



DIMENSIONNEMENT ET MISE EN ŒUVRE DES MASSIFS DE CANDÉLABRES PRÉFABRIQUÉS EN BÉTON

RECOMMANDATIONS
PROFESSIONNELLES





ÉDITO

CE CARNET PRÉSENTE SOUS FORME SYNTHÉTIQUE ET ILLUSTRÉE DES RECOMMANDATIONS CONCERNANT LE DIMENSIONNEMENT ET LA MISE EN ŒUVRE DES MASSIFS DE CANDÉLABRES.

IL PERMET À L'ENSEMBLE DES ACTEURS DE DISPOSER D'UN DOCUMENT DE RÉFÉRENCE RELATIF À CES PRODUITS.

A DESTINATION DES CONCEPTEURS, LA PREMIÈRE PARTIE ABORDE NOTAMMENT LA VÉRIFICATION DE LA STABILITÉ DES MASSIFS, MAIS ÉGALEMENT LA PROBLÉMATIQUE DE DIMENSIONNEMENT DE L'ANCRAGE DES CANDÉLABRES QU'ILS SUPPORTENT.

LA DEUXIÈME PARTIE, DESTINÉE AU PERSONNEL DE CHANTIER, ABORDE TOUTES LES PHASES LIÉES À LA MISE EN ŒUVRE DES MASSIFS.

SOMMAIRE

1.	PRODUITS CONCERNÉS PAR LES RECOMMANDATIONS	4
2.	DIMENSIONNEMENT DES MASSIFS DE CANDÉLABRES	5
2.1.	VÉRIFICATION DE LA STABILITÉ DES MASSIFS VIS-À-VIS DU RENVERSEMENT	5
2.2.	VÉRIFICATION DE LA RÉSISTANCE À L'ADHÉRENCE DES TIGES D'ANCRAGE	7
3.	MISE EN ŒUVRE DES MASSIFS DE CANDÉLABRES	9
3.1.	MANUTENTION ET STOCKAGE/COLISAGE	9
3.2.	EXÉCUTION DE LA FOUILLE	10
3.3.	MISE EN PLACE DES MASSIFS DE CANDÉLABRES	12
3.4.	REMBLAIEMENT ET COMPACTAGE	13
3.5.	ANCRAGE DES CANDÉLABRES SUR LES MASSIFS	14
3.6.	PRÉCONISATIONS DE CONTRÔLE EN FIN DE CHANTIER	16
	BIBLIOGRAPHIE	17

1. PRODUITS CONCERNÉS PAR LES RECOMMANDATIONS

Les recommandations présentées dans ce document concernent les massifs enterrés destinés à maintenir et assurer la stabilité de candélabres d'éclairage.

Ces massifs, manutentionnables en toute sécurité (anneaux ou ancrages de levage par exemple), permettent la mise en œuvre de candélabres jusqu'à 18 m de hauteur suivant étude spécifique.

Les massifs de candélabres ont des dimensions de l'ordre de :

- Dimensions de la base du massif :
 $B = 400$ à 1200 mm ;
- Hauteur : $h = 400$ à $2\ 500$ mm.

Ces produits sont munis de 4 tiges d'ancrage dont les entraxes ($e = 200, 300$ ou 400 mm) permettent de s'accommoder aux plaques d'appui des candélabres du marché.

L'entreprise est responsable du candélabre choisi et de la vérification de son adéquation avec les données du projet.

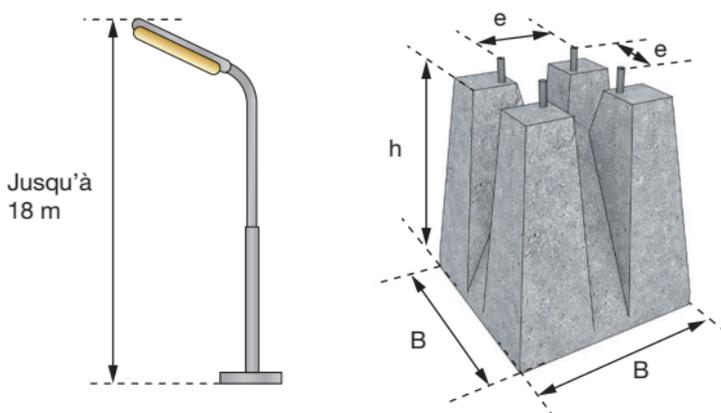


Figure 1 - Montages concernés par les recommandations

2. DIMENSIONNEMENT DES MASSIFS

Le dimensionnement des massifs de candélabres porte sur deux vérifications :

- La stabilité du massif lui-même ;
- L'adhérence des tiges d'ancrage.

2.1. VÉRIFICATION DE LA STABILITÉ DES MASSIFS VIS-À-VIS DU RENVERSEMENT

Afin de vérifier la stabilité des massifs vis-à-vis du renversement, il est nécessaire de disposer des sollicitations induites par les candélabres en leur base : moment de flexion, effort tranchant et effort vertical.

Ces données sont fournies par les fabricants de candélabres. Elles sont déterminées à l'Etat Limite Ultime conformément aux prescriptions des normes NF EN 40-3-1 [1] et 40-3-3 [2].

La stabilité des massifs vis-à-vis du renversement est ensuite déterminée au moyen de la méthode d'Andrée et Norsa. Cette méthode considère comme hypothèses un comportement élastique des terres et une rotation du massif autour de son arête inférieure. Elle prend en compte la pression verticale sur les terres ainsi que les pressions latérales. Le massif est assimilé à un parallélépipède.

La formule d'Andrée et Norsa permet de calculer le moment de stabilité du massif :

$$M_s = \left[\frac{N.C}{2} - \frac{2.N^2}{3.C.q} \right] + \left[\frac{80}{6561} \cdot \frac{C^2.q^2.h^3}{N} \right]$$

Où :

- M_S : moment de stabilité (N.m)
- N : poids du candélabre et du massif (N)
- C : coté du massif (valeur minimale) (m)
- h : hauteur du massif (m)
- q : pression admissible en fond de fouille (portance en Pa)

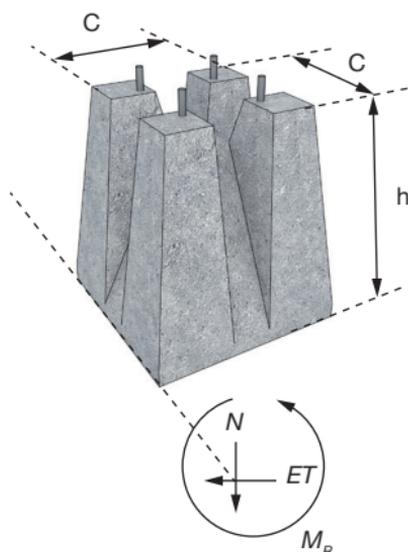


Figure 2 - Paramétrisation du massif pour la vérification au moyen de la formule d'Andrée et Norsa

Le moment sollicitant total à la base du massif est donné par :

$$M_R = M_F + ET \cdot h$$

Où :

- M_R : moment sollicitant total à la base du massif (N.m)
- M_F : moment sollicitant à la base du candélabre, au centre de l'assemblage
- ET : effort tranchant induit à la base du candélabre (N)
- h : hauteur du massif (m)

La stabilité du massif vis-à-vis du renversement est vérifiée si :

$$\frac{M_S}{M_R} > 1$$

Dans le cas contraire, il convient de sélectionner d'autres dimensions de massif.

2.2. VÉRIFICATION DE LA RÉSISTANCE À L'ADHÉRENCE DES TIGES D'ANCRAGE

La vérification de la résistance à l'adhérence des tiges d'ancrage peut être menée conformément aux « recommandations sur le calcul des structures de mâts d'éclairage de grands espaces » du Centre Technique Industriel de la Construction Métallique [4].

Elle consiste à vérifier que la longueur d'ancrage de la tige est suffisante pour résister à l'effort de traction sollicitant à l'aide de la formule suivante :

$$F_{a,Rd} = \pi \cdot \varnothing \cdot L_b \cdot f_{bd} \geq F_{t,Sd}$$

Où

$F_{a,Rd}$: résistance à la traction de la tige (N)

$F_{t,Sd}$: effort de traction dans la tige d'ancrage (N),
fourni par les fabricants de candélabres

\varnothing : diamètre de la tige d'ancrage (mm)

f_{bd} : valeur de calcul de la contrainte ultime
d'adhérence (MPa) donnée en fonction de la
nature de la tige :

- Rond lisse :

$$f_{bd} = \frac{0,36 \sqrt{f_{ck}}}{\gamma_c}$$

Où :

f_{ck} : valeur caractéristique de la résistance à la
compression du béton (MPa)

γ_c : coefficient partiel de sécurité sur le béton
($\gamma_c = 1,5$)

- Barre à haute adhérence :

$$f_{bd} = \frac{2,25 \cdot f_{ctk\ 0,05}}{\gamma_c}$$

Avec $f_{ctk\ 0,05} = 0,7 f_{ctm}$ et $f_{ctm} = 0,3 \cdot f_{ck}^{2/3}$

Où :

f_{ck} : valeur caractéristique de la résistance à la compression du béton (MPa)

f_{ctm} : valeur moyenne de la résistance à la traction du béton (MPa)

$f_{ctk\ 0,05}$: valeur inférieure de la résistance caractéristique à la traction du béton (fractile de 5 %)

γ_c : coefficient partiel de sécurité sur le béton ($\gamma_c = 1,5$)

L_b : Longueur d'ancrage de calcul de la tige. La valeur de la longueur d'ancrage de calcul varie selon la géométrie des tiges et peut être évaluée selon les recommandations du CTICM [4].

3. MISE EN ŒUVRE DES MASSIFS DE CANDÉLABRES

3.1. MANUTENTION ET STOCKAGE

Les massifs de candélabres sont généralement stockés sur palette en usine.

Le déchargement et la manutention sur chantier s'effectuent généralement au moyen d'un anneau de levage dimensionné conformément aux préconisations du Fascicule 65 du CCTG [3]. Tout autre moyen de levage permettant d'assurer la manutention des massifs de candélabres en sécurité est utilisable (par exemple ancrages de levage).

Il convient alors de veiller à respecter :

- le nombre de points de levage ;
- l'angle maximal au sommet des élingues (et éventuellement la longueur minimale des brins) ;
- la CMU (Charge Maximale d'Utilisation) des dispositifs de levage.

On pourra se référer aux fiches de prévention de l'OPPBTP concernant les conditions d'utilisation des différents dispositifs de levage.



Figure 3 - Exemple d'implantation d'anneau de levage sur massif



NOTE

Lors de la manutention des massifs de candélabres, il est interdit de passer sous la charge.

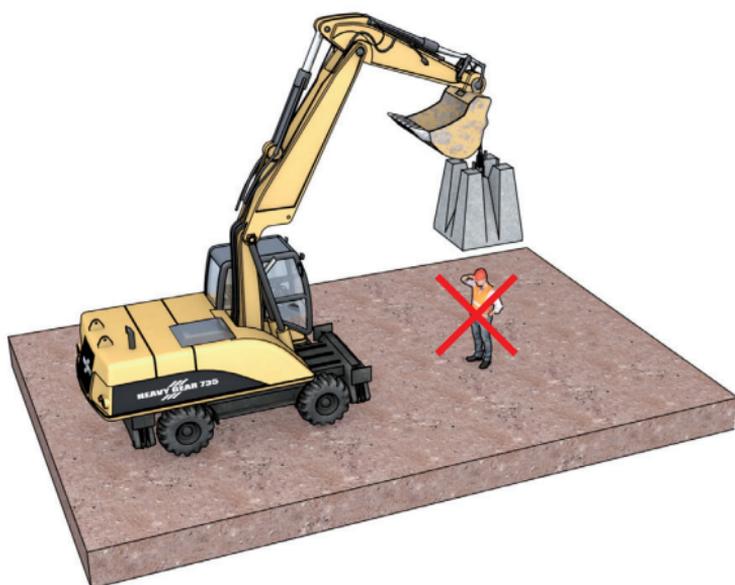


Figure 4 - Interdiction de passer sous la charge lors de sa manutention

Sur chantier, les produits doivent être stockés à plat sur une aire propre et plane afin de ne pas les détériorer. En particulier, ils ne doivent pas être posés sur des pierres ou sur un sol rocheux.

L'entreprise doit prendre toute disposition nécessaire pour assurer le transport des massifs avec précaution, au moyen d'engins adaptés (pelle mécanique, tracto-pelle, mini-pelle...) et équipés pour la fonction de levage (notamment vérification périodique semestrielle obligatoire de l'engin).

3.2. EXÉCUTION DE LA FOUILLE

Le choix du matériel est fonction du terrain rencontré, des contraintes d'exploitation et de l'occupation du sous-sol. Les matériels couramment utilisés sont les engins traditionnels des travaux urbains : pelle mécanique, tractopelle, mini-pelle.

Les dimensions de la fouille doivent être appropriées aux dimensions extérieures des massifs pour permettre l'utilisation des moyens de compactage dans de bonnes conditions. Une surface de fouille équivalente à la surface au sol du massif augmentée de 40 cm de chaque côté est généralement considérée comme suffisante pour garantir un bon compactage du remblai. La fouille réalisée doit permettre de remblayer sur les 4 côtés du massif de candélabre.

L'entreprise de pose doit veiller à régler la profondeur du fond de fouille de façon à ce que le niveau fini du massif corresponde aux exigences du projet.

Il est recommandé de disposer d'un fond de fouille présentant une portance minimale q_{\min} de 2 bars (200 000 Pa). Il est nécessaire de s'assurer de la portance du sol pour disposer des données nécessaires à l'évaluation de la stabilité du massif au renversement (la portance latérale est considérée comme égale à la portance en fond de fouille dans la formule d'Andrée et Norsa). Une étude géotechnique peut ainsi être nécessaire pour déterminer la portance du fond de fouille (essais au pénétromètre).

Si le fond de fouille n'a pas une portance, ou une régularité suffisante pour permettre d'assurer la stabilité, l'entreprise informe le maître d'œuvre et lui propose les mesures nécessaires pour validation (substitution, renforcement géotextile ...).

La base du massif doit être hors gel. Cette hauteur peut être déterminée au moyen de la norme NF P 94-261 « Justification des ouvrages géotechniques - Normes d'appli-

cation nationale de l'Eurocode 7 - Fondations superficielles » et son amendement n° 1 [5] [6]. Une profondeur de l'ordre de 0,5 m est généralement suffisante.

Il est également recommandé de mettre en œuvre le massif en dehors de la nappe phréatique.



NOTE

Dans tous les cas, il convient d'assurer la sécurité du personnel vis-à-vis du risque d'instabilité des parois de la fouille (mise en place d'un blindage, talutage). En particulier, les fouilles en tranchées de plus de 1,30 mètre de profondeur et d'une largeur égale ou inférieure aux deux tiers de la profondeur doivent être, lorsque leurs parois sont verticales ou sensiblement verticales, blindées, étrépillonnées ou étagées (Article R 4534-24 du code du travail).

3.3. MISE EN PLACE DES MASSIFS DE CANDÉLABRES

Assise :

Un lit de sable d'épaisseur minimale de 10 cm doit être réalisé sur l'ensemble de la surface de la fouille exécutée pour le massif afin d'en assurer la mise à niveau. Il doit être exempt de point dur.

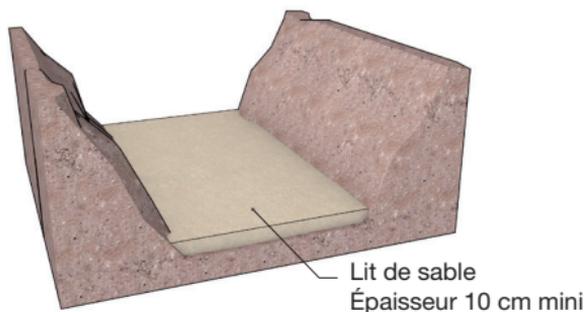


Figure 6 - Mise en œuvre de lit de sable sur le fond de fouille de portance minimale 2 bars

Positionnement du massif :

Le massif doit être positionné en respectant une distance minimale entre sa paroi et celle de la fouille de 40 cm comme indiqué en § 3.2. (Exécution de la fouille) et de manière telle que les fourreaux débouchent à la base du candélabre sans risque de cisaillement.

Les massifs de candélabres sont généralement munis d'échancrures facilitant le positionnement des fourreaux et la mise à la terre.

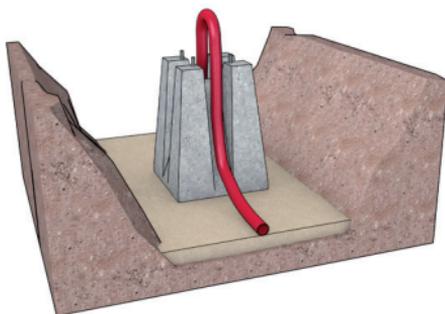


Figure 7 - Mise en place des fourreaux dans les réservations des massifs

Drainage du candélabre :

La mise en place d'un drain à la base du candélabre est essentielle car la présence d'eaux stagnantes ou ruisse-lantes en pied de mât est susceptible d'engendrer une corrosion du candélabre.

Ce drain permet l'évacuation efficace des eaux à l'exté-rieur de l'ouvrage ou à travers le sol sous-jacent si la per-méabilité le permet (par exemple, perméabilité supérieure à 10^{-5} m/s (sable très fin)).

3.4. REMBLAIEMENT ET COMPACTAGE

L'exécution des remblais de part et d'autre du massif de candélabre doit être effectuée au moyen de matériaux agréés par le maître d'œuvre.

Une grave de granulométrie 0/31,5 peut, par exemple, être utilisée.

Le compactage de ces remblais est effectué symétriquement et par couches successives d'épaisseur maximale 30 cm environ au moyen d'engins de compactage appropriés (pilonneuse, plaque vibrante...).

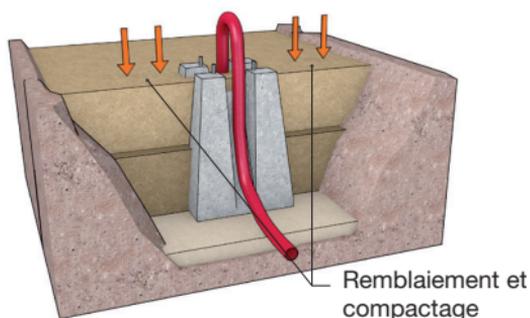
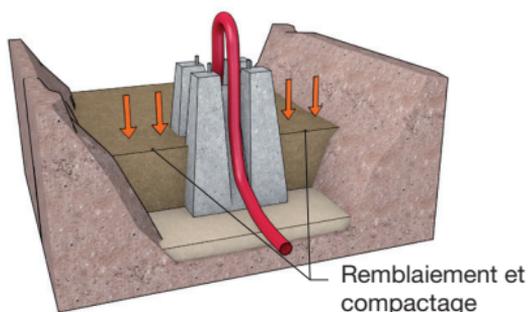
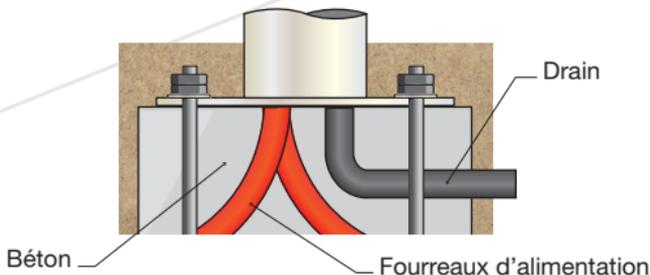


Figure 8 - Mise en œuvre du remblai et compactage par couches

3.5. ANCRAGE DES CANDÉLABRES SUR LES MASSIFS

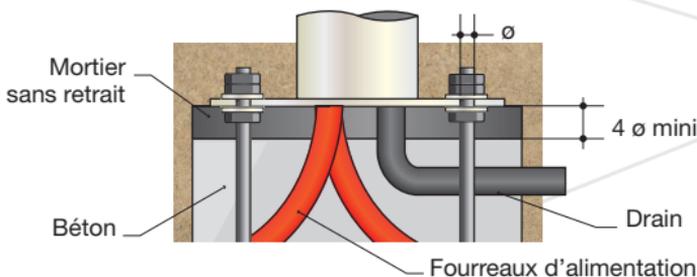
L'ancrage des candélabres sur les massifs peut être réalisé de trois manières :

Montage « standard » :



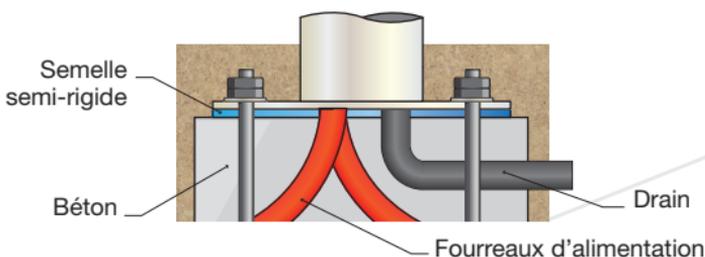
Ce montage est recommandé par l'AFE « si la fondation en béton est raisonnablement lisse et plate » [7]. Ce montage est donc particulièrement adapté pour les massifs préfabriqués.

Montage « sur contre-écrou » ou « sur pilotis » :



Un mortier sans retrait est mis en œuvre par bourrage sous la plaque d'appui sur une épaisseur inférieure à 4 fois le diamètre des tiges d'ancrage. La limite maximale de hauteur sous la plaque d'appui permet de s'affranchir du risque de flambement des tiges d'ancrages selon le Centre Technique de la Construction Métallique [4].

Montage « sur système semi-rigide » :



Le système semi-rigide peut être constitué d'une semelle en caoutchouc synthétique permettant de régler la verticalité du fût du candélabre.

En l'absence de précision dans le CCTP, le choix du mode de pose appartient à l'entreprise.

Pour l'ensemble de ces montages d'essai, des rondelles conformes aux normes NF EN ISO 7093-1 [8] ou NF EN ISO 7093-2 [9] doivent être placées entre les écrous et la plaque d'appui.

Il est recommandé à l'entreprise de protéger les têtes des tiges et écrous par des capuchons remplis de graisse.

3.6. PRÉCONISATIONS DE CONTRÔLE EN FIN DE CHANTIER

Les préconisations de contrôle en fin de chantier portent sur :

- La perpendicularité du mat par rapport au sol (au moyen d'un niveau par exemple) ;
- Le compactage du sol autour du massif (vérification de l'épaisseur des couches au pénétromètre selon les normes NF P 94-063 [10] ou NF P 94-105 [11]) ;
- Le serrage des écrous dans le cas de spécifications du fabricant du candélabre.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] NF EN 40-3-1
Candélabres d'éclairage public – Partie 3-1 :
Conception et vérification – spécification pour
charges caractéristiques
Janvier 2014
- [2] NF EN 40-3-3
Candélabres d'éclairage public – Partie 3-3 :
Conception et vérification – vérification par le calcul
Janvier 2014
- [3] Fascicule n° 65 du CCTG
Exécution des ouvrages de génie civil en béton armé
ou précontraint
Décembre 2017
- [4] CTICM
Recommandations sur le calcul des structures de
mâts d'éclairage de grands espaces
Décembre 2000
- [5] NF P 94-261
Justification des ouvrages géotechniques – Normes
d'application nationale de l'Eurocode 7 – Fondations
superficielles
Juin 2013
- [6] NF P 94-261/A1
Justification des ouvrages géotechniques – Normes
d'application nationale de l'Eurocode 7 – Fondations
superficielles – Amendement 1
Février 2017

- [7] AFE
Candélabres pour l'éclairage public – Acier ou aluminium, droit ou à crose : Norme EN 40 et marquage CE – Obligations réglementaires et recommandations de pose
Septembre/Octobre 2006
- [8] NF EN ISO 7093-1
Rondelles plates – Série large – Partie 1 : grade A
Octobre 2000
- [9] NF EN ISO 7093-2
Rondelles plates – Série large – Partie 2 : grade C
Octobre 2000
- [10] NF P 94-063
Sols : reconnaissance et essais – Contrôle de la qualité du compactage – Méthode au pénétromètre dynamique à énergie constante – Principe et méthode d'étalonnage des pénétrodensitographes – Exploitation des résultats – Interprétation
Juin 2011
- [11] NF P 94-105
Sols : Reconnaissance et essais – Contrôle de la qualité du compactage – Méthode au pénétromètre dynamique à énergie variable – Principe et méthode d'étalonnage du pénétromètre – Exploitation des résultats – Interprétation
Avril 2012



LES
**SMART
SYSTÈMES**
EN BÉTON

SMART SYSTÈMES EN BÉTON est le nouveau programme de valorisation de l'industrie des produits préfabriqués en béton et de l'intelligence embarquée dans chacun de ses systèmes. Cette intelligence est le fruit d'une expérience passionnée, engagée et collective, qui s'enrichit de chaque nouvel enjeu émergent pour les professionnels de la construction.

Les **SMART SYSTÈMES EN BÉTON**, c'est une industrie humaine et responsable, un matériau intelligent au cœur de la vie et au service de tous, des systèmes intelligents pour vous, qui construisez le futur de nos territoires et cadres de vie.

www.fib.org

CERIB
Expertise concrète



FÉDÉRATION DE
L'INDUSTRIE DU BÉTON