

**Zeitschrift:** IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH  
Kongressbericht

**Band:** 9 (1972)

**Artikel:** Développement des recherches concernant les constructions mixtes  
exécutées par le C.R.I.F. à l'Université de Liège

**Autor:** Janss, J.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-9550>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 15.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

**Développement des recherches concernant les constructions mixtes  
exécutées par le C.R.I.F. à l'Université de Liège**

Entwicklung der Forschung über Verbundkonstruktionen am C.R.I.F.  
der Universität Lüttich

Development in Research Regarding Mixed Structures carried out by  
the C.R.I.F. at the University of Liège

**J. JANSS**

Ingénieur

Chef de Travaux au C.R.I.F.

Université de Liège, Belgique

Depuis de nombreuses années, le Centre de Recherches Scientifiques et Techniques de l'Industrie des Fabrications Métalliques (C.R.I.F.) s'intéresse tout particulièrement aux constructions mixtes.

Le présent compte-rendu relate les principaux résultats des recherches exécutées dernièrement par le C.R.I.F. dans les laboratoires de l'Institut du Génie Civil de l'Université de LIEGE (Professeurs BAUS et MASSONNET).

## I. LES POUTRES MIXTES ACIER-BETON LEGER

Le béton léger présente un intérêt de plus en plus croissant dans le domaine de la construction en béton grâce à ses propriétés intéressantes de légèreté, d'isolation et à ses qualités mécaniques satisfaisantes.

Dans les constructions mixtes, ce matériau nouveau a également d'importantes possibilités d'avenir et c'est dans l'intention de mieux connaître ce produit mixte que le C.R.I.F. a entrepris quelques essais. Ces essais sont de trois types :

- 1) essai du type "push-out"
- 2) et 3) essai statique de courte ou longue durée sur poutre mixte bi-appuyée

### A. Le béton léger

Le granulat choisi pour la fabrication du béton léger est l'argile expansée<sub>3</sub> (Argex) utilisée et produite en BELGIQUE. La composition pour 1 m<sup>3</sup> de béton est la suivante :

Argex S 3/16	900 l
Argex S 0/3	250 l
Sable 0/2	200 l
Ciment PHR	400 kg

Ce béton a comme propriétés mécaniques moyennes :

- Résistance à la compression sur cube (20 cm de côté) après 28 jours : 410 kg/cm<sup>2</sup>.

- Résistance à la rupture sur prisme (16 x 16 x 50 cm) après 28 jours :  $360 \text{ kg/cm}^2$
- Module d'élasticité en compression pour une contrainte de  $100 \text{ kg/cm}^2$  :  $140000 \text{ kg/cm}^2$
- Poids volumique :  $1700 \text{ kg/m}^3$

#### B. Les essais du type "Push-out"

Les essais du type "push-out" (figure 1) donnent des résultats très satisfaisants concernant le comportement du béton léger au droit des connecteurs.

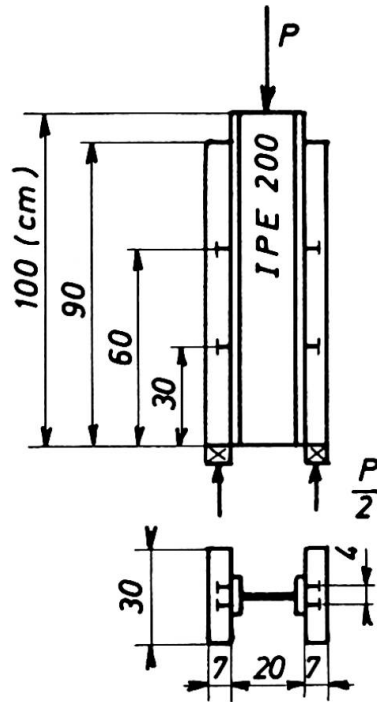


Figure 1

(connecteurs : goujons  
soudés -  $h = 50 \text{ mm}$   
 $d = 12,7 \text{ mm}$  )

Les formules classiques de dimensionnement ultime des goujons connecteurs adoptées pour le béton à granulats normaux donnent des résultats similaires dans le cas du béton léger.

Ces formules ont pour expression :

$$Q_u = 80 d^2 \sqrt{R'_{br}} \quad \text{si} \quad \frac{h}{d} \geq 4,2$$

$$Q_u = 20 h d \sqrt{R'_{br}} \quad \text{si} \quad \frac{h}{d} < 4,2$$

avec  $Q_u$ , l'effort rasant par goujon connecteur provoquant un glissement résiduel permanent égal à 0,08 mm

$R'_{br}$ , la résistance à la compression du béton sur cube

$h$  et  $d$ , respectivement la hauteur et le diamètre du goujon connecteur

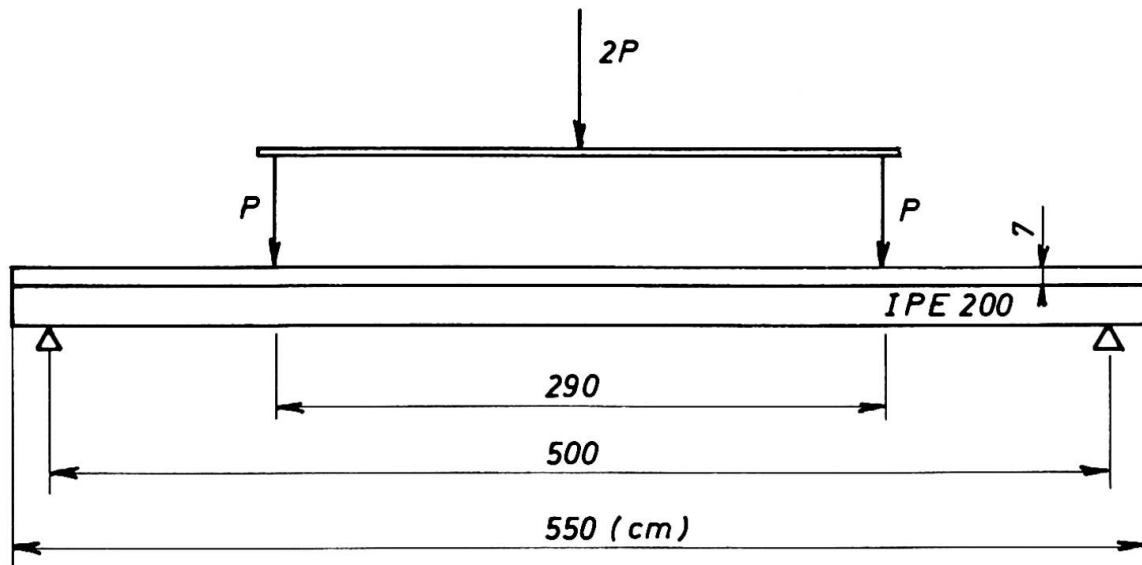
C. Essai statique de courte durée sur poutre bi-appuyée

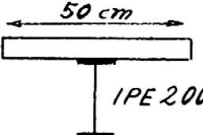
Figure 2

Les essais de flexion de courte durée (figure 2) montrent que les poutres mixtes avec béton léger ont un comportement comparable à celui des poutres mixtes avec béton à granulats normaux :

- la loi de HOOKE reste valable dans un domaine suffisant ;
- le dimensionnement dans le domaine élastique peut s'effectuer à partir de la valeur du coefficient d'équivalence  $m$  égal au rapport des modules d'élasticité de l'acier et du béton léger ;
- le calcul au stade ultime des poutres mixtes fléchies s'effectue d'une manière simple en envisageant l'état plastique complet des deux matériaux acier et béton léger à l'exclusion du béton tendu (tableau I)

TABLEAU I

COMPARAISON DES CHARGES ULTIMES MESUREES ET CALCULEES DE POUTRES MIXTES AVEC BETON LEGER

Type de poutre	Numéro de la poutre	Charge ultime calculée $P_u$ (kg)	Charge ultime mesurée $P_r$ (kg)	$\frac{P_r}{P_u}$
 connecteurs: idem IB	1	9135	9500	1,040
	2	9219	9690	1,051
	3	9352	9440	1,009
	4	9225	9642	1,045

### D. Essai statique de longue durée sur poutre bi-appuyée

Les essais de longue durée sont exécutés dans des dispositifs semblables à celui schématisé à la figure 2 et situés dans une salle thermostatique (20° C et 60 % d'humidité relative). Les charges P sont maintenues constantes grâce à un dispositif spécial (1). Les mesures des déformations et des flèches additionnelles dues au fluage du béton léger ont permis de déterminer la valeur du coefficient de fluage  $\psi$  après 18 mois de mise en charge. Ces valeurs sont comprises entre 3,2 et 5 soit de 30 à 60 % supérieures aux valeurs de  $\psi$  proposées pour les poutres mixtes avec béton à agrégats normaux utilisées dans les mêmes conditions.

## II. REDUCTION DU NOMBRE DE CONNECTEURS PAR L'EMPLOI DE TOLE A

### ADHERENCE RENFORCEE

Lors du calcul de l'exécution des poutres mixtes, une attention toute particulière est donnée à la liaison acier-béton. Lorsque la dalle est bétonnée sur la semelle des poutrelles en acier, l'adhérence naturelle entre l'acier et le béton n'est pas prise en considération. En effet, cette liaison peut être diminuée ou même annulée par différents facteurs tels que retrait, chocs, sollicitations dynamiques, différence de température, etc... Dès lors, la totalité de l'effort rasant existant à la liaison acier-béton doit être reprise par des connecteurs. Toutefois, le prix des connecteurs représente un pourcentage important du coût de fabrication que l'on souhaite réduire.

Les quelques essais qui sont effectués ont pour but de déterminer jusqu'à quel point il est possible de réduire le nombre de connecteurs en ayant recours à des surfaces de contact acier-béton à plus haute adhérence, par analogie aux barres à béton à adhérence renforcée.

Des essais statiques du type "push-out" (figure 1) sont exécutés sur des poutres mixtes dont le profil métallique (analogue à l'IPE 200) est composé par soudure ; les semelles de contact acier-béton sont des tôles striées classiques (stries en losange, hauteur et largeur de la strie : 2 et 6 mm) et la liaison est assurée par deux goujons connecteurs soudés sur chaque semelle (h = 50 mm, d = 12,7 mm).

Lors des essais, on a mesuré le glissement relatif entre l'acier et le béton à leur jonction en fonction de l'effort extérieur appliqué ainsi que le glissement résiduel pour le même effort. Pour chaque essai, on a relevé l'effort provoquant un glissement résiduel conventionnel de 0,08 mm.

Au tableau II, on peut comparer cet effort à l'effort rasant provoquant le même glissement résiduel dans le cas de poutres avec semelles lisses et calculé à partir des formules classiques

$$(Q_u = 20 \text{ hd} \sqrt{R'_{br}} - \text{voir paragraphe I-B})$$

TABLEAU II

COMPARAISON DES EFFORTS RASANTS PROVOQUANT UN GLISSEMENT RESIDUEL  
DE 0,08 mm

Numéro de l'essai	Effort en kg provoquant un glissement résiduel de 0,08 mm		$\frac{Q_r}{Q_c}$
	Effort mesuré semelles striées $Q_r$	Effort calculé semelles lisses $Q_c$	
1	20.800	9.260	2,25
2	21.600	10.525	2,05
3	18.700	9.040	2,07
4	18.800	10.185	1,85
5	23.000	8.860	2,60
6	21.600	9.220	2,34
7	18.000	8.320	2,15
8	17.600	8.470	2,08

Pour les huit essais, le rapport de ces deux valeurs est compris entre 1,85 et 2,60 avec une valeur moyenne égale à 2,17.

A la figure 3, on peut voir l'évolution des glissement résiduels à la liaison acier-béton pour la pièce d'essai 3 ainsi que la courbe de glissements résiduels obtenue à partir d'un essai du même type avec une poutre à semelles lisses et un béton de même qualité.

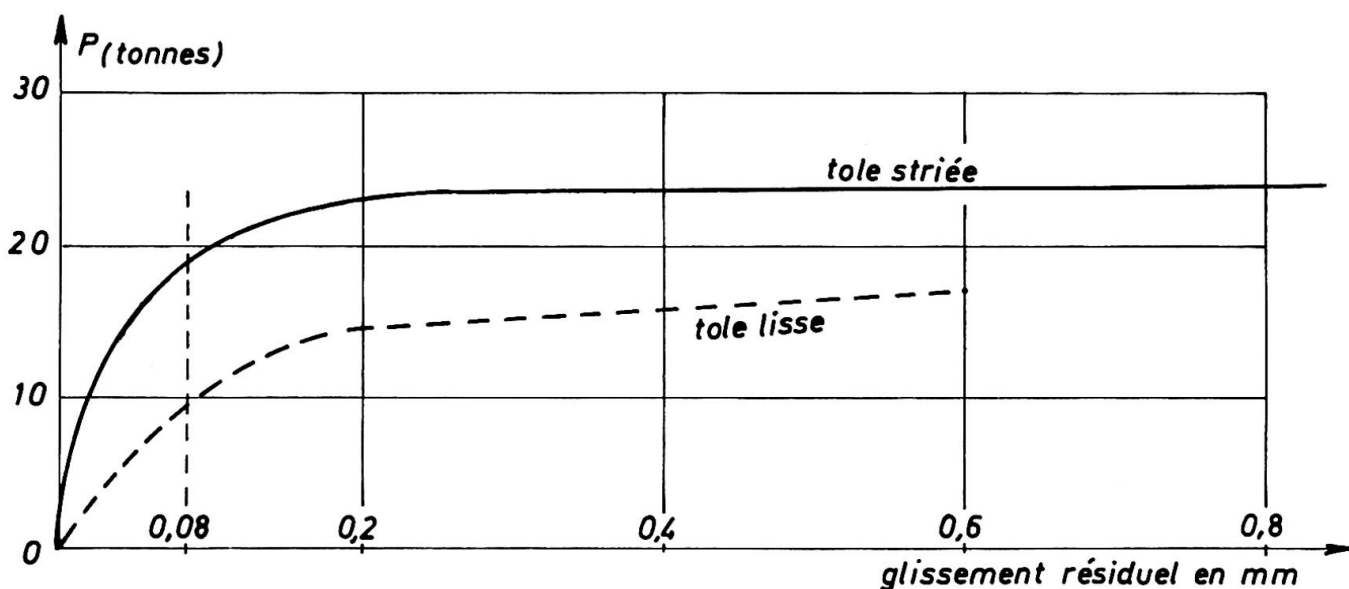


Figure 3

Ces premiers résultats sont très intéressants et semblent indiquer que l'emploi de semelles de contact acier-béton en tôle à adhérence renforcée permet de diminuer de moitié le nombre de connecteurs.

Des essais de contrôle sur poutres ainsi que quelques essais dynamiques sont encore nécessaires pour confirmer cette intéressante constatation.

Si, comme il est à prévoir, ces derniers essais sont concluants, il y aura lieu, dans la phase suivante, de chercher la meilleure forme de stries et même d'examiner la possibilité de laminage de poutres en double té (éventuellement dissymétrique) dont une semelle présenterait une face striée.

### III. LE COMPORTEMENT AU FLAMBEMENT DE COLONNES CONSTITUEES DE TUBES EN ACIER REMPLIS DE BETON

L'étude théorique de ces colonnes est basée d'une part sur le comportement de l'acier soumis à un état de contrainte mono- ou biaxial, et d'autre part, sur le comportement du béton soumis à un état de contrainte mono- ou triaxial.

Pour définir le comportement de l'acier soumis à un état de contrainte monoaxial, on se base sur la courbe de flambement ( $\bar{N}$ ,  $\bar{\lambda}$ ) adoptée pour les tubes par la Convention Européenne de la Construction Métallique (C.E.C.M.) (2). Le critère de plastification de VON MISES est utilisé pour étudier le comportement de l'acier soumis à un état de contrainte biaxial.

La courbe contrainte-déformation du béton dans l'état de contrainte monoaxial est représentée par la relation

$$\frac{\sigma}{\sigma_m} = \frac{\epsilon}{\epsilon_m} \left( 2 - \frac{\epsilon}{\epsilon_m} \right)$$

le sommet de la courbe ayant comme coordonnées ( $\sigma_m$ ,  $\epsilon_m$ ) et  $\sigma_m$  étant la résistance à la compression sur cylindre du béton. Enfin, en ce qui concerne le béton soumis à un état de contrainte triaxial, on a adopté le critère suivant tiré d'une étude importante relative aux états de contraintes du béton (3)

$$(\sigma_{b,1} - \sigma_{b,r})^2 - R_c (\sigma_{b,1} + 2\sigma_{b,r}) = 0$$

avec  $\sigma_{b,1}$  et  $\sigma_{b,r}$  respectivement la contrainte longitudinale et radiale du béton et  $R_c$  la contrainte de rupture du béton en compression.

Pour les colonnes élancées dont le rapport  $\frac{l}{d}$  de la longueur au diamètre est supérieur à 15, la détermination des charges ultimes est basée sur l'état de contrainte monoaxial de l'acier et du béton. Pour des valeurs de  $\frac{l}{d}$  inférieures à 15 - ce qui est fréquent - l'effet du fretage se fait sentir et il y a lieu de prendre en considération l'état de contrainte triaxial du béton et biaxial de l'acier.

Les hypothèses générales formulées lors de l'étude théorique sont les suivantes :

1. le tube d'acier et le noyau de béton sont homogènes et isotropes ;
2. il y a interaction intégrale longitudinale entre l'acier et le béton ;
3. il y a interaction intégrale circonférencielle entre le tube et le noyau à partir du moment où la dilatation latérale du béton atteint celle de l'acier ;

4. la courbe contrainte-déformation du béton est identique en compression simple et en flexion, le béton ne possède aucune résistance en traction ;
5. les contraintes circonférencielles sont constantes sur l'épaisseur de la paroi d'acier.

L'effet des excentricités des charges est pris en considération par l'emploi de la formule d'interaction

$$\frac{P}{P_u} + \frac{M}{M_u} = 1 \quad (3)$$

L'étude théorique (4) prédit d'une manière précise le comportement à la ruine de colonnes tubulaires remplies de béton chargées centriquement ou non, quel que soit leur élancement. La confrontation de la théorie avec les résultats expérimentaux est très satisfaisante ; la valeur moyenne, pour 23 essais sur tubes circulaires de diamètre maximal égal à 220 mm, du rapport de la charge ultime mesurée à la charge ultime calculée, est égale à 0,979 avec un écart standard de 0,054.

Afin de faciliter au maximum le calcul de ce type de colonne, qui normalement se fait par itération à l'aide d'une calculatrice électronique, on a établi à l'aide d'une table traçante, quelques abaques non dimensionnels (figure 4) permettant de déterminer avec

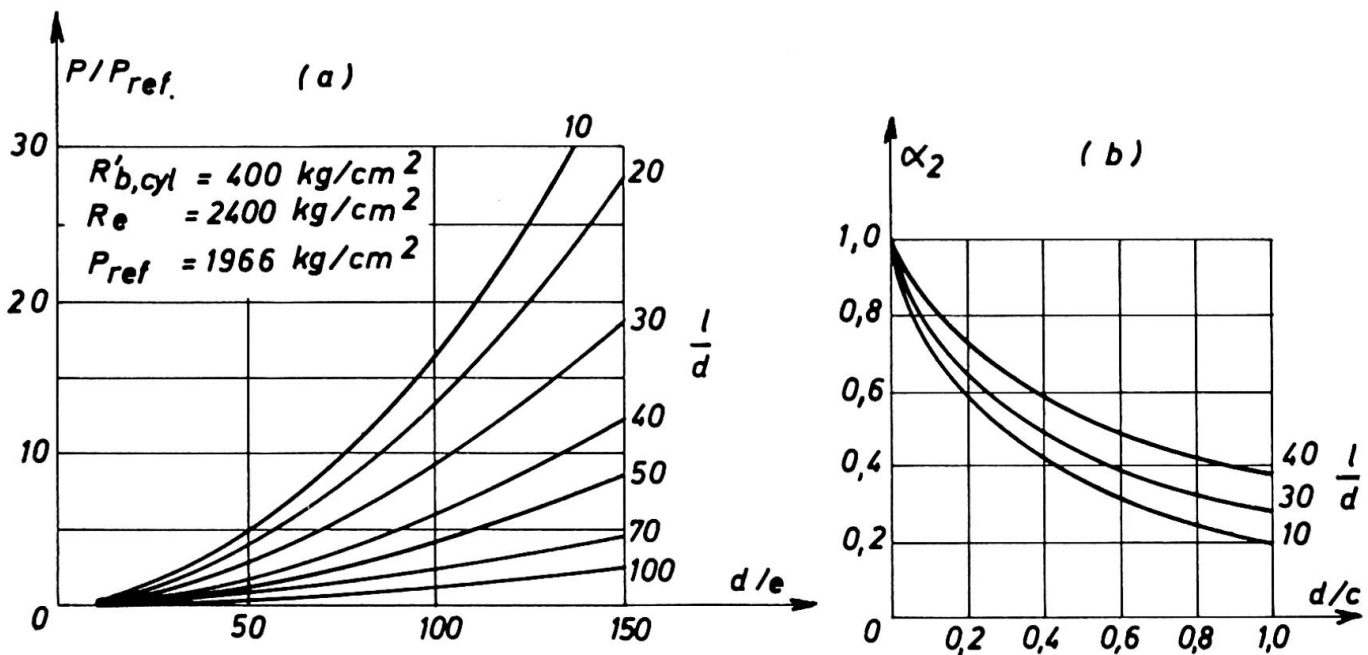


Figure 4

une très bonne précision, la charge ultime des colonnes quels que soient les élancements, les caractéristiques mécaniques ou géométriques de l'acier et du béton et les excentricités des charges (c).

Pour des valeurs données des caractéristiques mécaniques, du diamètre (d) et de l'épaisseur (e) du tube, on lit sur l'abaque du type (a) :  $P/P_{ref}$

- Si la charge est centrée  $P_{ult} = P_{ref} \times \frac{P}{P_{ref}} \times e^2$

- Si la charge a une excentricité (c) l'abaque (b) donne  $\alpha$  et



$$P_{ult} = P_{réf} \times \frac{P}{P_{réf}} \times e^2 \times \alpha$$

#### BIBLIOGRAPHIE

- (1) J. JANSSE, G. VIATOUR  
Mesures des propriétés globales des poutres mixtes fléchies  
Publication MT-31 - novembre 1967 - CRIF (FABRIMETAL BRUXELLES)
- (2) H. BEER, G. SCHULTZ  
Bases nouvelles des courbes de flambement  
Construction Métallique n° 3 - 1970
- (3) TADEUSZ, GODYCKI et CWIRKO  
Scinanie w Zelbecie  
Arkady Warscawa 1969
- (4) F. CAMPUS, Ch. MASSONNET  
Comptes rendus de recherches  
IRSIA - avril 1956
- (5) P. GUIAUX, J. JANSSE  
Comportement au flambement de colonnes constituées de tubes en  
acier remplis de béton  
Publication MT-65 - novembre 1970 - CRIF (FABRIMETAL BRUXELLES)

#### RESUME

Cette communication relate les principaux résultats des récents essais sur éléments mixtes exécutés par le C.R.I.F. à l'Université de LIEGE.

- essais statiques de courte ou longue durée sur poutres mixtes avec béton léger
- diminution sensible du nombre de connecteurs à la liaison acier-béton par l'emploi de tôle à adhérence renforcée
- établissement d'abaques simples permettant le calcul rapide de la charge ultime des colonnes tubulaires en acier remplies de béton quelles que soient les caractéristiques géométriques ou mécaniques.