

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique

Université Akli Mohand Oulhadj - Bouira -
Institut de Technologie



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة أكلي محمد أولحاج
- البويرة -
معهد التكنولوجيا

Département de Technologie chimique Industrielle

Rapport de stage en vue de l'obtention du
diplôme de licence professionnelle en :

Génie de la formulation

COLPA

Thème :

**Fabrication Et Analyse SH Fin (plâtre) À Prise Rapide
Dans L'usine De COLPA**

Réalisé par :

BOURAS Azzeddine

Encadrement sur l'institut :

Mr. BELKACEMI Samir

(MAA/Institut de Technologie, BOUIRA)

Encadrement sur l'usine :

Mr. MISSOUNI Mehrez

(Chef de qualité sur l'usine de COLPA)

Année Universitaire 2023/2024

Remerciements

De par ce travail, nous tenons d'abord à remercier Dieu Tout Puissant de nous avoir octroyé la santé et la volonté pour accomplir cet humble travail représenté dans ce mémoire. Ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu voir le jour sans l'aide et l'encadrement de

Mr. BELKACEMI Samir. Nous la remercions pour son orientation, sa confiance, sa patience, sa rigueur et sa disponibilité. Nous adressons tous nos remerciements à **Mr.....**, ainsi qu'à **Mr.....**, de l'honneur qu'elles nous ont fait en acceptant d'être rapporteurs de ce mémoire. Nos remerciements vont aussi à toute l'équipe du laboratoire de contrôle qualité COLPA, et à leur tête **Mr. MISSOUNI Mehrez** (responsable du laboratoire contrôle de qualité – COLPA), pour l'excellent accueil, ses conseils avisés et son aide précieuse durant toute la période du stage.

Un grand merci aussi à tous nos enseignants.

Nous tenons également à remercier tout particulièrement nos familles surtout nos chers parents qui nous ont toujours encouragé et tous ceux qui ont participé de près ou loin à la réalisation de ce modeste travail

Résumé :

Les tests de temps de prise sont des procédures fondamentales utilisées pour évaluer les caractéristiques de prise du plâtre fabriqué avec accélérateur. Ces tests impliquent des mesures précises, une application contrôlée et une observation systématique du comportement de l'enduit pendant le processus de prise. En employant des outils et des méthodologies de test appropriés, les fabricants peuvent obtenir des informations précieuses sur les propriétés de prise du plâtre avec accélérateur, leur permettant d'optimiser les processus de production, de maintenir les normes de qualité et de répondre aux exigences d'applications spécifiques.

Dans cette discussion, nous approfondissons les subtilités du test du temps de prise du plâtre fabriqué avec un accélérateur. Nous explorons les procédures de test, les intervalles de temps et les approches analytiques utilisées pour évaluer avec précision les caractéristiques de prise du plâtre avec accélérateur. En comprenant ces méthodologies de test, les parties prenantes des industries dépendantes du plâtre peuvent prendre des décisions éclairées concernant la sélection des produits, les techniques d'application et les pratiques d'assurance qualité, améliorant ainsi l'efficacité du projet et atteignant les résultats souhaités.

ملخص:

تعد اختبارات تحديد الوقت من الإجراءات الأساسية المستخدمة لتقييم خصائص تحديد الجص المصنوع من المسرع. تتضمن هذه الاختبارات قياسات دقيقة وتطبيقًا متحكمًا ومراقبة منهجية لسلوك الجص أثناء عملية الإعداد. ومن خلال استخدام أدوات ومنهجيات الاختبار المناسبة، يمكن للمصنعين الحصول على معلومات قيمة حول خصائص ضبط الجص المسرع، مما يسمح لهم بتحسين عمليات الإنتاج والحفاظ على معايير الجودة وتلبية متطلبات التصنيع.

في هذه المناقشة، نتعمق في تعقيدات اختبار وقت ضبط الجص المصنوع باستخدام المسرع. نحن نستكشف إجراءات الاختبار والفواصل الزمنية والأساليب التحليلية المستخدمة لتقييم خصائص تحديد الجص المسرع بدقة. ومن خلال فهم منهجيات الاختبار هذه، يمكن لأصحاب المصلحة في الصناعات المعتمدة على الجص اتخاذ قرارات مستنيرة فيما يتعلق باختيار المنتج وتقنيات التطبيق وممارسات ضمان الجودة، وبالتالي تحسين كفاءة المشروع وتحقيق النتائج المرجوة.

Abstract

Setting time tests are fundamental procedures used to evaluate the setting characteristics of accelerator-made plaster. These tests involve precise measurements, controlled application and systematic observation of the behavior of the coating during the setting process. By employing appropriate testing tools and methodologies, manufacturers can gain valuable information on the setting properties of accelerator plaster, allowing them to optimize production processes, maintain quality standards and meet manufacturing requirements specific applications.

In this discussion, we delve into the intricacies of testing the setting time of plaster made with an accelerator. We explore the testing procedures, time intervals, and analytical approaches used to accurately evaluate the setting characteristics of accelerator plaster. By understanding these testing methodologies, stakeholders in plaster-dependent industries can make informed decisions regarding product selection, application techniques, and quality assurance practices, thereby improving project efficiency and achieving results desired.

Sommaire

Remerciements

Résumé

Introduction générale..... 1

Chapitre I : Partie Théorique

I.1. Présentation de l'unité industrielle de COLPA	2
I.1.1. Histoire	2
I.1.2. Localisation	2
I.1.3. Procédé de fabrication du plâtre de COLPA	3
I.1.3.1. Extraction de gypse (matière première)	3
I.1.3.2. Concassage – criblage	4
I.1.3.3. La cuisson	4
I.1.3.4. Le broyage	4
I.1.3.5. Le refroidissement	4
I.1.3.6. Atelier de formulation (L'homogénéisation et l'adjuvantation)	4
I.1.3.7. Le contrôle et la validation des produits	5
I.1.3.8. Expédition	5
I.1.4. Les types de plâtres produits par COLPA	5
I.2. La fabrication de plâtre	6
I.2.1. Formation du plâtre (procédé de fabrication)	6
I.2.1.1. Préparation du gypse	6
I.2.1.2. Cuisson du gypse	6
I.2.1.2.1. Voie sèche (variétés β)	6
I.2.1.2.2. Voie humide (variété α)	6
I.2.1.3. Phénomène et produits de déshydratation du gypse	7
I.2.2. Contrôles de fabrication	8
I.2.3. Les différents types de plâtre	9
I.2.4. Propriétés du plâtre	9
I.2.4.1. Les propriétés physique du plâtre	9
I.2.4.1.1. La prise	9
I.2.4.1.2. Facteurs influents sur la prise et le durcissement	10
I.2.4.1.3. La variation de volume (l'expansion)	10
I.2.4.1.4. Isolation thermique	10
I.2.4.1.5. Isolation acoustique	11

I.2.4.1.6. Correction acoustique.....	11
I.2.4.1.7. Résistance au feu.....	11
I.2.4.2. Propriétés chimiques et physiques de plâtre semi hydrate	11
I.2.4.2.1. Les semi-hydrates α	11
I.2.4.2.2. Les semi- hydratent β	12
I.2.5. Utilisation des adjuvants dans la fabrication du plâtre	12
I.2.5.1. Définition.....	12
I.2.5.2. Histoire des adjuvants.....	12
I.2.5.3. Mode d'action.....	13
I.2.5.4. Fonctions	13
I.2.5.4.1. Fonction Principale	13
I.2.5.4.2. Fonctions secondaires	13
I.2.5.5. Classification	13
I.2.5.5.1. Les modificateurs de prise.....	13

Chapitre II : Partie Théorique

II.1. Introduction	16
II.2. Méthodologie du travail.....	16
II.2.1. Fabrication du Plâtre Extra Fin (SH Fine) à l'usine COLPA	17
II.2.2. Formulation et tests du SH fin (plâtre) à prise rapide à l'aide d'un accélérateur.....	18
II.2.2.1. Matériel et les produits utilisés.....	19
II.2.3. Temps de prise et étalement.....	21
II.2.3.1. Mesure de l'étalement	21
II.2.3.2. Mesure de début de prise couteau.....	22
II.2.3.3. Mesure de la fin de prise.....	22
II.2.3.3.1. Fin de prise avec aiguille Gillmore.....	23
II.2.3.3.2. Fin de prise à l'aide du shore A	23

Chapitre III : Résultats et interprétations

Résultats et interprétations	24
Conclusion générale	25
Références bibliographies	

List des Figure

Figure I.1 : Localisation de COLPA à BOUIRA	2
Figure I.2 : Carrière MENHAR (photos prise le 10 Mars 2018)	3
Figure I.3 : Extraction du gypse avec des camions brise roche à ciel ouvert.....	3
Figure I.4 : Transport de gypse concassé avec des camions vers l'usine.....	3
Figure I.5 : stockage du gypse.....	4
Figure I.6 : Prélèvement d'échantillon pour un contrôle de qualité.....	5
Figure I.7 : Expédition du produit.....	5
Figure I.8 : Images MEB des plâtres Prestia (usine Mériel du groupe Lafarge) obtenues respectivement par voie humide (α) et voie sèche (β).....	7
Figure I.9 : Cycle des sulfates de calcium.....	8
Figure I.10 : Faciès cristallographiques du gypse en présence d'adjuvants.....	14
Figure II.1 : Les contrôleurs de fin de prise de plâtre (pénétrromètre)	18
Figure II.2 : L'extra fin (le plâtre fin)	18
Figure II.3 : Plâtre et l'accélérateur dans le Mélangeur électrique	19
Figure II.4 : Les procès de la deuxième étape.....	20
Figure II.5 : Test de débute de prise.....	22
Figure II.6 : aiguille Gillmore	22
Figure II.7 : shore A	23

List des Tableau

Tableau III.1 : Résultats du temps de prise et étalement du plâtre extra fin COLPA avec ou sans accélérateur.....	24
---	----

Introduction générale

Introduction générale

Le plâtre, un matériau de construction polyvalent avec une histoire riche remontant à des millénaires, fait partie intégrante des efforts architecturaux, artistiques et médicaux de la civilisation humaine. Composé principalement de gypse, de chaux ou de ciment, le plâtre présente une gamme remarquable de propriétés qui le rendent indispensable dans diverses industries et applications.

Dans la construction, le plâtre constitue un élément fondamental pour la finition des murs et des plafonds intérieurs, offrant une surface lisse et durable qui améliore l'esthétique et l'intégrité structurelle. Sa capacité à s'adapter à différentes formes et surfaces le rend idéal pour créer des détails architecturaux complexes, des motifs décoratifs et des éléments ornementaux, conférant caractère et charme aux bâtiments de tous types et styles.

Au-delà de la construction, le plâtre est largement utilisé dans le domaine médical pour couler des plâtres orthopédiques et immobiliser les os cassés pendant le processus de guérison. Sa moulabilité, sa résistance et sa biocompatibilité en font un outil précieux pour les professionnels de la santé dans le traitement des fractures et autres blessures musculo-squelettiques, facilitant ainsi le rétablissement et la réadaptation des patients.

Dans le domaine de l'art et de l'artisanat, le plâtre sert de support polyvalent aux sculpteurs, artisans et restaurateurs, permettant la création de sculptures, de reliefs et d'éléments décoratifs aux détails et à la texture exquis. Sa maniabilité, sa capacité à capturer des impressions fines et sa compatibilité avec diverses techniques de finition en font un matériau privilégié pour les artistes cherchant à exprimer leur créativité et leur vision.

De plus, l'utilité du plâtre s'étend aux applications industrielles, où il est utilisé dans les processus de fabrication, la fabrication de moules et les solutions d'isolation, démontrant son adaptabilité et sa polyvalence dans divers secteurs et disciplines.

En approfondissant le monde du plâtre, en explorant sa composition, ses propriétés, ses applications et sa signification historique, nous découvrons un matériau d'une pertinence et d'un attrait durables, qui continue de façonner l'environnement bâti, d'inspirer l'expression artistique et de contribuer au progrès humain dans le monde. D'une myriade de façons.

Chapitre I

Partie Théorique

I.1. Présentation de l'unité industrielle de COLPA



I.1.1. Histoire

COLPA spa (Cosider Lafarge Plâtres Algérie), créée en 2002, avec un capital social de 508.500.000 DA ; est le fruit de la volonté de deux grands groupes COSIDER, leader de la construction en Algérie et LAFARGE, leader mondial des matériaux de construction, d'unir leurs efforts dans le but d'apporter des solutions modernes dans l'aménagement intérieur.

COLPA est un acteur majeur dans

- La production et la commercialisation des plâtres en poudre manuels et projetés, pour le moulage et bâtiment, ainsi que d'autres plâtres formulés spécifiques et produits dérivés.
- Les systèmes à base de plaque de plâtre pour la réalisation de : cloisons, doublages, plafonds et tous ouvrages décoratifs répondant aux normes internationales en vigueur.

I.1.2. Localisation

L'usine se situe dans la commune d'ELADJIBA à 30km de l'est de la wilaya de BOUIRA.



Figure I.1 : Localisation de COLPA à BOUIRA

- **La carrière** se situe à 7 Km au sud de l'usine au lieu-dit MANHAR ; fait partie administrativement du territoire de la commune d'AHNIF, la superficie du périmètre d'exploitation est de 26,45 hectares



Figure I.2 : Carrière MENHAR (photos prise le 10 Mars 2018)

I.1.3. Procédé de fabrication du plâtre de COLPA

I.1.3.1. Extraction de gypse (matière première)

L'extraction de la matière première (gypse cristallisé) se fait à ciel ouvert dans la carrière (Manhargypse) sous forme de roches à l'aide d'une brise roche. Le gypse fournit, très réputé pour sa pureté, sablancheur et sa régularité de teneur en humidité, qualités indispensables à la production des plâtres de spécialité.

L'acheminement : transport de la matière première jusqu'à l'usine avec des camions.



Figure I.3 : Extraction du gypse avec des camions brise roche à ciel ouvert



Figure I.4 : Transport de gypse concassé avec des camions vers l'usine

I.1.3.2. Concassage – criblage

Le concassage a pour but de réduire le gypse extrait de la carrière en produits plus fin. En premier lieu le gypse subit un concassage primaire donnant un diamètre de 60mm ; ce dernier sera donc transporté sur des bandes vers le hall de stockage.

Le gypse subit un tamisage : un criblage en fonction du diamètre pour repasser au concasseur afin d'être concasser une seconde fois pour atteindre un diamètre inférieur à 5mm.



Figure I.5 : stockage du gypse

I.1.3.3. La cuisson

Utilise des fours modernes, automatisés et munis de différents filtres dépoussiéreuse plusieurs sondes contrôlant la pression, la température et le poids, ils peuvent traiter jusqu'à 45t de gypse/heure suivant leurs caractéristiques. Le gypse est donc cuit à une température de $145\text{ °c} \leq T \leq 155\text{ °c}$.

I.1.3.4. Le broyage

Le plâtre est réduit en particules de 200 μm grâce à un système sophistiqué.

I.1.3.5. Le refroidissement :

Le produit fini est envoyé à la vis de vieillissement pour une parfaite homogénéisation et subit un refroidissement favorable pour sa qualité .Le produit obtenu est acheminé vers les silos de stockage.

I.1.3.6. Atelier de formulation (L'homogénéisation et l'adjuvantation) :

Au niveau de COLPA, on dénombre 2 mélangeurs. On mélange des adjuvants avec le plâtre Beta (dans des proportions très variables selon l'usage que l'on souhaite faire du produit final), On ajoute des adjuvants, une expansion spécifique, une fluidité contrôlée et autres caractéristiques précises. Tout au long du processus, le plâtre fait l'objet de nombreux prélèvements et contrôles. Cela permet de corriger le produit et de l'améliorer jusqu'à ce qu'il colle parfaitement au cahier des charges du client.

I.1.3.7. Le contrôle et la validation des produits :

En amont (à l'extraction), l'humidité et la pureté du gypse font l'objet de contrôles périodiques. Ensuite, des échantillons sont prélevés tout au long du processus de fabrication est contrôlés par le laboratoire de qualité de l'usine qui se consacre totalement à ce travail. Ces contrôles permettent la validation définitive des produits finis ainsi que le pilotage des paramètres de conduite des procédés de cuisson, de broyage et de mélange. Ils sont garantis de la qualité des plâtres mis en vente



Figure I.6 : Prélèvement d'échantillon pour un contrôle de qualité

I.1.3.8. Expédition

Des roto-packers et un palettiseur sont mis à la disposition de la logistique pour satisfaire le chargement des clients et la mise en stock des produits.



Figure I.7 : Expédition du produit

I.1.4. Les types de plâtres produits par COLPA :

- **Plâtre de moulage** : additionné avec d'ajouts et additifs pour modifier les caractéristiques de la pâte de plâtre gâché où les qualités finales sont alors affectés pour aboutir à différents produits qui sont :
- **PGC Plâtre de construction** : plâtre destiné au revêtement intérieur.
- **P. CER 113 : Plâtre céramique** destiné pour la fabrication des moules pour les produits en céramique tel que les accessoires sanitaire...etc.
- **PSPN 313** : Plâtre à projection normale. Il est à projeter par machine.
- **Enduit de finition.**
- **Plâtre extra fin (SH fin)** : sa granulométrie est inférieure à 200µm. C'est le plâtre sur lequel l'étude s'est basée.

I.2.Fabrication de plâtre

I.2.1.Formation du plâtre (procédé de fabrication) :

I.2.1.1.Préparation du gypse :

Avant d'être introduit dans les fours, le gypse subit un **concassage** et un **criblage** avec recyclage en fonction du procédé de cuisson. Le gypse peut éventuellement être séché dans des cylindres rotatifs avant d'être cuit. Des stocks sont constitués pour éviter de créer des discontinuités dans l'approvisionnement des fours.

I.2.1.2.Cuisson du gypse :

Le plâtre est produit à partir de gypse, extrait en carrière, cependant il est broyé et chauffé pour donner du semi hydrate (appelé aussi mihydrate) de formule brute ($\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$) ou poudre de plâtre, à des températures entre 105°C et 160°C dans des fours industriels (four rotatif ; chaudière de cuisson ; broyeur préchauffeur ; grille à agglomère). Le solide obtenu garde la morphologie du gypse de base avec une structure cristalline très proche de celle du gypse, formé d'empilement des feuillets de ($\text{Ca}^{2+} \cdot \text{SO}_4^{2-}$) et de molécules d'eau. Selon les conditions de pression et de vapeurs d'eau imposées deux phases hémihydratées peuvent être obtenues :

I.2.1.2.1. Voie sèche (variétés β) :

quand on a la pression de vapeur d'eau est inférieure à 0.1MPa (atmosphère sec) dans des fours discontinu à chauffage indirect, l'eau est éliminée sous forme de vapeur cause de nombreux pores du corps obtenu, qui est floconneux et présente des fissures, métastable, soluble dans l'eau demande beaucoup d'eau de gâchage 70%. Possède des résistances mécaniques faible d'une dureté $d=2.62$ (le semi hydrate obtenu est dite de **type β ou plâtre de construction**). Elle est pratiquée pour obtenir la plus grande partie du plâtre.

I.2.1.2.2. Voie humide (variété α) :

Obtenu par chauffage en atmosphère humide sous pression de vapeur d'eau dans des autoclaves sous 2 à 7 bars pendant quelques heures à des $T > 100^\circ\text{C}$. Ou dans des solutions de sel ou NaCl ou CaCl_2 ou Na_2SO_4 . Ce procédé est utilisé pour obtenir le semi hydrate **α qui a un corps compact ($d=2.76$) et cristallin** ; faiblement soluble dans l'eau possède une forte résistance mécanique ; un tel plâtre appelé plâtre de haute résistance jusqu'à 40MPa . Il est produit en faible quantité. (on l'utilise comme plâtre dentaire ; aussi pour l'industrie céramique).

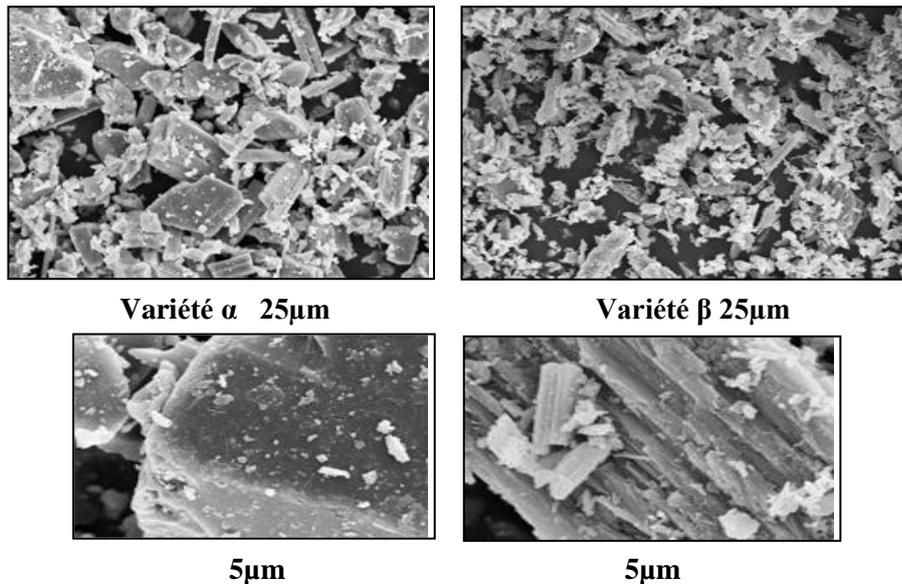


Figure I.8 : Images MEB des plâtres Prestia (usine Mériel du groupe Lafarge) obtenues respectivement par voie humide (α) et voie sèche (β)

I.2.1.3. Phénomène et produits de déshydratation du gypse :

Il est très complexe il dépend de **contact de matière** ; de **la finesse du gypse** et de **la présence des impuretés**. Ce qui entraîne l'apparition des différents produits.

Donc quel que soit l'origine du gypse, synthétique ou naturelle, une déshydratation partielle est nécessaire pour obtenir l'hémihydrate, qui est la poudre blanche connue sous le nom commercial de plâtre. Cette déshydratation se fait sous chauffage à une température entre 110 et 180 °C, selon la réaction chimique suivante (**pour les deux variétés (α) et (β) (c'est un phénomène endothermique)**) :



Un chauffage à des températures plus élevées (au-delà de 200°C) donne d'anhydrites complètement déshydratées (**les anhydrites I, II ou III** qui présentent des structures cristallographiques différentes).

L'anhydrite III : est la première forme allotropique obtenue à 200 C°. Elle est soluble dans l'eau et se réhydrate très rapidement en semi hydrate au contact de l'eau en phase vapeur, au cours d'une réaction appelée réversion :



L'anhydrite III de structure hexagonale se transforme en **anhydrite II** de structure orthorhombique vers 220 C° pour le semi hydrate α et vers 350 C° pour le semi hydrate β .

L'anhydrite II : est une espèce stable thermodynamiquement qui se réhydrate lentement au contact de l'eau liquide.

A température supérieure à 600C° on obtient un produit inerte incapable de faire prise.

A 1230 C°, l'anhydrite se transforme **en anhydrite I** de structure cubique qui ne se réhydrate que très difficilement. **L'anhydrite I** est instable à température ambiante et se décompose à 1250 C°

Selon la réaction



Au-delà 1350C° la fusion total

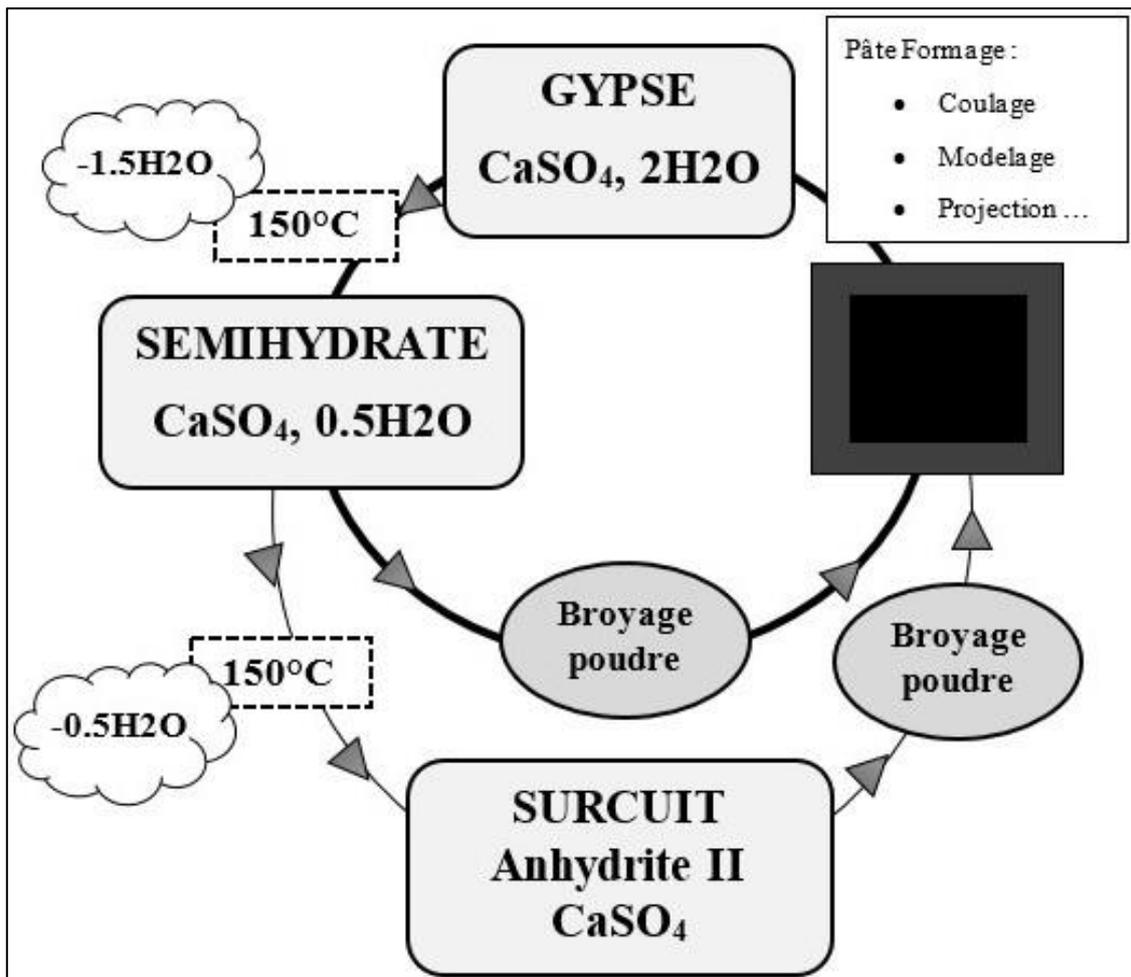


Figure I.9 : Cycle des sulfates de calcium

I.2.2. Contrôles de fabrication

La marche des appareils de production est contrôlée en permanence et régulière par des cabines de télécommande. A la sortie des fours et avant la mise en silo, les caractéristiques chimiques et physiques du produit sont contrôlées 24 h sur 24. Ces contrôles portent notamment sur la granulométrie, les temps de prise et les résistances mécaniques en flexion et en compression au niveau du laboratoire.

Les contrôles effectués varient selon la nature des plâtres fabriqués. Ils sont destinés à garantir, dans tous les cas, le respect des caractéristiques souhaitées par l'utilisateur.

I.2.3. Les différents types de plâtre

Les plus commercialisés ainsi que leurs principales utilisations sont en fonction des différentes variétés suivantes :

- Plâtre gros qui ont une forte granulométrie. Le refus au tamis est 800 μ pouvant être +9 mélanges du sable et de chaux ; est servie par principe au première couche d'enduit ; pour effectuer le dressage des murs et plafonds. Pour exécuté le remplissage des scellements etc.
- Plâtre fin à enduire. Pour lesquels le refus au tamis 800 μ est inférieur à 1% et celui de tamis de 200 μ est inférieur à 25% et même peuvent aller jusqu'à inférieur 1%. Il existe plusieurs types soit normaux ; ou présentant une très haute dureté THD ou encor alléger à la perlite. Ces plâtres sont généralement gâché avec un E/P voisin de l'unité. Ils peuvent être appliqué manuellement ou projeté mécaniquement.

L'industrie du plâtre fourni également des plâtre à usages particuliers ; c'est ainsi qu'on trouve des plâtre a briqueter, destiner au montage des cloisons de distribution, les plâtre de chaux de surfacage , ainsi et surtout les plâtres pour préfabrication .essentiellement utilisé pour la fabrication des carreaux du plâtre, d'éléments de cloison en plaques de parement.

I.2.4. Propriétés du plâtre

I.2.4.1. Les propriétés physique du plâtre

I.2.4.1.1. La prise :

La prise du plâtre est une réaction du type dissolution-germination- croissance, elle est donc très sensible au milieu dans lequel elle se produit. La présence de défauts, tels que la présence d'impuretés dans le récipient de gâchage ou d'impuretés extérieures, est à l'origine des germes de dihydrate.

Aussi, l'utilisation d'un malaxeur à grande vitesse peut broyer des cristaux de gypse fraîchement formés et favoriser la formation de nouveaux germes.

Le plâtre présente un temps de prise rapide ; lorsque il se retrouve avec l'eau, il retrouve son degré d'hydratation initiale et de reconstituer le gypse. Donc la prise est la réaction inverse de la cuisson :



I.2.4.1.2. Facteurs influents sur la prise ET le durcissement:

Les temps de prise et de durcissement varient évidemment avec la nature du plâtre (présence en plus du semi-hydraté d'incuits, de surcuits ...), et avec sa finesse. Les autres paramètres importants sont les suivants :

- Quantité et nature de l'eau : plus la quantité d'eau est importante plus la prise est lente.
- Les impuretés contenues dans l'eau peuvent modifier beaucoup les temps de prise.
- Mode et durée de malaxage.
- Température : l'eau chaude agit comme retardateur de prise.
- Adjuvants.

I.2.4.1.3. La variation de volume (l'expansion) :

On constate expérimentalement que le plâtre augmente de volume surtout aux premières heures, mais il peut après plusieurs jours ou plusieurs semaines de séchage, prendre un léger retrait par rapport au gonflement maximum atteint. Comme le propose CHASSEVENT, les variations de volume dues à :

- L'hydratation des plâtres et qui sont d'origine chimique.
- Conditions extérieures et qui sont d'origine physique (variation d'hygrométrie de température). Il se produit, lors de l'hydratation, une augmentation du volume apparent dû au développement des cristaux de gypse lors de la prise.
- Après prise et jusqu'à l'hydratation complète. Le gonflement final varie en moyenne de 0,3% à 1,5%, il est plus important si lors de la prise les éprouvettes sont recouvertes d'un film d'eau.
- Le coefficient de dilatation thermique des plâtres est de l'ordre de 15 à 20 μm par C°.

I.2.4.1.4. Isolation thermique :

Du fait de sa faible conductivité thermique, le plâtre peut s'employer seul ou associé à d'autres matériaux pour améliorer l'isolation thermique des parois (C 3 370). Un enduit plâtre appliqué sur une paroi de béton ou de terre cuite forme un revêtement continu qui améliore l'isolation thermique.

En outre, du fait de sa forte inertie thermique et de sa faible conductivité thermique, le plâtre élimine le phénomène de **paroi froide** le plâtre permet de plus- en association avec des matériaux isolants minéraux ou de synthèse ayant des conductivités thermiques très faibles (0,03 à 0,04W.m-1.K-1), Qui sont des matériaux spécifique de l'isolation mais qui ne constituent pas comme lui des matériaux de construction de réaliser des systèmes d'isolation efficace.

I.2.4.1.5. Isolation acoustique :

Les enduits manuels ou projetés assurent une isolation aux transmissions de bruits aériens et une garantie contre les ponts phoniques résultant de fissures, de la porosité des matériaux, etc.

Le coefficient d'absorption phonique (coefficient de Sabine) d'une plaque de parement en plâtre de 12 mm, perforée et posée sur une couche de 18 mm de laine minérale, est de 0,74 alors que celui d'une couche de 50 mm de laine minérale est de 0,93.

Le plâtre, grâce à son aptitude au moulage, à la préfabrication comme à la constitution d'éléments décoratifs à reliefs, se prête à la réalisation de panneaux, de structures architecturales ou ornementales capables de supprimer ou d'atténuer les réverbérations gênantes des bruits ou des sons émis dans une pièce.

I.2.4.1.6. Correction acoustique

La transmission de l'énergie sonore se fait aussi, à l'intérieur d'un même local, par réflexion sur les différentes parois qui en limitent le volume.

Enfin, sous l'action du feu, le plâtre ne donne naissance à aucun gaz ou vapeur de caractère toxique, corrosif ou asphyxiant, aucune fumée, ni aucun produit de décomposition combustible ou susceptible d'activer la combustion.

I.2.4.1.7. Résistance au feu

L'une des propriétés les plus caractéristiques du plâtre est son comportement remarquable au feu, qui a été reconnu et éprouvé de tout temps. Cette protection a pu autrefois être obtenue grâce à d'élardes garnissages de plâtre remplissant complètement les intervalles séparant les éléments de construction. Elle peut aussi consister en enduits projetés de plâtres spéciaux (spécial feu) ou en enduits traditionnels comportant, de préférence, une armature légère de Solidarisation ancrée sur l'ouvrage

Le plâtre est incombustible. Il est mauvais conducteur de la chaleur. Il a une conductivité thermique relativement faible pour un matériau de construction qui, de plus, prend ses valeurs minimales dans la zone de la température. Allant de 400 à 500 °C, la plus critique pour les éléments porteurs.

I.2.4.2. Propriétés chimiques et physiques de plâtre semi hydrate

I.2.4.2.1. Les semi-hydrates α

- Les semi-hydrates α sont compacts et cristallins.
- Sa solubilité dans l'eau est inférieure à celle du composé β .
- Le contact avec l'eau donne un mélange fluide.
- C'est un constituant de très haute qualité, utilisé en particulier, comme plâtre dentaire.
- Ils possèdent une grande résistance mécanique.

- Leur temps de prise est inférieur à celle des semi hydrate β

I.2.4.2.2. Les semi- hydratent β

- Il est floconneux et il présente des fissures écailleuses.
- Sa solubilité dans l'eau est supérieur à celle de composé α
- La combinaison avec de l'eau donne un mélange plus épais.
- Il nécessite une grande quantité d'eau pour le gâchage.
- Leur temps de pris est plus long.
- Ils possèdent une faible résistance mécanique (10 fois moins que les semi hydrate α).
- Il est considéré comme un constituant essentiel de plâtre préfabriqué.

I.2.5. Utilisation des adjuvants dans la fabrication du plâtre

I.2.5.1. Définition

La norme NF EN 934-32 de 1998 définit un adjuvant comme étant un produit dont l'incorporation à faible dose (<5% de la masse de ciment) aux bétons, mortiers, ou coulis lors du malaxage ou avant la mise en œuvre, provoque les modifications recherchées de l'état frais à l'état durci.

Ils sont des produits chimiques solubles dans l'eau qui modifient principalement :

- les solubilités
- les vitesses de dissolution
- l'hydratation des divers constituants d'un liant hydraulique

I.2.5.2. Histoire des adjuvants

Le sang ainsi que des blancs d'œufs ont été les premiers adjuvants du béton. La fabrication de ciment portland, initiée dès 1850, va rapidement intégrer du gypse ou du chlorure de calcium en tant qu'adjuvant pour obtenir des prises plus régulières. Cette incorporation remonterait à 1875-1890. Ainsi, les maçons français de cette époque additionnaient au ciment un peu de plâtre sur le chantier, au moment du gâchage du béton. Le premier brevet fut déposé en 1885 avec l'addition du chlorure de calcium comme adjuvant des bétons. A cette époque, les préoccupations des utilisateurs du béton furent de maîtriser la durée de prise et son accélération. Cette préoccupation reste d'actualité. Les plastifiants furent commercialisés en 1935.

C'est après 1960 que les adjuvants se sont développés et que des recherches sont effectuées un peu partout dans le monde, plus particulièrement au Japon depuis 1970.

I.2.5.3. Mode d'action

Leur action est différente d'un adjuvant à un autre en contact des grains du liant. D'une manière générale, les adjuvants enrobent le grain pendant l'hydratation pour augmenter une charge négative sur la surface de la particule du liant.

I.2.5.4. Fonctions

Les adjuvants possèdent une fonction principale et une fonction secondaire

I.2.5.4.1. Fonction Principale

Chaque adjuvant est défini par une fonction principale unique. Elle est caractérisée par la ou les modifications majeures qu'elle apporte aux propriétés du la pâte à l'état frais ou durci.

Cette fonction peut varier selon le dosage de l'adjuvant et les matériaux utilisés.

I.2.5.4.2. Fonctions secondaires

En plus de sa fonction principale, un adjuvant peut avoir une ou plusieurs fonctions secondaires (ex: plastifiant-retardateur, retardateur-plastifiant-réducteur d'eau).

L'adjuvant peut avoir des effets secondaires néfastes au produit finis.

I.2.5.5. Classification

La norme NF P18-103 classe les adjuvants pour béton, mortier et coulis, suivant leur fonction principale (Rhéologie, teneur en air, prise et durcissement). On peut distinguer trois grandes catégories :

- Ceux qui modifient l'ouvrabilité : plastifiant réducteurs d'eau, superplastifiants réducteurs d'eau (anciennement fluidifiants).
- Ceux qui modifient la prise et le durcissement (accélérateurs et retardateurs)
- Ceux qui modifient certaines propriétés particulières : entraîneurs d'air, hydrofuge de masse.

I.2.5.5.1. Les modificateurs de prise

L'hydratation du plâtre passe par la mise en solution de semihydrate suivie d'une cristallisation du dihydrate en solution sursaturée. La cinétique de ce processus peut être modifiée, par l'addition dans l'eau de gâchage ou dans le plâtre, de composés minéraux ou organiques qui agissent sur la solubilité des phases anhydres ou sur leur vitesse de dissolution. Industriellement, les retardateurs et accélérateurs sont utilisés pour contrôler les temps de prise.

A) Les retardateurs de prise

Les retardateurs peuvent former un complexe avec le semihydrate, ralentissant ainsi sa dissolution, et se déposent sur les sites de croissance des cristaux. La forme finale des cristaux de gypse peut varier énormément d'une aiguille élancée à des cristaux tubulaires ou cubiques.

Les retardateurs de prise les plus utilisés dans l'industrie plâtrière sont les acides carboxyliques type **acide citrique** ou **acide malique**. L'acide citrique est connu pour son pouvoir retardateur, que l'on attribue à deux phénomènes : le dépôt de citrate de calcium à la surface des grains de semihydrate, gênant la germination hétérogène, et l'adsorption sélective d'un complexe sur les cristaux de gypse en train de croître car la prise du plâtre est une réaction du type dissolution - germination - croissance, **autrement dit que les retardateurs de prise** peuvent agir dans la phase aqueuse en diminuant la solubilité et la vitesse de dissolution des constituants anhydres. En se précipitant autour des grains de sulfate de calcium (ou en formant avec la chaux des précipités enrobant certaines parties des grains anhydres), il y a formation d'un « voile » plus ou moins continu, sensiblement imperméable et d'épaisseur variable (la couche colmatante pouvant être mono moléculaire).

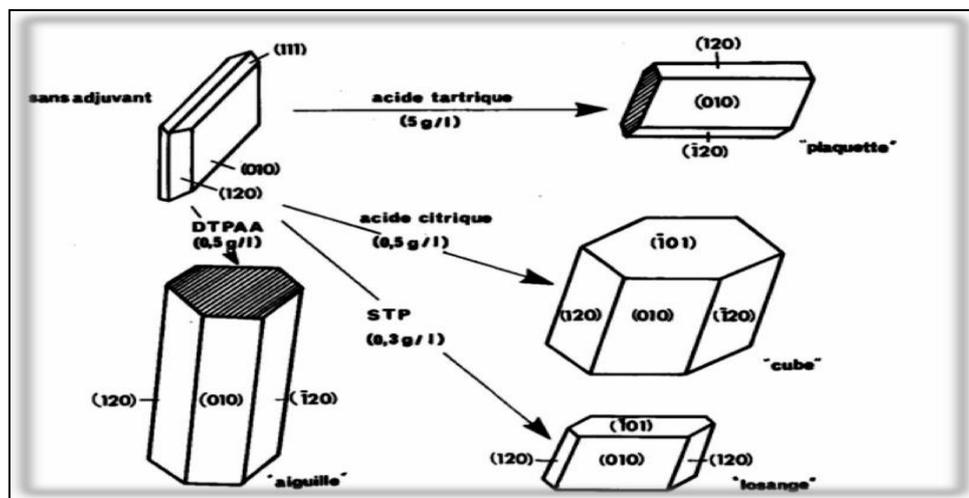


Figure I.10 : Faciès cristallographiques du gypse en présence d'adjuvants

B) Les accélérateurs :

On distingue 2 sortes d'accélérateurs :

- les accélérateurs de prise.
- les accélérateurs de durcissement.

C'est des adjuvants dont leur fonction principale est d'accélérer le début et la fin de prise du liant. Mais en contrepartie, l'accélération recherchée peut entraîner une résistance mécanique moins élevée que le témoin.

- **Mode d'action**

Les adjuvants chimiques sont des produits solubles dans l'eau et le plus souvent d'origine minérale : acide ou base fort et leurs sels.

Ils agissent en modifiant sélectivement la solubilité et la vitesse d'hydratation des liants, constituants anhydrides.

Dans le cas de la préfabrication, il peut être nécessaire d'accélérer la prise du plâtre pour procéder à un démoulage plus rapide. L'introduction des accélérateur entraînent la formation de germes de cristallisation ou diminuant la solubilité de sulfate de calcium dihydraté.

Chapitre II

Protocole expérimental

II.1. Introduction :

Formulation et son concept :

La formulation fait généralement référence au processus de création ou de conception d'un plan, d'une méthode ou d'une stratégie pour résoudre un problème particulier ou atteindre un objectif spécifique. Cela implique d'identifier les facteurs pertinents, de les organiser systématiquement et de déterminer l'approche ou la solution la plus efficace. Dans divers domaines tels que la science, l'ingénierie, la médecine et les affaires, la formulation peut impliquer le développement d'hypothèses, d'algorithmes, de formulations de composés chimiques, de plans stratégiques ou de conceptions de produits.

II.2. Méthodologie du travail

Après avoir vu les caractéristiques physiques et mécaniques du plâtre témoin extra fin de COLPA, on passe aux étapes importantes qui suivent :

II.2.1. Fabrication du Plâtre Extra Fin (SH Fine) à l'usine COLPA :

- **Extraction du Gypse (Matière Première) :**

Commencée à la carrière de Manhargypsum, l'extraction des roches de gypse cristallisé se déroule sous le ciel ouvert, orchestrée avec précision à l'aide de brise-roches. Renommé pour sa pureté inégalée, sa blancheur et sa teneur en humidité constante, le gypse extrait jette les bases de la production du plâtre SH Fine.

- **Transport :**

Rapidement, mais en toute sécurité, le gypse brut entame son voyage vers les locaux de l'usine, enveloppé dans des camions spécialisés, assurant la préservation de ses qualités immaculées en route.

- **Concassage – Criblage :**

Au cœur de notre installation de fabrication, le gypse brut subit un processus de transformation. Initialement soumis à un concassage primaire, le gypse émerge avec un diamètre de 60 mm, préparant la scène pour un affinement ultérieur.

Après des procédures de tamisage et de criblage méticuleuses, le gypse est précisément calibré pour atteindre un diamètre de moins de 5 mm, garantissant une granularité optimale pour le plâtre SH Fine.

- **Cuisson :**

Au sein de nos fours modernes et automatisés, équipés d'une gamme de filtres collecteurs de poussière et de sondes de précision, le gypse subit une métamorphose à des températures contrôlées allant de 145°C à 155°C, ouvrant la voie à son évolution en plâtre.

- **Broyage :**

Le voyage se poursuit alors que le plâtre passe à nos systèmes de broyage sophistiqués, où il est méticuleusement réduit en particules de moins de 200 µm, incarnant l'essence de la texture ultra fine du plâtre SH Fine.

- **Refroidissement :**

Émergeant du processus de broyage, le plâtre SH Fine fraîchement minté entame un voyage à travers la vis de vieillissement, facilitant l'homogénéisation et le refroidissement favorable, améliorant ainsi sa qualité et sa consistance.

- **Atelier de formulation (Homogénéisation et Adjuvantages) :**

Dans l'atelier de formulation de COLPA, la précision rencontre l'innovation alors que les adjuvants sont judicieusement mélangés avec le plâtre Beta dans des proportions méticuleusement calculées, adaptées pour accentuer les caractéristiques distinctives du plâtre SH Fine.

De l'expansion spécifique à la fluidité contrôlée, chaque élément est orchestré à la perfection, garantissant le respect des normes les plus élevées.

- **Contrôle et Validation du Produit :**

Respectant notre engagement inébranlable envers la qualité, des contrôles rigoureux imprègnent chaque étape de la production. Des vérifications périodiques lors de l'extraction du gypse aux processus de validation approfondis après la fabrication, notre laboratoire de qualité dédié scrute méticuleusement chaque lot de plâtre SH Fine, garantissant la conformité aux normes exigeantes et aux spécifications des clients.

II.2.2. Formulation et tests du SH fin (plâtre) à prise rapide à l'aide d'un accélérateur :

Le rapport E/P du plâtre extra fin de COLPA est de 0.75. Dans cette première étape on effectue une analyse quotidienne du plâtre extra fin de COLPA.

Avec ce rapport de gâchage 0.75 on détermine :

- Les temps de prise
- Les étalements

Une fois les résultats obtenus ; une comparaison sera effectuée avec les résultats après la formulation.

- Caractérisation de l'efficacité d'un accélérateur (respectivement retardateur)

But : caractériser le pouvoir accélérateur sur la prise d'une pâte de plâtre. Extra fin.

Principe : comparer les temps de prise (début et fin de prise) d'un semi-hydrate extra fin avant et après addition d'accélérateur en ajoutant 0.1% d'accélérateur X.

Soit : DPC FP les résultats de l'essai sur semi hydrate non accélérer.

DPC1 FP1 les résultats de l'essai sur semi hydrate accéléré.

I.2.2.1. Matériel et les produits utilisés :

- L'extra fin (le plâtre fin)
- L'accélérateur de prise X
- L'eau
- Mélangeur électrique
- Balance électrique SARTORIUS
- Verre de montre
- Chronomètre
- Récipient
- Shore (A40) « mesure de dureté »
- Gilmore
- Couteau spécifique.



Figure II.1 : Les contrôleurs de fin de prise de plâtre (pénétrromètre)



Figure II.2 : L'extra fin (le plâtre fin)

Mode Opérateur :

Étape 1 : Préparation du plâtre avec accélérateur :

1. Mesurez 200 g de l'extra fin à l'aide de balance électrique et versez-la dans un récipient propre et sec.
2. À l'aide de la même balance électrique, mesurez « 0.1% » d'accélérateur et ajoutez-le au plâtre dans le Mélangeur.
3. Avec le mélangeur électrique, commencez à mélanger soigneusement le plâtre et l'accélérateur. pendant environ 2 minutes ou jusqu'à ce que l'accélérateur soit réparti uniformément dans le plâtre.
4. Une fois le mélange homogène, arrêtez le mélangeur et réservez le récipient avec le mélange en plâtre

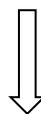


Figure II.3 : Plâtre et l'accélérateur dans le Mélangeur électrique

Étape 2 : Mélanger le mélange en plâtre avec de l'eau « gâchage »

- 1- Peser la masse du plâtre extra fin préparé avec l'accélérateur ($m=200g$)
- 2- Peser une masse d'eau correspondante dans le récipient de gâchage « E/P = 0.75, 150 g d'eau »
- 3- Démarrer le chronomètre et saupoudrer la masse du plâtre dans l'eau en 30 secondes maximum.
- 4- Une fois le chronomètre affiche 1min 30 secondes, mélanger pendant 30 secondes à l'aide de la cuillère en formant des mouvements en 8.
- 5- Arrêter le mélange pendant 30 secondes et reprendre à nouveau le mélange pendant 30 secondes.
- 6- Remplir le moule (l'anneau de SMIDTH) reposant sur la plaque de verre et araser la surface.
- 7- Quand le chronomètre affiche 3min 15 s, élève l'anneau d'un mouvement franc

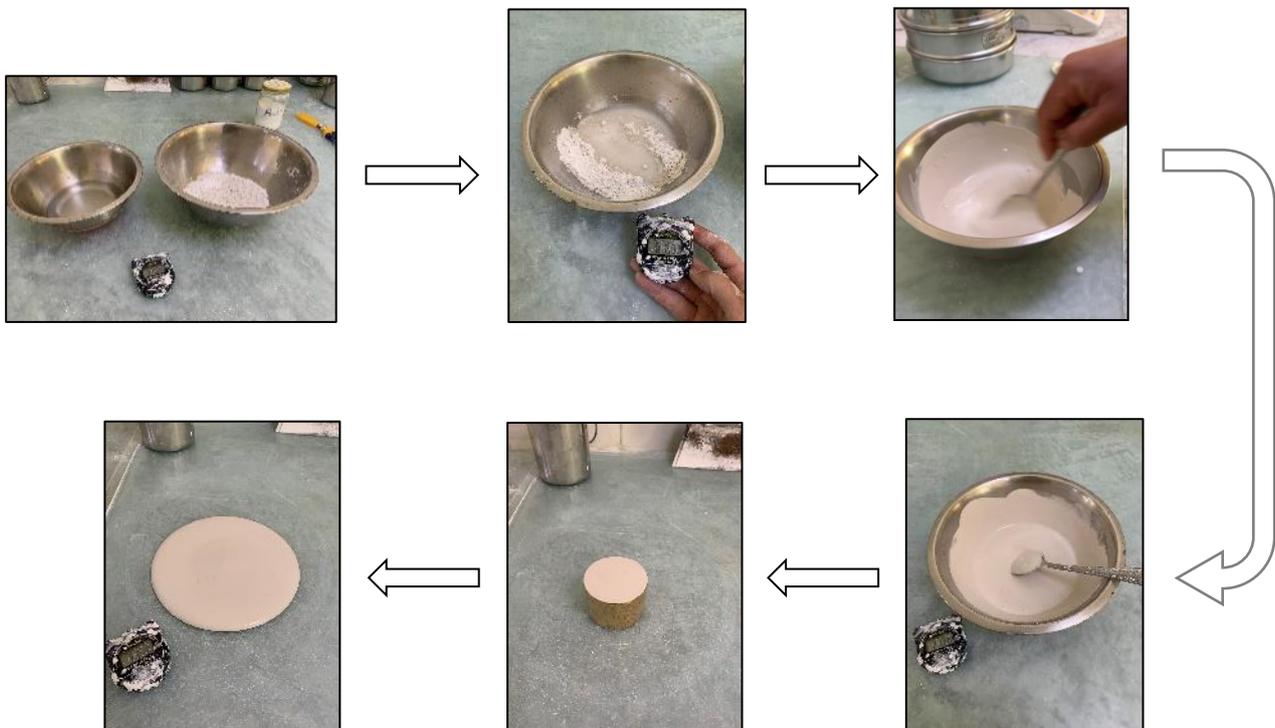


Figure II.4 : Les processus de la deuxième

II.2.3. Temps de prise et étalement :

II.2.3.1. Mesure de l'étalement :

A l'aide de la règle, mesurer le diamètre de la galette ainsi formée suivant deux directions perpendiculaires. Retenir la moyenne arithmétique en mm

II.2.3.2. Mesure de début de prise couteau :

A l'aide d'un couteau à lame d'épaisseur d'environ 2,30 mm et de hauteur d'environ 18 mm maximum, trancher la galette de façon rectiligne à intervalles de temps réguliers. La lame de couteau doit former un angle d'environ 30° avec la plaque. Les sillons doivent être espacés de 1 cm minimum. Noter le temps auquel le sillon ne se referme plus sur toute sa longueur, c'est le début de prise.



Figure II.5 : Test de débute de prise

II.2.3.3. Mesure de la fin de prise

II.2.3.3.1. Fin de prise avec aiguille Gillmore

Poser l'aiguille Gillmore sur une zone plane de la surface de la galette et laisser l'aiguille appuyer de son propre poids.

Si l'aiguille laisse une empreinte sur la surface de la galette, la fin de prise n'est pas encore atteinte.

Si aucune empreinte n'est laissée sur la surface de la galette, la fin de prise est atteinte.



Figure II.6 : aiguille Gillmore

Remarque :

- Si l'aiguille laisse une légère empreinte qui n'évolue pas dans le temps sur la surface de la galette, on peut considérer la fin de prise comme étant atteinte.
- Il est recommandé de tester plusieurs endroits à la surface de la galette.
- Il faut nettoyer la tête de l'aiguille Gillmore après chaque essai.

II.2.3.3.2. Fin de prise à l'aide du shore A

L'aiguille du shore A est appliquée perpendiculairement sur la surface de la galette.

Si la dureté superficielle atteint 40 unités sur l'échelle du Shore A, la fin de prise est atteinte

- Il est recommandé de tester plusieurs endroits à la surface de la galette.
- Il faut nettoyer la tête de l'aiguille Gillmore après chaque essai



Figure II.7 : shore A

Chapitre III

Résultats et interprétations

Dans ce chapitre on va représenter tous les résultats obtenus au cours du travail, ainsi que leurs interprétations

- **Résultats**

	Echantillons	Temps de prise (mn)		Étalements (mm)
		Début de prise	Fin de prise	
Plâtre extra fin normal	01	8.5	20.5	215
	02	8.2	20.2	210
	03	8.5	20.5	215
Plâtre extra fin avec accélérateur	01	3.5	8.5	175
	02	3.2	8.2	170
	03	3.5	8.5	175

Tableau III.1 : Résultats du temps de prise et étalement du plâtre extra fin COLPA avec ou sans accélérateur.

- **Interprétation**

Les résultats montrent que le plâtre extra fin avec l'accélérateur à une prise très rapide « inférieur à la fourchette de l'extra fin normal » 3.5 min, et que l'étalement est étroit ce que signifié que l'ajout d'un accélérateur de prise influence aussi sur la fluidité du produit.

Conclusion générale

Sur la base des résultats obtenus, il est clair que l'incorporation d'un accélérateur de prise a un impact significatif à la fois sur le temps de prise et la fluidité du plâtre extra fin. Les résultats montrent clairement que l'ajout de l'accélérateur entraîne une réduction notable du temps de prise, le plâtre se solidifiant en aussi peu que 3,5 minutes, bien en dessous de la plage standard pour le plâtre extra fin. De plus, la diffusion étroite observée indique une influence directe de l'accélérateur sur la fluidité du produit. Ces conclusions mettent en évidence l'importance de prendre soigneusement en compte l'inclusion d'accélérateurs dans les formulations de plâtre, car ils accélèrent non seulement le processus de prise mais affectent également la maniabilité du matériau. De telles observations peuvent éclairer les décisions dans la fabrication et l'utilisation du plâtre, contribuant à l'optimisation des performances et de l'efficacité dans diverses applications.

Références bibliographiques

[1]. J-P Caspar /D.D.T./Avril 2005, *Les sulfates de calcium.*

[2]. J-C Weiler / D.D.T./Avril 2008, *Gypse dans le monde.*

[3]. *Document MANHARGYPSE/ COLPA.*

[4]. *Document de COLPA Entreprise / LAFARGE.*

[5]. *Document, le système $\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$ (GYPSE).*