

NON-TISSÉ UTILISÉ EN PEAU DE COFFRAGE POUR DES STRUCTURES EN BÉTON PLUS DURABLES

NONWOVEN FORMWORK LINER FOR DURABLE CONCRETE STRUCTURES

Mikael MØELLER ¹, Nicolas RACANA ²

Business Manager Geotextile, Fibertex Nonwovens A/S, Denmark¹

Technical and Sales Director Geosynthetics, Fibertex Nonwovens, France²

RÉSUMÉ – Les peaux de coffrages permettent de contrôler la perméabilité et faciliter le drainage afin d'améliorer la durabilité des structures en béton. Le résultat est une meilleure résistance à la dégradation du béton due à une plus faible pénétration des chlorures, de l'eau, du CO₂ et du gel. Ainsi les coûts d'entretien des ouvrages en béton sont plus faibles. Cette notion de durabilité et d'économie a été prise en compte pour le gigantesque projet du pont de Sheikh Jaber Al-Ahmad Al-Sabah au Koweït. Une série d'essais in-situ a été menée permettant de mettre en évidence l'impact positif d'une peau de coffrage sur la qualité du béton obtenue. Ensuite, une assistance et une formation des équipes de pose ont été menées pour s'assurer les bonnes pratiques de mise en œuvre et garantir le succès de ce projet.

Mots-clés : Durabilité, béton, coffrage, économie, non-tissé

ABSTRACT – Control Permeability Formwork liners (CPF liners) permit to increase drainage of concrete during installation to improve durability of concrete structures. The effect is a higher concrete resistance due to reducing the rate of chloride, water, CO₂ and frozen ingress. Then, costs maintenance of concrete structures is reduced. Durability and costs-saving parameters were taken in account for the huge Sheikh Jaber Al-Ahmad Al-Sabah Causeway project in Kuwait. Initial in site tests done have permitted to highlight the positive impact on concrete quality. In following, assistance and training were done for secure a good implementation to ensure project success.

Keywords: Durability, concrete, formwork, cost-saving, nonwoven

1. Introduction

Les peaux de coffrage CPF (Controlled Permeability Formwork) pour contrôler la perméabilité sont utilisées depuis les années 1930 afin d'améliorer la durabilité des structures en béton. Et depuis le début des années 1980, les produits sont essentiellement fabriqués à partir de non-tissés en polypropylène.

Une peau de coffrage CPF engendre une réduction très significative du nombre et de la profondeur des pores de la surface de béton – et améliore la densité du béton sur une épaisseur de 20 à 30 mm

Une surface moins poreuse augmente l'épaisseur efficace de la zone d'enrobage, ce qui protège plus durablement les armatures métalliques, notamment des ions de chlorure, comme le montre les études récentes faites par le Teknologisk Institut au Danemark (Ehrendahl Soerensen, 2016). Le coefficient de diffusion des ions chlorures est donc amélioré, ce qui a un impact direct sur la durée de vie de l'ouvrage et sur ses coûts d'entretien.

Dans certains cas, on estime que les peaux de coffrage CPF doublent la durée de vie utile prévue ; ce qui est un avantage significatif pour les maîtres d'ouvrage et les entrepreneurs, tout en réduisant les impacts environnementaux (McKenna et Baxi, 2008).

Par rapport au béton mis en œuvre de manière conventionnelle, le béton obtenu est jugé supérieur en termes de résistance à la pénétration de chlorure, carbonatation, résistance au gel/dégel, perméabilité, dureté de surface et résistance à l'arrachement.

Bien entendu, la qualité de la peau de coffrage CPF a un impact significatif sur les performances du béton obtenu. La peau de coffrage doit être drainante, filtrante, facile à mettre en œuvre et à retirer des coffrages.

Pour le projet de pont routier Sheikh Jaber Al-Ahmad Al-Sabah au Koweït, une procédure de qualification de la peau de coffrage CPF a été mise en place avec une validation des acquis (McKenna et Baxi, 2008 ; Gantriis Soerensen, 2001) des références chantiers ainsi qu'une série de tests in-situ pour s'assurer de la qualité du béton obtenu et de la facilité de mise en œuvre.

2. Principe de fonctionnement des peaux de coffrage CPF

Les peaux de coffrage CPF à perméabilité contrôlée ont évolué depuis le revêtement absorbant utilisé au barrage de Kentucky en 1941. Aujourd'hui, ce sont des produits non-tissés multicouches en polypropylène, offrant des caractéristiques bien définies, une documentation complète et avec de solides références chantiers qui font l'essentiel du marché.

Au barrage de Kentucky (1941), les effets visibles observés du béton étaient une réduction significative du bullage ainsi qu'une couleur plus foncée (indiquant une réduction du rapport eau/ciment). En termes de performances, le béton était moins perméable et montrait une meilleure résistance au gel/dégel par rapport au béton coulé avec un coffrage traditionnel. Des essais de sablage des surfaces de béton ont montré une plus grande résistance à l'abrasion.

Malgré tous ces bons indicateurs, les premières peaux de coffrage étaient des produits fragiles, onéreux, difficiles à installer et à enlever, ce qui n'a entraîné que très peu d'intérêts jusqu'au milieu des années 1980 (Malone, 1999).

Les développements de peaux de coffrage CPF fabriqués à partir de non-tissés en polypropylène multicouches ont stimulé l'utilisation de ces produits. Le polypropylène est devenu naturellement le polymère de choix en raison de sa haute résistance chimique en milieu alcalin. Il est inerte et ne modifie pas chimiquement le béton, tout en étant un polymère hydrophobe qui engendre une adhérence minimale au béton.

Les peaux de coffrage CPF actuelles sont constituées de deux couches : une couche filtrante et une couche de drainage. La couche filtrante doit laisser passer l'eau excédentaire ainsi que l'air tout en retenant les particules de ciment. La couche de drainage doit pouvoir évacuer l'air et l'eau tout en conservant un taux d'humidité élevé pendant le temps de cure.

3. Effets sur les bétons

Les analyses montrent une amélioration des performances du béton obtenu notamment à travers les tests classiques de résistance à l'arrachement, de pénétration des ions chlorure et de l'eau ainsi que la résistance au gel. L'ensemble de ces améliorations peut doubler la durée de vie des structures exposées à des environnements agressifs, plus précisément en termes de corrosion des armatures métalliques (McCarthy et al., 2001).

L'effet visible de la peau de coffrage CPF est une surface pratiquement impeccable montrant une couleur plus foncée, légèrement texturée. Le drainage des excès d'air et d'eau à l'interface béton/coffrage réduit ou élimine même le bullage et les imperfections qui réduisent l'épaisseur apparente de la zone d'enrobage protégeant l'armature métallique de la corrosion.

Visuellement, la surface avec une peau de coffrage apparaît plus sombre : indicateur rapport e/c (eau/ciment) inférieur et sans bullage.



Figure 1. Béton coulé avec un coffrage imperméable traditionnel (à gauche) et mis en œuvre avec une peau de coffrage (à droite).

En retenant les particules de ciment tout en laissant passer l'eau excédentaire, le rapport e/c (eau/ciment) diminue sur une épaisseur de 20-30 mm pour un béton plus dense et donc plus performant.

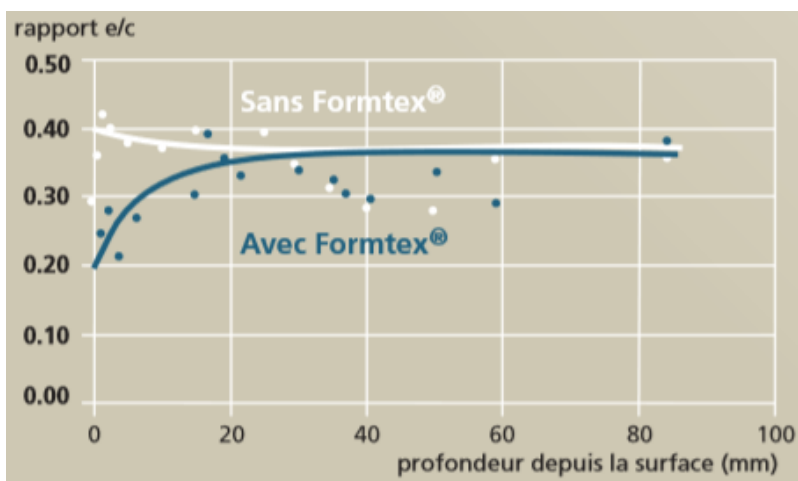


Figure 2. Évolution du rapport e/c avec la profondeur avec et sans peau de coffrage (Gantriis Soerensen, 2001)

Les avantages d'un béton CPF issus des analyses effectuées selon la norme EN 12 390 in-situ et en laboratoire pour différents types de béton sont :

- Durabilité accrue
- Meilleure résistance à la diffusion des ions chlorure
- Meilleure résistance à la carbonatation
- Résistance à la pénétration de l'eau augmentée
- Résistance à l'arrachement du béton de surface accrue
- Meilleure performance vis à vis des agressions chimiques
- Meilleure tenue au gel/dégel (écaillage)
- Meilleure résistance à l'abrasion
- Dureté de surface améliorée.

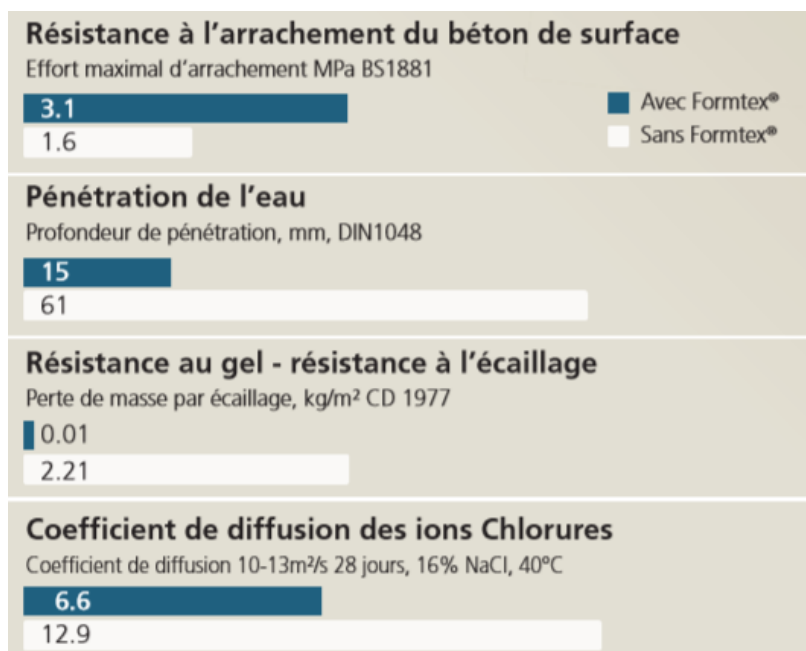


Figure 3. Amélioration de la qualité du béton avec l'utilisation d'une peau de coffrage (Gantriis Soerensen, 2001)

L'expérience montre également que le béton obtenu est plus facile à nettoyer, par exemple, suppression des graffitis et meilleure résistance à l'usure, même pour des méthodes de nettoyage agressives impliquant des produits chimiques et jet d'eau haute pression.

4. Recherche récente pour les bétons contenant des cendres volantes

Récemment, le Teknologisk Institut au Danemark a testé une peau de coffrage pour des bétons contenant des cendres volantes. L'objectif était de caractériser la pénétration des ions chlorures pour différentes formulations béton destinées à la construction d'infrastructures en Europe et notamment le projet de liaison de Fehmarn entre l'Allemagne et le Danemark. Le projet est censé être le plus long tunnel immergé au monde.

Un béton constitué de cendres volantes est souvent utilisé là où une faible perméabilité et une résistance à un environnement agressif sont nécessaires. Les cendres volantes permettent d'augmenter le rapport e/c (eau/ciment) pour un béton plus performant à long terme. Mais ce béton a l'inconvénient d'être à l'inverse trop perméable pendant ses premiers mois de vie (6 à 12 mois).

La peau de coffrage a été testée afin d'évaluer l'influence sur la perméabilité en début de vie du béton car cela permettrait de « corriger » les défauts des premiers mois des bétons contenant des cendres volantes.

Les premiers résultats des tests montrent que l'utilisation d'une peau de coffrage adaptée permettra de réduire considérablement la pénétration de chlorure dans les bétons contenant des cendres volantes. Des améliorations de l'ordre de 20 à 30 % sont observées en laboratoire selon la norme EN 12390 (Ehrendahl Soerensen, 2016). Parallèlement, des échantillons de béton sont exposés in-situ pour plusieurs années afin d'évaluer la corrélation entre les résultats de laboratoire et les observations en condition réelle.



Figure 4. Échantillons de bétons contenant des cendres volantes soumis à l'environnement agressif pour plusieurs années.

5. L'expérience du pont Sheikh Jaber Al-Ahmad Al-Sabah

Le projet du pont de Sheikh Jaber Al-Ahmad Al-Sabah au Koweït est un pont long de 36 km qui traverse la baie entre la ville de Koweït et Subiya. Ce projet a été estimé à plus de 3 milliards de US\$.

Les concepteurs et le maître d'ouvrage, conscients que les coûts d'entretien d'un tel ouvrage doivent être pris en compte dès la conception, ont tout mis en œuvre pour étudier techniquement et financièrement l'intérêt d'une peau de coffrage CPF.

Un protocole de validation d'une peau de coffrage CPF a été établi selon le cahier des charges suivant :

- Caractéristiques techniques du produit.
- Spécification des améliorations attendues de la qualité du béton.
- Qualification du fournisseur basée sur des références pertinentes avec un retour d'expérience sur plusieurs années.
- Qualification du fournisseur basée sur des retours d'expériences chiffrées et étayées, menées par des laboratoires et instituts indépendants.
- Capacité du fournisseur à offrir un essai in-situ permettant de caler au mieux la formulation béton contenant des cendres volantes.
- Capacité du fournisseur à garantir un service sur place de formation afin de minimiser les délais et les coûts d'installation.

La peau de coffrage CPF a été validé suite à une série de tests. Il fallait s'assurer notamment de la compatibilité du produit avec les bétons contenant environ 10% de cendres volantes pour 90% de ciment. De plus, une maquette test reprenant la forme complexe des têtes de pilier a été faite afin de valider la souplesse de la peau de coffrage et sa capacité à s'adapter à n'importe quelle forme. L'entrepreneur Hyunda Engineering & Construction a fait une série de maquettes test pour se familiariser avec l'utilisation de la peau de coffrage CPF et valider la réelle amélioration sur ce béton de haute performance (résistance et compression > 80 MPa). Des tests ont été menés selon la norme NT BUILD 492 (norme finlandaise) et ont montré une réduction de 19% de la propagation des ions chlorure. Des essais de résistance à la carbonatation selon la norme EN 13 295 ont été également menés avec une amélioration de 61 à 91 % pour la peau de coffrage CPF. Pour ce qui est de la résistance en traction mesurée selon la norme BS 1881 les performances sont améliorées de plus de 10%.

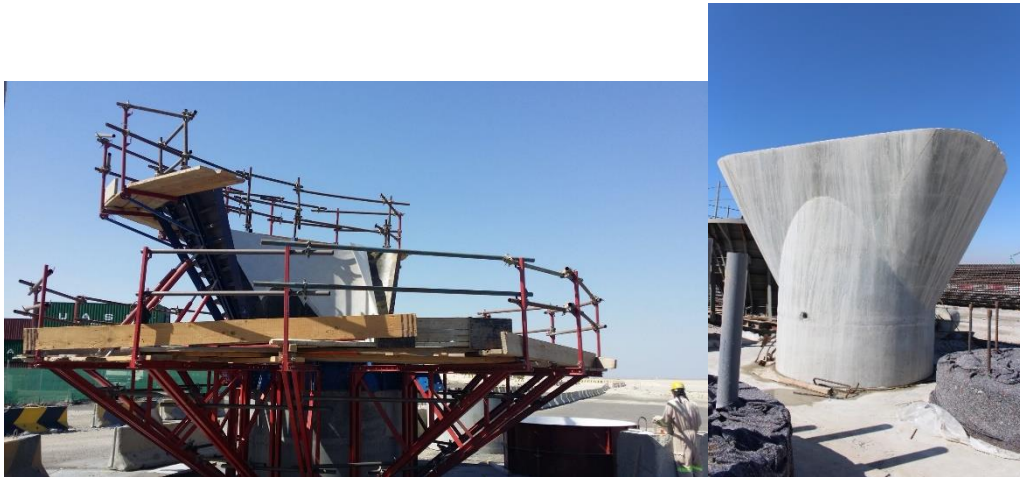


Figure 5. Maquette de test pour la tête des piles de pont.

Les résultats des tests initiaux ont montré une très belle augmentation des performances du béton avec :

- Profondeur de carbonatation réduite de plus de 60%
- Migration des ions chlorure réduit de 19%
- Résistance à l'arrachement augmentée de 11% minimum.

L'étroite collaboration des ingénieurs concepteurs, du consortium Hyundai-CGCC et de Fibertex depuis le début du projet s'est avérée être un moyen efficace de garantir la qualité du résultat tout en maîtrisant le planning et le coût du projet.



Figure 6. Éléments de pont finis prêts à être transportés et installés

Au total 1,8 million de m² de non tissé a été utilisé pour les piles de pont et le tablier de l'ouvrage.

6. Conclusion

Les nouvelles peaux de coffrage CPF sont reconnues pour apporter des améliorations significatives à la durabilité des structures en béton exposées à des environnements agressifs ; ces améliorations pouvant conduire à doubler la durée de vie des ouvrages.

Aujourd'hui, ces peaux de coffrage ne sont qu'utilisées de manière marginale mais la prise en compte des impacts financiers et environnementaux des coûts d'entretien des ouvrages pousse les acteurs de projets à étudier ce type de solution (McKenna, 2014).

Chaque projet étant unique avec des formulations béton bien spécifiques, il est impératif de systématiquement passer par des phases de tests afin de quantifier le gain de performance et maîtriser l'impact de la mise en œuvre.

7. Références bibliographiques

- McCarthy M.J., Giannokou A., Jones M.R. (2001). Specifying concrete for chloride environments using controlled permeability formwork. *Materials and Structures/Matériaux et Constructions*, Vol. 34, pp. 566-576.
- Malone P.G. (1999). Use of permeable formwork in placing and curing concrete. *US Army Corps of Engineers*.
- Ehrendahl Soerensen H. (2016). Testing of Formtex CPF liner for protection against early chloride ingress into concrete containing fly ash. *Teknologisk Institut*.
- McKenna P. (2014). Durable concrete vs. durable concrete structures. Masterbuilder.co.in
- Gantriis Soerensen M. (2001), Effekt af anvendelse af CPF ved betonstøbning (The effect of using CPF when casting concrete), *Final thesis, Aalborg University, Denmark, January 2001*.
- Magazine of concrete research, vol. 43, no 155, June 1991, pp. 93-104
- McKenna P., Baxi C. (2008). The role of controlled permeability formwork in life cycle design, *Tailor Made Concrete Structures – Walraven & Stoelhorst*