

## **Utilisation des huiles recyclées pour le décoffrage du béton - Etude de l'esthétique des parements**

<sup>1</sup>Libessart Laurent, <sup>1</sup>Djelal Chafika, <sup>2</sup>Joly Nicolas, <sup>2</sup>Depraetere David, <sup>2</sup>Martin Patrick, <sup>1</sup>Vanhove Yannick

<sup>1</sup>Univ. Artois, EA 4515, Laboratoire de Génie Civil et géo-Environnement, Béthune, France, [laurent.libessart@univ-artois.fr](mailto:laurent.libessart@univ-artois.fr)

<sup>2</sup>Univ. Artois, IUT de Béthune, F-62400 Béthune, France, [nicolas.joly@univ-artois.fr](mailto:nicolas.joly@univ-artois.fr)

### **Résumé :**

Le but de cette étude est de rationaliser et de systématiser les formulations des huiles de démoulage recyclées afin de confirmer leur pouvoir décoffrant. En effet, une entreprise spécialiste de la récupération et du traitement des huiles usagées a mis au point différents procédés permettant de générer des huiles industrielles ayant déjà été utilisées. Un marché pour cette entreprise concerne les huiles de décoffrage. Afin de valoriser les propriétés de ces huiles, une étude des propriétés physico-chimiques a été effectuée dans un premier temps puis une étude portant sur l'esthétique des parements est réalisée à vue et par analyse d'images. Les résultats obtenus ont été comparés à une huile à base végétale commercialisée.

## 1. Introduction

Très répandus dans l'industrie du bâtiment et de la préfabrication, les agents de démoulage sous forme d'huile ou d'émulsion sont utilisés pour faciliter le démoulage du béton et protéger les surfaces des coffrages contre la corrosion afin de prolonger la durée de vie des coffrages [1]. Sur le terrain, l'agent de décoffrage est appliqué par pulvérisation dans la majorité des cas. La connaissance des mécanismes se déroulant à l'interface béton/paroi, en présence des agents de démoulage permet d'aider les fabricants à établir des formulations répondant aux exigences des utilisateurs [2]. La qualité finale des parements dépend aussi des caractéristiques physico-chimiques des produits démoulants utilisés. Ils doivent être choisis en fonction de la nature du coffrage et de leur compatibilité avec les peaux coffrantes [3]. Ils doivent être appliqués de manière homogène sur l'ensemble du coffrage, sur une surface propre, en couches minces, d'épaisseur uniforme. La buse du pulvérisateur doit être adaptée. Il faut retirer l'excédent du produit au chiffon ou à l'aide d'une raclette si nécessaire. L'épaisseur du film d'huile est un paramètre essentiel pour l'obtention de « beaux » parements. Le but de cette étude est de rationaliser et de systématiser les formulations des huiles de démoulage recyclées afin de confirmer leur pouvoir décoffrant. En effet, une entreprise spécialiste de la récupération et du traitement des huiles usagées a mis au point des procédés permettant de régénérer des huiles industrielles de type « claires » telles que les huiles diélectriques, hydrauliques, de coupe entières, minérales et végétales. Les différentes étapes de régénération sont une déshydratation des huiles avec teneur en eau < 500 ppm, une filtration jusqu'à 1 µm et une ré-additivation aux normes suivant un cahier des charges défini avec le client. 98% des huiles sont valorisées sous la forme d'huile de base pour l'industrie tandis que les produits résiduels sont traités en centre de valorisation énergétique comme appoint. Un marché pour cette entreprise concerne les huiles de décoffrage. Afin de valoriser les propriétés de ces huiles, une étude de la composition et des propriétés physico-chimiques a été effectuée dans un premier temps sur des huiles recyclées à base végétale. Puis, une étude portant sur l'esthétique des parements a été effectuée par analyse d'images. Les résultats obtenus ont été comparés à une huile à base végétale commercialisée. La conclusion de cette étude montre que les huiles recyclées sont tout à fait adaptées pour le décoffrage du béton.

## 2. Les huiles de décoffrage

Les agents de démoulage sélectionnés sont de base végétale avec: une huile entière et deux huiles recyclées. Le tableau ci-dessous présente les différentes caractéristiques :

Nature de l'huile	Base végétale recyclée	Base végétale recyclée avec solvant	Pur végétale commercialisée
Référence	R1	R2	V1
Couleur	Bleu - vert	Bleu-vert	Jaune clair
Densité	0,98	0,88	0,91

Tableau 1. Caractéristiques des huiles testées

Les trois échantillons d'huile végétale ont été analysés pour déterminer leurs indices d'acides, de saponification et d'iode ( $I_i$ ) selon les normes NF EN ISO 660 (Septembre 2009)<sup>1</sup>, NF EN ISO 3657 (Septembre 2013)<sup>2</sup> et NF EN ISO 3961 (Septembre 2013)<sup>3</sup> respectivement.

1 NF EN ISO 660 Septembre 2009. Corps gras d'origines animale et végétale - Détermination de l'indice d'acide et de l'acidité.

2 NF EN ISO 3657 Septembre 2013. Corps gras d'origines animale et végétale - Détermination de l'indice de saponification

3 NF EN ISO 3961 Septembre 2013. Corps gras d'origines animale et végétale - Détermination de l'indice d'iode

L'indice d'acide ( $I_A$ ) est défini comme la masse de potasse en milligramme nécessaire pour neutraliser les acides gras libres dans 1 gramme de corps gras. De même, l'indice de saponification ( $I_S$ ) est la masse de potasse en milligramme nécessaire à neutraliser les acides gras libérés par saponification d'1 gramme de corps gras. Ces différents indices permettent de déterminer la masse molaire moyenne (MM, en g/mol) du corps gras ainsi que le nombre d'insaturations ( $n=$ ) par molécule de corps gras.

A noter que les mesures n'ont pas été réalisées sur l'échantillon R2 puisque celui-ci n'est en fait que l'échantillon R1 solvato. Les caractéristiques du corps gras présent dans l'échantillon R2 sont donc les mêmes que celles de R1. Les caractéristiques des huiles V1, R1 et R2 sont décrites dans le Tableau 2.

	$I_A$ mg KOH/g pdr	$I_S$ mg KOH/g pdr	MM g/mol	$I_I$ mg KOH/g pdr	$n=$
V1	15.3	185.1	909.1	112.4	4
R1 et R2	14.3	198.5	849	91	3

Tableau 2. Compositions des huiles testées

Le tableau 2 montre que la base recyclé R1 a une composition chimique proche de l'huile végétale V1. Sa masse molaire et son indice d'iode sont légèrement supérieures.

### 1. Propriétés rhéologiques des huiles

Les propriétés rhéologiques des huiles de démoulage jouent un rôle primordial sur le comportement de l'interface béton/huile/coffrage. Elles influencent directement la mouillabilité et la qualité finale du parement [6, 7]. La viscosité des deux huiles est déterminée à l'aide d'un viscosimètre HAAKE VT550 à vitesse imposée, équipé d'un cône (PK5) de  $1^\circ$  (Figure 1). Pour obtenir des mesures correctes, il est nécessaire, après avoir déposé l'huile sur le plateau, d'attendre entre 5 à 10 min afin de permettre à l'huile d'atteindre la température voulue. Il faut éviter toute variation de température pendant la phase d'essai, pour ne pas fausser la mesure. Les mesures de la viscosité ont été réalisées à température constante ( $10^\circ\text{C}$ ,  $20^\circ\text{C}$  et  $40^\circ\text{C}$ ). Le tableau 3 présente les viscosités dynamiques obtenues par la moyenne de 3 essais.



Figure 1. Viscosimètre HAAKE VT550

Ref.	Viscosité à $40^\circ\text{C}$ (mPa.s)	Viscosité à $20^\circ\text{C}$ (mPa.s)	Viscosité à $10^\circ\text{C}$ (mPa.s)
R1	30.6	42.0	79.2
R2	4.8	5.8	17.6
V1	19.1	23.4	27.2

Tableau 3. Viscosités dynamiques à  $10^\circ\text{C}$ ,  $20^\circ\text{C}$  et  $40^\circ\text{C}$

Les viscosités dynamiques à  $20^\circ\text{C}$  sont comprises entre 6 et  $42\text{mPa.s}$ , ce qui correspond aux gammes utilisées en BTP. La présence du solvant dans R2 diminue la viscosité de la base R1, l'application sera davantage homogène sur la surface du coffrage. Il faudra tout de même être vigilant avec le surdosage et ainsi éviter les coulures d'huiles.

## 2. Tension de surface

La tension superficielle Liquide/Vapeur d'un liquide est liée à la valeur de l'angle de contact formé par une goutte sur un support [8]. Les angles de contact sont une manifestation physique facilement observable des concepts plus fondamentaux d'énergie et de tension superficielle. Cette faculté détermine les propriétés de la mouillabilité et l'adhérence d'un film, ce qui permet de prédire les propriétés d'un revêtement. La valeur d'énergie d'adhésion liquide/solide est représentative de la résistance d'adhésion entre le liquide et le support.

Les énergies d'adhésion sont déterminées d'après l'équation de Zisman [9] :

$$\omega_{LS} = \gamma_{LV} \times (1 + \cos \theta) \quad (1)$$

Pour déterminer l'énergie d'adhésion Solide/Liquide, il est nécessaire de mesurer l'angle de contact de l'huile et la tension superficielle liquide/vapeur.

La mesure de la tension superficielle Liquide/Vapeur a été effectuée par la méthode de la lame de Wilhelmy à 20°C. L'appareil utilisé est un tensiomètre de la société CAD muni d'une lame en platine (Figure 2). Dans cette méthode, une fine plaque de platine est accrochée à une balance de Kahn puis immergée dans un liquide contenu dans un réservoir. La tension superficielle se manifeste par le ménisque qui se forme le long de son périmètre. L'angle de contact des matériaux est déterminé avec un goniomètre de poche de type PGX (Figure 3). Cet appareil mesure l'angle de contact à l'interface entre une goutte de liquide et la surface du substrat sur laquelle elle est déposée. La surface de coffrage utilisée est neuve [4]. Elle est homogène et ne présente pas de défauts ou de particularités liées à son laminage. La rugosité mesurée est de 1,27  $\mu\text{m}$  [5]. Le tableau 4 présente les valeurs de tension superficielle Liquide/Vapeur de mouillabilité et les énergies d'adhésion. Trois essais sont réalisés par huile.



Figure 2. Tensiomètre CAD



Figure 3. Goniomètre

Ref.	Tension superficielle L/V (mN/m)	Angle de Goutte (°)	Energie d'adhésion (mN/m)
R1	35.8	15.8	70.3
R2	31.1	15.4	61.0
V1	33.6	19.5	65.3

Tableau 4. Valeurs des paramètres de tension de surface

Les tensions superficielles L/V sont proches comprises entre 25 et 35 mN/m. Ces valeurs correspondent aux travaux antérieurs réalisés sur d'autres agents de démoulage [5]. Il avait été montré qu'une valeur de 30 mN/m permettait une bonne valeur de l'énergie adhésion. Le solvant tend à réduire la tension superficielle de l'huile R2. Les angles de goutte des formulations recyclées sont plus faibles que l'huile commerciale ce qui leur permet un meilleur étalement. Les énergies d'adhésion sont proches, les huiles sélectionnées possèdent de bonnes tensions de surface.

### 3. Etude de l'esthétique des parements par analyse d'images

#### 1. Le béton

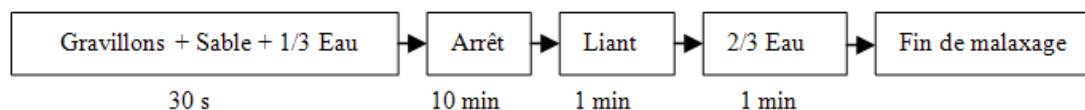
Le ciment utilisé est un ciment portland de type CEMI 52,5 CP2. Le béton utilisé pour l'étude de l'esthétique des parements est un béton traditionnel possédant 28% de pâte. L'ouvrabilité mesurée au cône d'Abrams doit être comprise entre 12 et 14 cm. La formulation est donnée tableau 5.

Bétons	B28
Volume de pâte (%)	28
Ciment CEM I 52,5 CP2 (kg/m3)	232
Filler calcaire (kg/m3)	77
Sable de l'Oise 0/4 (kg/m3)	838
Gravillon concassé 4/8 (kg/m3)	287
Gravillon concassé 6/20 (kg/m3)	778
Eau (l)	176
Rapport (E/L)	0,57

Tableau 5. Caractéristiques du béton utilisé

La confection des bétons nécessite un mode de malaxage bien défini. La norme NF P 18-404 intitulée «Bétons – Essais d'étude, de convenance et de contrôle – Confection et conservation des éprouvettes») a été prise en compte.

La procédure de malaxage a été effectuée à partir de matériaux secs suivant ce protocole :



#### 2. Le coffrage

Les coffrages métalliques sont couramment utilisés dans le bâtiment. Ils permettent de rationaliser la mise en œuvre du béton et contribuent à l'amélioration de la productivité du chantier. Leurs possibilités de réemploi sont appréciables pour des éléments à caractère répétitif : voiles verticaux, planchers et poteaux.

Pour analyser les parements, des moules 30\*30\*30 cm<sup>3</sup> sont employés. Le béton est coulé en trois couches. Chaque couche est vibrée en 5 points de 10 secondes avec une aiguille vibrante de 40mm de diamètre (Figure 4). Les huiles étudiées ont été appliquées par pulvérisation. L'application a été faite sans coulures ni surcharges.



Figure 4. Mise en œuvre du béton dans le moule

#### 3. L'analyse d'images

Le défaut le plus significatif pour un parement est la variation de teinte. C'est la différence visuelle entre des zones de grandes surfaces juxtaposées [10, 11]. Ce genre d'altération affecte généralement le béton sur plusieurs millimètres d'épaisseur. Il existe deux types de variation de teinte, les variations entre différentes gâchées de béton sur un même parement et les variations sur une même gâchée. Une échelle de notation

de 7 niveaux de gris a été élaborée par le CIB [12] (Figure 5). La norme française P18-503 permet également d'apprécier les aspects de surface d'un parement en béton [13]. La norme se base sur trois critères de caractérisation : planéité, texture (bullage) et teinte. Pour l'analyse des parements et des surfaces de coffrage, la première photo est prise 24h après décoffrage pour les parements. L'aspect du parement, le microbullage, le poussierage, l'encrassement, l'ombrage et les points d'accroche sont les paramètres qui vont caractériser la qualité du décoffrage [4].

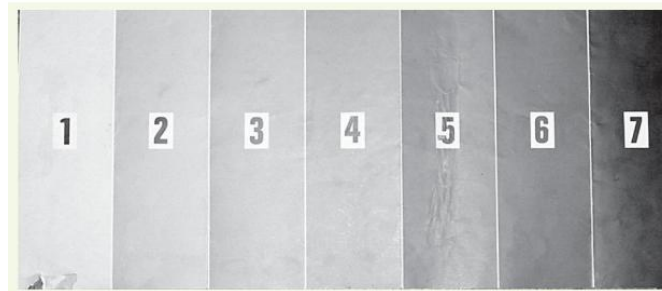


Figure 5. Echelle de gris du CIB

L'analyse de la variation de teinte est définie par analyse d'images. Les parements obtenus ont été photographiés à 1 jour, 3 jours et 7 jours après le décoffrage. Les blocs de béton sont décoffrés 12h après le coulage et sont ensuite stockés dans le laboratoire à une température de  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  et à une humidité constante de  $60\% \pm 5\%$ .

La première étape de la mesure consiste en un examen général du parement avec prise de clichés photographiques de l'aspect global.

Pour effectuer cette détermination, il convient de réaliser les opérations suivantes :

- Caractériser la teinte moyenne à l'aide du nuancier [12].
- Eliminer les artéfacts liés aux bords de surface.
- Effectuer le calcul de la surface totale du parement.
- Déterminer le taux de variation de teinte.

Deux logiciels sont utilisés : GIMP 2.8 et ImageJ 1.48. Les parements obtenus sont présentés respectivement pour 1 jour, figure 6 et pour 7 jours, figure 7.



Figure 6. Parement en béton de R1, R2 et V1 à 1 jour

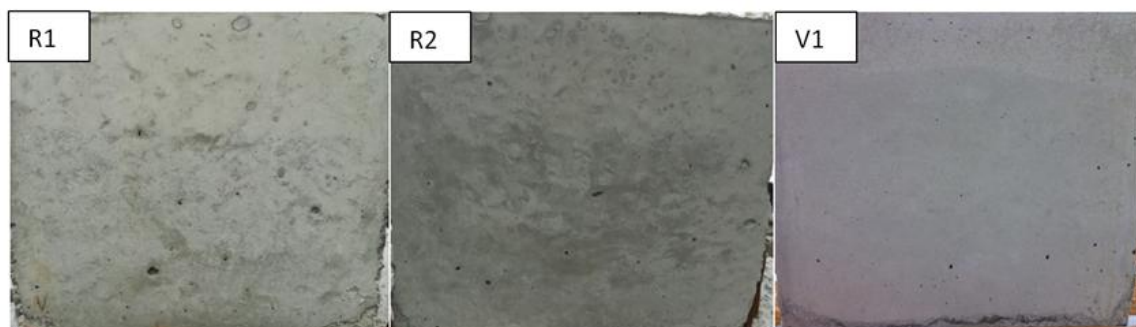


Figure 7. Parement en béton de R1, R2 et V1 à 7 jours



Dans un premier temps, la photo est ajustée pour obtenir une image sans arrière-plan pouvant influencer l'analyse d'image. Dans un deuxième temps, la teinte, la luminosité et la saturation sont améliorées, puis une binarisation par seuillage est réalisée. Pour la variation de la teinte, il est important de prendre la nuance de gris 1 ou 2 de la figure 5 comme référence. Cette échelle est comparée avec la photo prise du parement en béton. Pour déterminer la valeur du taux de variation de teinte, il est nécessaire de définir une échelle de mesure. Pour finir, le calcul des aires « noires » est effectué. Le tableau 6 présente l'ensemble des résultats de variations de teinte pour les agents de démoulage étudiés.

	1 jour (%)	3 jours (%)	7 jours (%)
R1	22.1	8.9	5.5
R2	19.4	7.1	5.0
V1	10.5	4.3	1.2

Tableau 6. Pourcentage des variations de teinte à 1 jour, 3 jours et 7 jours

Il apparaît une différence de teinte entre les huiles recyclées et l'huile commercialisée surtout à 1 jour. Les variations s'estompent fortement au bout de 3 jours et se stabilise à 7 jours pour obtenir des parements de bonne qualité. Les huiles recyclées ne sont pas à utiliser pour réaliser des parements architectoniques mais davantage sur des voiles avec peinture, bardage ou plâtrerie.

L'analyse visuelle montre peu d'encrassement et de points d'accroche. De plus, il n'y a pas de poussérage constaté sur les parements. Le microbullage est très peu présent (environ 0.35%) ce qui montre que la composition des huiles recyclées n'empêche pas les bulles d'air de remonter à la surface.

Les figures 8, 9 et 10 présentent la variation de teinte pour les parements obtenus avec les huiles R1, R2 et V1. Les zones noires montrent la variation de teinte créée à partir de la teinte de référence choisie sur l'échelle du CIB. Il n'y a pas de nuance de gris, toutes les zones possédant une valeur supérieure de teinte au niveau 1 (Figure 5) sont mises en noire. Le bullage peut légèrement influencer les valeurs, il est nécessaire de le retirer lors du calcul.

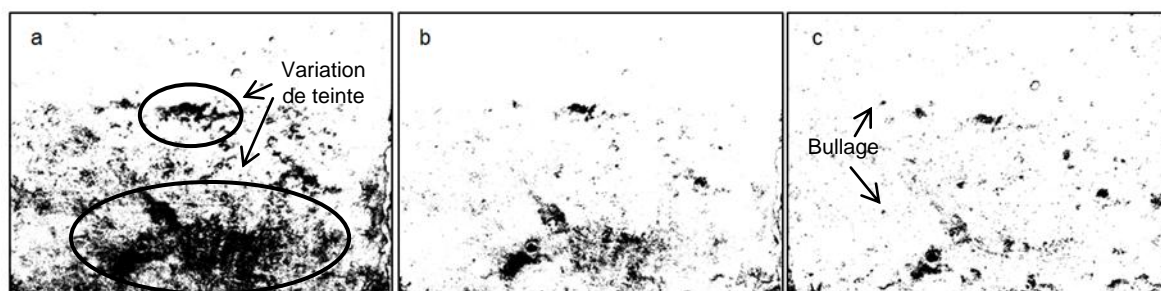


Figure 8. Analyse d'images de R1 à 1 jour (a), 3 jours (b) et 7 jours (c)

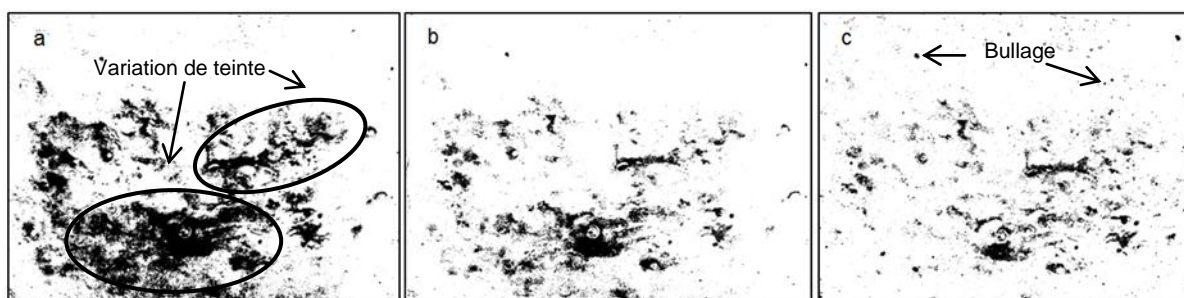


Figure 9. Analyse d'images de R2 à 1 jour (a), 3 jours (b) et 7 jours (c)

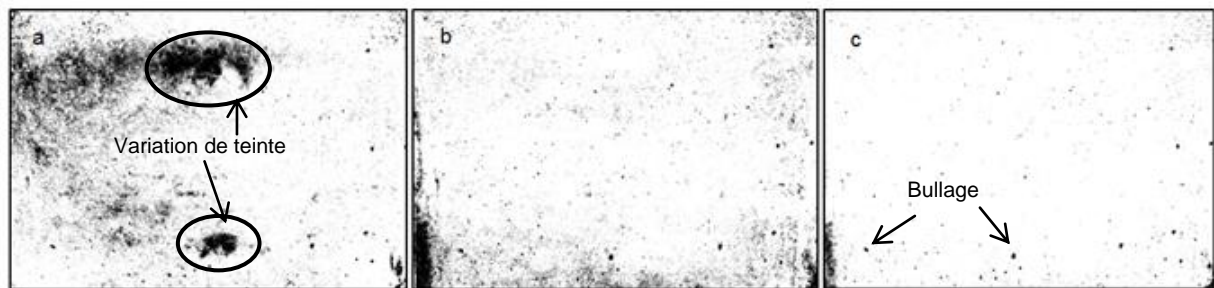


Figure. 10. Analyse d'images de V1 à 1 jour (a), 3 jours (b) et 7 jours (c)

## 4. Conclusion

Les huiles recyclées étudiées montrent de bonnes performances physico-chimiques. Les angles de goutte sont proches des  $15^\circ$  et leur tension superficielle L/V proches des 30 mN/m, ceci leur confère une bonne énergie d'adhésion. La présence de solvant influence davantage la viscosité que les propriétés de tension de surface. Les parements ne sont pas d'aussi bonnes qualités que ceux de l'huile commercialisée mais sont tout à fait acceptables. Le solvant n'apporte pas d'amélioration au niveau de la qualité des parements. Pour conclure, les huiles recyclées à base végétale peuvent être utilisées directement sans solvant et permettre un décoffrage du béton efficace avec une bonne qualité de parement à 7 jours.

## Bibliographie

- [1] Hermann K, "Produits de décoffrage", Bulletin du ciment, n° 15, 1993.
- [2] Djelal C., De Caro P., Libessart L., Dubois I., Pébère N., "Comprehension of demoulding mechanics at the formwork/oil/concrete interface", Materials and Structure, 2008, vol. 41, n° 3, pp. 571-581.
- [3] Syndicat national des adjuvants pour bétons et mortiers (SYNAD), Classification Synad des agents de démoulage; 2014.
- [4] Libessart L., Djelal C., De Caro P., "Influence of the type of release oil on steel formwork corrosion and facing aesthetics", Construction & Building Materials, 2014, vol. 68, pp. 391-401.
- [5] Libessart L., de Caro P., Djelal C., Dubois I., "Correlation between adhesion energy of release agents on the formwork and demoulding performances", Construction & Building Materials, 2015, vol. 76, pp. 130-139.
- [6] Hart I., "Concrete release agent, associated materials and surface finishes", Concrete, 1994, vol. 28, n°. 12, pp. 33-34.
- [7] De Caro P., Djelal C., Libessart L., Dubois I. "Influence of the nature of demoulding agent on the properties of the formwork/concrete interface", Magazine of Concrete Research, 2007, vol. 59, n° 2, pp. 141-149.
- [8] Chappuis, J.; Georges, J-M. "Contribution to Study of Wetting - Analysis of a Measuring", Method. J. Chim. Phys. Phys. Chim. Biol., 1974, vol. 71, pp. 567-575.
- [9] Zisman W.A., "Relation of the Equilibrium Contact angle to Liquid and Solid Constitution", Advances in Chemistry, 1964, vol. 43, pp1-51.
- [10] Collection technique CimBéton. Bétons et ouvrages d'art – La maîtrise esthétique des parements en béton. T49; 2005.
- [11] Lemaire G, Escadeillas G, Ringot E. "Evaluating concrete surfaces using an image analysis process", Construction & Building Materials, 2005, vol.19, pp. 604-11.
- [12] CIB, « Tolérances sur les défauts d'aspect du béton », Rapport n° 24 – n°1189, 1973.
- [13] ST P18-503, "Concrete surfaces and facing. Identification elements", ISSN:0335-3931, 1989.