



AIPCN Section française



# Journées Méditerranéennes de l'AIPCN et Assises du port du futur du Cerema 25 au 27 octobre 2023 à Sete France

**Chaussées portuaires durables : utiliser moins pour plus longtemps grâce aux fibres métalliques**

**Chiara Minoretti**

**Bekaert**



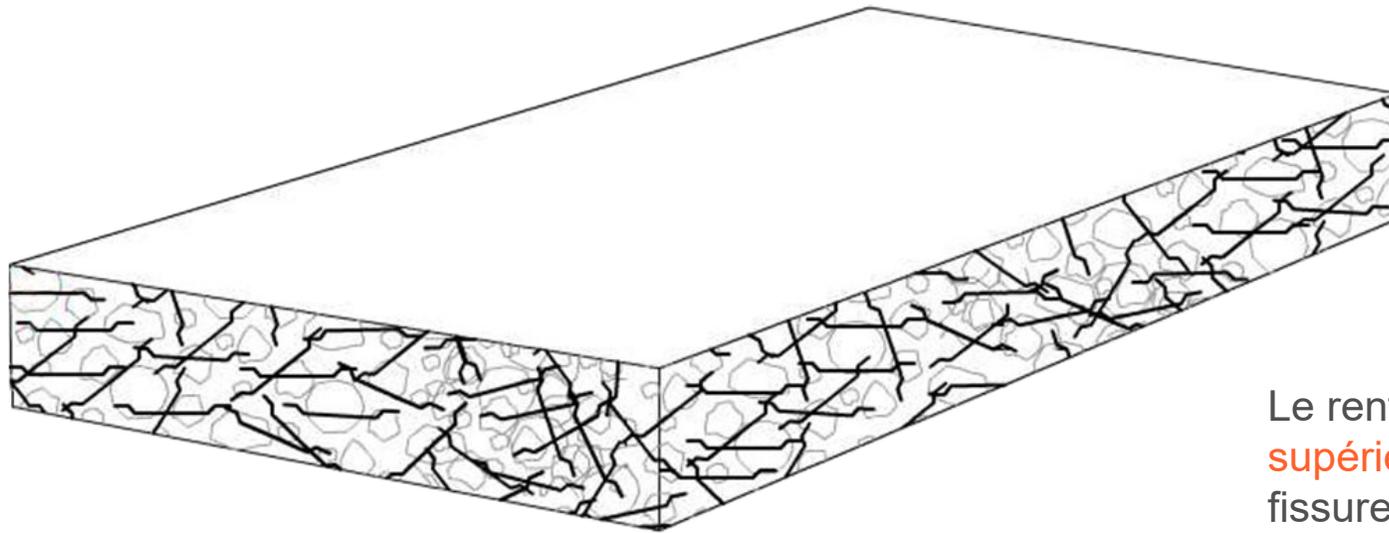
## Principe du renforcement du béton

---

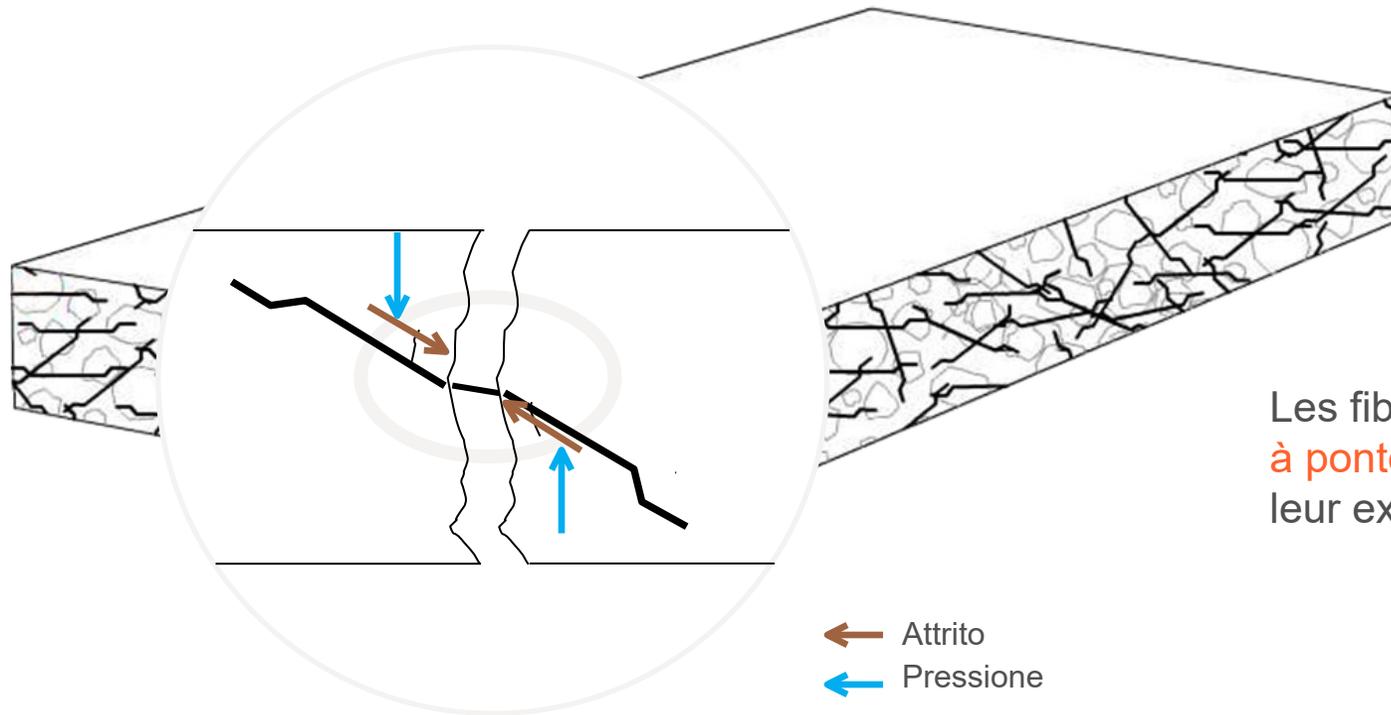
Le béton est naturellement FRAGILE et a une faible résistance à la traction et une faible ductilité. Lorsqu'il est soumis à des contraintes de traction, le béton non renforcé se fissure et se brise.

Afin de changer ce comportement cassant en un comportement plus ductile, on ajoute du treillis, des barres d'armature ou des fibres d'acier. Le rôle du RENFORCEMENT est d'augmenter la capacité de charge et de limiter l'ouverture des fissures.





Le renforcement en fibre d'acier offre une **résistance supérieure à la fissuration** et à la propagation des fissures. Contrairement au renforcement traditionnel, les fibres d'acier renforcent activement **chaque partie de la structure en béton**, ce qui leur permet de détecter les petites fissures immédiatement après qu'elles se soient produites.

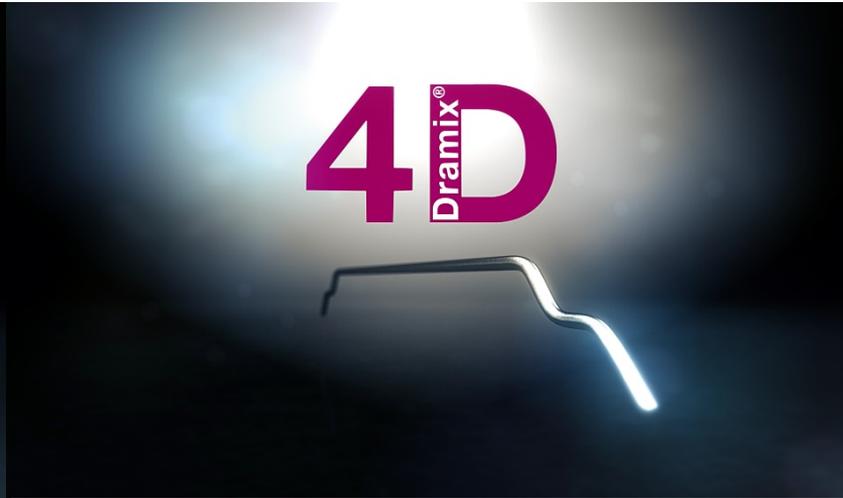


Les fibres d'acier dans le béton servent principalement à **ponter les fissures qui se développent**, limitant ainsi leur extension et leur propagation.

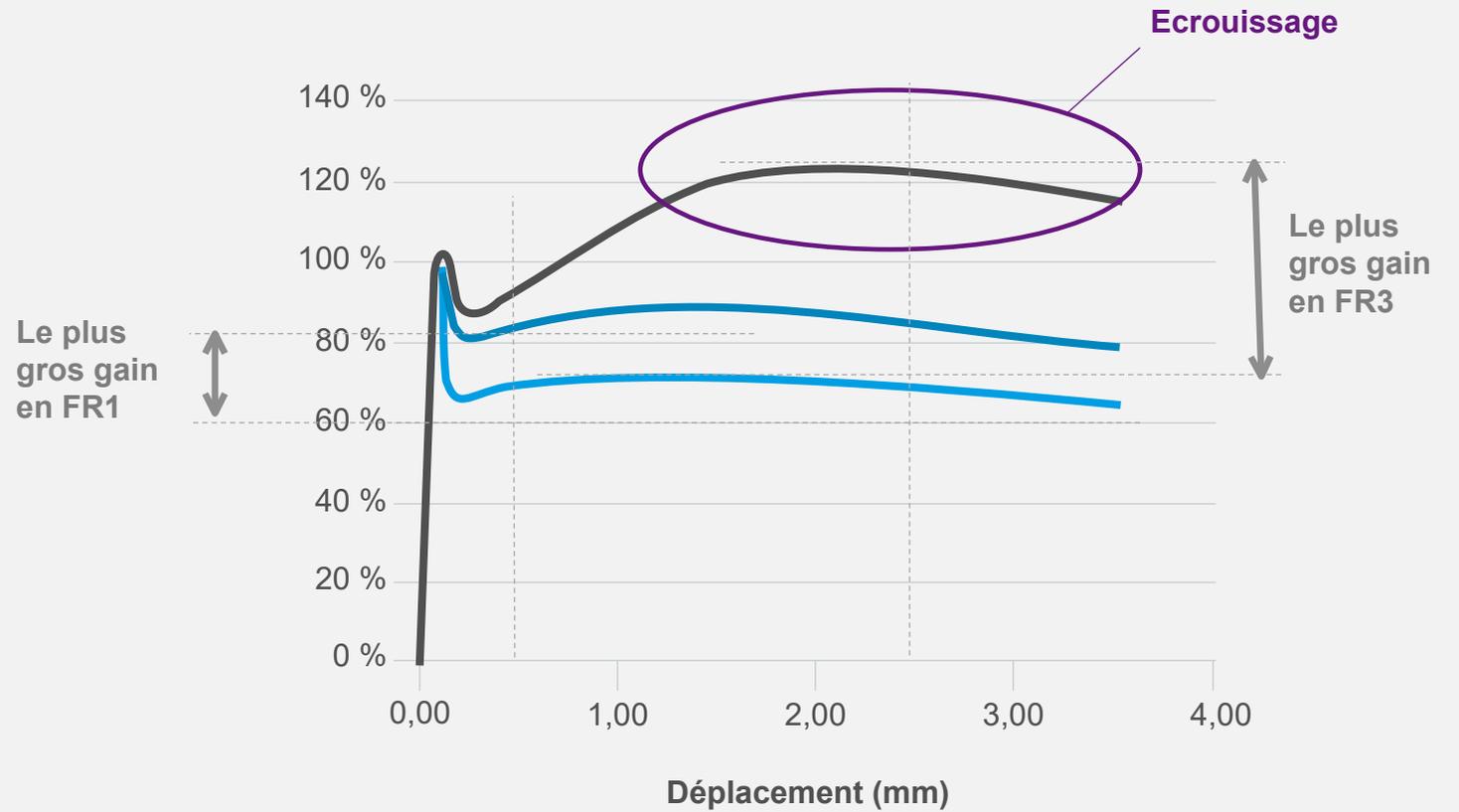
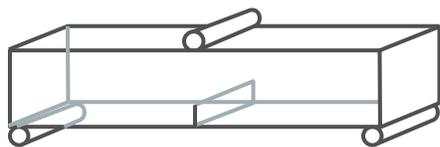
← Attrito  
← Pressione

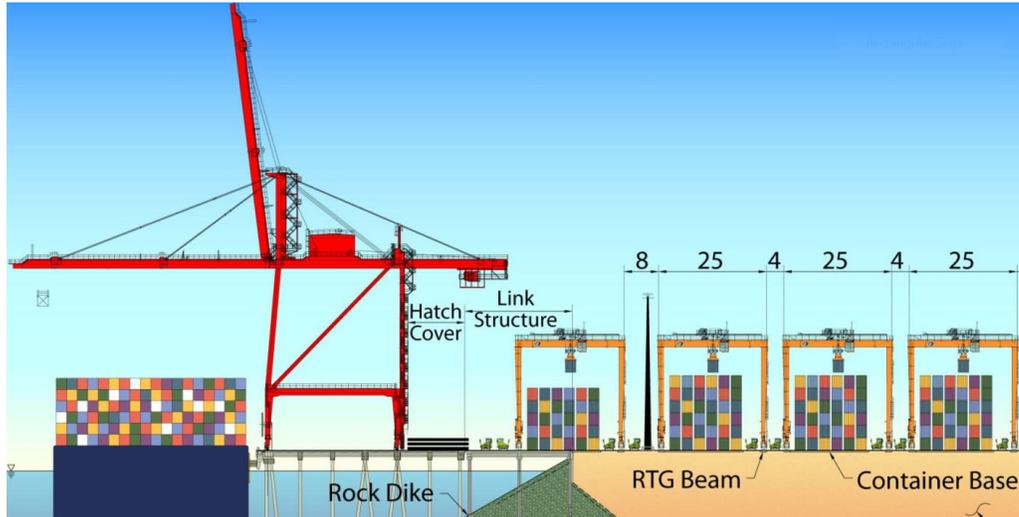
Le renforcement en fibre d'acier Dramix® se caractérise par **des extrémités crochetées uniques, une forte résistance à la traction et une grande ductilité**

Il en résulte des niveaux d'ancrage et de contrôle des fissures sans précédent, créant ainsi des structures plus durables et plus sûres



Le niveau de performance de la série 5D n'était jugé possible qu'avec les méthodes de renforcement traditionnelles





## Dallages pour l'exploitation portuaire

- Ils sont soumis à des **charges statiques** concentrées ou uniformes (conteneurs et autre marchandises) **et dynamiques** importantes (machineries) et doivent résister au mieux aux **agressions** de tout ordre pouvant se produire normalement ou accidentellement lors de leur exploitation
- Les charges sont systématiquement **lourdes**, les **vitesses faibles**, les sollicitations très variées, notamment **en contrainte et en fatigue**
- Les dallages sont soumis a des efforts de **traction supérieur et inférieur**
- Haute **durabilité et flexibilité** requises
- Les opérations de **maintenance** ont un impact important sur la logistique



## Avantages solution béton fibré

- Meilleure **résistance** à la traction, à la flexion, aux chocs et à la fatigue
- Une plus grande **rigidité initiale**, peut donc entrer en service plus rapidement
- Excellent **contrôle** de la formation et propagation des fissures
- Meilleure capacité de résister aux charges une fois fissurée
- Répartition homogène des charges: renforcement **uniforme**, pas de **points faibles** et pas d'écaillage
- Plus de **flexibilité et durabilité**, moins d'entretien
- Une plus grande **distance entre les joints** sciés
- Temps de construction raccourci: Construction **plus rapide** et plus **sûre**
- Simplicité de construction aussi parce qu'elle se prête à l'utilisation des machineries (**slip form**)
- **Économie en coûts**: Réduction significative des coûts de main d'œuvre, moins d'acier pour une même performance et élimination des exigences de couverture

# Sub-basement

- Les chaussées à usage intensif provoquent des contraintes importantes à des **profondeurs beaucoup plus grandes** que dans le cas des autoroutes ou des sols industriels.
- Valeurs **k** entre **0,1 -0,15 N/mm<sup>3</sup>**
- Le sol doit être mesuré plus en profondeur
- Une **base uniforme et solide** est l'une des principales clés pour obtenir une bonne chaussée

The standard plate diameter for the determination of soil properties is 750 mm or 30 in (762 mm).

k-value   multi-layer   EV-value   CBR-value

Soil properties per layer:

<input checked="" type="radio"/> subbase: 1 layer	E-Value 3	<input type="text" value="600"/>	$150 \leq x \leq 10000 \text{ MN/m}^2$	thickness 3	<input type="text" value="300"/>	$50 \leq x \leq 600 \text{ mm}$
<input type="radio"/> subbase: 2 layers	E-Value 2	<input type="text" value="90"/>	$58 \leq x \leq 10000 \text{ MN/m}^2$	thickness 2	<input type="text" value="400"/>	$200 \leq x \leq 400 \text{ mm}$
<input type="radio"/> subbase: 3 layers	E-Value 1	<input type="text" value="80"/>	$58 \leq x \leq 10000 \text{ MN/m}^2$	thickness 1	<input type="text" value="250"/>	$200 \leq x \leq 400 \text{ mm}$
subsoil	k-value 0	<input type="text" value="0,030"/>	$0,005 \leq x \leq 0,160 \text{ N/mm}^3$			

**i** E: dynamic modulus of elasticity  
**i** k: modulus of subgrade reaction



# Charges roulantes: vehicules



Straddle carrier  
152 kN/rue

Reach -  
stacker  
Jusqu'à  
290  
kN/roue à  
l'avant



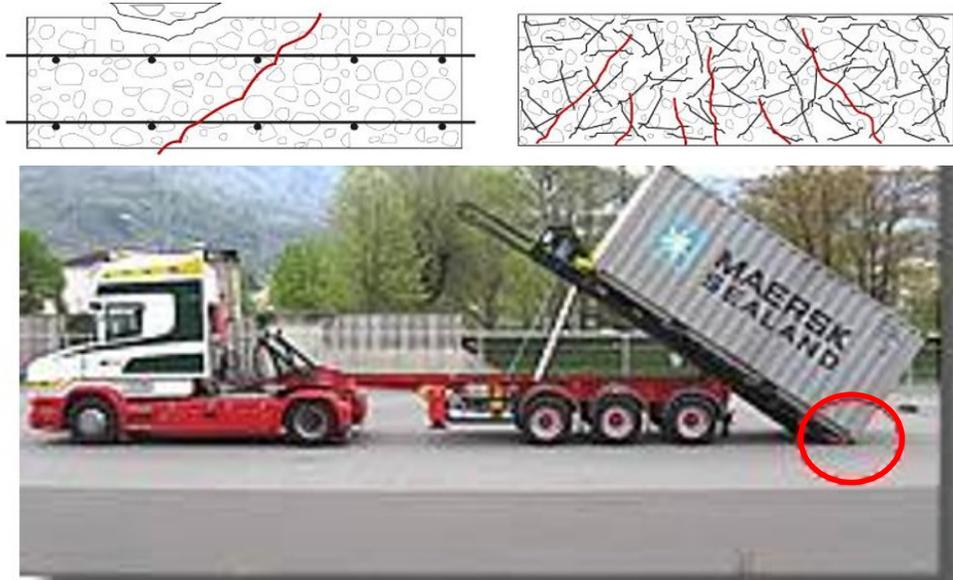
RTG - 250 kN/rue



AGV- 200 kN/rue

# Durabilité tout au long de la durée de vie

Haute résistance aux **chocs**



X5 resistance aux impacts

- Dramix ↓ réduit l'écaillage
- Renforcement 3-dimensionnel = absorption des chocs élevée

Excellentes propriétés de **fatigue**



X3 resistance à la fatigue

Fatigue = contrainte maximale qu'un matériau peut supporter pendant un nombre donné de cycles sans se casser

# Different type des dallages

	Durability	Maintenance	Faster and safer	Sustainability	Total cost of ownership
Asphalt	●○○	●○○	●●●	●○○	●○○
Unreinforced concrete	●●○	●●○	●○○	●●○	●○○
Concrete with traditional reinforcement	●●○	●●○	●○○	●●○	●●○
Concrete paving blocks	●●○	●●○	●○○	●●●	●●○
Steel fiber reinforced concrete	●●●	●●●	●●●	●●●	●●●



L'objectif dans le transport maritime est de réduire les émissions de CO<sub>2</sub> de 40% d'ici 2050 par rapport à 2005 (Source: ESPO- Priorities of the European ports 2019-2024 Memorandum).

## SFRC

- ➔ Moins de béton (-10/25%) + fibres métalliques (acier -30/50%) = moins d'émission de CO<sub>2</sub>
- ➔ Pas de pollution microplastique
- ➔ Transport plus durable
- ➔ Fibres recyclés
- ➔ **Reduction de l'impact environnemental**

## Connaître l'impact des produits

À ce jour, EPD est disponible pour Petrovice, Lonand, Karawang ; Shanghai et Izmit en route

**Dramix® EPD Score**  
**0.88kgCO2e**



## Connaître l'impact des solutions

- Comparez les économies de CO2
- Sensibiliser avec transparence
- Impact de la certification des bâtiments



## Vers des solutions plus durables



Approvisionnement soutenable du fil



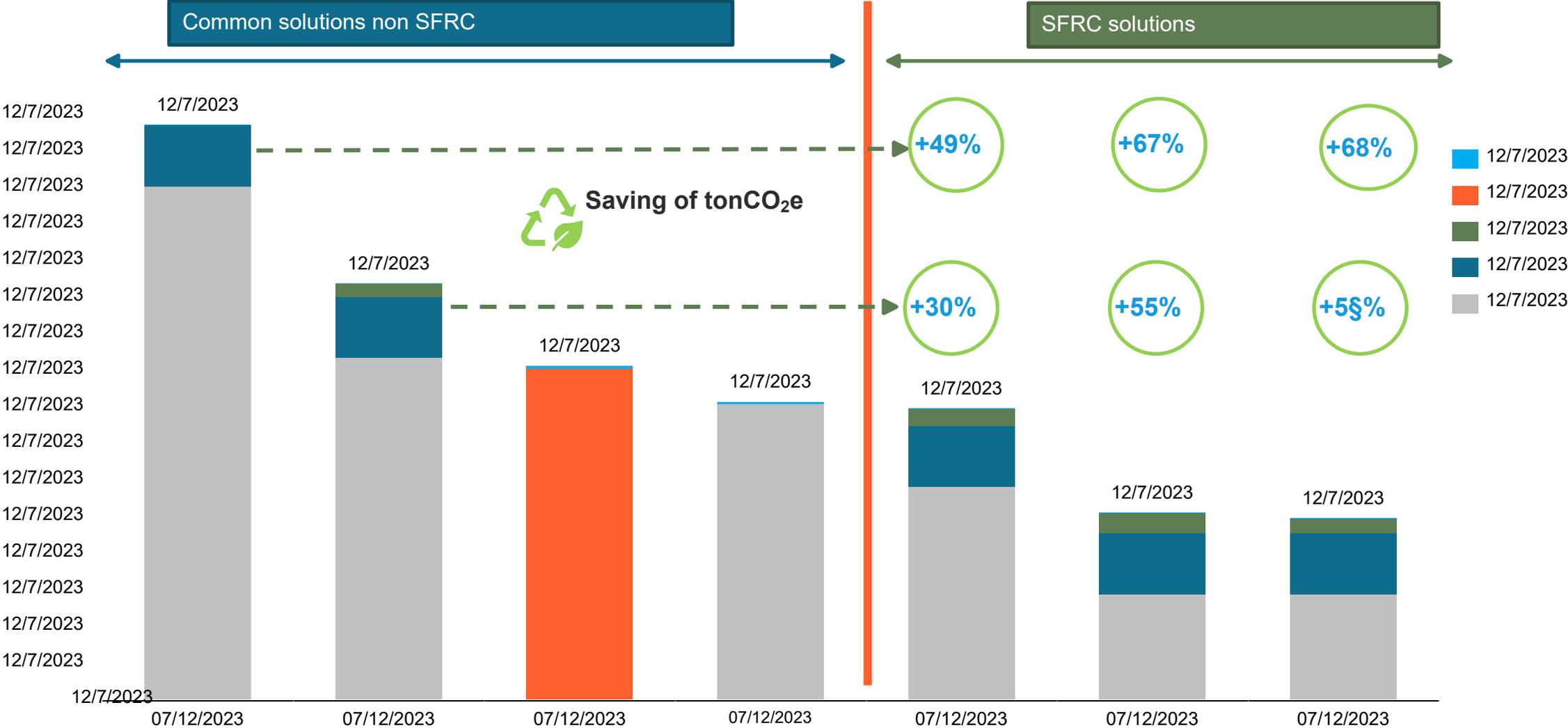
Énergie issue de sources renouvelables



Solutions pour une construction écologique/faible impact CO2

# Comparatif en termes d'impact environnemental

Grâce à nos solutions les plus avancées, il est possible d'économiser jusqu'à 60% en tonnes de CO2



\*Comparison of different solutions in terms of CO2 emissions taking into account the lifetime and repair operations

# Manuels et lignes directrices

British Port Association Edition 4/2007: comprend une méthodologie pour concevoir des dallages renforcés avec de fibres

- Méthode LCPC française NF P 98-086/2011
- Méthode espagnole ROM 4 1-94 et 4.1-18
- Australian Heavy Duty Industrial Pavement Design Guide rev. 1035/2007 MINCAD
- PIANC Guidance 165/2015 « Design and Maintenance of Container Terminal Pavements »: grâce à l'apport des fibres métalliques, il est possible de réduire l'épaisseur ou d'augmenter la distance entre les joints

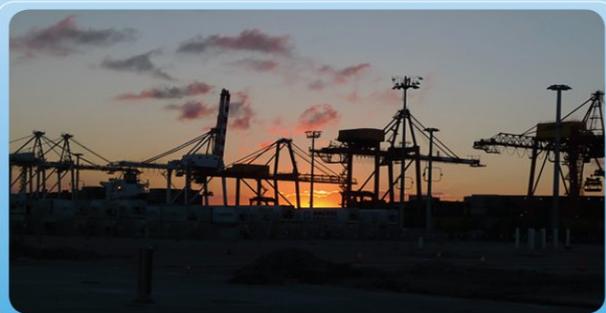


# Pianc



## PIANC

Report n° 165 - 2015



DESIGN AND MAINTENANCE OF CONTAINER TERMINAL PAVEMENTS

The World Association for Waterborne Transport Infrastructure

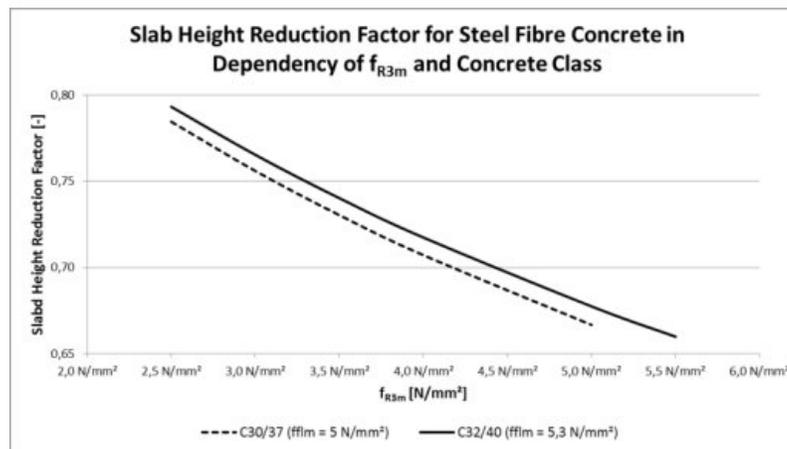


Figure 30 – Height reduction factor

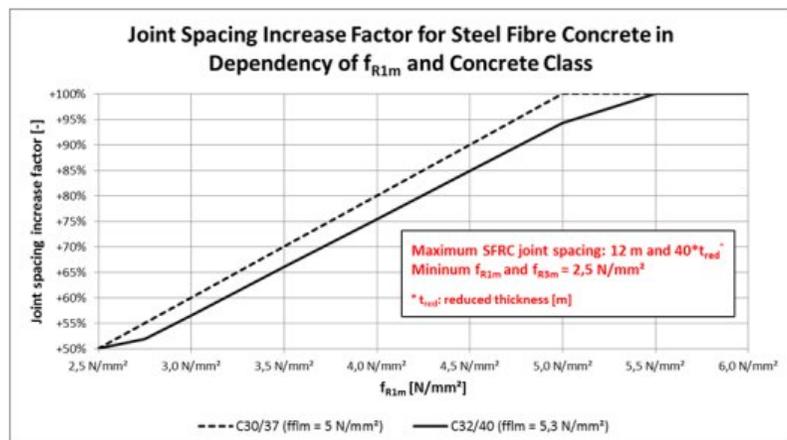


Figure 31 – Joint spacing increase factor

### Béton non renforcé

- 45cm
- C40/50
- Sans renforcement
- Joints 5x5m



25 kg/m<sup>3</sup> 4D 80/60BG

### BRFA

- 31cm
- Joints 8,3x8,3m

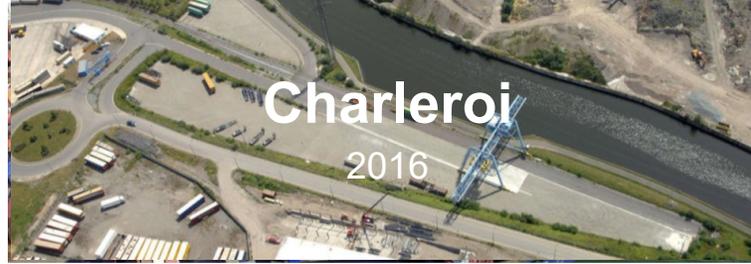
	Béton		Fibre		Joints		Total
	Mm	€/m <sup>2</sup>	kg/m <sup>2</sup>	€/m <sup>2</sup>	m	€/m <sup>2</sup>	€/m <sup>2</sup>
Béton	450,00	67,50	0,00	0,00	5,00	8,00	75,50
BRFA	310,00	46,50	7,75	15,50	8,30	4,80	66,80

- 8,7€/m<sup>2</sup>

Estimation des coûts :

- C40/50 = 150 €/m<sup>3</sup>
- Fibres = 2 €/Kg
- Joints= 20 €/m

# Projets





## Port de Sant'Eulalia-Merida

- Terminal conteneur
- Espagne
- 1985
- 25 000 m<sup>2</sup>
- Epaisseur: 18 cm
- 30 kg/m<sup>3</sup> 3D 80/60BG

Chaussées en béton



## Port de Paranaguá

- Terminal conteneur
- Brésil
- 2002
- 250 000 m<sup>2</sup>
- Stockage de conteneurs sur 4 niveaux
- Epaisseur: 30 cm
- 35 kg/m<sup>3</sup> 3D 80/60BG

Chaussées en béton



## Port de Vigo

- Terminal conteneur
- Espagne
- 1985-2010
- 150 000 m<sup>2</sup>
- Epaisseur: 30 cm
- 35 kg/m<sup>3</sup> 3D 80/60BG

Chaussées en béton



## Port d'Astakos

- Port
- Grèce
- 2003-2007
- 600 000 m<sup>2</sup>
- Epaisseur: 22-30 cm
- 35 kg/m<sup>3</sup> 3D 80/60BG

Chaussées en béton



## Quai XIXILI Port de Bermeo

- Port
- Bilbao
- Espagne
- Reparation et renforcement
- 2019
- 30 000 m<sup>2</sup>
- Epaisseur: 30-49 cm
- 25 kg/m<sup>3</sup> **4D 80/60BG**
- 40 kg/m<sup>3</sup> **4D 80/60BG**

**Chaussées en béton**



## RAOS 3 Port de Santander

- Port
- Santander
- Espagne
- 2019
- 31 400 m<sup>2</sup>
- Epaisseur: 22-30 cm
- 35 kg/m<sup>3</sup> **4D 65/60BG**

Chaussées en béton



## Terminal APM Port de Algeciras

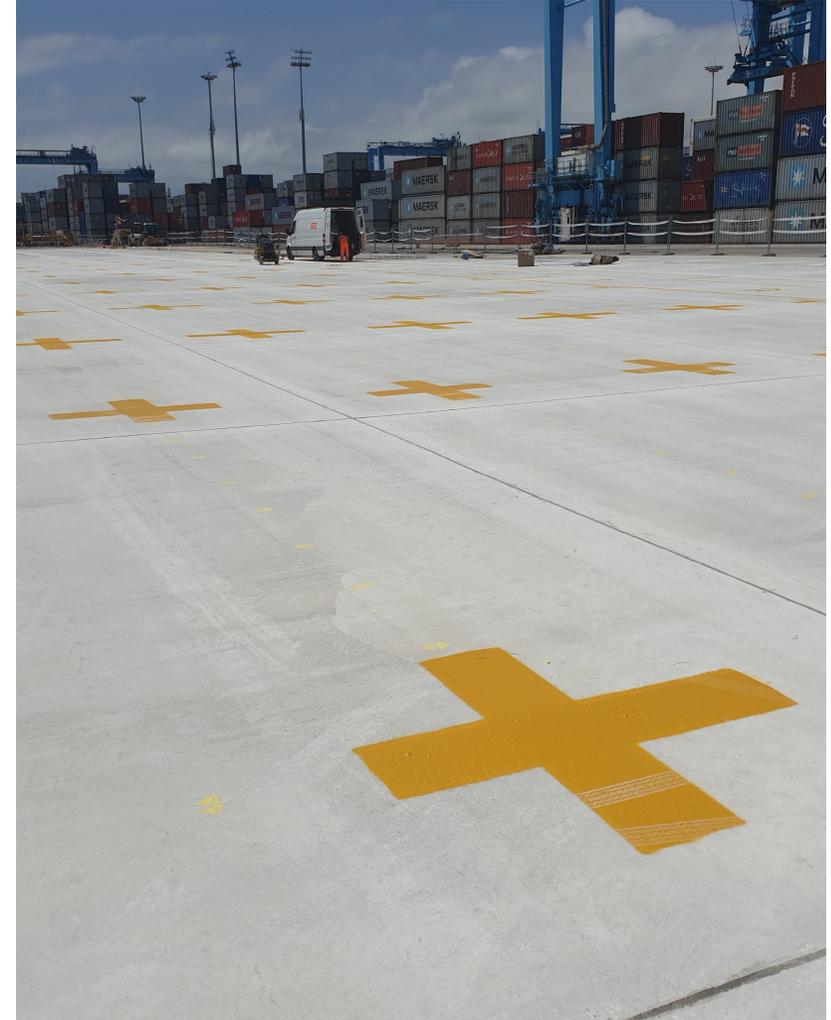
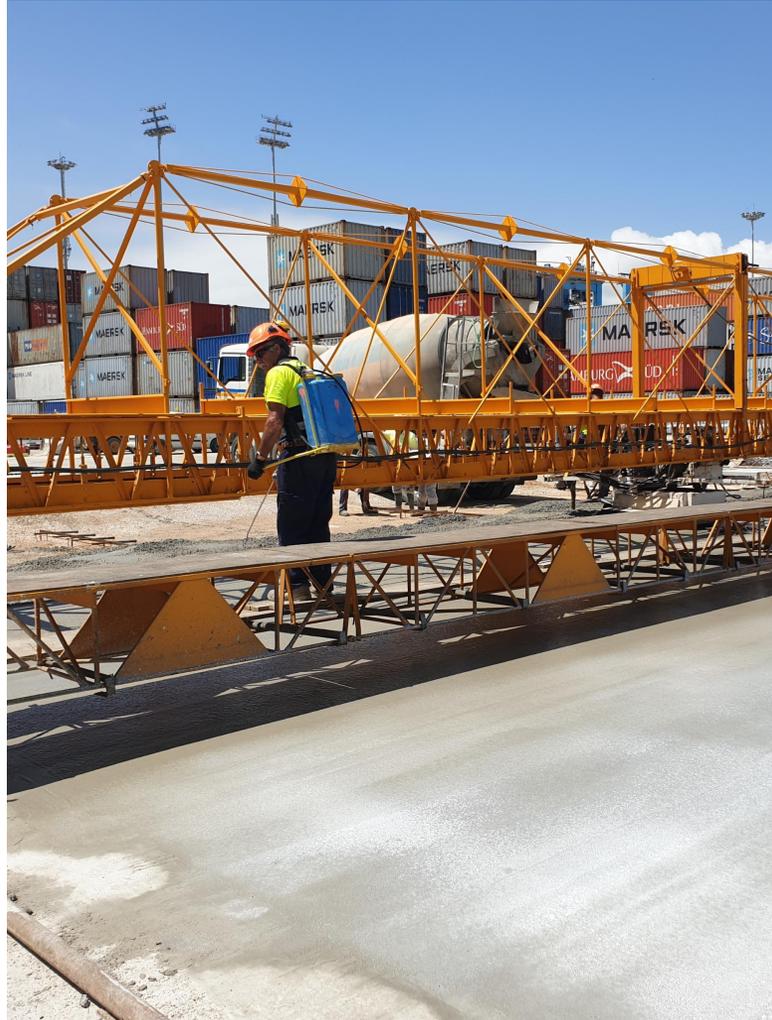
- Port
- Terminal MAERSK renouvelé après 20 ans
- Espagne
- 2018-2019
- 600 000 m<sup>2</sup>
- Epaisseur: 22-30 cm
- 35 kg/m<sup>3</sup> **4D 65/60BG**

Chaussées en béton

## Terminal Algeciras: principaux avantages

La solution a déjà été adoptée avant dans un autre zone et APM terminal a été très satisfait de la solution adoptée en termes de  **finition et de maintenance**, c'est pourquoi ils ont décidé d'opter pour la même solution.

APMterminal a voulu une solution avec **fibres 4D** parce qu'ils souhaitaient avoir **moins de fibres** avec les mêmes performances





## SANTANDER Raos Norte

- Port
- Santander
- Espagne
- 2022
- 50.000 m<sup>2</sup>
- Epaisseur: 30 cm
- 30 kg/m<sup>3</sup> **4D 80/60BG**

Chaussées en béton





## COSTANTA South terminal

- Port
- Costanta
- Roumanie
- 2022-2023
- 120.000 m<sup>2</sup>
- Epaisseur: 35 cm
- 22 kg/m<sup>3</sup> **5D 65/60BG**

Chaussées en béton

## Constanta south Terminal: principaux avantages

- Projet terminé **4 mois avant** la date demandée
- Quantité de renforcement nécessaire : 4 600 tonnes de barres d'armature substitué par **1 300 tonnes** de fibres d'acier
- Cela a entraîné une **réduction des coûts de transport et de stockage** et une réduction de la main-d'œuvre pour l'installation.
- Émissions de CO2 réduites jusqu'à 60 %
- La qualité globale et la finition de surface ont **dépassé les attentes**





# Bekaert

**Chiara Minoretti**

**Business Development Manager**

Dramix<sup>®</sup> Bekaert Building Products

M +39 3665067129

+33 608741847

[chiara.minoretti@bekaert.com](mailto:chiara.minoretti@bekaert.com)

[www.bekaert.com/building](http://www.bekaert.com/building)

# Dramix® augmente la resistance aux impacts

- Dramix↓ reduit l'écaillage
- Renforcement 3-dimensionnel = absorption des chocs élevée  
(Monofilament + Fibrillated Fibres)

	blows to failure (impact energy = 2.07kgm)
plain concrete (1)	136
(1) + 910gr MF	152
(1) + 910gr FF	204

X 1,5

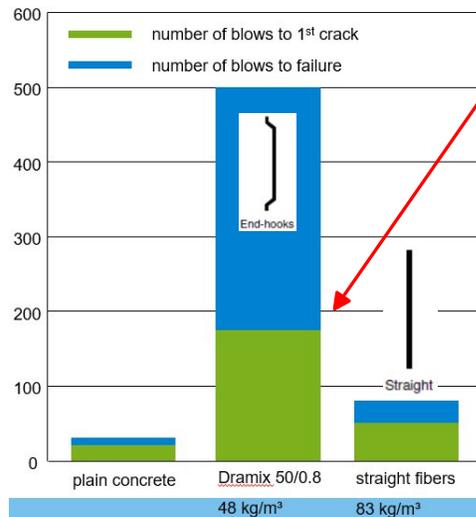
(Steel fibres .. done by Bekaert )

	blows to failure (impact energy = 10kgm)
plain concrete (1)	20
(1) + 40kg 60/80	75
(1) + 40kg 50/50	98

X 5,0

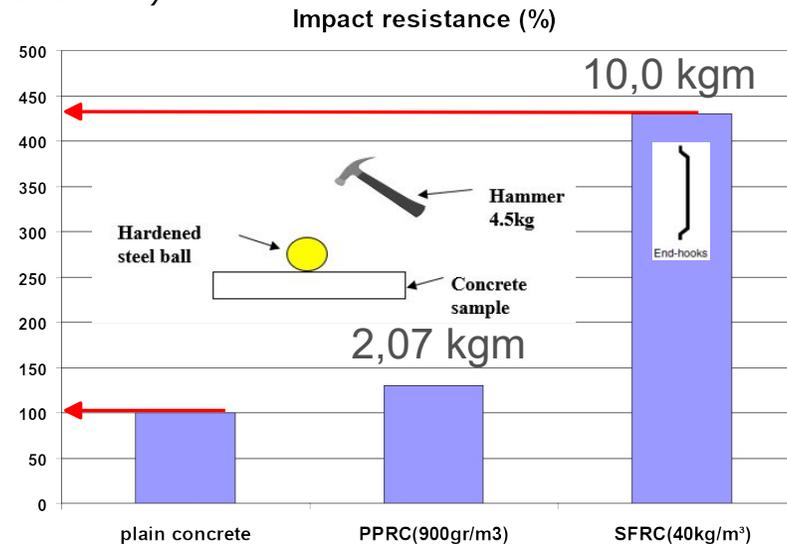


( source: University of Strathclyde – department of civil engineering.  
'The use of polypropylene fibres within a concrete matrix'-D.Griffin)



First crack !

Reference fiber:  
DRAMIX glued 3D-4D hookedend



# Dramix® augmente la résistance à la fatigue

