

Ancrage des armatures  
de précontrainte  
dépassantes sur appuis

Support anchorage of  
protruding prestressing steel



245.E-2



# Ancrage des armatures de précontrainte dépassantes sur appuis

**245.E - 2**  
juillet 2012



par  
**Herbert TIGRI**

© CERIB – 28 Épernon

245.E – Février 2012 - ISSN 0249-6224 – EAN 9782857552338

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

La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, 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 » (alinéa 1<sup>er</sup> de l'article 40).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code pénal.

# Sommaire

---

<b>Résumé</b>	<b>5</b>
<b>1 Introduction</b>	<b>7</b>
<b>2 Description des corps d'épreuves</b>	<b>8</b>
2.1 Prédalles	8
2.2 Chainage pour appui direct	8
2.3 Poutre pour appui indirect N° 1	9
2.4 Poutre pour appui indirect N° 2	10
2.5 Béton	11
2.5.1 Béton de prédalle	12
2.5.2 Béton de la dalle de compression, du chainage et des poutres	12
<b>3 Montage</b>	<b>13</b>
3.1 Essai avec l'appui direct	13
3.2 Essais avec l'appui indirect N° 1 et N° 2	15
<b>4 Déroulement des essais - Instrumentations et mesures</b>	<b>17</b>
<b>5 Résultats</b>	<b>21</b>
5.1 Essai avec l'appui direct	21
5.2 Essai avec l'appui indirect N° 1	22
5.3 Essai avec l'appui indirect N° 2	23
5.4 Calcul de l'effort de traction à la rupture dans les 12 Ø 5 ancrés	24
<b>6 Synthèse et conclusion</b>	<b>25</b>
<b>Annexe – Dimensionnement</b>	<b>27</b>



## Résumé

---

La norme NF EN 1992-1-1<sup>(1)</sup> permet de vérifier l'ancrage des armatures de béton armé. Toutefois, elle ne traite pas explicitement de l'ancrage passif des armatures de précontrainte dépassant à l'extrémité des composants. Le projet de norme NF DTU 23.4<sup>(2)</sup> propose une règle de dimensionnement de l'ancrage passif et permet, dans certaines conditions de rigidité du support et de la position de l'ancrage dans celui-ci, de réduire la longueur d'ancrage des aciers de 30%. Ainsi la longueur d'ancrage de calcul passe de 70% de la longueur d'ancrage de référence à 49% de celle-ci.

Le présent rapport montre par des essais que la méthode de calcul de l'ancrage du projet de norme NF DTU 23.4 est sécuritaire. La méthode conduit à un coefficient de sécurité équivalent entre les supports dits « flexibles » et ceux dits « rigides ». Ces essais mettent en évidence l'effet favorable sur l'ancrage du pincement de l'armature dépassante par la bielle d'appui, dans le cas de supports dits rigides.

## Summary

---

European standard NF EN 1992-1-1<sup>(1)</sup> makes provision for checking the anchorage of concrete reinforcement. However, it does not specifically address the case of the passive anchorage of prestressing steel protruding from the ends of units. Draft standard NF DTU 23.4<sup>(2)</sup> proposes a rule for designing passive anchorage and, under certain conditions of support stiffness and anchorage positions in the support, allows for a 30% reduction in the steel anchorage length. Consequently, the design anchorage length is reduced from 70% of the reference anchorage length to 49% of that length.

This report shows through testing that the anchorage calculation method of draft standard NF DTU 23.4 'errs' on the safe side. The method results in equivalent safety factors for so-called 'flexible' supports and 'rigid' supports. The tests highlight the favourable effect that pinching of the protruding steel by the compression strut has on anchorage in the case of so-called 'rigid' supports.

<sup>(1)</sup> NF EN 1992-1-1 : calcul des structures en béton.

Partie 1-1 : règles générales et règles pour les bâtiments

<sup>(2)</sup> Projet de norme NF DTU 23.4 : Planchers à prédalles industrialisées en béton.



# 1 Introduction

---

Cette étude a pour but de déterminer expérimentalement l'effet sur la capacité d'ancrage, du pincement de l'armature dépassante par la bielle d'appui, dans le cas de supports peu déformables (appuis directs). Pour cela, trois corps d'épreuves ont été testés : un corps d'épreuve à appui direct<sup>1</sup> et deux à appuis indirects<sup>2</sup>.

La norme NF EN 1992-1-1 permet de prendre en compte ce phénomène de pincement en fonction de la pression transversale. Ces contraintes sont toutefois difficiles à évaluer et la surcapacité est plafonnée par la limitation conventionnelle de la longueur d'ancrage droit de calcul à 70 % de la longueur d'ancrage de référence.

Dans le cadre du projet de norme NF DTU 23.4, il est permis que la longueur d'ancrage droit de calcul puisse être prise égale à 49 % de la longueur d'ancrage de référence pour les ancrages sur appui direct.

Ce rapport présente les essais effectués, les résultats ainsi que différents calculs normalisés de la capacité d'ancrage.

---

<sup>1</sup> Appui direct : appui peu déformable en flexion (par exemple : murs ou voiles).

<sup>2</sup> Appui indirect : appui déformable en flexion (par exemple poutres élancées).



## 2 Description des corps d'épreuves

### 2.1 Prédalles

Type : prédalles précontraintes par fils adhérents ;  
 nombre de prédalles : 3 (1 par corps d'épreuve) ;  
 épaisseur des prédalles : 6 cm ;  
 longueur : 4,10 m ;  
 largeur : 1,23 m ;  
 armatures : 31 fils de diamètre  $\phi 5$ -1 860-TBR par prédalle ;  
 les prédalles sont armées au maximum en flexion pour provoquer la rupture de l'ancrage des fils ;  
 nombre de fils dépassants : 12 par prédalle (les 19 restants sont coupés au ras de la prédalle après fabrication) ;  
 dépassement des fils : 40 cm d'un côté et 0 cm de l'autre.

Sur ces 40 cm de dépassement, seul 12 cm sont ancrés sur appui en gagnant les 28 cm restant.

Des mesures de rentrées de fils ont été réalisées en usine. Un relevé dimensionnel des prédalles a également été fait.

### 2.2 Chainage pour appui direct

Largeur : 20 cm ;  
 hauteur : 30 cm ;  
 longueur : 1,23 m (largeur de la prédalle) ;  
 armatures : 4 HA 10 filants à l'intérieur de cadres HA 6 (15\*25 cm) espacés tous les 19 cm.

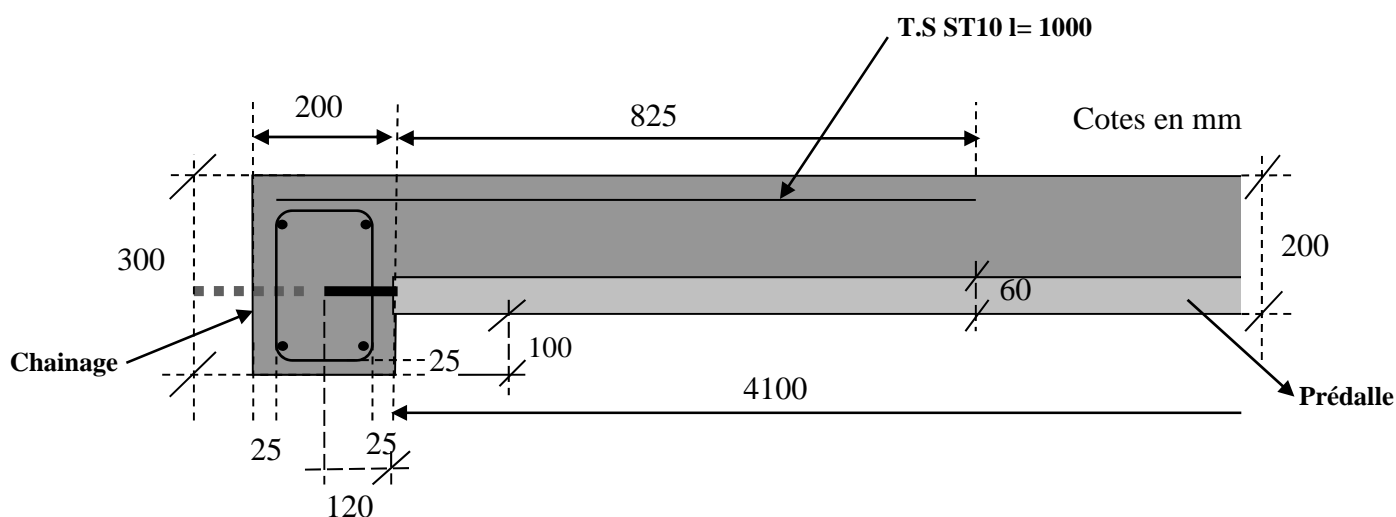


Figure 1 : Corps d'épreuve avec appui direct

Le treillis soudé ST10 de longueur 1,00 m constitue l'armature en chapeaux. Il est disposé en partie supérieure de la dalle, sur la largeur de la maquette.

La retombée de l'appui permet d'éviter tout confinement des fils ancrés par les filants du chainage.

## 2.3 Poutre pour appui indirect N°1

Pour éviter la défaillance de la poutre, son dimensionnement est réalisé à l'État Limite Ultime en considérant une charge linéaire cinq fois supérieure à la capacité d'ancrage des armatures de la prédalle, considérant l'effet favorable lié au pincement comme proposé dans le DTU pour un appui direct.

Largeur : 30 cm ;  
 hauteur : 30 cm ;  
 longueur : 3,80 m ;  
 armatures :

- lit inférieur : 3 HA 25 + 3 HA 20 ;
- lit supérieur : 3 HA 25 + 3 HA 20 ;
- 2,1 m par 1,8 m ce qui donne
- Cadres : cadres + épingles HA6 (25\*25) espacés tous les 20 cm sur 1,8 m.

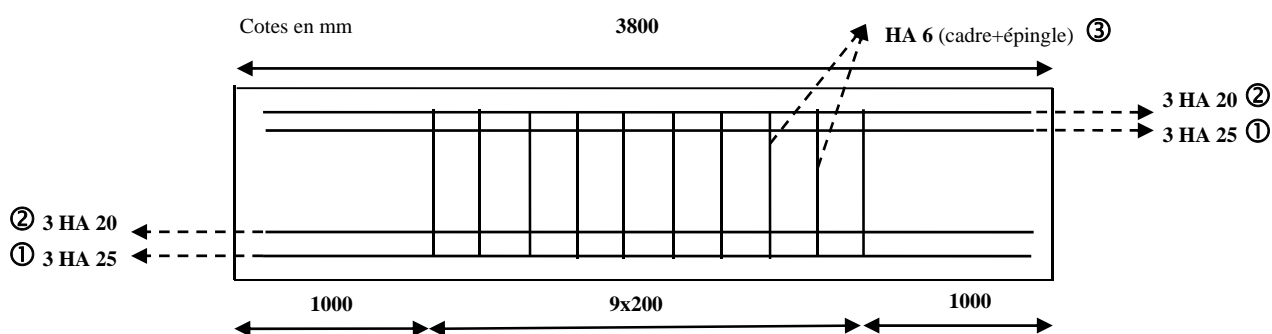


Figure 2 : Coupe longitudinale de la poutre N°1

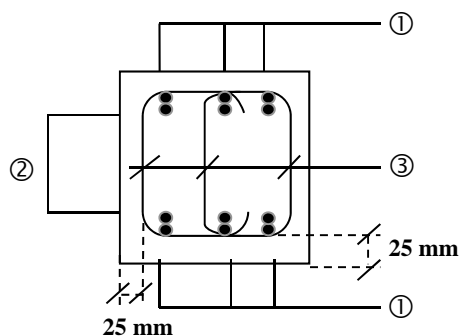


Figure 3 : Coupe transversale de la poutre N°1

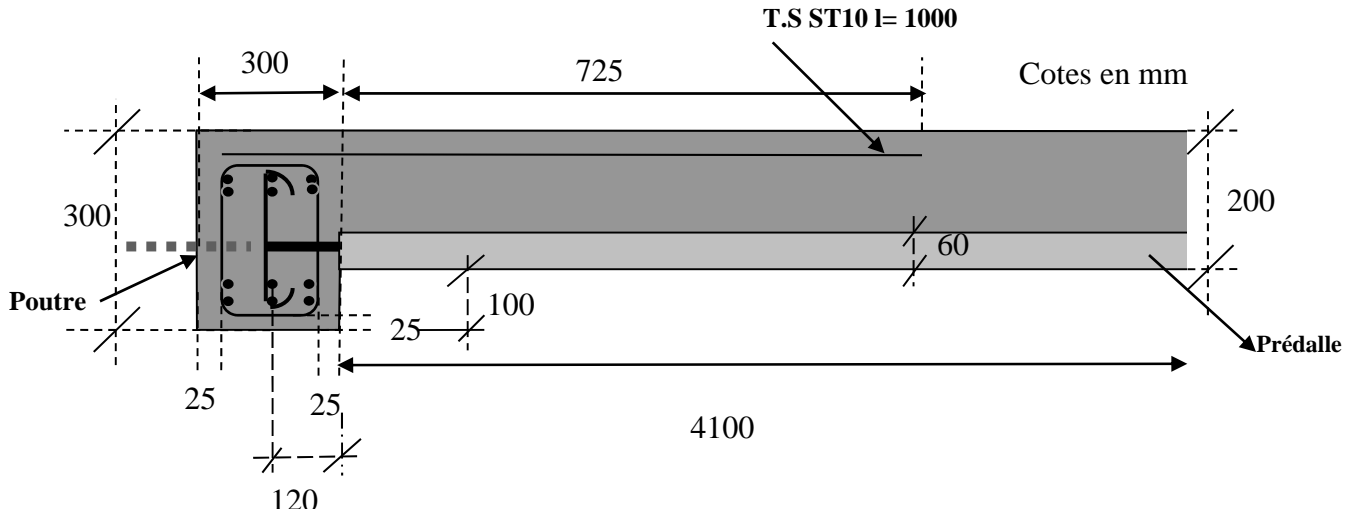


Figure 4 : Corps d'épreuve avec appui indirect N°1

Le treillis soudé ST10 de longueur 1,00 m constitue l'armature en chapeaux. Il est disposé en partie supérieure de la dalle, sur la largeur de la maquette.

La retombée de l'appui permet d'éviter tout confinement des fils ancrés par les filants de la poutre.

## 2.4 Poutre pour appui indirect N°2

Afin de vérifier le comportement sur un support plus flexible, le dimensionnement de la poutre est réalisé à l'État Limite Ultime en considérant une charge linéaire deux fois et demi supérieure à la capacité d'ancrage des armatures dépassants de la prédalle, considérant l'effet favorable lié au pincement comme proposé dans le DTU pour un appui direct.

Largeur : 30 cm ;  
 hauteur : 30 cm ;  
 longueur : 3,80 m ;

armatures :

- lit inférieur : 3 HA 20 + 3 HA 16 ;
- lit supérieur : 3 HA 8 ;
- 2,1 m par 1,8 m ce qui donne
- Cadres : cadres + épingle HA6 (25\*25) espacés tous les 20 cm sur 1,8 m.

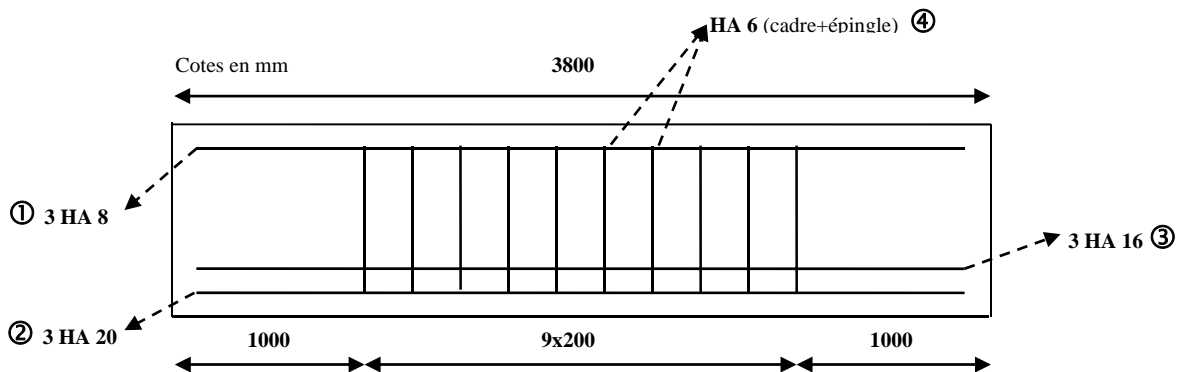


Figure 5 : Coupe longitudinale de la poutre N°2

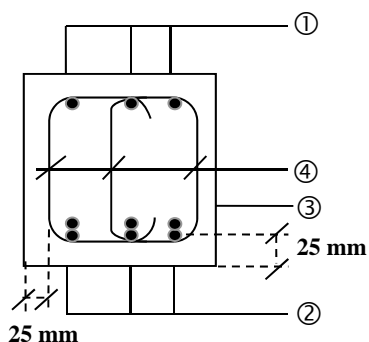


Figure 6 : Coupe transversale de la poutre N°2

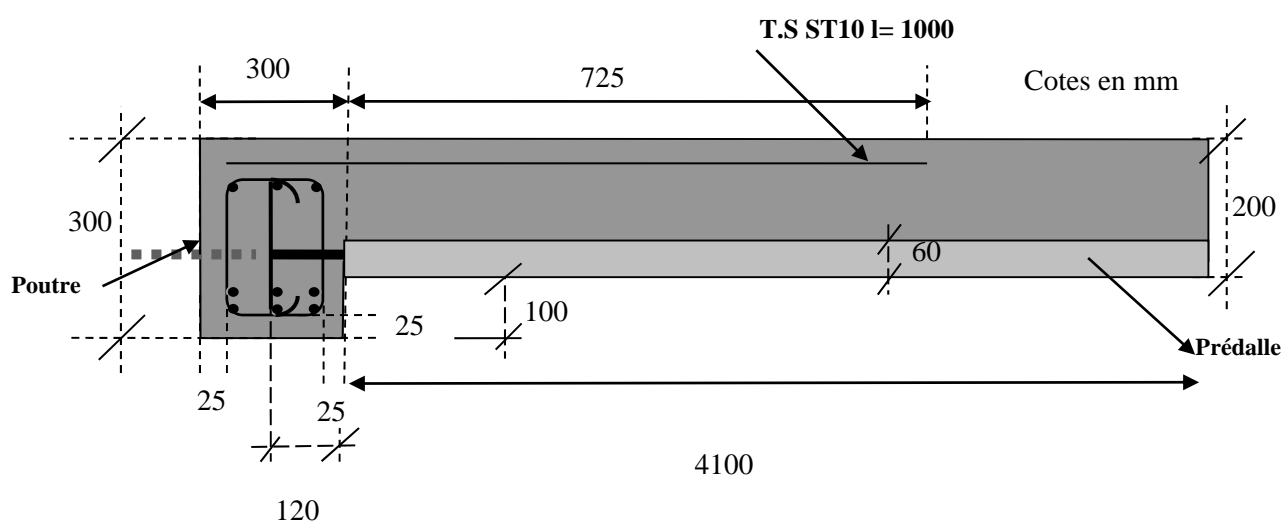


Figure 7 : Corps d'épreuve avec appui indirect N°2

Le treillis soudé ST10 de longueur 1,00 m constitue l'armature en chapeaux. Il est disposé en partie supérieure de la dalle, sur la largeur de la maquette.

La retombée de l'appui permet d'éviter tout confinement des fils ancrés par les filants de la poutre.

## 2.5 Béton

Dans ce paragraphe, nous présentons les résultats des essais de compression sur cube 10 x 10 cm et de fendage sur cylindre 16 x 32 cm des différents bétons utilisés. Chaque essai est constitué de trois cubes et trois cylindres.

On comprendra les notations <sup>(1)</sup> et <sup>(2)</sup> de la façon suivante :

<sup>(1)</sup> béton maintenu dans les mêmes conditions que le béton de la prédalle (étuvage et conservation) ;

<sup>(2)</sup> béton non étuvé conservé dans les conditions de la norme NF EN 12390-2.

### 2.5.1 Béton de prédalle

Type de béton	Dosage en ciment	Résistance moyenne à la compression sur cube <sup>(1)</sup> 10x10 cm à 82 jours (MPa)	Résistance à la compression sur cube <sup>(2)</sup> 10x10 cm à 82 jours (MPa)	Résistance moyenne à la traction par fendage sur cylindre <sup>(2)</sup> 16x32 cm à 82 jours (MPa)
Béton de prédalles	345 kg/m <sup>3</sup>	78	84,9	4,4

Tableau 1

### 2.5.2 Béton de la dalle de compression, du chaînage et des poutres

Type de béton	Dosage en ciment	Age des éprouvettes	Résistance à la compression sur cube <sup>(2)</sup> 10x10 cm (MPa)	Résistance à la traction par fendage sur cylindre <sup>(2)</sup> 16x32 cm (MPa)
Béton coulé en œuvre	CEM II/B-M 280 kg/m <sup>3</sup>	à 29 jours (appui indirect N°1)	30,9	2,78
		à 41 jours (appui indirect N°2)	35,6	2,69
		à 44 jours (appui direct)	35,8	2,96

Tableau 2

### 3 Montage

#### 3.1 Essai avec l'appui direct

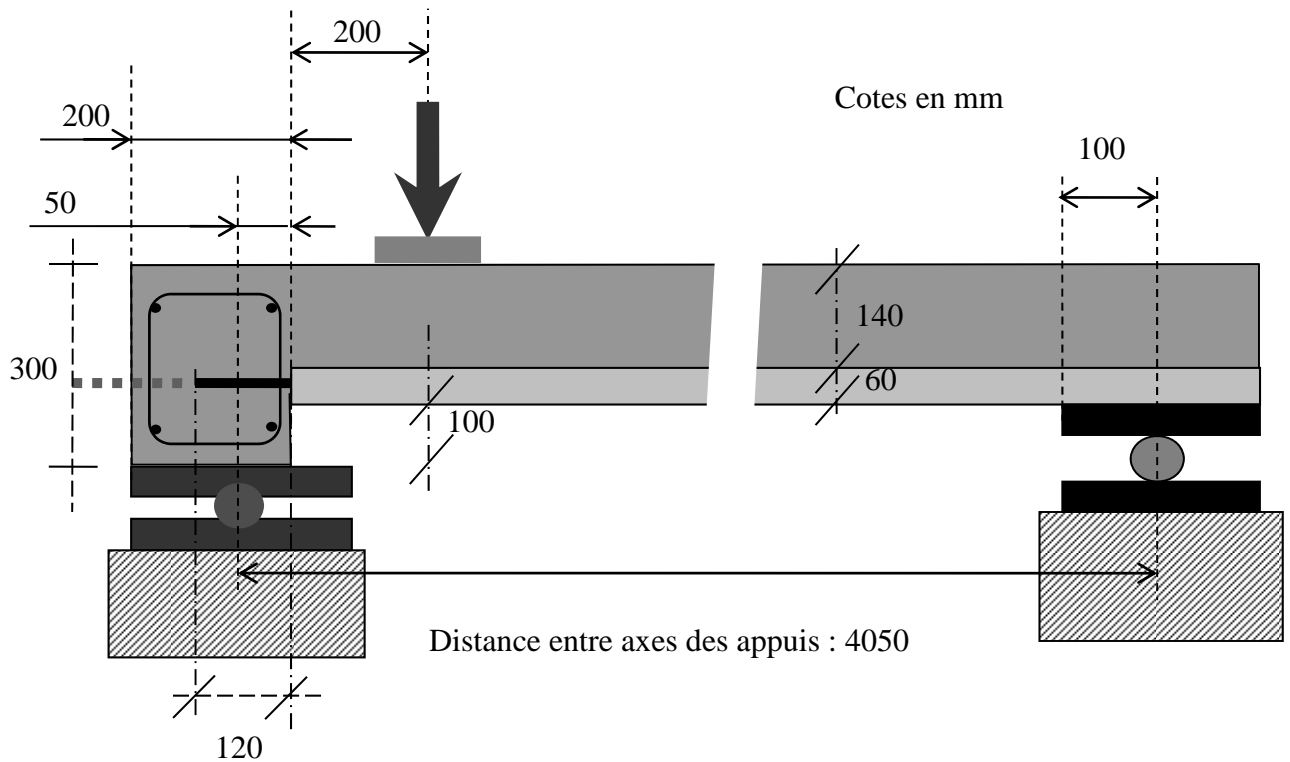


Figure 8 : Montage de l'essai mécanique du corps d'épreuve avec appui direct

L'appui linéaire du côté du chargement permet l'articulation tandis que celui opposé au chargement autorise un déplacement longitudinal horizontal par le biais d'un rouleau métallique.



Photo 1 : Appui linéaire formant articulation (côté chargement)



Photo 2 : Appui rouleau (côté opposé au chargement)

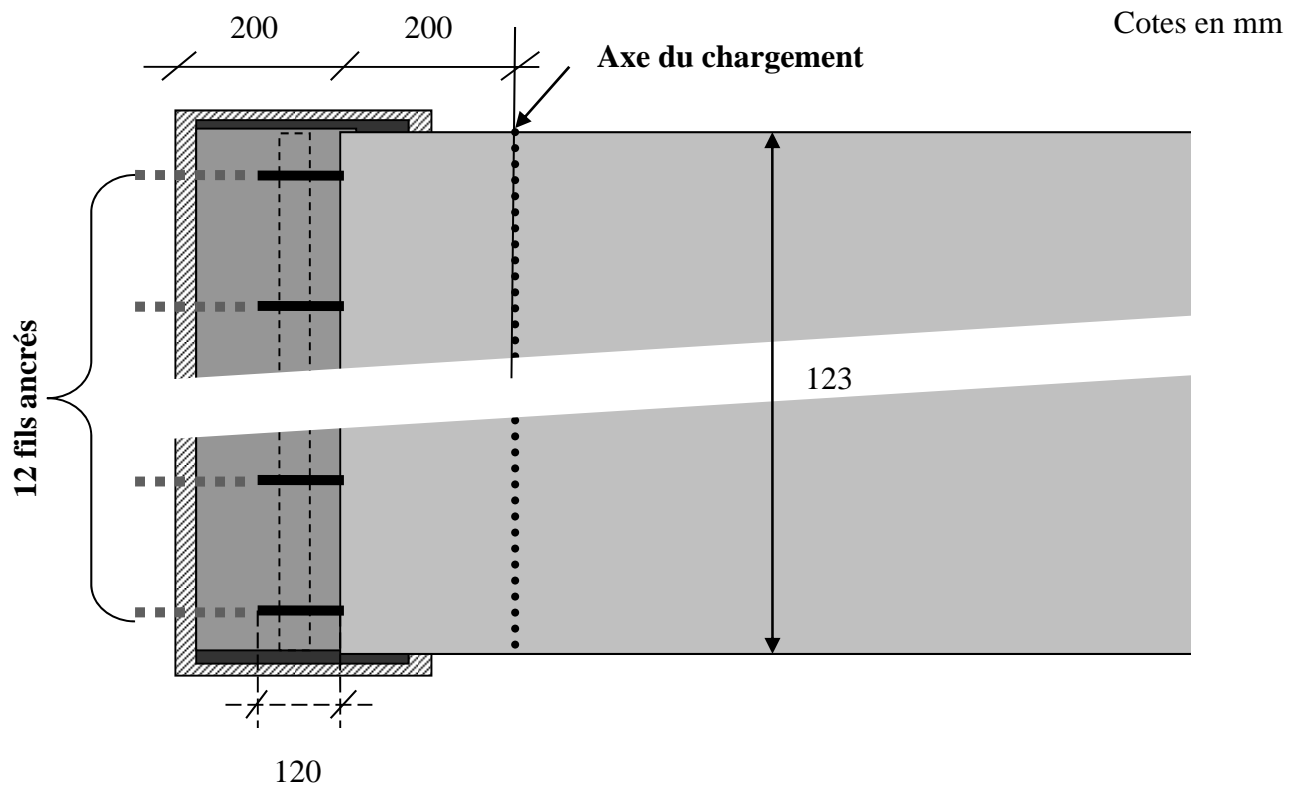


Figure 9 : Vue en plan du montage de l'essai avec l'appui direct

### 3.2 Essais avec l'appui indirect N°1 et N°2

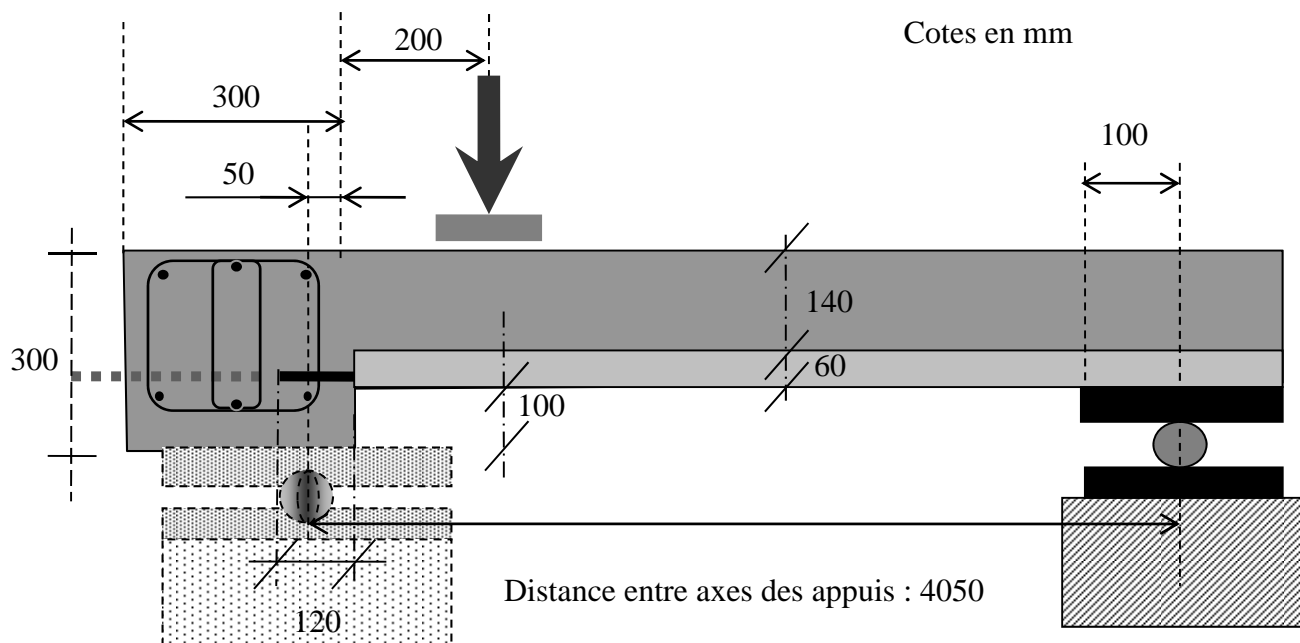


Figure 10 : Montage de l'essai mécanique du corps corps d'épreuve avec l'appui indirect N° 1 et N° 2

Les appuis sphériques du côté du chargement (appuis de la poutre) permettent l'articulation dans les deux directions, tandis que l'appui linéaire opposé au chargement autorise par le biais d'un rouleau métallique un déplacement longitudinal horizontal.



Photo 3 : Appui sphérique formant articulation dans les deux sens (appui de la poutre)



Photo 4 : Appui rouleau (côté opposé chargement)



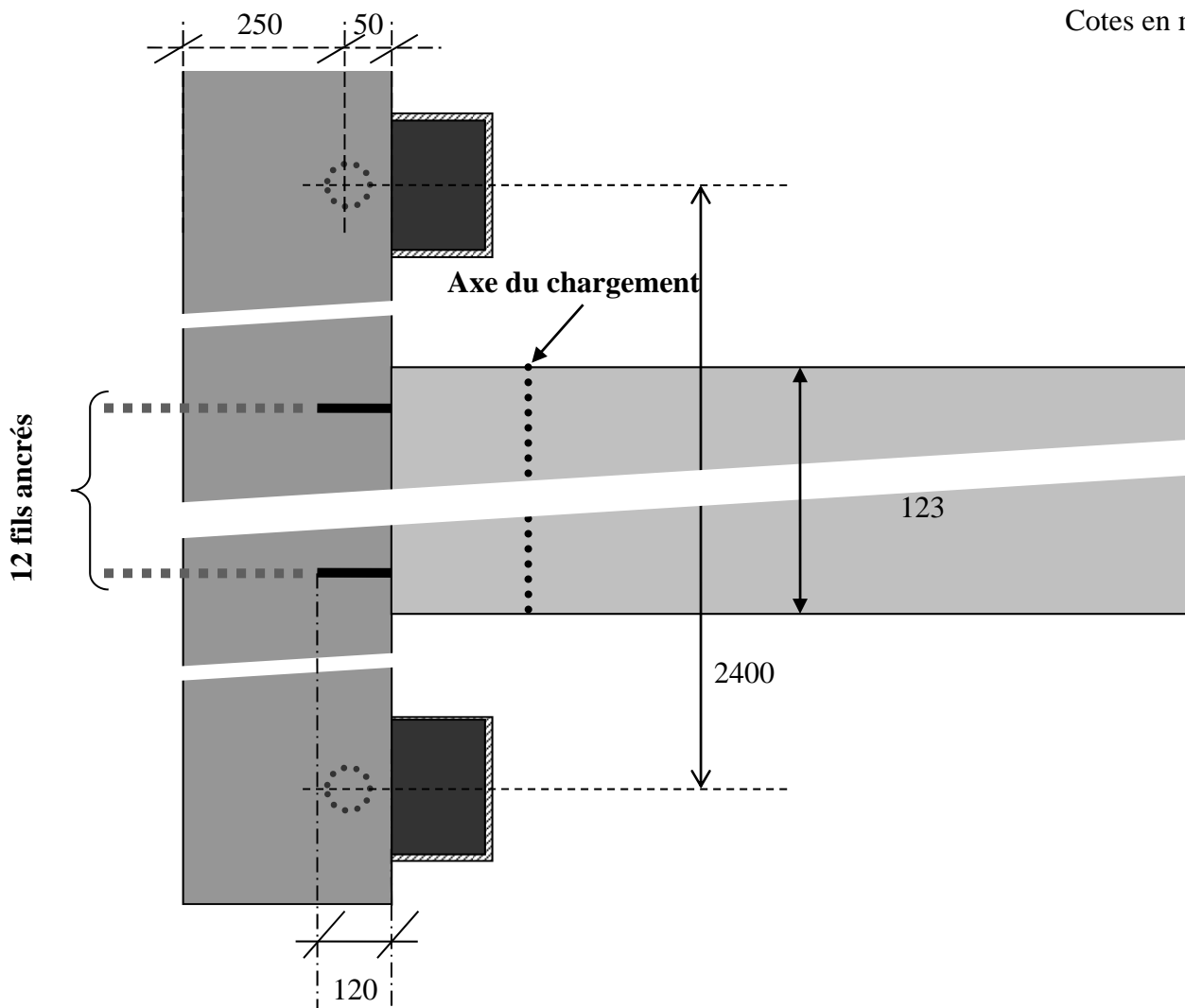


Figure 11 : Vue en plan du montage des essais avec l'appui indirect N° 1 et N° 2

## 4 Déroulement des essais - Instrumentations et mesures

---



Photo 5 : Le chargement est réalisé à l'aide de deux vérins de 500 kN axés à 20 cm du nu intérieur de la poutre, et munis d'un capteur de force. Un ensemble de poutres de transmission assure une répartition uniforme de la charge malgré la flexion transversale de la dalle. Le pilotage des vérins se fait en déplacement.



Photo 6 : Mesure en continu de l'effort au vérin (capteur de force sous les vérins).



Photo 7 : Mesure en continu de la flèche de la dalle à l'aide d'un capteur de déplacement positionné à mi largeur de la prédalle et dans l'axe du chargement.



Photo 8 : Mesure de l'ouverture de fissure entre la prédalle et l'appui par deux capteurs de déplacements horizontaux sur la tranche de l'élément (1 capteur de chaque côté de la prédalle).



Photo 9 : Mesure en continu du glissement des fils par des capteurs de déplacement fixés sur la longueur dépassante des fils.



Photo 10 : Vue des armatures de précontrainte à la traversée de la poutre d'about (avant coulage).  
Mesure en continu des déformations de deux armatures à proximité de l'about de la prédalle (jauges de déformation collées latéralement sur la partie non gainée de deux armatures en extrémité de chaque prédalle).

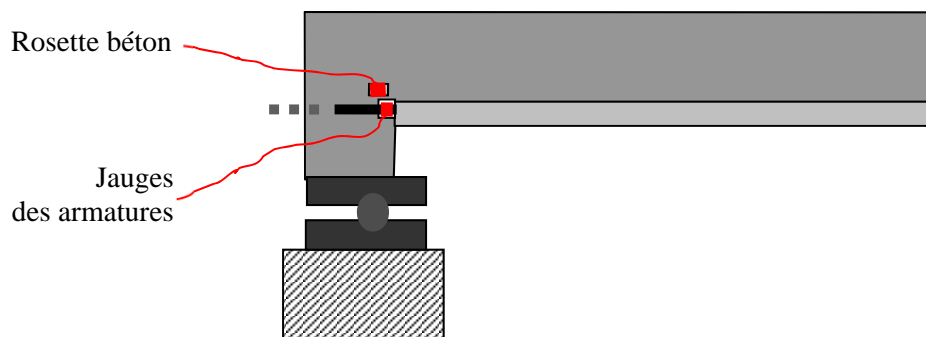
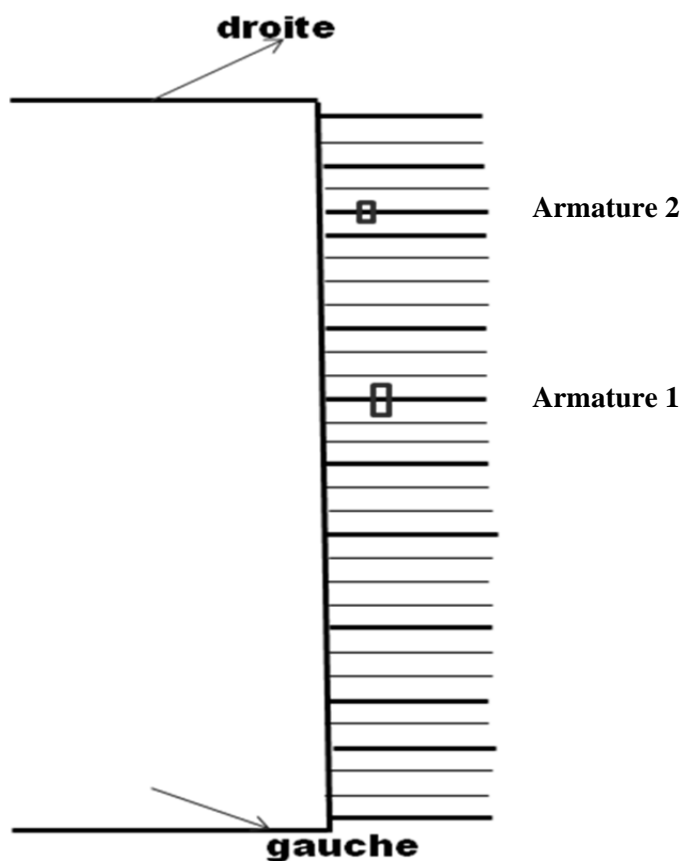


Figure 12 : Mesure en continu des déformations dans le béton de l'appui juste au-dessus des armatures (rosettes horizontales collées sur deux éléments en béton placés à 1 cm de l'extrémité de chaque prédalle au-dessus des deux fils instrumentés).

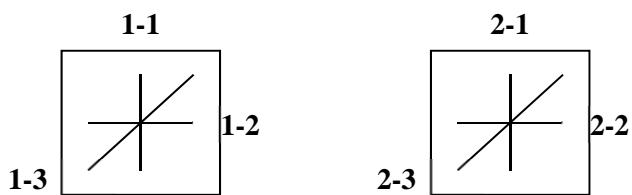


Figure 13 : Légende des rosettes

## 5 Résultats

---

### 5.1 Essai avec l'appui direct

Une rupture brutale a été observée avec apparition de fissures inclinées. Les photographies ci-dessous permettent de visualiser cette rupture.

L'effort maximal mesuré lors de l'essai par les capteurs de force est de 298,8 kN.



Photo 11 : Vue latérale : fissure inclinée sur l'épaisseur du plancher



Photo 12 : Vue de dessous : fissure longitudinale à l'intrados entre la prédalle et le chaînage



Photo 13 : Vue latérale opposée : fissure inclinée sur l'épaisseur du plancher



Photo 14 : Vue de dessous côté opposé : fissure longitudinale à l'intrados entre la prédalle et le chaînage



## 5.2 Essai avec l'appui indirect N° 1

Comme l'indiquent les photographies ci-dessous, une rupture a été observée avec d'un côté, l'apparition d'une fissure inclinée de type effort tranchant et de l'autre côté, une fissure diagonale en sous-face remontant l'épaisseur du plancher. Ce type de rupture n'a pas été observé lors des autres essais. La fissure en diagonale est probablement due aux sollicitations de torsion résultant de la défaillance de l'ancrage sur le côté opposé.

L'effort maximal mesuré lors de l'essai par les capteurs de force est de 198,4 kN.



Photo 15 : Vue latérale : fissure inclinée sur l'épaisseur du plancher



Photo 16 : Vue de dessous : fissure longitudinale à l'intrados entre la prédalle et la poutre ; éclatement du béton de la poutre



Photo 17 : Vue latérale : fissure en sous-face remontant l'épaisseur du plancher



Photo 18 : Vue de dessous : fissure en diagonale en sous-face remontant l'épaisseur du plancher

### 5.3 Essai avec l'appui indirect N°2

Une rupture a été observée avec l'apparition de fissures inclinées de type effort tranchant (voir photographies ci-dessous).

L'effort maximal mesuré par les capteurs de force est de 176,8 kN.



Photo 19 : Vue latérale : fissure inclinée sur l'épaisseur du plancher



Photo 20 : Vue de dessous : fissure longitudinale à l'intrados entre la prédalle et la poutre



Photo 21 : Vue latérale opposée : fissure inclinée sur l'épaisseur du plancher



Photo 22 : Vue de dessous côté opposé : fissure longitudinale à l'intrados entre la prédalle et la poutre



## 5.4 Calcul de l'effort de traction à la rupture dans les 12 Ø 5 ancrés

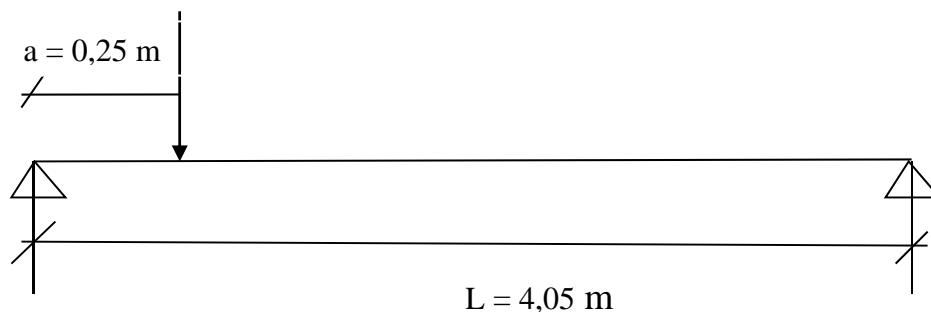


Figure 14 : Schéma statique des essais

Si la charge mesurée à la rupture est  $P_{rupt}$ , l'effort tranchant de calcul vaut

$$V = P_{rupt} \left(1 - \frac{a}{L}\right) + g \frac{L}{2}$$

L'effort de traction repris par les aciers ancrés est

$$F = V = P_{rupt} \left(1 - \frac{a}{L}\right) + g \frac{L}{2}$$

Pour l'essai avec appui direct

$$P_{rupt} = 298,8 \text{ KN}$$

et

$$F = 298,8 * \left(1 - \frac{0,25}{4,05}\right) + 4,8 * \frac{4,05}{2} = 290 \text{ KN}$$

Pour l'essai avec appui indirect N°1

$$P_{rupt} = 198,4 \text{ KN}$$

et

$$F = 198,4 * \left(1 - \frac{0,25}{4,05}\right) + 4,8 * \frac{4,05}{2} = 195,9 \text{ KN}$$

Pour l'essai avec appui indirect N°2

$$P_{rupt} = 176,8 \text{ KN}$$

et

$$F = 176,8 * \left(1 - \frac{0,25}{4,05}\right) + 4,8 * \frac{4,05}{2} = 175,6 \text{ KN}$$

## 6 Synthèse et conclusion

Les tableaux ci-dessous présentent une synthèse des résultats des essais, une comparaison de ceux-ci ainsi qu'un calcul des coefficients de sécurité.

Résultats d'essais			Rapport des efforts de traction	
Effort de traction maximum obtenu pour l'essai avec appui direct (kN)	Effort de traction maximum obtenu pour l'essai avec appui indirect N°1 (kN)	Effort de traction maximum obtenu pour l'essai avec appui indirect N°2 (kN)	entre l'essai avec appui indirect N°1 et l'essai avec appui direct	entre l'essai avec appui indirect N°2 et l'essai avec appui direct
290	195,9	175,6	0,68	0,60

Tableau 3

Référentiel	Longueur réellement ancrée (mètres)	Résultats de calculs pour $\gamma_c = 1,5$			Rapport capacité résistante essai / calcul		
		Longueur d'ancrage de calcul total d'un $\varnothing 5$ (mètres)	Effort d'ancrage d'1 $\varnothing 5$ sur 12 cm (kN)	Effort de traction repris par 1 $\varnothing 5$ de l'essai (kN)	Appui direct	Appui indirect n°1	Appui indirect n°2
Appui direct NF EN 1992-1-1	0,12	0,21	4,69	24,16	5,1	-	-
Appui direct Projet de norme NF DTU 23.4	0,12	0,15	6,69	24,16	3,6	-	-
Appui indirect n°1 NF EN 1992-1-1 OU Projet de norme NF DTU 23.4	0,12	0,22	4,36	16,32	-	3,7	-
Appui indirect n°2 NF EN 1992-1-1 OU Projet de norme NF DTU 23.4	0,12	0,23	4,25	14,63	-	-	3,4

Tableau 4

Référentiel	Longueur réellement ancrée (mètres)	Résultats de calculs pour $\gamma_c = 1$ (rupture probable)			Rapport capacité résistante essai / calcul		
		Longueur d'ancrage de calcul total d'un $\varnothing 5$ (mètres)	Effort d'ancrage d'1 $\varnothing 5$ sur 12 cm (kN)	Effort de traction repris par 1 $\varnothing 5$ de l'essai (kN)	Appui direct	Appui indirect n°1	Appui indirect n°2
Appui direct NF EN 1992-1-1	0,12	0,14	7,03	24,16	3,4	-	-
Appui direct Projet de norme NF DTU 23.4	0,12	0,1	10,04	24,16	2,4	-	-
Appui indirect n°1 NF EN 1992-1-1 OU Projet de norme NF DTU 23.4	0,12	0,15	6,54	16,32	-	2,4	-
Appui indirect n°2 NF EN 1992-1-1 OU Projet de norme NF DTU 23.4	0,12	0,15	6,38	14,63	-	-	2,2

Tableau 5

Nota :

La longueur d'ancrage de calcul total est la longueur d'ancrage de calcul pour une contrainte dans l'armature de précontrainte dépassante de  $300 \eta_{P2}$  soit 420 MPa.

Le tableau 4 ci-avant ( $\gamma_c = 1,5$ ) montre que le rapport entre la résistance d'essai et le calcul est respectivement de 3.7 et 3.4 dans le cas des appuis indirects n°1 et n°2 dimensionnés conformément à la norme NF EN 1992-1-1. Dans le cas de l'appui direct, l'application de la norme NF EN 1992-1-1 conduit à un rapport de 5.1. La prise en compte du coefficient 0.49 (au lieu de 0.70) dans le calcul de la longueur d'ancrage ramène ce rapport à 3.6, proche de celui des appuis indirects. Le constat est identique pour  $\gamma_c = 1$  (tableau 5).

L'application des formules définies dans le projet de norme NF DTU 23.4 pour le calcul de la capacité d'ancrage des planchers à prédalles sur appuis directs fournit un niveau de sécurité équivalent à celui auquel conduit l'application de la norme NF EN 1992-1-1 dans le cas d'appuis indirects. Ceci pourrait s'étendre aux autres types d'armatures.

## Annexe – Dimensionnement

### Calcul de la longueur d'ancrage passif des armatures de précontrainte selon la norme NF EN 1992-1-1

#### a. Longueur d'ancrage de référence

D'après la norme NF EN 1992-1-1 au § 8.10.2.3 (4), la longueur d'ancrage passif de référence des armatures de précontrainte est  $l_{b,rqd} = \frac{\alpha_2 \phi \sigma_{pd}}{f_{bpd}}$

$\alpha_2 = 0,25$  dans le cas des armatures de section circulaire

$\alpha_2 = 0,19$  dans le cas de torons à 3 ou 7 fils.

$\phi$  est le diamètre nominal de l'armature

$\sigma_{pd}$  est la contrainte de traction dans l'armature

$f_{bpd} = \eta_{p2} \eta_1 f_{ctd}$  (voir 8.10.2.3 (2)) est la contrainte d'adhérence

$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} f_{ctk,0,95}}{\gamma_c}$  (voir 3.1.2(8) et 3.1.6(2) P)

$\eta_{p2}$  est un coefficient qui tient compte du type d'armature et des conditions d'adhérence dans la zone d'ancrage.

$\eta_{p2} = 1,4$  dans le cas des fils à empreintes

$\eta_{p2} = 1,2$  dans le cas des torons à 3 ou 7 fils

$\eta_1 = 1$  pour de bonnes conditions d'adhérence

$\eta_1 = 0,7$  dans les autres cas

#### b. Longueur d'ancrage de calcul

$l_{bd} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 l_{b,rqd}$  où  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$  et  $\alpha_5$  sont des coefficients donnés dans le tableau 8.2 de la norme NF EN 1992-1-1.

$\alpha_1$  tient compte de l'effet de la forme des barres, l'enrobage étant supposé correct.

$\alpha_2$  tient compte de l'effet de l'enrobage minimal.

$\alpha_3$  tient compte de l'effet de confinement des armatures transversales.

$\alpha_4$  tient compte de l'influence d'une ou plusieurs barres transversales le long de la longueur d'ancrage de calcul.

$\alpha_5$  tient compte de l'effet de la pression orthogonale au plan de fendage le long de la longueur d'ancrage de calcul.

### Calcul de la longueur d'ancrage passif des armatures de précontrainte selon le projet de norme NF DTU 23.4

Le principe de calcul est le même que celui de l'Eurocode 2 avec les modifications suivantes : la valeur de  $\alpha = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5$  est prise égale à 0,49. La contrainte de traction dans les armatures de précontrainte est limitée à  $\sigma_{pd} = 300 \eta_{p2}$ .

La longueur d'ancrage de calcul selon le projet de norme NF DTU 23.4 est :

$$l_{bd} = \frac{147 \alpha_2 \phi}{\eta_1 f_{ctd}}$$

## Calcul de la longueur d'ancrage passif total des armatures de précontrainte dépassants de la prédalle selon la norme NF EN 1992-1-1 ainsi que l'effort repris par la longueur ancrée

$\alpha_2 = 0,25$  puisqu'il s'agit d'armatures de section circulaire dont le diamètre est 5 mm  
 $\phi = 5$  mm  
 $\sigma_{pd}$  la contrainte de traction dans l'armature à défaut de précision de la norme NF EN 1992-1-1 est prise égale  $300\eta_{P2}$  et vaut 420 MPa =  $300 \cdot 1,4$   
 $\eta_{P2} = 1,4$  dans le cas des fils à empreintes  
 On suppose qu'on est dans de bonnes conditions d'adhérence et on prend  $\eta_1 = 1$   
 $\alpha_{ct}$  est pris égal à 1

Dans la norme NF EN 1992-1-1 au 3.1.2(8) on a  $f_{ct} = 0,9f_{ct,sp}$  où  $f_{ct}$  et  $f_{ct,sp}$  désignent respectivement la résistance en traction directe et la résistance en traction par fendage.

$f_{ct,sp} = \frac{20P}{\pi ah}$  où P est l'effort mesuré à la rupture.  
 a est le diamètre du cylindre et vaut 16 cm  
 h est la hauteur du cylindre et vaut 32 cm

### a. Calcul de la longueur d'ancrage de référence

- Essai avec l'appui direct

$$P = \frac{234,6 + 246,1 + 233,1}{3} = 237,93 \text{ kN}$$

$f_{ct,sp} = 2,96 \text{ MPa}$  et  $f_{ct} = f_{ctm} = 2,66 \text{ MPa}$  à 44 jours .

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} \cdot 0,7 \cdot f_{ctm}}{\gamma_c} \text{ et } f_{ctd} = 1,24 \text{ MPa avec } \gamma_c = 1,5 \text{ et } f_{ctd} = 1,86 \text{ MPa avec } \gamma_c = 1$$

$f_{bpd} = \eta_{P2} \eta_1 f_{ctd}$  et  $f_{bpd} = 1,74 \text{ MPa avec } \gamma_c = 1,5$  et  $f_{bpd} = 2,6 \text{ MPa avec } \gamma_c = 1$

$$l_{b,rqd} = \frac{\alpha_2 \phi \sigma_{pd}}{f_{bpd}} = \frac{0,25 \cdot 5 \cdot 10^{-3} \cdot 420}{1,74} = 0,30 \text{ m avec } \gamma_c = 1,5 \text{ et } 0,2 \text{ m avec } \gamma_c = 1$$

- Essai avec l'appui indirect N°1

$$P = \frac{207,2 + 236,1 + 227,6}{3} = 223,63 \text{ KN}$$

$f_{ct,sp} = 2,78 \text{ MPa}$  et  $f_{ct} = f_{ctm} = 2,50 \text{ MPa}$  à 29 jours.

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} \cdot 0,7 \cdot f_{ctm}}{\gamma_c}$$

et  $f_{ctd} = 1,16 \text{ MPa avec } \gamma_c = 1,5$  et  $f_{ctd} = 1,75 \text{ MPa avec } \gamma_c = 1$

$f_{bpd} = \eta_{P2} \eta_1 f_{ctd}$  et  $f_{bpd} = 1,62 \text{ MPa avec } \gamma_c = 1,5$  et  $f_{bpd} = 2,44 \text{ MPa avec } \gamma_c = 1$

$$l_{b,rqd} = \frac{\alpha_2 \phi \sigma_{pd}}{f_{bpd}} = \frac{0,25 \cdot 5 \cdot 10^{-3} \cdot 420}{1,62} = 0,32 \text{ m avec } \gamma_c = 1,5 \text{ et } 0,22 \text{ m avec } \gamma_c = 1$$

- Essai avec l'appui indirect N°2

$$P = \frac{216,3+213,1+219,8}{3} = 216,4 \text{ kN}$$

$$f_{ct,sp} = 2,69 \text{ MPa} \text{ et } f_{ct} = f_{ctm} = 2,42 \text{ MPa} \text{ à } 41 \text{ jours.}$$

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} \cdot 0,7 \cdot f_{ctm}}{\gamma_c} \text{ et } f_{ctd} = 1,13 \text{ MPa avec } \gamma_c = 1,5 \text{ et } f_{ctd} = 1,7 \text{ MPa avec } \gamma_c = 1$$

$$\eta_{P2} \eta_1 f_{ctd} \text{ et } f_{bpd} = 1,58 \text{ MPa avec } \gamma_c = 1,5 \text{ et } f_{bpd} = 2,37 \text{ MPa avec } \gamma_c = 1$$

$$l_{b,rqd} = \frac{\alpha_2 \phi \sigma_{pd}}{f_{bpd}} = \frac{0,25 \cdot 510^{-3} \cdot 420}{1,58} = 0,33 \text{ m avec } \gamma_c = 1,5 \text{ et } 0,22 \text{ m avec } \gamma_c = 1$$

Nota : Il n'a pas été tenu compte du facteur de réduction  $k_t = 0,85$  de  $\alpha_{ct}$  tel que le mentionne l'article 3.1.2(4) de l'Eurocode 2 pour les bétons de plus de 28 jours.

## b. Détermination des coefficients $\alpha_1$ à $\alpha_5$

- Pour chacun des essais, le fil est tendu et ancré droit donc  $\alpha_1 = 1$  ;
- Considérant une armature près du bord de la prédalle, les valeurs minimales pour les armatures dépassantes sont les suivantes :

$c_{1min} = 21 \text{ mm}$  ;  $c_{min} = 120 \text{ mm}$  ;  $a_{min} = 106 \text{ mm}$  ce qui implique que  $c_d \geq 21 \text{ mm}$  et donc

$$\alpha_2 = 1 - 0,15 \frac{(c_d - \phi)}{\phi} < 0,52 \text{ et puisque } \alpha_2 \text{ vaut au moins } 0,7 \text{ alors } \alpha_2 = 0,7 ;$$

- Aucune armature transversale non soudée ne confine les fils donc  $\alpha_3 = 1$  ;
- Aucune armature transversale soudée ne confine les fils, nous ne prenons donc pas en compte  $\alpha_4$ .

Nous ne pouvons évaluer la pression transversale  $p$  le long de  $l_{bd}$ , toutefois  $\alpha_2 \alpha_3 \alpha_5 \geq 0,7$  donc quelle que soit la valeur de  $\alpha_5$  on prend  $\alpha_2 \alpha_3 \alpha_5 = 0,7$ .

## c. Longueur d'ancrage passif total

- Essai avec l'appui direct

$$l_{bd} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 l_{b,rqd} = 0,7 l_{b,rqd} = 0,21 \text{ m avec } \gamma_c = 1,5 \text{ et } 0,14 \text{ m avec } \gamma_c = 1$$

- Essai avec l'appui indirect N°1

$$l_{bd} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 l_{b,rqd} = 0,7 l_{b,rqd} = 0,22 \text{ m avec } \gamma_c = 1,5 \text{ et } 0,15 \text{ m avec } \gamma_c = 1$$

- Essai avec l'appui indirect N°2

$$l_{bd} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 l_{b,rqd} = 0,7 l_{b,rqd} = 0,23 \text{ m avec } \gamma_c = 1,5 \text{ et } 0,15 \text{ m avec } \gamma_c = 1$$

## d. Effort de traction repris par les 12 cm ancrés

- Essai avec l'appui direct

$$F = \frac{\pi \phi f_{bpd} l a}{\alpha} = \frac{3,14 * 5 \cdot 10^{-3} * 1740 * 0,12}{0,7} = 4,69 \text{ KN avec } \gamma_c = 1,5 \text{ et } 7,03 \text{ KN avec } \gamma_c = 1$$

- Essai avec appui indirect N°1

$$F = \frac{\pi \phi f_{bpd} l a}{\alpha} = \frac{3,14 * 5 \cdot 10^{-3} * 1620 * 0,12}{0,7} = 4,36 \text{ KN avec } \gamma_c = 1,5 \text{ et } 6,54 \text{ KN avec } \gamma_c = 1$$

- Essai avec appui indirect N°2

$$F = \frac{\pi \phi f_{bpd} l a}{\alpha} = \frac{3,14 * 5 \cdot 10^{-3} * 1580 * 0,12}{0,7} = 4,25 \text{ KN avec } \gamma_c = 1,5 \text{ et } 6,38 \text{ KN avec } \gamma_c = 1$$

Tableau récapitulatif

Valeurs calculées	Appui direct	Appui indirect N°1	Appui indirect N°2
$f_{ctm}$ (MPa)	2,66	2,50	2,42
$f_{bpd}$ (MPa) avec $\gamma_c = 1,5$	1,74	1,62	1,58
$f_{bpd}$ (MPa) avec $\gamma_c = 1$	2,6	2,44	2,37
$l_{b,rq\dot{a}}$ (m) avec $\gamma_c = 1,5$	0,30	0,32	0,33
$l_{b,rq\dot{a}}$ (m) avec $\gamma_c = 1$	0,20	0,22	0,22
$l_{bd}$ (m) avec $\gamma_c = 1,5$	0,21	0,22	0,23
$l_{bd}$ (m) avec $\gamma_c = 1$	0,14	0,15	0,15
Effort de traction (KN) repris par les 12 cm ancrés avec $\gamma_c = 1,5$	4,69	4,36	4,25
Effort de traction (KN) repris par les 12 cm ancrés avec $\gamma_c = 1$	7,03	6,54	6,38

## Calcul de la longueur d'ancrage passif total des armatures de précontrainte dépassantes de la prédalle selon le projet de norme NF DTU 23.4 ainsi que l'effort repris par la longueur ancrée

### a. Longueur d'ancrage passif total

- Essai avec appui direct

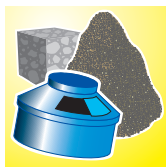
$$l_{bd} = \frac{147a_2\phi}{\eta_1 f_{ctd}} = \frac{147 * 0,25 * 5.10^{-3}}{1 * 1,24} = 0,15 \text{ m avec } \gamma_c = 1,5 \text{ et } 0,1 \text{ m avec } \gamma_c = 1$$

### b. Effort de traction repris par les 12 cm ancrés

- Essai avec appui direct

$$F = \frac{\pi\phi f_{bpd} l a}{\alpha} = \frac{3,14 * 5.10^{-3} * 1740 * 0,12}{0,49} = 6,69 \text{ KN avec } \gamma_c = 1,5 \text{ et } 10,04 \text{ KN avec } \gamma_c = 1$$





**Matériau**



**Qualité  
Sécurité  
Environnement**



**Process**



**Produits  
Systèmes**



**Développement  
durable**

[www.cerib.com](http://www.cerib.com)



Centre d'Études et de Recherches de l'Industrie du Béton  
BP 30059 – Épernon Cedex – France • Tél. 02 37 18 48 00 – Fax 02 37 83 67 39  
E-mail [cerib@cerib.com](mailto:cerib@cerib.com) – [www.cerib.com](http://www.cerib.com)