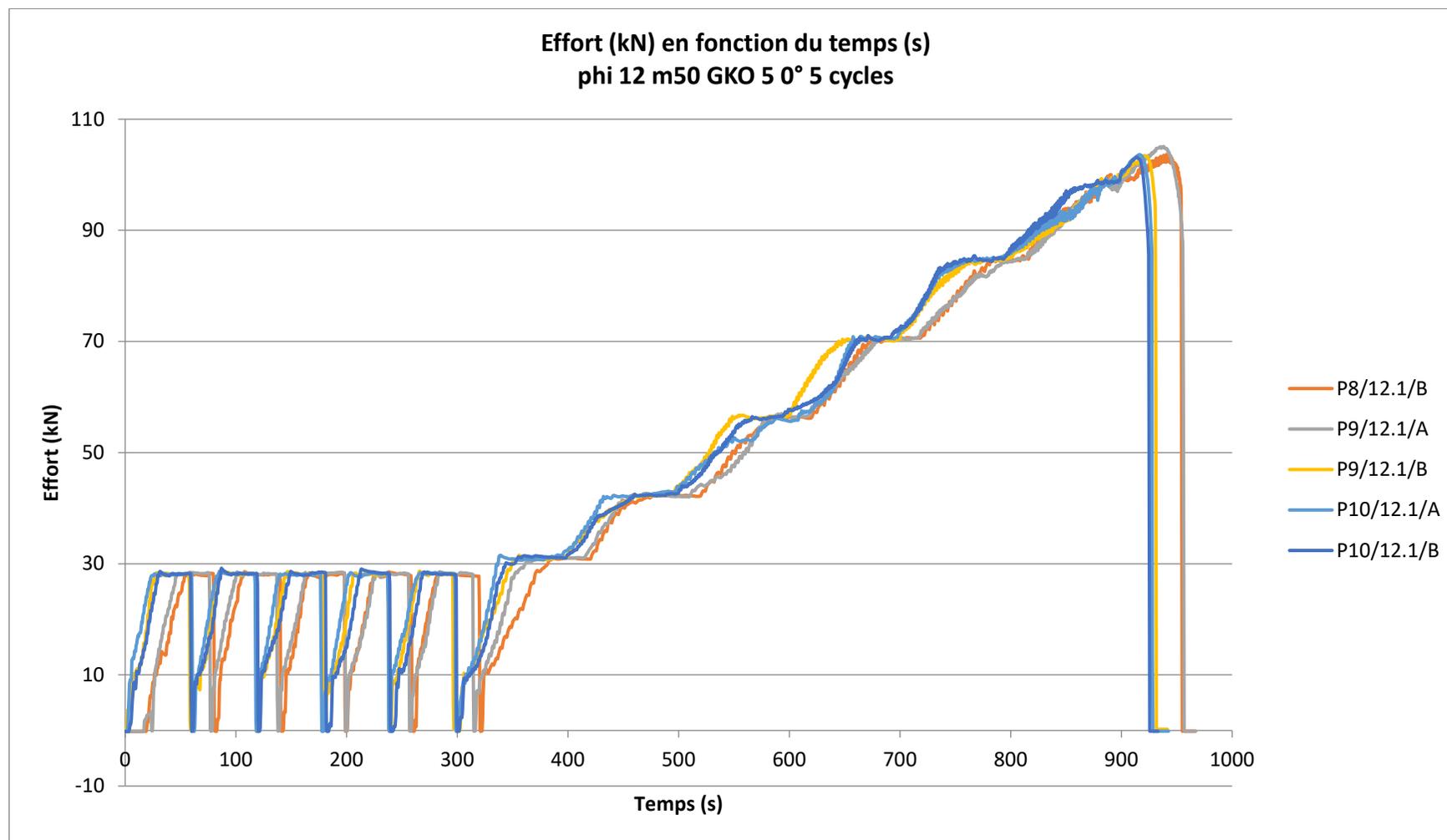




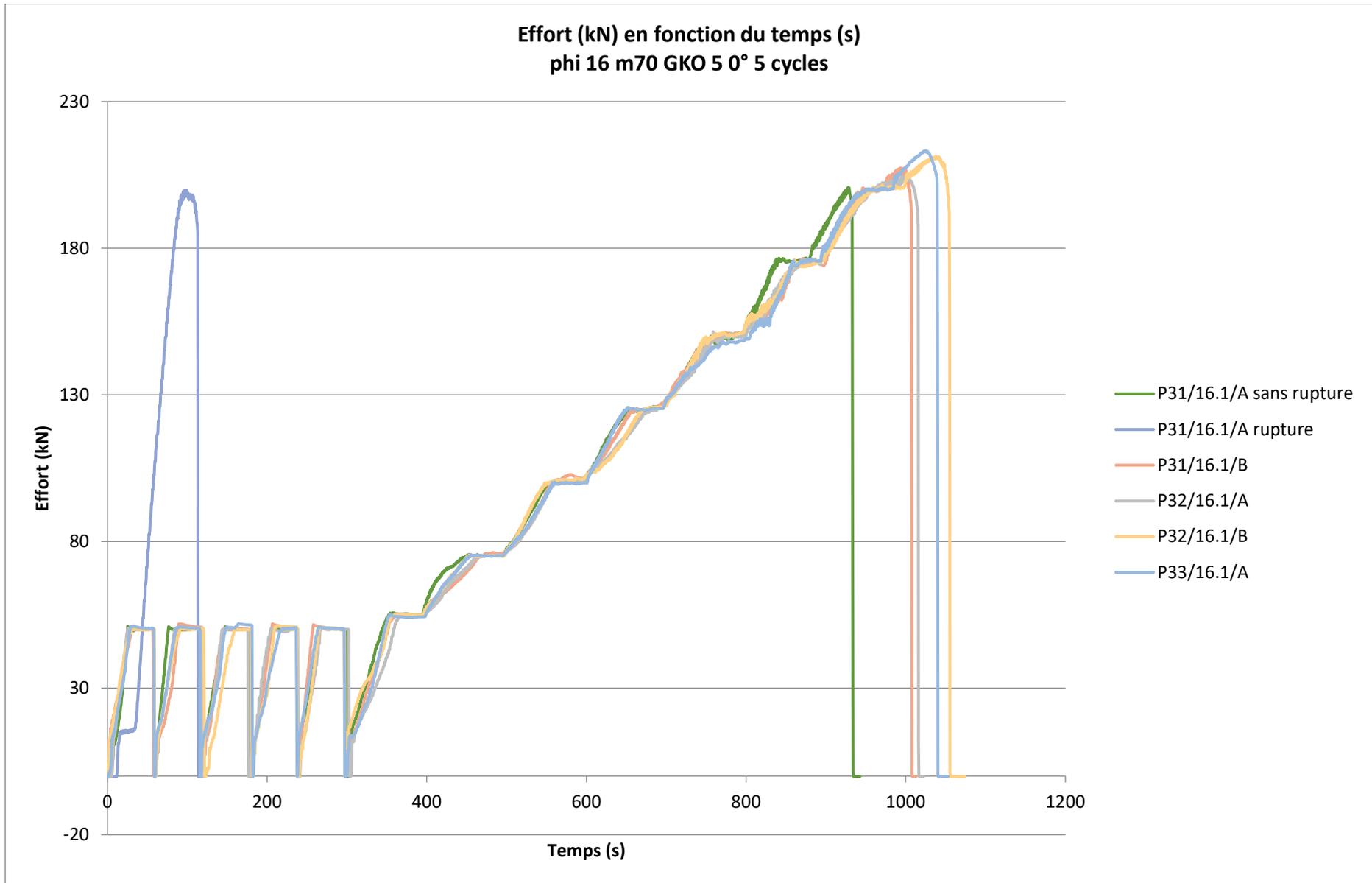
Effort (kN) en fonction du temps (s)  
 Essais d'influence du nombre de cycles de chargement  
 phi 12 m50 GKO 3 0° 1, 5 ou 10 cycles



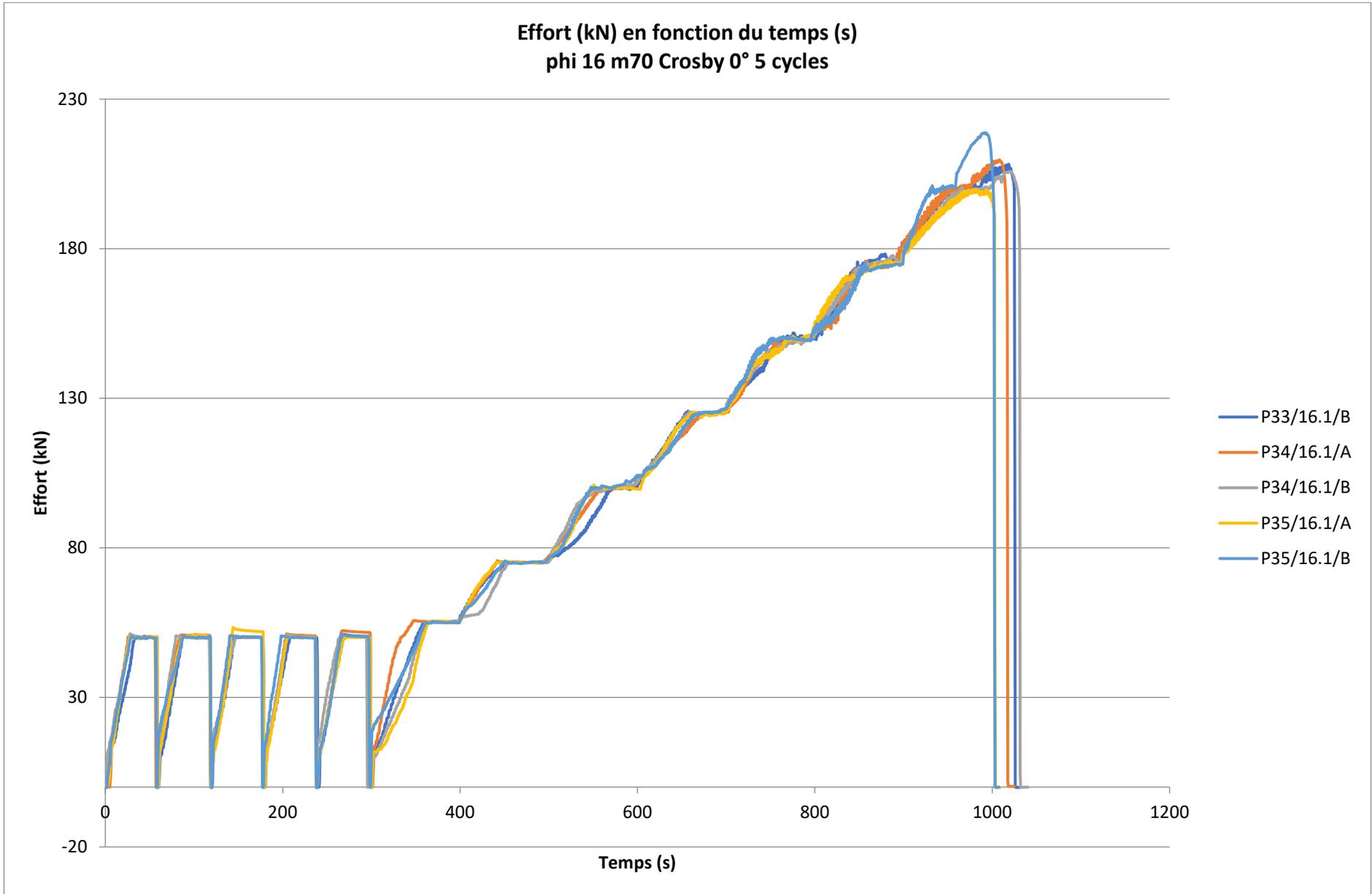
## Annexe 13 – Influence du ratio largeur B du crochet / diamètre nominal de mandrin de cintrage D de la boucle dans la plage du TR essais « verts »



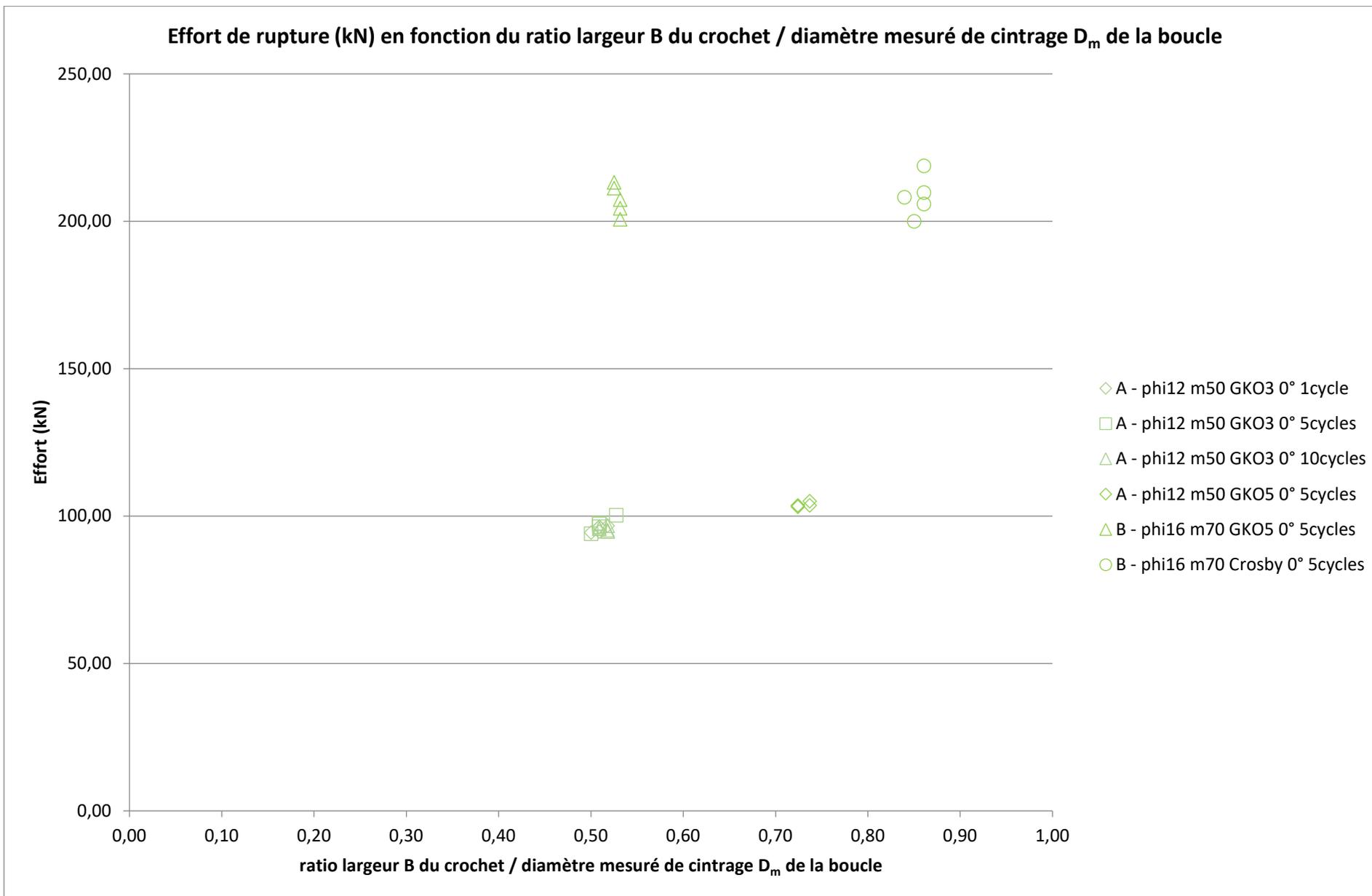




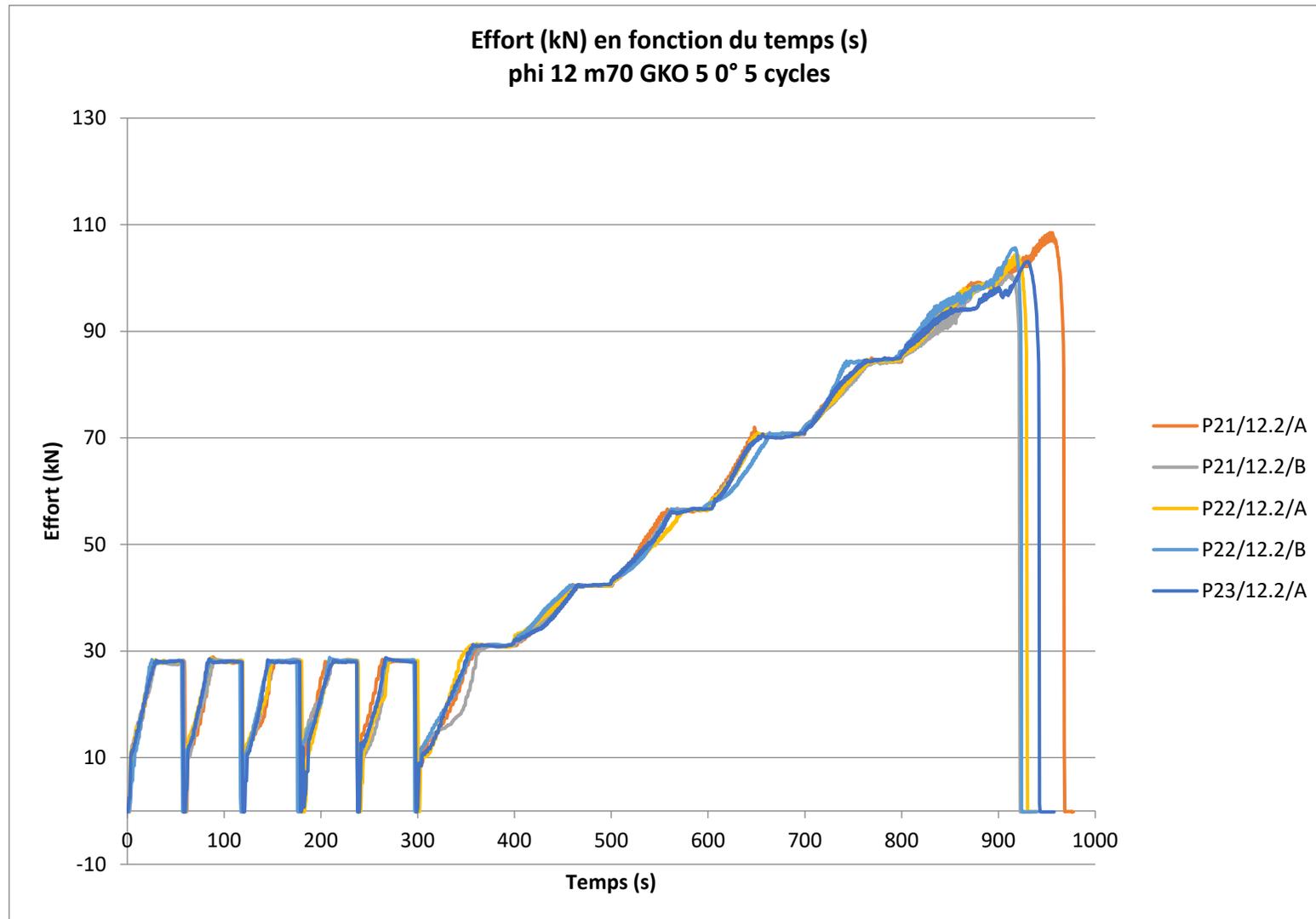




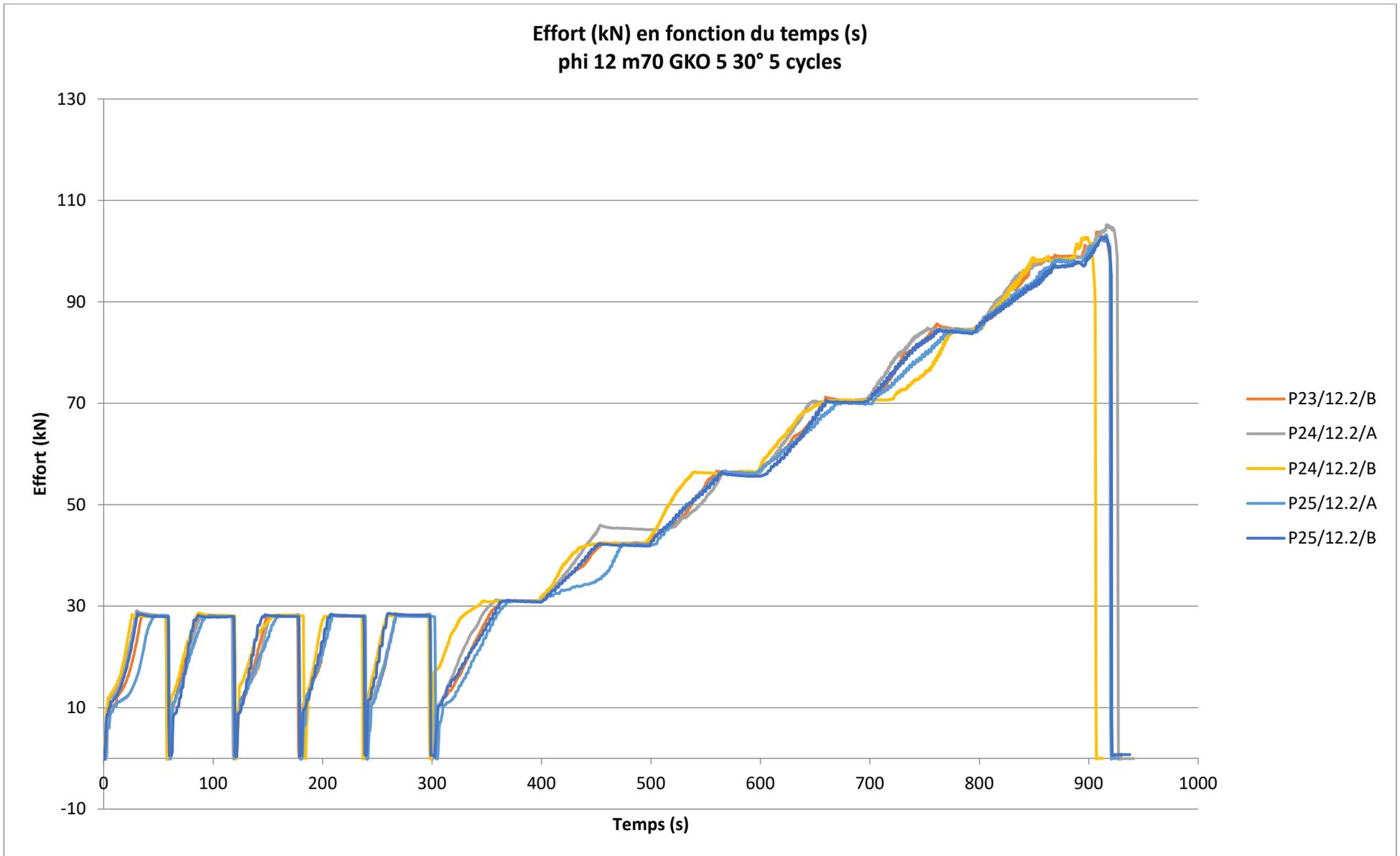




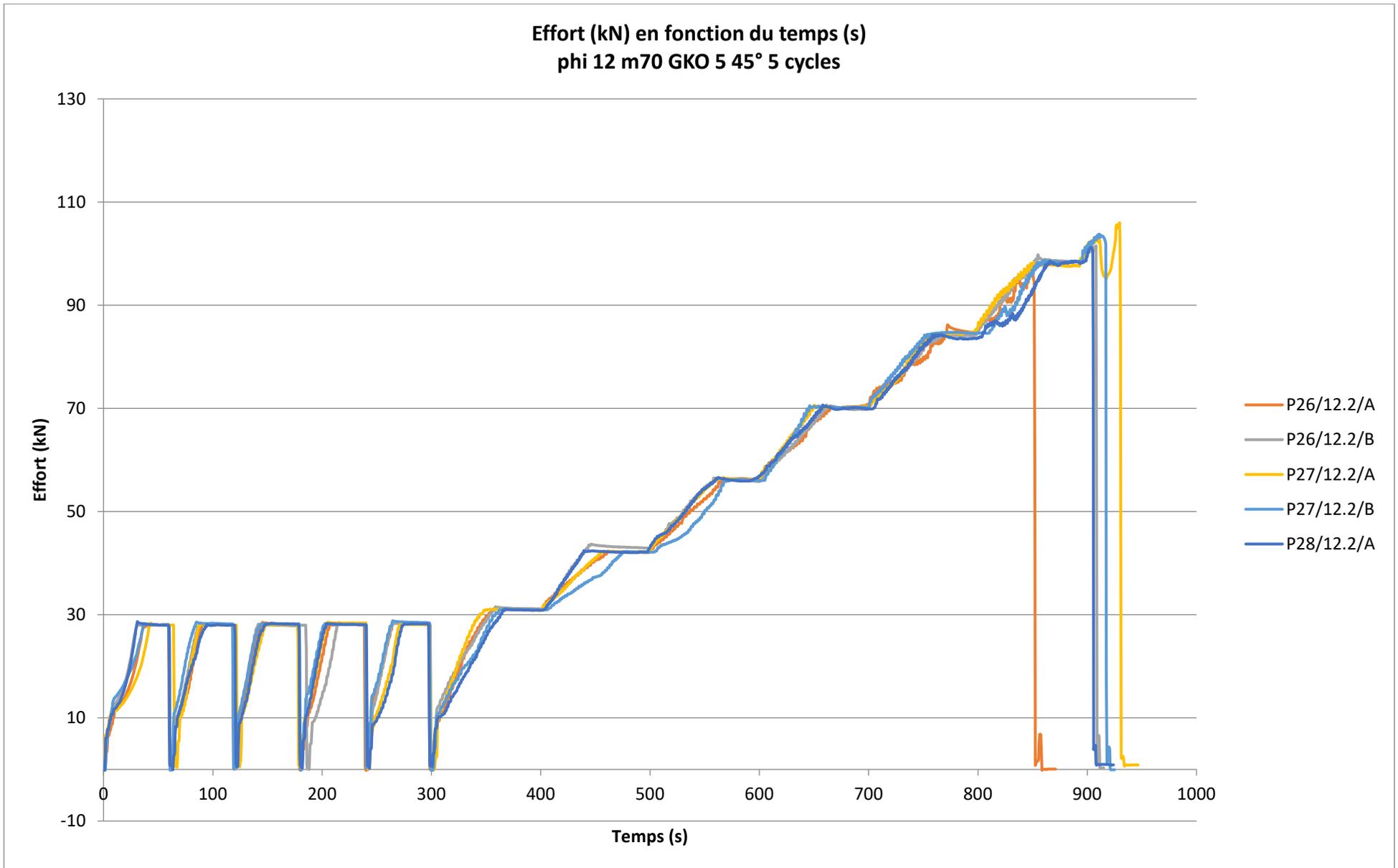
## Annexe 14 – Influence de l'angle de chargement essais « bleu clair »





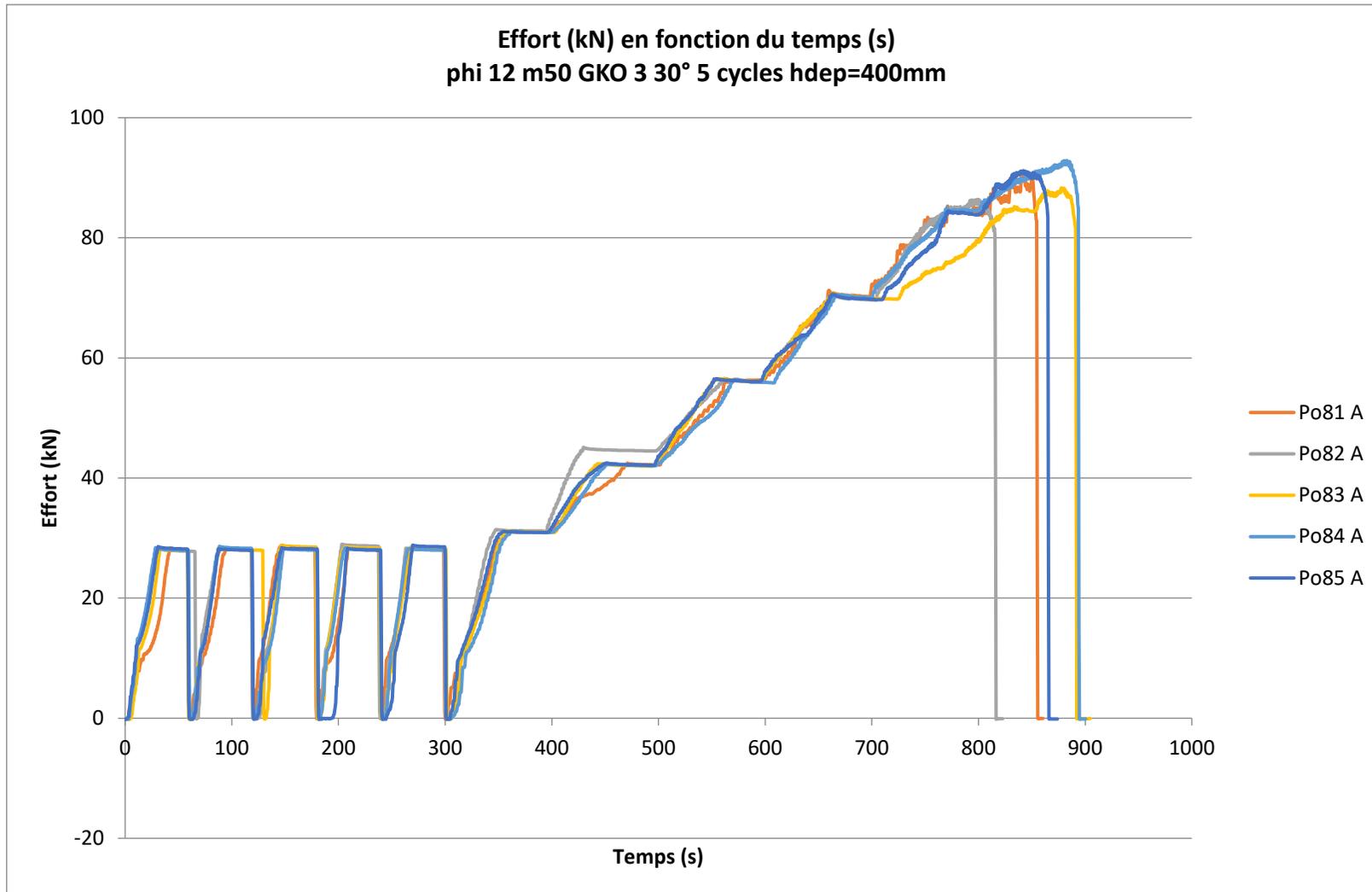




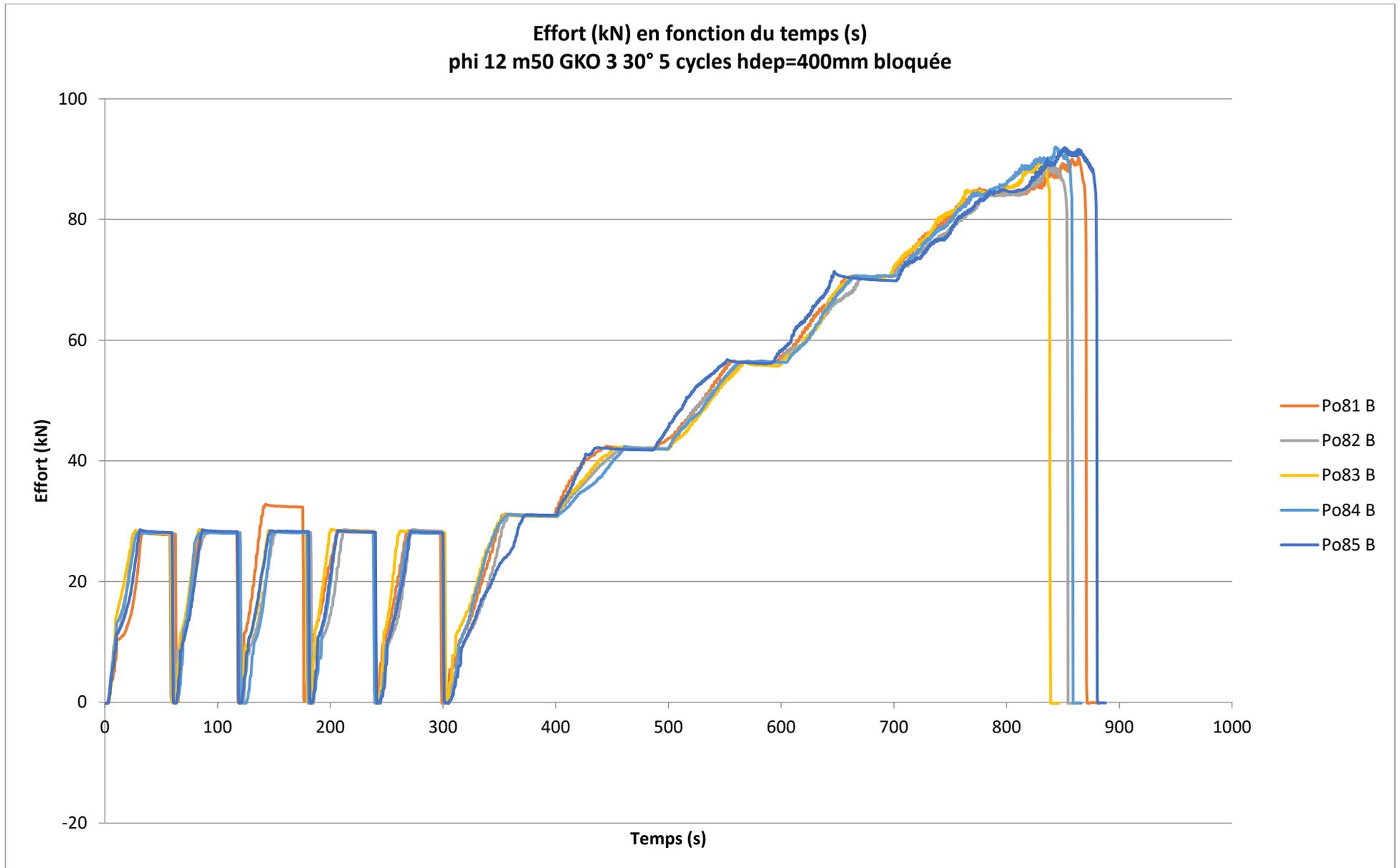


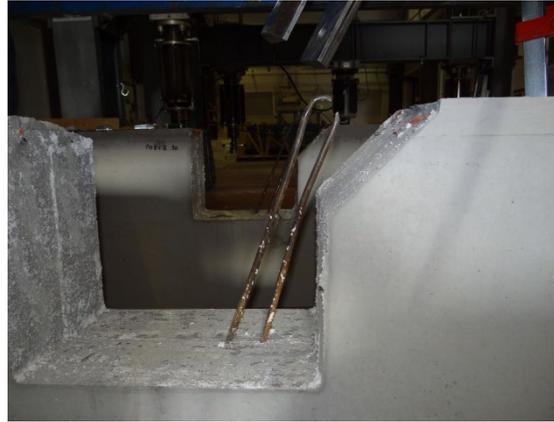


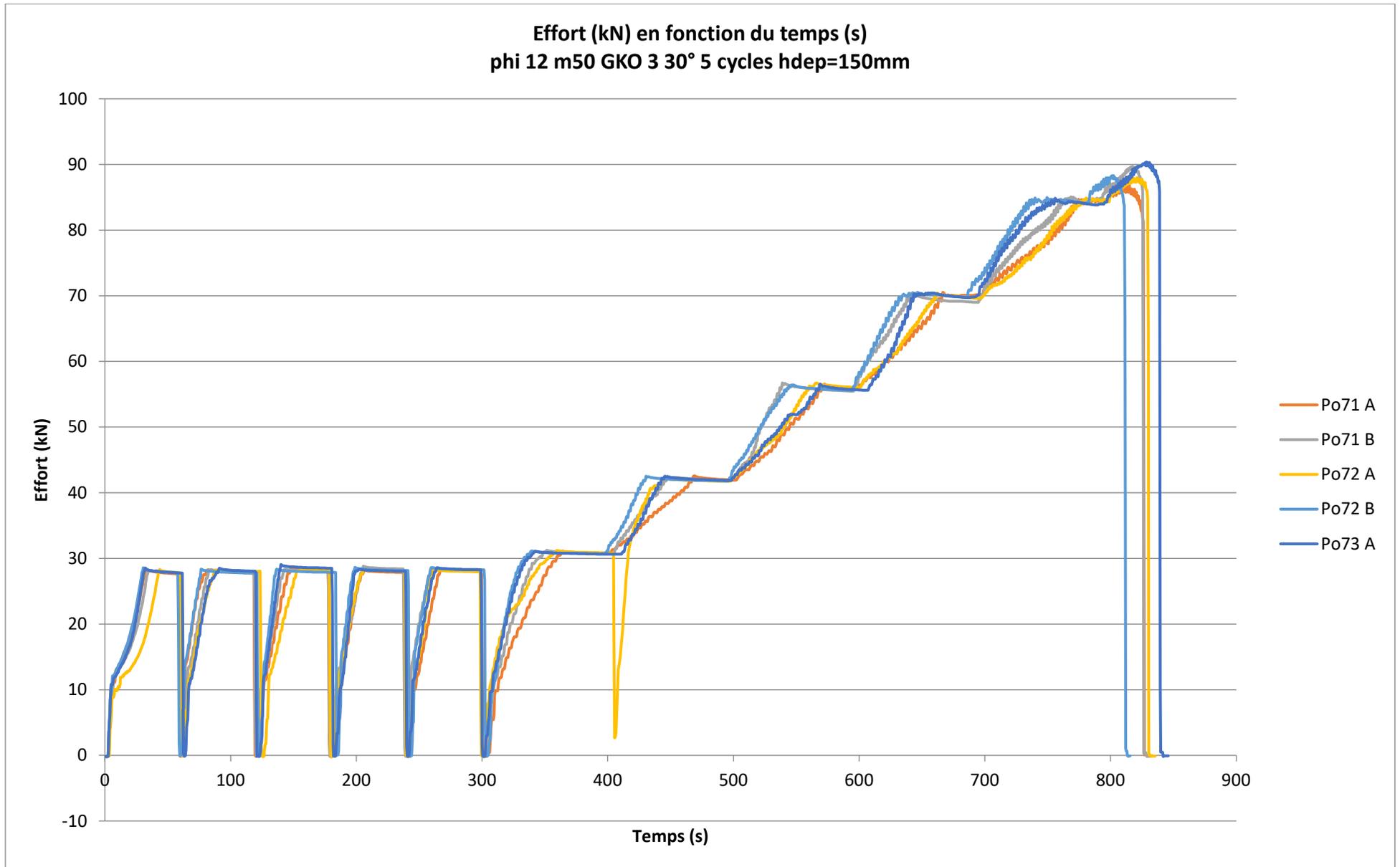
## Annexe 15 – Influence de la hauteur dépassante - essais « violets »





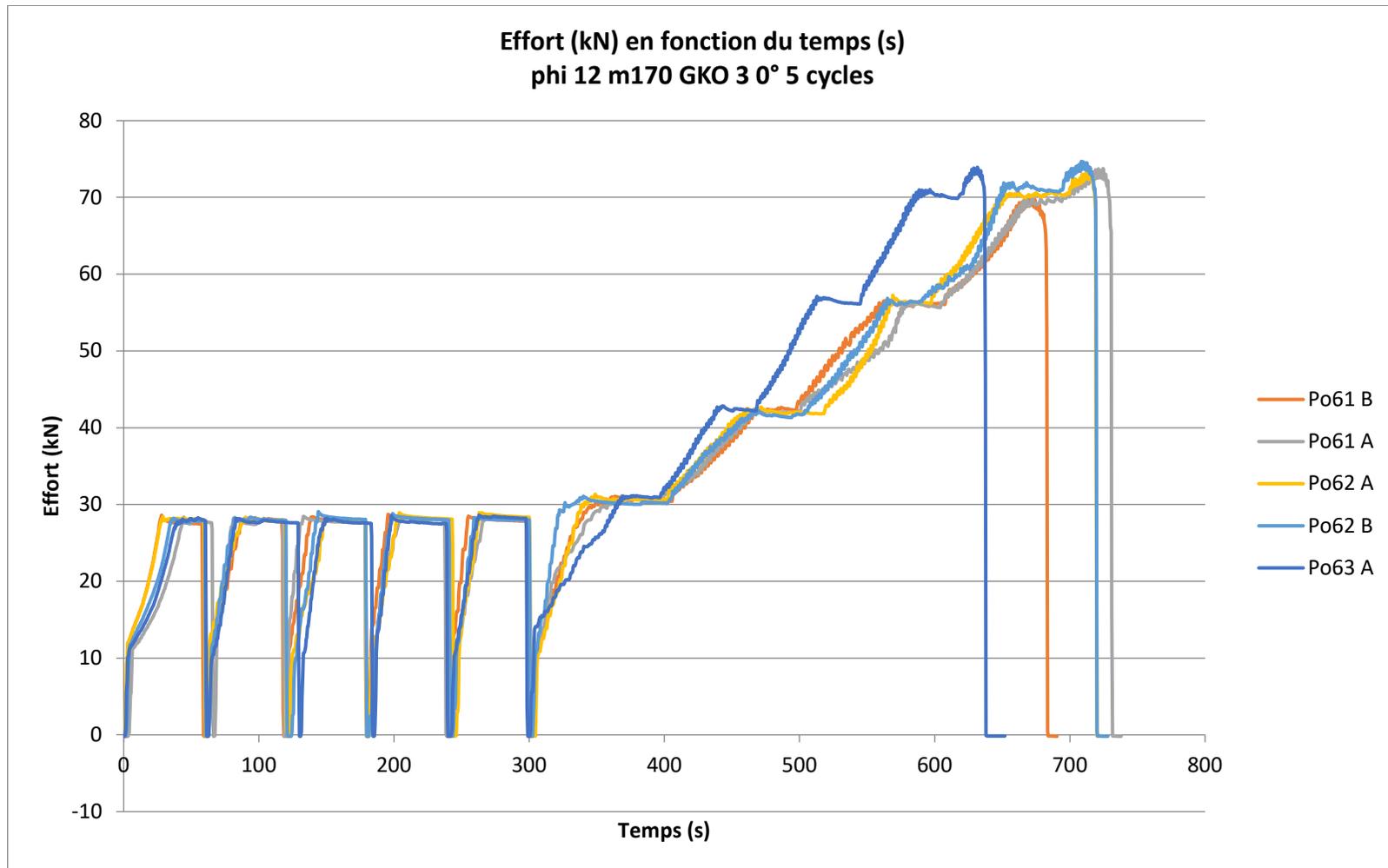




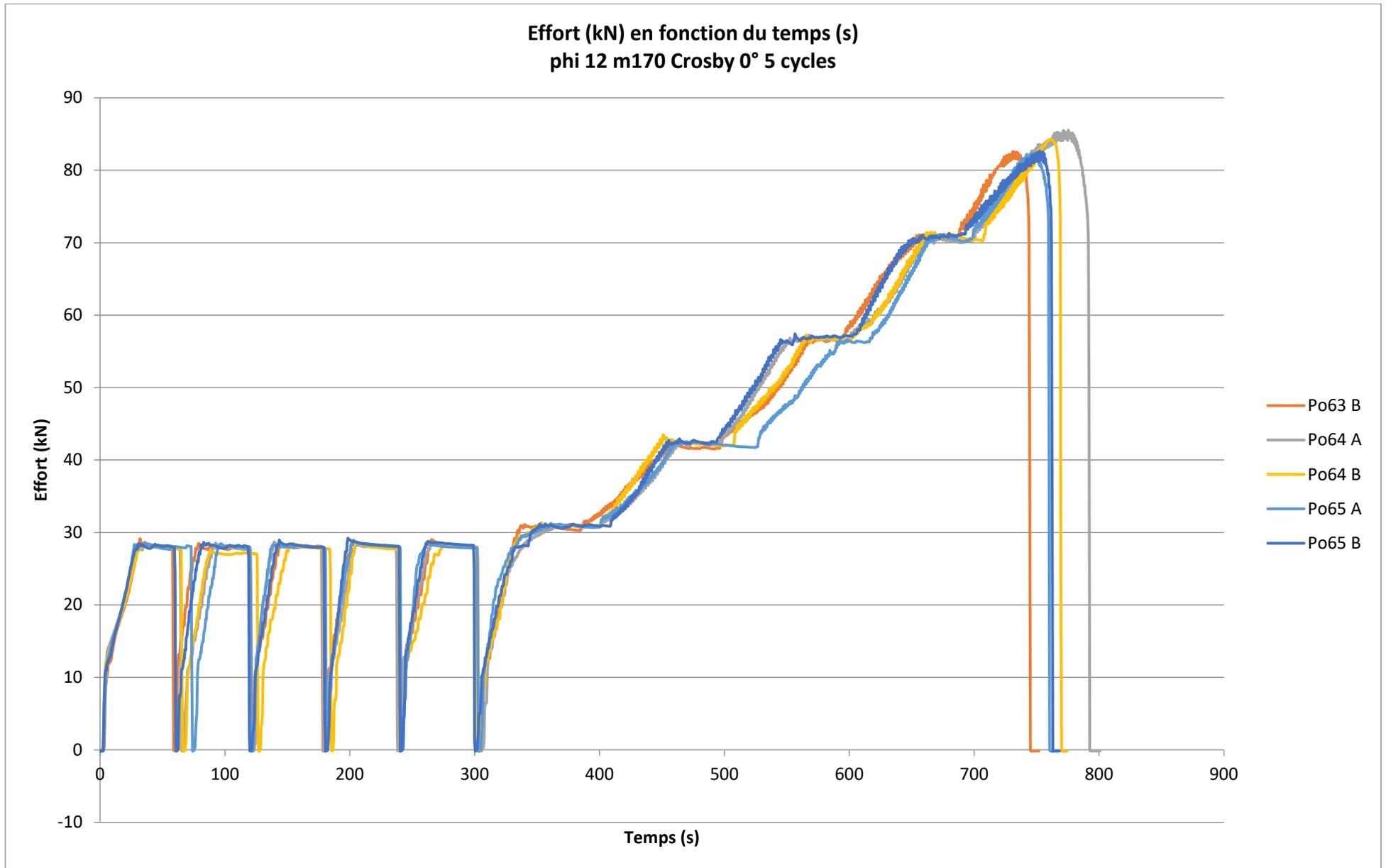




## Annexe 16 – Influence du ratio largeur B du crochet / diamètre nominal de mandrin de cintrage D de la boucle - essais « rouges »

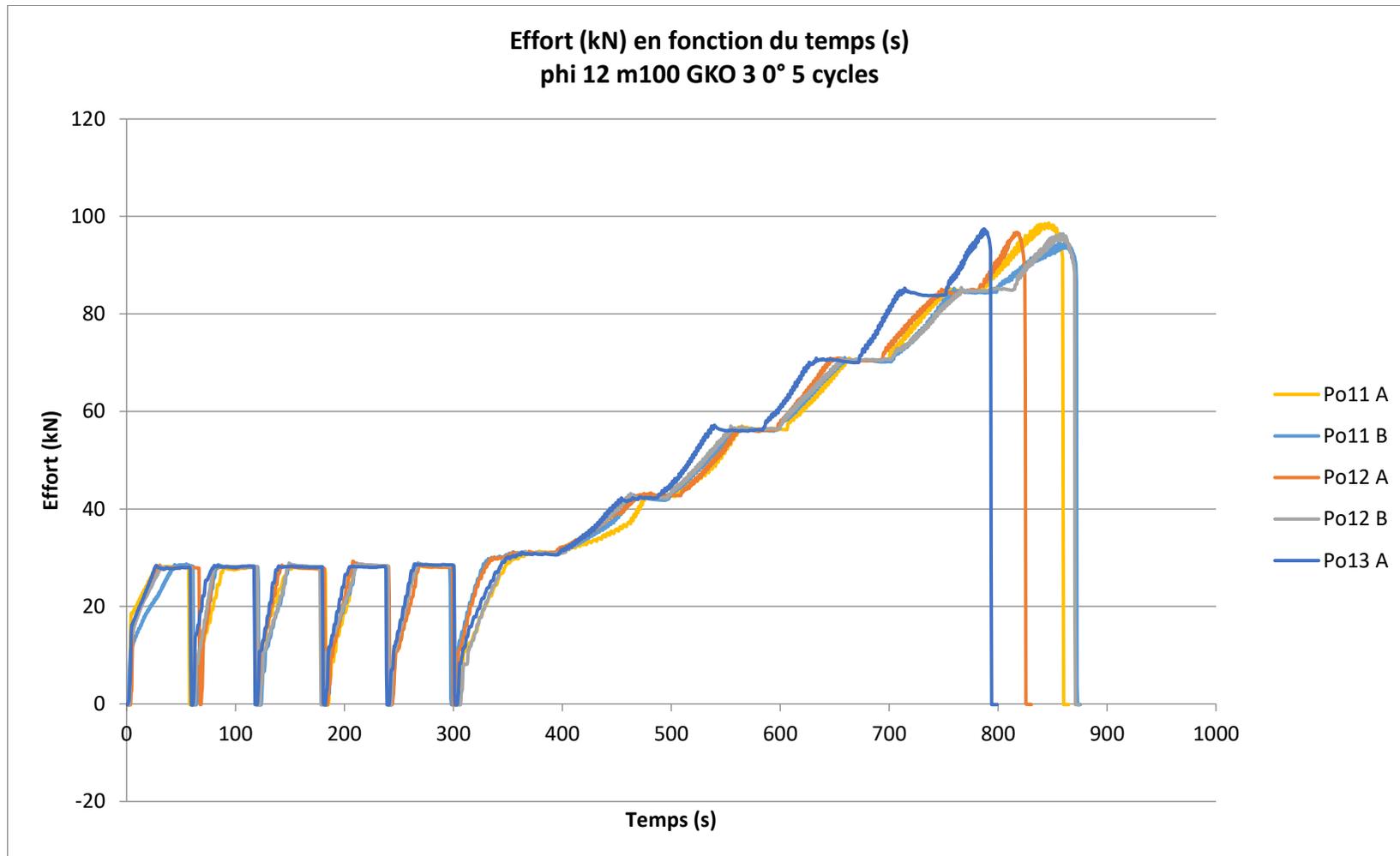


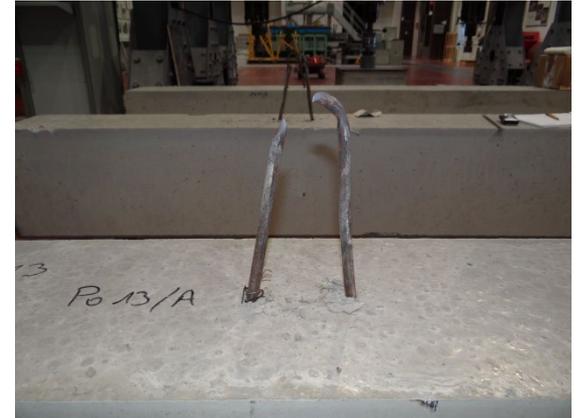


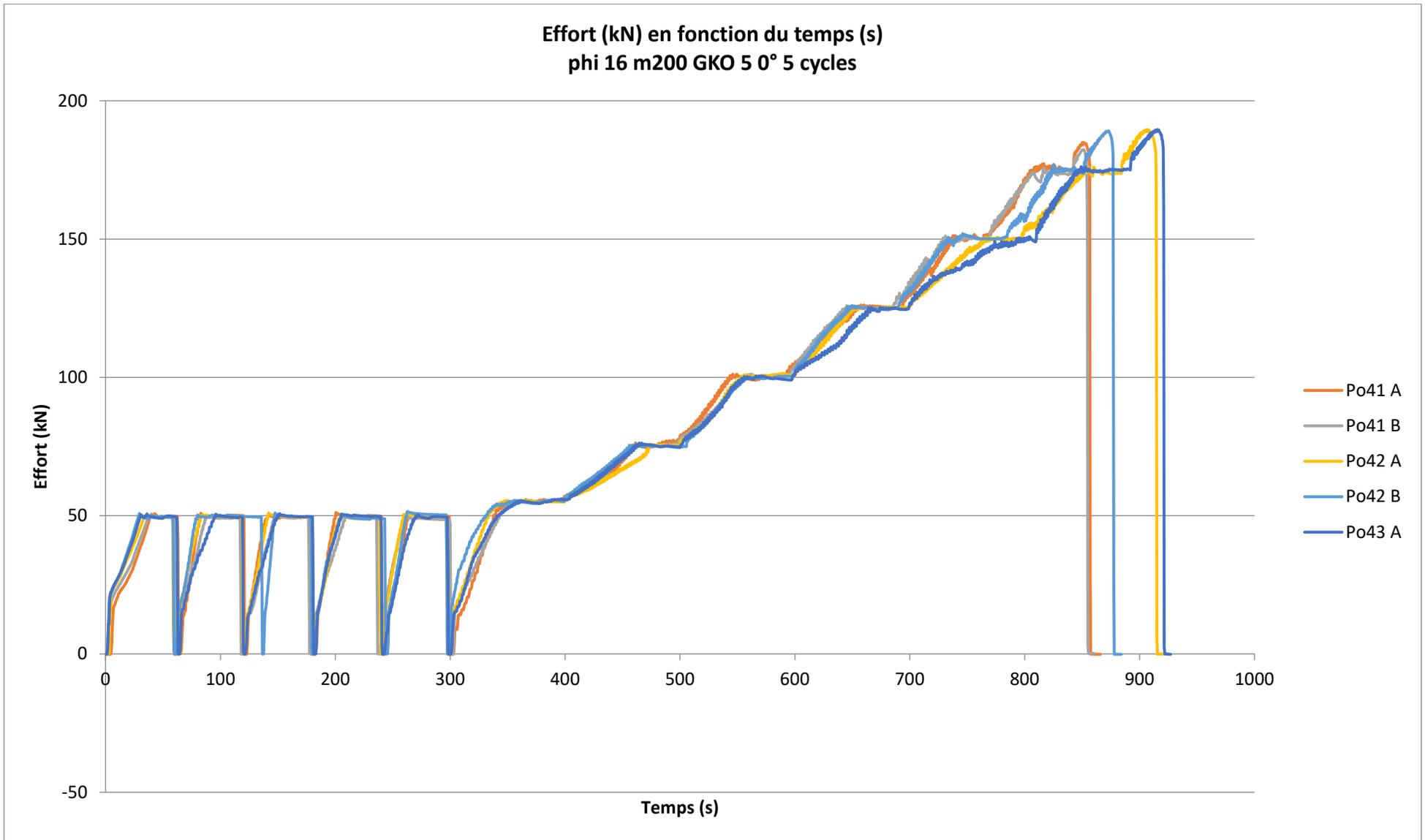




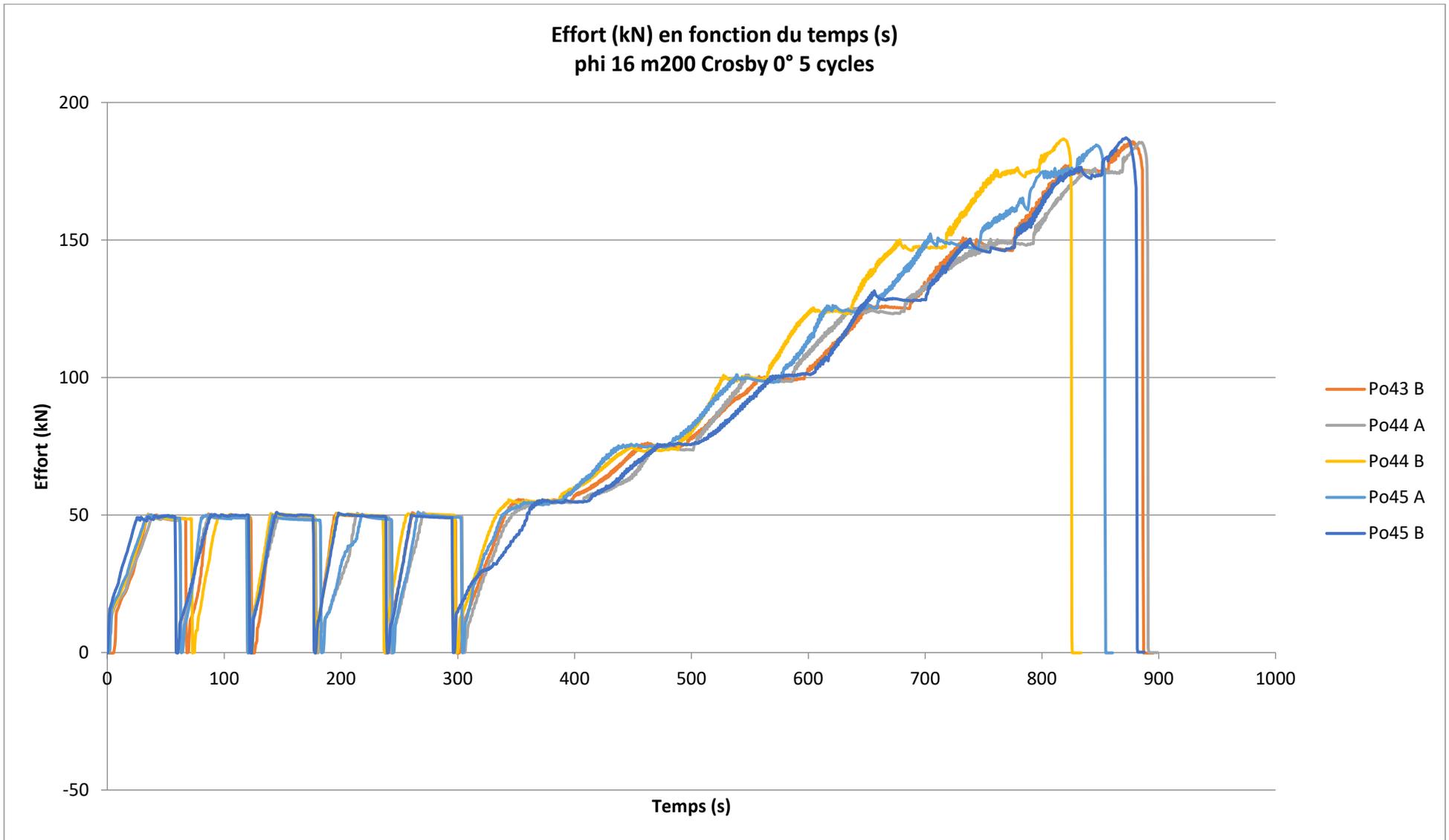
## Annexe 17 – Influence du ratio largeur B du crochet / diamètre nominal de mandrin de cintrage D de la boucle - essais « jaunes »





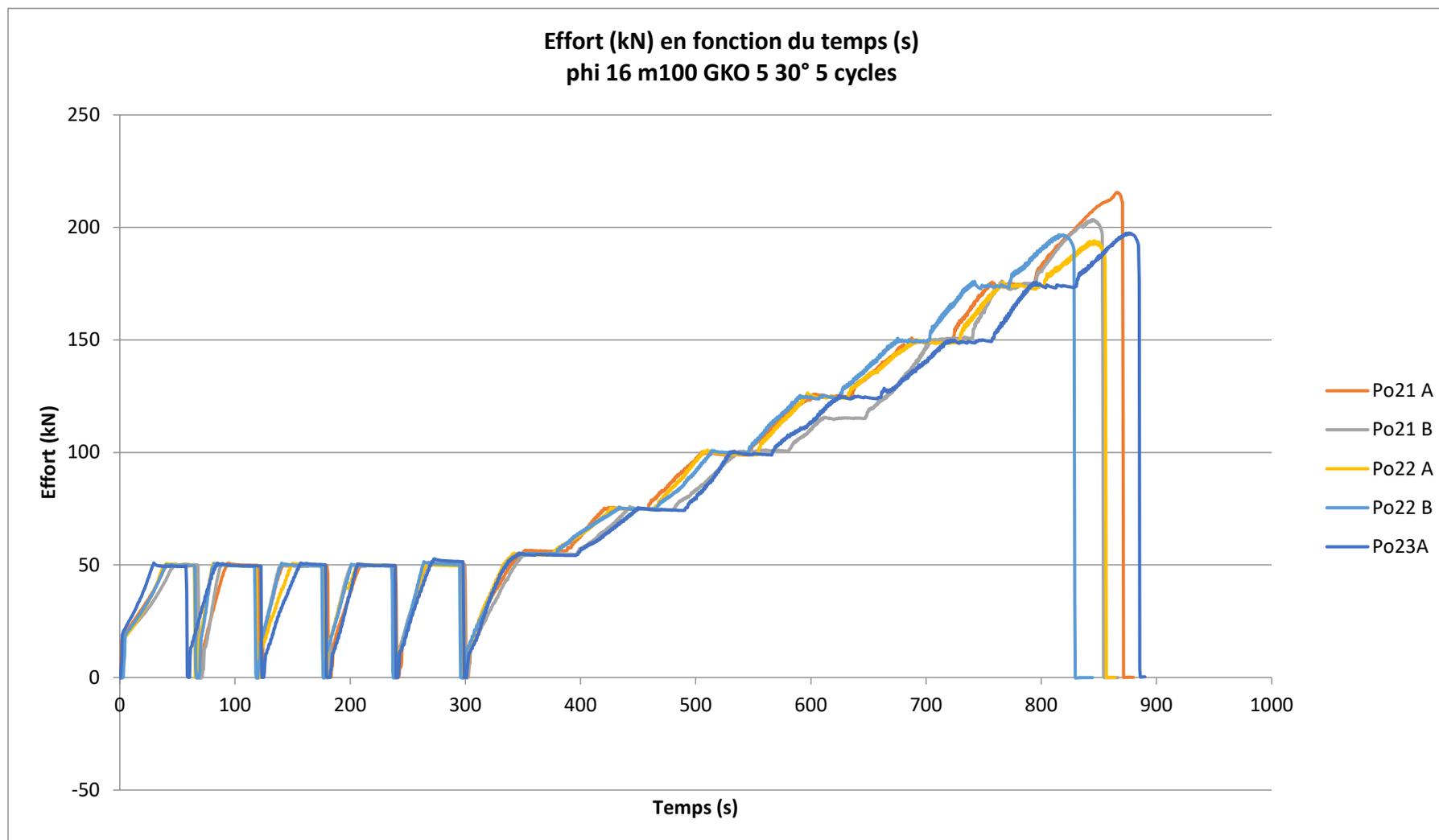




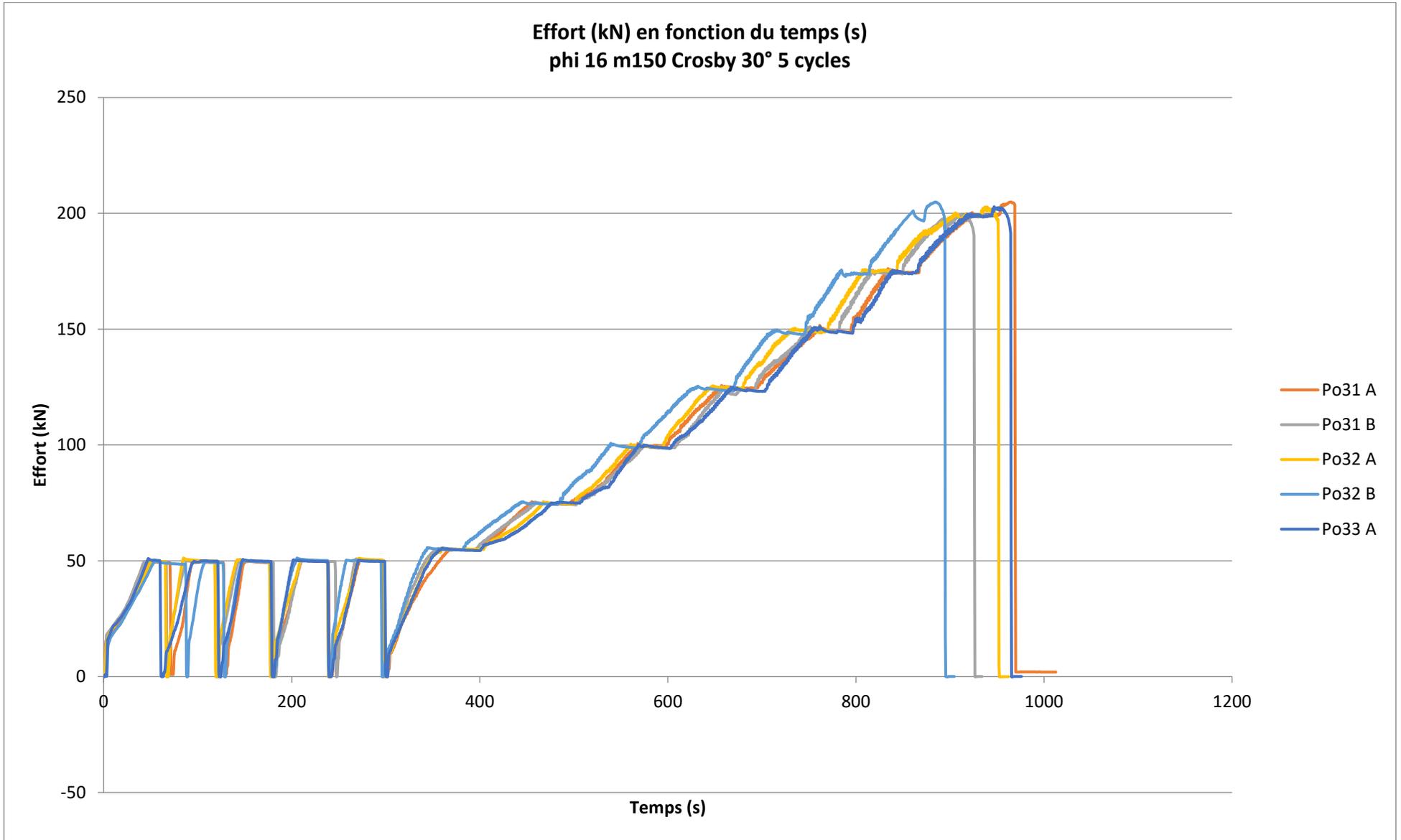




## Annexe 18 – Influence de la forme du crochet de levage - essais « bruns »

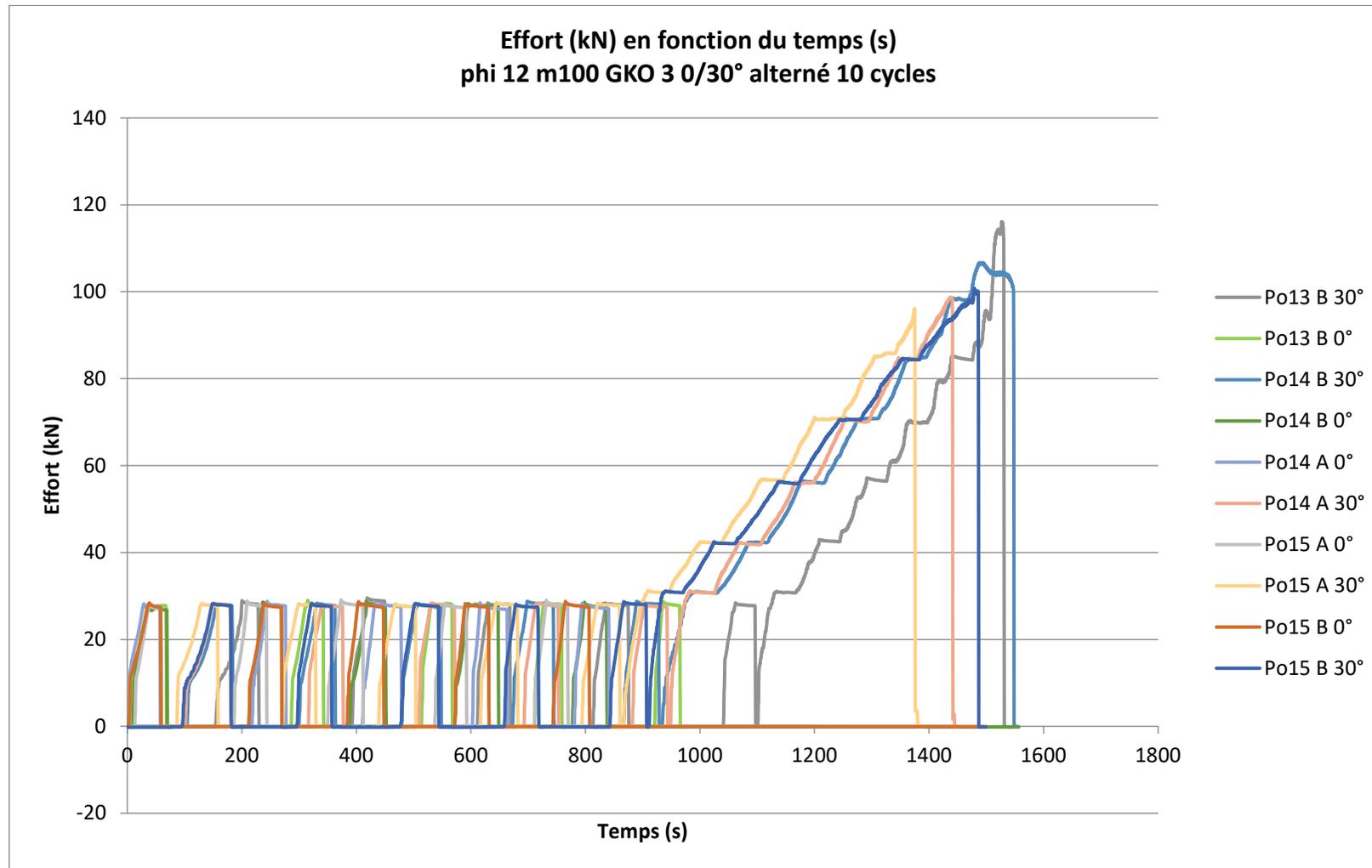




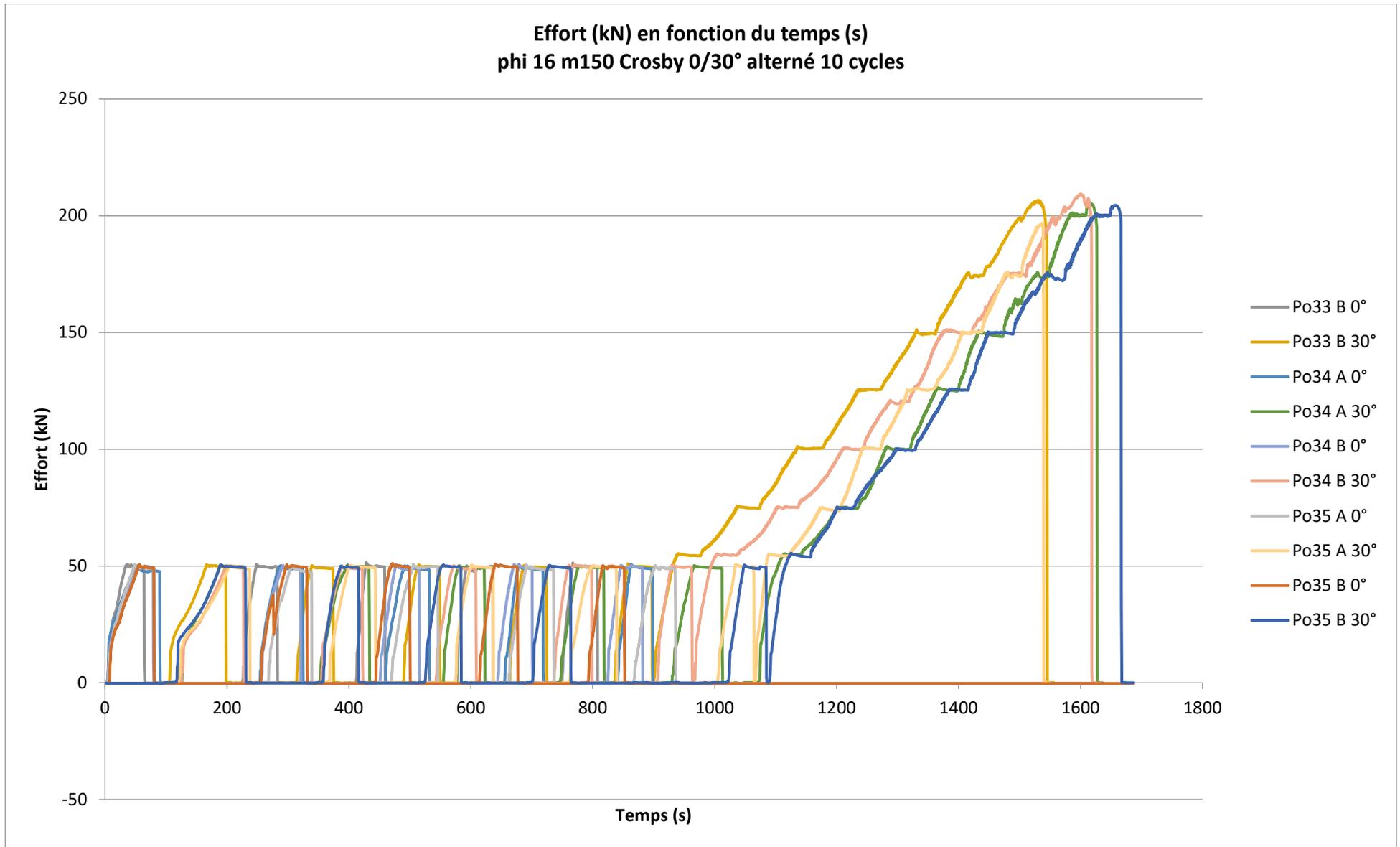




## Annexe 19 – Influence de l’alternance des angles de chargement - essais « bleu foncé »









## Annexe 20 – Introduction de la résistance à la traction dans la NF A 35-015 : 2019

Suite à l'étude objet de ce rapport, la norme NF A 35-015 a été révisée pour introduire notamment le tableau 5 ci-dessous :

### 7.3.2 Caractéristiques mécaniques de traction

Les caractéristiques mécaniques en traction doivent être conformes aux exigences du Tableau 5.

Tableau 5 — Caractéristiques mécaniques de traction

Classe technique d'acier	Limite d'élasticité $R_e^a$ MPa min.	Résistance à la traction $R_m$ MPa min.	Rapport $R_m/R_e$ min.	Pourcentage d'extension totale à la force maximale, $A_{gt}$ % min.
B235C	235	350	1,15	10,0
<sup>a</sup> $R_e$ est égal à $R_{eH1}$ ou, en cas d'absence de palier découlement, à $R_{p0.2}$ .				

Il est de la responsabilité de l'acheteur de définir le type de contrôle et de document de contrôle conformément à la norme NF EN 10204.

## 8 Évaluation de conformité

### 8.1 Généralités

8.1.1 Les barres et couronnes soudables lisses en acier pour béton armé doivent faire l'objet d'un contrôle afin de s'assurer du respect des exigences du présent document.

8.1.2 L'acheteur doit spécifier lors de l'appel d'offres et de la commande :

- le type de contrôle (spécifique ou non spécifique, conformément à la norme NF EN 10021) ;
- le type de document de contrôle conformément à la norme NF EN 10204.

## Index des figures

---

Figure 1 – Angle de chargement pour les boucles de levage - Figure 14 du FD CEN/TR 15728 (2008) [4] .....	15
Figure 2 – Angle de chargement pour les boucles de levage - Figure 23 du FD CEN/TR 15728 (2017) .....	18
Figure 3 – Méthodes et efforts obliques à proscrire (Fig. 6 et 7 de la fiche OPPBTP E4 F01 10 [6]).....	21
Figure 4 – Définition du siège du crochet de levage – extrait de la fiche OPPBTP C2 F05 09 [7].....	21
Figure 5 – Dimensions des crochets de levage définies dans les normes NF EN 1677 [10] [11] [12] .....	24
Figure 6 – Crochets couramment utilisés de la gamme GKO.....	25
Figure 7 – Définition des extensions et allongements – extrait de la norme d’essai de traction sur matériaux métalliques NF EN ISO 6892-1 : 2016 [18].....	28
Figure 8 – Plan d’une poutre .....	35
Figure 9 – Plan d’une poutre avec engravure permettant de simuler une forte hauteur dépassante de la boucle (côté gauche, boucle « A ») et un blocage par des cadres dépassants (côté droit, boucle « B »).....	36
Figure 10 – Définition de la distance entre le bord de la boucle de levage et la platine acier simulant un blocage par des cadres dépassants.....	36
Figure 11 – Schéma de définition du façonnage de la boucle de levage.....	37
Figure 12 – Diamètre mesuré $D_m$ de cintrage de la boucle et diamètre nominal de mandrin de cintrage théorique $D$ .....	39
Figure 13 – Dispositif de chargement (à gauche : essai à 0° et, à droite : essai à 30°).....	42
Figure 14 – Exemple de calcul du poids P pouvant être levé par une boucle.....	63

## Index des tableaux

---

Tableau 1 – Coefficients partiels $\gamma_s$ pour la rupture de l’acier – Tableau 1 du FD CEN/TR 15728 (2008) [4] .....	15
Tableau 2 – Influence des actions dynamiques – Tableau 4 du FD CEN/TR 15728 (2008) [4] .....	16
Tableau 3 – Coefficient de réduction de la capacité des boucles de levage à barres lisses en fonction de la dimension du crochet de levage – Tableau 6 du FD CEN/TR 15728 (2017) [5].....	17
Tableau 4 – Facteurs globaux de sécurité – Tableau 3 du FD CEN/TR 15728 (2017) [5].....	18
Tableau 5 – Influence des actions dynamiques – Tableau 5 du FD CEN/TR 15728 (2017) [5].....	19
Tableau 6 – Force maximale par boucle – R362 .....	22
Tableau 7 – Coefficient multiplicateur de la charge dû à l’angle des brins – R362 .....	23
Tableau 8 – Composition chimique (% en masse) de l’acier B235C - Tableau 2 de la norme NF A 35-015 (2009) [17] .....	25
Tableau 9 – Caractéristiques mécaniques de traction de l’acier B235C - Tableau 5 de la norme NF A 35-015 (2009) [17] .....	26
Tableau 10 – Caractéristiques mécaniques de traction de l’acier Fe E 235 Norme NF A 35-015 (1996) [15] .....	26
Tableau 11 – Evolutions de la norme NF A 35-015 (en italique : valeurs calculées) .....	27
Tableau 12 – Caractéristiques chimiques sur produit et mécaniques des aciers testés à l’essai de flexion par choc.....	30
Tableau 13 – Synthèse des essais sur boucles de levage .....	33
Tableau 14 – Façonnage des boucles de levage commandées pour les essais .....	38
Tableau 15 – Caractéristiques mécaniques des aciers diamètre 12 mm issues du certificat de réception 3.1 du fournisseur .....	40
Tableau 16 – Caractéristiques mécaniques des aciers diamètre 12 mm de la bobine A mesurées par essais de traction .....	40
Tableau 17 – Caractéristiques mécaniques des aciers diamètre 12 mm de la bobine C mesurées par essais de traction .....	40

Tableau 18 – Caractéristiques mécaniques des aciers diamètre 16 mm issues du certificat de réception 3.1 du fournisseur .....	41
Tableau 19 – Caractéristiques mécaniques des aciers diamètre 16 mm de la bobine B mesurées par essais de traction .....	41
Tableau 20 – Caractéristiques des crochets de levage utilisés pour les essais .....	43
Tableau 21 – Effort aux paliers à appliquer lors des cycles de chargement en fonction du diamètre de la boucle .....	44
Tableau 22 – Mesures effectuées sur les boucles (vue de dessus, de côté et de face de la boucle).....	45
Tableau 23 – Efforts et contraintes de rupture pour les essais « saumon » d’influence du nombre de cycles de chargement.....	47
Tableau 24 – Efforts et contraintes de rupture pour les essais « verts » d’influence du ratio largeur B du crochet / diamètre nominal de mandrin de cintrage D de la boucle en dehors de la plage du FD CEN/TR 15728 [4] [5] .....	48
Tableau 25 – Efforts de rupture pour les essais « bleu clair » d’influence de l’angle de levage .....	50
Tableau 26 – Efforts de rupture pour les essais « violets » d’influence de la hauteur dépassante avec ou sans présence de cadres bloquants.....	51
Tableau 27 – Efforts de rupture pour les essais « rouges » et « jaunes » d’influence du ratio largeur B du crochet / diamètre nominal de mandrin de cintrage D de la boucle en dehors de la plage du FD CEN/TR 15728 [4] [5], soit pour des ratios largeur B du crochet / diamètre mesuré de cintrage $D_m$ de la boucle inférieurs à 0,5 .....	52
Tableau 28 – Efforts de rupture pour les essais « bruns » d’influence de la forme du crochet de levage pour un même ratio largeur B du crochet / diamètre nominal de mandrin de cintrage D de la boucle .....	55
Tableau 29 – Efforts de rupture pour les essais « bleu foncé » d’influence de l’alternance des angles, comparés aux essais de référence de même configuration à 5 cycles non alternés .....	55
Tableau 30 - Influence des actions dynamiques – <i>Tableau 5 du FD CEN/TR 15728 (2017) [5]</i> .....	88
Tableau 31 - Coefficient dynamiques $\phi$ – <i>Tableau 2.1 de la norme NF EN 1991-3 [25]</i> .....	88
Tableau 32 - Groupes des charges et des coefficients dynamiques à considérer comme une action caractéristique de l’appareil de levage – <i>Tableau 2.2 de la norme NF EN 1991-3 [25]</i> .....	89
Tableau 33 - Coefficients dynamiques $\phi$ pour les charges verticales <i>Tableau 2.4 de la norme NF EN 1991-3 [25]</i> .....	89
Tableau 34 – Valeurs de $\beta_2$ et $\phi_{2, min}$ – <i>Tableau 2.5 de la norme NF EN 1991-3 [25]</i> .....	90
Tableau 35 – Coefficients dynamiques définis dans la recommandation allemande VDI/BV-BS 6205 – <i>Tableau 2</i> .....	90
Tableau 36 – Coefficients dynamiques définis dans la norme DIN 15018.....	91
Tableau 37 – Coefficients dynamiques définis dans le document Technique Béton .....	91

RAPPORT

# ÉTUDES ET RECHERCHES

## DIMENSIONNEMENT DES STRUCTURES

LIONEL MONFRONT



/ Cerib - CS 10010  
28233 Épernon cedex

/ 02 37 18 48 00  
cerib@cerib.com

## DIMENSIONNEMENT DES BOUCLES DE LEVAGE EN ACIER DOUX POUR POUTRES PRÉFABRIQUÉES

Cette étude a permis d'établir la Fiche Prévention OPPBTP E4 F 14 18 « Manutention des poutres préfabriquées avec des boucles de levage » qui définit les CMU à prendre en compte pour les boucles de levage en acier B 235 C dont la résistance minimale à la traction de 350 MPa a été introduite dans la norme NF A 35-015 « Aciers pour béton armé - Aciers soudables lisses - Barres et couronnes » publiée en 2019.

Sur l'ensemble des 105 essais réalisés sur boucles de diamètres 12 et 16 mm en utilisant des crochets de levage de différentes largeurs, l'effort de rupture était indépendant :

- du nombre de cycles de chargement jusqu'à 10 cycles, que les angles de chargement soient alternés ou non ;
- de la forme du crochet ;
- de l'angle de chargement jusqu'à 45°, sans toutefois remettre en cause la limitation à 30° usuelle ;
- de la hauteur dépassante de la boucle jusqu'à 40 cm avec blocage potentiel par des cadres dépassants.

Cette étude a porté sur le comportement propre des boucles de levage et ne couvre pas leurs conditions d'ancrage dans le béton ni la résistance de celui-ci lors de la première manutention qui doivent être maîtrisées.

## MAXIMUM WORKING LOAD OF LIFTING LOOPS IN MILD FOR PRECAST CONCRETE BEAMS

This study has been used to draw up the OPPBTP prevention sheet E4 F 14 18 « Handling precast beams with lifting loops », which defines the Maximum Working Load to be taken into account for lifting loops made of B 235 C steel, whose minimum tensile strength of 350 MPa has been introduced into standard NF A 35-015 « Reinforcing steel - Weldable smooth steel - Bars and coils » published in 2019.

Of the 105 tests carried out on lifting loops 12 and 16 mm in diameter, using lifting hooks of different widths, the ultimate load at rupture was independent of :

- the number of loading cycles up to 10 cycles, whether the loading angles were alternating loading angles;
- the hook shape;
- the loading angle, up to 45°, without however the usual 30° limit;
- the loop overhang height up to 40 cm with potential blocking by protruding reinforcement steel frames.

This study focused on the specific behavior of lifting loops and does not cover their anchoring conditions in concrete, nor the strength of the concrete during initial handling, which must be mastered.