

ROYAUME DU MAROC  
-----  
OFFICE MAROCAIN DE LA PROPRIETE (19)  
INDUSTRIELLE ET COMMERCIALE  
-----



المملكة المغربية  
-----  
المكتب المغربي  
للملكية الصناعية والتجارية  
-----

## (12) FASCICULE DE BREVET

(11) N° de publication :  
**MA 30191 B1**

(51) Cl. internationale :  
**B28B 19/00**

(43) Date de publication :  
**02.02.2009**

---

(21) N° Dépôt :  
**30057**

(22) Date de Dépôt :  
**10.07.2007**

(71) Demandeur(s) :  
**OMNIUM MAGHREBIN DES CONDUITES D'EAU ( OMCE), RESIDENCE KAYS  
IMMEUBLE D N°1 AGDAL RABAT (MA)**

(72) Inventeur(s) :  
**JEAN CHARLES MANES ; BENLAMAALAM MOHAMED**

(74) Mandataire :  
**MOHAMED BENLAMAALAM**

---

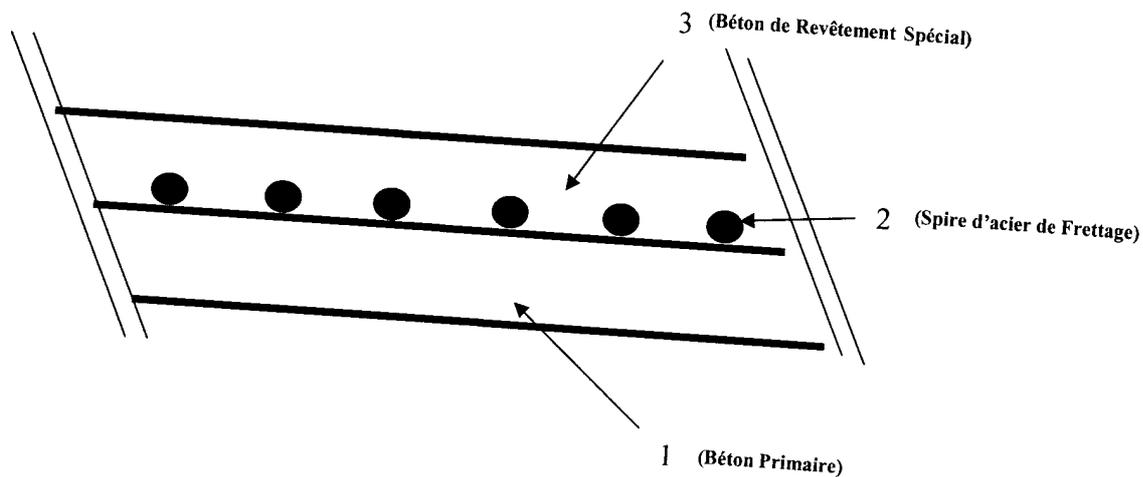
(54) Titre : **PROCEDE DE FABRICATION DE TUYAUX BETON PRECONTRAIT AVEC  
REVETEMENT HAUTE DURABILITE**

(57) Abrégé : Procédé de fabrication de tuyaux en béton armé précontraint avec revêtement haute durabilité HD® La présente invention concerne un procédé de fabrication de conduite en béton précontraint ayant une durée de vie minimale de 50 ans dans des sols agressifs dont la teneur en ions Chlorures peut aller jusqu'à 1%.

**Procédé de fabrication de tuyaux en béton armé précontraint avec revêtement haute durabilité HD®**

**Abrégé :**

La présente invention concerne un procédé de fabrication de conduite en béton précontraint ayant une durée de vie minimale de 50 ans dans des sols agressifs dont la teneur en ions Chlorures peut aller jusqu'à 1%.



**Figure 1 : COUPE LONGITUDINALE D'UN TUYAU HD**

**Procédé de fabrication de tuyaux en béton armé précontraint avec revêtement haute durabilité HD®**

La présente invention concerne un procédé de fabrication de conduite en béton précontraint ayant une durée de vie minimale de 50 ans dans des sols agressifs dont la teneur en ions Chlorures peut aller jusqu'à 1%.

**Etat de la technique :**

Les conduites en béton armé précontraint sont réalisées avec une précontrainte longitudinale et transversale, les armatures de frettage transversal sont potentiellement vulnérables à la corrosion au contact avec un sol agressif. La protection de ces armatures s'effectue couramment, comme on le sait, au moyen d'une protection active avec soutirage d'un courant dans les armatures abaissant ainsi, le potentiel de l'acier pour le garder dans le domaine de la passivité ou par une protection galvanique par la mise en place dans la tranchée d'anodes sacrificielles (Zinc, Magnésium, Titane,...) qui vont se consommer laissant l'acier en bon état. Les deux solutions nécessitent un contrôle périodique pendant toute la durée de vie de la canalisation, ce qui se traduit par des coûts de maintenance importants et un risque d'absence ou d'erreur de contrôle sur une très longue durée.

La présente invention a notamment pour objet de concevoir et réaliser une conduite auto protégée garantissant une durée de vie minimale de 50 ans sans aucune protection extérieure dans des milieux dont la teneur en chlorures est inférieure ou égale à 1%.

**La solution HD®**

**Conception :**

Le processus de corrosion est la conséquence de la pénétration d'agents agressif dans le béton qui conduisent à l'amorçage et au développement du processus de corrosion des armatures de frettage.

La pénétration des chlorures est reconnu comme étant le principal agent agressif dans le phénomène de corrosion.

L'approche du Guide AFGC Edition 2004 fondée sur la **notion d'indicateurs de durabilité** consiste à dimensionner l'ouvrage pour une durée de vie donnée dans des remblais dont l'agressivité est initialement identifiée par sa teneur en ions chlorure.

Ainsi, l'invention dans la conception consiste à formuler un béton de revêtement spécial des armatures de frettage avec la dite approche pour une durée de vie de 50 ans.

Les deux principaux indicateurs retenus sont :

- 1/ Le coefficient de diffusion apparent (indicateur principal) qui caractérise la cinétique ionique des chlorures dans le béton de revêtement pour atteindre les armatures
- 2/ La porosité accessible à l'eau (indicateur de substitution) qui traduit le volume des pores dans la couche de revêtement évaluant ainsi, la compacité du béton et par conséquent sa résistance aux transferts ioniques en phase liquide.

Le modèle de calcul de la durée de vie est basé sur le profil de concentration des ions chlorures dans le temps et en fonction de la profondeur. Il est donné par la deuxième loi de Fick :

$$C(x, t) = C_s * [1 - \text{erf}(x / 2 * \sqrt{D \cdot a \cdot t})] \quad (1)$$

- $C_s$  : concentration en chlorures à la surface du béton
  - $C(x, t)$  : concentration en chlorures au temps ( t ) et à une distance x de la surface
  - D : Coefficient de diffusion apparent
  - A : Correctif du coefficient de diffusion dans le temps
  - fonction erreur :  $\text{erf}(c) = 2/\pi^{1/2} * \int_{[0, c]} \exp(-u^2) du$
- La durée de vie est alors définie quand la concentration en chlorures dépasse le seuil de 0.4% du poids du ciment.

Calcul de la Durée de vie :

**HYPOTHESES GENERALES**

1° Concentration en surface :

$$[Cl^-] = 0.4\% \text{ du poids de Ciment}$$

2° Le Coefficient de diffusion varie dans le temps avec la Formule :

$$D(t) = D_0 * A(t) \text{ où}$$

$$A(t) = (t_0 / t)^a$$

$t_0$  = l'instant de référence de mesure du coefficient de diffusion apparent  
 $D_0$  = coefficient de diffusion à  $t_0$

$a = 0.6$  pour le béton OMCE ( BHP dont le dosage  $\geq 400 \text{ Kg/m}^3$ )  
 3° Les valeurs de la base d'extrapolation sont reprises du Guide AFGC Edition 2004 et qui correspondent à la tendance moyenne des quatre modèles cités dans le guide à savoir :

- Approche déterministe
- Approche probabiliste DURACRETE
- Modèle LERM à Coefficient de diffusion constant
- Modèle LERM à Coefficient de diffusion variable

**RESOLUTION**

L'extrapolation des différentes solutions (D, x, t) de l'équation de Fick **(1)** à partir d'une solution de base ( $D_1, x_1, t_1$ ) se fait en fixant :  
 $x^2 / D * t = \text{Constante}$  . Ce qui nous donne systématiquement la même concentration des  $Cl^-$  à l'épaisseur x, pendant un temps t et avec un béton ayant une diffusion D.

La résolution de cette équation nous donne :

$$D_1 / D * (x / x_1)^2 * (t_1 / t)^{0.4} = 1$$

**(2)**

Le tableau ci-dessous récapitule les valeurs trouvées en résolvant l'équation **(2)** avec un environnement dont la teneur en chlorures est égale à 1% ( $C_s = 10 \text{ g/l}$ ) :

<b>Solution de Base (AFGC)</b>	x1	50.00	mm
	t1	30.00	ans
	D1	43.00	(10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s)
<b>Solution extrapolée</b>	<b>x</b>	<b>14.00</b>	mm
	<b>t</b>	<b>50.00</b>	ans
	<b>D</b>	<b>2.75</b>	(10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s)

Par Conséquent, l'identification du profil des chlorures pour une épaisseur effective au dessus des aciers de frettage de **14 mm** pour un sol à 1% de Cl- nous conduit aux valeurs cible des deux indicateurs de durabilité pour avoir une durée de vie de 50 ans :

Les valeurs limites cibles des tuyaux de la gamme HD® que nous avons retenues et qui garantissent une durée de vie minimale de 50ans et une bonne marge de sécurité, sont les suivantes :

- Coefficient de diffusion apparent  $\leq 2,75 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2 / \text{s}$
- Porosité accessible à l'eau  $\leq 11\%$

Ces valeurs correspondent à un enrobage effectif minimum de 14 mm. Pour tenir compte de l'épaisseur du fil d'acier et des tolérances de mise en œuvre, l'épaisseur réelle du revêtement spécial devient **24mm**. Ceci confère au tuyau une très large sécurité vis-à-vis de la corrosion.

La résistance à la compression du béton de revêtement capable d'atteindre les performances ci-dessus, se trouve aussi nettement améliorée et dépasse les 700 bars. Ainsi, nous obtenons une meilleure garantie contre les agressions mécaniques : pioche, godets de pelle, et aléas de mise en œuvre.

**Mise en Œuvre industrielle :**

- le tuyau fait appel à un béton de type BHP en utilisant un haut réducteur d'eau afin de pouvoir assurer la rhéologie nécessaire à sa mise en place :
  - dosage en ciment  $\geq 400 \text{ Kg / m}^3$
  - dosage Réducteur d'eau = 1%
- la fréquence et l'amplitude de la vibration dans la machine est alternée d'un vibreur à un autre afin d'éviter les résonances qui empêchent l'accrochage du béton de revêtement sur le fut primaire
- Le revêtement du tuyau se fera en deux couches, la barre de la revetisseuse est installée à 10mm pour la première couche
- Le nombre de tour de revêtement sera de quatre tour avec une vitesse de rotation minimale de 25 cm / mn
- Epaisseur d'enrobage du revêtement spécial est 24 mm

Le tuyau est utilisé dans tous les terrains agressif (teneur en chlorures maximale= 1%) sans aucune protection extérieure pour une durée de vie minimale de 50 ans garantie.



## REVENDEICATIONS

- 1.** Procédé de fabrication de tuyaux en béton armé précontraint avec revêtement haute durabilité HD® comprenant un Béton Primaire (1), des Spires d'acier de Frettage (2) caractérisé par les étapes suivantes :
- Formuler le béton de revêtement et l'épaisseur de revêtement dans une approche prédictive de durée de vie en prenant comme indicateur de durabilité : le coefficient de diffusion apparent des ions chlorure
  - Fixer les valeurs cible du coefficient de diffusion & de l'épaisseur d'enrobage des spires de frettage en extrapolant la solution de base définie dans le Guide AFGC Edition 2004 et qui correspond à la tendance moyenne des quatre modèles cités dans le guide :
    - $D_{\text{apparent}} = < 2,75 \cdot 10^{-12}$
    - Epaisseur d'enrobage = 14 mm
    - Durée de vie minimale = 50 Ans
    - Formule d'extrapolation :
 
$$D_1 / D \cdot (x / x_1)^2 \cdot (t_1 / t)^{0.4} = 1$$
 D : Coefficient de diffusion apparent  
 x : Epaisseur d'enrobage au dessus des aciers  
 t : Durée de vie
  - Sécuriser l'épaisseur de revêtement en tenant compte des tolérances de la fabrication & du diamètre de l'acier, soit : 24 mm
- 2.** Procédé de fabrication de tuyaux en béton armé précontraint selon la revendication 1 , caractérisé en ce qu'on utilise un béton à très faible rapport E/C (0.33) en faisant appel à un haut réducteur d'eau avec un dosage de 1% et un dosage en ciment de 400 Kg/m<sup>3</sup>
- 3.** Procédé de fabrication de tuyaux en béton armé précontraint selon les revendications 1 et 2, caractérisé en ce qu'on utilise un adjuvant compatible du point de vue teneur en ions chlorure
- 4.** Procédé de fabrication de tuyaux en béton armé précontraint selon les revendications précédentes caractérisé en ce que la fréquence et l'amplitude de la vibration dans la machine de revêtement est alternée

d'un vibreur à un autre afin d'éviter les résonances qui empêchent l'accrochage du béton de revêtement sur le fut primaire

- 5.** Procédé de fabrication de tuyaux en béton armé précontraint selon les revendications précédentes caractérisé en ce que Le revêtement du tuyau se fera en deux couches, la barre de la machine de revêtement est installée à 10mm pour la première couche.
- 6.** Tuyau en béton armé précontraint avec revêtement haute durabilité HD® caractérisé en ce que la protection des armatures de frettage dure au moins 50 ans dans des sols dont la teneur en ions chlorures ne dépasse pas 1%.

1/1

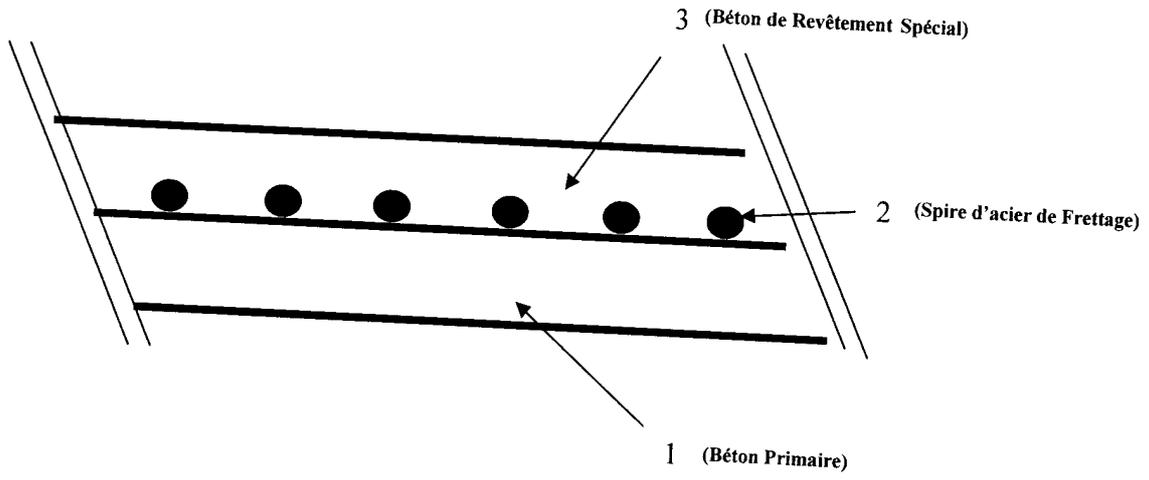


Figure 1 : COUPE LONGITUDINALE D'UN TUYAU HD