Biofluidification d'un mortier de ciment Portland par un adjuvant protéinique. Conséquences sur les performances du matériau à l'état frais

Abdelrhani Chikhi, Rose-Marie Dheilly, Michèle Queneudec

▶ **To cite this version:**

Abdelrhani Chikhi, Rose-Marie Dheilly, Michèle Queneudec. Biofluidification d'un mortier de ciment Portland par un adjuvant protéinique. Conséquences sur les performances du matériau à l'état frais. Conférence Matériaux 2014 - Colloque Ecomatériau, Nov 2014, Montpellier, France. hal-01144615

HAL Id: hal-01144615
https://enpc.hal.science/hal-01144615

Submitted on 22 Apr 2015

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Biofluidification d'un mortier de ciment Portland par un adjuvant protéinique. Conséquences sur les performances du matériau à l'état frais

Abdelrhani Chikhi [1], Rose-Marie, Dheilly [1], Michèle Queneudec [1,*]

Unité de Recherche EPROAD-EA 4669- Equipe IMaP- Université de Picardie Jules Verne-
7, rue du Moulin Neuf-80 000 Amiens France

[*] Michele.tkint@u-picardie.fr

RESUME : *Il s'agit de fluidifier un matériau cimentaire grâce à un adjuvant protéique en conservant un rapport adjuvant/ciment inférieur à 3 % en masse. Cette fluidification doit permettre une mise en place facile du matériau fortement sous-dosé en eau tout en préservant les qualités du matériau durci grâce à une bonne compatibilité de l'adjuvant avec la matrice cimentaire. L'étude de l'écoulement au maniabilimètre a montré que l'adjuvantation protéique permet l'amélioration de l'ouvrabilité du mortier de ciment, facilitant ainsi sa mise en place. Le suivi de l'évolution de la température d'hydratation a permis de constater une bonne compatibilité entre adjuvant et ciment quelle que soit la proportion d'adjuvant ajouté dans la limite des quantités utilisées dans cette étude.*

ABSTRACT : *It comes to fluidify a cementitious material through a protein adjuvantation such as the adjuvant-to-cement ratio remains below 3% by mass. This fluidity must allow easy placement of the material with a strongly low amount of water while preserving the qualities of the hardened material through a good compatibility of adjuvant with the cementitious matrix. The study of the flow in the maniabilimetre showed that the protein adjuvantation allows improving the workability of cement mortar, thus facilitating its implementation. The evolution of hydration temperature monitoring revealed a good compatibility between adjuvant and cement regardless of the proportion of adjuvant added within the limits of the quantities used in this study*.

MOTS CLES : *fluidification, adjuvant protéique, mortier cimentaire, ouvrabilité, hydratation*

KEY WORDS: *fluidity, protein adjuvant, cementitious mortar, workability, hydration*

1. INTRODUCTION

Les matériaux à matrice cimentaire sont des matériaux poreux. Ces matériaux sont soumis à des phénomènes de transfert hydrique et sont ainsi exposés à des risques de dégradation à long terme. Il en résulte un risque de fragilisation du matériau et par conséquent celle de l'ouvrage.

Par ailleurs, si l'utilisation du sang dans la construction est connue depuis les Romains, il existe peu de travaux scientifiques sur le sujet et l'hémoglobine, protéine globulaire issue du sang bovin, a, jusqu'à ces dernières décennies, été utilisée principalement dans les industries alimentaires et pharmaceutiques. De plus, la quantité de sang récupéré et transformé est estimée à environ 1/3 de la production et est donc loin de représenter la totalité du gisement, ce qui peut faire craindre des risques environnementaux et met en évidence un manque à gagner conséquent. Une valorisation des produits dérivés du sang animal dans l'industrie de la construction, secteur de grande diffusion peut alors paraître d'importance stratégique.

L'équipe IMaP de l'unité de recherche EPROAD (EA 4669), s'est donc investie dans ce domaine depuis une vingtaine d'années. Elle a montré la capacité de cette protéine globulaire à donner par

polycondensation des agropolymères thermodurcissables [1] et utilisé le pouvoir moussant de l'hémoglobine, lié à ses propriétés tensio - actives, pour élaborer des bétons cellulaires à froid [2-5]. Au cours des travaux précédents [6] il est apparu que, grâce à ces propriétés tensio actives, l'addition d'hémoglobine entraînait également une amélioration de la maniabilité des pâtes cimentaires qui laissait présager la possibilité de diminuer la quantité d'eau au malaxage avec comme conséquences une diminution de la porosité dans le matériau durci et des risques de dégradation liés aux transferts hydriques.

Ce travail portait donc sur l'effet de l'adjuvantation protéique sur les propriétés d'un mortier de ciment. Il s'agissait de fluidifier le matériau grâce à différentes teneurs en adjuvant protéique dans la limite adjuvant/ciment < 3 %.

Dans cette contribution, seules les performances à l'état frais seront abordées.

2. MATERIAUX ET TECHNIQUES EXPERIMENTALES

Le matériau étudié dans le présent travail est un mortier de ciment. Trois rapports E/C = (0.40, 0.45, 0.50) ont été étudiés. La fluidification du matériau est assurée par l'incorporation d'un adjuvant protéique dans la limite de H/C ≤ 3 %.

2.1. MATIERES PREMIERES

Le matériau étudié est un mortier dont les constituants sont le sable, le ciment, l'eau.

2.1.1. Le ciment

Le ciment utilisé est un ciment Portland artificiel, CPA-CEM I 52.5 (EN 196-1).

2.1.2. Le sable

Le sable (S) utilisé est un sable de construction couramment utilisé en Picardie, de nature siliceuse, dont l'étendue granulométrique varie entre 0.08 et 2 mm. Sa masse volumique apparente est 1620 kg/m^3 et sa masse volumique absolue mesurée par déplacement d'eau est de l'ordre de 2490 kg/m^3. Les mêmes mesures effectuées sur un sable normalisé nous ont permis de trouver, une masse volumique apparente de 1610 kg/m^3 et une masse volumique absolue de l'ordre de 2640 kg/m^3. L'étude par Microscope Electronique à Balayage (figure 1) montre le caractère anguleux des grains.

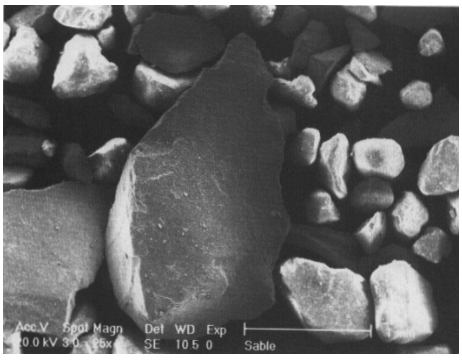


Figure 1 : Aspect en microscopie électronique à balayage du sable utilisé (Grossissement 25 X)

2.1.3. L'eau de gâchage

L'eau de gâchage utilisée (E) est une eau potable du réseau à la température de 20°C ± 2°C et le PH est de 7.75. Elle est conforme à la Norme Française (NF P15-401).

2.1.4. Le fluidifiant

Le fluidifiant utilisé est de l'hémoglobine de bœuf atomisée (H) traitée par la société Vapran et commercialisée sous le nom « Vepro 95 BHF ». Le produit obtenu par fractionnement et stabilisé thermiquement est fourni sous forme de poudre.

2.2. ELABORATION DES MATERIAUX

Conformément aux prescriptions de la norme (EN 196-1), les différents constituants (eau, sable et ciment) sont malaxés pendant quatre minutes dans un malaxeur à mortier normalisé suivant les étapes résumées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Différentes étapes suivies pour l'introduction et le malaxage des différents constituants

.Opérations	Introduction de l'eau	Introduction du ciment	Introduction du sable		Raclage de la cuve		Introduction du fluidifiant	
Durée (s)		30	30	30	15	75	60	30
Etat du malaxeur	Arrêt		Vitesse lente	Vitesse rapide	Arrêt		Vitesse rapide	Vitesse lente

2.3. TECHNIQUES EXPERIMENTALES

Les tests effectués à l'état frais auront pour but d'évaluer l'ouvrabilité du mortier et d'étudier l'évolution de l'hydratation du ciment.

L'ouvrabilité a été évaluée à l'aide d'un maniabilimètre à mortier normalisé (EN 413-2) suivant le mode opératoire normalisé. La durée d'écoulement du mortier est choisie comme critère pertinent. Elle sera d'autant plus courte que le mortier sera plus fluide ou plus maniable.

L'adjuvant protéique étudié est à la fois un fluidifiant et un entraîneur d'air. La quantité d'air occlus dans le matériau à l'état frais a été déterminée à l'aide d'un aéromètre normalisé pour mortier (EN 413-2).

L'influence de l'adjuvantation du matériau sur l'hydratation du ciment a été évaluée par la mesure de l'élévation de température en fonction du temps.

3. RESULTATS EXPERIMENTAUX ET ANALYSE

Il s'agit de fluidifier le matériau grâce à différentes teneurs en adjuvant protéique telles que le rapport adjuvant/ciment reste inférieur à 3 % en masse. Cette fluidification doit permettre une mise en place facile du matériau fortement sous dosé en eau, soit un rapport eau/ciment=0,4 tout en préservant les qualités du matériau durci grâce à une bonne compatibilité de l'adjuvant avec la matrice cimentaire.

3.1. INFLUENCE DE LA BIOADJUVANTATION SUR L'OUVRABILITE DU MORTIER

Le temps d'écoulement du mortier dans le maniabilimètre a été déterminé pour différents rapports adjuvant/ciment (H/C) et différents rapports eau/ciment E/C (0,40 ; 0,45 ; 0,50). Il a été constaté une nette amélioration de l'ouvrabilité du matériau avec l'ajout de l'adjuvant protéique jusqu'à H/C = 0,7%.

Au-delà de cette valeur il n'y a plus de progression sensible de la fluidité du mélange. Ce point correspond à la quantité d'adjuvant qui permet la défloculation complète du ciment utilisé. Selon la littérature, les liaisons entre les grains étant neutralisées, un ajout supplémentaire d'adjuvant serait sans effet et même se traduirait par une perte de fluidité du fait de l'augmentation de la viscosité de la phase liquide (eau+ fluidifiant). Dans les limites d'études actuelles (H/C < 3%) cette augmentation de viscosité n'a pas été observée. Au delà d'un ajout protéique égal à 0,7 % on observe seulement un palier. Il faut signaler qu'en ce même point (H/C = 0,7 %) on obtient, aux erreurs expérimentales près, le même temps d'écoulement pour un mortier de rapport E/C = 0,5 sans ajout d'hémoglobine et pour un mortier de rapport E/C = 0,4 adjuvanté, ce qui permet d'envisager une réduction d'eau de 20 %. Ceci est important car l'eau de gâchage joue un double rôle pour le béton. Seule une fraction est utile pour l'hydratation du ciment. La quantité d'eau en excès par rapport à la quantité nécessaire pour les réactions chimiques qui ont lieu à l'hydratation est ensuite éliminée lors du séchage. Elle est donc à l'origine d'un réseau poreux, plus ou moins rempli d'eau, qui affectera les performances finales.

La figure 2 illustre le comportement de mortiers différemment dosés en eau en présence d'adjuvant protéique. On constate qu'il existe un dosage optimum assurant la défloculation complète du mélange et permettant d'obtenir une bonne ouvrabilité, il est évalué à un rapport H/C = 0,7%.

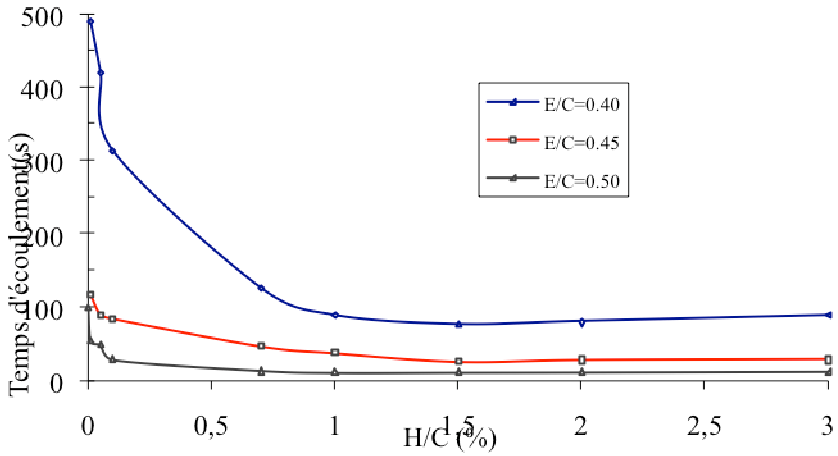


Figure 2 : Evolution du temps d'écoulement en fonction du rapport H/C

A titre d'exemple, pour de faibles rapports comme E/C = 0,40, le mortier de ciment non adjuvanté est très peu maniable. Ceci se traduit par un temps d'écoulement long et on observe des fissures transversales qui apparaissent sur la face supérieure du talus. Le mortier n'atteint pas le trait repère du maniabilimètre (figure 3), mais l'ajout d'une faible quantité de fluidifiant, de l'ordre de 0,1 % de la masse de ciment, le rend à nouveau maniable. Ce phénomène se manifeste par un temps d'écoulement relativement court et on observe dans ces conditions, l'abaissement du niveau supérieur du talus pour atteindre le trait repère par étirement de ce talus. En effet la face inclinée de ce dernier qui était plane au début se bombe à sa partie inférieure (figure 4).

La figure 5 montre une photo de l'écoulement du matériau élaboré conformément au dosage optimum. On remarque l'absence de ségrégation et que l'écoulement est uniforme et homogène. Le matériau ainsi obtenu par adjuvantation protéique présente une bonne qualité de mise en place.

Figure 3 Ecoulement dans un maniabilimètre (E/C=0,4 ;H/C=0%)

Figure 4 : Ecoulement dans un maniabilimètre (E/C=0,4 ;H/C=0,1%)

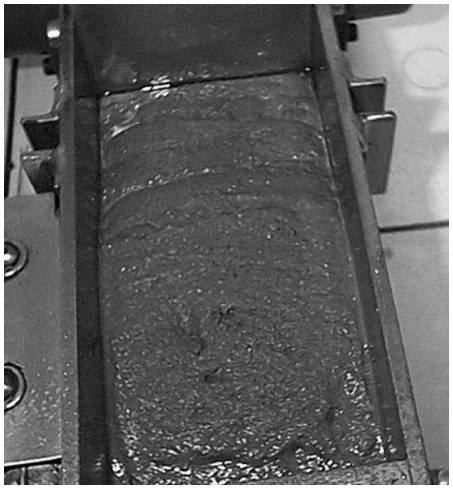


Figure 5 : Ecoulement du mortier dans un maniabilimètre (E/C = 0,40 ; H/C = 0,7%)

La porosité a été choisie comme critère de qualité du matériau après sa mise en place. A cet effet on détermine les masses volumiques apparente et absolue du matériau frais. On examinera ici à titre d'exemple le cas d'un rapport E/C = 0,4 adjuvanté à différentes teneurs en fluidifiant.

La figure 6 montre l'évolution de la masse volumique apparente du matériau à l'état frais en fonction de l'ajout de l'adjuvant. On constate qu'elle augmente dès l'adjonction d'une petite quantité d'adjuvant. Cette augmentation est optimale pour un rapport H/C = 0,7%. Au delà de ce point optimum la masse volumique fraîche diminue. Cette variation de la masse volumique peut être expliquée par deux phénomènes qui se contrarient.

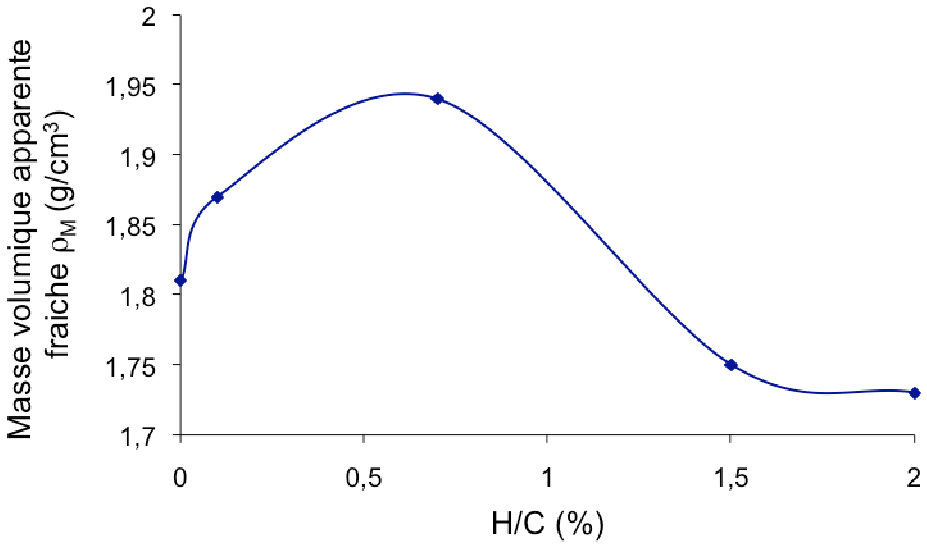


Figure 6 Evolution de la masse volumique apparente du matériau à l'état frais (E/C = 0.4)

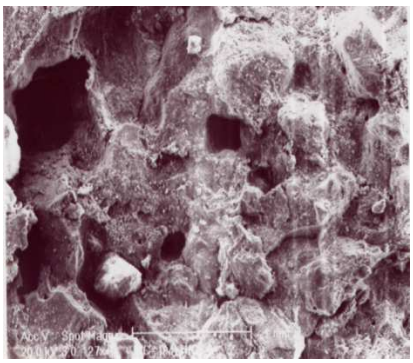
Dans la première phase de la courbe l'ajout d'adjuvant facilite la défloculation du ciment, ce qui permet une meilleure compacité du matériau d'où l'augmentation de la masse volumique fraîche du matériau. Par ailleurs, la fluidification protéique est accompagnée d'un entraînement d'air qui se manifeste par une diminution de la masse volumique apparente du matériau. Cet entraînement d'air peut être mesurée grâce à un aéromètre à mortier qui donne directement le volume d'air occlus en pourcentage du mortier frais utilisé. Le tableau 2 donne les valeurs d'air occlus (V_v (%)) obtenu pour un mortier à E/C = 0.40 adjuvanté à différentes teneurs en hémoglobine.

Tableau 2 : Valeurs en pourcentage d'air occlus du matériau à l'état frais (E/C = 0.4)

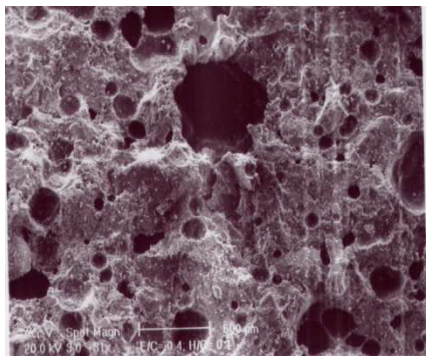
H/C (%)	0	0,1	0,7	1,5	2
V_v (%)	17	16	14	19	22

L'adjuvantation du mortier contribue ainsi à une augmentation de l'air entraîné dans la partie descendante de la courbe de la figure 6. Ces résultats sont aussi confirmés par les photos obtenues par microscopie électronique à balayage. On voit que sans ajout d'adjuvant, le mortier présente un aspect relativement caverneux dû à une mauvaise compacité du gel cimentaire. A 0.1% la compacité est améliorée mais des cavités subsistent. On voit des traces de bulles d'air. Pour H/C = 0.7 %, la proportion de ces bulles d'air augmente mais le gel cimentaire est bien compact. Pour des rapports H/C plus élevés (2 % par exemple) les traces de bulles d'air sont très nombreuses et expliquent la diminution de masse volumique (figure 7). Ainsi, la nature de la porosité évolue au fur et à mesure que la quantité d'adjuvant augmente. L'entraînement d'air se substitue progressivement aux cavités dues au manque d'eau. Il se manifeste pleinement lorsque la défloculation de la pâte de ciment est totale et la compacité du gel cimentaire optimum.

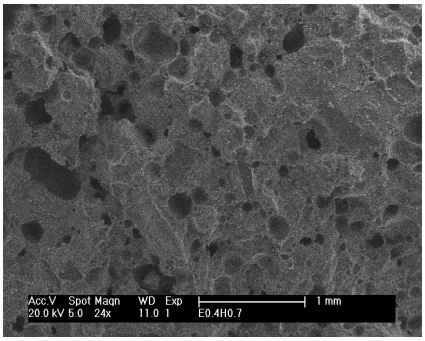
Pour H/C = 0.7 % le matériau présente une compacité optimale, un bon remplissage du moule et en conséquence une facilité de mise en place optimale.



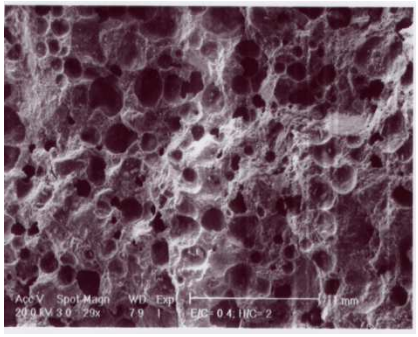
a) :E/C=0.4,H/C=0%, 27x



b) :E/C=0.4,H/C=0.1%, 31x



c) :E/C=0.4,H/C=0.7%, 24x



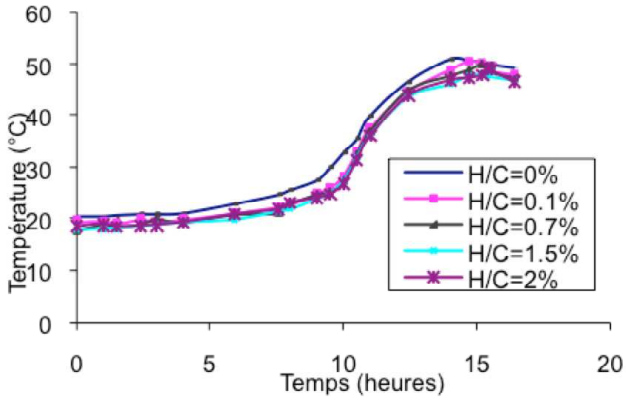
d) :E/C=0.4,H/C=2%, 29x

Figure 7 : Aspect en microscopie électronique à balayage montrant l'effet de l'adjuvant sur un mortier de rapport E/C = 0.4

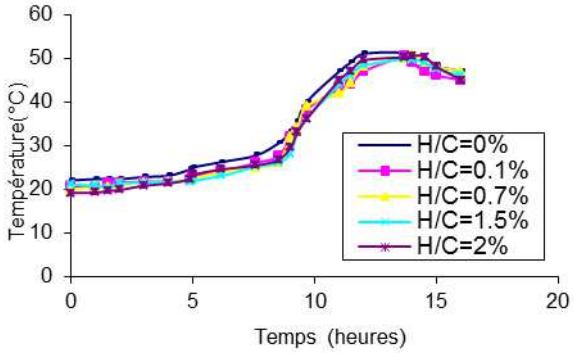
3.2. INFLUENCE DE LA BIOADJUVANTATION SUR L'HYDRATATION DU CIMENT

L'évolution des températures relevées lors des réactions d'hydratation du ciment dans le matériau en fonction du temps, est représentée sur la figure 8. Cet essai consiste à évaluer la température maximale d'hydratation et le temps correspondant pour atteindre cette température maximale, Il nous permet également de déterminer le temps de début de prise.

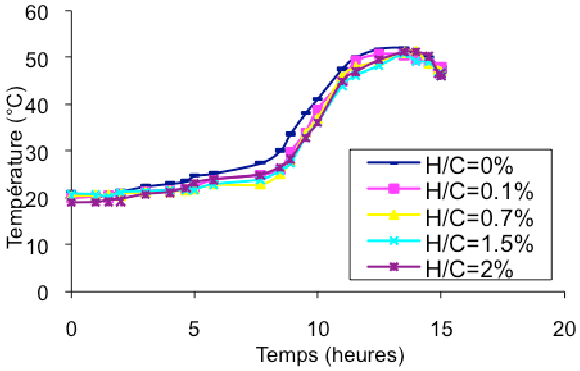
Cette figure montre l'impact de l'adjuvantation sur les phénomènes d'hydratation. On constate que, pour les différents rapports E/C (0.4, 0.45, 0.50), l'ajout du fluidifiant protéique dans les proportions étudiées (H/C < 2%), n'affecte pas le temps de début de prise. Ainsi, la période dormante est pratiquement identique pour toutes les teneurs en fluidifiant. En outre, pour les trois teneurs en eau, les courbes d'hydratation ont la même allure.



a) E/C= 0,40



b) E/C=0,45



b) E/C=0,50

Figure 8 : Effet de l'adjuvantation du mortier de ciment sur l'évolution de la température d'hydratation pour les différentes teneurs en eau.

Pour mieux cerner l'effet inhibiteur de l'adjuvant protéique sur le mortier de ciment, il est possible d'évaluer l'indice d'inhibition (I), paramètre introduit par Moslemi pour caractériser la compatibilité entre le ciment et le fluidifiant protéique [7]. Moslemi a classé les domaines d'inhibition et considéré que l'hydratation est faiblement inhibée pour I<10.

Pour les différents rapports E/C, les valeurs de l'indice d'inhibition sont très faibles (I < 5) quelle que soit la quantité de fluidifiant protéique. Ces données confirment les résultats obtenus pour les

résistances mécaniques qui ne sont pas affectées par la fluidification du mélange comme il a pu être vérifié [8].

Notons que l'on a pu remarquer également [8], qu'au point d'écoulement optimum (H/C = 0.7%), l'effet inhibiteur est plus faible que pour les autres pourcentages excepté dans le cas de E/C = 0.4 où un dosage de 0.1% en fluidifiant par rapport à la masse de ciment présente une inhibition plus faible qu'avec 0.7 %. En outre, les vitesses d'hydratation du ciment pour différents rapports E/C restent très voisines pour les différentes teneurs en fluidifiant protéique et en particulier au point d'écoulement optimum.

En conclusion, les résultats obtenus signifient que la fluidification protéique du mortier de ciment qui permet la défloculation des grains de ciment pour obtenir une meilleure maniabilité et une compacité satisfaisante n'influence pas le temps de prise et n'affecte pas de façon sensible les paramètres d'hydratation du matériau adjuvanté. Ce qui confirme l'absence d'une incompatibilité gênante entre l'adjuvant protéique et le ciment.

4. CONCLUSION

Il s'agissait dans ce travail de fluidifier un mortier cimentaire fortement sous dosé en eau grâce à différentes teneurs en adjuvant protéique afin de permettre une mise en place facile du matériau tout en préservant les qualités du matériau durci grâce à une bonne compatibilité de l'adjuvant avec la matrice cimentaire. L'étude a montré que le fluidifiant protéique permet une réduction de l'eau de gâchage de 20 % pour un optimum évalué à un rapport adjuvant/ciment = 0.7%. En ce point optimal, la porosité à l'état frais après la mise en place est minimale, ce qui laisse présager de bonnes résistances mécaniques dans la mesure où l'hydratation du ciment se fait normalement comme il a pu être constaté. Ceci a été corroboré par une étude a l'état durci. A titre d'exemple, notons que, à l'optimum d'adjuvantation, dans le cas d'un mortier E/C=0,4, la résistance à la compression est sensiblement celle d'un mortier E/C=0,5 avec une masse volumique apparente plus faible.

5. REFERENCES

1. M.Quéneudec, J.Houessou, N.Montrelay, *Procédé pour l'élaboration d'un agropolymère thermodurcissable et un tel polymère thermodurcissable*, N° de dépôt10/02.946, Juillet 2010 Demandeur : Université de Picardie Jules Verne.
2. N. Madjoudj, (Juin 2004) : *Valorisation de fines argileuses d'exploitation par moussage protéinique. Evaluation et optimisation des performances du matériau élaboré*. Thèse de doctorat de l'Université de Picardie Jules Verne, 173 p.
3. A.Remadnia, R.M.Dheilly, B.Laidoudi, M.Quéneudec*, Use of animal proteins as foaming agent in cementitious concrete composites manufactured with recycled PET aggregates*, Construction and Building Materials, (23) (2009) 3118-3123.
4. A.Benazzouk, K.Mezreb, O.Douzane, M.Quéneudec, *Physico-mechanical properties of aerated composites containing shredding rubber waste*, Cement and Concrete Composites, (28) (2006) 650-657.
5. A.Remadnia, R.M.Dheilly, A.Goullieux, M.Quéneudec, *Valorization of two wastes of food industryin manufacturing of lightweight building materials,* AGS'10 Third Euro Mediterranean Symposium, Djerba (Tunisia), 10-12 May 2010.
6. M. Ruzicka (1998). *Optimisation d'un procédé de moussage protéinique de pâtes argile - ciment: Conséquences sur le comportement physico-mécanique du matériau durci*, thèse de doctorat de l'Institut National des Sciences Appliquée de Lyon.
7. A.A, Moslemi , Y.T. L im. *Compatibility of southern hardwoods with Portland cement. Forest Products* Research Society, Vol. 34, (7 8) (1984) 22-26.

8. A. Chikhi (2005) Optimisation et évaluation d'un procédé de bio fluidification d'un mortier de ciment Portland : étude expérimentale de l'écoulement à l'état frais et conséquences sur les performances du matériau élaboré à l'état durci.. Thèse de doctorat de l'Université de Picardie Jules Verne, 209 p.

|