

CONTRIBUTION AU CONTRÔLE DE LA QUALITÉ DES PAREMENTS EN BÉTON

Chafika DJELAL, Yannick VANHOVE

Laboratoire Artois Mécanique Thermique et Instrumentation (LAMTI)

Nizar HELOUN

OUTINORD

1. INTRODUCTION

Lors du décoffrage, deux éléments distincts sont mis en présence : d'une part le coffrage, matériau lisse et rigide et d'autre part le béton, matériau plastique contenant de l'eau. Dès le coulage, il y a affinité entre ces deux matériaux et à leur interface apparaît des mécanismes encore mal connus de nos jours. Une fois le béton durci, la séparation des éléments est réalisée: c'est le décoffrage. Sans la présence d'une couche séparatrice anti-adhérente (huile de décoffrage), il y aurait automatiquement collage et donc impossibilité de démoulage sans altération de la surface du parement [1].

De ce fait, l'aspect des parements est directement lié aux conditions de développement de la zone de la peau et par conséquence de l'interface béton/coffrage. Les agents de démoulage doivent être choisis en fonction de la nature du coffrage et de leur compatibilité avec les peaux coffrantes. Ils doivent être appliqués de manière homogène sur l'ensemble du coffrage, sur une surface propre, en couches minces, d'épaisseur uniforme avant la mise en place des armatures [2]. Leur application se fait avec un pulvérisateur muni d'une buse adaptée. Il faut dans certains cas retirer l'excédent du produit au chiffon ou à l'aide d'une raclette.

Actuellement les huiles les plus utilisées sont d'origine minérale. Mais ces produits sont peu biodégradables et provoquent des désagréments auprès des utilisateurs et de l'environnement. En effet, la manipulation de ces huiles peut provoquer des irritations de la peau et des voies respiratoires dues à l'inhalation de composés organiques volatils. De plus, une exposition prolongée peut infliger des dommages très handicapants (fatigue, dépression, perte de mémoire), mais également des maladies professionnelles plus graves répertoriées par la CRAM [3]. Par ailleurs, lors de l'enhuilage des panneaux des coffrages, des résidus d'huiles peuvent être entraînés dans le sol et atteindre des nappes phréatiques.

Pour résoudre ces inconvénients, des formulations d'huile, à base végétale et de synthèse, moins nuisibles pour l'homme et l'environnement, ont été mises au point.

Le but de cette étude initiée par la Société OUTINORD est de déterminer l'influence des huiles de décoffrage sur la qualité des parements et sur la surface des coffrages (protection contre la corrosion). Quatre formulations ont été retenues : minérale, de synthèse, végétale, végétale et synthèse.

Les surfaces des moules sont de type neuves ou usagées et l'application des huiles est effectuée par pulvérisation à l'aide d'une buse conique ou plate, suivie ou non d'un étalement à la raclette.

2. LES MOULES

Huit moules de 30x30x30 cm ont été conçus par la Société OUTINORD. Le volume des moules est de 27 litres. Deux types de moules ont été fabriqués avec des parois neuves ou usagées. Les parois des

moules usagés ont été découpées dans des parois de coffrages inutilisables. Il nous faut deux moules par essai car les huiles sont appliquées sur les surfaces des moules suivant le schéma ci dessous :

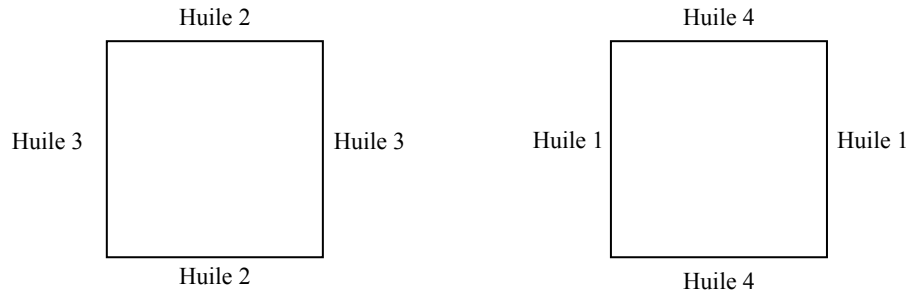


Figure 1 : Application des huiles sur les parois des moules

La répartition des moules pour les essais a été effectuée de la façon suivante :

- Deux moules neufs pour l'application par pulvérisation avec buses conique et plate
- Deux moules neufs pour l'application par pulvérisation suivie d'un raclement
- Deux moules usagés pour l'application par pulvérisation avec buses conique et plate
- Deux moules usagés pour l'application par pulvérisation suivie d'un raclement

Les rugosités des surfaces des moules sont de $R_a = 1,30 \mu m$ pour la surface neuve et de $R_a = 1,70 \mu m$ pour la surface usagée. R_a est le paramètre international de rugosité le plus utilisé. C'est la moyenne arithmétique des écarts du profil par rapport à une ligne moyenne.



Figure 2 : Paroi neuve



Figure 3 : Paroi usagée



Figure 4 : Moule avec paroi neuve

3. LES HUILES DE DEMOULAGE

Les quatre huiles de démoulage retenues pour cette étude sont actuellement commercialisées.

Huile 1 : huile à base végétale

Huile 2 : huile 100% de synthèse, issue de l'industrie chimique

Huile 3 : huile minérale

Huile 4 : huile composée d'une matière première végétale et d'un corps gras de synthèse

Les caractéristiques de ces huiles sont données au tableau 1.

	Huile 1	Huile 2	Huile 3	Huile 4
Nature	Liquide	Liquide	Liquide	Liquide
Couleur	Jaune paille	Incolore	Ombré	Incolore
Point éclair (°C)	65	62	67	180
Densité	0,85	0,82	0,86	0,88
Viscosité à 20°C (mPa.s)	22,5	22,1	38,3	46,3

Tableau 1. Caractéristiques physico-chimiques des huiles étudiées

3.1. Modes d'application des huiles

La méthode d'application des huiles sur la paroi des moules est particulièrement importante car elle conditionne la qualité de la surface du parement. Sur les chantiers, il a été observé qu'un excès d'huile entraînait une mauvaise qualité des parements [4].

L'agent de démoulage doit être appliqué sur des surfaces propres et de manière régulière, sans manque ni surcharge de façon à créer un film continu et uniforme.

En préfabrication, l'huile de démoulage est appliquée à l'aide de pulvérisateurs automatisés qui assurent une meilleure maîtrise du dépôt d'huile, en quantité et en surface.

Sur les chantiers, l'huile est le plus souvent pulvérisée sur les coffrages ou étalée après pulvérisation avec une raclette en caoutchouc afin d'enlever l'excès d'huile par rapport à la monocouche.

Le choix de la buse est important. Il est conseillé d'utiliser un type de buse le plus fin possible et d'employer des buses en acier inoxydable [5].

Pour notre étude, l'application est réalisée avec un pulvérisateur Laser Viton 7. Deux buses sont testées : une buse conique 15/10 et une buse plate 04/110.

Le raclement est effectué après pulvérisation à l'aide d'une buse conique au moyen d'une raclette en caoutchouc.

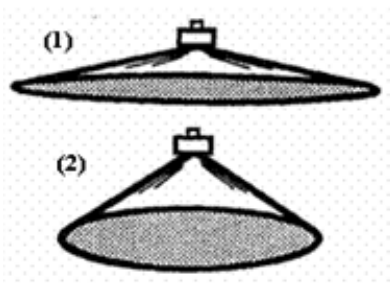


Figure 5 : Jet d'huile obtenu par buse plate (1) et par buse conique (2)

3.2. Mesure des épaisseurs de film par pesée

L'épaisseur des films d'huile a été mesurée par pesée en fonction de leur mode d'application. Les résultats ont été comparés à une mesure plus précise effectuée à l'aide d'une technique d'analyse basée sur le rayonnement alpha [6]. Les résultats ont montré une bonne concordance entre les deux méthodes de mesure.

Sur un échantillon de coffrage de dimension 5x3 cm, l'huile est déposée par pulvérisation suivi ou non d'un étalement à la raclette.



Figure 6 : Application par raclement



Figure 7 : Application par pulvérisation buse conique

Connaissant la masse volumique de l'huile et la surface de la plaque, il suffit de peser l'échantillon pour déterminer l'épaisseur.

$$V = S \times e \Leftrightarrow e = \frac{V}{S} \text{ avec } V = \frac{m}{\rho}, \text{ ce qui donne } e = \frac{m}{\rho \times S}$$

Avec S la surface de l'échantillon (m²), ρ la masse volumique de l'huile (kg/m³), m la masse du film d'huile (kg) et e l'épaisseur du film (m).

Les mesures d'épaisseur des films d'huile par pesée sont présentées au tableau 2.

Huile	Film pulvérisé buse conique (μm)	Film pulvérisé buse plate (μm)	Film pulvérisé suivi d'un étalement (μm)
Huile 1	4,75	4,47	1,02
Huile 2	3,62	2,93	0,77
Huile 3	4,22	3,64	1,01
Huile 4	5,45	5,45	0,64

Tableau 2 : Valeurs des épaisseurs par la méthode des pesées

L'incertitude de mesure est de +/- 0,15 μm, en prenant une erreur de mesure de 5%. Nous obtenons des épaisseurs de films d'huile pulvérisés comprises entre 3 et 5,5 μm, avec un film légèrement plus épais pour l'application avec la buse conique. Les huiles 2 et 3 ont des épaisseurs de film légèrement plus faible que les deux autres formulations. L'huile 2 présente les épaisseurs les plus faibles. En ce qui concerne les épaisseurs des films raclés, nous trouvons des valeurs comprises entre 0,6 et 1 μm.

4. LE BÉTON

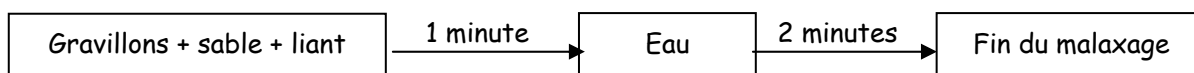
Afin d'éviter les réactions physico-chimiques difficile d'interprétation entre les composants des huiles de démoulage et l'adjuvant parfois présent dans le béton, un béton traditionnel sans adjuvant a été formulé

pour notre étude. Un affaissement de 10 cm est obtenu au cône d'Abrams. La composition du béton est donnée au tableau 3 :

Constituants	Silex 5/15	Gravillon 4/8	Sable 0/4	Ciment CEM I 52,5	Fillers	Eau	E/L
Quantités (Kg/m ³)	761	281	826	258	86	167	0,49

Tableau 3 : Composition du béton

Le béton est confectionné à l'aide d'une centrale à béton d'une capacité de 200 litres. Le malaxage a été réalisé suivant la norme NF P 18-404 intitulée « Bétons – Essais d'étude, de convenance et de contrôle – Confection et conservation des éprouvettes ». Le mode opératoire est le suivant :



Les essais sont réalisés en laboratoire à une température ambiante (20° C environ). Le béton est coulé en même temps dans l'ensemble des moules. Chaque moule est rempli en deux couches suivies d'une vibration à 5 endroits pendant 10 s par couche.

Pour notre étude, nous nous sommes intéressés aux défauts esthétiques rencontrés sur le parement en béton après son décoffrage. Les deux modes d'application décrits précédemment sont analysés. La variation de teinte, le micro-bullage, le poussierage du parement béton, l'encrassement, le poussierage et les points d'accroche sur la surface de coffrage sont les paramètres retenus pour évaluer l'aspect des parements et la qualité des parois coffrantes.

5. NOTATION DES MOULES ET DES PAREMENTS

Les critères de notation sont ceux utilisés par notre laboratoire pour tester l'influence des formulations sur la qualité de parement (tableaux 4 et 5). Le tableau ci-dessous donne les abréviations utilisées pour évaluer la qualité des parements

Abréviation	Aspect de la surface en béton	Abréviation	Aspect du moule
Pa	Aspect du parement	Pom	Poussierage
B	Microbullage	E	Encrassement
Pop	Poussierage	Pt Ac	Point d'accroche

Tableau 4 : Abréviations utilisées pour évaluer les performances de démoulage

Les critères sont basés sur la norme française P18-503 [7].

Microbullage, poussierage, encrassement, point d'accroche	Degrés d'importance	Aspect du parement
Sans	1	Excellent
Très léger	2	Très bien
Léger	3	Bien
Moyen	4	Moyen
Important	5	Mauvais
Très important	6	Insignifiant

Tableau 5 : Critères de notation

6. ÉTUDE DE L'ESTHÉTIQUE DES PAREMENTS BRUTS

Les résultats sont présentés sous la forme de tableaux, les valeurs correspondent à une moyenne de quatre essais consécutifs, soit huit notes par paramètre étudié.

6.1. Aspect du parement

Le tableau 6 présente les notes obtenues pour l'étude de l'aspect du parement en fonction du type de moule et des systèmes d'application.

	Moule neuf			Moule usagé		
	Buse conique	Pulv + racl	Buse plate	Buse conique	Pulv + racl	Buse plate
Huile 1	3,25	3	4,25	3,75	4,75	4,7
Huile 2	5	4,25	4,75	5,5	5,5	6
Huile 3	4,75	4	4,75	5,25	5,25	6
Huile 4	2,25	2	3,25	2,75	4,25	4

Tableau 6 : Influence des paramètres sur l'aspect du parement.

L'huile végétale (figure 8) présente les meilleures résultats, suivi de l'huile semi-végétale. Les huiles minérale (figure 9) et de synthèse présentent de nombreuses variations de teinte sur les surfaces des parements. De plus, elles paraissent moins influencées par le système d'application employé.

Les photographies ci-dessous montrent l'aspect des parements obtenus par application des huiles à l'aide d'une buse conique sur un moule neuf.



Figure 8 : Parement obtenu avec l'huile végétale



Figure 9 : Parement obtenu avec l'huile minérale

L'observation des surfaces des parements montre que d'une part, l'esthétique des parements est de meilleure qualité lors de l'utilisation de moules neufs (figures 10 à 13) et d'autre part que les parements obtenus par l'application de l'huile à l'aide d'une buse plate sont de moins bonne qualité pour l'ensemble des essais. Par contre, nous obtenons deux comportements différents pour l'application des huiles à l'aide d'une buse conique avec et sans raclement. En effet, nous obtenons de meilleurs résultats esthétiques en employant une application à buse conique pour un moule usagé. Par contre, il est préférable de pulvériser puis de racler le film d'huile pour un moule neuf.

Les photographies ci-dessous montrent l'aspect des parements obtenus par application des huiles à l'aide d'une buse conique sur un moule usagé.



Figure 10 : Parement obtenu avec l'huile végétale



Figure 11 : Parement obtenu avec l'huile minérale



Figure 12 : Parement obtenu avec l'huile de synthèse



Figure 13 : Parement obtenu avec l'huile végétale et synthèse

Pour obtenir un parement de qualité, il est donc préférable d'employer une huile de démoulage végétale, des moules neufs et une application de l'huile par pulvérisation suivi du passage de la raclette.

6.2. Le bullage

Le tableau 7 présente les résultats obtenus sur le bullage en fonction du type de moule et des systèmes d'application.

	Moule neuf			Moule usagé		
	Buse conique	Pulv + racl	Buse plate	Buse conique	Pulv + racl	Buse plate
Huile 1	4,25	3,25	5,25	3,25	3,5	5,3
Huile 2	3,5	3,5	5	4,25	3,25	4,3
Huile 3	3,75	3,75	4,75	4	4,25	5,3
Huile 4	2,75	2,25	3	2,25	2,5	3,7

Tableau 7 : Influence des paramètres sur le bullage

Le bullage est présent pour les deux types de moules. En ce qui concerne les applications, le bullage est plus présent pour la buse plate. La pulvérisation à l'aide d'une buse conique avec ou sans raclement procure les mêmes valeurs de bullage. L'huile végétale provoque le moins de bullage suivi des huiles semi-végétale et de synthèse. L'huile minérale est la moins performante. L'emploi d'un agent de synthèse dans l'huile 4 provoque une apparition plus importante de bullage.

Pour obtenir un parement avec peu de bullage, il est préférable d'éviter d'employer un moule usagé avec une huile végétale sans agent de synthèse. Une application avec une buse conique suivi ou non d'un raclement est recommandée.

6.3. Le poussilage

Le tableau 8 présente les notes obtenues sur le poussilage du parement en fonction du type de moule et des systèmes d'application

	Moule neuf			Moule usagé		
	Buse conique	Pulv + racl	Buse plate	Buse conique	Pulv + racl	Buse plate
Huile 1	2	1,25	2	1,5	1,5	1,7
Huile 2	1	1	1	1	1	1
Huile 3	1	1	1	1	1	1
Huile 4	2	1,75	2,5	2,75	1,75	2,3

Tableau 8 : Influence des paramètres sur le poussilage du parement

Il y a plus de poussilage sur le parement pour le moule neuf que pour le moule usagé. On peut noter également que l'application par pulvérisation provoque plus de poussilage que l'application par pulvérisation suivi d'un raclement. Il n'y a pas de poussilage pour les huiles minérale et de synthèse. Par conséquent, la présence de matière végétale dans les huiles 1 et 4 implique une légère apparition de poussilage.

Pour minimiser l'apparition du poussilage, il faut racle l'huile végétale ou semi végétale après pulvérisation.

7. ÉTUDE DE LA SURFACE DES MOULES APRÈS DÉCOFFRAGE

7.1. Le poussilage du moule

Le tableau 9 présente les résultats obtenus sur le poussilage du moule en fonction du type de moule et des systèmes d'application.

	Moule neuf			Moule usagé		
	Buse conique	Pulv + racl	Buse plate	Buse conique	Pulv + racl	Buse plate
Huile 1	3,75	3,75	5	5,25	4	4,7
Huile 2	1,75	2	3,25	2,75	2,75	3,7
Huile 3	2	2	3,75	2,5	3	3,7
Huile 4	5	5,25	6	5,5	4,75	5,3

Tableau 9 : Influence des paramètres sur le poussilage du moule

En comparant avec le tableau 8, nous pouvons noter qu'il y a plus de poussilage sur les parois des moules. Par contre, celui-ci est plus important sur les parois des moules usagées (figures 14 et 15). La différence entre les systèmes d'application est moins nette. Le poussilage est tout de même plus apparent pour la buse plate. Comme précédemment, l'utilisation des huiles minérale et de synthèse entraîne moins de poussière ou de dépôt sur les surfaces des moules qu'ils soient neufs ou usés.

La présence de matière végétale induit un poussilage sur les parois des moules après décoffrage.

Les photographies ci-dessous montrent la surface des moules neufs après décoffrage. Les huiles sont appliquées par pulvérisation à l'aide d'une buse conique.



Figure 14 : Utilisation d'une huile végétale et de synthèse

Figure 15 : Utilisation d'une huile végétale

7.2. L'encrassement

Le tableau 10 présente les notes obtenues sur l'encrassement en fonction du type de moule et des systèmes d'application.

	Moule neuf			Moule usagé		
	Buse conique	Pulv + racl	Buse plate	Buse conique	Pulv + racl	Buse plate
Huile 1	2,75	5,25	3	2,5	3,75	3
Huile 2	4	4,75	4,25	2,25	5,25	5
Huile 3	4,5	5,75	4,75	3,5	5,75	6
Huile 4	2,25	4	1,75	1,5	3,75	2,7

Tableau 10 : Influence des paramètres sur l'encrassement

L'encrassement du moule paraît en moyenne plus faible pour les moules usagés. L'application par buse plate sur un moule usagé provoque un encrassement très important de la paroi. De plus, l'application par raclement est très préjudiciable dans les deux types de moule. L'application par buse conique donne de meilleurs résultats mais les valeurs restent tout de même élevées.

L'huile végétale présente le plus faible encrassement suivi de l'huile semi-végétale. La présence de l'agent de synthèse dans l'huile 4 n'améliore pas les résultats. Les huiles minérale et de synthèse encrassent fortement le moule.

Pour éviter l'encrassement, il est préférable d'employer une huile végétale avec ou sans agent de synthèse. Le système d'application recommandé est la pulvérisation par buse conique.

7.3. Les points d'accroche

Le tableau 11 présente les notes obtenues sur les points d'accroche en fonction du type de moule et des systèmes d'application.

	Moule neuf			Moule usagé		
	Buse conique	Pulv + racl	Buse plate	Buse conique	Pulv + racl	Buse plate
Huile 1	2	1,5	1,5	1	1,25	2
Huile 2	1,5	2,5	3,75	1,25	1,75	3
Huile 3	2,75	2,5	3,5	1,75	2	3,7
Huile 4	1,5	1,75	1	1	1	1,3

Tableau 11 : influence des paramètres sur les points d'accroche

Les points d'accroche paraissent moins présents pour le moule usagé. L'application par buse plate provoque le plus de points d'accroche sur la surface du moule suivi de l'application par raclement. La présence de points d'accroche par la pulvérisation par buse conique est donc la plus faible. L'huile végétale provoque le moins de points d'accroche suivi de l'huile semi-végétale. Le double de points d'accroche est présent lors de l'utilisation des deux autres huiles.

Dans le but d'éviter les points d'accroche, il conviendrait d'utiliser une huile végétale dont l'application serait réalisée à l'aide d'une buse conique.

8. ÉTUDE DE LA CORROSION DES SURFACES DES MOULES

Les huiles de démoulage ont été appliquées sur des plaques par pulvérisation conique suivi ou non d'un étalement à la raclette. Elles ont été ensuite stockées à l'extérieure.

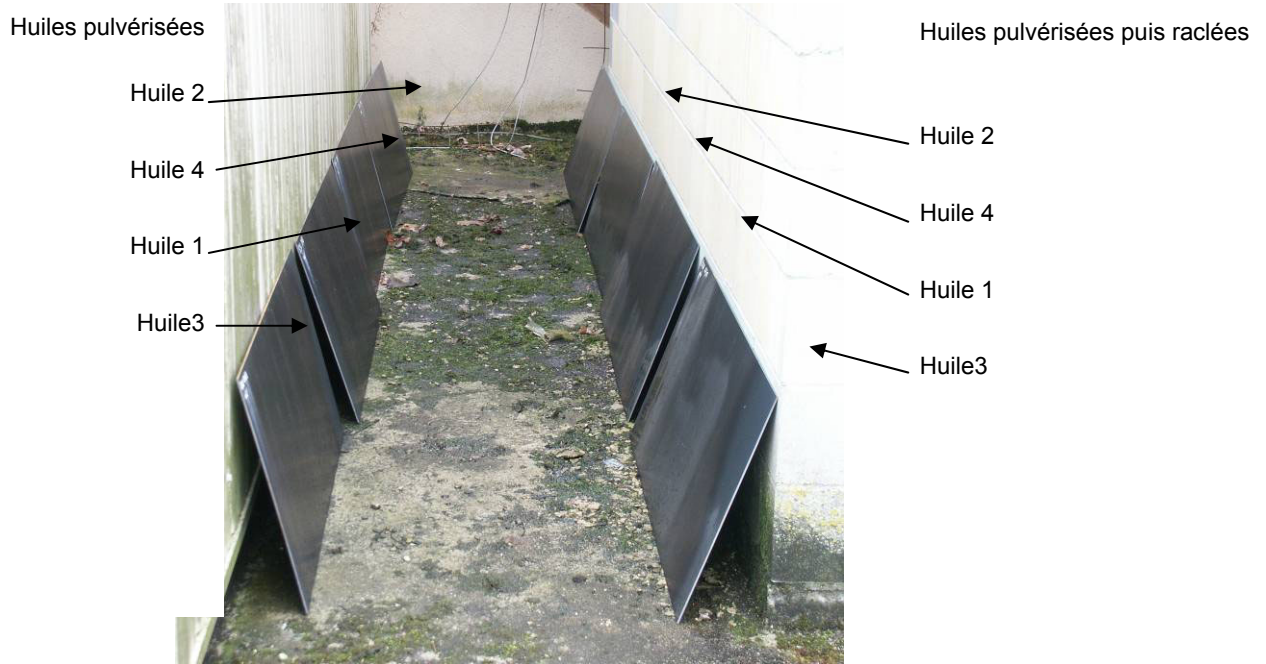


Figure 17 : Zone de stockage

Les plaques en acier ont été soumises conditions climatiques suivantes :

Début du stockage extérieur à 15h00, le 27 mars 2006, vers 16h30, une pluie orageuse. Les jours suivants, le temps est variable (pluie, vent, soleil). Les observations suivantes ont pu être effectuées :

- Au bout de 5 jours : apparition de rouille pour la plaque où a été pulvérisée l'huile minérale
- Au bout de 9 jours : apparition de rouille pour les plaques où ont été pulvérisés, puis raclées les huiles minérale (huile 3), végétale et synthèse (huile 4)
- Au bout de 15 jours : rouille de plus en plus présente sur les plaques où ont été pulvérisées puis raclées les deux huiles précédentes.
- Au bout de 23 jours : Rouille très présente pour les huiles 2 et 3 pulvérisées puis raclées. Par contre, il n'y a pas d'apparition de rouille pour les huiles 1 et 4.

Fin du stockage le 30 avril.

C'est l'huile végétale qui protège le mieux la surface métallique contre la corrosion. L'huile de synthèse présente également de bons résultats. De plus, il est préférable de pulvériser l'huile sans la racler pour avoir une meilleure protection contre la corrosion. L'huile minérale est à éviter. Ces observations ont été confirmées par des mesures de spectroscopie d'impédance électrochimique réalisées sur les huiles [8].

9. CONCLUSION

Cette étude montre l'importance du choix des huiles et de leur mode d'application sur les coffrages pour l'obtention de parements de qualité. La protection des surfaces des coffrages dépend également de la nature de huiles.

L'huile végétale suivi de l'huile végétale et de synthèse donne globalement les meilleurs résultats.

Néanmoins, il convient d'éviter d'appliquer ces huiles en excès sur les coffrages. De ce fait, les huiles de démolage à base végétale déposées en film mince permettent de réduire les doses d'emploi par rapport aux consommations habituelles. Les coûts par mètre carré de coffrage huilé, sont donc sensiblement équivalents pour une huile conventionnelle ou pour une formulations végétale.

Cette étude confirme une étude précédente [6] menée sur des huiles provenant d'un fabricant différent : les huiles végétales donnent les meilleurs résultats en terme de qualité de parement. Leur utilisation permettrait de réduire les inconvénients que nous retrouvons pour les huiles 'minérale et de synthèse'.

Toutefois, ces résultats ne sont pas valables pour un coulage à l'extérieur car l'influence de la température sur les huiles n'a pas été étudiée. En effet, les conditions climatiques modifient les critères de décoffrage et certaines huiles ne sont plus applicables en période hivernale (faibles températures) ou lors de fortes chaleurs.

Des mesures de la viscosité des huiles à des températures variant de 0 à 40° ont montré des variations importantes de la viscosité [1]. Ce résultat a plusieurs conséquences : d'une part une épaisseur de film plus importante lors de forte température et d'autre part, des problèmes de pulvérisation à basses températures.

Une nouvelle campagne d'essais est prévue avec un coulage du béton sur site. L'aspect des parements et la protection des surfaces des moules pourra ainsi être étudiée dans des conditions climatiques réelles.

REMERCIEMENTS

Nous remercions l'entreprise Outinord pour le financement de cette étude.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] OUTINORD, « Parements de qualité des parois en béton », Collection technique syndicat français de l'échafaudage, du coffrage et de l'étalement, avril 2005
- [2] Cimbéton, « La maîtrise esthétique des parements en béton », Collection Technique Cimbéton, T49, 2005
- [3] Projet SUMOVERA « Application of Vegetable-Oil based Concrete Mould Release Agents », State of the Art Document, 1999
- [4] Lemaire G., « Contribution à la maîtrise de la qualité des parements de béton », Thèse de doctorat de l'Université de Toulouse III, 2003
- [5] Baty G., Reynolds R., « Release agents – How they work », Concrete International, p 52-54, 1997
- [6] Libessart L., Influence des composées chimiques des agents de démoulage sur l'interface coffrage/béton – Impact sur l'esthétique des parements en béton, Thèse de doctorat de l'université d'Artois à Béthune, mars 2006
- [7] AFNOR P18-503, « Surface et parements de béton – Eléments d'identification », nov. 1989
- [8] Rapport Outinord « Contribution à la maîtrise de la qualité des parements – Influence de la nature des huiles de démoulage sur la protection des surfaces coffrantes contre la corrosion », Contrat Outinord/LAMTI, juillet 2006.