

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
جامعة غرداية  
Université de Ghardaïa

N° d'enregistrement  
/...../...../...../.....



كلية العلوم والتكنولوجيا  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
قسم الري والهندسة المدنية  
Département Hydraulique et Génie Civil

**Mémoire**  
Pour l'obtention du diplôme de Master

Domaine: Sciences et Technologies  
Filière: Génie civil  
Spécialité: Structure

**Effet de l'utilisation du glucose sur la qualité du béton lors  
du bétonnage par temps chaud**

Soutenue publiquement le 06/06/2024.

Par  
ELGAROUÏ Chaima & DEROUÏCHE Nourhane

Devant le jury composé de:

Membres de Jury	Grade	Qualité	Domiciliation
Mr. Saiti Issam	M.A.A	Président	Université de Ghardaïa
Mme Matallah Zineb	M.A.A	Examinatrice	Université de Ghardaïa
Dr. Dehane Sarra	M.A.B	Encadreur	Université de Ghardaïa

Année universitaire 2023/2024



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

A decorative floral element consisting of a central flower with several petals and a stem with leaves, positioned to the left of the calligraphic text.

## الإهداء

الحمد لله حبا وشكرا وامتنانا على البدء والختام. (( واخر دعواهم ان الحمد لله ربي العالمين )) بعد تعب ومشقة  
دامت خمس سنوات في سبيل الحلم والعلم حملت في طياتها امنيات  
الليالي. وأصبح عنائي اليوم للعين قرّة. ها انا اليوم أقف على عتبة تخرجني واقطف ثمار تعبني وارفع قبعتي بكل فخر, فاللهم لك  
الحمد قبل ان ترضى لي ولك الحمد ادا رضيت ولك الحمد بعد الرضى  
ألنك وفقنتني على اتمام هذا النجاح وتحقيق حلمي .

وبكل حب اهدي ثمرة نجاحي وتخرجني

الى الذي زين اسمي بأجمل اللقب من دعمني بال حدود واعطاني بال مقابل الى من علمني ان الدنيا كفاح  
وسالحتها العلم والمعرفة داعمي الولى في مسيرتي وسندي وقوتي ومالذي بعد الله فخري واعتزازي  
((والدي))

لمن جعل الله الجنة تحت أقدامها. واحتضني قلبها قبل يديها وسهلت لي الشدائد بدعائها. الى القلب الحنون والشمعة التي  
كانت لي في الليالي المظلمات سر قوتي ونجاحي جنتي

((والدي))

الى مائكة رزقني الله بهن ال عرف من خالهن طعم الحياة الجميلة. تلك المائكة التي غيرن مفاهيم الحب والصدقة  
والسند في حياتي اخواتي

((سامية , احالم , ايمان , شهرة , كوثر , شهيناز))

الى من بذلت الجهود واجتازت الصعاب معي رفيقتي في هذا النجاح

((نورهان))

إلى من مديده دون كلل وال ملل وقت ضعفي وكانوا سندا ((محمد , نور الدين , محمد بن عبد

الرحمان))

الى من شجعوني ودعموني في هذه المسيرة ((خالتي وجميع عائلتي من قريب وبعيد )) الى جميع الصداقة

والزملاء ولكل من كان عوناً في هذا النجاح

((هدى , يسرى , سارة , امال , فاطمة , مريم , هاجر , عدنان ))

اهديكم هذا النجاح .

شيماء

إهداء

الحمد لله في البداية والختام

إلى والدي نبع العطاء ورمز املحبة، شكّراً لكم على دعمكم الدائم

إلى إخوتي وأخواتي الذين شاركوني حلوة الحياة و مرها

إلى عائلتي الكريمة ، تقديراً لكم

إلى صديقتي العزيزات (( آمال , جميلة, بثينة , فاطمة , مريم )) إلى كل أستاذ

جعله الله سبباً لي في الوصول إلى هذا المستوى

إلى جميع الأساتذة والزملاء والزميلات في قسم الهندسة المدنية والري أهدىكم هذا

العمل المتواضع

نورهان

## Remerciements

Tout d'abord, nous souhaitons exprimer notre gratitude à **Dieu Tout-Puissant** pour la réussite de ce travail.

Nous adressons également nos sincères remerciements à notre encadreur, Dr. Dehane Sarra, pour ses précieux conseils et son souci constant de la réussite de cette thèse. Les mots ne suffiront pas à exprimer notre profonde gratitude et notre appréciation pour ses efforts sincères et sa contribution efficace à la réalisation de ce travail de recherche. Nous demandons à Dieu de bien la récompenser et de lui accorder le succès dans tous ses efforts.

Nous tenons également à remercier les membres de notre jury : à M. Saiti Issam d'avoir accepté de présider le jury de soutenance, ainsi qu'à Mme Matallah Zineb qui a bien voulu être examinateur de ce modeste travail. Qu'ils trouvent ici l'expression de notre profonde reconnaissance.

Nous exprimons également notre gratitude à tous les membres de notre université, aux professeurs et à nos camarades pour leur soutien et leurs encouragements continus.

Nous remercions également tous l'équipe du laboratoire L.T.P.S pour leurs

efforts et leur grande contribution à la réalisation de ce travail. Nos

remerciements vont particulièrement au directeur technique,

M. Amieur Abde Nasser, et à M. Djekaoua Cheikh.

Enfin, nous adressons nos remerciements à tous

ceux qui ont contribué de près ou de loin à ce travail.



**Résumé :**

Cette recherche examine l'utilisation du glucose comme retardateur de prise dans des conditions de bétonnage à chaud pour améliorer la qualité du béton. Les résultats de cette étude indiquent que l'ajout de glucose à la pâte de ciment augmente significativement les temps de prise, où la concentration de glucose de 0,05% en poids de ciment a doublé le temps de prise par rapport au témoin. De plus, le glucose améliore la résistance mécanique du mortier dès l'âge de 2 jours. Dans les conditions de bétonnage à chaud, où la résistance à la compression est normalement réduite, l'ajout de glucose entraîne des augmentations notables de la résistance à différents âges du béton. L'optimisation des performances du béton est également influencée par le moment d'ajout de glucose, montrant une augmentation significative de la résistance à 7 jours lorsque le glucose est ajouté 45 minutes après le malaxage. Ces résultats suggèrent que le glucose à faible dosage agit efficacement en tant que retardateur de prise, favorisant à des gains de la résistance à la compression du béton et offrant ainsi des avantages pour le bétonnage par temps chaud. Cependant, des études supplémentaires sont nécessaires pour comprendre mieux l'impact du glucose sur la qualité du béton armé.

**Mots clés :** Béton, ciment, température, retardateur, glucose, prise, résistance.

**الملخص :**

يهدف هذا البحث إلى دراسة إمكانية استخدام الجلوكوز كمأخر للتصلب في ظروف صب الخرسانة في الأجواء الحارة وذلك لتحسين جودتها. تشير النتائج إلى أن إضافة الجلوكوز إلى عجينة الأسمنت تزيد بشكل كبير من أوقات التصلب، حيث أن تركيز الجلوكوز بنسبة 0...% من وزن الإسمنت يضاعف الوقت اللازم للتصلب مقارنة بالعجينة المرجعية. بالإضافة إلى ذلك، يحسن الجلوكوز المقاومة الميكانيكية للمالط بدءاً من عمر يومين. في حالة صب الخرسانة في الأجواء الحارة، حيث يتم عادةً ملاحظة انخفاض في مقاومة الخرسانة للضغط، يؤدي إضافة الجلوكوز إلى زيادات ملحوظة في المقاومة وذلك في مراحل مختلفة من عمر الخرسانة. يتأثر تحسين أداء الخرسانة أيّ وقت إضافة الجلوكوز، حيث تظهر زيادة كبيرة في المقاومة في عمر 7 أيام عند إضافة الجلوكوز بعد 50 دقيقة من الخلط. هذه النتائج تشير إلى أن إضافة الجلوكوز بجرعات منخفضة يعمل بفعالية كمؤخر للتصلب، ويحسن من مقاومة الضغط للخرسانة مما يوفر فوائد لصب الخرسانة في الطقس الحار. ومع ذلك، يعتبر إجراء دراسات إضافية لفهم تأثير الجلوكوز على جودة الخرسانة المسلحة بشكل أفضل أمراً ضرورياً.

**الكلمات المفتاحية:** الخرسانة، الأسمنت، درجة الحرارة، إضافات تأخير الشك، الجلوكوز، زمن الشك، المقاومة.

**Abstract:**

This research examines the use of glucose as a setting retarder in hot concreting conditions to enhance concrete quality. The results indicate that adding glucose to cement paste significantly increases setting times, where a glucose concentration of 0.05% by weight of cement doubled the setting time compared to the control. Additionally, glucose enhances the mechanical strength of mortar within 2 days of curing. In hot weather concrete conditions, where compressive strength is commonly reduced, adding glucose leads to noticeable increases in strength at different ages of concrete. Optimization of concrete performance is also influenced by the timing of glucose addition, showing a significant increase in strength at 7 days when glucose is added 45 minutes after mixing. These results suggest that glucose in low-dose acts effectively as a setting retarder, contributing to gains in concrete compressive strength and thus offering benefits for hot weather concreting. However, further studies are needed to better understand the impact of glucose on reinforced concrete quality.

**Keywords:** Concrete, cement, temperature, retarder, glucose, setting, strength.

## Notations

<b>°C :</b>	Degrés Celsius
<b>°F :</b>	Degrés Fahrenheit
<b>C-S-H :</b>	Silicate de calcium hydraté
<b>Ca(OH)<sub>2</sub> :</b>	Hydroxyde de calcium
<b>C<sub>3</sub>S :</b>	Silicate tricalcique
<b>C<sub>3</sub>A :</b>	Aluminate tricalcique
<b>CO :</b>	Groupe carbonyle
<b>OH :</b>	Groupe alcool
<b>C<sub>12</sub>H<sub>22</sub>O<sub>11</sub> :</b>	Saccharose
<b>C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub> :</b>	Glucose
<b>C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub> :</b>	Fructose
<b>CH :</b>	Hydroxyde de calcium
<b>ES :</b>	Équivalent de sable
<b>M<sub>f</sub></b>	Module de finesse
<b>Cu</b>	Coefficient d'uniformité
<b>ρ<sub>app</sub> :</b>	Masse volumique apparente
<b>ρ<sub>abs</sub> :</b>	Masse volumique absolue
<b>MB :</b>	Valeur de bleu méthylène
<b>CaCO<sub>3</sub> :</b>	Carbonate de calcium
<b>LTPS :</b>	Laboratoire des Travaux Publics du Sud
<b>T<sub>n</sub> :</b>	béton témoin préparé dans une condition de bétonnage normale
<b>T<sub>50</sub> :</b>	béton témoin préparé à chaud
<b>G<sub>50-0</sub> :</b>	béton préparé à chaud en ajoutant le glucose au moment du malaxage
<b>G<sub>50-30</sub> :</b>	béton préparé à chaud en ajoutant le glucose après 30 minutes du malaxage
<b>G<sub>50-45</sub> :</b>	béton préparé à chaud en ajoutant le glucose après 45 minutes du malaxage

## Sommaire

اهداء	I
Remerciements	III
Résumé	IV
Notations	VI
Sommaire	VII
Liste des Figures	IX
Liste des Photos	X
Liste des Tableaux	XII
<b>Introduction Générale</b>	<b>01</b>
 <b>Chapitre I : Étude Bibliographique</b> 	
Introduction	03
I.1. Bétonnage par temps chaud	03
I.1.1. Effets du bétonnage par temps chaud sur la qualité du béton	04
I.1.2. Précautions de bétonnage par temps chaud	08
I.3. Retardateurs de prise	14
I.2.1. Généralités	14
I.2.2. Domaine d'utilisation des adjuvants retardateurs	15
I.2.3. Mécanismes d'action des adjuvants retardateurs	15
I.2.4. Retardateurs courants	17
I.2.5. Effets des adjuvants retardateurs sur les propriétés du béton	18
I.3. Utilisation des sucres comme retardateurs	18
I.3.1. Généralités	18
I.3.2. Mécanisme d'action de sucre	19
I.3.3. Effet des sucres sur les propriétés du matériau cimentaire	20
I.3.3.1. Temps de prise	20
I.3.3.2. Chaleur d'hydratation	23
I.3.3.3. Maniabilité	23
I.3.3.4. Ressuage et tassement	24
I.3.3.5. Résistance mécanique	25
I.3.3.6. Microstructure et durabilité	27
Conclusion	29

## **Chapitre II : Matériaux et Procédures**

<b>Introduction</b>	<b>31</b>
<b>II.1. Caractérisation des matériaux utilisés</b>	<b>31</b>
<b>II.1.1. Ciment</b>	<b>31</b>
<b>II.2.2. Granulats</b>	<b>32</b>
<b>II.1.3. Eau de gâchage</b>	<b>40</b>
<b>II.1.4. Glucose</b>	<b>41</b>
<b>II.2. Étude de l'effet de glucose sur l'hydratation du ciment</b>	<b>41</b>
<b>II.3. Étude de l'effet de glucose sur la résistance mécanique du mortier</b>	<b>42</b>
<b>II.3.1. Formulation et Confection des éprouvettes</b>	<b>42</b>
<b>II.3.2. Résistance mécanique du mortier</b>	<b>43</b>
<b>II.4. Étude de l'effet de glucose sur les propriétés du béton</b>	<b>43</b>
<b>II.4.1. Formulation de béton</b>	<b>43</b>
<b>II.4.2. Procédures expérimentales</b>	<b>44</b>
<b>Conclusion</b>	<b>48</b>
<b>Chapitre III : Résultats et interprétations</b>	
<b>Introduction</b>	<b>49</b>
<b>III.1. Résultats de l'étude de l'effet de glucose sur l'hydratation du ciment</b>	<b>49</b>
<b>III.2. Résultats de l'étude de l'effet de glucose sur la résistance mécanique du mortier</b>	<b>51</b>
<b>III.3. Résultats de l'étude de l'effet de glucose sur les propriétés du béton</b>	<b>53</b>
<b>III.3.1. Effet du glucose sur la température de mélange</b>	<b>54</b>
<b>III.3.2. Effet du glucose sur l'ouvrabilité et le ressuage du béton</b>	<b>55</b>
<b>III.3.3. Effet du glucose sur la résistance à la compression du béton</b>	<b>56</b>
<b>III.4.4. Effet du glucose sur la vitesse de son du béton</b>	<b>59</b>
<b>Conclusion</b>	<b>59</b>
<b>Conclusion Générale et Perspectives</b>	<b>60</b>
<b>Références bibliographiques</b>	<b>63</b>
<b>Annexe</b>	<b>68</b>

## Liste des Figures

<b>Figure 1.</b> Variation mensuelle des températures moyennes en différentes régions de l'Algérie de 1981 à 2019. (Source : [1])	<b>01</b>
<b>Figure I.1.</b> Effet de la température ambiante, de l'humidité relative, de la température du béton et de la vitesse du vent sur la vitesse d'évaporation de l'humidité de surface du béton. (Source : [2])	<b>06</b>
<b>Figure I.2.</b> Effet des températures élevées sur la résistance à la compression du béton à différents âges. (Source : [10])	<b>07</b>
<b>Figure I.3.</b> Concasseur de glace pour le remplacement d'une partie d'eau lors de bétonnage par temps chaud. (Source : [11])	<b>09</b>
<b>Figure I.4.</b> Influence de la température des ingrédients sur la température initiale de béton. (Source : [8])	<b>10</b>
<b>Figure I.5.</b> Azote liquide ajouté au malaxeur pour abaisser la température du béton. (Source : [11])	<b>11</b>
<b>Figure I.6.</b> Structure des monosaccharides courants et du saccharose (sucre de table. (Source : [22])	<b>19</b>
<b>Figure I.7.</b> Structure des disaccharides courants autre que le saccharose (Source : [22])	<b>19</b>
<b>Figure I.8.</b> Effet de différents pourcentages sur l'hydratation du ciment Haut du formulaire. (Source : [26])	<b>20</b>
<b>Figure I.9.</b> Effet du sucre sur les temps de prise de la pâte de ciment Haut du formulaire. (Source : [29])	<b>21</b>
<b>Figure I.10.</b> Effet de la teneur en sucre sur les temps de prise du ciment ; a) type I et b) type V. (Source : [33])	<b>22</b>
<b>Figure I.11.</b> Chaleur d'hydratation pendant la prise de ciment pour l'échantillon sans sucre et celui avec l'ajout de 0.5% du sucre brun (BZ1) Haut du formulaire. (Source : [35])	<b>23</b>
<b>Figure I.12.</b> Effet des adjuvants (0.1% en poids de ciment) sur le ressuage de béton frais pour un E/C donné. (Source : [17])	<b>24</b>
<b>Figure I.13.</b> Résistance à la compression des mortiers hydratés avec du saccharose et gluconate de sodium. (Source : [17])	<b>25</b>
<b>Figure I.14.</b> Variation de la résistance à la compression des mortiers en fonction de la teneur en sucre. (Source : [33])	<b>26</b>
<b>Figure I.15.</b> Evolution de la résistance à la compression des mortiers en	<b>27</b>

fonction de la teneur en saccharose. (Source : [28])

**Figure I.16.** Images MEB des mortiers de ciment type I avec (a) 0%, (b) 0,05%, (c) 0,25% de sucre. (Source : [33]) **28**

**Figure I.17.** Variation de profondeur de carbocation en fonction de la teneur en sucre. (Source : [42]) **29**

**Figure II.1.** Granulométrie du mélange du béton et de la droite de référence de Faury. (Source : Auteurs) **35**

## **Liste des Photos**

**Photo II.1.** Ciment mâtiné. (Source : Auteurs) **31**

**Photo II.2.** Granulats choisis. (Source : Auteurs) **33**

**Photo II.3.** Analyse granulométrique de sable. (Source : Auteurs) **33**

**Photo II.4.** Analyse granulométrique de gravier. (Source : Auteurs) **34**

**Photo II.5.** Masse volumique apparente des granulats. (Source : Auteurs) **36**

**Photo II.6.** Masse volumique absolue des granulats. (Source : Auteurs) **36**

**Photo II.7.** Essai équivalent de sable. (Source : Auteurs) **37**

**Photo II.8.** Essai au bleu de méthylène. (Source : Auteurs) **37**

**Photo II.9.** Essai Los Angeles. (Source : Auteurs) **38**

**Photo II.10.** Essai Micro-Deval. (Source : Auteurs) **38**

**Photo II.11.** Essai d'absorption d'eau. (Source : Auteurs) **39**

**Photo II.12.** Solution de Glucose. (Source : Auteurs) **41**

**Photo II.13.** Essai de prise de ciment. (Source : Auteurs) **42**

**Photo II.14.** Confection des éprouvettes de mortier. (Source : Auteurs) **42**

**Photo II.15.** Mesure de la résistance mécanique du mortier. (Source : Auteurs) **43**

**Photo II.16.** Préchauffage des granulats et du ciment dans l'étuve. (Source : Auteurs) **44**

**Photo II.17.** Mesure des températures des matériaux avant le malaxage. (Source : Auteurs) **45**

**Photo II.18.** Malaxeur de béton utilisé. (Source : Auteurs) **46**

<b>Photo II.19.</b> Mesure de la température du béton frais. (Source : Auteurs)	<b>46</b>
<b>Photo II.20.</b> Éprouvettes de béton 15x30. (Source : Auteurs)	<b>47</b>
<b>Photo II.21.</b> Mesure de l'affaissement au cône d'Abrams. (Source : Auteurs)	<b>47</b>
<b>Photo II.22.</b> Mesure de la résistance à la compression du béton. (Source : Auteurs)	<b>48</b>
<b>Photo II.23.</b> Mesure de la vitesse de son dans le béton. (Source : Auteurs)	<b>48</b>

## **Liste des Graphes**

<b>Graphe III.1.</b> Variation de la pénétration de l'aiguille de début de prise en fonction du pourcentage du glucose. (Source : Auteurs)	<b>49</b>
<b>Graphe III.2.</b> Variation des temps de prises en fonction du pourcentage du glucose. (Source : Auteurs)	<b>50</b>
<b>Graphe III.3.</b> Variation de la résistance mécanique du mortier en fonction du pourcentage du glucose : a) résistance à la compression ; b) résistance à la traction. (Source : Auteurs)	<b>52</b>
<b>Graphe III.4.</b> Variation de la température de mélange en fonction du temps. (Source : Auteurs)	<b>54</b>
<b>Graphe III.5.</b> Perte d'affaissement des bétons en fonction du temps. (Source : Auteurs)	<b>55</b>
<b>Graphe III.6.</b> Résistance à la compression des différents mélanges du béton. (Source : Auteurs)	<b>57</b>

## Liste des Tableaux

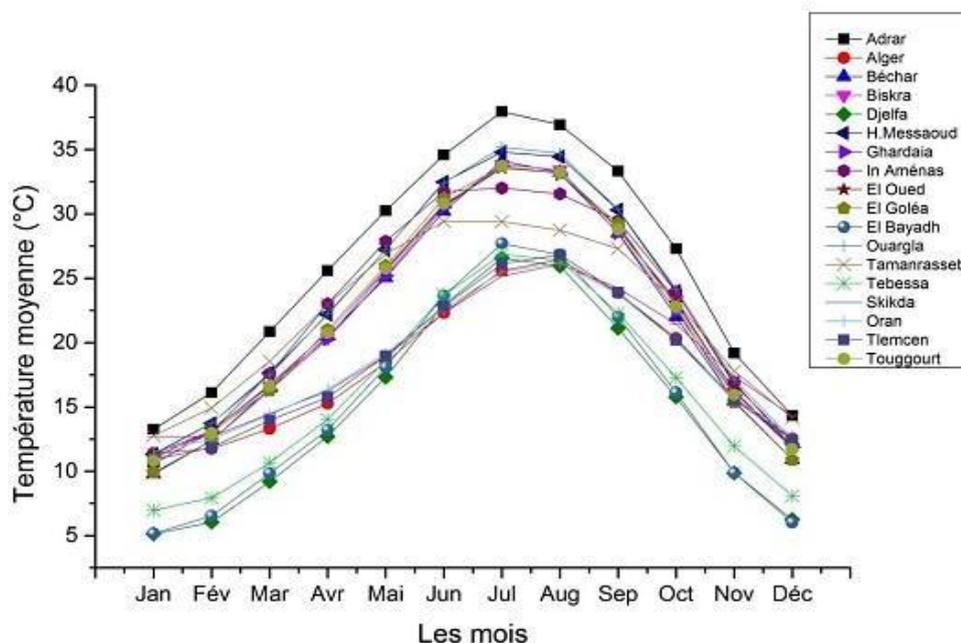
<b>Tableau I.1.</b> Problèmes causés par les températures élevées à différents stades du processus de fabrication du béton. (Source : [8])	<b>04</b>
<b>Tableau I.2.</b> Solutions des problèmes causés par les températures élevées à différents stades du processus de fabrication du béton. (Source : [8])	<b>12</b>
<b>Tableau I.3.</b> Effet des adjuvants (0.1% en poids de ciment) sur l'affaissement pour un E/C donné. (Source : [14])	<b>24</b>
<b>Tableau II.1.</b> Caractéristiques mécaniques et physiques du ciment. (Source : [46])	<b>32</b>
<b>Tableau II.2.</b> Caractéristiques chimiques et minéralogiques du ciment. (Source : [46])	<b>32</b>
<b>Tableau II.3.</b> Analyse granulométrique de sable. (Source : Auteurs)	<b>34</b>
<b>Tableau II.4.</b> Analyse granulométrique des graviers. (Source : Auteurs)	<b>34</b>
<b>Tableau II.5.</b> Masses volumiques des granulats. (Source : Auteurs)	<b>36</b>
<b>Tableau II.6.</b> Résultats d'essai équivalent de sable. (Source : Auteurs)	<b>37</b>
<b>Tableau II.7.</b> Caractéristique mécanique des graviers. (Source : Auteurs)	<b>38</b>
<b>Tableau II.8.</b> Résultats d'absorption d'eau des graviers. (Source : Auteurs)	<b>39</b>
<b>Tableau II.9.</b> Caractéristiques chimiques des granulats. (Source : Auteurs)	<b>40</b>
<b>Tableau II.10.</b> Résultats des analyses de l'eau de gâchage. (Source : Auteurs)	<b>41</b>
<b>Tableau II.11.</b> Composition des mélanges de béton. (Source : Auteurs)	<b>44</b>
<b>Tableau II.12.</b> Températures des matériaux et températures initiales correspondantes des mélanges. (Source : Auteurs)	<b>45</b>
<b>Tableau III.1.</b> Résistance mécanique du mortier en fonction du pourcentage du glucose. (Source : Auteurs)	<b>52</b>
<b>Tableau III.2.</b> Désignations des bétons étudiés. (Source : Auteurs)	<b>54</b>
<b>Tableau III.3.</b> Résistance à la compression en fonction de l'âge des différents bétons. (Source : Auteurs)	<b>57</b>

# *Introduction Générale*

## Introduction Générale

En raison du changement climatique, les périodes chaudes de l'année sont devenues plus longues et plus intenses au cours de ces dernières années. Cela a entraîné une augmentation des températures moyennes, des variations dans les précipitations, des événements météorologiques extrêmes plus fréquents, des perturbations des écosystèmes terrestres et marins, et des complications dans la vie humaine.

La Figure 1 présente la variation mensuelle des températures moyennes enregistrées dans quelques wilayas de l'Algérie de 1981 à 2019.



**Figure.1.** Variation mensuelle des températures moyennes en différentes régions de l'Algérie de 1981 à 2019. (Source : [1])

À partir de la Figure 1, on peut constater que pour presque toutes les régions de sud (Ghardaïa, In Aménas, Hassi Messaoud, Ouargla, Touggourt, Béchar, Adrar, Biskra, El oued, El Goléa), le nombre de jours où la température moyenne quotidienne était de 28°C ou plus est environ 130 jours. Généralement, on parle au bétonnage par temps chaud lorsque la température ambiante dépasse 27°C [2], où il est possible que la température du béton dépasse 35°C lors du bétonnage, en particulier s'il est exposé directement au soleil.

La température ambiante élevée se traduit directement par l'évaporation rapide de l'eau de la surface du béton frais. Cela peut entraîner la prise très rapide du béton et avoir d'autres problèmes tels que la perte de l'affaissement, la formation de joints froids, des fissures de

retrait plastique, l'augmentation de la perméabilité du béton et la réduction de sa résistance et sa durabilité [3,4]. Pour cela, certaines réglementations limitent la température maximale du béton à 35 °C au moment du coulage [5]. Le DTR BE 2.1 [6] stipule que la température du béton frais doit être uniforme et ne dépasse pas 30°C. Selon l'ACI 305.1-06 [2], l'acceptation d'un mélange de béton avec une température maximale dépassant 35 °C est conditionnée par la capacité du béton à maintenir la qualité requise.

Les stratégies actuelles pour contrer les effets de bétonnage par temps chaud comprennent l'ajout d'adjuvants retardateurs, le refroidissement des agrégats et de l'eau, le bétonnage tôt ou la nuit pour maintenir la température du béton à des niveaux acceptables. Cependant, ces mesures sont difficiles à mettre en œuvre et elles augmentent le coût de construction. D'autre part, lorsque la température du béton dépasse 35 °C, certains retardateurs deviennent moins efficaces qu'à des températures plus basses. Par exemple, l'efficacité des matériaux hydrophobes ou des super plastifiants comme retardateurs de prise du ciment est plus faible à des températures plus élevées (35°C et 50°C) qu'à des températures plus basses (20°C) [3].

Pour cela, nous avons mené cette étude pour évaluer l'effet de glucose sur la capacité à maintenir l'ouvrabilité du béton frais sur une longue durée, même à des températures élevées. Nous cherchant à comprendre comment l'addition de glucose affecte le temps de prise de ciment et les propriétés fondamentales du béton, telles que la résistance mécanique du béton.

L'objectif principal de cette étude est d'obtenir un béton de haute qualité dans des conditions climatiques chaudes, en utilisant du glucose comme adjuvant, modifiant ainsi les propriétés du béton pour l'adapter à ces conditions.

En plus de l'introduction et la conclusion générale, le présent mémoire de master est réparti en trois chapitres :

**Chapitre I** : consiste en une étude bibliographique sur les problèmes de bétonnage par temps chaud et l'utilisation des retardateurs de prise.

**Chapitre II** : est consacré à la présentation des matériaux de base utilisés pour la confection des éprouvettes ainsi qu'aux méthodes expérimentales.

**Chapitre III** : est dédié à la présentation des différents résultats obtenus ainsi qu'à leur interprétation.

# *Chapitre I*

## *Étude bibliographique*

## Introduction :

Dans le secteur de la construction, le béton fait face à plusieurs défis, notamment les effets des températures élevées et d'autres facteurs environnementaux. Pour améliorer les propriétés du béton et l'adapter aux conditions environnementales changeantes, l'utilisation d'additions minérales et d'adjuvants est cruciale.

Dans ce chapitre, nous examinerons en détail les effets du bétonnage par temps chaud sur le béton, ainsi que les précautions à prendre pour garantir un béton de qualité dans de telles conditions. Nous nous concentrerons également sur l'utilisation de retardateurs de prise, en mettant particulièrement en lumière l'impact des retardateurs à base de sucre sur les propriétés fondamentales du béton telles que la résistance mécanique et la maniabilité.

### I.1. Bétonnage par temps chaud :

Le bétonnage par temps chaud, tel que définie par l'ACI 305.1-06 [2], se produit lorsque le béton est malaxé, transporté et coulé dans des conditions où les températures ambiantes sont élevées, éventuellement accompagnées d'une faible humidité relative, de vents forts et d'une forte radiation solaire. Ces conditions peuvent affecter négativement les propriétés du béton frais et durci. Il est important alors de prendre en compte cette sensibilité aux températures élevées dès la phase de malaxage du béton, tout au long de son transport, de sa mise en place et de sa cure jusqu'à son durcissement [7]. Certaines normes imposent des restrictions sur la température du béton frais pour éviter les effets indésirables des conditions climatiques chaudes [5,6].

En Algérie, les températures peuvent souvent dépasser 35 °C dans les zones côtières et dépasser cette valeur dans le sud, où elles peuvent atteindre jusqu'à 50 °C pendant les mois de l'été [7]. Dans les régions du sud qui connaissent une croissance significative des projets de construction, où le béton armé est principalement utilisé, la conception des structures en béton doit prendre en compte les conditions environnementales locales et les effets du climat chaud sur leur intégrité. Pour cela, il est essentiel que les effets néfastes du bétonnage par temps chaud soient clairement définis et étudiés. Les effets bien connus et largement rapportés du bétonnage par temps chaud sont résumés dans les paragraphes suivants.

### I.1.1. Effets du bétonnage par temps chaud sur la qualité du béton :

La température élevée peut affecter la qualité du béton à toutes les phases du processus de fabrication et de mise en place [8]. Certaines conséquences négatives de la température élevée sont présentées dans le Tableau I.1. L'augmentation de la température extérieure accélère le taux de réaction d'hydratation et le déplacement de l'humidité à l'intérieur et à partir de la surface du béton. Dans ce dernier cas, l'humidité relative et la vitesse du vent ont également une influence significative [8].

**Tableau I.1.** Problèmes causés par les températures élevées à différents stades du processus de fabrication du béton. (Source : [8])

Étape	Effets
<b>Malaxage</b>	Demande élevée en eau pour une maniabilité donnée. Difficulté accrue à contrôler la teneur en air entraîné.
<b>Transport</b>	Perte d'eau par évaporation. Vitesse élevée de la perte de maniabilité.
<b>Mise en place, finition et cure</b>	Perte d'eau par évaporation. Vitesse élevée de perte de maniabilité. Temps accéléré de prise. Tendance accrue à la fissuration par retrait plastique. Pic de chaleur d'hydratation élevée entraînant une tendance élevée à la fissuration et une résistance à long terme réduite.
<b>Long-terme</b>	Résistance réduite. Durabilité diminuée. Apparence variable.

#### a) Demande en eau élevée :

La perte d'humidité, causée par l'évaporation rapide de l'eau contenue dans le mélange, est l'un des effets observés lorsque le béton est exposé à des températures élevées [9]. Selon l'ACI 305 [6], les demandes en eau augmentent considérablement à partir d'une température de mélange initiale de 30 °C. Afin de garantir la maniabilité requise, la demande en eau augmente. L'addition de l'eau entraîne des conséquences préjudiciables sur la résistance et la durabilité du béton et peut conduire à un retrait de séchage accru [8,9].

**b) Perte d'affaissement :**

Lors du bétonnage par temps chaud, le béton perd rapidement sa maniabilité en raison de double action de l'évaporation de l'eau et à la chaleur d'hydratation [8]. La réaction d'hydratation du ciment dans le béton est une réaction exothermique, ce qui signifie qu'elle dégage de la chaleur. Lorsque la température augmente pendant le bétonnage, la réaction d'hydratation du ciment s'accélère et la maniabilité du béton frais diminue rapidement. Cela qui se traduit par un temps limité pour la mise en place correcte du béton avant que le béton soit durci. Un béton ayant une faible maniabilité peut être difficile à compacter correctement, ce qui peut affecter négativement sa résistance et sa durabilité [8,9].

**c) Temps de prise accéléré :**

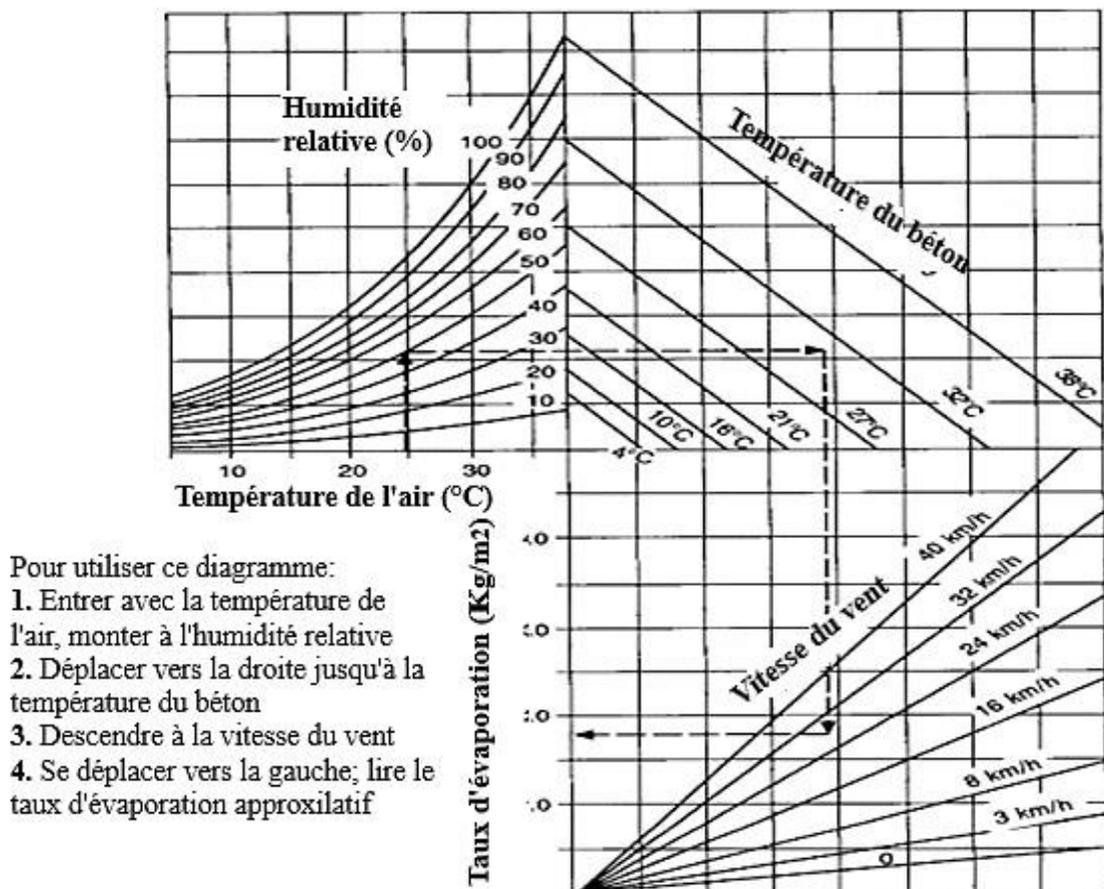
Les conditions climatiques influent elles aussi sur le temps de prise de ciment. Parmi les autres paramètres, l'action de vent est le paramètre le plus influent [9]. Pour des raisons similaires liées à l'accélération de la réaction d'hydratation, le temps de début de prise est aussi accéléré à des températures plus élevées [8]. Ceci diminue également le temps nécessaire pour le transport, la mise en place et la finition du béton [8,9]. Il a été rapporté qu'une augmentation de 10 °C de la température du béton peut accélérer le temps de prise de 2 heures ou plus, ce qui augmente les risques de joints froids [10].

**d) Retrait plastique :**

Le ressuage du béton est un phénomène où une couche d'eau remonte vers la surface du béton fraîchement coulé. Ce mouvement de l'eau se produit en raison de la sédimentation des particules solides (ciment et agrégats) et la migration simultanée de l'eau vers le haut [11]. L'eau ressuée trouve son chemin vers la surface supérieure des éléments en béton tels que les dalles où elle peut être perdue par évaporation [8]. Le taux d'évaporation de l'eau ressuée augmente avec l'augmentation de la température et de la vitesse du vent, et avec la diminution de l'humidité relative. Si l'humidité est perdue de la surface à une vitesse plus rapide que celui auquel elle est remplacée par l'eau ressuée depuis le dessous, il y a une réduction du volume de la couche superficielle du béton [9]. La masse de béton située en dessous exerce alors une pression sur cette couche superficielle. Cette pression, ou contrainte peut provoquer des contraintes de traction dans la couche de surface, car elle tente de se rétrécir pour compenser la perte d'eau. Cependant, comme la couche de béton sous-jacente ne subit pas de changement de volume, elle exerce une force de retenue sur la couche superficielle, l'empêchant de se rétrécir librement. Ces tensions de traction résultantes peuvent être suffisamment élevées pour

provoquer des fissures dans la couche superficielle du béton, c'est la fissuration par retrait plastique [12].

L'évaporation peut être estimée pour différentes conditions en utilisant le nomographe présenté dans la Figure I.1. Bien que ce diagramme ait été critiqué parce qu'il concerne l'évaporation d'une surface ouverte d'eau plutôt qu'à une surface de béton, il existe une corrélation assez directe entre les deux [8].



**Figure I.1.** Effet de la température ambiante, de l'humidité relative, de la température du béton et de la vitesse du vent sur la vitesse d'évaporation de l'humidité de surface du béton.

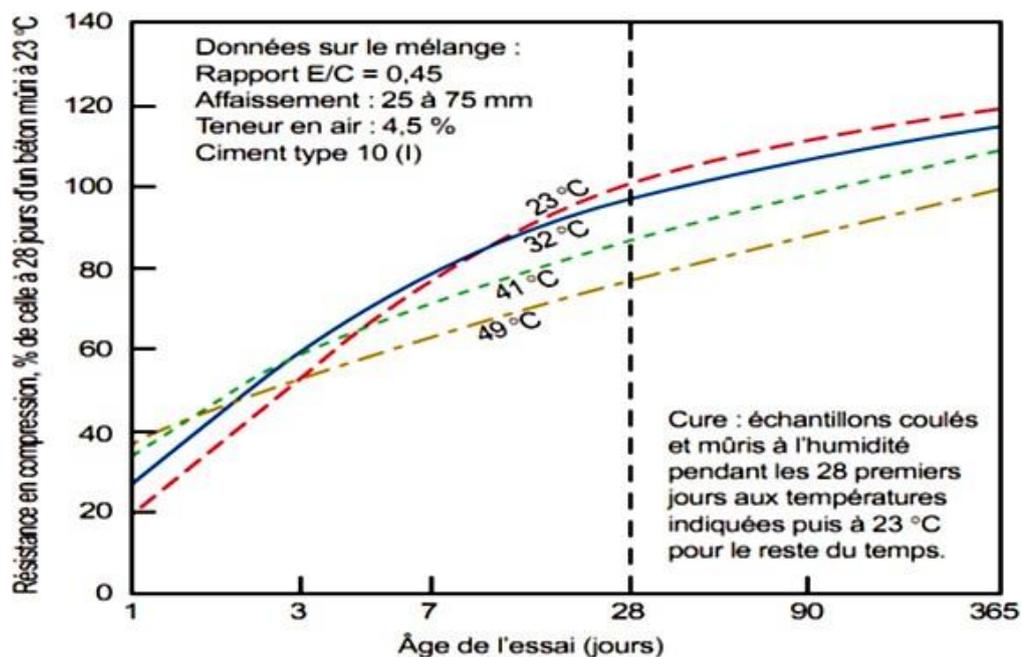
(Source : [2])

#### e) Pic de chaleur d'hydratation et fissuration thermique :

Comme mentionné précédemment, la réaction d'hydratation produit de la chaleur et la température du béton augmente. Plus la température initiale du béton est élevée, plus la réaction se déroule plus rapidement et le taux d'évolution de la chaleur est augmenté [8]. Lorsque le béton atteint sa température maximale et commence à refroidir, il se produit une contraction thermique naturelle à mesure que la température diminue. Cette contraction peut entraîner des tensions internes dans le béton qui peuvent conduire à des fissures dans le béton.

### f) Diminution de la résistance :

La vitesse de réaction d'hydratation du ciment augmente avec l'augmentation de la température ambiante. Cela conduit à une augmentation de la résistance initiale et une faible résistance à long terme [9]. La Figure I.2 présente la variation de la résistance à 1 jour et à 28 jours en fonction de la température de cure. La perte d'humidité et le manque de maniabilité du béton peuvent également entraîner une réduction de la résistance du béton à long terme [9,10].



**Figure I.2.** Effet des températures élevées sur la résistance à la compression du béton à différents âges. (Source : [10])

### g) Durabilité réduite :

Comme indiqué précédemment, la température élevée affecte à la fois la maniabilité initiale et la vitesse à laquelle la maniabilité est perdue, ce qui peut inciter à ajouter davantage d'eau dans le mélange [11]. Le résultat est un béton plus perméable et par conséquent plus vulnérable au gel-dégel, à l'attaque par les sulfates, à la pénétration du CO<sub>2</sub> et de chlorure entraînant la corrosion des armatures [9]. Les fissures de retrait (plastique ou thermique) peuvent également entraîner une durabilité réduite, car elles peuvent permettre à l'humidité, au CO<sub>2</sub>, à l'oxygène ou aux chlorures de pénétrer facilement dans le béton ou les armatures [9].

### I.1.2. Précautions de bétonnage par temps chaud :

Plusieurs méthodes sont utilisées pour atténuer les effets des conditions météorologiques chaudes. Elles visent principalement à réduire la température du béton au moment de la mise en place, soit en refroidissant les ingrédients, en réduisant le gain de la température du béton pendant le malaxage, le transport et la mise en place, soit en refroidissant le béton lui-même [8].

#### A. Refroidissement du béton :

Par temps chaud, les matériaux ayant le plus grand impact sur la température globale du béton sont les agrégats et l'eau de gâchage, il est donc essentiel de maintenir leur température aussi basse que possible. L'impact spécifique de chaque ingrédient sur la température globale du béton frais dépend de plusieurs facteurs tels que la chaleur spécifique, la température et les quantités de chaque matériau dans le mélange de béton [13]. Les différents ingrédients dans un mélange de béton sont présents dans des masses différentes et ils ont des chaleurs spécifiques largement différentes [8]. La température du béton frais peut être estimée par la formule suivante [14]:

$$T = \frac{0.22(T_a W_a + T_c W_c) + T_w W_w + T_a W_{wa}}{0.22(W_a + W_c) + W_w + W_{wa}} \quad (1.1)$$

Où T est la température du béton frais,  $T_a$  est la température des granulats,  $T_c$  est la température du ciment,  $T_w$  est la température de l'eau de gâchage, à l'exclusion de la glace,  $W_a$  est la masse sèche des granulats,  $W_c$  est la masse du ciment,  $W_w$  est la masse de l'eau de gâchage dosée, et  $W_{wa}$  est la masse de l'humidité libre et absorbée à la surface des granulats à  $T_a$ .

Comme montré dans l'équation (1.1), l'eau de gâchage a plus d'effet sur la température du béton, en raison de sa chaleur spécifique plus élevée [14]. Bien que la quantité d'eau soit inférieure à celle des autres ingrédients dans le mélange de béton, l'eau froide permet une réduction raisonnable de la température du béton nécessaire [13]. Pour un mélange de béton typique contenant 180 l/m<sup>3</sup> d'eau, une réduction de 7 °C de la température du mélange peut être obtenue en utilisant de l'eau à 7 °C plutôt qu'à 32 °C [8]. Le remplacement de l'eau de gâchage par de la glace (Figure I.3) est une méthode courante pour refroidir le béton, offrant deux avantages : abaisser la température de l'eau de gâchage et extraire de la chaleur pendant

le changement de phase de la glace à l'eau. Jusqu'à 80 % de l'eau peut être remplacée par de la glace, mais le refroidissement est généralement limité à environ 11 °C [14].



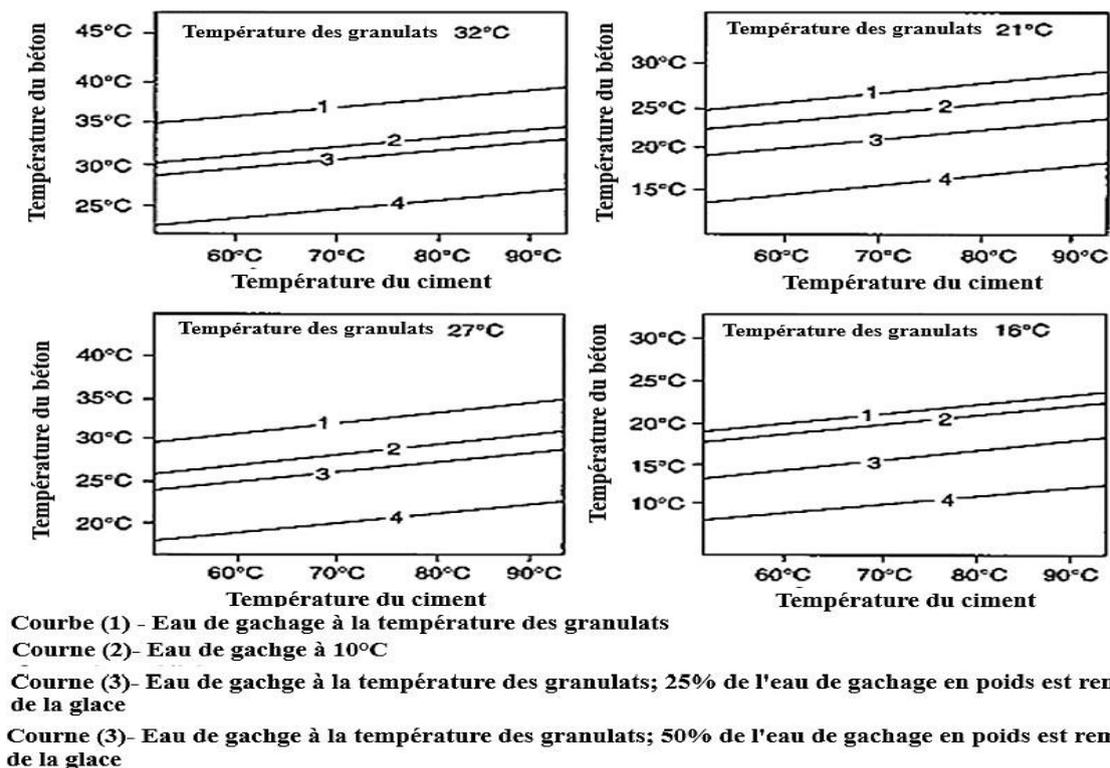
**Figure I.3.** Concasseur de glace pour le remplacement d'une partie d'eau lors de bétonnage par temps chaud. (Source : [11])

Bien que les granulats aient une chaleur spécifique plus faible que l'eau, ils constituent un pourcentage important du mélange de béton que leur température peut avoir un effet significatif sur la température initiale du béton. Cependant, il est beaucoup plus difficile de réduire la température des granulats que de réduire la température de l'eau. La méthode pratique la plus efficace consiste généralement à maintenir les granulats aussi frais que possible en protégeant les tas des rayons directs du soleil [8]. Les méthodes incluent la pulvérisation d'eau, l'air pulsé et le trempage dans de l'eau froide des granulats grossiers, peuvent être aussi efficaces pour réduire les températures des granulats par évaporation et refroidissement direct [11,13]. La pulvérisation peut réduire la température de 5 °C, tandis que l'air pulsé à basse température peut la diminuer de 13,5 °C. Pour des réductions significatives, le trempage dans de l'eau froide peut abaisser la température de 20 °C, nécessitant des installations spéciales. L'efficacité dépend des températures ambiantes, de l'humidité relative et de la vitesse de l'air à travers les granulats. En ajoutant une unité d'air réfrigéré au lieu de l'air à des températures ambiantes, le système de refroidissement par air peut réduire la température de mise en place du béton de 13,5 °C [14].

La température du ciment a un effet mineur sur la température du mélange du béton. Il peut être livré chaud sur le chantier en raison de la chaleur générée pendant le processus de broyage. Le ciment perd lentement sa chaleur lors du stockage [11]. Sur les grands chantiers

où le volume de ciment utilisé est important, il peut être nécessaire d'installer deux silos afin de prolonger l'intervalle entre la livraison et l'utilisation. Dans tous les cas, il est recommandé de peindre les silos en blanc pour réduire l'accumulation de chaleur causée par l'exposition au rayonnement solaire [8].

La Figure I.4 indique l'influence de la température des ingrédients de béton sur sa température initiale.



**Figure I.4.** Influence de la température des ingrédients sur la température initiale de béton. (Source : [8])

L'azote liquide est utilisé depuis plus de 20 ans comme méthode pour refroidir le béton (Figure I.5). L'azote liquide peut être utilisé à la centrale à béton ou sur chantier, offrant un contrôle précis de la température. Son utilisation peut réduire la température du béton de plus de 12°C (20°F), mais son coût initial élevé en fait une option rarement utilisée, réservée aux cas où d'autres méthodes ne sont pas possibles [14].



**Figure I.5.** Azote liquide ajouté au malaxeur pour abaisser la température du béton.

(Source : [11])

### **B. Malaxage et transport :**

En plus des précautions décrites ci-dessus pour réduire la température des ingrédients, il est possible de baisser encore la température du béton en prêtant attention aux aspects de la production et de la livraison. L'énergie transmise pendant le malaxage et l'agitation dans le camion de livraison peut entraîner des augmentations de température. Par conséquent, celles-ci doivent être maintenues au minimum tout en assurant un mélange complet. Lorsque des camions-malaxeurs sont utilisés, il peut être possible de doser les ingrédients secs à l'usine et d'ajouter l'eau de gâchage sur le chantier [8]. La distance de transport du béton doit être aussi courte que possible pour ne pas exposer le béton à une chaleur supplémentaire, et le temps d'attente du camion doit être réduit au minimum pour maintenir la température du béton basse [8,14]. La réduction de température peut être aussi obtenue en peignant en blanc la centrale à béton et les camions-malaxeurs. Par exemple, le béton dans une benne blanche propre pourrait être environ 1,5°C plus frais que le béton dans une benne rouge sur la base d'un délai de livraison d'une heure [8].

### **C. Mise en place et cure :**

L'une des méthodes les moins coûteuses pour assurer un béton frais est de planifier la mise en place pendant la période la plus fraîche de la journée, généralement la nuit ou tôt le matin. Il peut également être nécessaire de prendre en compte l'humidité relative et la vitesse du vent pour éviter que le béton ne se déshydrate. De plus, le béton doit être mis en place et fini le plus rapidement possible pour minimiser l'exposition prolongée à des températures élevées [13].

Le béton frais devrait être protégé par des brise-vents en particulier dans des climats chauds et arides pour minimiser l'apparition des joints froids [8,11]. Le béton fraîchement coulé doit également être protégé des rayons directs du soleil, et le processus de cure humide doit être appliqué pendant le coulage et les premières heures suivant la finition [11]. Les mesures pouvant être prises à toutes les étapes pour réduire les effets néfastes de la température élevée sont résumées dans le Tableau I.2.

**Tableau I.2.** Solutions des problèmes causés par les températures élevées à différents stades du processus de fabrication du béton. (Source : [8])

Étape	Solutions
<b>Malaxage</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Stocker les agrégats dans un endroit ombragé.</li> <li>- Pulvériser de l'eau sur les agrégats.</li> <li>- Augmenter la capacité du silo à ciment.</li> <li>- Peindre la centrale à béton en blanc.</li> <li>- Stocker le réservoir d'eau dans un endroit ombragé.</li> <li>- Peindre le réservoir d'eau en blanc.</li> <li>- Procède à l'isolation thermique des conduites d'eau.</li> <li>- Utiliser de l'eau réfrigérée.</li> <li>- Utiliser de la glace comme partie de l'eau de gâchage.</li> <li>- Utiliser des adjuvants pour contrôler la perte de maniabilité.</li> <li>- Utiliser du ciment ou des combinaisons à faible chaleur d'hydratation.</li> <li>- Minimiser les temps de malaxage.</li> </ul>
<b>Transport</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Peindre les camions malaxeurs en blanc.</li> <li>- Minimiser les temps de transport.</li> <li>- Préparer le béton à sec et ajouter l'eau sur chantier.</li> </ul>
<b>Mise en place et cure</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Planifier soigneusement les opérations.</li> <li>- Adapter la production à la vitesse de mise en place.</li> <li>- Réduire l'épaisseur de la couche.</li> <li>- Fournir des vibreurs de secours adéquats.</li> <li>- Couler le béton la nuit.</li> <li>- Minimiser le temps de mise en place.</li> <li>- Travailler dans un endroit ombragé.</li> <li>- Utiliser des brise-vent.</li> <li>- Appliquer la cure tôt.</li> </ul>

**D. Conception de mélange de béton :**

Une des meilleures pratiques pour garantir les performances adéquates d'un mélange de béton est de choisir une conception de mélange de béton qui conviendra à la mise en place et à l'environnement auquel la structure sera exposée par l'une des méthodes suivantes [14]:

- **Sélection du ciment :** Il est préférable de choisir un ciment avec une faible chaleur d'hydratation. Les ciments hydrauliques mélangés sont préférés pour la plupart des applications par temps chaud, avec des chaleurs d'hydratation maximales spécifiées par (l'ASTM C595-18). Le choix d'un ciment approprié implique plusieurs étapes, notamment des tests pour évaluer le risque de dilatation, l'examen des besoins en eau, et la sélection d'un ciment avec une chaleur d'hydratation contrôlée. Réduire la teneur en ciment Portland dans le mélange et remplacer certaines parties par des additions minérales peut limiter la chaleur générée par le béton et aider à prévenir l'expansion thermique excessive et les fissurations [14].

- **Utilisation d'additifs minéraux :** Les additifs minéraux tels que les cendres volantes, le laitier granulé de haut fourneau et la fumée de silice sont utilisés depuis longtemps dans le béton. Ils offrent des avantages uniques, surtout par temps chaud. Les cendres volantes, un sous-produit des centrales électriques au charbon, peuvent remplacer jusqu'à 20 à 40 % du ciment Portland dans le mélange. Elles réduisent la perte d'affaissement du béton par temps chaud, mais peuvent retarder le gain de résistance initiale. Le laitier granulé de haut fourneau, un sous-produit de l'industrie sidérurgique, remplace généralement 30 à 70 % du ciment Portland. Il améliore la résistance et la structure du béton par temps chaud, mais nécessite une cure adéquate. La fumée de silice, issue de la production de silicium métallique, est souvent utilisée à un taux de 5 à 10 % du ciment Portland. Elle renforce la résistance du béton et réduit sa perméabilité, mais peut augmenter le retrait plastique [14].

- **Utilisation d'adjuvants chimiques :** Il existe de nombreux types d'adjuvants chimiques qui peuvent améliorer les caractéristiques de performance du béton. Certains de ces avantages comprennent une demande d'eau réduite et des périodes de maniabilité prolongées [14]. L'utilisation de retardateurs de prise et de super plastifiants est souvent recommandée en raison de leurs effets bénéfiques sur la maniabilité et le contrôle de la prise du béton. Les retardateurs de prise sont particulièrement utiles pour ralentir le processus d'hydratation du ciment, ce qui permet de prolonger la période de maniabilité et de réduire les risques de problèmes de placement et de finition. De même, les super plastifiants améliorent la fluidité

du mélange sans compromettre les propriétés mécaniques du béton, ce qui facilite le placement et la compaction, surtout lorsqu'il fait chaud. Ainsi, l'utilisation combinée de retardateurs de prise et de super plastifiants est souvent considérée comme la meilleure approche pour le bétonnage par temps chaud [15]. Dans les paragraphes suivants nous concentrerons sur les retardateurs de prise et plus particulièrement sur les adjuvants à base sucre.

- **Spécification d'une température maximale du béton frais :** La spécification d'une température maximale du béton frais est une mesure essentielle pour garantir la qualité et la durabilité du béton dans des conditions de température élevée. Le DTR BE 2.1 [6] stipule que la température du béton frais doit être uniforme et ne dépasse pas 30°C. ACI 305.1-06 [2] limite la température maximale du béton à 35 °C au moment du déchargement. Cette limite s'applique aux types généraux de constructions par temps chaud, tels que les chaussées, les ponts et les bâtiments, mais pas au béton de masse. Selon l'ACI 305.1-06, l'acceptation d'un mélange de béton avec une température maximale dépassant 35 °C doit être autorisée par l'architecte/ingénieur, sur la base d'une expérience pratique antérieure ou de tests préalables à la construction en utilisant un mélange de béton similaire. SAMSS-097 C94 [5] limite aussi la température maximale du béton à 35 °C. ASTM C94 [16] ne fixe aucune limite de température pour le béton frais dans des conditions de temps chaud et mentionne que le fournisseur doit fournir le béton prêt à l'emploi à des températures aussi basses que possible, sous réserve de l'approbation de client.

## **I.2. Retardateurs de prise :**

### **I.2.1. Généralités :**

Un adjuvant, dans le domaine du génie civil, se réfère à un matériau autre que l'eau de gâchage, les agrégats, le ciment et le renforcement en fibres, introduit dans le béton ou le mortier immédiatement avant ou pendant le malaxage pour modifier certaines propriétés du mélange [17]. Les adjuvants comprennent les accélérateurs, les retardateurs, les super plastifiants, les entraîneurs d'air, etc.

Un retardateur de prise est défini comme un adjuvant qui ralentit la vitesse d'hydratation du ciment hydraulique et prolonge le temps de prise [18]. Ils retardent le passage de l'état plastique à l'état rigide du mélange, ce qui permet de réguler le dégagement de chaleur résultant de l'hydratation du ciment [19]. Les retardateurs de prise sont principalement basés

sur des matériaux contenant des acides lignosulfoniques et leurs sels, des acides carboxyliques et leurs sels, du sucre et leurs dérivés, ainsi que des sels inorganiques tels que les borates, les phosphates, les sels de zinc et de plomb [17].

### **I.2.2. Domaine d'utilisation des adjuvants retardateurs :**

Les retardateurs de prise prolongent la période pendant laquelle le béton reste plastique, facilitant ainsi la réalisation complète d'une grande coulée avant que le béton ne commence à durcir. Cela permet d'éviter la formation de joints froids dans les coulées importantes ou complexes et offre davantage de temps pour la mise en place. De plus, la réduction du taux d'hydratation contribue à atténuer les élévations de température précoces, limitant ainsi le risque de contraintes internes et de fissures dans le béton [11]. Les retardateurs de prise sont utilisés pour les applications suivantes [11] :

- Compenser l'effet accélérateur des températures élevées sur le durcissement du béton lors de bétonnage par temps chaud.
- Retarder la prise initiale du béton ou du mortier lorsque des conditions de mise en place difficiles ou inhabituelles se présentent, comme le coulage de béton sur des épaisseurs importantes et dans de grands piliers et fondations par exemple, le bétonnage de puits de pétrole ou le pompage de mortier ou de béton sur de longues distances .
- Retarder la prise pour des techniques de finition spéciales, telles qu'une surface en agrégats exposés, ou en prévision de longs temps de transport ou de délais entre le malaxage et la mise en place.

### **I.2.3. Mécanismes d'action des adjuvants retardateurs :**

En général, les retardateurs de prise ralentissent la vitesse de réaction d'hydratation normale du ciment à travers des processus complexes tels que l'inhibition de la dissolution du ciment et/ou de la formation de certains produits d'hydratation cristalline (nucléation), retardant ainsi le processus de prise [19,11]. De nombreux efforts ont été déployés pour expliquer le mécanisme d'action des adjuvants retardateurs, cependant, il persiste encore quelques divergences. Les principaux mécanismes suggérés pour expliquer l'interaction et le mécanisme de réaction entre les retardateurs et le ciment incluent [3]:

- 1) **Adsorption** : selon ce mécanisme, l'adjuvant est adsorbé à la surface des particules de ciment (silicates et aluminates de calcium). Cette couche d'adjuvant retardateur

autour des particules de ciment agit comme une barrière de diffusion. En raison de cette barrière de diffusion, il devient difficile pour les molécules d'eau d'atteindre la surface des grains de ciment non hydratés, ce qui ralentit la dissolution du calcium à partir des grains anhydres. Cela retarde à son tour la formation des produits d'hydratation, C-S-H et ettringite, et donc la pâte de ciment conserve sa plasticité pendant une durée prolongée. Finalement, la rupture osmotique de la barrière de diffusion permet aux silicates et aux aluminates de reprendre leur hydratation.

- 2) **Précipitation** : selon ce mécanisme, l'adjuvant réagit avec la solution aqueuse fortement alcaline quelques minutes après le premier contact de l'eau avec le ciment pour former un précipité sur les particules de ciment, conférant un revêtement de faible perméabilité sur les particules de ciment. La couche de ces revêtements agit comme une barrière de diffusion et rend difficile l'accès aux molécules d'eau, supprimant ainsi l'hydratation du ciment. Par exemple, les retardateurs à base de sels inorganiques (borates, phosphates, sels de zinc et de plomb, etc.) donnent des hydroxydes insolubles dans les solutions alcalines.
- 3) **Nucléation** : selon ce mécanisme, l'adjuvant est adsorbé sur les noyaux d'hydroxyde de calcium ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) et empêche leur croissance jusqu'à ce qu'un certain niveau de sursaturation soit atteint pendant la période dormante de l'hydratation. Ainsi, le retardateur prolonge la période dormante en provoquant une augmentation du niveau de sursaturation de l'hydroxyde de calcium avant le début de la cristallisation. Cela est analogue à l'empoisonnement de la croissance cristalline de l'hydroxyde de calcium par l'adjuvant, car à la fois les ions calcium et hydroxyde sont présents dans la solution, mais incapables de précipiter en raison de l'empoisonnement des noyaux d'hydroxyde de calcium.
- 4) **Complexations** : ce mécanisme implique la formation de complexes entre l'adjuvant retardateur et les ions calcium libérés par les grains de ciment pendant l'hydratation. La formation de ces complexes augmente la solubilité du ciment, mais empêche la formation d'hydroxyde de calcium et par conséquent l'hydratation est retardée.

En fait, la manière exacte dont les retardateurs agissent n'a pas encore été pleinement confirmée. Il semble que les adjuvants retardateurs fonctionnent de différentes manières et un adjuvant retardateur peut agir par plusieurs types d'interactions, ce qui rend encore plus difficile de tirer des conclusions des études existantes [20].

En plus du son type, de son dosage, et de moment où il est ajouté au mélange, l'efficacité d'un adjuvant retardateur dépend de plusieurs facteurs, notamment le type de ciment, du rapport eau/ciment et de la température ambiante [17,3]. Le temps de début de prise augmente avec le pourcentage de retardateur et diminue généralement avec la température et le dosage en ciment [20]. Les ciments avec de faibles teneurs en  $C_3A$  et en alcalis sont plus faciles à retarder que les ciments avec de grandes quantités de ces constituants [17,21]. Une explication possible est qu'avec des teneurs en  $C_3A$  plus faibles, de plus petites quantités de retardateurs sont adsorbées, laissant des quantités plus importantes de l'adjuvant pour affecter et retarder l'hydratation du  $C_3S$  [20].

Certains adjuvants agissent comme des retardateurs lorsqu'ils sont utilisés en petites quantités, mais se comportent comme des accélérateurs lorsqu'ils sont utilisés en grandes quantités. C'est le cas par exemple de sucre qui agit comme un retardateur de prise à faible quantité, mais une grande quantité de sucre (0,2 à 1 % en masse de ciment) peut provoquer une prise rapide de ciment [11,20]. À des températures plus élevées, certains retardateurs deviennent moins efficaces pour retarder la prise du ciment qu'à des températures plus basses [2,20]. Par exemple, l'efficacité de tout matériau hydrophobe ou de super plastifiants comme retardateurs de prise est moins à des températures plus élevées (35°C et 50°C) qu'à des températures plus basses (20°C) [3].

#### **I.2.4. Retardateurs courants :**

Les retardateurs les plus largement utilisés en pratique sont les acides hydroxy carboxyliques ou leurs sels, tels que les citrates ou les heptonates, et les lignosulfonates. En raison des faibles concentrations requises, ils sont généralement ajoutés sous forme de solutions. Les lignosulfonates de calcium ou de sodium sont des déchets issus de la fabrication de pâte à papier, lorsqu'ils sont formés par la décomposition des lignines. Les lignosulfonates commerciaux non purifiés contiennent des proportions substantielles de sucres et de sels associés d'acides de sucre, telles que les gluconates, qui sont au moins en partie responsables de leurs propriétés retardatrices. Des opinions divergentes ont été exprimées concernant l'ampleur de la contribution des molécules de lignosulfonate elles-mêmes. Certains chercheurs ont conclu que l'effet retardateur avec  $C_3A$  est largement dû aux acides de sucre, tandis que d'autres ont constaté que, à faible concentration avec le ciment, les lignosulfonates purifiés étaient presque aussi efficaces que le matériau non purifié [21].

### I.2.5. Effets des adjuvants retardateurs sur les propriétés du béton :

En raison de l'action retardatrice, les adjuvants retardateurs de prise entraînent certaines réductions de la résistance aux premiers jours de cure (un à trois jours) [17,11]. Cependant, il est rapporté que la résistance à long terme est améliorée en utilisant ces adjuvants. Les valeurs totales de retrait de séchage et le fluage n'augmentent pas en utilisant des retardateurs, mais les retardateurs peuvent affecter le temps et la vitesse auxquels ces phénomènes se produisent [17,3]. L'incorporation de retardateurs peut affecter autres propriétés du béton, notamment l'ouvrabilité, la perméabilité et le ressuage [17,11]. En retardant le temps de prise, les retardateurs facilitent les processus de malaxage, de mise en place et de compactage, ce favorise la formation d'une matrice de béton plus dense et moins perméable. Par conséquent, la durabilité du béton est améliorée, car il possède une capacité accrue à résister la pénétration des divers agents destructeurs, notamment les sulfates et les chlorures [17].

### I.3. Utilisation des sucres comme retardateurs :

#### I.3.1. Généralités :

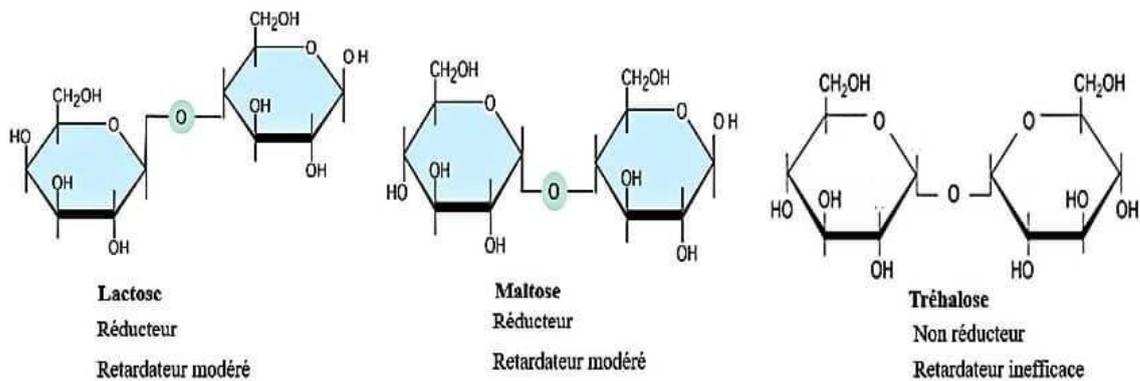
Les glucides, souvent appelés « sucres », sont, d'un point de vue chimique, des substances dont la structure comporte au minimum 3 atomes de carbone, un carbonyle (CO) et deux fonctions alcool (OH) [22]. Le sucre le plus courant est le « sucre de table » ou le saccharose ( $C_{12}H_{22}O_{11}$ ), qui est un disaccharide composé des deux monosaccharides : glucose ( $C_6H_{12}O_6$ ), et fructose (sucre de fruits  $C_6H_{12}O_6$ ). Les Figures I.6 et I.7 montrent les structures chimiques des sucres courants.

Le sucre est depuis longtemps connu comme retardateur d'hydratation et de durcissement, un phénomène découvert par hasard lorsqu'il a été observé que le ciment stocké dans de vieux sacs de sucre ne durcissait pas correctement [23]. Les sucres ne retardent pas l'hydratation du ciment du même niveau. L'effet retardateur des différents types de sucres peut être divisé en trois catégories [17,21] :

- ❖ **Des retardateurs très efficaces** : les sucres non réducteurs contenant à la fois des cycles à 5 et 6 chaînons. Exemples : le saccharose et la raffinose.
- ❖ **Des retardateurs modérés** : les sucres réducteurs contenant uniquement des cycles à 6 chaînons. Exemples : le glucose, le lactose (sucre de lait) et le maltose (sucre de malt).

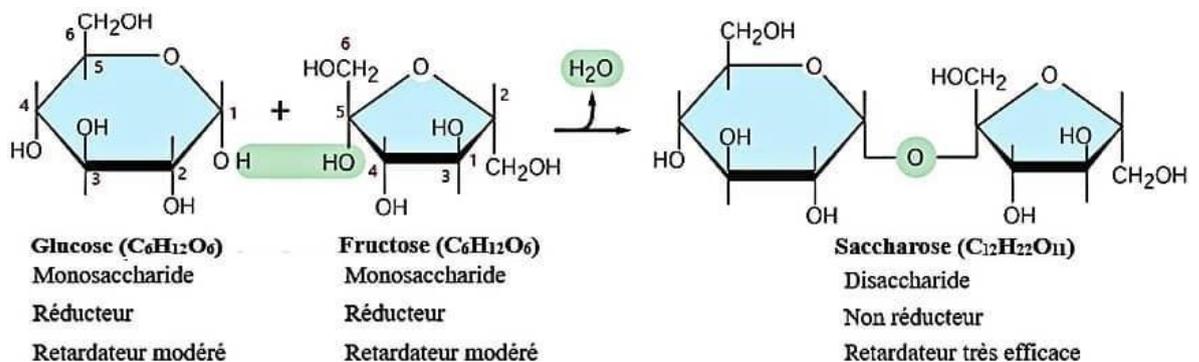
- ❖ **Des retardateurs inefficaces** : les sucres non réducteurs contenant uniquement des cycles à 6 chaînons. Exemple : le tréhalose.

*Remarque* : Un sucre réducteur est tout sucre qui forme un aldéhyde ou une cétone en présence d'une solution alcaline. Cela permet au sucre d'agir comme un agent réducteur. Les sucres sans cette capacité réductrice sont appelés sucres non réducteurs [20].



**Figure I.6.** Structure des monosaccharides courants et du saccharose (sucre de table).

(Source : [22])



**Figure I.7.** Structure des disaccharides courants autre que le saccharose. (Source : [22])

### I.3.2. Mécanisme d'action de sucre :

Le mécanisme d'action des sucres retardateurs n'est pas parfaitement compris [23]. Il n'est toujours pas clair pourquoi certains sucres sont des retardateurs très efficaces et d'autres ne le sont pas. Toutes les explications trouvées dans la littérature portent sur les phénomènes d'absorption, de précipitation, de complexations et de nucléation présenter précédemment [24]. Le mécanisme plausible d'action des sucres a été résumé par Taylor [21]:

Le retardement résulte de l'adsorption des molécules de sucre sur les surfaces des hydrates en développement, en particulier le CSH.

La capacité à complexer le calcium semble le facteur déterminant de l'efficacité du retard d'un type de sucre. Le saccharose complexe très bien le calcium, tandis que la capacité du tréhalose à complexer le calcium est très faible. Le complexe sucre-calcium formé s'incorpore à la surface d'une particule en croissance de CH ou de CSH, ce qui inhibe leur croissance.

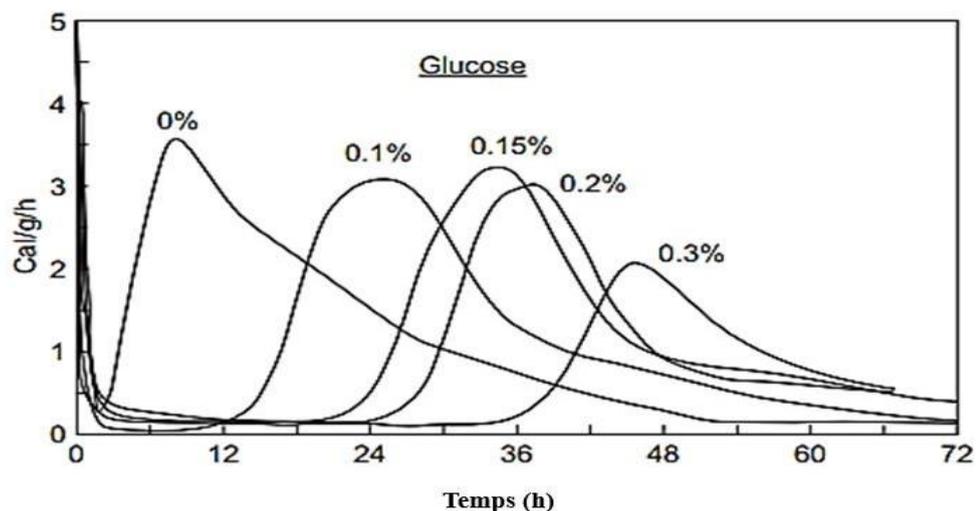
### I.3.3. Effet des sucres sur les propriétés du matériau cimentaire :

Les propriétés du béton frais, telles que sa maniabilité et son temps de prise, ainsi que les propriétés physiques, mécaniques et chimiques du béton durci, peuvent être modifiées par l'ajout de sucre au mélange. Ces changements sont principalement dus aux effets de sucre sur la réaction d'hydratation du ciment [17].

#### I.3.3.1. Temps de prise :

Comme illustré dans la Figure I.8 pour différents pourcentages de glucose, l'ajout de sucre dans le mélange a généralement un effet retardateur sur les temps de prise du ciment [25].

Il a été rapporté que l'ajout d'un pourcentage de 0,1 % de saccharose en masse de ciment peut augmenter le temps de prise initial de 4 heures à 14 heures, tandis qu'un pourcentage de 0.25 % peut le retarder jusqu'à 6 jours [21].

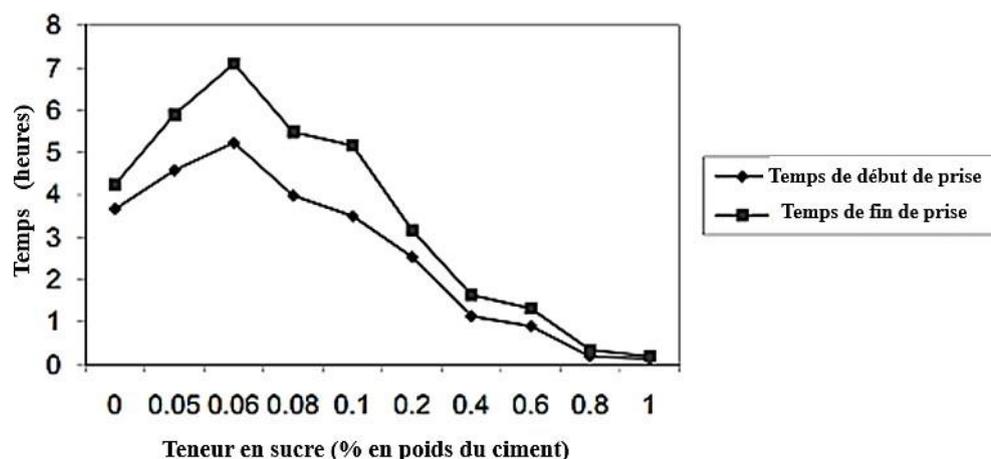


**Figure I.8.** Effet de différents pourcentages sur l'hydratation du ciment. (Source : [26])

Selon Khan et Baradan [27], les temps de prise de ciment augmentent avec l'augmentation de la teneur en sucre jusqu'à une certaine limite (environ 0,15 %) puis commencent à diminuer. Zhenghao et al. [28] ont rapporté que le saccharose agit comme un retardateur de prise à faible dosage (environ 0,09 %) et que son action retardatrice diminue rapidement avec

l'augmentation de sa quantité dans le mélange. Des résultats similaires ont été constatés par Abalka [29] et Usman et al. [30], où l'effet retardateur maximum est observé dans la pâte de ciment contenant 0.06% de sucre, tandis que les temps de prise de ciment contenant de 0,8 % à 1 % de sucre ont été observés en quelques minutes seulement (Figure I.9). L'étude de Rana [31] a montré que les temps de prise du ciment augmentent avec l'augmentation du pourcentage de sucre jusqu'à la concentration de 0,07 % et qu'au-delà d'une teneur de 0.1% en sucre les temps de prise diminuent considérablement et le sucre agit alors comme accélérateur de prise où le temps de fin de prise peut être observé au bout d'une heure. Azad et al. [32] n'ont observé aucun effet accélérateur pour le sucre jusqu'à concentration de 0.3%.

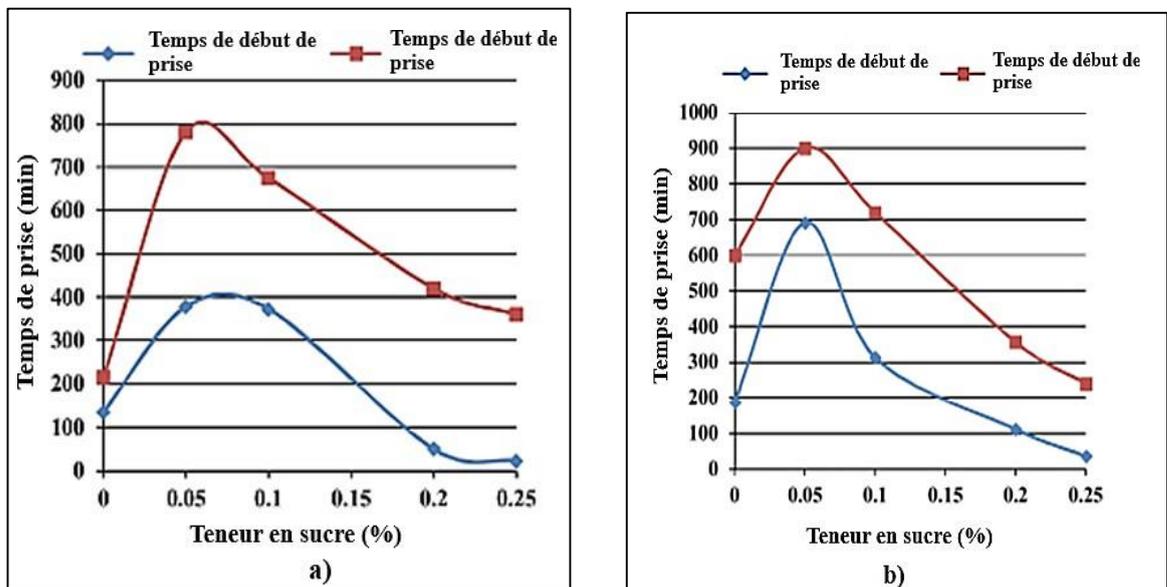
L'effet retardateur de sucre dépend de la température de cure et de la composition chimique du ciment employé [25]. Juengar et Jennings [23] ont conclu que l'ajout de 1% de sucre ralentit l'hydratation de ciment à différentes températures de cure et que la période de retard est raccourcie avec l'augmentation de la température de cure.



**Figure I.9.** Effet du sucre sur les temps de prise de la pâte de ciment. (Source : [29])

L'étude effectuée par Ahmed et al. [33] sur l'effet de sucre sur deux types de ciment (type I et V) a montré que pour les deux types de ciment, les temps de prise augmentent avec l'augmentation de la teneur en sucre jusqu'à 0,05 %, puis une diminution des temps de prise a été enregistrée avec une augmentation supplémentaire de la quantité de sucre. Comme montré dans la Figure I.10, l'addition de 0,05 % de sucre a multiplié par trois le temps de prise initial et par quatre le temps de prise final pour le ciment de type I. Quant au ciment de type V, les temps de prise initiale et finale ont respectivement augmenté de 3,5 et 1,5 fois avec l'ajout de 0,05 % de sucre. Pour les deux types de ciments, l'ajout de sucre au-delà de 0,1 % a entraîné

une diminution du temps de prise initial à une valeur inférieure à celle de la pâte de ciment sans sucre [33].



**Figure I.10.** Effet de la teneur en sucre sur les temps de prise du ciment ; a) type I et b) type V. (Source : [33])

Zhang et al. [34] ont rapporté que les temps de prise initial et final ont augmenté de manière exponentielle avec la concentration de saccharose. Ils sont conclus que les saccharides agissent comme des "accélérateurs retardés", c'est-à-dire que l'hydratation du ciment est d'abord retardée puis se déroule plus rapidement que dans un ciment sans saccharide [34].

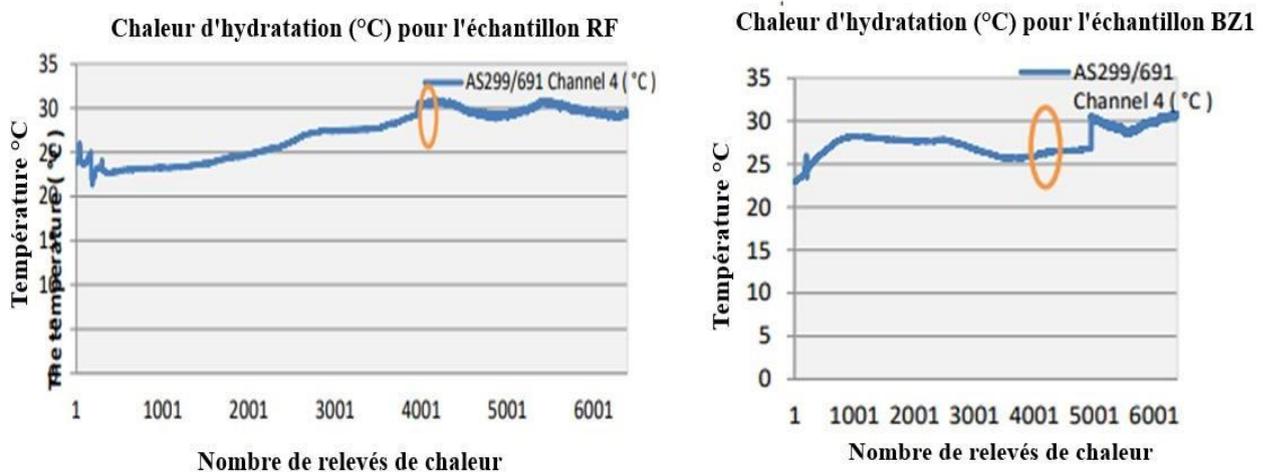
L'étude effectuée par Al Khafaji et Ruddock [35] sur l'effet de différents types de sucre sur l'hydratation de ciment a montré différents comportements en fonction du type de sucre et de son dosage dans le mélange. Les résultats de cette étude montre que tous les sucres agissent comme retardateur de temps de fin de prise à des concentrations de 0.5% et 1.5%. Sauf pour le cas de sucre de betterave, l'effet retardateur de fin de prise devient accélérateur pour tous les types de sucre à des concentrations de 2.5% et 5% [35]. Jumadurdiyev et al. [36] ont étudié l'hydratation de ciment préparé avec différent dosage de mélasse de betterave (0,20 %, 0,40 % et 0,70 %) et ont constaté que l'ajout de mélasse entraîne une augmentation considérable des temps de prise.

L'étude de Otunyo et Koate [37] sur l'utilisation de jus de canne à sucre comme retardateur dans la production de béton a montré que les temps de prise augmentent avec

l'augmentation de la teneur de jus dans le mélange et un temps de fin de prise de 6 heures a été obtenu avec le pourcentage de remplacement de 15 % de jus contre 3 heures et demie avec la pâte témoin.

### I.3.3.2. Chaleur d'hydratation :

Al Khafaji et Ruddock [35] ont constaté que la chaleur d'hydratation est affectée par le type et le pourcentage de sucre ajouté au mélange. La Figure I.11 montre la différence de chaleur d'hydratation entre l'échantillon sans sucre et celui avec l'ajout de 0.5% du sucre brun (BZ1). Après une période de perturbation qui correspond au début de la réaction d'hydratation, l'échantillon de référence (RF) montre une baisse de température puis continue d'augmenter jusqu'à la fin de l'essai. En revanche, les échantillons contenant du sucre, quelle que soit sa forme ou sa proportion, essaie de diminuer jusqu'à devenir stable, ce qui correspond au temps de fin de prise. L'augmentation graduelle de la température pendant le temps de prise est considérée bénéfique, car elle réduit les fissures dans le béton de masse [35].



**Figure I.11.** Chaleur d'hydratation pendant la prise de ciment pour l'échantillon sans sucre et celui avec l'ajout de 0.5% du sucre brun (BZ1). (Source : [35])

### I.3.3.3. Maniabilité :

Certaines études parviennent à conclure que l'utilisation de sucre en tant qu'adjuvant dans le béton n'a eu aucun effet sur la maniabilité du béton frais [29,30]. D'autres ont rapporté que la maniabilité du béton frais est améliorée lorsque des retardateurs à base de sucre sont utilisés (Tableau I.3) [17].

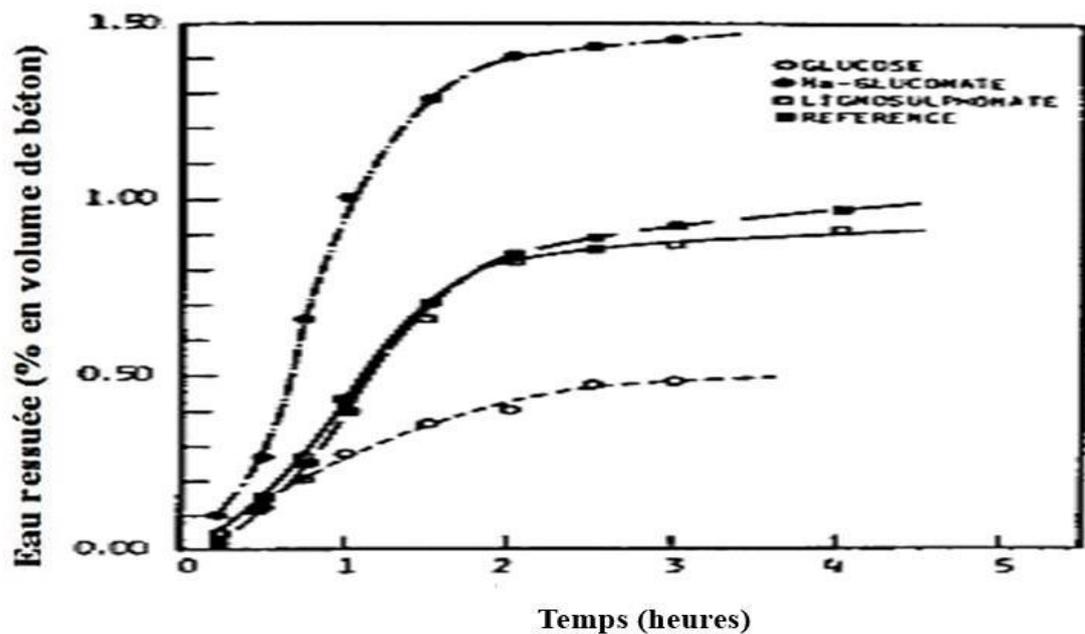
**Tableau I.3.** Effet des adjuvants (0.1% en poids de ciment) sur l'affaissement pour un E/C donné. (Source : [14])

Teneur en ciment 300 kg/m <sup>3</sup>				
Adjuvant	Nul	Na gluconate	Glucose	Na lingnosulfonate-sans sucre
Rapport eau-ciment	0.68	0.68	0.68	0.68
Affaissement (mm)	95	195	160	135
Augmentation de l'affaissement (mm)	-	100	65	40

Giridhar et al [38] et Kawade et al [39] ont trouvé que la maniabilité augmente avec l'augmentation de pourcentage de sucre dans le mélange. Dans leur étude sur l'utilisation du jus de canne à sucre comme adjuvant retardateur dans la production de béton, Otunyo et Koate [37] ont constaté que la maniabilité du béton a diminué par l'ajout de jus de canne à sucre.

#### I.3.3.4. Ressuage et tassement :

Les retardateurs influent sur la vitesse et la capacité de ressuage et de tassement sous gravité des bétons frais [36]. Comme montrer sur la Figure I.12, le lignosulfonate et particulièrement le glucose réduisent la vitesse et la capacité de ressuage [36].



**Figure I.12.** Effet des adjuvants (0.1% en poids de ciment) sur le ressuage de béton frais pour un E/C donné. (Source : [17])

Giridhar et al [38] ont rapporté que l'utilisation des adjuvants comme le sucre et le jaggery peut réduire la ségrégation et le ressuage du béton. Jumadurdiyev et al. [36] ont signalé que les mélanges de bétons préparés avec de la mélasse montrent une légère augmentation la quantité d'eau ressuée par rapport au béton préparé avec l'adjuvant à base de lignosulfonate, ce qui peut être attribué à la plus grande quantité d'air entraîné dans ce dernier béton qui diminue le tassement en maintenant les particules solides en suspension, tout en perturbant la continuité des pores capillaires.

### I.3.3.5. Résistance mécanique :

Plusieurs recherches ont montré que l'utilisation de sucre comme adjuvant a légèrement augmenté la résistance à la compression du béton [17, 29, 32,38]. Les résultats de la Figure I.13 montrent que le saccharose augmente la résistance à la compression à 28 jours. Aux âges précoces, comme 1 jour, la résistance à la compression des bétons contenant le saccharose est inférieure à celle du mélange témoin en raison de l'effet retardateur de ces adjuvants sur l'hydratation initiale du ciment. À 3 et 7 jours, l'augmentation de la résistance par rapport à celle de témoin est généralement plus importante qu'à 1 jour et 28 jours [17].

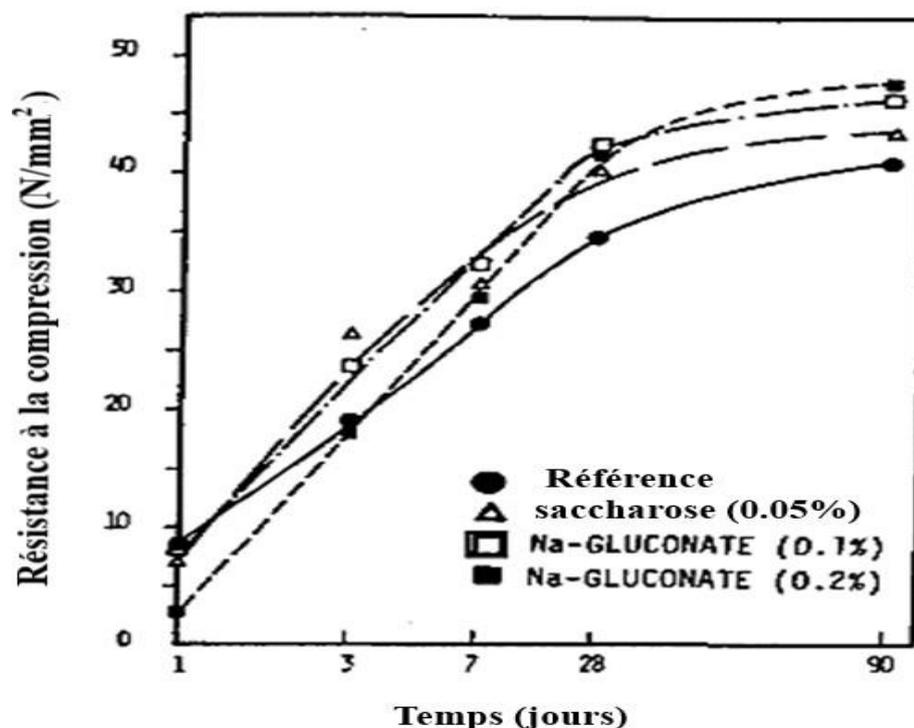
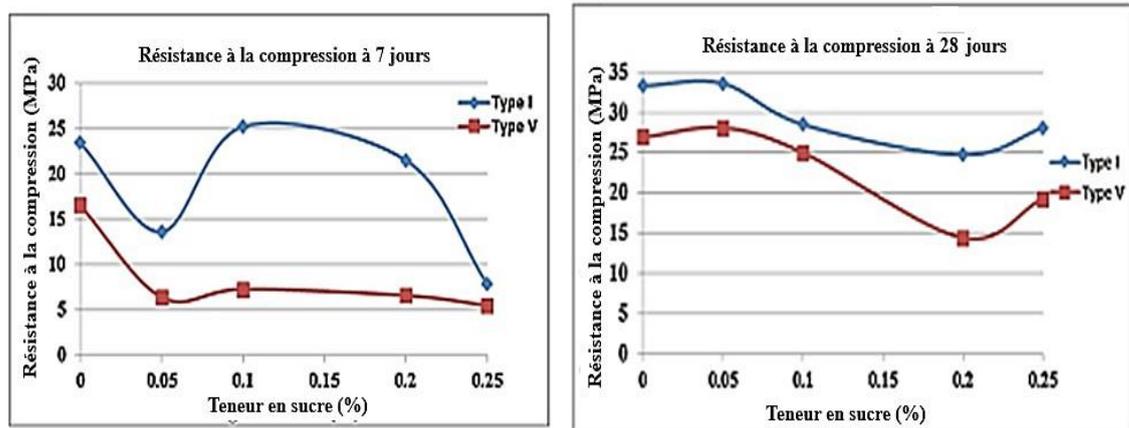


Figure I.13. Résistance à la compression des mortiers hydratés avec du saccharose et gluconate de sodium. (Source : [17])

Ahmed et al. [33] ont conclu que l'ajout de jusqu'à 0,1% de sucre n'a pas d'effet significatif sur la résistance à la compression après 28 jours (Figure I.14) pour les deux types de ciment testés. Cependant, la résistance à la compression a diminué avec l'augmentation de la teneur en sucre jusqu'à un dosage de 0,2 %. Cependant, une augmentation de la résistance à la compression à 28 jours a été observée au-delà d'une teneur en sucre de 0,2 % pour les deux types de ciment.

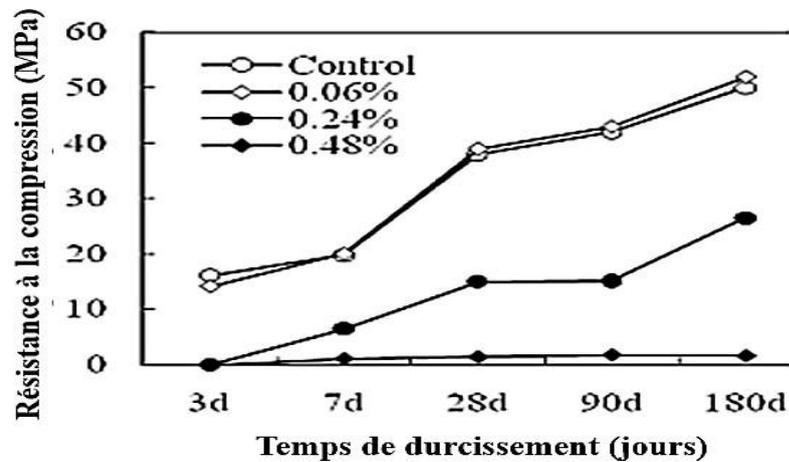


**Figure I.14.** Variation de la résistance à la compression des mortiers en fonction de la teneur en sucre. (Source : [33])

Zhenghao et al. [28] ont rapporté que la résistance à 3 jours du mortier contenant 0,06 % de saccharose est légèrement inférieure à celle du mortier témoin, mais ses résistances ultérieures sont très similaires à celui de dernier (Figure I.15). Les résultats de l'étude ont montré aussi que le mortier contenant un pourcentage de 0,24 % et plus de saccharose n'a presque aucune résistance à 3 jours, bien que la résistance augmente par la suite mais elle reste toujours remarquablement bien inférieure à celle du témoin. L'utilisation d'un pourcentage de 0,48 % de saccharose altère beaucoup le développement de la résistance de mortier même après une longue période de cure [28].

Oyekan [40] a rapporté que l'utilisation de sucre a augmenté la résistance à la compression des blocs de mortier jusqu'à 17 % à 28 jours. Usman et al. [30] ont conclu qu'une résistance à la compression à long terme plus élevée peut être obtenue dans le mélange de béton contenant de sucre comme adjuvant. Ahmed et al. [41] ont constaté que l'ajout de sucre au béton a conduit à une amélioration notable de sa résistance à la compression et que parmi les différents pourcentages examinés, le résultat le plus favorable en termes de résistance à la compression a été obtenu en introduisant 0,02 % de sucre au mélange [41].

Nasser et al. [42] ont constaté que le sucre affecte la résistance de mortier à long terme et que l'ajout de 0.06% de sucre présente les meilleurs résultats.



**Figure I.15.** Evolution de la résistance à la compression des mortiers en fonction de la teneur en saccharose. (Source : [28])

Jumadurdiyev et al. [36] ont trouvé que les éprouvettes de bétons préparées avec de la mélasse montrent une légère augmentation de la résistance à la compression à tous les âges, à l'exception du jeune âge, par rapport à ceux de l'adjuvant à base de lignosulfonate, ce qui peut être attribué à la structure interne plus uniforme et plus dense due à l'effet retardateur, ainsi qu'à la plus faible teneur en air de ces mélanges de béton.

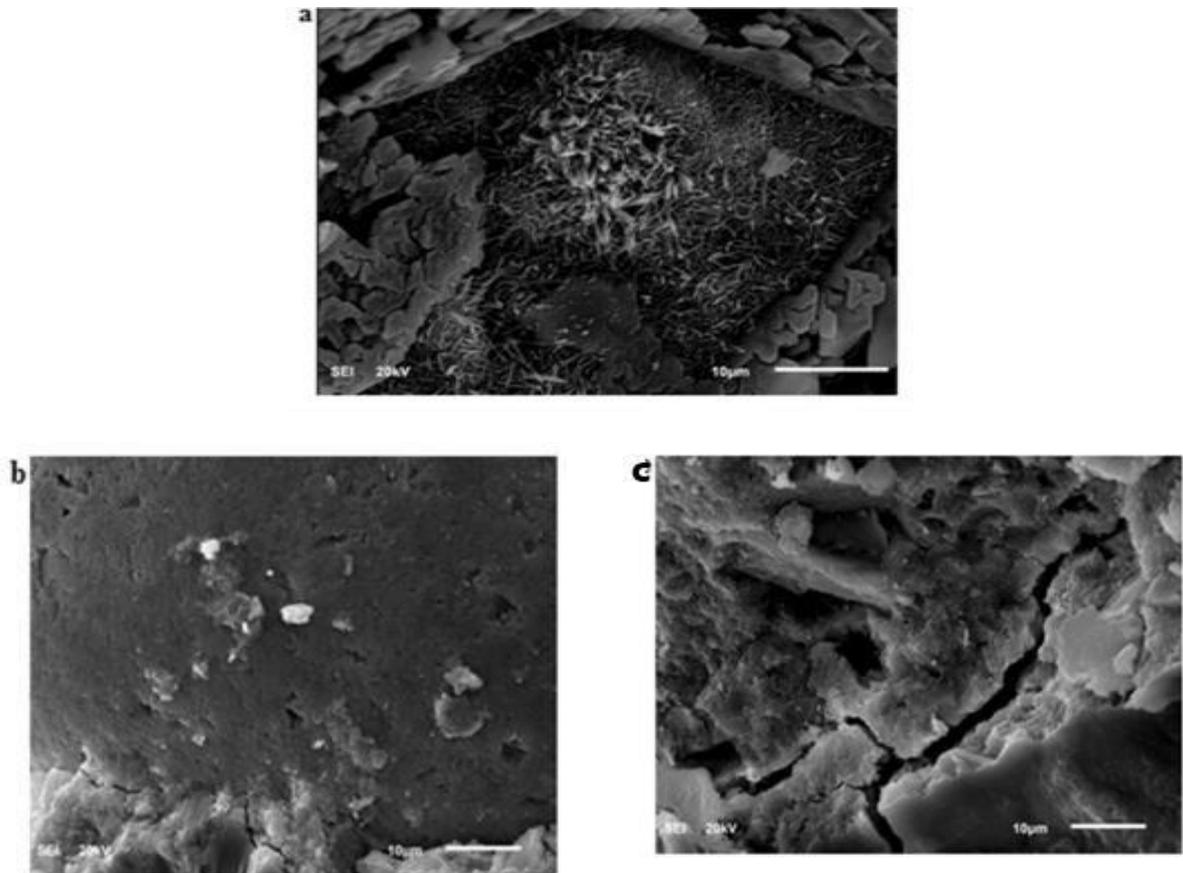
Otunyo et Koate [37] ont constaté que la résistance à la compression du béton diminuait initialement avec l'augmentation de la teneur en jus de canne à sucre. À une teneur optimale de jus de canne à sucre de 10 %, la résistance à la compression a commencé d'augmenter avec l'augmentation de la teneur en jus de sucre.

Oyekan and Oyelade [43] ont utilisé le sucre comme adjuvant dans la fabrication de béton ordinaire avec l'application du verre recyclé concassé comme substitut partiel du ciment. Ils ont constaté que l'ajout de sucre a augmenté de la résistance à la compression.

### I.3.3.6. Microstructure et durabilité :

Juengar et Jennings [23] ont étudié l'influence de l'ajout de sucre sur l'hydratation et la microstructure de la pâte de ciment. Ils ont rapporté que l'ajout de sucre a modifié le taux d'hydratation du ciment, la microstructure du silicate de calcium hydraté (C-S-H) et la distribution de taille des pores de la pâte de ciment. Ahmed et al. [33] ont observé, pour les deux types de ciment étudiés, la formation d'un produit d'hydratation dense et compact avec

peu de fissures dans le mortier contenant 0,05% et 0,1% de sucre (Figure I.16). Par contre, plus des fissures ont été développées dans les mélanges contenant 0,2% et 0,25% de sucre.



**Figure I.16.** Images MEB des mortiers de ciment type I avec (a) 0%, (b) 0,05%, (c) 0,25% de sucre. (Source : [33])

Zhang et al. [34] ont observé que l'ajout de 0,037 % de saccharose n'a eu aucun effet sur la microstructure de la pâte de ciment (OPC), même si cette même concentration était suffisante pour empêcher l'hydratation du  $C_3S$  pendant au moins un jour. Un pourcentage de 0,15 % saccharose, cependant, retarde l'apparition de CSH jusqu'au un jour.

Nasser et al. [42] ont trouvé que l'augmentation de la teneur en sucre dans le mélange diminue le retrait de séchage de mortier. Ils ont trouvé aussi que le sucre affecte négativement la résistance au carbocation du mortier (Figure I.17).

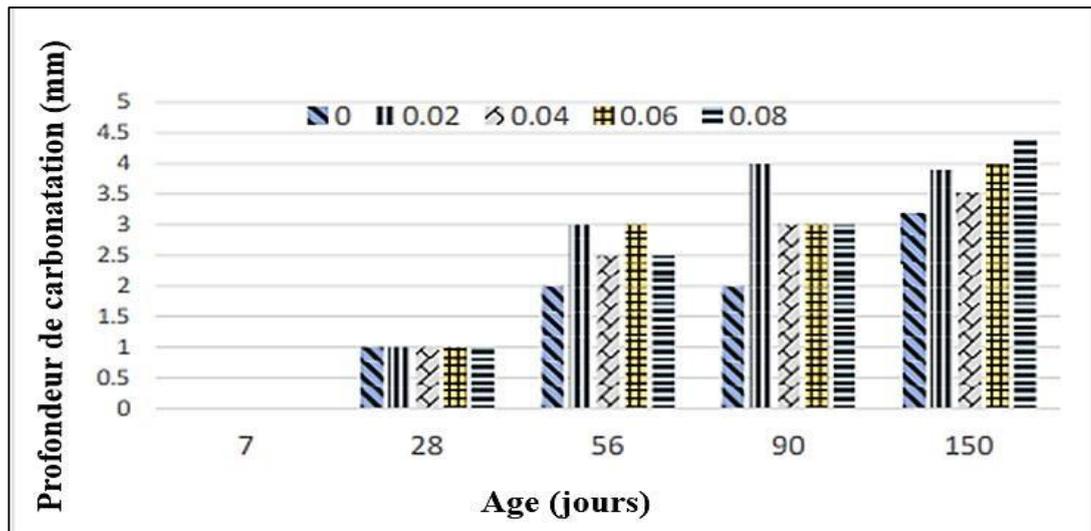


Figure I.17. Variation de profondeur de carbonation en fonction de la teneur en sucre.

(Source : [42])

Jumadurdiyev et al. [36] ont constaté que, à l'exception d'un type de mélasse, les éprouvettes de bétons contenant de la mélasse et du lignosulfonate présentent un comportement de retrait de séchage similaire. Ils ont aussi conclu que les deux types des adjuvants présentent une performance comparable après 140 cycles de gel et de dégel, et démontrent des performances équivalentes en ce qui concerne la carbonatation. L'étude montre que même les bétons contenant des mélasses présentent une expansion plus importante que celle du béton témoin, tous les bétons restent en dessous de la limite d'expansion spécifiée dans la norme, ce qui indique que la présence de mélasse n'affecte pas de manière significative la résistance au sulfate du béton [36].

### Conclusion :

L'augmentation de la température lors de la mise en place du béton peut déclencher divers processus néfastes qui peuvent compromettre sa durée de service. Les températures élevées entraînent généralement une évaporation rapide de l'eau en surface du béton frais, accélérant ainsi son durcissement et raccourcissant la durée des opérations de bétonnage. Cela peut entraîner d'autres problèmes tels qu'une diminution rapide de l'affaissement, la formation de joints froids et des fissures de retrait, une perméabilité élevée, une résistance mécanique faible et une durabilité réduite.

L'utilisation de retardateurs à base de sucre et d'additifs dans le béton offre des avantages significatifs, notamment en termes de gestion des temps de prise, de maniabilité et de résistance lors de bétonnage à chaud. Alors que les adjuvants offrent des solutions plus

polyvalentes et efficaces dans diverses conditions, le sucre peut encore être utilisé comme retardateur lorsque les adjuvants ne sont pas disponibles. Cependant, il est important de noter que chaque additif a ses propres effets et limitations, et leur utilisation doit être soigneusement évaluée en fonction des exigences spécifiques du projet et des conditions environnementales. Des recherches continues sont nécessaires pour approfondir notre compréhension de l'impact de sucre sur les propriétés du béton et pour développer des solutions plus efficaces pour répondre aux défis de la construction moderne.

## *Chapitre II*

### *Matériaux et Procédures*

### *Expérimentales*

## Introduction :

La qualité des matériaux utilisés dans le mélange joue un rôle déterminant dans l'obtention des propriétés requises du béton. Alors, l'analyse des caractéristiques des matériaux avant leur utilisation et la sélection judicieuse des composants du mélange sont des étapes cruciales pour garantir la qualité et la durabilité du béton.

Dans ce chapitre, nous présentons les matériaux de l'étude, les procédures de confection et de conservation des éprouvettes, ainsi que les techniques des essais effectués.

## II.1. Caractérisation des matériaux utilisés :

### II.1.1. Ciment :

Le ciment utilisé dans notre étude est le ciment Matine NA442 CEM II/B-L 42,5 N (Photo II.1). Le ciment est conforme à la norme algérienne NA442 – 2013 [44] et Européenne EN 197 -1) [45]. Les caractéristiques physiques, mécaniques et chimiques du ciment sont présentées respectivement dans les Tableaux II.1 et II.2.



Photo II.1. Ciment Matine. (Source : Auteurs)

**Tableau II.1.** Caractéristiques mécaniques et physiques du ciment. (Source : [46])

Caractéristique	Valeur
Résistance en compression à 2 j (MPa)	$\geq 10.00$
Résistance en compression à 28 j (MPa)	$\geq 42.5$
Expansion "Le Chatelier" (mm)	$< 3.00$
Retrait à 28 jours ( $\mu\text{m}/\text{m}$ )	$< 1000$
Finesse suivant la méthode de Blaine ( $\text{cm}^2/\text{g}$ )	3700-5200
Consistance normale (%)	$26.5 \pm 2$
Début du Temps de prise (min)	$150 \pm 30$
Fin du Temps de prise (min)	$230 \pm 30$

**Tableau II.2.** Caractéristiques chimiques et minéralogiques du ciment. (Source : [46])

Caractéristique	Valeur
Perte au feu (%) (NA5042)	$10.0 \pm 2$
Teneur en sulfates ( $\text{SO}_3$ ) (%)	$2.5 \pm 0.5$
Teneur en oxyde de magnésium $\text{MgO}$ (%)	Max 5%
Teneur en chlorures (NA5042) (%)	$< 0.1$
$\text{C}_3\text{S}$ (%)	$60 \pm 3$
$\text{C}_3\text{A}$ (%)	$7.5 \pm 1$

### II.1.2. Granulats :

Dans tous les mélanges de notre étude, le sable utilisé est un sable naturel provenant de la vallée d'Oued Aizerza situé à 30 km de sud-est de la wilaya de Tamanrasset (Figure II.2).

Les graviers utilisés dans le mélange sont d'origine naturelle concassée, en trois fractions : 3/8 mm, 8/15 mm et 15/25 mm. Les graviers sont fournis par la carrière BEN Brahim-Zelfana de la région de Ghardaïa (Photo II.2).

Une série des essais a été réalisée au niveau de laboratoire LTPS (Ghardaïa) pour mesurer les caractéristiques physiques, mécaniques et chimiques des granulats et les paragraphes suivants présentent les étapes et les résultats de ces mesures.



**Photo II .2.** Granulats choisis. (Source : Auteurs)

**a. Analyse granulométrique :**

Les courbes granulométriques des granulats sont indispensables pour définir la composition idéale du béton. Pour cela, nous avons effectué l'essai analyse granulométrique selon la norme européenne NF EN 933-1 [47] pour le sable (Photo II.3) et pour les graviers (Photo II.4) employés dans notre étude. Les résultats obtenus pour le sable et les graviers sont présentés respectivement dans les Tableaux II.3 et II.4.

Les pourcentages de passant cumulé des granulats sont représentés sous forme de courbes granulométriques dans la Figure II.1 en portant les ouvertures des tamis en abscisse, et les pourcentages de passant en ordonnée.



**Photo II.3.** Analyse granulométrique de sable. (Source : Auteurs)

Tableau II.3. Analyse granulométrique de sable. (Source : Auteurs)

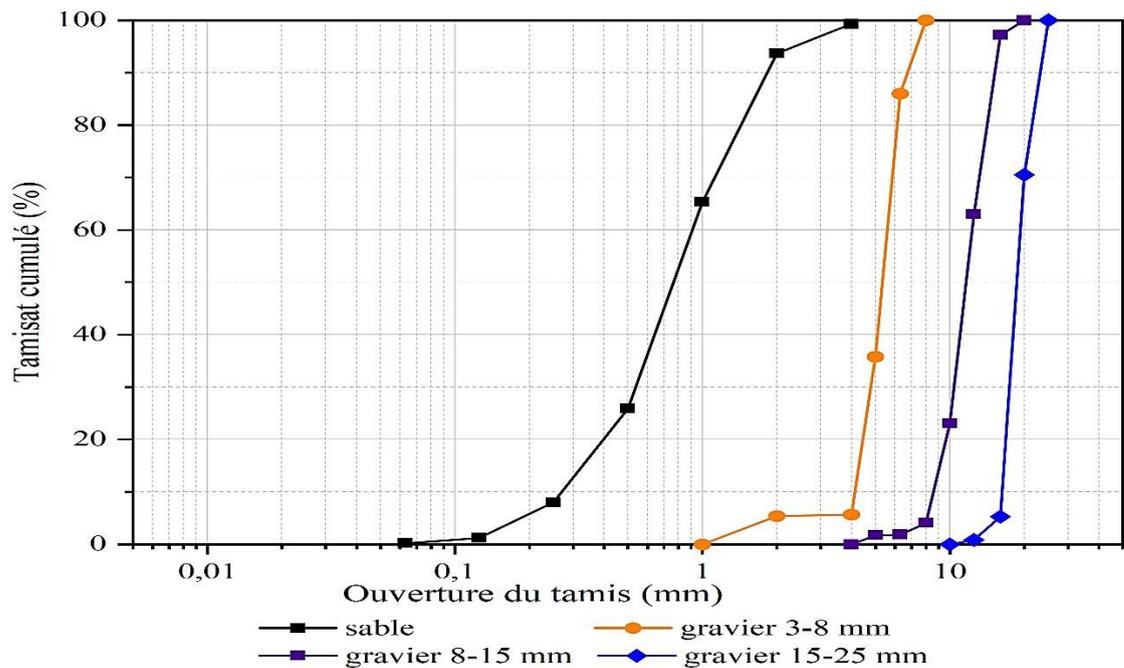
Tamis (mm)	Refus Partiel (g)	Refus cumulé (g)	Pourcentage Refus	Pourcentage passant
4	3,4	3,4	0,68	99,32
2	28,4	31,8	6,35	93,65
1	142 ,1	173,9	34,72	65,28
0,5	197,3	371,2	74,12	25,88
0,25	89,4	460,6	91,97	8,03
0,125	34,1	494,7	98,78	1,22
0,063	1,6	496,3	99,10	0,9
Module de finesse (MF)		2,62		
Coefficient d'uniformité (Cu) = $\frac{d_{60}}{d_{10}}$		4		



Photo II.4. Analyse granulométrique de gravier. (Source : Auteurs)

Tableau II.4. Analyse granulométrique des graviers. (Source : Auteurs)

Tamis (mm)	Pourcentage passant		
	15/25	8/15	3/8
25	100	100	100
20	70.51	100	100
16	5.29	97.14	100
12.5	0.86	63.04	100
10	0	23.05	100
8	0	4.06	100
6,3	0	1.85	85,99
5	0	1.73	35,79
4	0	0	5,7
2,5	0	0	5,39
Cu	1.2	1.44	1.36



**Figure II.1.** Granulométrie du mélange du béton. (Source : Auteurs)

Selon le Tableau II.3, on peut remarquer que le module de finesse de notre sable est de 2.62 compris entre 1.5 et 2.8, ce qui signifie que le sable est à grains moyens selon la norme NF EN 18-545 [48]. La valeur de MF du sable est comprise entre 2.2 et 2.8, ce qui signifie que le sable choisi pour notre étude correspond à un sable préférentiel pour béton selon le DTR BE 2.1 [6]. La valeur de coefficient d'uniformité  $C_u$  de sable est supérieure à 2, donc c'est un sable de granularité étalée, selon [49].

Selon le Tableau II.3, on peut constater que les valeurs des coefficients d'uniformité  $C_u$  pour les trois types de graviers sont inférieures à 2. Cela indique que la granularité des trois types de gravier est considérée uniforme, selon [49].

#### **b. Masse volumique absolue et apparente :**

Les masses volumiques des granulats sont indispensables pour nous renseigner sur la densité propre des matériaux et également sur les valeurs des porosités, et présentent aussi une grande importance dans la définition de la composition du béton. Pour cela, nous avons mesuré les masses volumiques apparentes (Photo II.5) et absolues (Photo II.6) pour les granulats employés dans cette étude selon les normes NF EN 1097-3 [50] et NF EN 1097-6 [51], respectivement. Les masses volumiques calculées sont présentées dans le Tableau II.5.



Photo II.5. Masse volumique apparente des granulats. (Source : Auteurs)



Photo II.6. Masse volumique absolue des granulats. (Source : Auteurs)

Tableau II.5. Masses volumiques des granulats. (Source : Auteurs)

Propriétés	Sable	Graviers		
		3/8	8/15	15/25
Masse volumique apparente $\rho_{app}$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.61	1.30	1.30	1.30
Masse volumique absolue $\rho_{abs}$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.61	2.62	2.62	2.61

**c. Propreté de sable :**

La propreté des granulats doit être toujours vérifiée, car l'utilisation des granulats non propres avec des impuretés argileuses peut altérer la qualité finale du béton. Dans notre étude, la propreté de sable est vérifiée en utilisant :

- ❖ L'essai équivalent de sable selon la norme NF EN 933-8 [52], (Photo II.7). Les résultats de l'essai sont présentés dans le Tableau II.6.
- ❖ L'essai au bleu de méthylène selon la norme NF EN 933-9 [53], (Photo II.8).



Photo II.7. Essai équivalent de sable. (Source : Auteurs)



Photo II.8. Essai au bleu de méthylène. (Source : Auteurs)

Tableau II.6. Résultats d'essai équivalent de sable. (Sources : Auteurs)

Echantillon	H <sub>1</sub> (cm)	H <sub>2</sub> (cm)	ES ( %)	ES moyen (%)
1	9,8	10	98	98
2	9,8	10	98	

Les résultats de Tableau II.6 montrent que le sable utilisé dans cette étude a un ES>65%. Alors c'est un sable très propre admissible pour les bétons de qualité courante, selon la norme NF EN 18-545 [48].

La valeur de bleu pour le sable utilisé dans notre étude est : MB= 0 ,003. Une valeur de MB inférieure à 1.5 indique que le sable est tolérable pour les bétons de qualité courante, selon la norme NF EN 18-545 [48].

#### d. Caractéristique mécanique des graviers :

La détermination des caractéristiques mécaniques des graviers est une tâche essentielle pour renseigner sur la résistance des granulats aux frottements et aux chocs pendant le malaxage. Dans notre étude, les essais effectués sont :

- ✚ Essai Los Angeles (Photo II.9), selon la norme NF EN 1097-2 [54], qui permet de déterminer la résistance à la fragmentation causée par le frottement. Les résultats de l'essai sont donnés dans le Tableau II.7.
- ✚ Essai Micro-Deval (Photo II.10), selon la norme NF EN 1097-1 [55], qui permet de mesurer la résistance à l'usure par frottement des granulats à l'aide du coefficient Micro-Deval en présence d'eau. Les résultats de l'essai sont donnés dans le Tableau II.7.



**Photo II.9.** Essai Los Angeles. (Source : Auteurs)



**Photo II.10.** Essai Micro-Deval. (Source : Auteurs)

**Tableau II.7.** Caractéristique mécanique des graviers. (Source : Auteurs)

Propriétés mesurées	8/15	15/25
Los Angeles (%)	26.45	
Coefficient Micro Deval MDE (%)	20.2	

Les résultats de Tableau II.7 montrent que la valeur de coefficient de Los Angeles est inférieure à 40, ce qui explique que les graviers de notre étude sont acceptables pour les bétons de qualité courante, selon la norme NF EN 18-545 [48].

Les graviers ont une valeur de Micro-Deval supérieure à la valeur limite des granulats utilisés pour le béton de structure qui est 17, selon l'ASTM D6928-10 [56].

#### e. Absorption d'eau des graviers :

La détermination l'absorption d'eau des graviers est essentielle pour modifié la quantité d'eau de gâchage dans le mélange de béton. Pour cela, nous avons avalé l'absorption d'eau des graviers (Photo II.11) selon la norme NF EN 1097-6 [51] en mesurant le pourcentage entre l'augmentation de la masse de l'échantillon après une immersion de 24 heures dans l'eau et sa masse sèche initiale. Les résultats obtenus sont présentés dans le Tableau II.8.



**Photo II.11.** Essai d'absorption d'eau. (Source : Auteurs)

**Tableau II.8.** Résultats d'absorption d'eau des graviers. (Source : Auteurs)

Échantillon	M <sub>1</sub> (g)	M <sub>2</sub> (g)	M <sub>3</sub> (g)	Coefficient absorption
3/8	1212	654,3	637,1	2 ,69
8/5	1350	632	619,9	1,95
15/25	1307	626,9	615 ,7	1,82

Les résultats de Tableau II.8 indiquent que les coefficients d'absorption d'eau des trois types de gravier sont inférieurs à 6%, valeur maximale pour les bétons de qualité courante, selon la norme NF EN 18-545 [48].

**f. Caractéristiques chimiques des granulats :**

Les essais chimiques sur les granulats ont été réalisés. Les granulats sont soumis à une analyse chimique, où ils sont réduits en poudre, puis examinés.

On effectue la détermination des taux d'insolubles (principalement du quartz), du gypse, du carbonate, et de la teneur en sels. L'analyse des taux de carbonates et de sulfates se fait spécifiquement sur la fraction granulométrique inférieure à 1 mm. Les résultats obtenus sont présentés dans le Tableau II.9.

**Tableau II.9.** Caractéristiques chimiques des granulats. (Source : Auteurs)

Propriétés mesurées/Norme	Sable	Gravier
<b>Insolubles (%) NFP 15-461</b>	85.4	20.3
<b>Carbonates (% CaCO<sub>3</sub>) NFP15-461</b>	06	54
<b>Chlorures : % Cl<sup>-</sup></b>	0.006	0.016
<b>NaCl</b>	0.010	0.028

La quantité de chlorure dans les granulats doit être déclaré si elle dépasse 0.01% [57], afin de la tenir compte pour le calcul de la teneur totale de chlorure dans le béton. Selon le Tableau II.9, la teneur en chlorure (% Cl<sup>-</sup>) dans le gravier de notre étude est légèrement supérieure à 0.01%.

**II.1.3. Eau de gâchage :**

L'eau utilisée ne doit pas contenir d'excès d'impuretés susceptibles de détériorer les propriétés du béton. L'eau utilisée pour les essais de notre étude est l'eau du robinet du laboratoire LTPS qui est potable et propre. Les résultats des analyses physico-chimiques de l'eau selon les méthodes normalisées sont présentés dans le Tableau II.10. Selon les résultats de tableau, on peut dire que le béton est conforme aux spécifications de la norme NF EN 1008 [58] et conforme pour l'usage dans le béton.

**Tableau II.10.** Résultats des analyses de l'eau de gâchage. (Source : Auteurs)

Paramètres	Unité	Concentration	Limites (NF EN 1008 [53])
Ph	-	8.01	> 5
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/l	513.94	≤ 2000
Cl <sup>-</sup>	mg/l	352.73	≤ 1000 (béton armé)
Taux de résidus secs	mg/l	1555	

#### II.1.4. Glucose :

Pour répondre aux besoins de cette étude, nous avons utilisé une solution pour perfusion contenant 5 % de glucose afin de maîtriser précisément les pourcentages souhaitables en glucose dans le mélange (Figure II.12).

**Photo II.12.** Solution de Glucose. (Source : Auteurs)

## II.2. Étude de l'effet de glucose sur l'hydratation du ciment :

Pour étudier l'influence du glucose sur l'hydratation de ciment, on a effectué des essais de prise en utilisant l'appareil de Vicat (Photo II.13) selon la norme NF EN 196-3 [59]. Le pourcentage d'eau utilisé est déterminé d'avance en réalisant l'essai de consistance. Le rapport E/C trouvé pour le ciment Matine est 0.29.

Dans cette étude nous avons testé des pâtes de ciment hydratées avec 0.03, 0.04 et 0.05% du glucose en poids de ciment. Les concentrations sont préparées en mélangeant la quantité de glucose choisi dans l'eau distillée utilisée comme eau de gâchage. Les résultats obtenus

avec les pâtes contenant du glucose comme adjuvant sont comparés à la pâte de référence hydratée sans glucose.



**Figure II.13.** Essai de prise de ciment.

### **II.3. Étude de l'effet de glucose sur la résistance mécanique du mortier :**

#### **II.3.1. Formulation et Confection des éprouvettes :**

Dans notre étude nous avons préparé des éprouvettes à partir d'un mortier standard avec un E/C = 0.5, composé de 1350g de sable, 450g de ciment, 225g eau distillée, conformément à la norme EN 196-1 [60]. Le mortier de référence est préparé avec l'eau distillée sans ajout du glucose. Deux types de mortiers contenant 0.04% et 0.05% en poids du ciment sont aussi préparés en diluant la quantité du glucose directement dans l'eau de gâchage. Les éprouvettes confectionnées sont de dimensions 4x4x16 cm<sup>3</sup>, confectionnées selon la norme EN 196-1 [60] (Photo II.14). Les éprouvettes ont été démoulées 24 heures après le coulage et placées ensuite dans une chambre humide jusqu'au jour de leur écrasement.



**Photo II.14.** Confection des éprouvettes de mortier. (Source : Auteurs)

### II.4.2. Résistance mécanique du mortier :

La résistance à la traction par flexion des mortiers a été évaluée à l'aide d'essais de flexion à 3 points réalisés selon la norme EN 196-1 [60]. Pour chaque concentration et temps, trois éprouvettes ont d'abord été rompues par flexion, puis les six demi-prismes obtenus ont été soumis à la compression (Photo II.15).



**Photo II.15.** Mesure de la résistance mécanique du mortier. (Source : Auteurs)

## II.4. Étude de l'effet de glucose sur les propriétés du béton :

### II.4.1. Formulation de béton :

Le but de la formulation du béton est d'obtenir un mélange homogène avec une bonne répartition des différents constituants et en particulier de la pâte (ciment + granulats + eau + adjuvant). Nous avons formulé le béton selon la méthode de Faury pour obtenir une résistance à la compression de 25 MPa à 28 jours. La courbe de référence et de mélange utilisé pour la formulation de notre béton sont présentées dans l'annexe.

Dans cette étude, deux types de mélanges de béton ont été comparés : le béton de référence (sans glucose) et le béton testé contenant 0.04% en poids de ciment de glucose. Les compositions de béton sont présentées dans le Tableau II.11.

Il a été rapporté que le moment où l'adjuvant retardateur est ajouté au mélange est aussi important que son dosage [25]. Pour cela, nous avons modifié le moment d'ajout de glucose de trois manières différentes :

- 1- Immédiatement au début du malaxage, où le glucose est malaxé avec l'eau de gâchage.
- 2- Après 30 minutes de malaxage.
- 3- Après 40 minutes de malaxage.

Tableau II.11. Composition des mélanges de béton. (Source : Auteurs)

Matériaux	Unité	Quantité pour 1 m <sup>3</sup>	Quantité pour 11 éprouvettes
Gravier (3/8)	Kg	292	18,82
Gravier (8/15)		355	23,22
Gravier (15/25)		478	30,56
Sable		665	43,02
Ciment		350	22,67
Eau		204	13,2
Glucose (solution)	(ml)	2 800	181

#### II.4.2. Procédures expérimentales :

##### A. Méthode pour simuler le bétonnage par temps chaud :

Dans cette étude la température initiale de mélange de béton est variée à partir de la condition normale de bétonnage pour atteindre 50 °C. Cette température de mélange peut être atteinte par temps chaud lorsque le béton est coulé avec des matériaux exposés au rayonnement solaire.

Pour simuler les conditions de bétonnage à chaud et pour amener le mélange à 50 °C à la fin du mélange dans le laboratoire (mois de Février et Mars), les matériaux de béton (graviers, sable, ciment) ont été préchauffés dans l'étuve jusqu'à  $80 \pm 5$  °C pendant  $24 \text{ h} \pm 4$  (Photo II.16). L'eau de gâchage a été maintenue à  $25 \pm 2$  °C. Ces valeurs de températures ont été calculées en utilisant l'équation (1.1). Le Tableau II.12 présente les températures de chaque matériau et des mélanges de béton, ainsi que les désignations correspondantes des mélanges.



Photo II.16. Préchauffage des granulats et du ciment dans l'étuve. (Source : Auteurs)

**Tableau II.12.** Températures des matériaux et températures initiales correspondantes des mélanges. (Source : Auteurs)

Désignation	Température des constituants (°C)				Température initiale de mélange (°C)	Glucose
	Sable	Graviers	Ciment	Eau		
T <sub>50</sub>	80	80	80	25	50 ± 5	00
G <sub>50-0</sub>	80	80	80	25	50 ± 5	0.04% en poids de ciment
G <sub>50-30</sub>	80	80	80	25	50 ± 5	
G <sub>50-45</sub>	80	80	80	25	50 ± 5	

### B. Malaxage, confection et conservation :

À l'exception de mélange confectionné dans les conditions normales de bétonnage ( $T_n$ ), les opérations de malaxage et de mise en place de béton ont été réalisées dans un laboratoire climatisé à  $25 \pm 2$  °C. Les matériaux préalablement chauffés à  $80 \pm 2$  °C ont été retirés du four immédiatement avant l'utilisation et la température de chaque matériau est mesurée à l'aide d'un thermomètre (Photo II.17).



**Photo II.17.** Mesure des températures des matériaux avant le malaxage. (Source : Auteurs)

La mise en œuvre de béton est établie selon la norme EN 12390-2 [61]. Les graviers, le ciment et le sable ont été mélangés d'abord, ensuite, l'eau et l'éventuel adjuvant ont été ajoutés et mélangés. Le béton a été malaxé à l'aide d'un malaxeur à cuve ouverte avec un axe vertical (Photo II.18).



**Photo II.18.** Malaxeur de béton utilisé. (Source : Auteurs)

Pour compenser l'effet de l'augmentation de la température sur l'évaporation de l'eau de gâchage pendant le malaxage et le coulage par temps chaud, l'affaissement de béton est corrigé par l'augmentation de l'eau de gâchage pour maintenir l'affaissement de tous les mélanges de béton entre  $10 \pm 2$ mm.

Les températures des mélanges pendant et après le malaxage ont été mesurées chaque 15 minutes à l'aide d'un thermomètre selon la norme ASTM-C1064-C1064M [62] (Photo II.19).



**Figure II.19.** Mesure de la température du béton frais. (Source : Auteurs)

Des éprouvettes de béton cylindriques de 15x30 cm de dimensions ont été confectionnées à partir de chaque mélange. Les bétons ont été mis en place dans les moules par vibration à la table vibrante en trois couches selon la norme NF EN 206-1 [63] (Photo II.20).

Après le moulage, les éprouvettes ont été conservées dans le laboratoire à température ambiante. Après 24 heures, tous les échantillons ont été démoulés et conservés dans une chambre humide jusqu'à la réalisation des tests.



Figure II.20. Éprouvettes de béton 15x30.

### C. Étude de béton à l'état frais :

En plus de la température de mélange, l'affaissement au cône d'Abrams a été évalué selon la norme NF EN 12350-2 [64] toutes les 15 minutes et pendant une période de 90 minutes après la fin de malaxage (Photo II.21). L'affaissement offre une indication précieuse de la consistance du béton et permet un classement approximatif selon les besoins.



Photo II.21. Mesure de l'affaissement au cône d'Abrams. (Source : Auteurs)

### D. Étude de béton à l'état durci :

**La résistance à la compression** du béton est évaluée en soumettant des éprouvettes à une charge jusqu'à ce qu'elles se brisent par compression axiale dans une machine d'essai de compression. La charge maximale supportée est enregistrée et utilisée pour calculer la résistance en compression. La résistance à la compression a été évaluée à l'âge de 7, 28 et 56 jours selon la norme NF EN 12790-3 [65] (photo II.22). Avant l'essai, les surfaces des éprouvettes ont été rectifiées à l'aide d'une rectifieuse pour garantir la planéité et le parallélisme.



**Photo II.22.** Mesure de la résistance à la compression du béton. (Source : Auteurs)

À 28 jours, l'Essai **d'auscultation dynamique** par vitesse du son est effectué selon la norme est NF EN 12504-4 [66] pour permet de détecter l'homogénéité des éprouvettes ainsi que la présence de fissures. (Photo II.23).



**Figure II.23.** Mesure de la vitesse de son dans le béton. (Source : Auteurs)

### **Conclusion :**

Dans ce chapitre, les résultats de divers essais mettant en lumière les propriétés physiques, mécaniques et chimiques des matériaux utilisés dans le mélange du béton et du mortier sont présentés. Ces données fournissent une base solide pour la suite de l'analyse et permettent une compréhension des résultats trouvés dans cette étude.

## *Chapitre III*

### *Résultats et interprétations*

**Introduction :**

Dans ce chapitre, les résultats expérimentaux obtenus seront illustrés et interprétés. Cela comprend les résultats des suivants :

Évaluation de l'effet du glucose sur l'hydratation du ciment.

Analyse de l'influence du glucose sur la résistance mécanique du mortier.

Étude de l'impact du glucose sur la température du mélange de béton.

Évaluation de l'effet du glucose sur l'ouvrabilité et le ressuage du béton.

Étude de l'influence de glucose sur la résistance à la compression du béton.

Analyse de l'impact du glucose sur la vitesse de son du béton.

Nous analyserons ces résultats avec soin pour comprendre l'impact complet de l'ajout de glucose au mélange de béton et mortier et comment cela affecte les propriétés et les performances du béton en général.

**III.1. Résultats de l'étude de l'effet de glucose sur l'hydratation du ciment :**

Pour étudier l'influence du glucose sur l'hydratation de ciment, on a effectué des essais de priseur des pâtes de ciment hydratées avec 0.03, 0.04 et 0.05% du glucose en poids de ciment et les résultats obtenus sont présentés dans les Graphes III.1 et III.2.

**Graphe III.1.** Variation de la pénétration de l'aiguille de début de prise en fonction du pourcentage du glucose. (Source : Auteurs)

**Graphe III.2.** Variation des temps de prises en fonction du pourcentage du glucose.

(Source : Auteurs)

L'analyse des résultats présentés dans les graphes III.1 et III.2 montre que le glucose agit comme retardateur de prise du ciment pour toutes les concentrations étudiées. Le temps

témoin. On peut également remarquer que l'ajout de 0,05 % de glucose a prolongé le temps de début de prise de plus du double par rapport au témoin.

L'analyse des résultats présentés dans le Graphe III.2 montre que les temps de fin de prise du ciment augmentent aussi avec l'augmentation du pourcentage de glucose dans la pâte de ciment. Les résultats montrent que les pâtes de ciment contenant des concentrations de 0.03% et 0.04% de glucose en poids de ciment présentent respectivement une augmentation en temps

temps de prise obtenu par l'ajout de glucose est très utile pour le bétonnage par temps chaud. L'augmentation de temps de prise de ciment obtenue dans cette étude peut être attribuée à l'adsorption des molécules de glucose sur les surfaces des hydrates en développement, en particulier le CSH [21]. La remarque que l'utilisation du sucre résulte en retardation de prise du ciment est en accord avec les résultats constatés par Ahmed et al. [33], Khan et Baradan [27], Zhang et al. [34] et autres.

### **III.2. Résultats de l'étude de l'effet de glucose sur la résistance mécanique du mortier :**

Dans cette étude nous comparons les résultats obtenus avec les éprouvettes de mortier de référence (préparé sans ajout de glucose) avec les mortiers contenant 0.04% et 0.05% en poids du ciment.

Les lectures de la charge en KN sur l'appareil sont converties en contraintes de traction ou compression en utilisant les équations suivantes :

$$\text{*Résistance à la traction (MPa) : } \sigma_t = \frac{1.5 FL}{b^3} \quad (3.1)$$

Avec F est la charge de rupture de l'éprouvette en traction par flexion (N).

b : largeur de la section carrée (b=40mm) L : distance entre appuis (L = 100mm)

$$\text{*Résistance à la compression (MPa) : } \sigma_c = \frac{F_{ax}}{S} = \frac{F_{ax}}{b^2} \quad (3.2)$$

Avec F est la charge de rupture de l'éprouvette en compression (N). S : la surface transversale de l'éprouvette (mm<sup>2</sup>).

L'influence de l'ajout de glucose sur la résistance mécanique de mortier est présentée dans le Tableau III.1 et les variations de la résistance en fonction du temps sont illustrées dans le Graphe III.3.

**Tableau III.1.** Résistance mécanique du mortier en fonction du pourcentage du glucose. (Source : Auteurs)

Teneur en sucre en % du poids du ciment	Résistance moyenne à la traction par flexion (MPa)			Résistance moyenne à la compression (MPa)		
	2 jours	7 jours	28 jours	2 jours	7 jours	28 jours
0.00 (Témoin)						
0.04						
0.05						

**Graphe III.3.** Variation de la résistance mécanique du mortier en fonction du pourcentage du glucose : a) résistance à la compression ; b) résistance à la traction. (Source : Auteurs)

de la teneur en glucose. Cette augmentation de la résistance mécanique obtenue avec l'ajout du glucose, bien que ce dernier agisse comme retardateur de prise du ciment, peut être expliquée par le fait que le glucose augmente le degré d'hydratation du  $C_3S$  à des stades plus ultérieurs (après la fin de prise) [17]. Le fait que l'utilisation du sucre faible concentration résulte en augmentation de la résistance du mortier est en accord avec les résultats constatés par Ahmed et al. [33] et Zhenghao et al. Zhang et al. [34] ont rapporté que les saccharides agissent comme des "accélérateurs retardés", c'est-à-dire que l'hydratation du ciment est d'abord retardée puis se déroule plus rapidement que dans un ciment sans saccharide [34].

### **III.3. Résultats de l'étude de l'effet de glucose sur les propriétés du béton :**

Dans cette étude, deux types de mélanges de béton ont été comparés : le béton de référence (sans glucose) et le béton testé contenant 0.04% en poids de ciment de glucose. Les compositions de béton sont présentées dans le Tableau III.2.

Tableau III.2. Désignations des bétons étudiés. (Source : Auteurs)

Désignation	Glucose (%)	Température initiale de mélange (°C)	Temps de l'ajout de glucose
T <sub>n</sub>	00	normale	-
T <sub>50</sub>	00	50	-
G <sub>50-0</sub>	0.04	45	Immédiatement au début du malaxage
G <sub>50-30</sub>		50	Après 30 minutes de malaxage
G <sub>50-45</sub>		45.5	Après 45 minutes de malaxage

### III.3.1. Effet du glucose sur la température de mélange :

Le Graphe III.4 présente les valeurs de température mesurées depuis la fin du malaxage du béton jusqu'à 90 minutes pour tous les bétons testés.

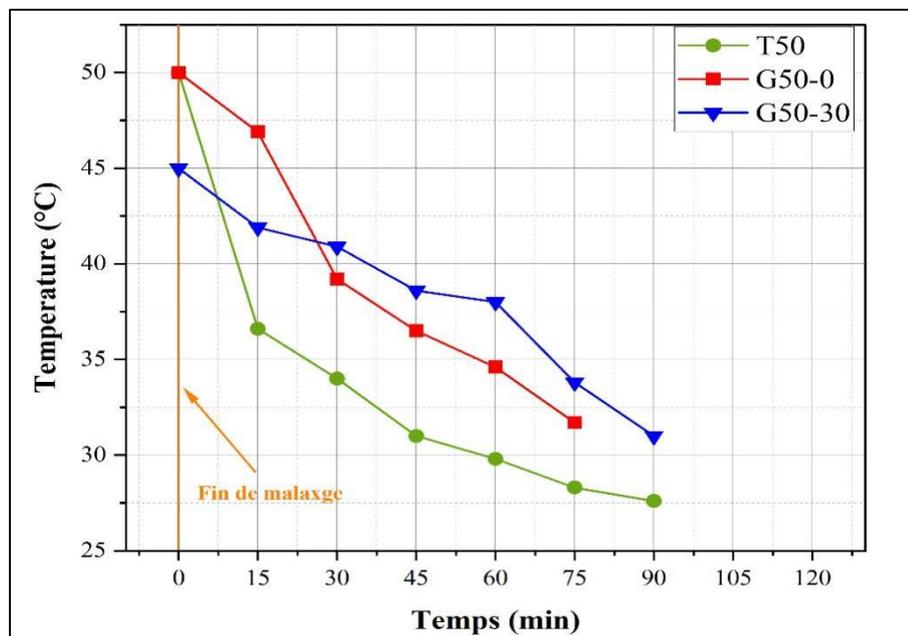


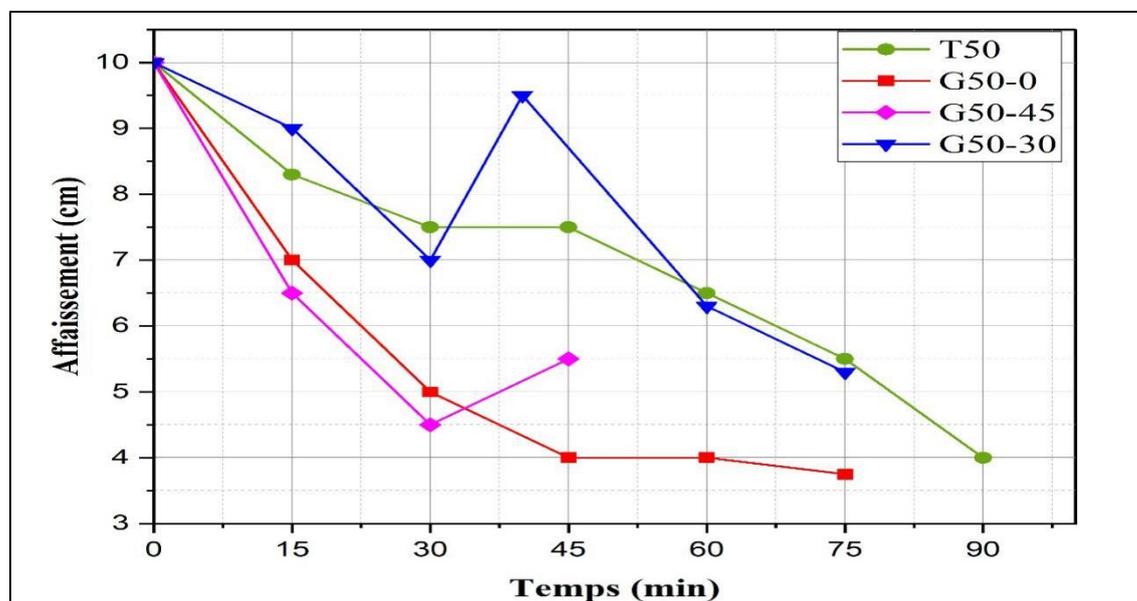
Figure III.4. Variation de la température de mélange en fonction du temps. (Source : Auteurs)

Les résultats présentés dans la Figure III.4 montrent que pour le mélange de béton de référence, la température chute de 50 °C à la fin de malaxage à 34 °C après 30 minutes, puis

diminue progressivement jusqu'à atteindre 27,6 °C après 90 minutes. Pour le béton G<sub>50-0</sub>, la température baisse progressivement de 50 degrés à la fin de malaxage à 46,9 degrés après 30 minutes, puis jusqu'à atteindre 31,7 degrés après 75 minutes. On peut aussi remarquer que les mélanges de béton contenant du glucose présentent des températures plus élevées par rapport au béton de référence. On peut alors constater que la perte de chaleur du mélange de béton est ralentie en utilisant le glucose comme adjuvant. Par ralentissement de la perte de chaleur, on prolonge effectivement la période pendant laquelle la température à l'intérieur du béton reste élevée, et par conséquent, l'écart de température entre le centre du béton et sa surface extérieure reste significatif. En ralentissant la perte de chaleur, on ne réduit pas directement cet écart de température, mais plutôt on réduit la vitesse à laquelle cet écart se crée. Cela signifie que le gradient thermique reste présent, mais il est moins important par rapport à une situation où la perte de chaleur serait plus rapide. Cela peut diminuer les contraintes internes causées par ce gradient thermique, ce qui peut réduire le risque de fissuration thermique de béton.

### III.3.2. Effet du glucose sur l'ouvrabilité et le ressuage du béton :

Le Graphe III.5 présente les valeurs de température mesurées après l'opération malaxage du béton jusqu'à 90 minutes pour toutes les bétons testés.



**Graphe III.5.** Perte d'affaissement des bétons en fonction du temps. (Source : Auteurs)

L'analyse des résultats présentés dans le Graphe III.5 montre que pour le mélange de béton de référence T<sub>50</sub>, l'affaissement diminue de 10 cm après le malaxage à 7.5 cm après 30 minutes, puis diminue jusqu'à atteindre 6.5cm après 90 minutes. Pour le béton contenant du

glucose G<sub>50-0</sub>, l'affaissement diminue de 10 cm après le malaxage à 5 cm après 30 minutes, puis diminue jusqu'à atteindre 4cm après 90 minutes. Cela signifie qu'à un affaissement initial donné, le glucose augmente la vitesse de perte de maniabilité du béton. Des essais expérimentaux ont également montré le même effet d'adjuvant retardateur sur l'affaissement [17]. L'ajout retardé de l'adjuvant retardateur de quelques minutes après le mélange peut atténuer ou résoudre le problème de perte d'affaissement sur le chantier. Pour cela, nous avons modifié le moment d'ajout de glucose après 30 et 45 minutes de fin de malaxage. Les résultats indiquent que pour le mélange G<sub>50-30</sub>, l'affaissement a augmenté de nouveau pour atteindre 9.5 après l'ajout de glucose à 30 minutes. L'affaissement est de nouveau augmenté aussi dans le cas de mélange G<sub>50-45</sub> après l'ajout de glucose à 45 minutes. Ces résultats confirment que l'ajustement du moment d'ajout de glucose peut être une stratégie efficace pour gérer la perte d'affaissement et améliorer la maniabilité du béton. Globalement, nous remarquons que l'ajout de glucose en tant qu'adjuvant améliore l'ouvrabilité du béton, que ce soit de son incorporation immédiate (où la quantité d'eau est normalement inférieure à celle ajoutée dans le mélange de référence) ou après 30 et 45 minutes de la fin de malaxage.

**Remarque :** à la fin de l'opération de coulage des éprouvettes, nous avons remarqué à l'œil nu que le phénomène de ressuage du béton diminue ou ne se manifeste pas lors de l'utilisation du glucose à différents moments de son ajout. En revanche, ce phénomène a été observé dans le béton de référence. Ceci est similaire à l'effet des lignosulfonates qui réduisent la vitesse et la capacité de saignement [36].

### III.3.3. Effet du glucose sur la résistance à la compression du béton :

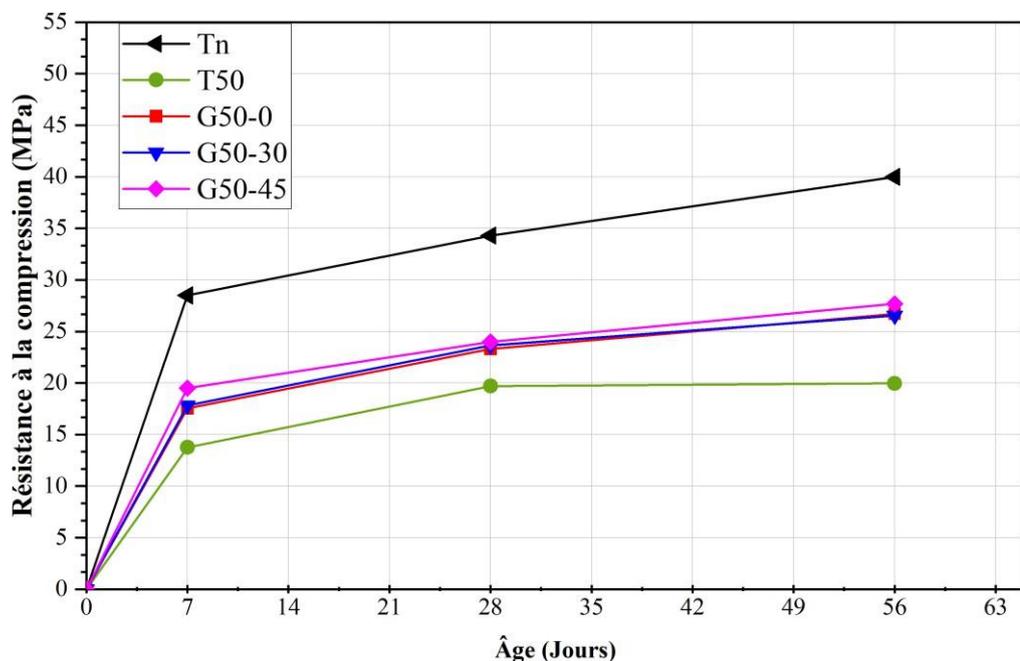
Le Tableau III.3 présente les résultats de la résistance à la compression des éprouvettes cylindriques préparées avec différents mélanges de béton. Le Graphe III.6 montre la variation de la résistance à la compression à différents âges des bétons.

L'analyse des résultats présentés dans le Graphe III.6 et le Tableau III.3 indique plusieurs changements dans la résistance à la compression du béton sous différentes conditions de préparation.

**Tableau III.3.** Résistance à la compression en fonction de l'âge des différents bétons.

(Source : Auteurs)

Mélange	Résistance moyenne à la compression (MPa)			Vitesse de son (Km/s) à 28 jours
	7 jours	28 jours	56 jours	
T <sub>n</sub>	28.5	34.3	40	3.63
T <sub>50</sub>	13.76	19.71	19.96	3.37
G <sub>50-0</sub>	17.54	23.3	26.7	4.00
G <sub>50-30</sub>	17.83	23.65	26.53	3.09
G <sub>50-45</sub>	19.5	24	27.68	4.42

**Graphique III.6.** Résistance à la compression des différents mélanges du béton. (Source : Auteurs)

En comparant les résultats de béton préparé dans des conditions normales (T<sub>n</sub>) avec celles de béton préparé à chaud sans glucose (T<sub>50</sub>), on observe une diminution significative de la résistance à la compression. À 7 jours, la résistance de T<sub>50</sub> est inférieure de 51.7% par rapport à celle de T<sub>n</sub>. Cette tendance est aussi remarquée à 28 jours avec une diminution de 42.5%, et à 56 jours, où la résistance de T<sub>50</sub> est inférieure de 50.1% par rapport à T<sub>n</sub>. Cela démontre que le bétonnage à chaud réduit considérablement la résistance à la compression, qui peut être due

à l'accélération de l'hydratation, à la formation de produits d'hydratation moins denses, ou aux pertes d'eau rapides qui empêchent l'hydratation complète et uniforme du ciment.

L'ajout de glucose comme adjuvant ( $G_{50-0}$ ) améliore notablement la résistance à la compression par rapport au béton  $T_{50}$ . À 7 jours,  $G_{50-0}$  montre une résistance 27.5% supérieure à celle de  $T_{50}$ . À 28 jours, cette amélioration est de 18.1%, et à 56 jours, la résistance est 33.7% supérieure. Cela montre que l'adjuvant aide à compenser les effets négatifs du bétonnage à chaud sur la résistance à la compression du béton.

Le moment de l'ajout de l'adjuvant joue également un rôle crucial. Pour  $G_{50-30}$ , où le glucose est ajouté 30 minutes après le malaxage, la résistance à 7 jours est 29.6% supérieure à celle de  $T_{50}$ . À 28 jours, l'amélioration est de 19.9%, et à 56 jours, elle est de 32.9%.

Enfin, pour  $G_{50-45}$ , où l'adjuvant est ajouté 45 minutes après le malaxage, la résistance à 7 jours est 41.7% supérieure à celle de  $T_{50}$ . À 28 jours, cette amélioration est de 21.2%, et à 56 jours,  $G_{50-45}$  montre les meilleures performances parmi les mélanges préparés à chaud, indiquant que l'ajout retardé de l'adjuvant peut maximiser les bénéfices.

En résumé, l'utilisation de glucose comme adjuvant dans des conditions de bétonnage à chaud améliore la résistance à la compression, et le timing de son ajout joue un rôle important dans l'optimisation des performances du béton.

Le fait que l'utilisation du sucre résulte en augmentation de la résistance à la compression du béton est en accord aux conclusions constaté par Abalka [29], Azad et al. [32] et Kawade et al [39]. Il a été rapporté que la résistance à la compression de béton à un jour des mélanges de béton contenant du saccharose est inférieure à celle du mélange de référence, mais à 3, 7 et 28 jours, la résistance du béton contenant cet adjuvant dépasse généralement celle du mélange de référence, sauf en cas de surdosage de l'adjuvant [17]. Cette augmentation de la résistance mécanique obtenue avec l'ajout du glucose, bien que ce dernier agisse comme retardateur de prise du ciment, peut être expliquée par le fait que le glucose augmente le degré d'hydratation du  $C_3S$  à des stades plus ultérieurs (après la fin de prise) [17]. Zhang et al. [34] ont rapporté que les saccharides agissent comme des "accélérateurs retardés", c'est-à-dire que l'hydratation du ciment est d'abord retardée puis se déroule plus rapidement que dans un ciment sans saccharide. La composition chimique du ciment joue un rôle crucial dans la manière dont les retardateurs influencent l'hydratation à différentes phases. Plus la quantité de  $C_3A$  du ciment est élevée, le point de basculement de la retardation vers l'accélération de l'hydratation du  $C_3A$  survient plus rapidement [17].

### III.3.4. Effet du glucose sur la vitesse de son du béton :

La comparaison entre les vitesses de son des différents bétons étudiés nous permet d'étudier l'influence de condition de bétonnage et de l'effet du glucose sur le degré de compacité et l'homogénéité du béton. Les résultats de la vitesse de son des différents bétons sont présentés dans le Tableau III.3.

L'analyse des résultats montre que la vitesse du son est fortement influencée par les conditions de préparation et le moment de l'ajout des adjuvants. Le béton  $T_n$ , préparé dans des conditions normales, présente les meilleures propriétés. Les conditions de préparation à chaud dégradent l'homogénéité du béton, mais l'utilisation d'adjuvants au moment du malaxage ( $G_{50-0}$ ) peut compenser ces effets. Malgré les différentes conditions de préparation et les moments d'ajout des adjuvants, tous les bétons restent dans des plages de qualité adéquates pour une utilisation pratique.

### Conclusion :

En conclusion, l'étude démontre que l'ajout de glucose a un impact significatif sur les propriétés du ciment, du mortier et du béton. Le glucose à faible dosage retarde le processus de prise du ciment, mais cela ne compromet pas gravement le temps total de prise. De plus, il conduit à une augmentation notable de la résistance mécanique du mortier. Dans le béton, l'ajout de glucose réduit efficacement la perte de chaleur pendant le durcissement, ce qui peut prévenir les fissurations thermiques. En ce qui concerne l'ouvrabilité et le ressuage du béton, le glucose accélère la perte de maniabilité, mais son ajout au bon moment peut compenser ce problème et améliorer l'ouvrabilité globale tout en réduisant le phénomène de ressuage. Enfin, dans des conditions de bétonnage à chaud, l'ajout de glucose améliore la résistance à la compression, avec les meilleures performances observées lorsque l'ajout est retardé de 45 minutes après le malaxage. Ces résultats s'expliquent par le fait que le glucose agit comme un "accélérateur retardé", favorisant une hydratation plus complète du ciment. En résumé, l'utilisation de glucose comme adjuvant dans la fabrication du ciment, du mortier et du béton offre des avantages significatifs en termes de performances mécaniques, de contrôle de la chaleur et de facilité de mise en œuvre, ce qui en fait une option prometteuse pour diverses applications de construction.

*Conclusion Générale*

*Et Perspectives*



- Le bétonnage à chaud entraîne une diminution significative de la résistance à la compression du béton.
- L'utilisation de glucose comme adjuvant dans des conditions de bétonnage à chaud améliore considérablement la résistance à la compression, avec des augmentations respectives de 27,5%, 18,1% et 33,7% à 7 jours, 28 jours et 56 jours.
- Le timing de son ajout joue un rôle important dans l'optimisation des performances du béton ; lors quele glucose est ajouté 45 minutes après le malaxage, la résistance à 7 jours est augmentée à 41.7% par rapport au béton témoin T50.
- L'ajout d'une concentration de glucose de 0,04% dans le béton s'est révélé efficace et satisfaisant en termes de performances de béton. Le moment où l'adjuvant est ajouté peut être aussi important que sa dose surtout dans les situations de bétonnages complexes.
- L'augmentation des temps de prise de ciment obtenue par l'ajout d'une petite quantité du glucose dans cette étude est très utile pour le bétonnage par temps chaud, le transport du béton sur de longues distances ou lors de problèmes sur le chantier nécessitant un temps de coulage prolongé. L'utilisation du glucose à faible dosage offre aussi une solution pratique pour éviter le gaspillage de béton et optimiser son utilisation, après un refus initial. Par exemple, lorsqu'un mélange du béton livré est refusé sur le chantier, l'ajout de glucose permet de retarder sa prise, permettant ainsi d'augmenter la possibilité de sa réutilisation.
- Nous pouvons conclure que le glucose, agit efficacement en tant que retardateur à faible dosage, mais nécessite un contrôle adéquat de sa quantité dans le mélange lors de son utilisation.
- Finalement, malgré les résultats jugés satisfaisants de cette étude, il n'est jamais recommandé d'utiliser du glucose pour le béton structurel sans avoir préalablement complété tous les essais nécessaires.

## **Perspectives :**

Suite à cette étude, plusieurs perspectives peuvent être envisagées :

- ✓ Compléter les essais nécessaires sur le béton, y compris les essais de durabilité, les analyses au microscope électronique à balayage (MEB), les essais de diffraction des rayons X (DRX) et les essais de corrosion des armatures.
- ✓ Étudier l'impact d'autres concentrations de glucose et d'autres sources naturelles de glucose sur le béton dans différentes conditions de bétonnage.
- ✓ Étudier l'effet du glucose sur d'autres mélanges de béton en utilisant, par exemple, d'autres types de ciment.

## Références

- [1] BENMEBAREK, F., BOUADJADJA, W. (2020). *Impact des changements climatiques sur les températures et les précipitations en Algérie* [mémoire de Master, Université Kasdi Merbah Ouargla]. DSpace.  
<https://dspace.univouargla.dz/jspui/bitstream/123456789/23789/3/BENMEBARK-BOUADJADJA.pdf>
- [2] American Concrete Institute. (2007). ACI 305.1-06: *Specification for Hot Weather Concreting*.
- [3] Khan, B., Ullah, M. (2004). Effect of a retarding admixture on the setting time of cement pastes in hot weather. *Journal of King Abdulaziz University: Engineering Sciences*, 15(1), 63-79 (1425 A.H./ 2004 A.D.)
- [4] da Nóbrega, Mouret, M., Cassagnabere, F., Le, V. A. (2018). Improved 28-day compressive strength of SCC mixed and cured in hot weather: Non-conventional behavior. *Construction and Building Materials*, 173, 650-661.  
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.279>
- [5] Saudi Aramco (2015). Materials system specification 09-SAMSS-097: Ready-mixed concrete
- [6] Centre National de Recherche Appliqués en Génie Parasismique. (2010). DTR BE 2.1: *Règle d'exécution des ouvrages en béton armé 2010*. Algérie
- [7] YAHIAOUI, W. (2013). *Effets du climat chaud sur les performances des bétons autoplaçants à base de laitier* [mémoire de Magister, Université Saad Dahleb Blida]. DSpace.  
<https://di.univ-blida.dz/xmlui/bitstream/handle/123456789/5832/32-620-235-1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [8] Kay, E.A. (2003). Hot and cold weather concreting. In Newman, J., Choo, B. S. (eds.), *Advanced Concrete Technology, Concrete properties*. Elsevier. DOI: 10.1016/B978-075065686-3/50252-4
- [9] Ramadan, R., Ghanem, H., Khatib, J., Elkordi, A. (2022). Effect of hot weather concreting on the mechanical and durability properties of concrete-a review. *BAU Journal-Science and Technology*, 4(1). DOI: 10.54729/AXEC5733
- [10] Association Béton Québec. (2018). *Techno-béton no 7 : Le bétonnage par temps chaud*.  
[https://betonabq.org/wp-content/uploads/2023/03/TBnumero7\\_2023.pdf](https://betonabq.org/wp-content/uploads/2023/03/TBnumero7_2023.pdf)
- [11] Kosmatka SH, Wilson ML. (2011). *Design and Control of Concrete Mixtures*. USA: Portland Cement Association.
- [12] Olivier, J.P., Vichot, A. (2008). *La durabilité des bétons*. , 2<sup>ème</sup> ed., Press de l'école national des ponts et chaussées.
- [13] Mennatallah, A.A. (2017). *The effect of mixing water temperature on concrete properties in hot weather conditions* [Master thesis, The American university in Cairo].
- [14] Ishee, C., Surana, S. (2019). Hot weather concreting. In Mindess, M. J (eds), *Developments in the Formulation and Reinforcement of Concrete* (p. 131-150). Woodhead Publishing.

- [15] Soroka, I., Ravina, D. (1998). Hot weather concreting with admixtures. *Cement and Concrete Composites*, 20, 129-136. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.279>
- [16] ASTM International. (2018). *Standard Specification for Ready-Mixed Concrete (C94/C94M-18)*.
- [17] Ramachandran, V.S. (1995). *Concrete Admixture Handbook*. Noyes Publications.
- [18] American Concrete Institute. (2013). ACI Education Bulletin E4-12: *Chemical Admixtures for Concrete*.
- [19] Guiraud, P. (2014). Les adjuvants: pour des bétons à l'épreuve des chantiers et du temps. *Construction Moderne/Annuel ouvrages d'art*, 15-22.
- [20] Myrdal, R. (2007). COIN P1 Advanced cementing materials SP 1.2 F Controlling hydration development Retarding admixtures for concrete State of the art. *SINTEF Building and Infrastructure*.
- [21] Taylor, H.F.W. (1997). *Cement chemistry*. Thomas Telford.
- [22] Glucides, des sucres simples aux polysaccharides [Notes de cours], UNISCIEL. [https://socles3.unisciel.fr/pluginfile.php/25442/mod\\_resource/content/0/Polycopi%C3%A9\\_Sucres.pdf](https://socles3.unisciel.fr/pluginfile.php/25442/mod_resource/content/0/Polycopi%C3%A9_Sucres.pdf)
- [23] Juenger, M. C. G., Jennings, H. M. (2002). New insights into the effects of sugar on the hydration and microstructure of cement pastes. *Cement and Concrete Research*, 32, 393-399. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(01\)00689-5](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(01)00689-5)
- [24] Aïtcin, P. C. (2016). Retarders. In Aïtcin, P. C., Flatt, R. J. (eds.), *Science and technology of concrete admixtures* (p. 395-404). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100693-1.00018-7>
- [25] Thomas, N. L., Birchall, J. D. (1983). The retarding action of sugars on cement hydration. *Cement and Concrete Research*, 13, 830-842. [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(83\)90084-4](https://doi.org/10.1016/0008-8846(83)90084-4)
- [26] Marchon, D., Flatt, R. J. (2016). Impact of chemical admixtures on cement hydration. In Aïtcin, P. C., Flatt, R. J. (eds.), *Science and technology of concrete admixtures* (p. 279-304). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100693-1.00012-6>
- [27] Khan, B., Baradan, B. (2002). The effect of sugar on setting-time of various types of cements. *Quart Sci. Vision*, 8, 71-78.
- [28] Li, Z., Shen, W. G., Lan, Q., Lu, Z., Cao, L. H., Xu, Z. (2014). Influence of sucrose on hydration process of Portland cement. *Key Engineering Materials*, 599, 46-51. [doi:10.4028/www.scientific.net/KEM.599.46](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.599.46)
- [29] Abalaka, A. E. (2011). Comparative effects of cassava starch and simple sugar in cement mortar and concrete. *ATBU Journal of Environmental Technology*, 4(1), 13-22.
- [30] Usman, N. D., Chom, H. A., Salisu, C., Abubakar, H. O., Gyang, J. B. (2016). The impact of sugar on setting-time of ordinary Portland cement (OPC) paste and compressive strength of concrete. *FUTY Journal of the Environment*, 10(1), 107-114.
- [31] Suman, R. (2014, September 27-29). *Effect of sugar on setting-time and compressive strength of ordinary Portland cement paste*. Paper presented at the 3<sup>rd</sup> World Conference on Applied Sciences, Engineering & Technology, Kathmandu, Nepal.

- [32] Azad, A. K., Rahman, S., Chowdhury, R.H. (2020, January). *Effect of sugar on setting time of cement and Compressive strength of concrete*. In Proceeding of 2<sup>nd</sup> International Conference on Research and Innovation in Civil Engineering (ICRICE 2020), Chittagong, Bangladesh.
- [33] Ahmad, S., Lawan, A., Al-Osta, M. (2020). Effect of sugar dosage on setting time, microstructure and strength of Type I and Type V Portland cements. *Case Studies in Construction Materials*, 13, e00364. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00364>
- [34] Zhang, L., Catalan, L. J. J., Balec, R. J., Larsen, A. C., Esmaeili, H. H., Kinrade, S. D. (2010). Effects of saccharide set retarders on the hydration of ordinary Portland cement and pure tricalcium silicate. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, 9(1), 279-287.
- [35] Al Khafaji, Z. S., Ruddock, F. (2018). Study the retardant effect of using different sugar's types on setting time and temperature of cement paste. *Journal of the American ceramic society*, 93(1), 519-530.  
<http://http://www.iaeme.com/ijciyet/issues.asp?JType=IJCIET&VType=9&IType=1>
- [36] Jumadurdiyev, A., Ozkul, M. H., Saglam, A. R., Parlak, N. (2005). The utilization of beet molasses as a retarding and water-reducing admixture for concrete. *Cement and Concrete Research*, 35(5), 874-882. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.04.036>
- [37] Otunyo, A. W., Koate, I. (2015). Sugar cane juice as a retarding admixture in concrete production. *Global journal of engineering research*, 14, 17-23.
- [38] Giridhar, V., Gnaneswar, K., Reddy, K. K. (2013). Effect of sugar and jaggery on strength properties of concrete. *The International Journal Of Engineering And Science (IJES)*, 2(10), 1-6.
- [39] Kawade, A., Kamthe, I., Khemalasure, A. B. (2017). Experimental study of Effect of Sugar on Properties of Concrete. *Journal of Structural & Transportation studies*, 2(1).
- [40] Oyekan, G. L. (2008). Effect of admixtures on the compressive strength of sandcrete blocks. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 3(6), 451-454.
- [41] Ahmed, Z., Rizvi, S. H., Kumar, A. (2023). Effect of sugar on the compressive strength of concrete. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*, 5(10), 564-567.
- [42] Azad, A. K., Rahman, S., Chowdhury, R.H. (2020, December 1-2). *Effect of sugar on Compressive Strength, Drying Shrinkage and Carbonation of Mortar*. In Proceeding of 3<sup>rd</sup> Symposium on Civil and Environmental Engineering (ISCEE 2020), Batu Pahat, Johor, Malaysia
- [43] Oyekan, G. L., Oyelade, O. A. (2011). Crushed waste glass as a partial replacement of cement in normal concrete production with sugar added as an admixture. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 6(6), 369-372.
- [44] Institut Algérien de Normalisation. (2013). *Norme Algérienne NA442. Ciment-Composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants*.
- [45] Comité Européen de Normalisation. (2006). *NF EN 197-1: Ciment - Partie 1: Composition, spécifications et critères de conformité de ciments courants*. AFNOR.
- [46] Lafarge. (n.d). *Ciment Matine* [Fiche produit]. Tiré de <https://www.lafarge.dz/sites/algéria/files/docs/fiche-produit-ciment-matine-tm-en-francais.pdf>

- [47] Comité Européen de Normalisation. (2012). *NF EN 933-1 : Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats - Partie 1 : détermination de la granularité - Analyse granulométrique par tamisage*. AFNOR.
- [48] Comité Européen de Normalisation. (2011). *NF EN 18-545 : Granulats- Éléments de définition, conformité et codification*. AFNOR.
- [49] Gabrysiak, F. Matériaux : Les granulats : chapitre 2. Tiré  
<https://www.yumpu.com/fr/document/read/17207769/materiaux-les-granulats-academie-de-nancy-metz>
- [50] Comité Européen de Normalisation. (1998). *NF EN 1097-3 : Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats - Partie 3 : méthode pour la détermination de la masse volumique en vrac et de la porosité intergranulaire*. AFNOR.
- [51] Comité Européen de Normalisation. (2014). *NF EN 1097-6 : Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats - Partie 6 : détermination de la masse volumique et du coefficient d'absorption d'eau*. AFNOR
- [52] Comité Européen de Normalisation. (2012). *NF EN 933-8 : Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats - Partie 8 : évaluation des fines - Équivalent de sable*. AFNOR
- [53] Comité Européen de Normalisation. (2022). *NF EN 933-9 : Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats - Partie 9 : qualification des fines - Essais au bleu de méthylène*. AFNOR
- [54] Comité Européen de Normalisation. (2010). *NF EN 1097-2 : Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats - Partie 2 : méthodes pour la détermination de la résistance à la fragmentation*. AFNOR
- [55] Comité Européen de Normalisation. (2011). *NF EN 1097-1 : Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats - Partie 1 : détermination de la résistance à l'usure (micro-Deval)*. AFNOR
- [56] ASTM International. (2003). *Standard Test Method for Resistance of Coarse Aggregate to Degradation by Abrasion in the Micro-Deval Apparatus (D 6928-03)*.
- [57] Comité Européen de Normalisation. (2008). *NF EN 12620+A1 : Granulats pour béton*. AFNOR
- [58] Comité Européen de Normalisation. (2003). *NF EN 1008 : Eau de gâchage pour bétons - Spécifications d'échantillonnage, d'essais et d'évaluation de l'aptitude à l'emploi, y compris les eaux des processus de l'industrie du béton, telle que l'eau de gâchage pour béton*. AFNOR
- [59] Comité Européen de Normalisation. (2017). *NF EN 196-3 : Méthodes d'essai des ciments - Partie 3 : détermination du temps de prise et de la stabilité*. AFNOR
- [60] Comité Européen de Normalisation. (2016). *NF EN 196-1 : Méthodes d'essais des ciments - Partie 1 : détermination des résistances*. AFNOR
- [61] Comité Européen de Normalisation. (2009). *NF EN 12390-2 : Essais pour béton durci - Partie 2 : confection et conservation des éprouvettes pour essais de résistance*. AFNOR
- [62] ASTM International. (2017). *Standard Test Method for Temperature of Freshly Mixed Hydraulic-Cement Concrete (C1064/C1064M-17)*.

- [63] Comité Européen de Normalisation. (2004). *NF EN 206-1 : Béton - Partie 1 : spécification, performances, production et conformité*. AFNOR
- [64] Comité Européen de Normalisation. (2019). *NF EN 12350-2 : Essais pour béton frais - Partie 2 : essai d'affaissement*. AFNOR
- [65] Comité Européen de Normalisation. (2019). *NF EN 12390-3 : Essais pour béton durci - Partie 3 : résistance à la compression des éprouvettes*. AFNOR
- [66] Comité Européen de Normalisation. (2021). *NF EN 12504-4 : Essais pour béton dans les structures - Partie 4 : détermination de la vitesse de propagation des ultrason*. AFNOR
- [67] Comité Européen de Normalisation. (2012). *NF EN 12390-8 : Essais pour béton durci - Partie 8 : profondeur de pénétration d'eau sous pression*. AFNOR

## Annexe

## 1-Fiche produit Matine :



50kg

متين  
MATINE

ALGÉRIE

**LAFARGE**  
Construire  
des villes meilleures™

**Ciment portland au Calcaire**

NA442 CEM II/B-L 42,5 N

**Matine** Ciment gris pour bétons de haute-performance destiné à la construction des Ouvrages d'Art, infrastructure et superstructure pour bâtiments

**Matine**  
NA442 CEM II/B-L 42,5 N

**Matine** est certifié, conforme à la norme Algérienne (NA442 – 2013) et Européenne (EN 197-1)

**AVANTAGES PRODUIT**

- Une résistance initiale élevée pour vos ouvrages nécessitant un décoffrage rapide
- Favorise la maniabilité du béton et le maintien de sa rhéologie
- Une Classe Vraie qui offre une haute performance au béton.
- Meilleure durabilité du béton.

MEMBRE DE  
**HOLCIM**

### APPLICATIONS RECOMMANDÉES

- Construction des Ouvrages d'Art, infrastructure et superstructure pour bâtiments
- Préfabrication légère
- Béton de haute performance



### FORMULATION CONSEILLÉE

	Ciment 	Sable (sec) 	Gravillons (sec) 		Eau (litres) 
	50 kg	0/5	8/15mm	15/25mm	
Dosage pour béton C25/30	X 1 	X7 	X5 	X4 	25 L

Remarque: un bidon = 10 Litres

### CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

#### • Analyses chimiques

	Valeur
Perte au feu (%) (NA5042)	10.0±2
Teneur en sulfates (SO3) (%)	2.5±0.5
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	Max 5%
Teneur en Chlorures(NA5042) (%)	< 0,1

#### • Temps de prise à 20° (NA 230)

	Valeur
Début de prise (min)	150±30
Fin de prise (min)	230±50

#### • Composition minéralogique du Clinker (Bogue)

	Valeur
C3S (%)	60±3
C3A (%)	8±2

#### • Résistance à la compression

	Valeur
2 jours (MPa)	≥ 10.0
28 jours (MPa)	≥ 42.5

#### • Propriétés physiques

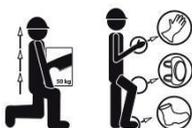
	Valeur
Consistance Normale (%)	26.5±2.0
Finesse suivant la méthode de Blaine (cm <sup>2</sup> /g) (NA231)	3 700 - 5 200
Retrait à 28 jours (µm/m)	< 1 000
Expansion (mm)	≤ 3.0

### CONSIGNES DE SÉCURITÉ

1- **PROTÉGEZ VOTRE PEAU** : Portez les équipements adaptés dans vos chantiers: casques, lunettes, gants, genouillères, chaussures et vêtements de sécurité.

2- **MANUTENTION** : levez le sac en pliant les genoux et en gardant le dos droit.

MEMBRE DE  
**HOLCIM**



Conditionnement:  / 

#### LAFARGE ALGÉRIE

Bureau n°02, 16ème étage, tour Geneva,  
les Pins maritimes, Mohammadia, Alger.  
tél: + 213 (0) 21 98 54 54  
Fax: + 213 (0) 23 92 42 94  
www.lafargealgerie.com  
dz.satisfaction-clients@lafargeholcim.com  
Tél: 021 98 55 55

**LAFARGE**  
لافارج

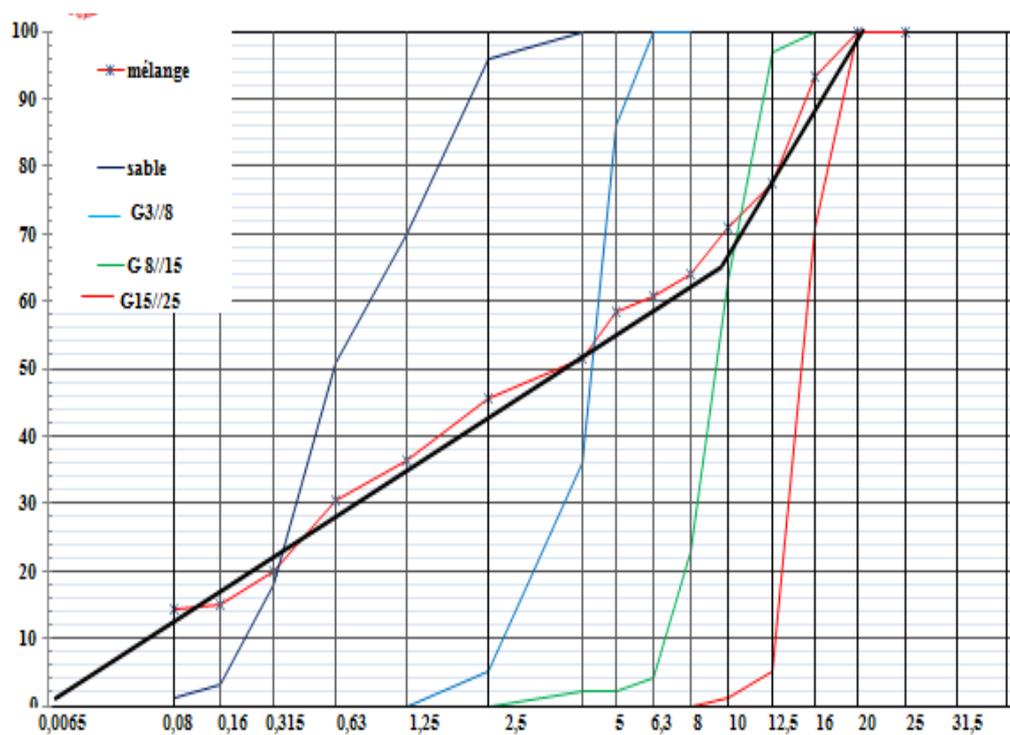


Figure A.1 Mélange du béton étudié selon Faury

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
جامعة غرداية

Faculté de Sciences et de la Technologie  
Département Hydraulique et Génie Civil



كلية العلوم وقسم  
التكنولوجيا  
العلوم وال  
تكنولوجيا

Université de Ghardaïa

Filière : Génie Civil  
Spécialité : Structures.

**Autorisation d'impression d'un mémoire du Master**

Les membres du jury	Nom et prénom	Signature
<b>Président de jury</b>	<b>SAITI Issam</b>	
<b>Examinatrice 1</b>	<b>MAATALLAH Zineb</b>	
<b>Encadreur</b>	<b>DEHANE Sarra</b>	

Je soussigné Mr : **SAITI Issam**

Présidente de jury des étudiants :

- ELGAROU Chaima**
- DEROUICHE Nourhane**

Thème : **Effet de l'utilisation du glucose sur la qualité du béton lors du bétonnage par temps chaud**

**Le chef de département :**

